

# الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Ibn Khaldoun –Tiaret-



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Nutrition et Technologie Agro-alimentaire

Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Domaine : "Sciences de la Terre et de l'Univers"

Filière : "Géologie"

Spécialité : "Hydrogéologie"

## Thème

**Contribution à l'étude hydrogéologiques et hydrochimiques des ressources  
en eau souterraine de la région de Ksar Chellala**

Présenté et soutenu publiquement par :

-M<sup>lle</sup>: Hadjar Souad

-M<sup>lle</sup>: Teggat Khouloud

### Jury:

<b>-Président:</b>	Mr. MEBARKI Kaddour	MCB	Université de Tiaret
<b>-Promoteur :</b>	Mr. MOUCHARA Nabil	MAA	Université de Tiaret
<b>-Examineur :</b>	Mr. OTMANE Abdelkader	MAB	Université de Tiaret

Année universitaire : 2019/2020



# **REMERCIEMENTS**

**Tout d'abord nous remercions ALLAH, le tout puissant de nous avoir aidés pour réaliser ce mémoire.**

**Nos remerciements s'adressent à Mr. MOUCHARA.N. qui a accepté d'être Notre encadreur et pour ses efforts déployés, ses encouragements et sa patience.**

**Nous tenons à remercier : Mr. MEBARKI Kaddour**

**D'avoir accepté de présider de jury.**

**Comme nous remercions vivement Mr. OTMANE Abdelkader qui a accepté d'examiner Notre travail.**

**Nos profondes reconnaissances et nos vifs remerciements vont à tous les Enseignants ayant participé à notre formation tout au long de notre cursus universitaire.**

**Enfin, nos immenses remerciements vont à tous nos amis de la promotion 2-ème année Master STU spécialité Hydrogéologie au titre de cette année universitaire 2019-2020**

# **Tables des matières**

**TABLE DES MATIERES**

**Table des matières.**

**Liste des figures.**

**Liste des tableaux.**

**Liste des et des abréviations**

**INTRODUCTION GENERALE.....1**

**CHAPITRE I: présentation de la zone d'étude**

**1.Cadre géographique général de la zone d'étude : ..... 3**

1.1 Situation géographique de Ksar Chellala : ..... 3

1.2 Situation administrative de la région d'étude : ..... 3

1.3 Population de la région de Ksar Chellala : ..... 4

**2.Caractéristiques morphométriques ..... 4**

**3 Occupation du sol..... 6**

3.1 La végétation..... 6

3.2 L'agriculture.....6

**4.Cadre géologique : ..... 8**

**4.1.Géologie régionale de Ksar Chalala : ..... 8**

**4.2.Litho-stratigraphie des Monts de Ksar Chellala : ..... 9**

4.2.1 Trias : ..... 9

4.2.2 Jurassique ..... 10

4.2.3 Crétacé..... 10

4.2.4 Le Néogène ..... 11

4.2.5 Log stratigraphique ..... 11

**5.Aspect structural des Monts de Chellala : ..... 13**

**5.1 L'anticlinal principal ..... 14**

5.1.1 Le Djebel Ben Hammad ; ..... 14

5.1.2 La dépression au Sud de Djefala ..... 16

5.1.3 Le Djebel Serguine : ..... 17

**Conclusion..... 19**



## CHAPITRE II: Cadre climatique

<b>Introduction.....</b>	<b>20</b>
<b>1-Station de mesure.....</b>	<b>20</b>
<b>2-Les facteurs climatiques.....</b>	<b>20</b>
2.1 les précipitations.....	20
2.1.1 Les précipitations moyennes mensuelles.....	21
2.1.2 Régimes saisonniers des précipitations.....	21
2.2 Le vent.....	22
2.3 La température.....	23
2.4 L'humidité.....	24
2.5 L'évaporation.....	25
2.6. Diagramme Ombro-thermique de Gaussen .....	26
3. Type de climat .....	27
3.1. Indice d'aridité de De Martonne :.....	27
3.2 Diagramme d'Emberger.....	28
<b>4 le bilan hydrique.....</b>	<b>29</b>
4.1. Etude de l'évapotranspiration:.....	30
4.1.1 Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP).....	30
4.1.2. L'évapotranspiration réelle (ETR):.....	30
4.2 Estimation de ruissellement.....	31
4.3. Estimation de l'infiltration :.....	32
<b>Conclusion.....</b>	<b>34</b>

## Chapitre III : Cadre hydrogéologique

<b>Introduction .....</b>	<b>35</b>
<b>1.Etude géophysique :.....</b>	<b>36</b>
<b>1.1 Buts et objectifs de la campagne géophysique.....</b>	<b>36</b>
<b>1.2. Principe du sondage électrique vertical :.....</b>	<b>37</b>
<b>1.3 Résultats :.....</b>	<b>37</b>
1.3.2 Echelle des résistivités :.....	38
1.3.3 Carte en iso-résistivité apparente pour des AB de 1400 m.....	39
<b>1.4. Pseudo-sections et coupes géo électriques :.....</b>	<b>39</b>
1.4.1. Coupe géo-électrique :.....	40
<b>1.5 Cartes structurales :.....</b>	<b>42</b>
1.5.1 Carte de la profondeur du toit de l'Albien :.....	42
1.5.2 Carte de la cote du toit du Barrémien :.....	42

<b>2.Contexte hydrogéologique :</b> .....	<b>43</b>
<b>2.1. Contexte hydrogéologique général</b> .....	<b>43</b>
<b>2.2 Les nappes de la région de ksar Chellala</b> .....	<b>43</b>
<b>2.2.1Les formations du Plio-Quaternaire :</b> .....	<b>43</b>
2.2.2 Les formations du Crétacé Inferieur :.....	43
2.2.3Les formations du Tithonique et Kimméridgien dolomitique.....	44
2.2.4 Les formations Barrémien :.....	44
2.2.5 Les formations Aptien :.....	44
2.2.6 Les formations Albien :.....	44
2.2.7 Les formations Plio-quaternaire :.....	44
<b>3. Les ressources souterraines de la région de Ksar Chellala:</b> .....	<b>46</b>
<b>4 Lithologie du sous bassin d'Oued Touil :</b> .....	<b>47</b>
<b>4.1 Le réseaux hydrographiques d'Oued Touil :</b> .....	<b>47</b>
4.1.1 Les eaux superficielles d'oued Touil :.....	47
4.1.2. Les eaux souterraines d'Oued Touil :.....	47
<b>Conclusion</b> .....	<b>51</b>

## **CHAPITRE IV : Hydrochimie :**

<b>-Introduction</b> .....	<b>42</b>
<b>1-Protocole expérimentale</b> .....	<b>53</b>
<b>2-choix des points de prélèvement</b> .....	<b>54</b>
<b>3-Le mode du prélèvement</b> .....	<b>54</b>
<b>4-Stockage des échantillons</b> .....	<b>54</b>
<b>5-Identification</b> .....	<b>55</b>
<b>6-Les Analyses physico-chimiques</b> .....	<b>55</b>
<b>6-1-Analyses physiques</b> .....	<b>55</b>
<b>6.2 Analyses Chimiques :</b> .....	<b>55</b>
<b>6.3 Analyses bactériologiques :</b> .....	<b>55</b>
<b>7. Résultats et discussions :</b> .....	<b>56</b>
<b>7.1 Discussions des paramètres physiques :</b> .....	<b>56</b>
7.1.1 Température (T°) :.....	56
7.1.2 Potentiel d'Hydrogène (pH) :.....	57
7.1.3. Conductivité électrique (CE) :.....	58
7.1.4. Turbidité :.....	59
7.1.5. La Salinité :.....	60
7.1.6 Résidu sec.....	61

## *Table des matières*

---

<b>7.2. Discussion des résultats des paramètres chimiques :</b> .....	<b>61</b>
7.2.1 Calcium (Ca <sup>2+</sup> ) :.....	61
7.2.2. Magnésium (Mg <sup>2+</sup> ) :.....	62
7.3.3 Fer (Fe <sup>3+</sup> ).....	63
7.2.4 Teneur en Bicarbonates (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	64
7.2.5 Chlorures (Cl <sup>-</sup> ) :.....	65
7.2.6. Les Sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ).....	<b>66</b>
<b>7.3 Dureté et alcalinité des eaux :</b> .....	<b>67</b>
7.3.1 La dureté :.....	67
<b>7.4 Paramètres de pollution :</b> .....	<b>69</b>
<b>7.4.1 Nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) :</b> .....	<b>69</b>
<b>8. Identification du faciès chimiques des eaux :</b> .....	<b>70</b>
<b>8.1 Diagramme de Piper :</b> .....	<b>70</b>
<b>8.2 Diagramme de Schoeler Berkaloff.....</b>	<b>71</b>
<b>9.Résultats des paramètres bactériologiques.....</b>	<b>72</b>
<b>9.1 Les sources et l'origine des pathogènes bactériologiques dans l'eau :</b> .....	<b>73</b>
<b>9.3 Les Impacts des Maladies a transmission hydrique sur la sante humaines :</b> .....	<b>74</b>
<b>10.Le risque de salinité :</b> .....	<b>74</b>
<b>10.1 Evolution temporelle de la salinité :</b> .....	<b>74</b>
<b>10.2. Diagramme de Richards.....</b>	<b>75</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>77</b>
<b>Conclusion générale et recomandatio.....</b>	<b>78</b>
<b>Les Annex</b>	
<b>Résumé.</b>	

# Liste des figures

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Carte géographique de la région de Ksar Chellala .....	3
<b>Figure 2:</b> Carte de la situation administrative de la daïra de Ksar Chellala .....	4
<b>Figure 3:</b> Les Carte morphométrique de la daïra de Ksar Chellala.....	5
<b>Figure 4:</b> Carte d'occupation du sol de la daïra de Ksar Chellala .....	7
<b>Figure 5:</b> situation géographique des monts de la région de Chellala. (Caratini,1970).....	9
<b>Figure 6:</b> Log stratigraphique synthétique de la région de Taguine.....	12
<b>Figure 7:</b> Schéma structural des Monts de Challala-Reibell (Caratini, 1970). .....	14
<b>Figure 8:</b> Localisation de l'anticlinal principal .....	15
<b>Figure 9:</b> Coupe à travers le Djebel Ben Hammade (Caratini, 1970). .....	16
<b>Figure 10 :</b> Coupe à travers l'anticlinal de Ben Hammade (Caratini 1970). .....	17
<b>Figure 11:</b> Coupe à travers le Kef Serguine et le Djebel Kradou (Caratini, 1970). .....	18
<b>Figure 12:</b> Représentation des précipitations moyennes mensuelles la station.....	22
<b>Figure 13:</b> Variation des précipitations moyennes saisonnières la station de ksar chellala ....	23
<b>Figure 14:</b> Variation des vents mensuel et annuel la station de ksar chellala (1990-2016). ....	24
<b>Figure 15:</b> Diagramme des variations de Températures moyennes mensuelles minimales et maximales la station de ksar Chellala .....	26
<b>Figure 16:</b> présentation graphique des Variation de l'humidité mensuelle (1990-2016).....	27
<b>Figure 17:</b> histogramme valeurs mensuelles de l'évaporation (1990-2016). .....	28
<b>Figure 18:</b> Climagramme d'EMBERGER des stations de ksar chellala (1990-2016). .....	30
<b>Figure 19:</b> Diagramme ombrothermique pour la station de ksar Chellala .....	31
<b>Figure 20:</b> Log stratigraphique synthétique de la région d'étude .....	38
<b>Figure 21:</b> Carte des sous bassins versants de la zone d'étude .....	40
<b>Figure 22:</b> localisation des forages d'eau destiner à l'AEP ksar chellal .....	43
<b>Figure 23:</b> Carte du réseau hydrographique de la Daira de Ksar Chellala. <b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
<b>Figure 24:</b> Positionnement des sondages électriques et des forages d'étalonnage .....	44
<b>Figure 25:</b> Echelle des résistivités.....	46
<b>Figure 26:</b> Carte de la résistivité apparente pour AB = 1400 m. ....	47
<b>Figure 27:</b> Pseudo-sections et coupes géo électriques K et P00 .....	49
<b>Figure 28:</b> Carte de la profondeur du toit de l'Albien .....	50

## **Liste des figures**

---

<b>Figure 29</b> : Carte de la profondeur du toit de l'Albien .....	<b>51</b>
<b>Figure 30</b> :Histogramme des résultats de Température (°C) des points de prélèvement	<b>61</b>
<b>Figure 31</b> :Histogramme des résultats de pH des points de prélèvement. ....	<b>62</b>
<b>Figure 32</b> :Histogramme des résultats de conductivité électrique (CE).....	<b>63</b>
<b>Figure 33</b> :Histogramme des résultats de Turbidité des points de prélèvement. ....	<b>64</b>
<b>Figure 34</b> :Histogramme des résultats de Salinité des points de prélèvement. ....	<b>64</b>
<b>Figure 35</b> :Histogramme des résultats de Calcium des points de prélèvement. ....	<b>65</b>
<b>Figure 36</b> :Histogramme des résultats de Magnésium (mg/l) des points de prélèvement .....	<b>66</b>
<b>Figure 37</b> :Histogramme des résultats de Fer (mg/l) des points de prélèvement. ....	<b>67</b>
<b>Figure 38</b> :Histogramme des résultats de Bicarbonates (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) des points de prélèvement.	<b>68</b>
<b>Figure 39</b> :Histogramme des résultats de Chlorures (mg/l) des points de prélèvement.....	<b>69</b>
<b>Figure 40</b> :Histogramme des résultats de Sulfates (mg/l) des points de prélèvement .....	<b>70</b>
<b>Figure 41</b> :Histogramme des résultats de nitrate des points de prélèvement. ....	<b>71</b>
<b>Figure 42</b> :Histogramme des résultats de nitrate des points de prélèvement. ....	<b>72</b>
<b>Figure 43</b> :Histogramme des résultats de Nitrites (mg/l) des points de prélèvement. ....	<b>73</b>
<b>Figure 44</b> :Histogramme des résultats de Phosphates des points de prélèvement .....	<b>74</b>
<b>Figure 45</b> :Histogramme des résultats de résidu sec des points de prélèvement.....	<b>75</b>
<b>Figure 46</b> :Le diagramme de Piper des eaux souterraines de la région de ksar Chellala.....	<b>76</b>
<b>Figure 47</b> :Le diagramme de Schoeller Berkaloff des eaux souterraines de ksar Chellala.....	<b>77</b>
<b>Figure 48</b> :Le diagramme de Wilcox .....	<b>82</b>



## *Listes des tableaux*

---

### Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Les caractéristiques de la station de ksar Chellala (1990-2016). .....	<b>21</b>
<b>Tableau 2:</b> Les Précipitations moyennes mensuelles mm de station.....	<b>22</b>
<b>Tableau 3:</b> régimes saisonniers des précipitations de la station de ksar chellala .....	<b>22</b>
<b>Tableau 4:</b> variation des vents mensuel et annuel la station de ksar Chellala .....	<b>24</b>
<b>Tableau 5:</b> Température moyennes, maximaux et minimums mensuelles la station .....	<b>25</b>
<b>Tableau 6:</b> Variation de l'humidité mensuelle (1990-2016) de station .....	<b>27</b>
<b>Tableau 7:</b> Limite des climats d'après l'indice climatique de De Martonne.....	<b>29</b>
<b>Tableau 8:</b> le bilan hydrique pour La station de ksar Chellala .....	<b>35</b>
<b>Tableau 1:</b> Sondage étalon O4.....	<b>45</b>
<b>Tableau 2:</b> Sondage étalon O9.....	<b>46</b>
<b>Tableau 1:</b> classification de qualité d'eau par la dureté.....	<b>71</b>
<b>Tableau 2:</b> Résultats des paramètres bactériologiques des eaux souterraines de la région de Ksar Chellala.....	<b>77</b>
<b>Tableau 3:</b> signification de la présence de pathogène .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Tableau 4:</b> Classes de salinité selon Richards .....	<b>79</b>
<b>Tableau 5:</b> Classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation .....	<b>80</b>

**Liste des abréviations**

**S.A.U** : Surface agricole utile

**S.A.T** : Surface agricole totale

**m** : mètre

**s** : seconde

**°C** : degré Celsius

**ADE** : Algérienne des eaux.

**BH**: Bilan Hydrique

**CE** : Conductivité électrique.

**K** : coefficient d'ajustement de la latitude

**Cl** : Chlorures.

**cm<sup>2</sup>** : centimètre carré.

**Def** : déficit agricole en (mm)

**E.D.T.A** : éthyle diamine tétra Acétique.

**ETP** : évapotranspiration potentielle du mois.

**ETR** : évapotranspiration réelle.

**EXC** : excédent en (mm)

**F** : Facteur de correction du titre d'AgNO<sub>3</sub>.

**Fe<sup>+</sup>** : Fer.

**HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : Carbonates d'hydrogène.

**HVE** : Hépatite virale E.

**I** : infiltration

**IT** : indice thermique

**L** : pouvoir évaporant, est une limite vers laquelle tend l'ETR lorsque P devient grand.

**M** : Température moyenne maximale.

**Mg<sup>2+</sup>** : Magnésium.

**m** : Température moyenne minimale.

**mg** : Milligramme

**mg/l** : milligramme par litre.

**µg /l** : microgramme par litre.

**mn** : minute.

**ml** : millilitre.

**mm** : millimètre.

**N** : normalité.

**NTU** : Unité de Turbidité Nephelométrique.

**NH<sub>4</sub><sup>+</sup>** :Azote Ammoniacal.

**NO<sub>2</sub><sup>-</sup>** : Nitrites.

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : Nitrates.

**OMS** : organisation mondiale de la santé.

**P** : hauteur annuelle de pluie en mm.

**pH** : potentiel d'hydrogène.

**PO<sub>4</sub><sup>-</sup>** : Phosphates.

**Q<sub>2</sub>**: Quotient Pluviothermique.

**q.s.p** : Quantité suffisante pour

**R** : ruissellent.

**RFU** : réserve facilement utilisable

**R.S** : Résidu sec.

**SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>** : Sulfates.

**T** : Température

**TDS** : Taux des solides dissous.

**TH** : Titre hydrométrique.

**l** : Litre.

**SAR** : Sodium Adsorption Ratio

**µS /cm** : Micro Siemens par centimètre

**h** : heure.

**λ** : longueur d'onde.

# **Introduction générale**

# Introduction générale

---

## Introduction générale

L'eau est un élément indispensable pour la vie et pour le développement socio-économique réel et durable d'un pays, Dans les conditions naturelles, l'eau souterraine est généralement potable et nécessite quasiment pas de traitement avant la distribution et l'utilisation. La bonne qualité de l'eau est le résultat de la protection des sols et des roches dans la zone non saturée au-dessus de la nappe phréatique. Ils filtrent les bactéries et protègent les eaux souterraines des contaminants en surface. Mais l'entrée massive de polluants générés par l'agriculture moderne, l'industrie et le manque d'installations d'assainissement peut dépasser la capacité de la zone non saturée à filtrer les contaminants et protéger les eaux souterraines. Une fois la nappe souterraine est polluée, la décontamination est une tâche très coûteuse et de longue durée. En raison du très long décalage qui pourrait avoir lieu avant qu'un impact de la pollution sur la ressource soit perceptible, Le phénomène de la pollution contribue de façon considérable à la limitation des ressources en eau potable. La dégradation de l'état de l'eau de consommation a différents impacts directs ou indirects sur la santé des populations humaines en contact avec cette eau.

Afin de protéger la santé du consommateur, nous sommes en train d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux souterraines, en prélevant des échantillons d'eau de puits dispersés au niveau de la zone d'étude et en l'analysant avec une analyse physico-chimique et bactériologique, en déterminant le type de polluant présent, en extrayant sa source et en limitant sa propagation.

### **Le premier chapitre : présentation de la zone d'étude :**

Aperçu sur la Situation administrative et géographique de la zone d'étude et leurs communes et Le secteur économique de la région ksar Chellala

-Présentation de cadre géologique et stratigraphique régionale et locale.

### **Le deuxième chapitre : cadre Climatologique :**

Nous sommes basés sur les données climatiques de la période (1990-2016) source la station climatologique de ksar Chellala.

### **Le troisième chapitre : Cadre Hydrogéologique :**

•Hydrogéologie générale et locale (les puits, les forages, les piézomètres).

Les sources hydriques l'alimentation de bassin versant d'oued touil Système aquifère.



# Introduction générale

---

- Approche géophysique

**Le quatrième chapitre :** cadre Hydro chimique :

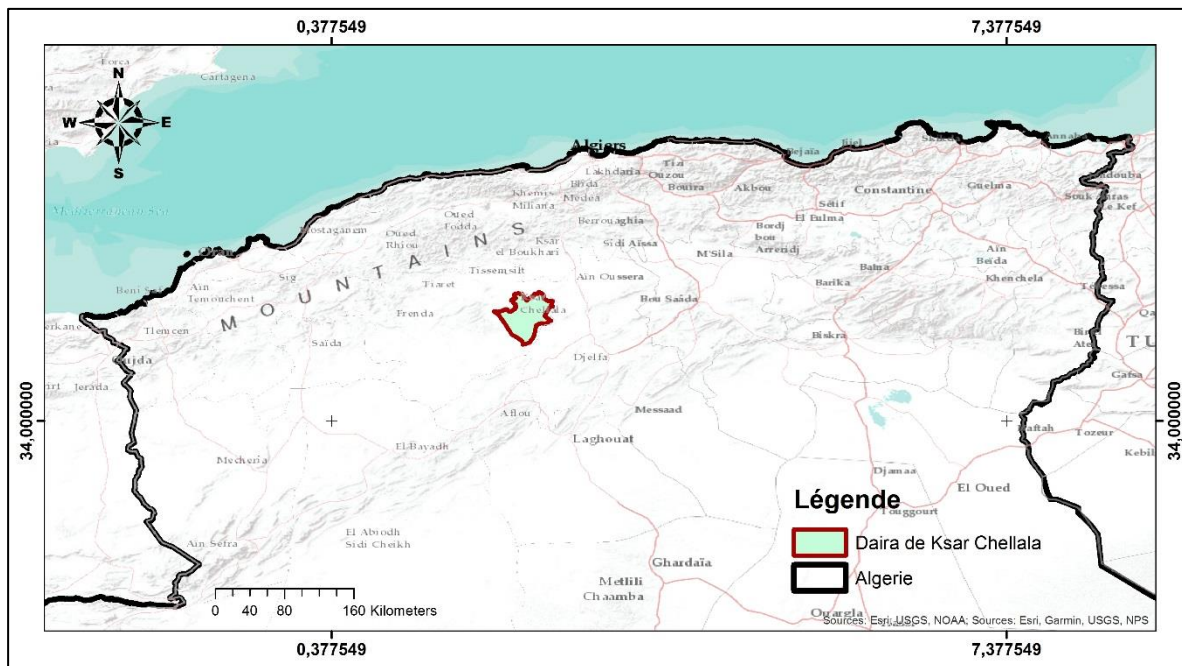
- évaluation des résultats d'analyse physico-chimiques et bactériologique des forages et des puis propager dans notre zone d'étude

# **Chapitre I : Présentation de la zone de Ksar Chellala**

## 1. Cadre géographique général de la zone d'étude :

### 1.1. Situation géographique de Ksar Chellala :

La région de Ksar Chellala est située au nord de l'Algérie, au cœur des hautes plaines algériennes présentant un haut plateau à des altitudes variant entre **700 et 900m (Figure 01)**. Elle est limitée naturellement par l'Atlas Tellien au nord et les chaînes montagneuses de l'Atlas Saharien au sud. Localement la Daïra de Ksar Chellala se situe à **116 Km** à l'Est de la Wilaya de Tiaret (**Figure 02**), entre les latitudes nord **35°08'** et **35°14'** et les longitudes est **2°22'** et **2°32'**.



**Figure 01 : Carte de situation géographique de la région de Ksar Chellala**

### 1.2 Situation administrative de la région d'étude :

La Daïra de Ksar Chellala regroupe les communes suivantes (**figure 2**) :

- ❖ La commune de Z' Malet El Emir Abdelkader ;
- ❖ La commune de Serguine ;
- ❖ La commune de Ksar Chellala (Chef-lieu).
- La commune de Ksar Chellala est située à 120 km au sud-est du chef-lieu de la wilaya de Tiaret. Elle est limitée administrativement par :
  - La wilaya de Djelfa au nord ;
  - La commune de Rechaigà à l'ouest ;
  - La commune de Z' Malet el Emir Abdelkader au sud ;
  - La commune de Serguine au sud-est.

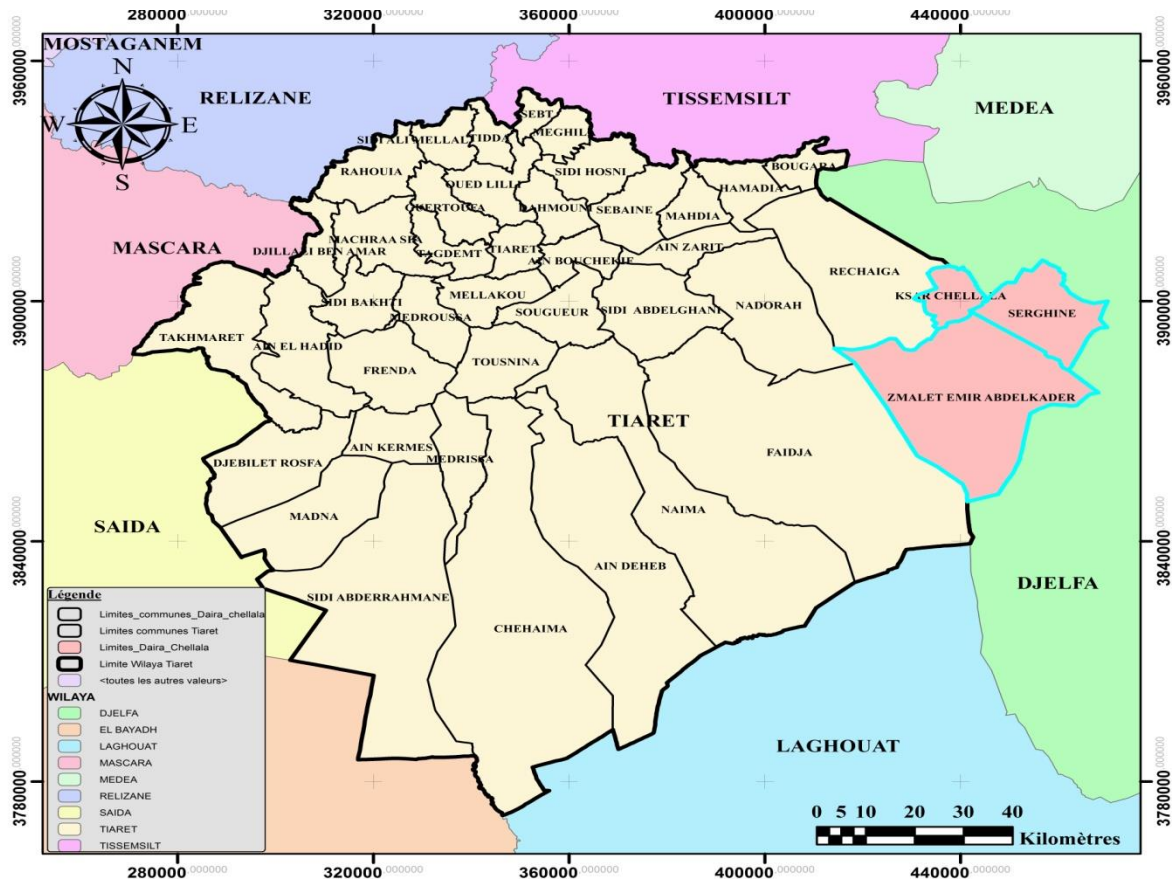


Figure02 : Carte de la situation administrative de la daïra de Ksar Chellala

### 1.3 Population de la région de Ksar Chellala :

La population de la Daïra de Ksar Chellala compte de **76 765 habitants** en **2018**. Cette population est répartie sur les trois communes.

Le chef-lieu de la Daïra (**la ville de Ksar Chellala**), avec près de **52 733 habitants** présente une forte densité de la population qu'était estimée à **67 %** en **2016**(daïra de Ksar Chellala).

### 2. Caractéristiques morphométriques :

Pour bien mener cette étude, nous avons utilisé un modèle numérique de terrain **ASTER (Advanced Space borne Thermal Emission and Reflection Radiometer)** d'une résolution spatiale de **30m** qui nous a permis de créer au moyen d'un **SIG (ArcGIS)** les cartes de : pente et d'altitude (**Fig.3**).

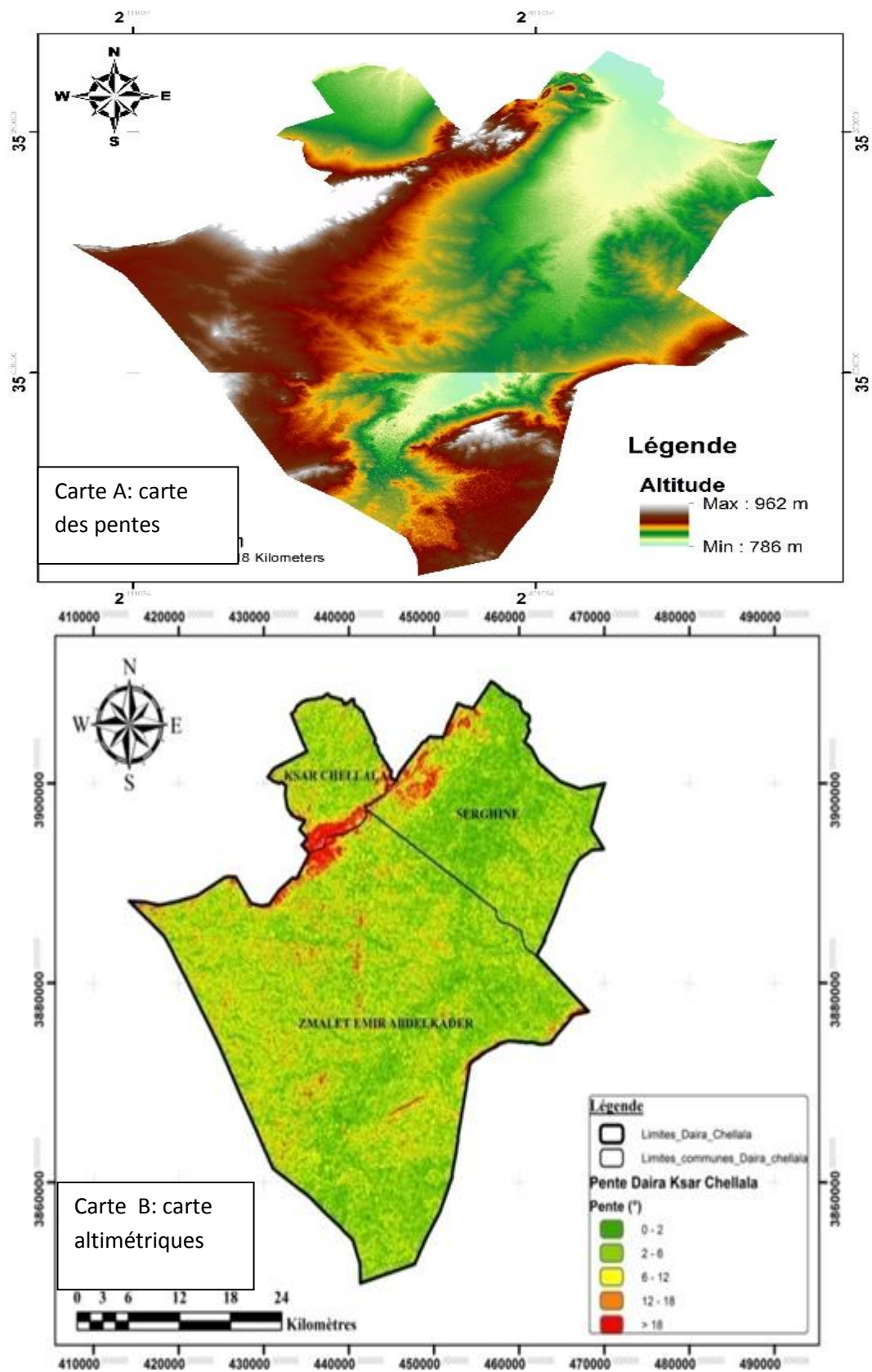


Figure 03 : Les Carte morphométrique de la daïra de Ksar Chellala.



La région d'étude présente des reliefs mollement ondulés, vers le nord-ouest et le sud-est, constituant donc un sous bassin versant orienter sud-ouest nord-est(**Oued Touil**), dont l'exutoire est implanté au nord de la zone d'étude (**Figure 3**).

Les hautes altitudes se localisent aux alentours de la zone d'étude. Elles présentent des valeurs maximales dépassant **950m** au niveau des sommets des Montagnes.

### **3. Occupation du sol :**

#### **3.1 La végétation :**

Comme toutes les steppes, la zone d'étude se caractérise par une formation végétale basse composée d'espèces herbacées adaptées à la sécheresse, disposée en touffes plus ou moins espacée.

D'après les études effectuées dans la zone du projet sur la dynamique de la flore entre les années **1980 et 2004**, la végétation naturelle est composée d'environ **28 catégorie** dont **11 pérennes** et **17 espèces annuelles**, représentant plus de **90%** du couvert végétal de la steppe et couvre près de **72 %** du sol **en 2004**.

Ce couvert végétal a enregistré une évolution positive entre **1980 et 2004**

Au niveau des espèces pérennes, leur contribution est passée de **30%** en **1980** à **62.4 %** en **2004**, avec une évolution importante de leur couverture spatiale qui est passée de **2.7%** à **42 %**. Parmi les espèces importantes ayant connu une évolution notable *Poabulbosa*, *Stipa parviflora* (**25.6 %**) ,*Sisymbiumtorilosum* (**9.65 %**) et *Resida alba*(**8 %**), nouvelle apparition, auxquelles s'ajoutent des espèces relativement stables telles que *Artimisia Herba Alba* (**6 à 6.5 %**) ; La contribution des espèces annuelles a connu une régression notable entre 1980 et 2004, passant de près de **60 %** en **1980** à **30 %** en **2004**.

En revanche leur couverture spatiale a progressé significativement, en passant de **5 %** à **30%**. Ceci est probablement dû au développement de certaines espèces, telles que *Anacyclisvalentinus*, *Medicagospp*.et *Malvasylvestris* et l'apparition de *l'Hordeummurinu*(**Hadj Mohamed, 2016**)

#### **3.2 L'agriculture**

La région de Ksar Chellala présente une agriculture caractéristique des zones steppiques algériennes (**Figure 4**). Cette agriculture est basée sur les grandes cultures (**orge et blé**) qui occupe des grandes surfaces dans la région L'arboriculture fruitiers est représentée uniquement par l'abricotier localisé autours des fermes.

Les cultures maraîchères sont assez variées (**pomme de terre, pastèques, carottes, fèves, petit-pois**).

La réalité Agricole de la région d'étude peut être appréhendée sur la base des données suivantes :

- La superficie agricole totale est de 12429 ha, répartie comme suit :
  - ❖ **Surface agricole utile (S.A.U) : est de 6633 ha, représente 53.37 % de la surface Agricole totale (S.A.T).**
  - ❖ **Surface agricole utile (S.A.U) Irrigué : est de 446 ha.**
- Terres Improductives : d'une Superficie égale à **5796 ha**, tel que les parcours et pacage occupent une surface de **3082 ha**.
- Les terres forestières : couvrent que **200 ha** ; d'où la dégradation de ce domaine. En plus de son rôle écologique, la forêt a un patrimoine économique appréciable : Fourniture de matière bois, culture apicole, et constitution d'endroit récréatif et de détente (Zitouni M,2017)(Fig. 4).

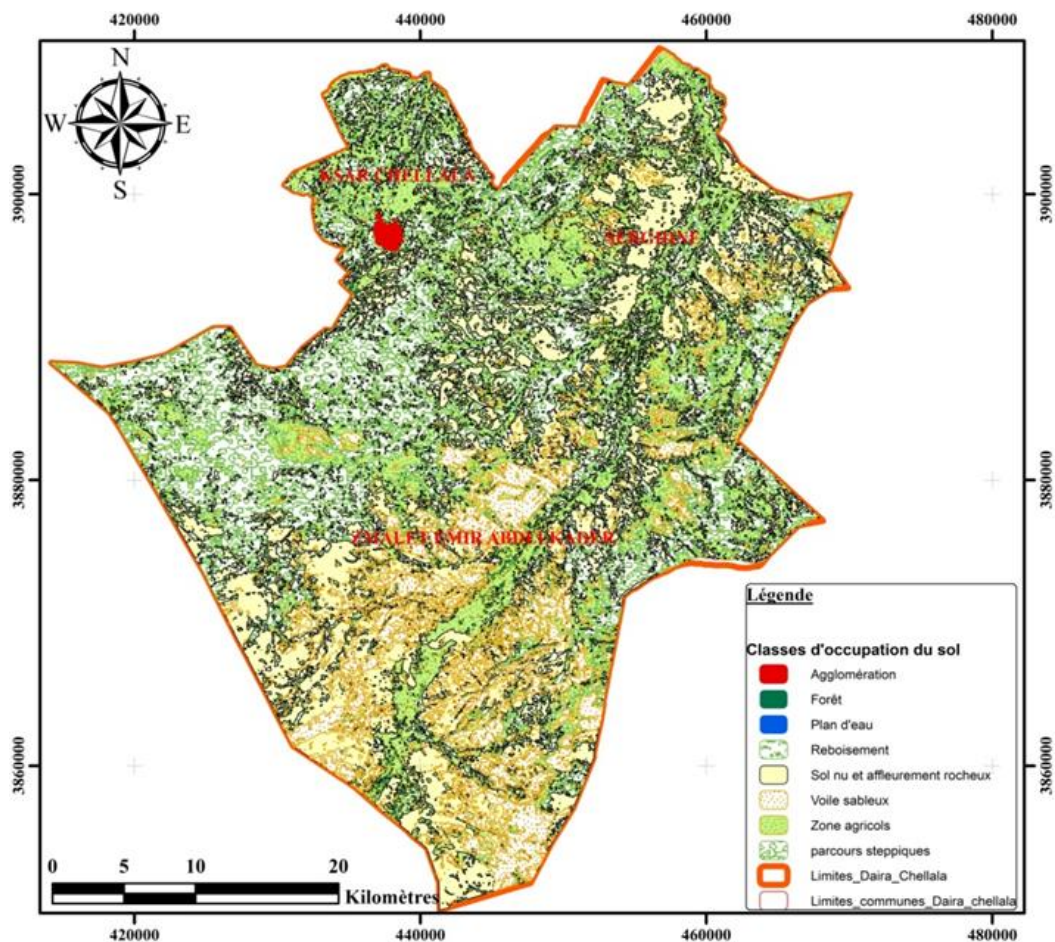


Figure 04 : Carte d'occupation du sol de la daïra de Ksar Chellala

Comme la majorité des espaces steppiques en Algérie, la région de Ksar Chellala connaît des dégradations continues de ses patrimoines causés par

- Le surpâturage entraînant un phénomène de désertification de la zone, qui s'amplifie dans le temps.
- L'extension de la céréaliculture, sans politique d'irrigation et de fertilisation des sols réduisant leur valeur agronomique.
- Les paramètres climatiques tels que la sécheresse, le froid et gel ayant une action néfaste sur les terres et le cheptel.

#### **4. Cadre géologique :**

##### **4.1. Géologie régionale de Ksar Chalala :**

Les hautes plaines oranaises présentent une structure tabulaire bien nette dans tout l'Oranais et le Sud du Sersou, elles constituent un vaste ensemble, large **de 100 à 150km** et allongé du Sud-Ouest au Nord-Est. La couverture sédimentaire est marquée par terrains Jurassiques et Crétacés surmontés par des dépôts du Plio-Quaternaire (**Ammari. H , M. Touaher. 2017**) (**Figure 5**).

Malheureusement, les études géologiques dans notre région d'étude ne sont pas détaillées. Il n'existe pas une carte géologique à grande échelle. Pour ces raisons nous avons eu recours aux travaux de **R. Carpoff (1950)**, **Caratini (1970)**, **Auclaire et Biehler (1965)**, **Atrops et Benest (1982 et 1985)** et **Regagda (2016)**.

La région de Chellala appartient au domaine des hauts plateaux, présente une géologie complexe. La couverture Plio-Quaternaire a toujours été un obstacle pour les travaux géologiques dans cette région, ce qui justifie l'indisponibilité d'une carte géologique locale.

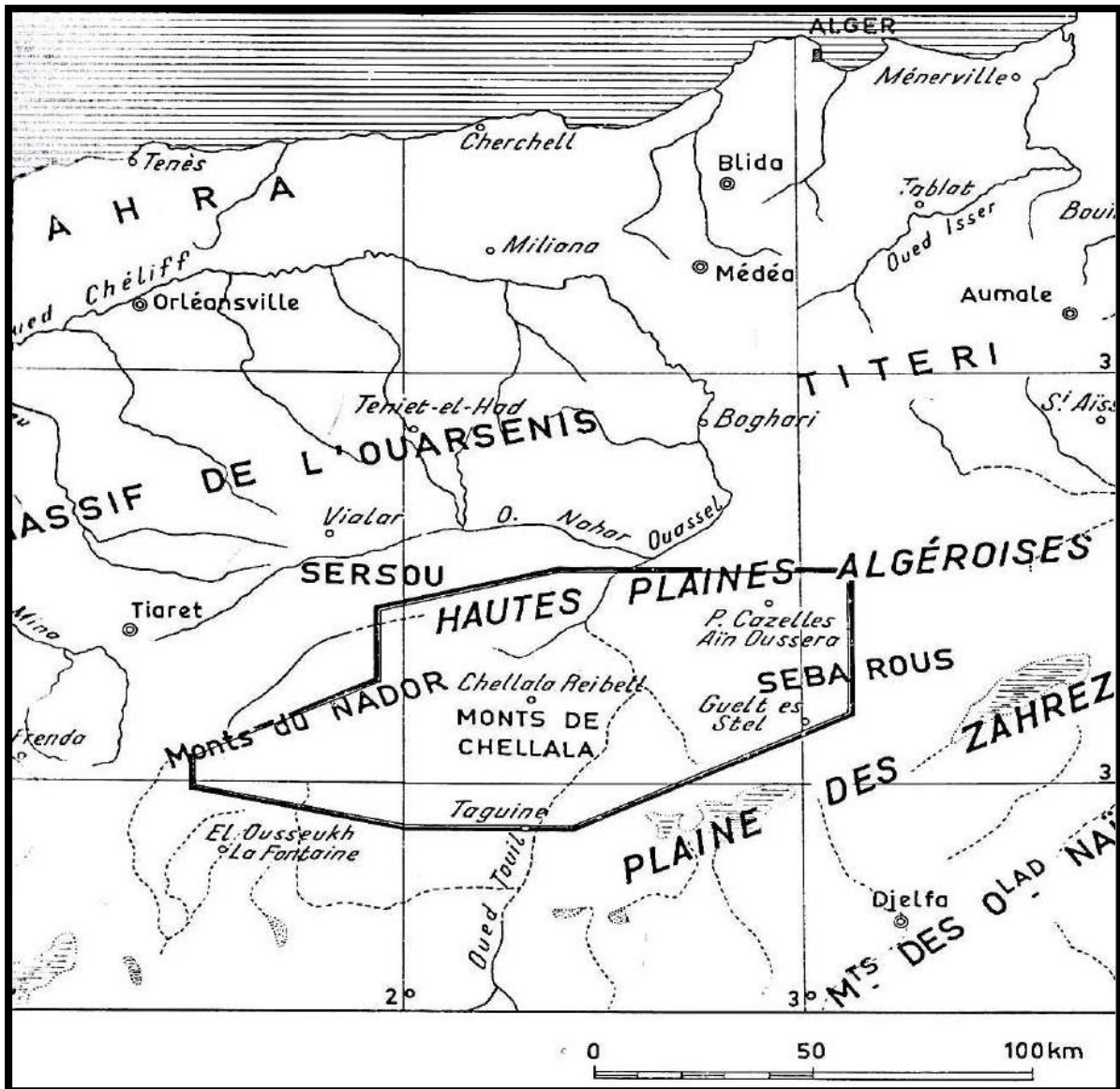


Figure 05 : Situation géographique des monts de la région de Chellala. (Caratini, 1970).

#### 4.2. Litho-stratigraphie des Monts de Ksar Chellala :

Les travaux de CARATINI (1970) restent comme la seule référence dans l'étude géologique de la région de Ksar Chellala. Ces travaux ont permis de mettre en évidence la succession stratigraphique suivante :

##### 4.2.1. Trias :

Il est marqué généralement par des diapirs affleurant au SW des Monts de Chellala. Ils sont formés par des matières plastiques (gypse, sels, argilites) et des dolomies.

#### 4.2.2. Jurassique

➤ **Dogger**

Le Dogger affleure près de Ksar Beni Hammad, il est matérialisé par des calcaires à silex.

➤ **Callovien supérieur-Oxfordien inférieur et moyen**

Il s'agit d'une formation matérialisée par l'installation de marnes argileuses, gréseuses et grès verts. Cette formation n'apparaît pas entièrement dans des mauvaises conditions dont l'épaisseur n'est pas possible à préciser.

➤ **Oxfordien terminal**

Il est d'une épaisseur de 150m environ, subdivisé en ;

- Formation marno-calcaire gris bleu fossilifère ;
- Formation argilo-gréseuse verte, pauvre en fossile.

➤ **Kimméridgien inférieur**

Il est représenté de bas en haut par ;

- ❖ Grès marneux dolomitisé ;
- ❖ Bancs de calcaires dolomitisés ;
- ❖ Grès plus ou moins marneux.

➤ **Tithonique-Berriasien-Valanginien**

Ce sont des dépôts carbonatés (calcaires et dolomies) marquant le passage Jurassique-Crétacé sans variation dans les conditions de sédimentation. Ce passage ne présente aucune valeur stratigraphique, il est essentiellement lithologique.

#### 4.2.3. Crétacé

➤ **Crétacé inférieur**

Il est essentiellement gréseux et occupé par des terrains allant du Valanginien jusqu'à l'Albien, Il est matérialisé par des grès, dolomie gréseuse et des argiles gréseuses.

➤ **Crétacé supérieur**

Il débute par des calcaires jaunes et des marnes qui passent vers le sommet à des grès et des marnes gréseuses du Cénomaniens inférieur.

➤ **Formation « nummulitique » (post tectonique)**

Ce sont essentiellement des formations détritiques continentales. On peut distinguer :

- ❖ Conglomérats à galets de dolomie trithonique.
- ❖ Formation des grés de Teniet El Hamra.
- ❖ Formation des argiles rouges du Koudiat EL Aldjoun.

#### 4.2.4 Le Néogène

➤ **Miocène inférieur marin**

Il est représenté par des calcaires gréseux jaunes transgressifs et discordants sur les terrains sous-jacents. Les affleurements miocènes de la région de Chellala sont les plus méridionaux connus en Algérie à cette latitude.

➤ **Dépôts continentaux post-miocène**

Ils sont représentés par des alluvions modernes, des accumulations de piedmonts, des croûtes calcaires et des argiles gréseuses jaunes.

#### 4.3. Log stratigraphique :

Les indices stratigraphiques sont les quelques affleurements et les ouvrages réalisés dans ksar chellala. L'ouvrage le plus profond atteint les 1200 m. C'est à partir de ces indices qu'on a fait une synthèse litho-stratigraphique de la région. (In Rakrak H. et Khiati S., 2017). (Figure 06)








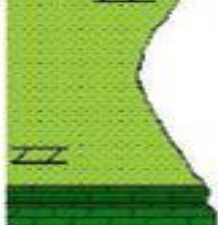



Formation	Log systématique	Epaisseur (m)	Lithologie
Quaternaire- miocène		25	Argiles, calcaire marneux
Turonien		175	Calcaire massifs très blancs à silex dolomitiques
Cénomanién		170 à 500	Marne, marno-calcaire, calcaires massifs dolomitique alternant  Marne, gypse Calcaire crayeux, blancs
Albien		300	Grés continentaux, Argile
Aptien		250	Calcaires dolomitisé, marno-calcaires et grés.
Barrémien		400	Grés marneux avec des blocs de dolomie.
Néocomien		130 à 220	Dolomies marne, calcaire à lumachelle.
Portlandien		250 à 340	Calcaire oolithiques Marne grés Marne argile, grés rouges
Kimméridgien		140 à 400	Dolomies, grés, marne, calcaire

Figure 06 : Log stratigraphique synthétique de la région de Taguine.

## 5 Aspect structural des Monts de Chellala :

Les Monts de Chellala-Reibell possèdent une structure complexe qui peut se schématiser selon les grands traits ci-dessous (Figure. 7) :

- Un accident important, «**la zone faillée de Reibell** », allongé suivant une direction N 55°E (**direction atlasique**) sépare les deux domaines suivants une structure très différentes (Caratini,1970) :
- Au Sud, l'anticlinal principal, également allongé selon la direction atlasique, possède une structure relativement simple, à l'exception de ses extrémités ;
- Au Nord, une région beaucoup moins tectonisée où les plissements principaux ont une direction approximative N130° E.

Les extrémités de l'anticlinal principal nous ont permis de mettre en évidence, qu'à l'Est, la région de Serguine nous fait assister à la disparition brutale des terrains jurassiques alors qu'à l'Ouest, une zone complexe sépare le massif de Ben Hammade de l'extrémité orientale du Djebel Nador, le Djebel Koudia

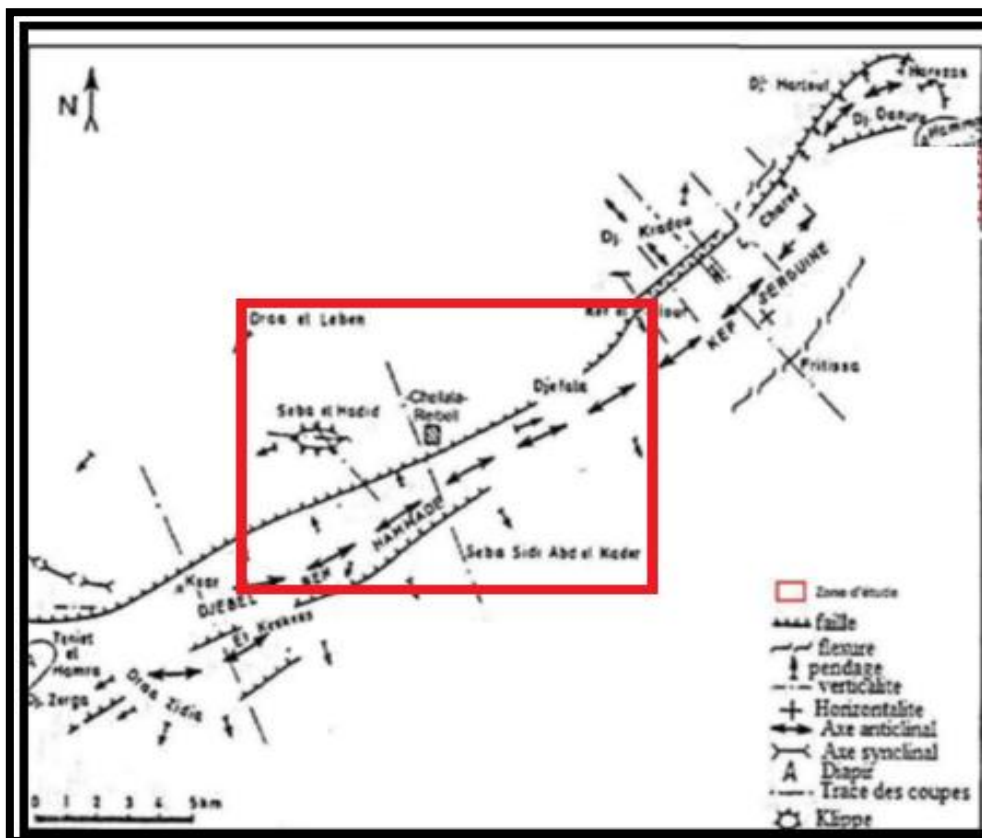


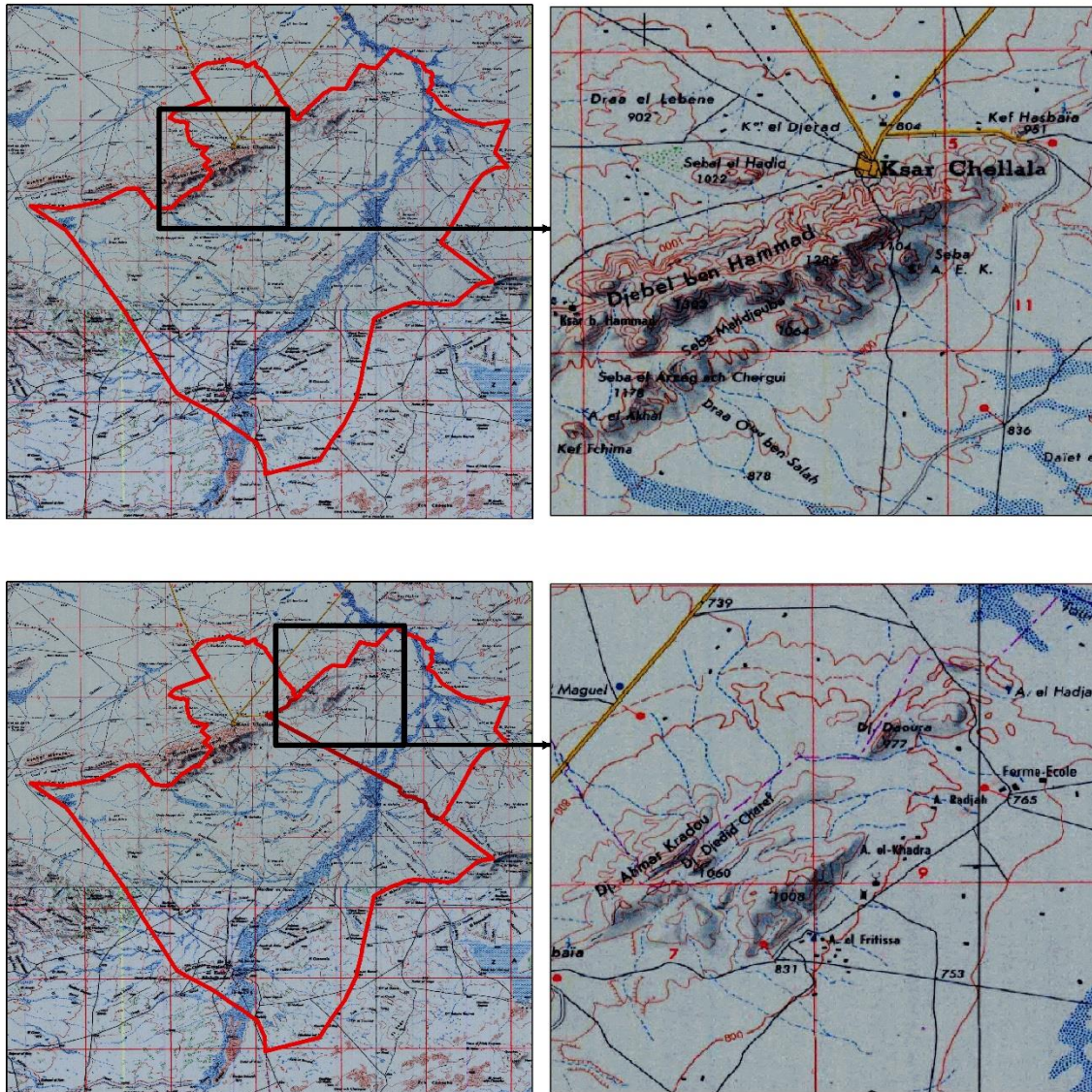
Figure 07 : Schéma structural des Monts de Chellala-Reibell (Caratini, 1970).

### 5.1 L'anticlinal principal :



L'anticlinal principal peut se diviser longitudinalement en deux ensembles structuraux distincts que sépare la région topographiquement déprimée au Sud de Djefala (**Figure 8**) :

- ❖ Le Djebel Ben Hammad à l'Ouest ;
- ❖ Le Djebel Serguine à l'Est.



**Figure 08 : Localisation de l'anticlinal principal**

### 5.1.1 Le Djebel Ben Hammad ;

La structure de ce massif est relativement simple, dans sa partie centrale, on doit distinguer du Nord au Sud ;

- ❖ Un anticlinal dont la culmination subhorizontale étendue fait penser aux anticlinaux coffrés du Jura ou à ceux décrits par (G.B.M. FLAMAND(1911)) dans l'Atlas saharien sud-oranais. Quelques irrégularités apparaissent dans la structure

aux approches de la grande faille de Reibell et à son extrémité ouest où l'axe s'infléchit vers le Nord. - la faille du Djebel el Keskes, suivant presque toute la longueur de l'anticlinal, verticale, non rectiligne, surélève le compartiment sud de 300 m au maximum. Cette faille s'amortit très rapidement à ses deux extrémités

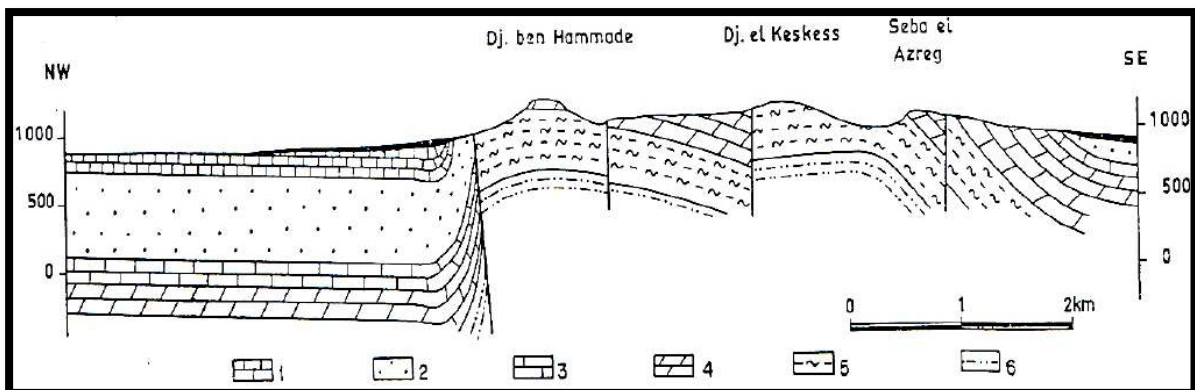
- ❖ Le flanc sud, très régulier dans sa partie la plus méridionale, montre quelques cassures dans sa région moyenne.

Il faut noter que la direction des failles principales est toujours plus ou moins identique, comprise entre **N50° E et N55° E**, et que le mouvement relatif des failles contribue toujours à abaisser le compartiment septentrional.

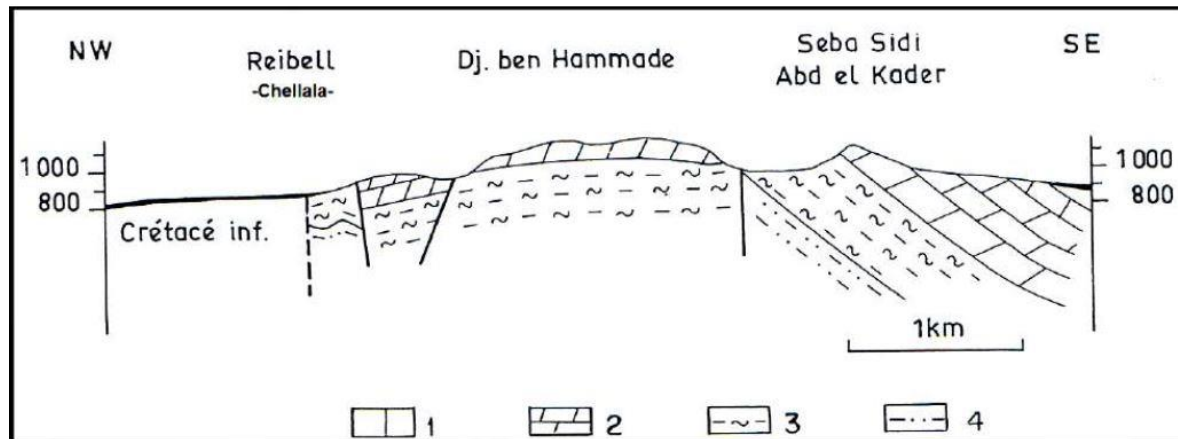
On doit également insister sur une flexure très brusque bien visible à El Keskes amenant à l'horizontale des terrains qui plus au Sud sont inclinés **de 40 à 50°**.

Au Sud-ouest, le Djebel Ben Hammade se termine par un dispositif périclinal assez régulier, en Keffchima et Draa Zidia, où on note cependant une faille radiale (**Fig.9 et 10**). Au-delà, commence une zone très complexe, l'extrémité occidentale du massif de Chellala-Reibell.

Au Nord-est, dans la région de Djefala, l'axe du Djebel Ben Hammade plonge lentement. Cet enfoncement entraîne de nombreuses irrégularités de dimensions réduites, le plus souvent difficiles à mesurer en raison de la nature dolomitique des terrains qu'elles affectent et du recouvrement Miocène.



**Figure09 : Coupe à travers le Djebel Ben Hammade (Caratini, 1970).** (1) : Crétacé supérieur ; (2) : Néocomien à Albien ; (3) : Berriasien-Valangien ; (4) : Tithonique ; (5) : Oxfordien-Kimméridgien inférieur ; (6) : Callovo-Oxfordien.



**Figure 10 : Coupe à travers l'anticlinal de Ben Hammade (Caratini 1970).** (1) : Berriasien-Valangien ; (2) : Tithonique ; (3) : Oxfordien-Kimméridgien inférieur ; (4) : Callovo-Oxfordien.

### 5.1.2 La dépression au Sud de Djefala :

Séparant le Djebel Ben Hammade du Kef Serguine, s'étend une région dont la tectonique est difficile à déchiffrer.

En effet, la dépression au Sud de Djefala est presque entièrement occupée par des calcaires, des marnes et des grès miocènes, subhorizontaux. Bien que ce Miocène empêche d'observer la structure des terrains qu'il recouvre, il ne semble pas que cette dépression topographique corresponde à un ensellement de l'axe anticlinal puisque :

- ❖ D'une part, les dolomies tithoniques sont, à l'Est et à l'Ouest, subhorizontales et à un niveau sensiblement identique,
- ❖ D'autre part, les affleurements de la formation marno-calcaire de Fritissa, se prolongent jusqu'au Sud de cette dépression.

Il est possible qu'un accident transversal existe. La complexité tectonique du col de Djefala et le non-alignement des affleurements de l'extrémité occidentale de la formation marno-calcaire de Fritissa avec ceux du même âge recouvrant le flanc méridional du Seba Sidi Abd el Kader, constituent en effet des arguments non négligeables.

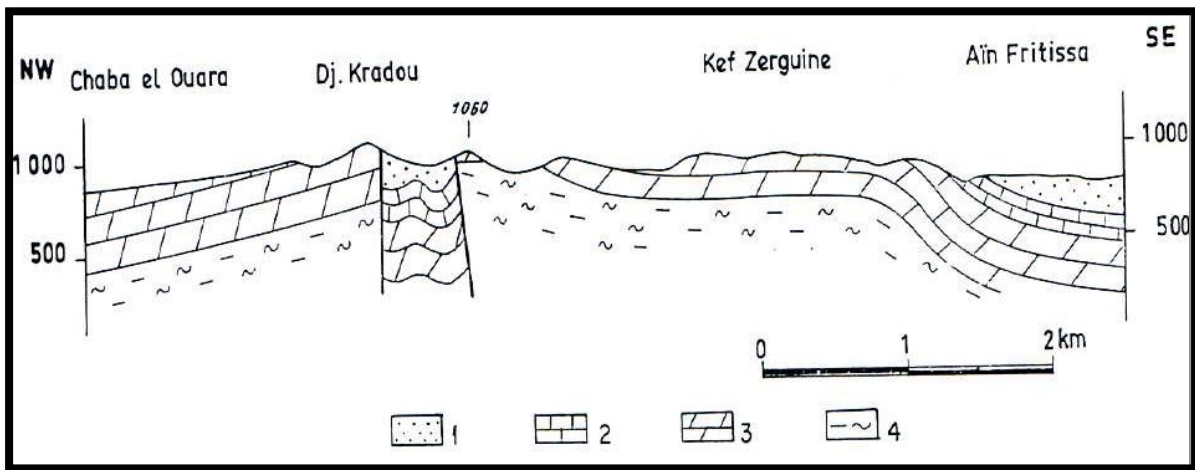
En résumé, la dépression au Sud de Djefala est probablement le résultat de l'érosion dont l'activité a pu être accrue par l'existence d'un accident oblique à l'axe de la structure générale.



### 5.1.3 Le Djebel Serguine :

Le Djebel Serguine apparait plutôt comme un replat situé dans le prolongement de l'anticlinal de Ben Hammad que comme un véritable pli anticlinal. Les assises, longtemps subhorizontales, se redressent plus ou moins contre la grande faille de Reibell (Chellala) au Nord, tandis qu'au Sud, une flexure brusque les amène à un pendage supérieur à 45°. Plus au Sud, une seconde flexure de concavité opposée, modifie à nouveau l'inclinaison des couches dont le pendage devient alors égal à quelques degrés vers le Sud (**Fig. 11**).

A l'Est, le Djebel Serguine est accidenté par la faille des sources Khradra-Serguine puis le Jurassique terminal et la base carbonatée du Crétacé disparaissent sous des terrains miocènes très peu déformés, avant d'affleurer à nouveau autour du Djebel Daoura.



**Figure 11: Coupe à travers le Kef Serguine et le Djebel Kradou (Caratini, 1970).** (1). Néocomien gréseux ; (2). Barriasien-Valangien ; (3). Tithonique ; (4). Oxfordien-Kimméridgien inférieur

Le système de faille entourant la région de Serguine-Daouraa pour effet d'isoler et de surélever la zone qu'elle entoure, réalisant une sorte de « **horsts** » surprenant par ses petites dimensions (**6 km<sup>2</sup>**), malgré un rejet observable de **300 à 500 m**.

En réalité le rejet doit être bien supérieur si l'on tient compte de la déformation que les terrains périphériques ont pu subir lors de l'ascension du horst. Même au Sud de l'extrusion triasique, on retrouve une faille analogue à celles ceinturant le « **horst** » puisque les dolomies Kimméridgiennes et tithoniques formant la cuesta de l'Ain el Morra entrent en contact avec la Formation des marnes argileuses de Fritissa qui appartiennent au Valanginien. (**M. Ammari H., M. Touaher, 2017**).

Seule la faille située au S du Djebel Daoura ne contribue pas à surélever le « **horst** ». Mais cette cassure, pour certaine qu'elle soit, s'observe mal et s'il est sûr que dans son ensemble, le

compartiment septentrional se trouve abaissé par rapport au méridional, leurs relations exactes sont difficiles à connaître et sont plus complexes qu'un mouvement d'effondrement. Il ne s'agit donc pas d'un horst typique, mais le terme, mis entre guillemets, a été utilisé pour bien montrer l'isolement tectonique de cette zone qui dans l'ensemble domine les terrains qui l'environnent.

Le « **horst** » lui-même s'est comporté un tout. On y observe en effet une quasi-absence de cassure. Pourtant tout est brusque dans sa structure :

- ❖ Que ce soit l'anticlinal séparant le Djebel Harlouf du Djebel Daoura, très pincé et dissymétrique ;
- ❖ Ou les variations de l'inclinaison du flanc nord de cet anticlinal : d'abord vertical au Djebel Harlouf, les pendages diminuent très vite vers l'Est où en quelques centaines de mètres ils deviennent inférieurs à  $20^\circ$  ; ils se relèvent ensuite et restent très régulièrement égaux à  $30^\circ$  dans tout l'Harezas qui malgré sa forte inclinaison et son court rayon de courbure n'est affecté d'aucune faille radiale ; le premier accident est situé près du Hammam Serguine.

Ainsi, sur près de **6 km**, de l'extrémité sud-ouest du Djebel Harlouf, jusqu'à la faille du Hammam Serguine, il n'existe aucun accident perpendiculaire à la structure périclinale. On ne peut expliquer de tels faits qu'en supposant le mouvement vertical secondaire et s'exerçant sur des terrains antérieurement plissés. Ceux-ci ont alors réagi en accentuant des structures probablement préexistantes, ce que traduit la brusquerie du style (**caratini, 1970**)

Le « **horst** » a dû être décollé de son substratum et c'est à la faveur de cette rupture qu'a pu se manifester le diapir triasique dont la direction inhabituelle (**N  $120^\circ$  E**) ne correspond à aucune cassure importante visible.

Notons que les terrains bordant l'extrusion ne sont pratiquement pas déformés par l'ascension des termes plastiques.

Il était nécessaire d'insister quelque peu sur la structure de la région de Serguine car elle représente un exemple particulièrement net de :

- ❖ La brusquerie du style tectonique ;
- ❖ L'existence possible de plusieurs phases successives ;
- ❖ Le rôle sans doute passif des masses plastique triasiques.

**Conclusion :**

Géographiquement notre zone d'étude fait partie de la steppe algérienne, située au cœur des hautes plaines algériennes présentant un haut plateau à des altitudes variant entre **700 et 900m**. Elle est limitée naturellement par l'Atlas Tellien au nord et les chaînes montagneuses de l'Atlas Saharien au sud.

La fragilité du sol lié à l'irrégularité du couvert végétal sont autant de facteurs qui favorisent le phénomène de l'érosion et de la sédimentation dans cette région. En effet, la zone d'étude se caractérise par une formation végétale basse composée par des espèces herbacées adaptées à la sécheresse

La région de Ksar Chellala appartient au domaine des hauts plateaux, présente une géologie complexe, dont l'essentiel des formations lithologiques sont d'âge Jurassique.

Sur le plan structural, les Monts de Chellala- ex Reibel peuvent se schématiser selon les grands traits ci-dessous :

La zone faillée de Reibel, allongé suivant la direction atlasique sépare les deux domaines suivants structuralement très différents (**Caratini,1970**) :

- ❖ Au Sud, l'anticlinal principal, également allongé selon la direction atlasique, possède une structure relativement simple ;
- ❖ Au Nord, une région beaucoup moins tectonisée où les plissements principaux ont une direction approximative **N130° E**.

## **Chapitre II: cadre climatologique**

**Introduction :**

L'étude des caractéristiques climatiques joue un rôle primordial dans la connaissance des comportements des cours d'eau, les variations des réserves, la compréhension des mécanismes d'alimentation et de la circulation des eaux naturelles. Elle permet également d'identifier les termes du bilan hydrique notamment les précipitations, les températures, l'évapotranspiration, le ruissellement et l'infiltration.

**1. Station de mesure :**

Pour notre étude climatologique on s'est basé sur les données climatiques récupérées au niveau de la station de Ksar Chellala sur une période de **27ans** allant de 1990 jusqu'à 2016. (Tableau 01)

**Tableau 01 : Les caractéristiques de la station de ksar Chellala (1990-2016).**

Nom de station	Longitude (X)	Latitude (Y)	Altitude(z)	Code
Ksar Chellala	2° 19' E	35° 10' N	800 m	10704

**2. Les facteurs climatiques :**

**2.1. Les précipitations :**

La pluie est un facteur climatique très important qui conditionne l'écoulement saisonnier et par conséquent le régime des cours d'eau ainsi que celui des nappes. (Hammoul M.A. et Dahri A. , 2015).

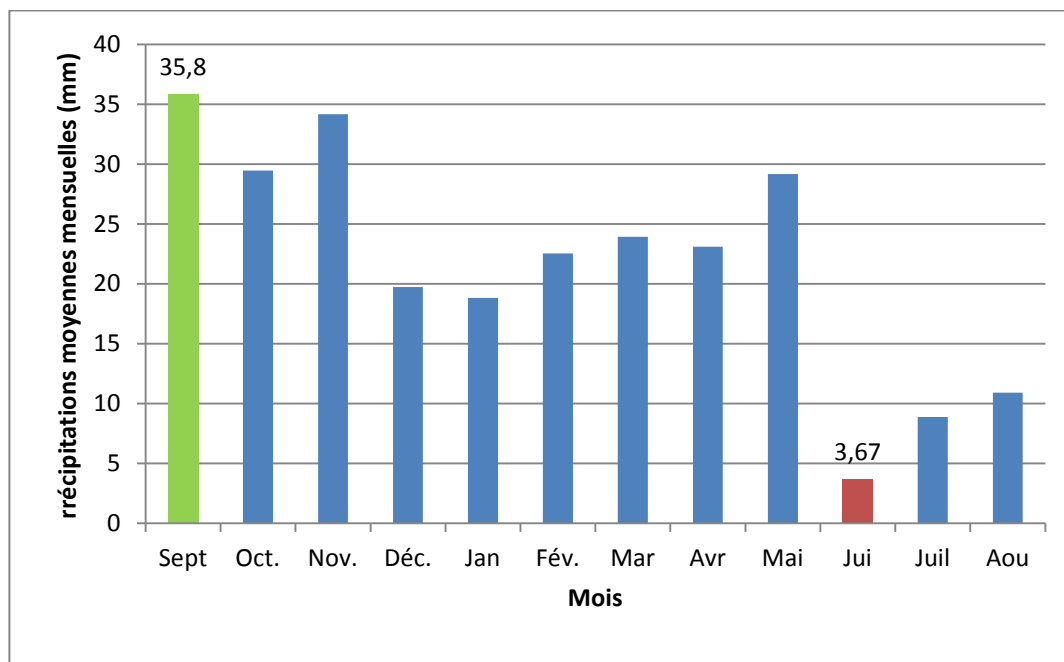
**2.1.1 Les précipitations moyennes mensuelles :**

D'après les données de la station climatique de Ksar Chellala, on a remarqué que la pluviométrie est souvent mal répartie dans le temps, elle connaît des périodes de totale sécheresse ou des précipitations sous formes d'orages et des pluies torrentielles.



**Tableau 02 : Les Précipitations moyennes mensuelles (mm) de la station de Ksar Chellala (1990-2016)**

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
P moy (mm)	35.80	29.47	34.16	19.72	18.82	22.54	23.94	23.1	29.18	3.67	8.87	10.9



**Figure 12 :Représentation des précipitations moyennes mensuelles (mm) de la station de Ksar Chellala (1990-2016)**

D'après les données recueillies de la station de mesure, on constate que le mois le plus pluvieux est septembre avec une valeur qui atteint (35.80mm) par contre le mois le moins pluvieux est le mois de juin (3.67mm) (voir le tableau 02 et la figure 12)

### 2.1.2. Régimes saisonniers des précipitations :

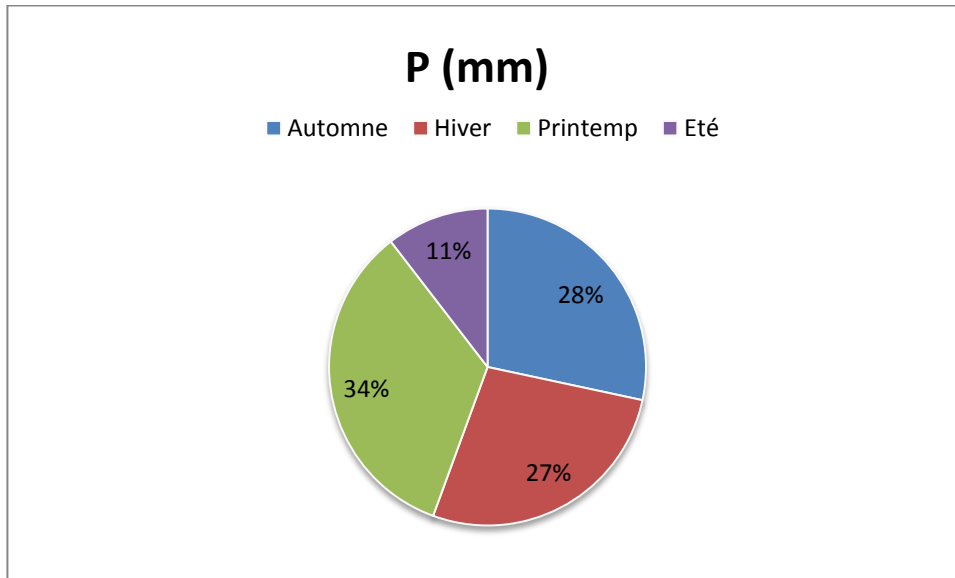
Les répartitions des précipitations selon les saisons représentées sur le tableau n°03 ci-dessous :

**Tableau 03 : Régimes saisonniers des précipitations de la station de Ksar Chellala (1990-2016) :**

Saison	Automne	Hiver	Printemp	Été
	Sep – Oct. - No	Déc – Jan - Fév	Mar –Avr–Mai	Jui – Juil- Aout
P (mm)	63.63	61.08	76.22	23.45
P (%)	28	27	34	11

Les résultats du tableau ci-dessus montrent que :

- L'été correspond à la saison sèche avec un pourcentage **11%** des précipitations moyennes inter-annuelles
- Le printemps correspond à la saison la plus pluvieuse avec un pourcentage de **34%**



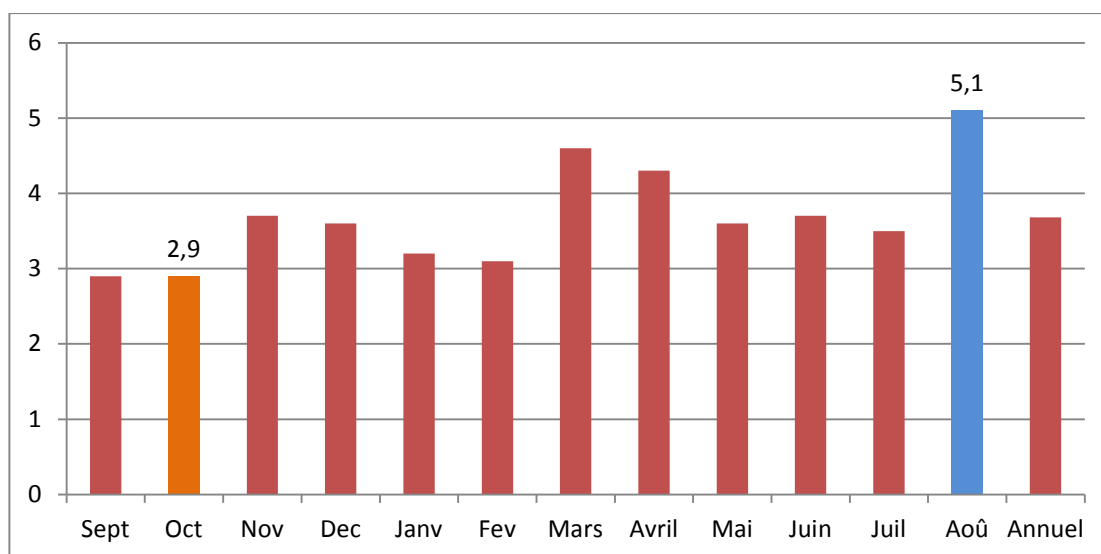
**Figure13 :Variation des précipitations moyennes saisonnières (%).**

## **2.2. Le vent :**

Le vent favorise l'évapotranspiration, en particulier lorsqu'il remplace l'air humide situé au contact des surfaces évaporantes par des masses d'air plus sèches. La région de Ksar Chellala est une région venteuse et dont la vitesse et la direction varient selon les saisons. La vitesse du vent moyenne maximale est de 5.10 m/s en mois d'Août avec une direction dominante d'Ouest à Nord-Ouest (**Tableau 04** )

**Tableau 04 : Variations mensuelles des vents (m/s) de la station de ksar Chellala (1990-2016).**

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
Vent (m/s)	2,90	2,90	3,70	3,60	3,20	3,10	4,60	4,30	3,60	3,70	3,50	5,10	3,68



**Figure 14 : Variations mensuelles des vents de la station de Ksar Chellala (1990-2016)**

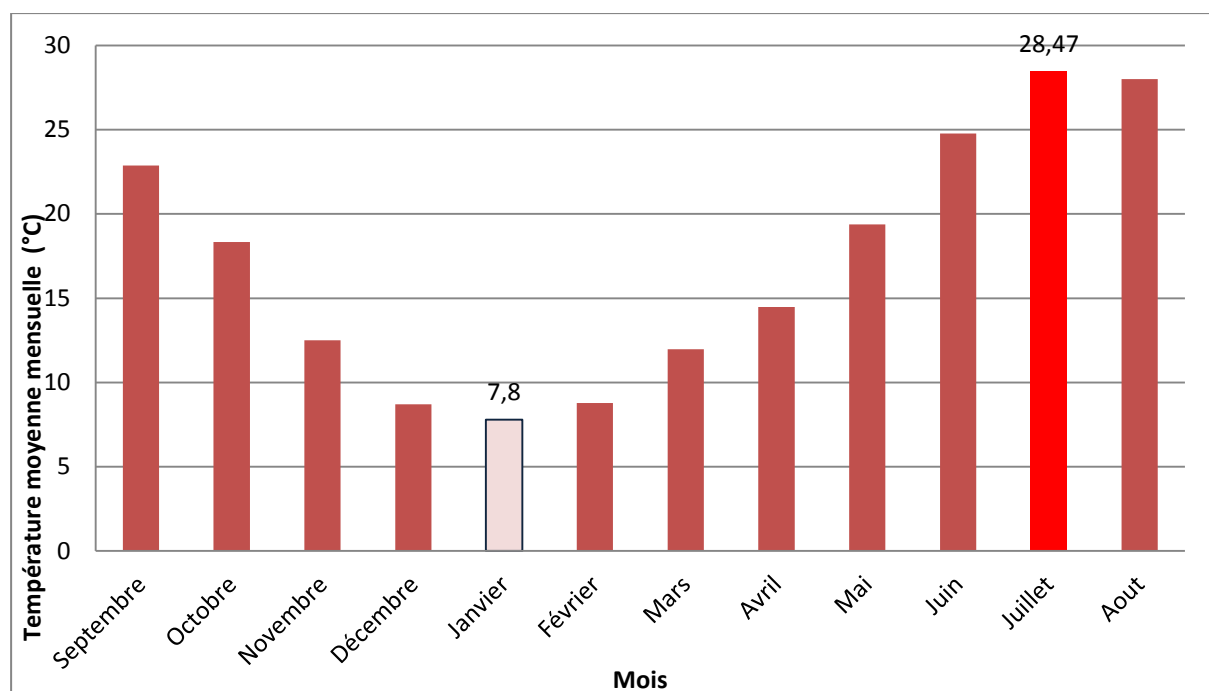
Les vents secs et chauds (le Sirocco) soufflent des heures pendant plusieurs jours et provoquent une augmentation brutale de la température et l’abaissement simultané de l’humidité de l’air, et par conséquent une augmentation de l’évapotranspiration. En moyenne, le Sirocco souffle de 20 à 40 jours (entre Juillet et Août) (Figure 14)

### 2.3. Les températures :

La température est l’un des éléments fondamentaux pour la détermination du régime climatique. Concernant notre région d’étude seule la station de Ksar Chellala est fonctionnelle. Les données des températures moyennes pour la période (1990-2016) sont reportées dans le tableau 05 et la figure15

**Tableau 05 : Température mensuelles moyennes (°C) de la station de Ksar Chellala (1990-2016).**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Annuel
Température Moyenne (°C)	22.88	18.34	12.5	8.71	7.8	8.78	11.97	14.47	19.38	24.78	28.47	28.01	17.8



**Figure 15 : Variations mensuelles des températures moyennes (°C) de la station de Ksar Chellala (1990-2016)**

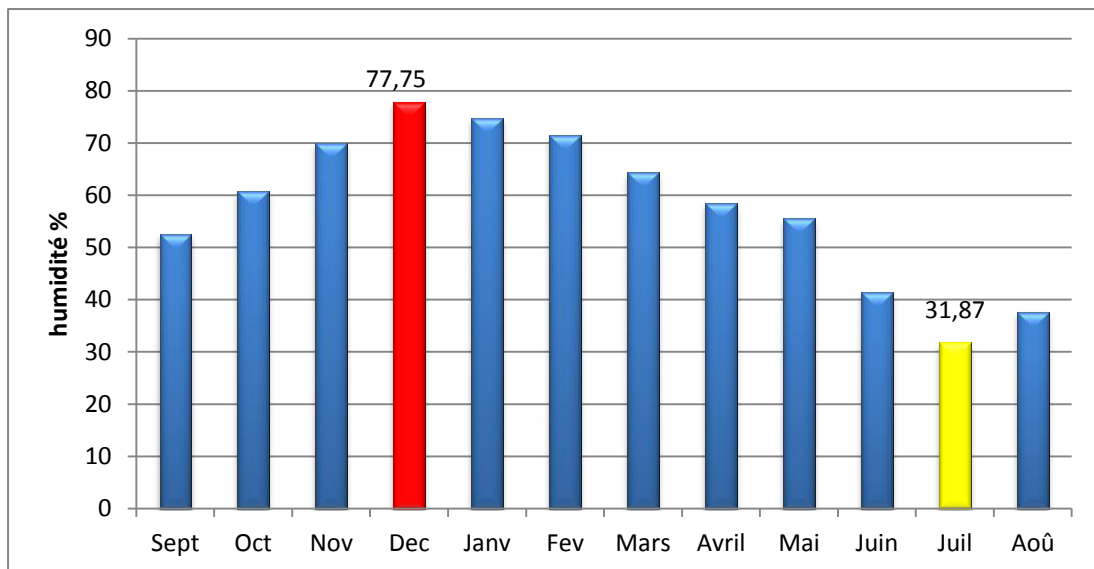
D'après la figure ci-dessus et qui montre que le mois le plus chaud de l'année est celui de juillet avec **28.47 °C** par contre le mois le plus froid est celui de janvier avec seulement **7.8 °C**.

#### 2.4. L'humidité

L'humidité relative varie entre un maximum près du lever du soleil et un minimum autour du début d'après-midi, selon les variations de température. L'humidité relative est exprimée en pourcentage (%). La figure et le tableau ci-dessous montre la variation de l'humidité relative au court de l'année (voir **Tableau 06** et la **Figure 16**)

**Tableau 06 : Variation mensuelle de l'humidité (%) de la station de Ksar Chellala (1990-2016)**

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
Humidité %	52.5	60.75	70	77.75	74.8	71.5	64.37	58.38	55.5	41.37	31.87	37.6



**Figure 16 : Variation de l’humidité mensuelle (%) de la station de Ksar Chellala (1990 2016).**

D'après la figure 16, on remarque que le mois le plus humide est décembre il est de l'ordre de **77.75 %** et le mois le moins humide c'est Juillet il est de **31.87 %**.

### 2.5. L'évaporation :

Les très grandes valeurs de température enregistrées dans la région provoquent un processus d'évaporation intense figure et tableau suivant :

**Tableau07:valeurs mensuelles de l'évaporation (1990-2016) :**

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
Evaporation (mm)	213	132.8	92.9	63.9	63.1	79.5	118.4	142.7	203.7	258.9	334.9	342.6

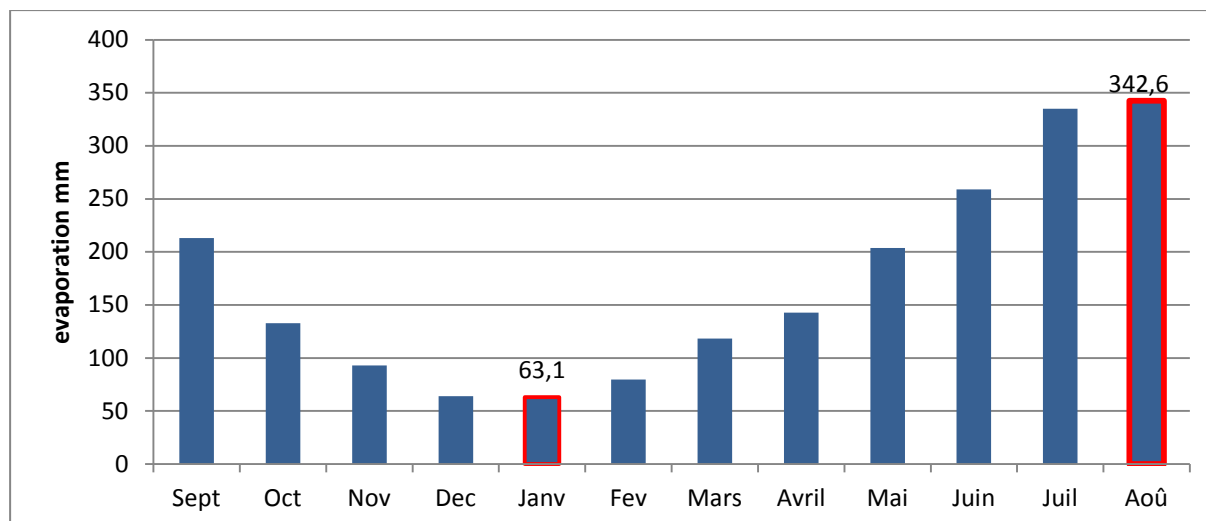


Figure 17 : Valeurs mensuelles de l'évaporation (mm) de la station de Ksar Chellala (1990-2016).

On remarque que l'évaporation maximale est observée au mois d'Aout, elle est de l'ordre de **342.6 mm** et l'évaporation minimale est observée au mois de janvier qui est de **63.1 mm**.

## 2.6. Diagramme Ombro-thermique de Gausson :

Le diagramme Pluvio-thermique est la combinaison des températures et des précipitations mensuelles moyennes, il permet de déterminer les périodes véritablement sèches et humides.

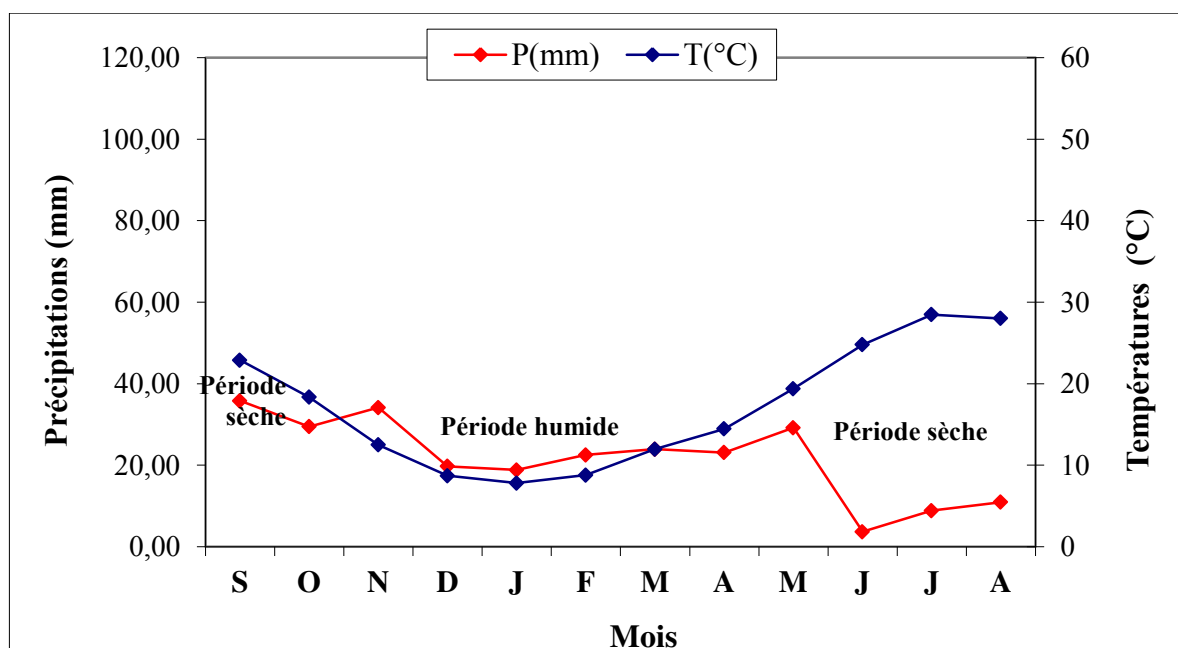


Figure 19 :Diagramme ombro-thermique de la station de Ksar Chellala (1990-2016)

D'après le diagramme mentionné en **Figure 19**, on peut déterminer deux périodes bien distinctes :

- Une période sèche qui s'étend sur sept mois de l'année du mois d'avril jusqu'au mois d'octobre.
- Une période humide qui s'étalant du mois de Novembre jusqu'au mois de mars.

### **3. Type de climat :**

#### **3.1. Indice d'aridité de De Martonne :**

Cet indice permet de connaître le degré de sécheresse d'une région (**Tableau 8**). Il est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$IA = P / (T + 10)$$

Avec :

Ia : Indice climatique (indice d'aridité) ;

P : Précipitation moyenne annuelle ;

T : Température moyenne annuelle en degrés Celsius.

$$IA = 260.19 / 17,17 + 10 = 9,57$$

$$IA = 9,57$$

**NB :** Nous constatons que l'indice d'aridité de la station de Ksar Chellala est compris entre  $5 \leq Ia \leq 10$ , ce qui permet de conclure que le climat de la zone d'étude est de type **aride**.

**Tableau 08- Types de climats d'après l'indice climatique de De Martonne**

Valeur de L'indice	Type de climat
$Ia \leq 5$	Hyper aride
$5 \leq Ia \leq 10$	Arde
$10 < Ia \leq 20$	Semi-aride
$20 < Ia \leq 30$	Semi- humide
$Ia > 30$	Humide

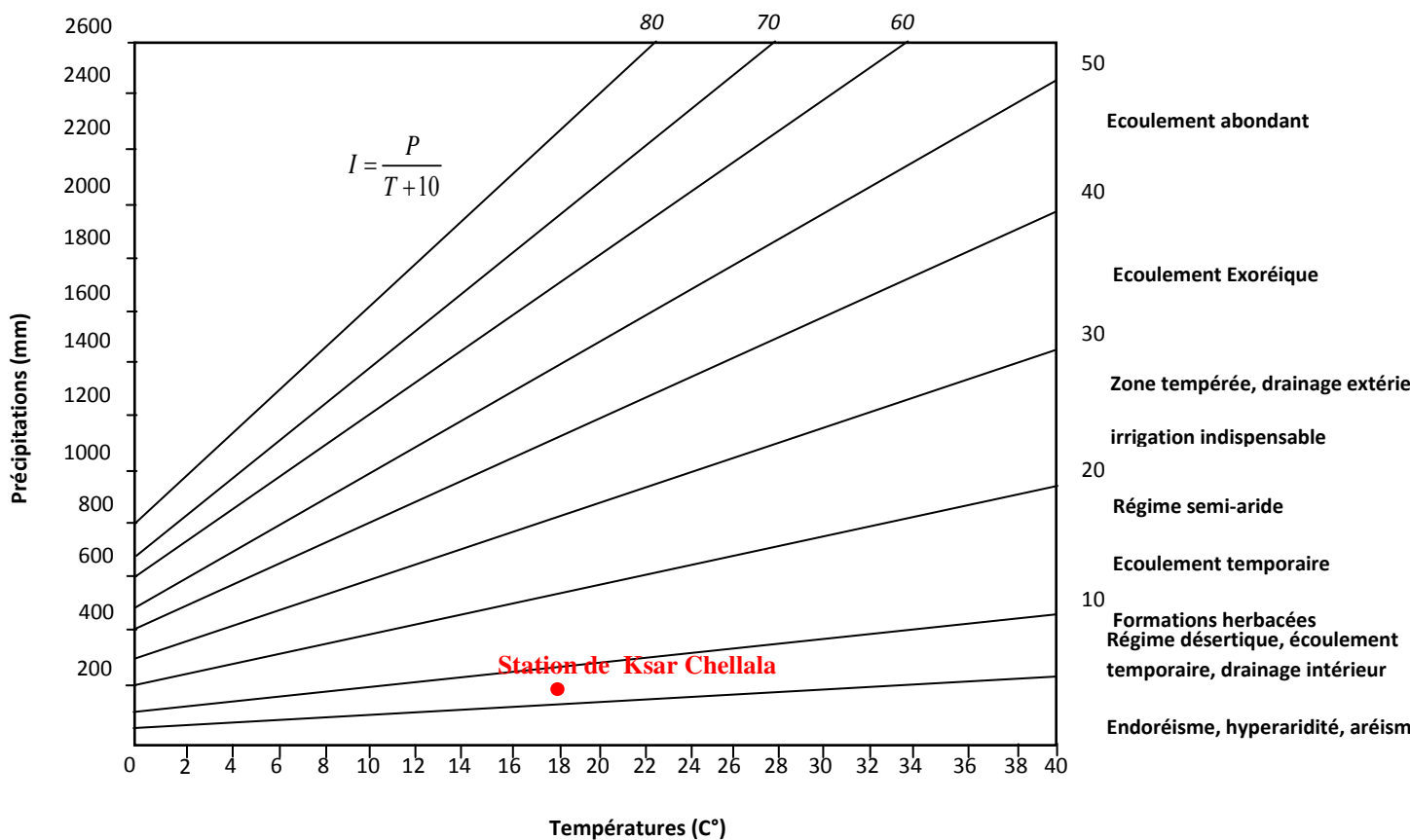


Figure 19 : Abaque de l'indice de De Martonne de la station de Ksar Chellala (1990-2016)

### 3. 2. Le climagramme d'Emberger:

Les travaux de **Louis Emberger** consistent à définir et classer les climats méditerranéens du point de vue biogéographique selon la formule suivante: **(Figure 18)**

$$Q = 200P / (M^2 - m^2)$$

Avec :

**Q**: Quotient pluvio-thermique.

**P** : Précipitation moyenne annuelle en (mm)

**M** : Température moyenne maximale du mois le plus chaud en degré Kelvin ( $^{\circ}\text{C} + 273$ );

**m** : Température moyenne minimale du mois le plus froid en degré Kelvin ( $^{\circ}\text{C} + 273$ ).

#### Application numérique :

**P**= 260,19mm

**M**= 21.01+273= 294.01

**m**=7.8 +273= 280,8



Selon ces données, on obtient :

$$Q = 200 * 260,19 / (294,01)^2 - (280,8)^2$$

$Q = 6.70$

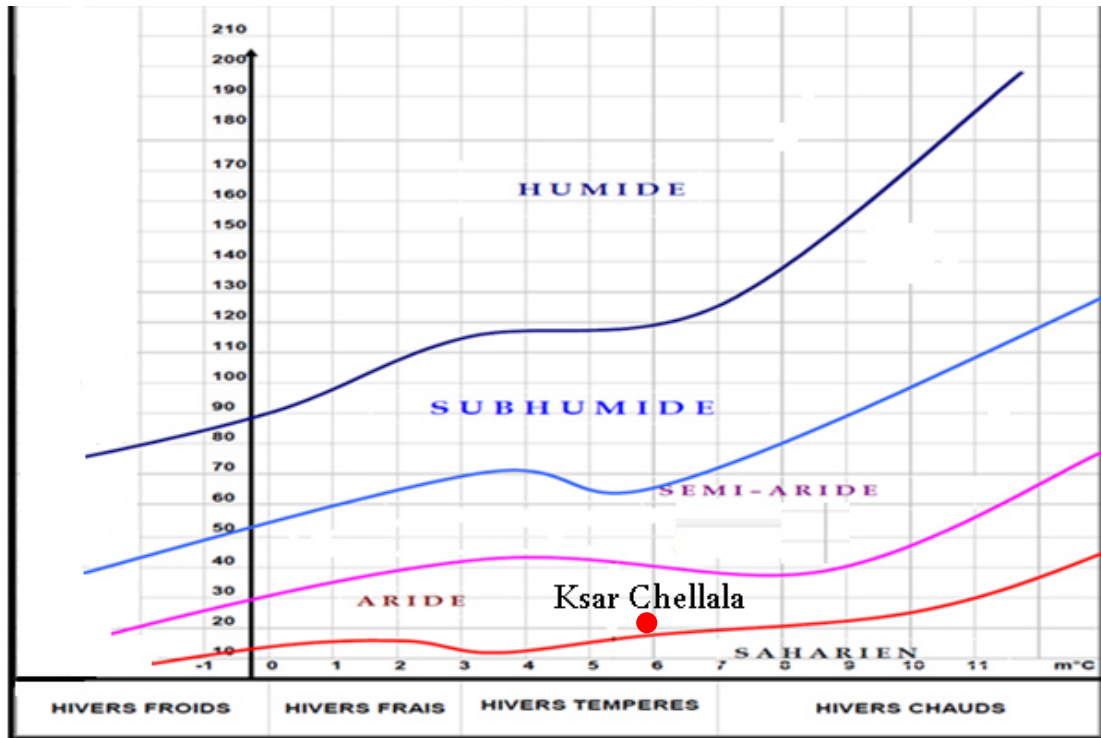


Figure 18 : Climagramme d'Emberger de la station de Ksar Chellala (1990-2016).

#### 4. Le Bilan hydrique:

Le bilan hydrique est l'étude comparée de lame d'eau précipitée sur une surface donnée et différentes formes de transfert de cette eau (**tableau 08**) soit par écoulement, infiltration ou évaporation.

L'équation du bilan s'écrit :

$P = R + ETR + I$

Avec :

**P** : Précipitation moyenne annuelle (**mm**)

**R** : Ruissèlement de surface moyen annuel (**mm**)

**ETR** : Evapotranspiration réelle annuelle (**mm**)

**I** : Infiltration moyenne annuelle (**mm**)

#### **4.1. Etude de l'évapotranspiration:**

C'est un terme important du cycle hydrique qui résulte de deux phénomènes, l'un physique (l'évaporation), l'autre biologique (la transpiration) ; l'évapotranspiration est fonction de plusieurs facteurs (l'humidité, la température, l'insolation et la couverture végétale).

##### **4. 1.1. Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP)**

Ou évapotranspiration de référence : c'est la quantité maximale d'eau susceptible d'être perdue en phase vapeur sous un climat donnée par un végétation continue spécifié bien alimenté en eau et pour un végétal sain en pleine croissance elle comprend donc l'évaporation de l'eau de sol et la transpiration du couvert végétal pendant le temps considéré pour un terrain don

L'ETP est calculée par la formule de **C.W.Thornthwaite (1948)** qui utilise la température de l'air el la latitude des stations et est donnée par l'expression suivante :

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

**Avec :**

**ETP :** Evapotranspiration potentielle mensuelle (mm)

**T :** Température moyenne mensuelle (°C)

**I :** Indice thermique annuel (la somme des indices mensuels (i))

**K :** Coefficient d'ajustement lié à la latitude

##### **4. 1.2. L'évapotranspiration réelle (ETR):**

Elle correspond à la somme des quantités de vapeur d'eau évaporées par le sol et par les plantes quand le sol est à une certaine humidité et les plantes à un stade de développement physiologique et sanitaire spécifique.

L'ETR déterminer par : la formule du Turc évaluer directement l'ETR

$$\boxed{ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

**Avec :**

- **ETR :** évapotranspiration réelle (mm/an)

- **P** : Hauteur annuelle de pluie (mm)
- **L** : Pouvoir évaporant est une limite vers laquelle tend l'ETR lorsque P devient grand  
 $L = 300 + 25t + 0.05t^3$
- **t** : Température annuelle (C°)

**Application numérique :**

$$P = 260.19 \text{ mm}$$

$$T = 17.17^\circ\text{C}$$

$$L = 300 + 25t + 0.05t^3 = 300 + 25(17.17) + 0.05(17.17)^3 L = 5791.11 \quad \rightarrow \quad \boxed{L = 5791.11}$$

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

$$ETR = \frac{260.19}{\sqrt{0.9 + \frac{(260.19)^2}{(5791.11)^2}}} \quad \rightarrow \quad \boxed{ETR = 266.7 \text{ mm}}$$

**4.2. Estimation du ruissellement :**

Le ruissellement est la quantité d'eau, qui au cours d'une précipitation échappe à l'infiltration et l'évapotranspiration

Le ruissellement est calculé par :

- **La formule de Tixeront –Berkaloff modifiée par Romantchock**

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

**Méthode de Tixeront - Berkaloff :**

Tixeront et Berkaloff ont établi une formule permettant d'estimer le ruissellement moyen

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

Avec :

- **R** : Ruissellement en (mm) ;
- **P** : Précipitations moyennes annuelles en (mm) ;
- **ETP** : L'évapotranspiration potentielle annuelle en (mm).

**Application numérique :**

$$P = 260.19 \text{ mm} < 600\text{mm}$$

$$R = P^3/3(ETP)^2R = (260.19)^3/ 3(900.91)^2$$

<b>R= 7.23mm</b>
------------------

**4.3. Estimation de l'infiltration :**

L'équation du bilan hydrique nous permet de déterminer l'infiltration efficace (Ie).

$$P = ETR + R + I \rightarrow I = P - ETR - R$$

$$I = P - ETR - RI = 260.19 - 250.32 - (7.23)$$

<b>I = 2.64 mm</b>
--------------------

- Si  $I > 0$  : les entrées sont supérieures aux sorties.

- Si  $I < 0$  : les entrées sont inférieures aux sorties.

**Tableau 09 : Le bilan hydrique de Thorntwaite de la station de ksar Chellala (1990-2016) :**

Mois	T(°C)	IT	CL	ETP	P(mm)	BH	RFU	ETR	Def	Exc
S	22.88	10.00	1.03	103.08	35.8	-67.28	0.00	35.80	67.28	0.00
O	18.34	7.15	0.97	65.05	29.47	-35.58	0.00	29.47	35.58	0.00
N	12.5	4.00	0.86	28.82	34.16	5.34	5.34	28.82	0.00	0.00
D	8.71	2.32	0.81	14.11	19.72	5.61	10.95	14.11	0.00	0.00
J	7.8	1.96	0.87	12.41	18.82	6.41	15.00	12.41	0.00	2.36
F	8.78	2.35	0.85	15.03	22.54	7.51	15.00	15.03	0.00	7.51
M	11.97	3.75	1.03	31.91	23.94	-7.97	7.03	31.91	0.00	0.00
A	14.47	5.00	1.10	48.04	23.1	-24.94	0.00	30.13	17.90	0.00
M	19.38	7.78	1.21	89.66	29.18	-60.48	0.00	29.18	60.48	0.00
J	24.78	11.28	1.22	141.06	3.67	-137.39	0.00	3.67	137.39	0.00
J	28.47	13.92	1.24	184.32	8.87	-175.45	0.00	8.87	175.45	0.00
A	28.01	13.58	1.16	167.42	10.92	-156.50	0.00	10.92	156.50	0.00
Annuel	17.2	83.09		900.91	260.19	-640.72	53.33	250.32	650.59	9.87

**Les formules de vérification :**

✓  $P = ETR + EXD = 250.83 + 9.87 = 260.19\text{mm}$

✓  $EXD = I + R = 2.64 + 7.23 = 9.87 \text{ mm}$

✓  $ETP = ETR + DEF = 250.83 + 650.59 = 900.91\text{mm}$

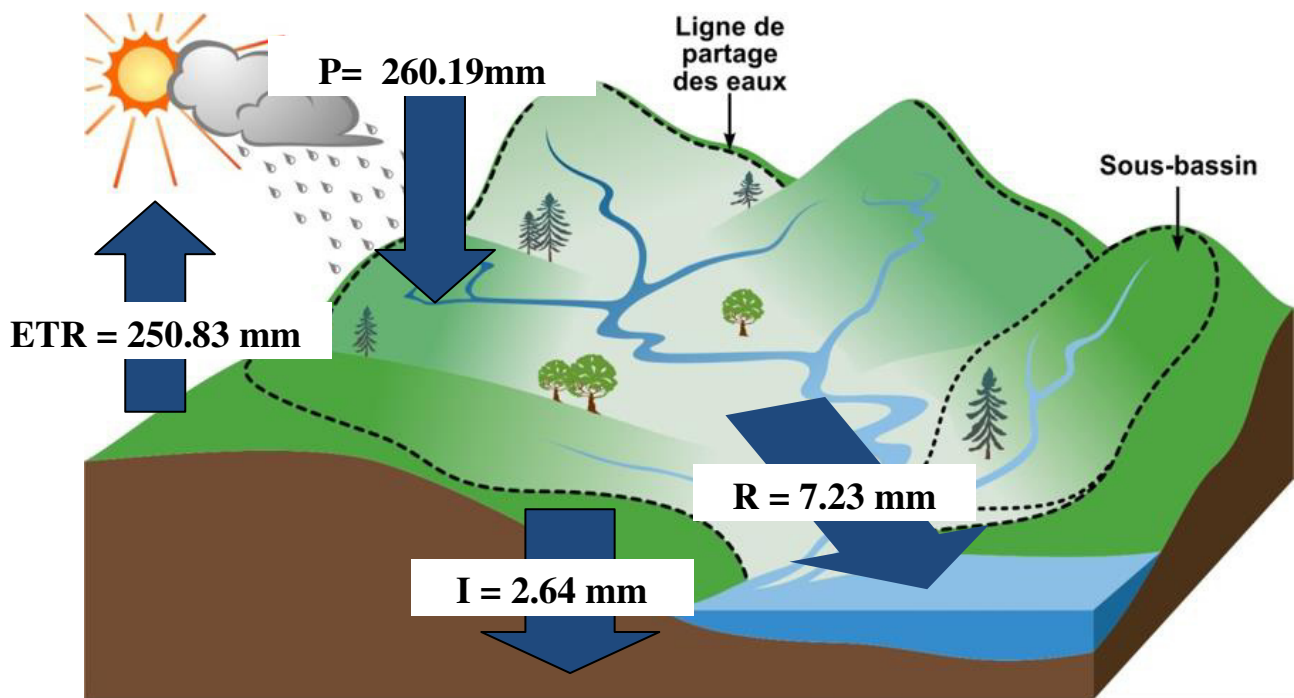


Figure 20 : Schéma globale du bilan hydrique de la station de Ksar Chellala (1990-2016)

**Conclusion :**

D'après un aperçu général sur les caractéristiques climatologiques de notre zone d'étude on a remarqué que le climat de la région de Ksar Chellala est un climat aride, il est caractérisé par un printemps plus pluvieux et un été sec, le secteur appartient à une zone peu pluvieuse avec une précipitation moyenne annuelle de l'ordre de **260.19mm**

- La température moyenne annuelle est de l'ordre de **17.17 °C**.
- L'évapotranspiration potentielle et l'évapotranspiration réelle moyenne déterminées par la méthode de Thorntwaite sont respectivement : **900.91 mm et 250.62 mm**

Le climat de la région de ksar Chellala est caractérisé par l'opposition de deux périodes :

- Une période sèche qui s'étend sur sept mois de l'année du mois d'avril jusqu'au mois d'octobre.
- Une période humide qui s'étalant du mois de Novembre jusqu'au mois de mars.

Le déficit agricole estimé est de **650.59 mm** étalé sur la période allant de Juin jusqu'à Octobre, le ruissellement et l'infiltration représentent respectivement **7.23mm et 2.64mm** cette dernière (I) s'avère faible pour recharger le système aquifère de la région d'étude.

## **Chapitre III : Cadre hydrogéologique et géophysique**

**Introduction :**

L'hydrogéologie se spécialise dans l'exploration et la mise en valeur des eaux souterraines à usage domestique, agricole ou industriel et étudie comment les matériaux géologiques affectent la circulation et la qualité des eaux souterraines. En plus des connaissances géologiques, l'hydrogéologue doit également avoir des connaissances en hydraulique. Participer à la recherche et au développement des eaux souterraines, à la recherche et à la protection de la qualité de l'eau. Les hydrogéologues doivent être capables d'évaluer la quantité et la qualité de l'eau et de prévoir son comportement dans le bassin.

L'étude géophysique permet aussi d'étudier le contexte géologique et hydrogéologique par des méthodes comme le sondage électrique qui est appliquée dans cette étude.



## 1. Etude géophysique :

Dans le but de mieux connaître la géologie de la région, et de comprendre le comportement hydrogéologique des formations souterraines, l'ENAGEO a effectué en **1987** une étude géophysique par la méthode de sondage électrique vertical dans la région de Ksar Chellala. L'ENAGEO a réalisé 204 sondages électriques dont la longueur d'émission maximale est  $AB = 4000$  m. Les sondages sont disposés selon 20 profils orientés SE –NW.

### 1.1 Buts et objectifs de la campagne géophysique (Figure 23)

La campagne géophysique se fixe les objectifs suivants :

- Identification des potentialités aquifères souterraines.
- Détermination de l'extension, l'épaisseur et la nature lithologique de ces formations
- Détermination des limites stratigraphiques entre les formations aquifères.
- Détermination des zones les plus favorables à l'implantation des ouvrages de captage.

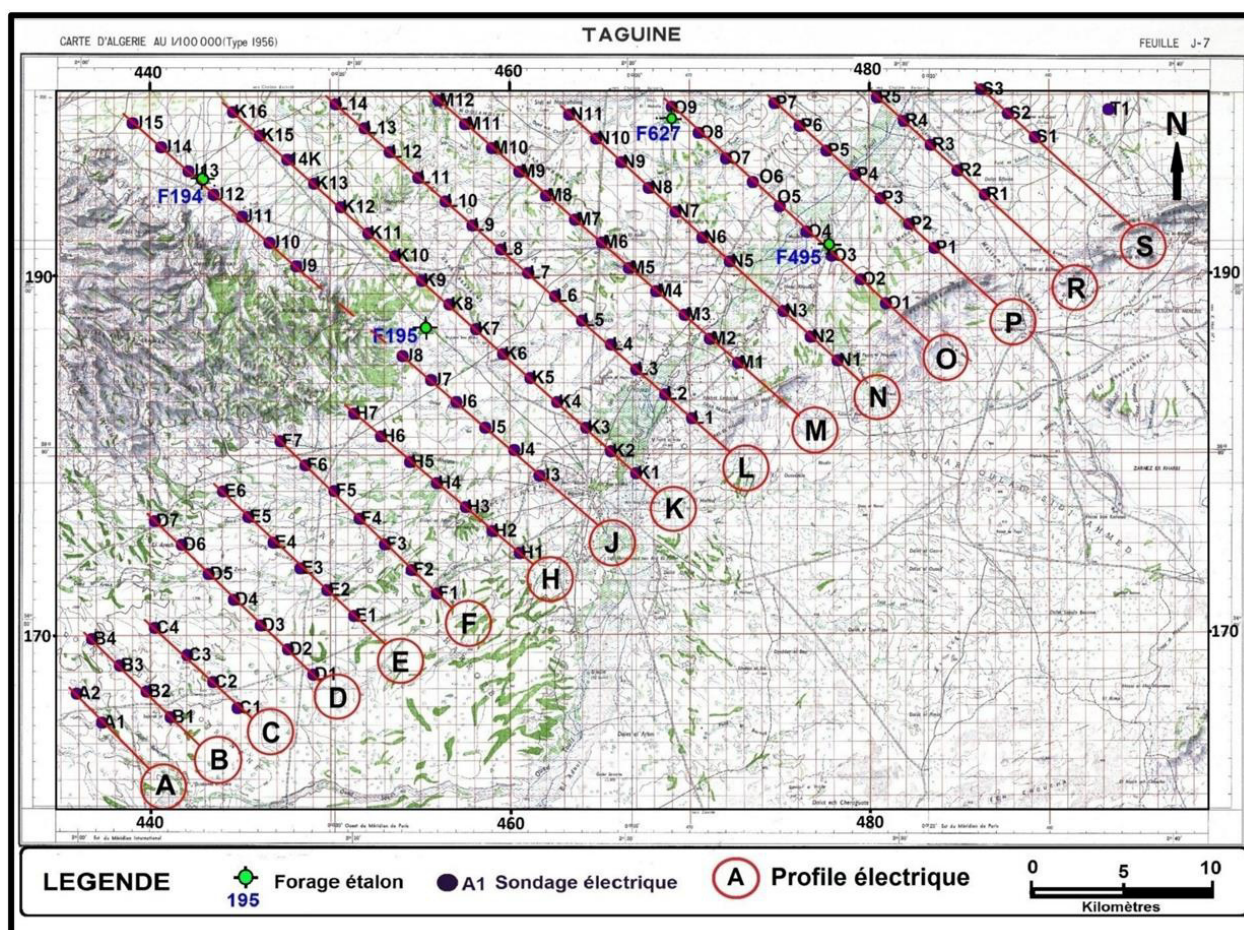


Figure 23 : Positionnement des sondages électriques et des forages d'étalonnage (Massioun Y., 2011)

## 1.2. Principe du sondage électrique vertical :

Le principe consiste à envoyer à partir de la surface un courant électrique à l'aide de deux électrodes externes **A et B** qu'on écarte progressivement et à mesurer la différence de potentiel entre deux électrodes internes **M et N**.

Ceci nous permet de calculer la résistivité apparente ( $\rho_a$ ) des terrains à l'aide de la formule suivante :

$$\rho_a = K \cdot \Delta V / I$$

Avec :

**I** : intensité de courant (milliampères)

$\Delta V$  : différence de potentiel (millivolts).

$\rho_a$  : résistivité apparente ( $\Omega \cdot m$ ).

**K** : un coefficient géométrique qui dépend de la position du quadripôle AMNB qui peut être calculé de la manière suivante :

La courbe du sondage électrique représente l'évolution de la résistivité apparente en fonction d'AB/2. Son interprétation à l'aide d'abaques, permet de calculer les épaisseurs et les résistivités des différentes couches traversées par le courant électrique.

## 1.3 Résultats :

### 1.3.1. Etalonnage :

Consiste à réaliser un sondage électrique à proximité d'un forage assez profond doté d'un log stratigraphique. Ce qui permet de faire une comparaison entre les deux modèles (géologique et géophysique). Tableaux 10 et 11

**Tableau 10: Les résultats obtenues du sondage étalon O4**

Terrain	Description
1	Terrain conducteur de 4.9 m d'épaisseur et d'une résistivité de 85 $\Omega \cdot m$ . Attribué Au Quaternaire constitué d'une croute calcaire, de sable et gravier.
2	Terrain résistant de 59 m d'épaisseur et d'une résistivité de l'ordre de 300 $\Omega \cdot m$ . Ce niveau correspond au Crétacé (Albien). Il est constitué de grés avec un peu D'argile et du gravier.
3	Terrain conducteur formé d'argile, gravier et grés ayant une épaisseur de 95 m et une résistivité de l'ordre de 6 $\Omega \cdot m$ attribué au Crétacé.

Tableau 11 : Les résultats obtenues du sondage étalon O9:

Terrain	Description
1	Terrain superficiel résistant constitué de calcaire et d'argile à la base d'épaisseur 9.4 m et de résistivité de 129 $\Omega$ .m. Il est attribué au Crétacé (Albien).
2	Terrain conducteur constitué de calcaire, grès et argile, il est de 23.7 $\Omega$ .m de résistivité et 6.16 m d'épaisseur. Il correspond au Crétacé(Albien).
3	Niveau résistant de 201 m d'épaisseur et de 131 $\Omega$ .m de résistivité. Il est attribué au Crétacé (Albien). Il est formé de grès, sables et un peu de marne et d'argile.
4	Substratum conducteur de 70 $\Omega$ .m de résistivité. Il est formé d'argile et de marne. Il est attribué au Crétacé (Aptien).

### 1.3.2 Echelle des résistivités :

À partir des sondages étalons on établit une échelle de résistivité attribuant à chaque formation une résistivité réelle.(Figure 24)

Lithologie	Stratigraphie	Résistivité (Ohm.m)
Gravier	Quaternaire	60-85
Poudingue calcaire		130-160
Poudingue calcaire argileux	Miocène	14-400
Calcaire	Turonien	130-1600
Grès et sables fins avec des passés d'argile	Albien	90-1100
	Barremien	
Marne, calcaire et dolomie	Cénomannien	10-70
	Aptien	
	Neocomien	
Marne, dolomie et calcaire	Jurassique	90-500

Figure 24 : Echelle des résistivités correspondantes aux formations géologiques de la zone d'étude.



### 1.3.3 Carte en iso-résistivité apparente pour des AB de 1400 m

La carte indique les variations de faciès affectant des terrains compris théoriquement entre 150 et 400 m. La carte indique deux zones distinctes :

- ❖ **Une zone résistante** : due à l'influence des formations Jurassiques au niveau des sondages (J9, J10, J11, F7). Autour de sondage cette élévation est due au toit du Crétacé résistant.
- ❖ **Une zone conductrice** : les faibles résistivités se localisent au centre de la zone d'étude, où le crétacé conducteur est prédominant. (Figure 25)

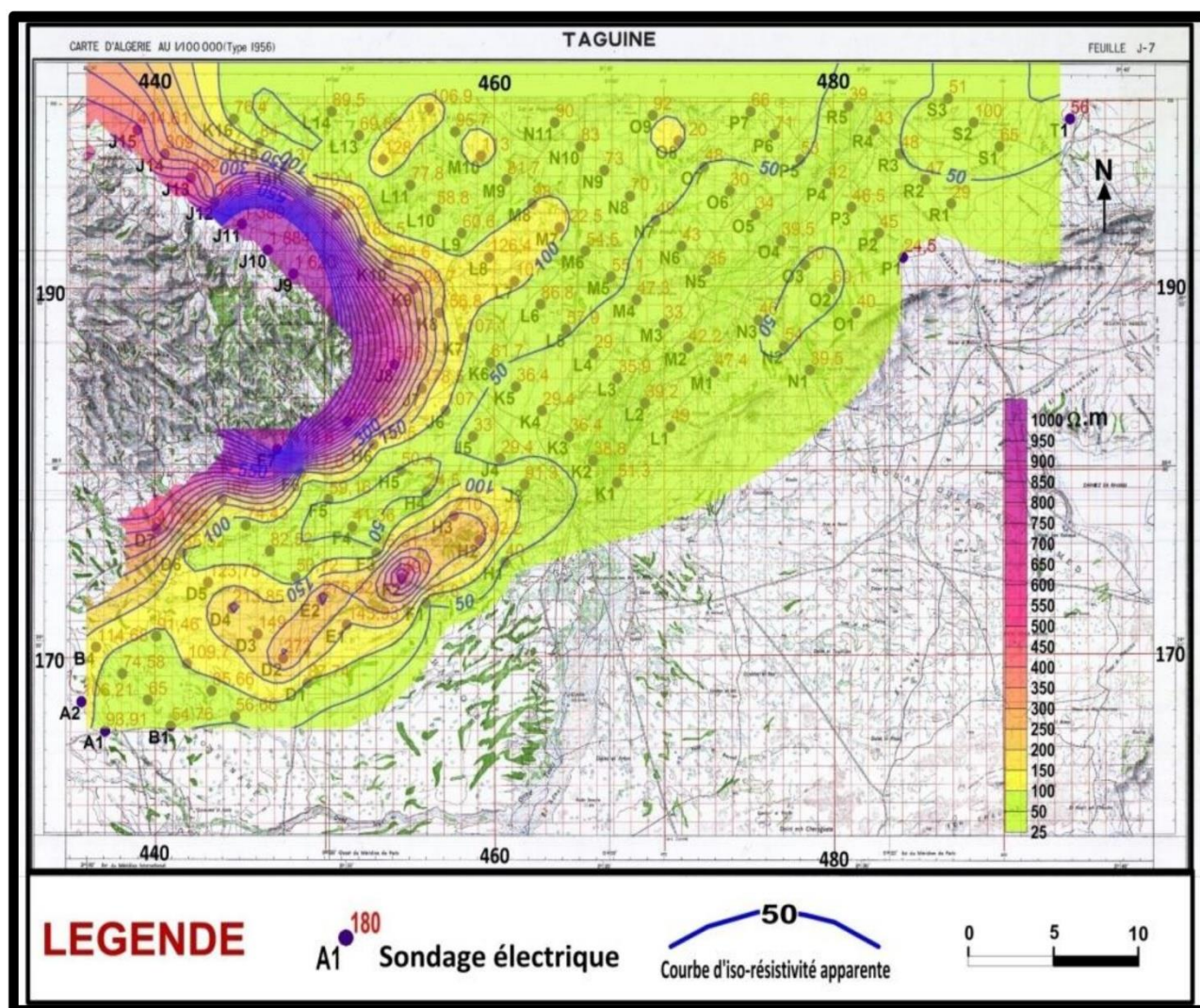


Figure 25 : Carte de la résistivité apparente pour AB = 1400 m.  
(in Bersi M. et Massioun Y., 2011).

### 1.4. Pseudo-sections et coupes géo électriques :

Profil K :

**Pseudo-sections :** On observe bien le cœur résistant entouré par des plages conductrices au niveau de K1, K2 et K3.

Les valeurs sont de faibles résistivités. Ils se localisent dans l'oued. La salinité des eaux est très élevée.

#### 1.4.1. Coupe géo-électrique :

La coupe montre la succession des terrains suivants :

- Le Quaternaire surmonte les terrains entre K1 à K6.
- Le Miocène affleure au niveau de K3, K4, K5 et de K13 jusqu'à K16.
- Sa résistivité variable de 24 à 700  $\Omega$ .m.
- L'Albien se trouve au niveau de K1.
- Le Crétacé conducteur au niveau de K1 surmonté par l'Albien, attribué à l'Aptien.
- Le Crétacé résistant, attribué au Barrémien. Sa résistivité est de l'ordre de 430  $\Omega$ .m au niveau de k4 où il est moins épais et moins profond.
- Le Crétacé conducteur, attribué au Néocomien. Il présente une résistivité allant de 10 à 37  $\Omega$ .m. Il affleure au K6. Le pendage change à partir de K10 pour qu'il soit vers le NW.
- Le Jurassique résistant (103 à 1340  $\Omega$ .m). Il affleure au niveau de K7 jusqu'à K12. A partir de K10 Le pendage vers le NW.
- Ce profil montre bien la structure d'un anticlinal.

#### Profil P :

##### Pseudo-sections :

À l'exception de P4, ici en remarque qu'il n'ya pas de grandes variations latérales de la résistivité apparente, les résistivités sont faibles en profondeur, on a pu proposer une faille entre P3 et P4.

#### Coupe géo-électrique :

La coupe montre la succession des terrains suivants :

- Le Quaternaire se trouve uniquement au sondage P4.
- Le Miocène discordant, couvre les terrains entre les sondages P1 et P5.
- Le Cénomanién d'une épaisseur importante au sondage P4. Il perd de son épaisseur progressivement jusqu'à ce qu'il disparaisse au niveau de P6 où il est affleurant.
- L'Albien est bien présent sur tous les sondages. La profondeur et l'épaisseur de ce niveau varient suivant les sondages, et cela à cause de la faille et de l'érosion. Les résistivités varient de 112 à 223  $\Omega$ .m. Il est affleurant au niveau de P7.

- Le Crétacé conducteur d'une résistivité allant de 15 à 61  $\Omega.m$ , attribué à l'Aptien. Il est affecté par une faille entre P4 et P7.
- Le Crétacé résistant, attribué au toit du Barrémien, présente une résistivité variable de 117 à 274  $\Omega.m$ . Sa profondeur est variable (Figure 26)

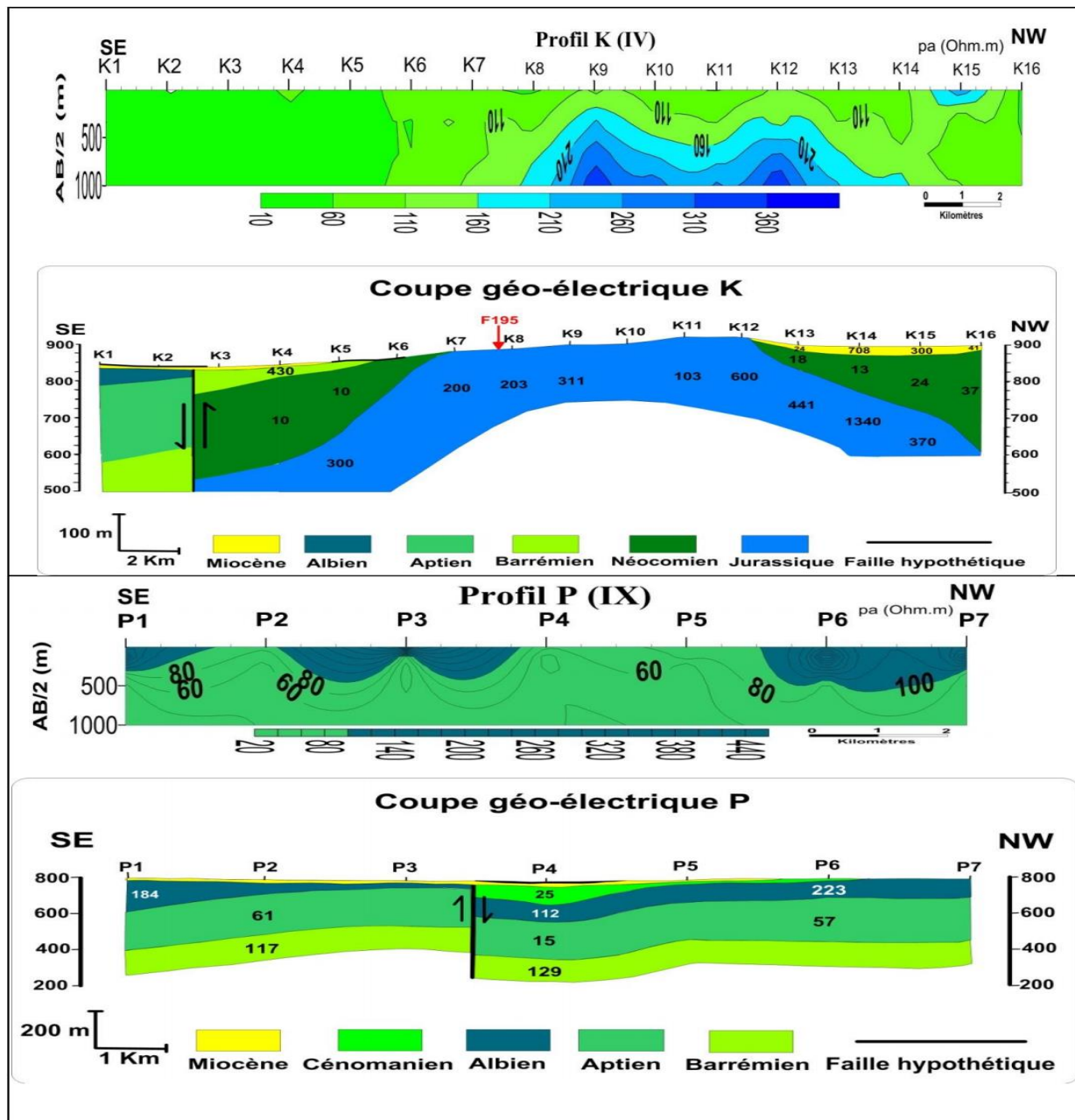


Figure 26 :Pseudo-sections et coupes géo électriques K et P00



## 1.5 Cartes structurales :

### 1.5.1 Carte de la profondeur du toit de l'Albien :

La carte des profondeurs de l'Albien établie d'après les coupes géo-électrique.

- ❖ L'Albien est profond à l'aplomb des sondages électriques (A1, A2, B1, B2 jusqu'à E1).
- ❖ L'Albien est moins profond entre les sondages M1 et S3. La variation de l'épaisseur de l'Albien joue un rôle important. Cette variation d'épaisseur est due au jeu des failles. (Figure 28)

### 1.5.2 Carte de la cote du toit du Barrémien :

La carte montre deux horizons distincts. L'un présente des élévations de la cote, caractérisé par les zones claires. La cote maximale enregistrée au niveau des sondages E6, F6, J6, K5 et K6.

L'autre horizon caractérisé par les zones sombres, présente des zones de dépression. Le point le plus bas se situe au niveau de S2 (200 m). (Figure 27)

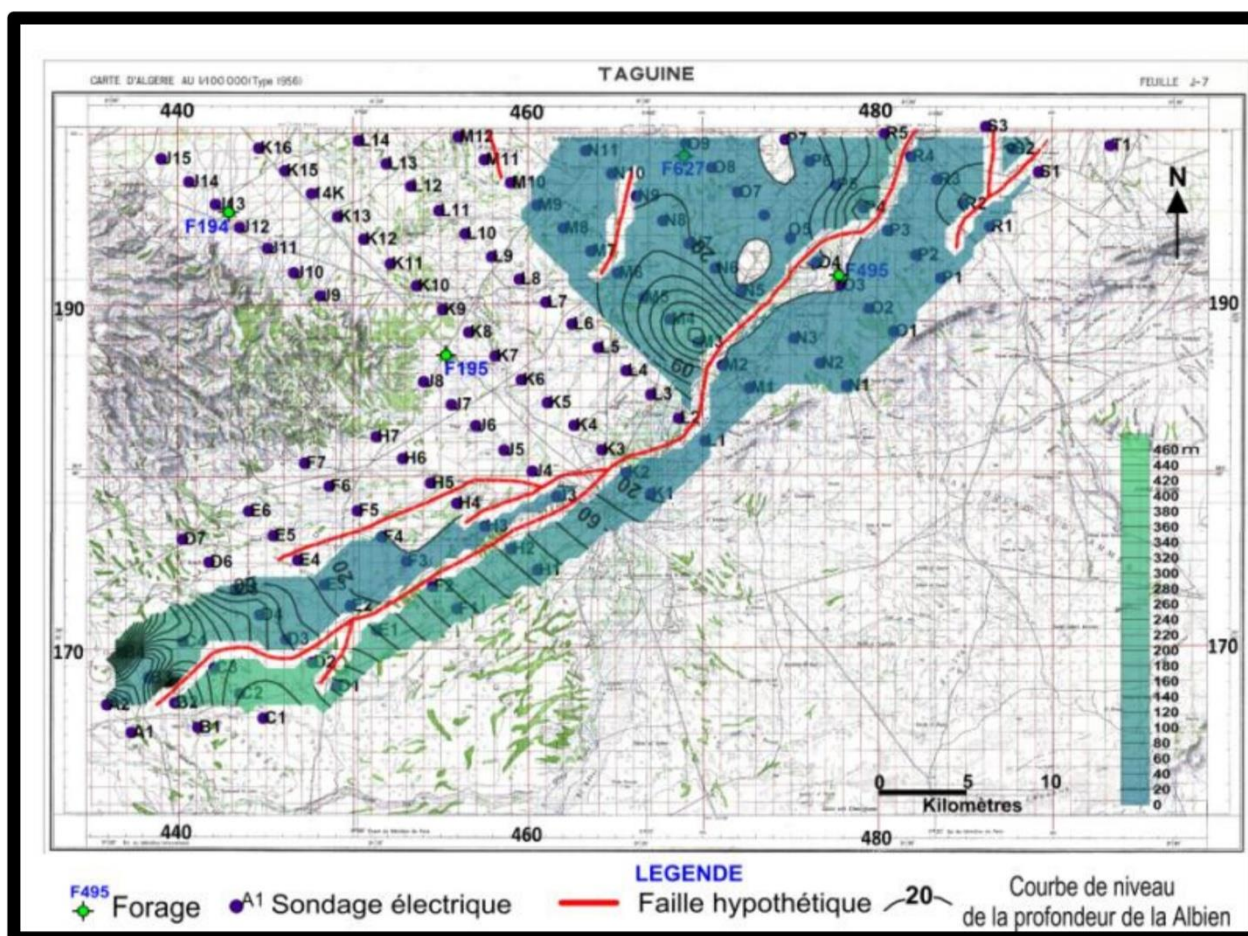


Figure 27: Carte de la profondeur du toit de l'Albien  
(In Bersi M. et Massiou Y., 2011).

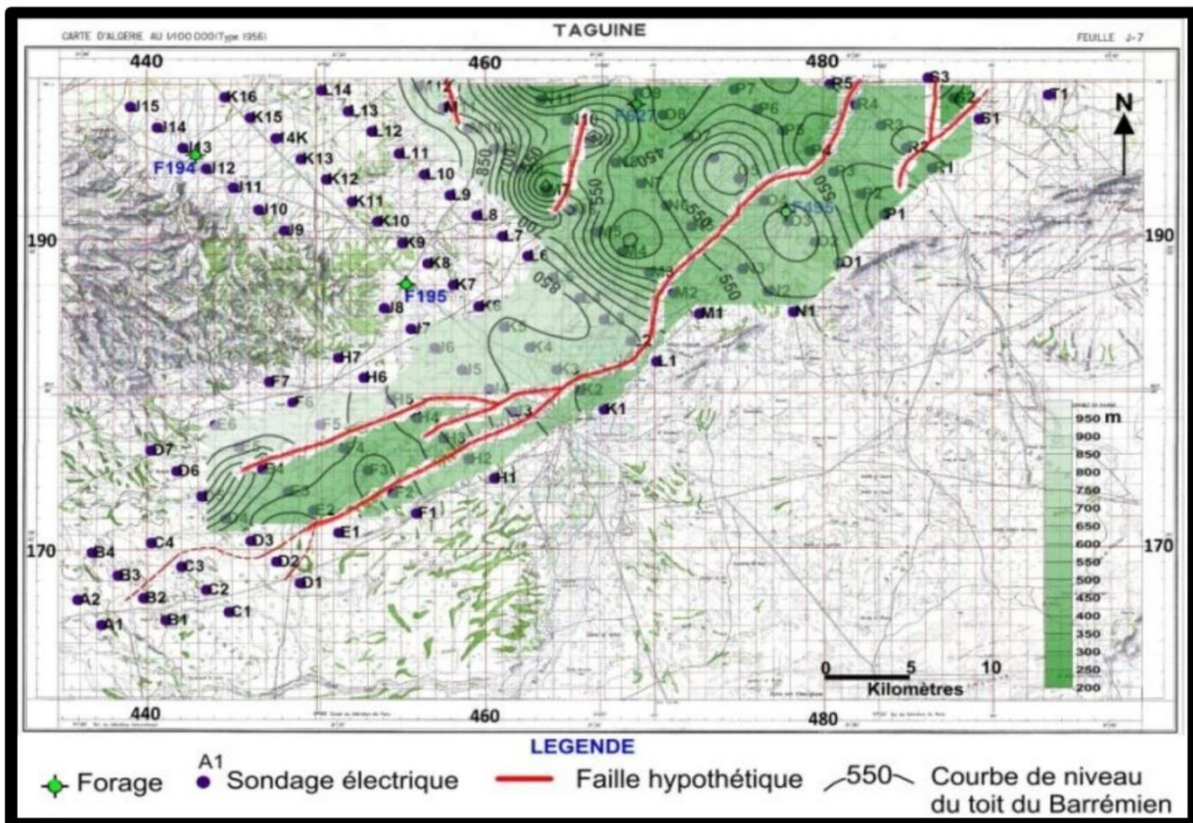


Figure 28 : Carte de la cote du toit du Barrémien  
(In Bersi M. et Massioun Y., 2011).

### Discussion des résultats géophysiques :

L'approche géophysique a bien complété les travaux de **Carpaff M.** en précisant :

- ✓ L'évolution spatiale des formations géologiques profondes.
- ✓ Les accidents tectoniques affectant les structures profondes.
- ✓ Les particularités des structures tectoniques enfouies sous les dépôts tertiaires.

## 2. Contexte hydrogéologique :

### 2.1. Contexte hydrogéologique général :

D'après les études géologique et hydrogéologique appliqué sur la région On constate que les terrains de ksar Chellala sont d'âge Plio-quaternaire, Crétacé et Jurassique

### 2.2 Les nappes de la région de ksar Chellala : (Figure20)

Du point de vue hydrogéologique on peut retenir les formations aquifères suivantes :

#### 2.2.1 Les formations du Plio-Quaternaire :

Représentées par des terrains argileux parfois calcaires gréseux et sable limoneux.

#### 2.2.2 Les formations du Crétacé Inferieur :



Constituées de grés, des dolomies plus ou moins gréseuses, des marnes, des argiles et des calcaires.

### **2.2.3 Les formations du Tithonique et Kimméridgien dolomitique :**

Reposant sur les marnes imperméables de la base du Kimméridgien, constituent un milieu perméable dont l'importance reste liée au degré de fissuration des dolomies (Ayad A, 1997). (Fig29)

### **2.2.4 Les formations Barrémien :**

Il est constitué par des grés friables de granulométrie variable, comprenant des grains de quartz et graviers, alternant avec des marnes, des argiles et des dolomies microcristallines. L'analyse de l'eau du Barrémien dans cette zone a montré que celle-ci n'est pas recommandable pour la boisson des populations, mais utile à l'agriculture et la consommation du bétail. (Fig29)

### **2.2.5 Les formations Aptien :**

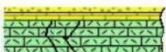


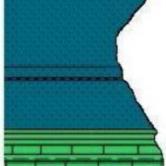





Ces terrains représentés essentiellement par des marnes, des calcaires et très peu de grés sont cloisonnés par les argiles. La partie susceptible d'être exploitée est représentée par les grés qui ne représentent pas plus d'une vingtaine de mètres d'épaisseur. (Figure29)

### **2.2.6 Les formations Albien :**

Constitué essentiellement de grés, d'argiles gréseuses et de dolomies gréseuses ; Cet horizon dont la puissance dépasse les 100m à l'Est de la plaine de Aïn Ouessara, s'est déjà avéré un aquifère très important, tout en ayant une eau d'une qualité excellente. (Figure 29)

### **2.2.7 Les formations Plio-quadernaire :**

C'est une formation continentale, représentée par des terrains argileux à passées de sables, de calcaires, de marne et de conglomérats constitués de matériel détritique, de graviers et des grés. Cette formation est aquifère et est sollicitée par de nombreux puits peu profonds. (Ayad A, 1997) (Figure 29)

Formation	Log systématique	Epaisseur (m)	Lithologie	Hydrogéologie
Quaternaire- miocène		25	Argiles, calcaire marneux	Perméable
Turonien		175	Calcaire massifs très blancs à silex dolomitiques	Perméabilité de fissures
Cénomanién		170 à 500	Marne, marno-calcaire, calcaires massifs dolomitique alternant  Marne, gypse  Calcaire crayeux, blancs	Imperméable
Albien		300	Grés continentaux, Argile	Perméable
Aptien		250	Calcaires dolomitisé, marno-calcaires et grés.	Semi Perméable
Barrémien		400	Grés marneux avec des blocs de dolomie.	Perméabilité de fissures
Néocomien		130 à 220	Dolomies marne, calcaire à lumachelle.	Perméabilité de fissure
Portlandien		250 à 340	Calcaire oolithiques Marne grés Marne argile, grés rouges	Perméabilité de fissure
Kimméridgien		140 à 400	Dolomies, grés, marne, calcaire	Perméabilité de fissure

**Figure29: Log stratigraphique synthétique de la région d'étude (D'après Bersi M. et Massioun Y., 2011).**

### 3. Les ressources souterraines de la région de Ksar Chellala:

Le réseau hydrographique de la région de Ksar Chellala est constitué d'une part, de sources ponctuelles éparpillées à travers le territoire de la commune et d'autre part, de Forages. Pour le chef lieu de Ksar Chellala est alimentée à partir de cinq (05) Forages et de deux puits situés à côté de la ville (**Hadj M. , 2018**).

Ces ressources donnent un débit d'exploitation total de 125 l/s qui alimentent les huit (08) Réservoirs existants au niveau de la commune de « Ksar Chellala »

Notons comme des forages :

- ❖ **M'harim I** : d'un débit mobilisé de **60 l/s**.
- ❖ **M'harim II** : d'un débit mobilisé de **70 l/s**.
- ❖ **Fritissa** : d'un débit mobilisé de **60 l/s**.
- ❖ **Koudiet Djer** : d'un débit mobilisé de **22 l/s**.
- ❖ **INFH** : d'un débit mobilisé de **10 l/s**.

L'eau de la ville de Ksar Chellala est provient des eaux souterraines de deux nappes très importantes l'une de plateaux Sersou et l'autre alimenté par l'oued Touil, elle possède des réservoirs d'eau à travers les montagnes de Beni Hamad qui donne une chaine des sources d'eau dont les plus importantes, qu'on cite :

- ❖ Ouzeragharia,
- ❖ Ras El Ain,
- ❖ Lala Raia,
- ❖ Kouafasse et Djefala,
- ❖ La source de Fritissa Serguine
- ❖ Ain Taguine (Ras El Ain) à Z'mal El Amir AEK
- ❖ Heds(haut-commissariat des développements des steppe)(**Mehdaoui.m, Fathallah B.,2016**)

#### 4 Lithologie du sous bassin d'Oued Touil :

Dans la vallée de l'Oued Touil, l'alimentation en eau des nappes souterraines se fait par les pluies et par les infiltrations des eaux de l'oued Touil quand il est en crue.

On ne prendra pas en compte les formations Jurassiques déjà reconnues au niveau de leurs affleurements dans les contreforts de Ksar Chellala d'une part, et d'autre part car le toit de ces formations au centre de la plaine se trouve à de grandes profondeurs. Par conséquent, on essaiera de mettre en valeur les réservoirs des formations crétacées, du Tertiaire et du Quaternaire, c'est-à-dire les formations affleurant dans la zone d'étude ou ayant un toit peu profond (Mehdaoui. M, Fathallah. B,2016)

#### 4.1 Le réseaux hydrographiques d'Oued Touil :

D'après l'étude Australienne, les ressources en eau de la zone d'Oued Touil s'élèvent à environ **3600 l/s**, pouvant irriguer **10 000 hectares**.

Les crues de l'Oued Touil qui se jettent dans la mer sont estimées à environ **17 000 l/s**, ce qui suppose d'importantes possibilités de recharge de la nappe et de collecte des eaux de ruissellement (Hadj M., 2016)

Il existe un certain nombre de forages (près d'une trentaine) dans la zone dont la profondeur varie de 100 à 200 mètres, avec un débit variable de **20 à 70 l/s** et une eau douce proche de 1 gramme par litre de résidus secs. Le nombre de puits s'élève à 320.

D'une façon générale, les ressources en eau de la zone d'Oued Touil sont importantes, mais malheureusement mal prospectée.

#### 4.1.1 Les eaux superficielles d'oued Touil :

Le ruissellement de l'Oued Touil est estimé annuellement à environ 26 millions de m<sup>3</sup>, répartis selon les zones comme suit (Hadj M., 2016) :

- ❖ Ben Djlila : 12 millions de m<sup>3</sup> ;
- ❖ Zamalet Amir Abdelkader : 10 millions de m<sup>3</sup> ;
- ❖ Bel Khir (Sidi Ladjel) : 4 millions de m<sup>3</sup>.

#### 4.1.2. Les eaux souterraines d'Oued Touil :

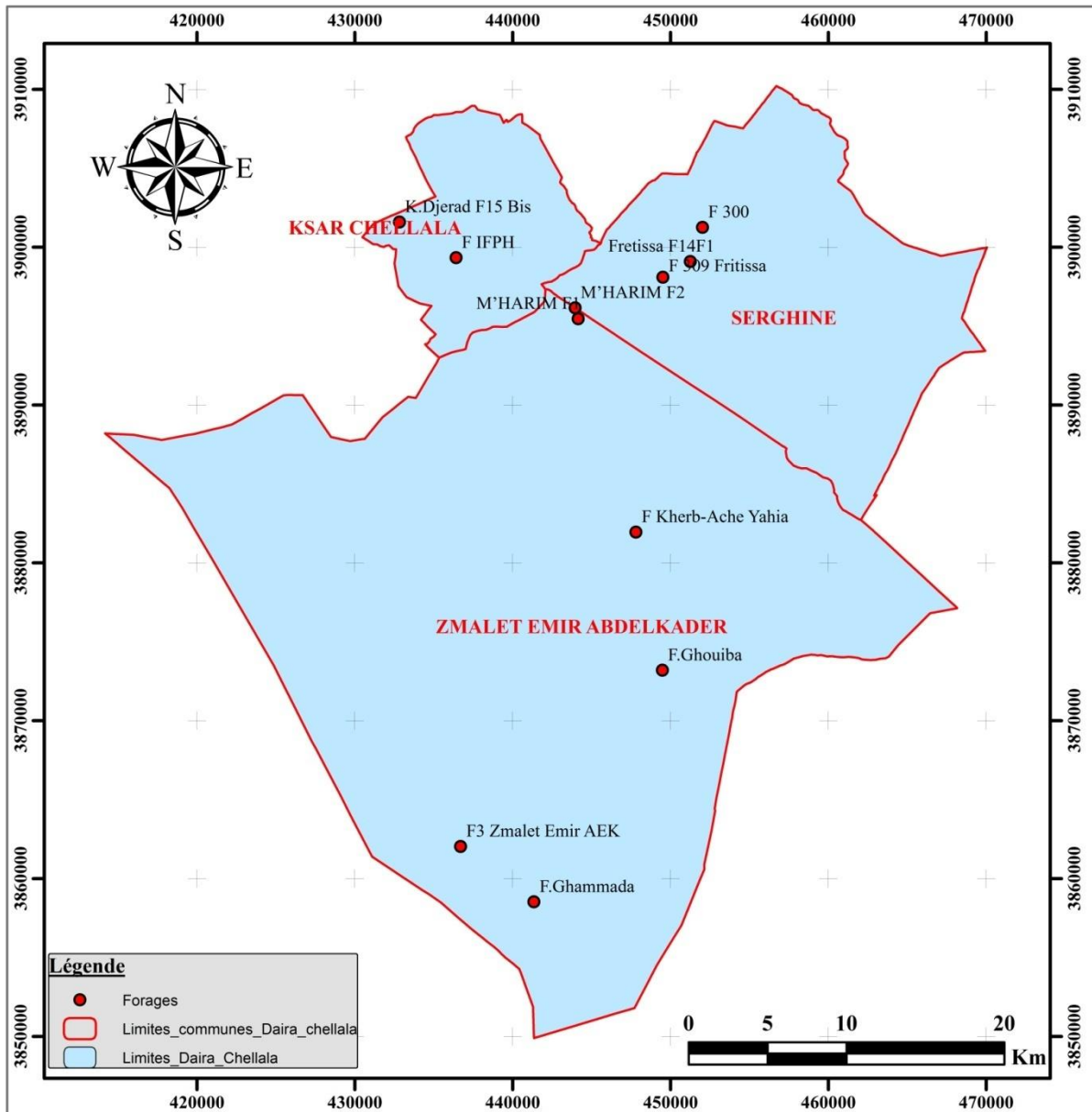
Elles sont estimées à environ 10 millions de m<sup>3</sup> dont seulement 3.5 millions exploitables pour l'irrigation en agriculture. Sept localités ont été délimitées pour l'exploitation des eaux souterraines, dont les débits varient de 20 à 100 l/s. (Hadj M., 2016) (Figure 22)

**Tableau 12 : Les caractéristiques techniques des forages destinés à l'AEP de la région de Ksar Chellala**

NOM	XUTM	YUTM	Z (m)	Qexp(l/s)	Prof (m)	NS (m)	ND (m)	Qmob (l/s)
F1	451259.62	3899090.53	800	30	276	-	-	60
F 309 Fritissa	449526.77	3898085.76	817	18	252	Artésien	6	66.6
F 300	452035.99	3901248.05	808	13	260	Artésien	8.2	62.5
F3 Zmalet Emir AEK	436712.50	3862027.48	940	50	52	5.5	15.5	60
F Kherb-Ache Yahia	447819.16	3881942.38	-	3	144	22	22	3
M'HARIM F1	444159.42	3895461.88	840	36	250	15	22	50
M'HARIM F2	443961.48	3896152.41	850	28	250	22 ,22	48.82	45
F IFPH	436421.36	3899324.45	-	10	250	27.6	79.5	13.33
K.Djerad F15 Bis	432838.22	3901589.88	792	16	170	21.5	57.1	27
Fretissa F14	451259.62	3899090.53	800	30	276	Artésien	-	80
F.Ghouiba	449493.17	3873188.57	-	10	100	15	37	15
F.Ghammada	441351.58	3858514.63	-	3	60	7.5	30	3.5

Les zones steppiques sont caractérisées par des faibles précipitations. Dans ce cas l'hydrogéologie a un rôle capital en identifiant les aquifères souterrains. Ces formations aquifères dans la région de Ksar Chellala sont représentées dans la **figure 31**.

Les puits localisés près de la localité de Taguine, ils ont une profondeur allant de **5 à 45m**. ils sont généralement destinés à l'irrigation à cause de la grande salinité des eaux souterraines.



**Figure 30 : Carte de répartition spatiale des forages d'eau destinés à l'AEP de la daïra de Ksar Chellala**



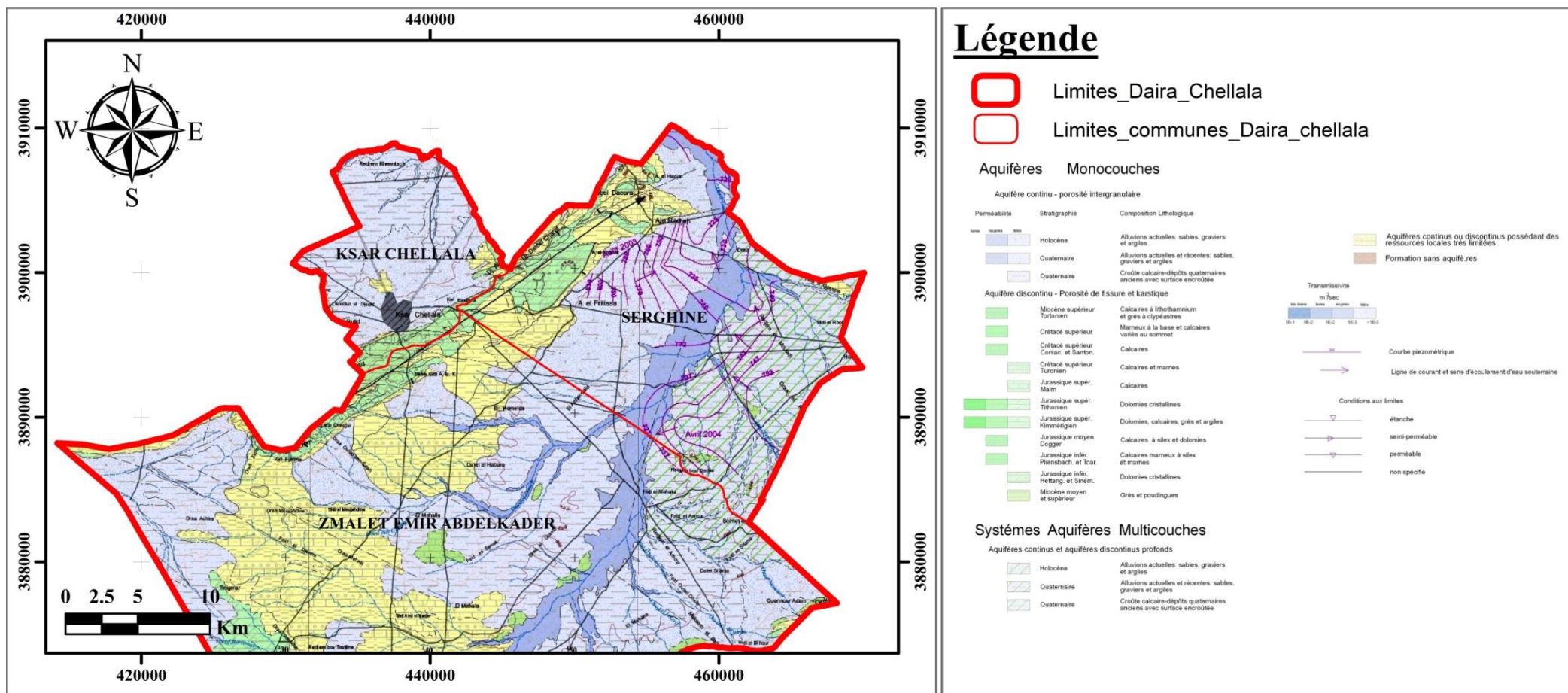


Figure31 : Extrait de la carte hydrogéologique de la région de Ksar Chellala (ANRH, 2008)

**Conclusion**

La région de ksar Chellala , de point de vue hydrogéologique on peut retenir les formations aquifères suivantes :

- ✓ Les formations du Plio-Quaternaire
- ✓ Les formations du Crétacé Inferieur
- ✓ Les formations du Tithonique et Kimméridgien dolomitique
- ✓ Les formations Barrémien
- ✓ Les formations Aptien
- ✓ Les formations Albien

Ces aquifères à nappes exploité a partir de cinq (05) Forages et de deux puits situés à côté de la ville donnent un débit d'exploitation total de 125 l/s qui alimentent les huit (08) Réservoirs existants au niveau de « Ksar Chellala », pour les sources, celles de : Ras el Ain, Bounouara. et Djefala.

L'étude géophysique semble avoir atteint les objectifs fixés à la fois géologiquement et hydrogéologiquement. Il nous a donné des informations sur l'épaisseur des couches et la nature des roches existantes, ainsi que sur l'étendue de la conductivité de ces roches.



## **Chapitre IV : Hydrochimie**

**Introduction**

L'étude hydrochimique donne des informations sur les caractéristiques physicochimiques des eaux souterraines qui varient d'une région à une autre à cause de la nature lithologique des terrains.

Ainsi que les interactions du contexte environnemental : percolation à travers la zone non saturée, échanges avec les eaux de surface, évaporation, effet des pollutions en surface, etc. L'ensemble de ces facteurs prédéterminera la qualité de l'eau vis-à-vis de sa potabilité et de son aptitude à l'irrigation. A travers, l'étude qui suit, l'interprétation des données des analyses des différentes eaux prélevées afin de déterminer les caractéristiques physico-chimiques des eaux prélevées afin de connaître leurs origines, définir leurs faciès chimiques.

Donc L'objectif de notre travail est l'évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la région de Ksar Chellala.

1. Protocole expérimentale :

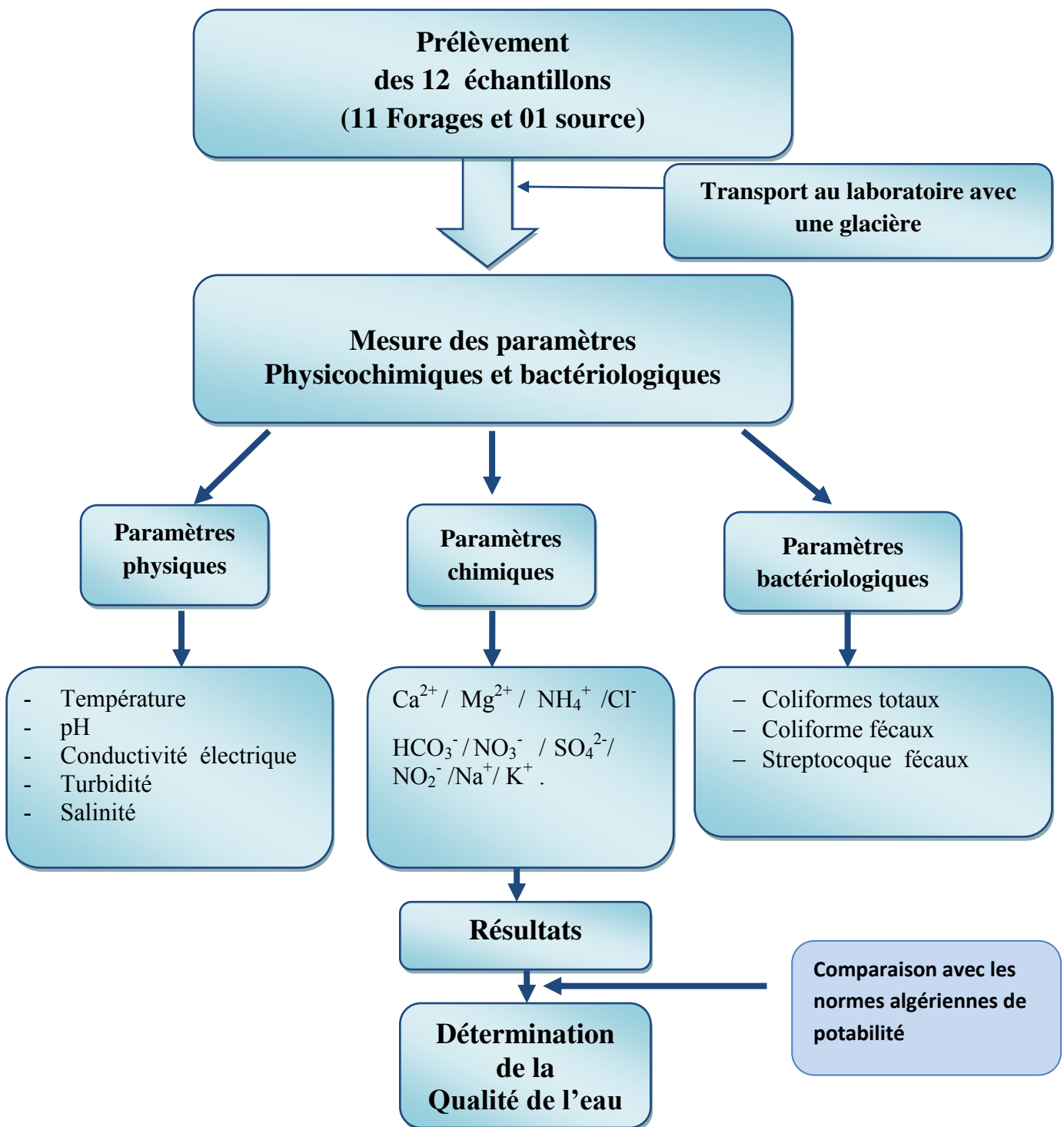


Figure 32 : Schéma du protocole expérimental

## 2.Choix des points de prélèvement :

Pour une bonne représentativité des échantillons, nous avons choisi cinq (05) forages et sept (07) sources de prélèvement selon les critères suivants :

- Une répartition spatiale idéale des forages couvrant l'étendue de la zone d'étude.
- L'utilisation en alimentation en eau potable, en agriculture ou le secteur industriel.
- L'accessibilité aux points d'eau à prélever

## 3.Le mode du prélèvement :

D'après le choix des points de prélèvement, il est nécessaire d'ouvrir le robinet suffisamment pour renouveler l'eau contenu dans le tubage jusqu'à ce qu'elle devienne représentative de la portion d'aquifère que l'on veut échantillonner.

Les échantillons d'eau doivent être prélevés dans des flacons propres, rincés avec l'eau distillée puis avec l'eau à analyser. Après la mise en flacon des échantillons, les flacons doivent être fermés hermétiquement sans laisser de bulles d'air dans le flacon.

Les flacons doivent être clairement identifiés à l'aide d'étiquettes indiquant le numéro de l'échantillon

Le prélèvement doit s'effectuer dans des conditions d'asepsie rigoureuse, la température et le temps de prélèvement les techniques de prélèvement sont variables selon le type d'analyse ;

- **Analyses physico-chimiques** : réalisées dans le laboratoire de l'INSID de Ksar Chelalla
- **Analyses bactériologiques** : faites dans le laboratoire d'analyse de l'hôpital Ksar Chelalla

## 4.Stockage des échantillons :

Toutes les eaux sont susceptibles de se modifier plus ou moins rapidement par suite des réactions physiques, chimiques qui peuvent avoir lieu dans le flacon dans le laps de temps qui sépare le prélèvement de l'analyse.

Pour cela, il faut apporter les échantillons au laboratoire des analyses dès que possible (délai inférieur à 24 heures). La température de l'échantillon ne doit jamais dépasser celle de l'eau souterraine prélevée. Les flacons doivent être stockés à l'abri de la lumière et au frais (glacière au réfrigérateur). Au laboratoire, les échantillons doivent être conservés au réfrigérateur entre 3 et 5°C.

**5-Identification :**

Les échantillons prélevés doivent être clairement identifiés chaque flacon doit porter une étiquette indiquant :

- Nom de l'opérateur qui a effectué les prélèvements ;
- Site du prélèvement ;
- Lieu et la nature ;
- Mode de prélèvement (ponctuel ou moyen de 24 heures) ;
- Date et heure (du début de prélèvement) et durée ; **(Belhakem A. et Salah A., 2015)**

**6.Les Analyses physico-chimiques****6.1 Analyses physiques :**

- La température ( $T^{\circ}$ )
- Potentiel d'hydrogène (pH)
- La conductivité électrique (CE)
- La Turbidité
- La Salinité
- Le Résidu sec (RS)

**6.2 Analyses Chimiques :**

- Le Calcium ( $Ca^{+2}$ ):
- Le Magnésium ( $Mg^{+2}$ )
- Fer ( $Fe^{+}$ ) :
- Bicarbonate ( $HCO_3^{-}$ )
- Les chlorures ( $Cl^{-}$ )
- Sulfates ( $SO_4^{-}$ )
- Nitrates ( $NO_3^{-}$ )

**6.3 Analyses bactériologiques :**

Les indicateurs de contamination fécale permettent d'apprécier avec plus ou moins de sureté ou de précocité, le risque d'une contamination par des matières fécales pouvant véhiculer des microorganismes pathogènes.

En générale, les mêmes germes sont utilisés dans l'une ou l'autre des situations et qui sont :

- **Les coliformes totaux.**
- **Les coliformes fécaux.**
- **Les streptocoques fécaux.**

Il existe plusieurs méthodes de dénombrement de micro-organismes pathogènes parmi ces méthodes on cite :

- **Technique des tubes multiples.**
- **Technique sur membrane filtrante.** On a utilisé dans notre travail la technique sur membrane filtrante par outille de flamber dans laboratoire.

## 7. Résultats et discussions :

### 7.1 Discussions des paramètres physiques :

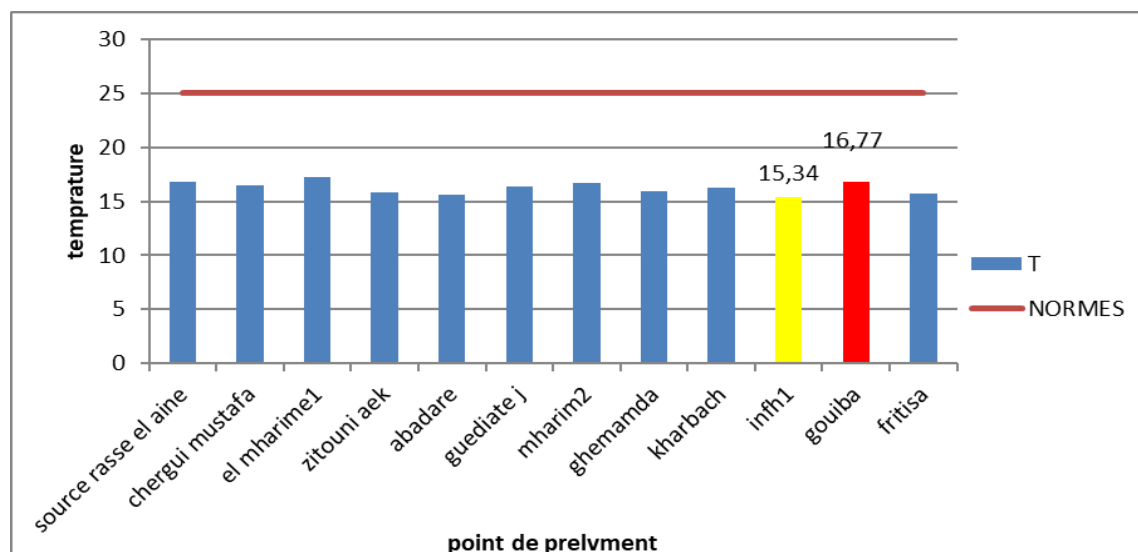
#### 7.1.1 Température (T°) :

La température des eaux souterraines est généralement moins affectée par les variations, quotidienne et saisonnière, de la température de l'air. Elle subit néanmoins de façon atténuée ces variations au fur et à mesure de leur approfondissement. La variation de température régit la quantité d'oxygène dissous dans l'eau. Plus l'eau est chaude, moins l'oxygène est capable de se maintenir en solution et le manque d'oxygène est l'un des facteurs de la pollution thermique.

Par ailleurs, la température de l'eau joue, en outre, un rôle au niveau de la décomposition des matières organiques et du développement des maladies parasitaires.

Elle favorise la fermentation qui agit comme pollution additionnelle et qui diminue la teneur en Oxygène dissous. Les variations brusques et soudaines de température d'une eau doivent porter la suspicion sur cette eau. Les industries électriques métallurgiques, etc., sont les principales sources de pollution thermique.

Les valeurs mesurées de la température des échantillons d'eau de chaque prélèvement sont exprimées dans la figure ci-après.



**Figure 33 : Histogramme des résultats de Température (°C) des points de prélèvement**

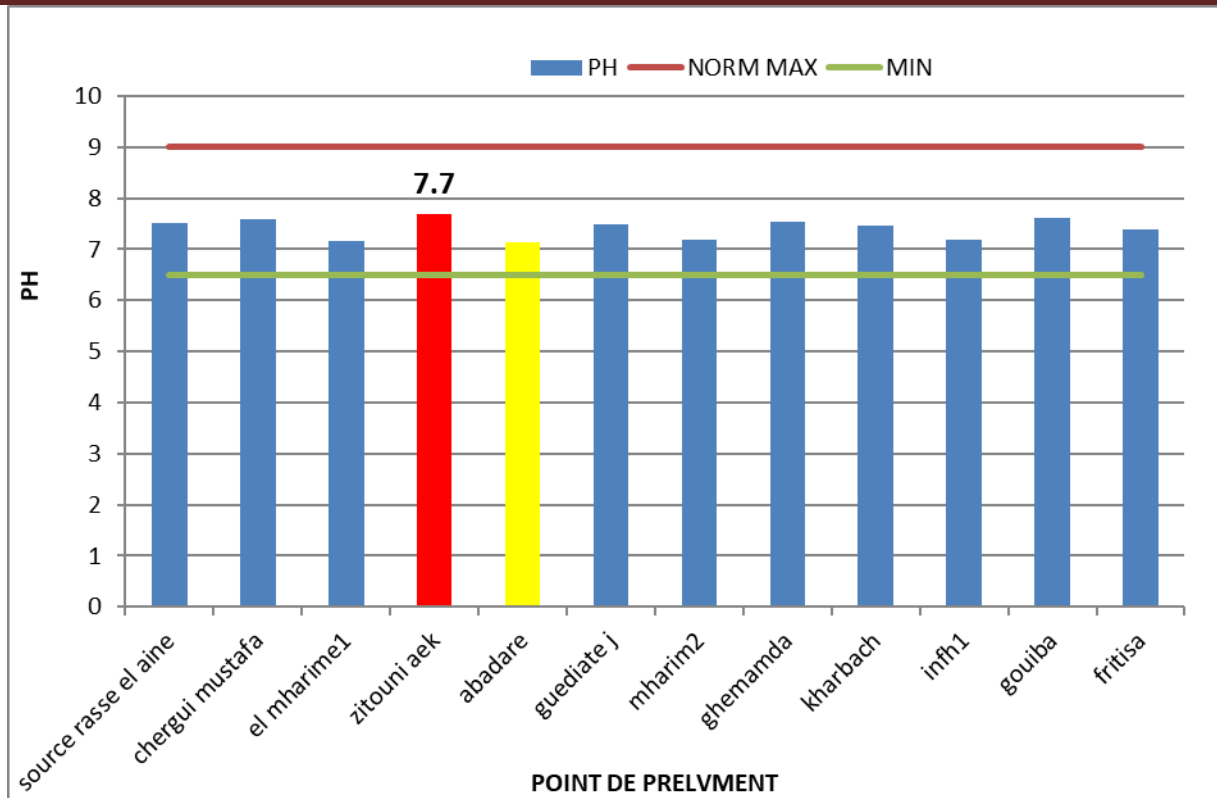
Selon les résultats obtenus de la température de l'eau des 12 points de prélèvement on observe que les valeurs de T sont variées entre 16,50 et 15,33°C, cette différence est due au changement de la température atmosphérique, Ces valeurs de température sont inférieures aux normes algériennes qui sont fixés à 25°C. **(Figure 33 )**

**7.1.2 Potentiel d'Hydrogène (pH) :** La détermination du pH constitue une mesure de la concentration des ions H<sup>+</sup> dans l'eau. Le pH montre le degré d'acidité du milieu.

Le pH dépend de l'origine des eaux et de la nature géologique des terrains. Les régions granitiques et les zones forestières donnent des eaux acides aux pH voisins de 5 à 6 alors que les terrains calcaires donnent des eaux de pH voisins de 8. Le pH représente l'état de l'équilibre carbonique. Le CO<sub>2</sub> libre dissous dans l'eau forme un acide faible qui abaisse le pH. Il réagit avec les bases pour former des carbonates acides, pratiquement insolubles, et des bicarbonates très solubles. Suivant la teneur en Calcium et en

Magnésium, le pH remonte au fur et à mesure de la neutralisation du CO<sub>2</sub> par l'une ou l'autre base.

Le pH ne constitue pas un facteur de toxicité : des valeurs comprises entre 5 et 9 permettent un développement normal de la faune et de la flore. Par contre, il conditionne directement le degré d'ionisation des diverses solutions salines que contiennent les eaux naturelles. **(Ammari .M et Touahri.O)**



**Figure 34 : Histogramme des résultats du pH des points de prélèvement.**

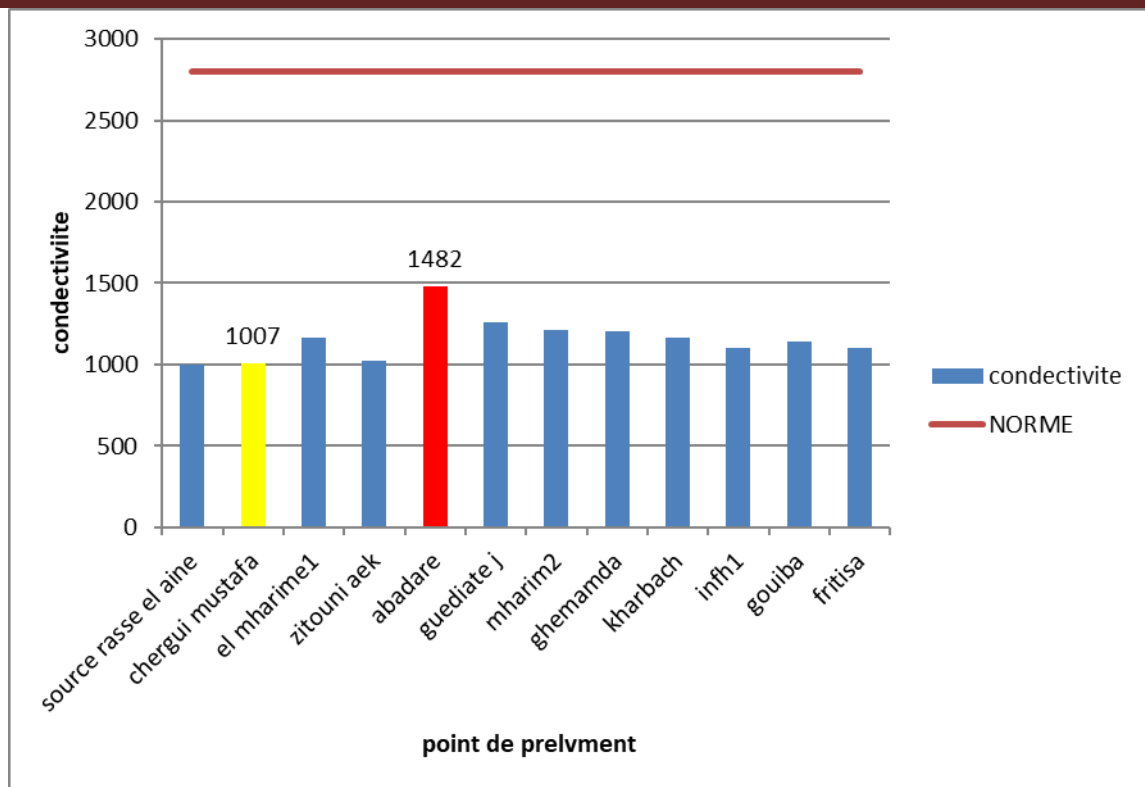
Dans notre zone d'étude, les valeurs du pH sont très homogènes entre (7,87 et 6,45) et qui répondent aux normes algériennes des eaux de consommation fixées entre ( $6,5 < \text{pH} < 9$ ). (**Figure 34**)

### 7.1.3. Conductivité électrique (CE) :

D'une façon générale, opérer avec une verrerie propre et rincée avant usage, avec de l'eau distillée. Rincer plusieurs fois la cellule à conductivité, d'abord avec de l'eau distillée puis en la prolongeant dans un récipient contenant de l'eau à analyser.

Faire la mesure dans un deuxième récipient en prenant soin que les électrodes de platine soient complètement immergées (**Richard et al, 1987**). In (**Azzaz Rahmani.H, 2012**). Le résultat de la conductivité est donné directement en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



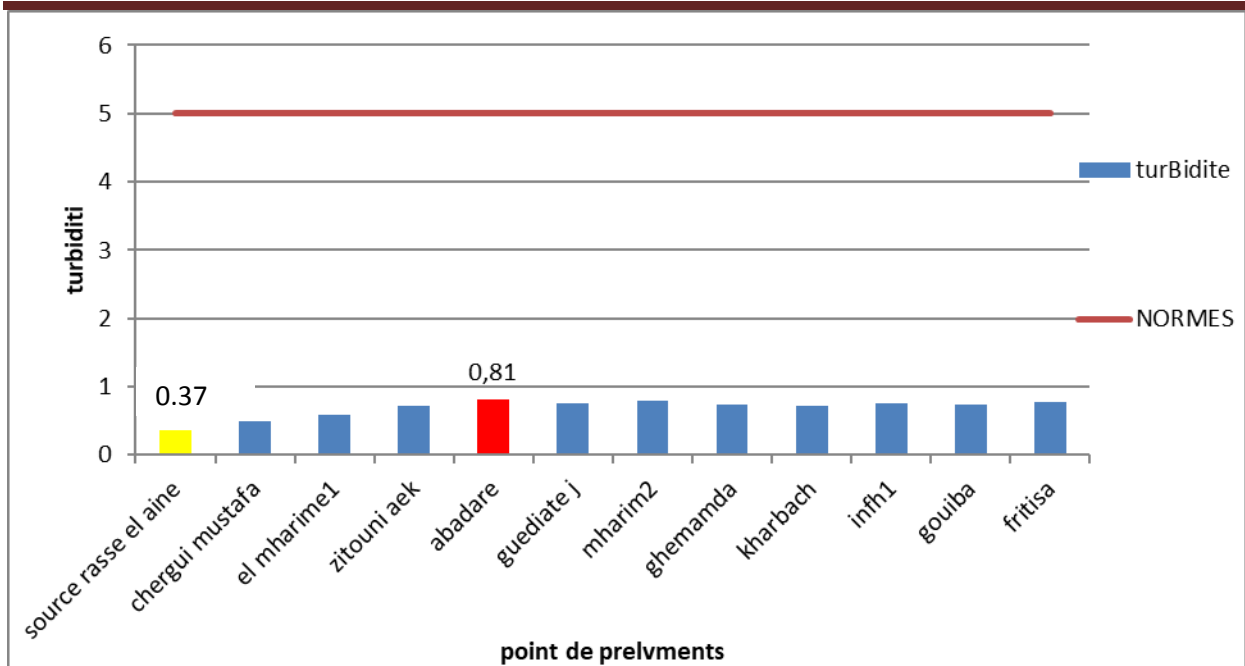


**Figure 35 : Histogramme des résultats de conductivité électrique (CE) des points de prélèvement**

La conductivité électrique est un indice de la dissolution des sels minéraux, et selon nos résultats obtenus aux cours des mesures on a 12 prélèvements qui varient entre 1482 et 997  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , ces valeurs sont dans l'intervalle de la norme algérienne des eaux potables fixée à (2800  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ). (Figure 35)

#### 7.1.4. Turbidité :

La mesure de la turbidité a été réalisée à l'aide d'un turbidimètre de la marque HACHE de précision  $\pm 0.5$  N.T.U. (Néphélogétrie Turbidité Unit). Remplir une cuvette de mesure propre bien essuyée avec du papier hygiénique et rincé avec l'échantillon d'eau à analyser bien homogénéiser et effectuer rapidement la mesure (Richard *et al.*, 1987). In (Azzaz Rahmani.H, 2012). Les résultats sont obtenus directement en NTU.

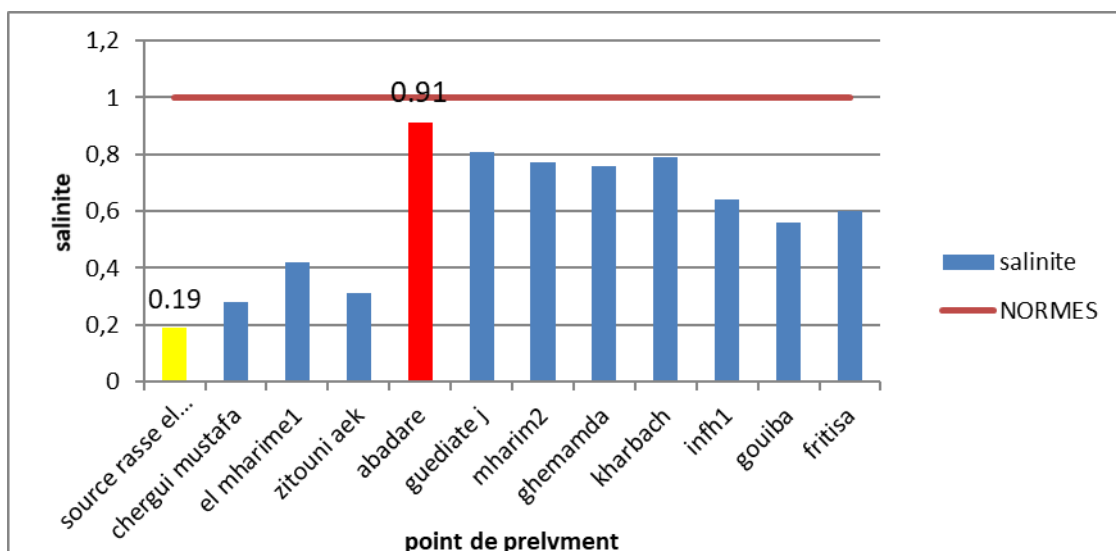


**Figure36 : Histogramme des résultats de Turbidité des points de prélèvement.**

D'après histogramme de la figure 33 on a remarqué que les valeurs de la turbidité des 12points sont comprises entre 0.38 et 0.81 unité Jackson, et que la totalité des points sont inférieures à la norme algérienne fixée à 5 unités Jackson (**Figure36**)

**7.1.5. La Salinité :**

La salinité désigne la quantité de sels dissous dans l'eau



**Figure 37 : Histogramme des résultats de Salinité des points de prélèvement.**

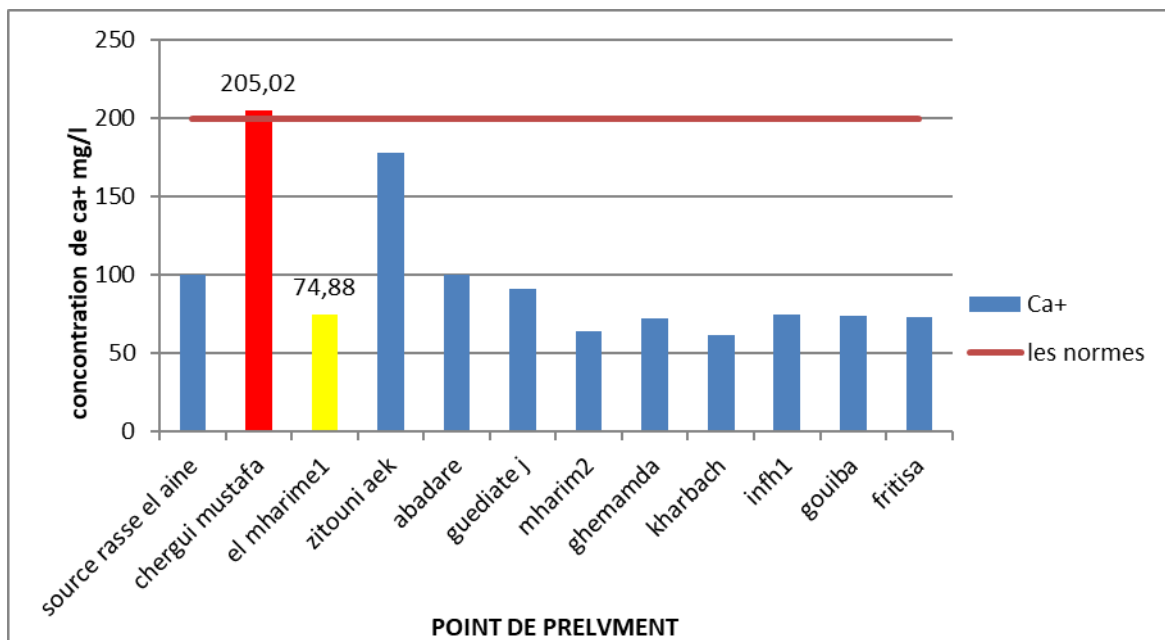
D'après les résultats d'analyse des échantillons on a remarqué que la valeur maximale de la salinité de l'eau est 0.8mg/l, Et une valeur minimale de 0.19 pour les 12 forages et ces points de prélèvement ne dépassent pas la valeur admissible de potabilité fixée 1 mg/l. (Figure 37)

## 7.2. Discussion des résultats des paramètres chimiques :

### 7.2.1 Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) :

C'est un élément de la dureté totale. Il a une origine interne au système. Il provient, surtout, de la dissolution des roches calcaires. Le calcium peut aussi provenir du gypse.

Une eau potable contient entre 100 et 140 mg/l de calcium. Les eaux qui contiennent plus de 200 mg/l de calcium présentent des inconvénients



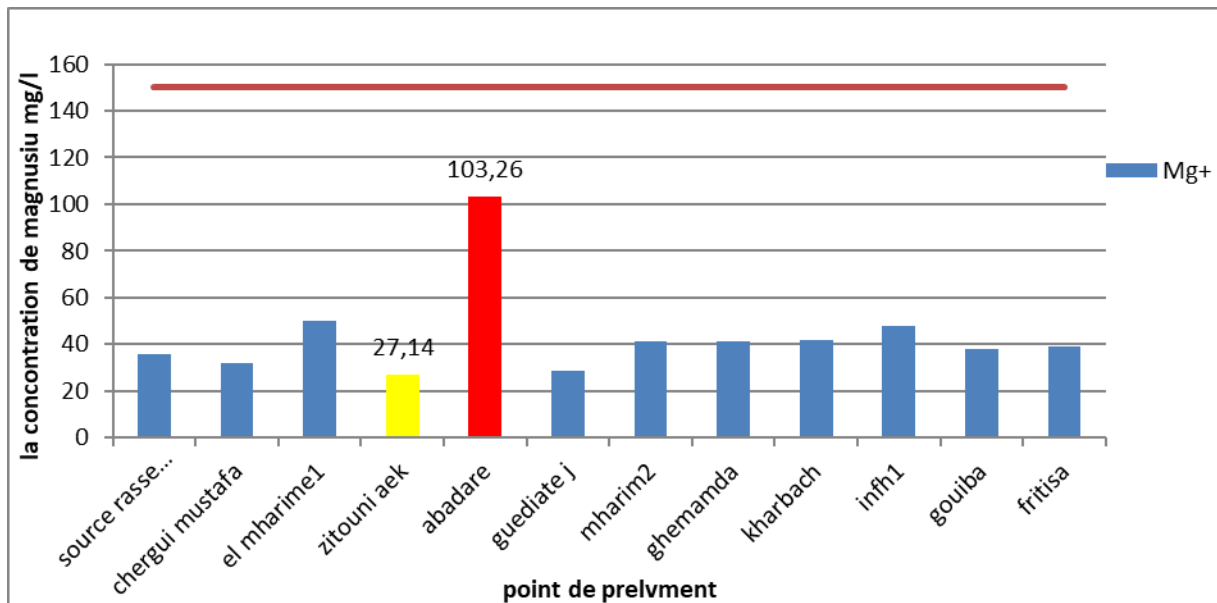
**Figure 38 : Histogramme des résultats de Calcium des points de prélèvement.**

D'après les résultats d'analyse illustré, dans l'histogramme (Figure 38) on observe que la plupart des points de prélèvement ont une teneur en Calcium aux normes de potabilité algériennes (200mg/l). A l'exception le forage de **Chergui Moustafa** qui dépasse les normes algériennes avec une valeur 205 mg/l cette teneur liée à la nature lithologique des terrains traversées (surtout des dolomies et des calcaires).

### 7.2.2. Magnésium ( $Mg^{2+}$ ) :

C'est également un élément de la dureté totale. La mise en solution de cet ion prend beaucoup de temps.

Il provient de l'attaque des formations dolomitiques par le gaz carbonique, de la dissolution de  $MgSO_4$  dans les terrains gypseux entraînant le magnésium et aussi des minéraux ferromagnésiens.

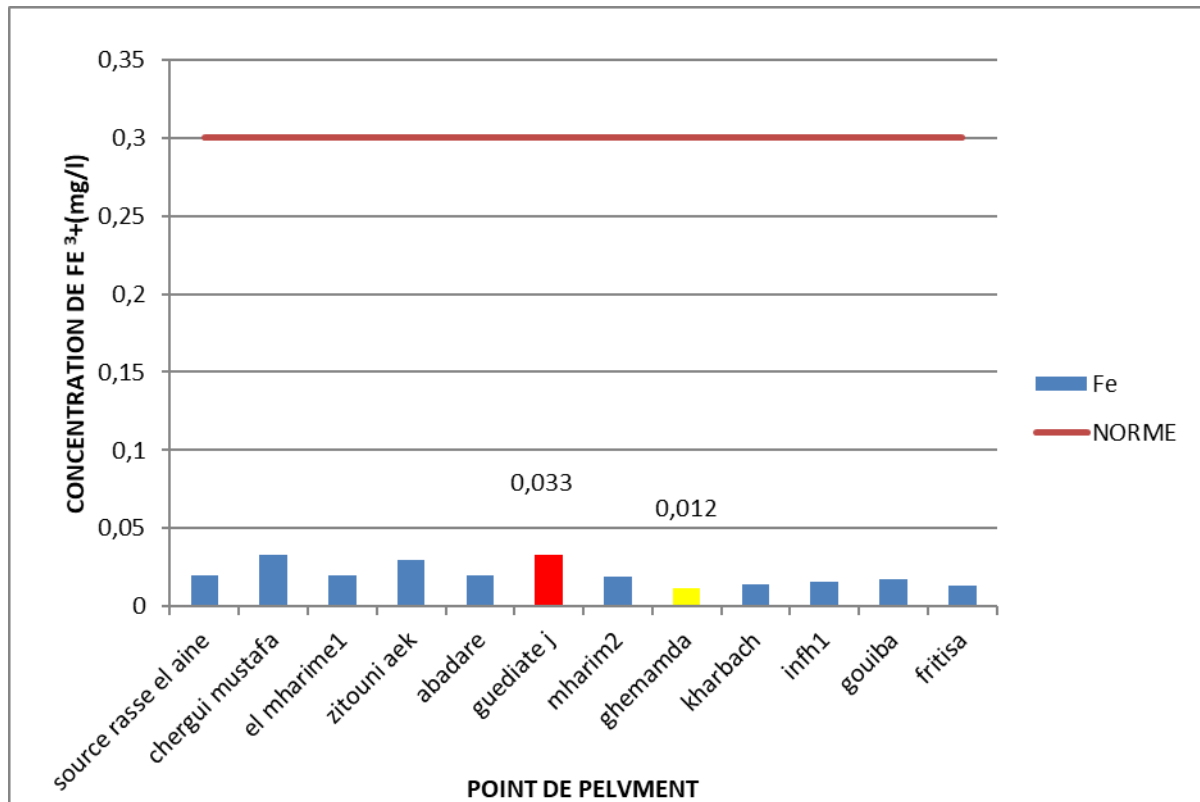


**Figure 39 : Histogramme des résultats de Magnésium (mg/l) des points de prélèvement**

D'après les résultats obtenus, on a observé que les valeurs de Magnésium varient entre 27.14 mg/l et 103mg/l pour les 12 points de prélèvement ce teneur répondent aux normes algériennes des eaux potables qui sont fixés à 150mg/l. (Figure 39)

### 7.3.3 Fer ( $Fe^{+3}$ ) :

Le réactif ferrugine forme un complexe de couleur violette avec les traces de fer dans l'échantillon tamponné à  $pH = 3,5$ . Cette méthode peut être utilisée aussi pour l'analyse des échantillons contenant de la magnétite (oxyde de fer noir) ou des ferrites



**Figure 40 : Histogramme des résultats de Fer (mg/l) des points de prélèvement.**

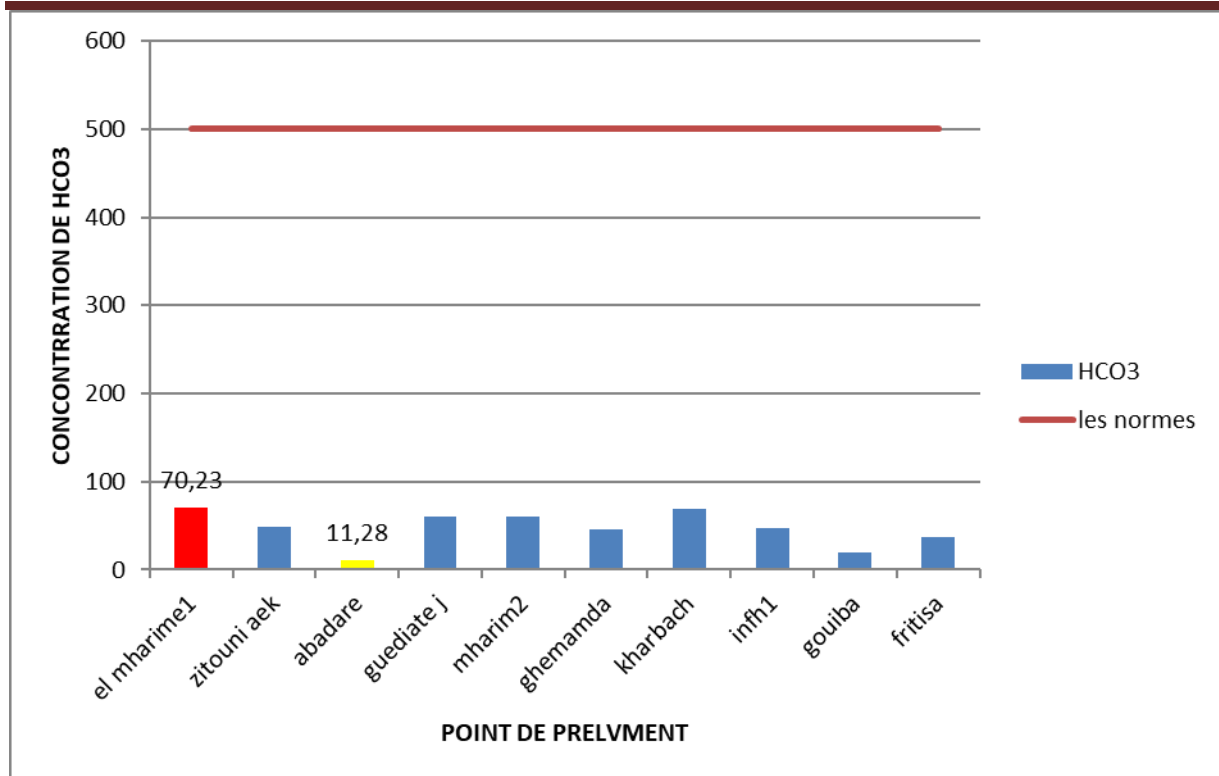
Les résultats obtenus de la **Figure 40**, montre que Les valeurs en Fer totale sont comprises entre (**0.012 mg/l et 0.033 mg/l**), ces valeurs répondent aux normes algériennes de potabilité qui sont fixés 0.033 mg/l.

#### 7.2.4 Teneur en Bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) :

Les bicarbonates résultent de la dissolution de carbonate de calcium ou suite à l'hydrolyse De CO<sub>2</sub> comme le montre les équilibres chimiques suivants :

- $\text{CaCO}_3 \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$
- $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$
- $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{HCO}_3^-$

Leur concentration dépend de plusieurs facteurs tels que le pH, l'alcalinité ainsi que la température du milieu aqueux



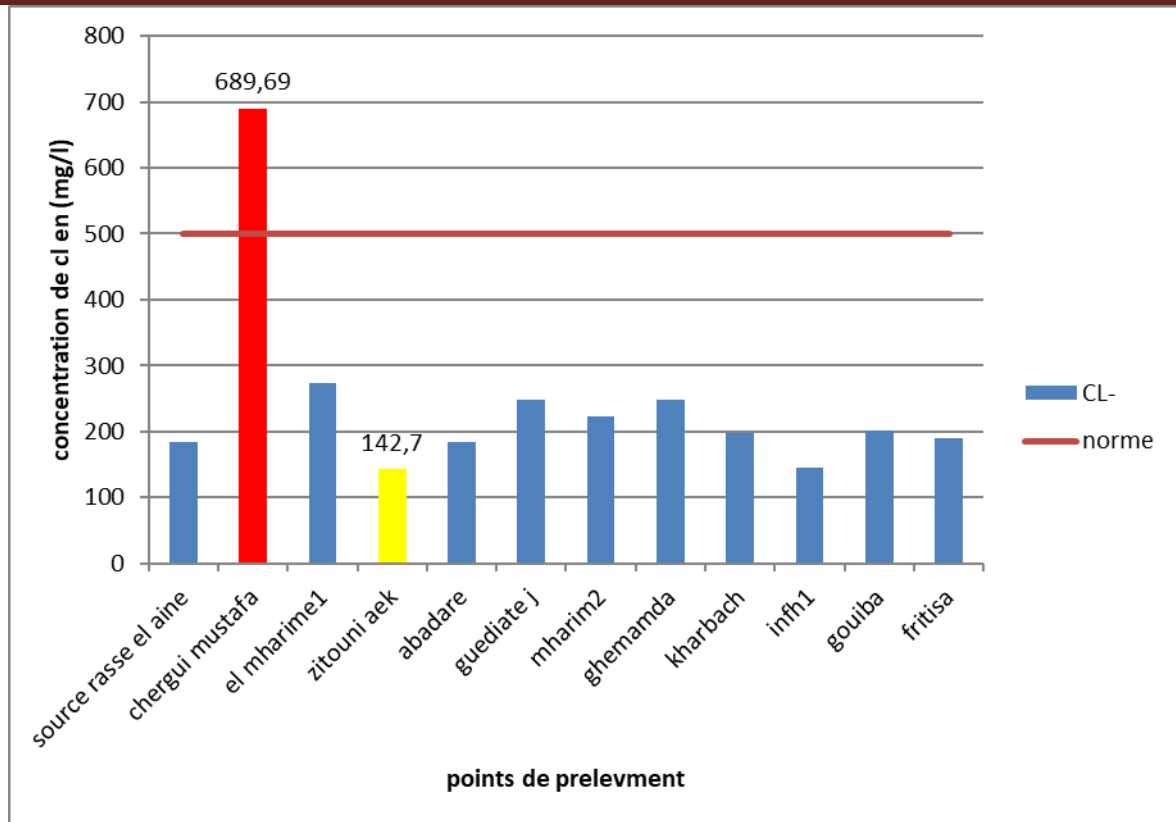
**Figure 41 : Histogramme des résultats de Bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) des points de prélèvement.**

Les résultats (**Figure 41**) montrent que les teneurs en bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) des 12 échantillons prélevés varient entre 11.28mg/l et 70.23mg/l. Ces valeurs restent inférieures aux normes de potabilité fixées à 500mg/l.

### 7.2.5 Chlorures (Cl) :

Les chlorures ont deux sources : les apports atmosphériques et la dissolution des évaporites salées. Dans les régions littorales, les pluies apportent des chlorures d'origine maritime qui peuvent s'accumuler en surface par évaporation puis être entraînés dans les aquifères. La dissolution des évaporites ( $\text{Na Cl}$ ) est aisée et sont présentes en grandes concentrations dans les eaux.

Le principe est basé sur la réaction des ions chlorure avec des ions d'argent pour former le Chlorure d'Argent insoluble, précipité quantitativement avec l'addition d'un petit excès d'ions argent et de chromate, formation du chromate d'argent brun rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur (**Rodier J. ,1996**). La réaction se fait en présence de chromates de Potassium.



**Figure 42 : Histogramme des résultats des Chlorures (mg/l) des points de prélèvement**

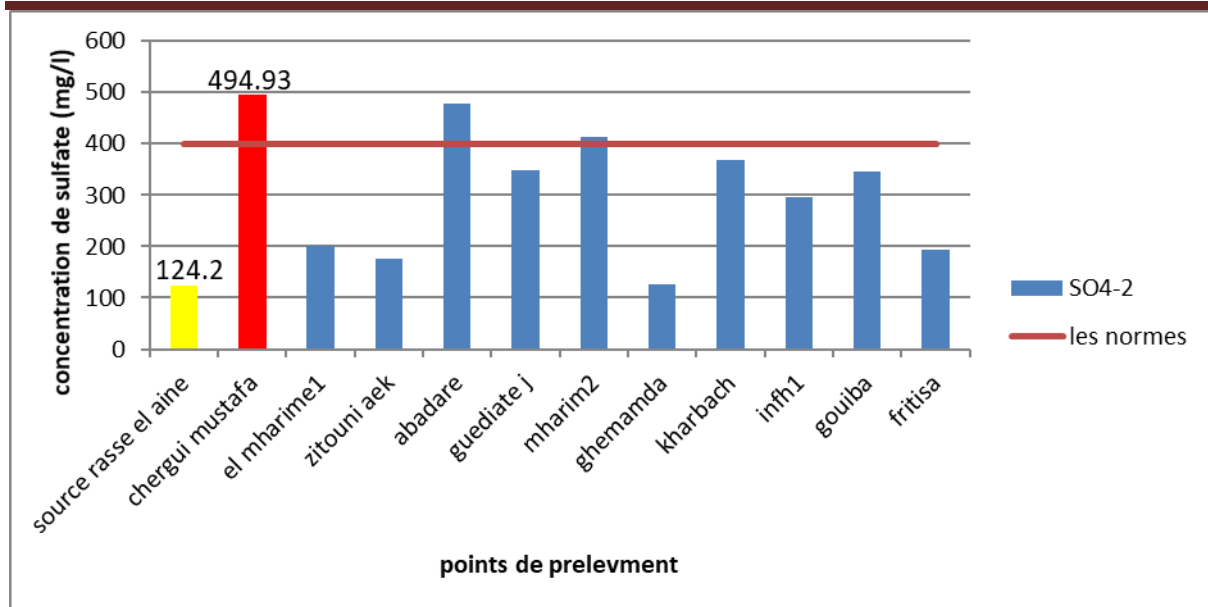
Les résultats obtenus (**Figure 42**) montrent que la concentration en chlorures de 11 points inférieure aux normes algériennes des eaux potables fixées à 500mg/l, points analysés, cette valeur varie entre et 280 et 142.7 mg/l.

À l'exception du forage Chergui Mustafa qui dépasse les normes algériennes des eaux potables avec une valeur 689.9 mg/l, ceci est du probablement a formation géologiques traversés (surtout les roches évaporitiques gypsifères)

#### 7.2.6. Les Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) :

Les eaux naturelles contiennent, pratiquement, toujours des ions sulfates dans des proportions très variables (d'origine météorique). Leur présence résulte de la légère solubilité des sulfates de calcium dans les roches gypseuses et de l'oxydation des sulfures se trouvant dans les roches. Cependant, ils peuvent aussi provenir de l'oxydation dans l'atmosphère, de l'anhydrite sulfureuse par combustion des hydrocarbures (**Bakalowicz, 1979**)

Les ions sulfates sont précipités et passés à l'état de sulfate de Baryum. (**Rodier J., et al ;2005**).



**Figure 43 : Histogramme des résultats de Sulfates (mg/l) des points de prélèvement.**

L'histogramme de la **figure 43** montre que les concentrations des sulfates dans les 9 points de prélèvements : Source Ras El Ain **124.2 mg/l** qui sont acceptables et inférieures aux normes de potabilité algérienne fixée à 400mg/l.

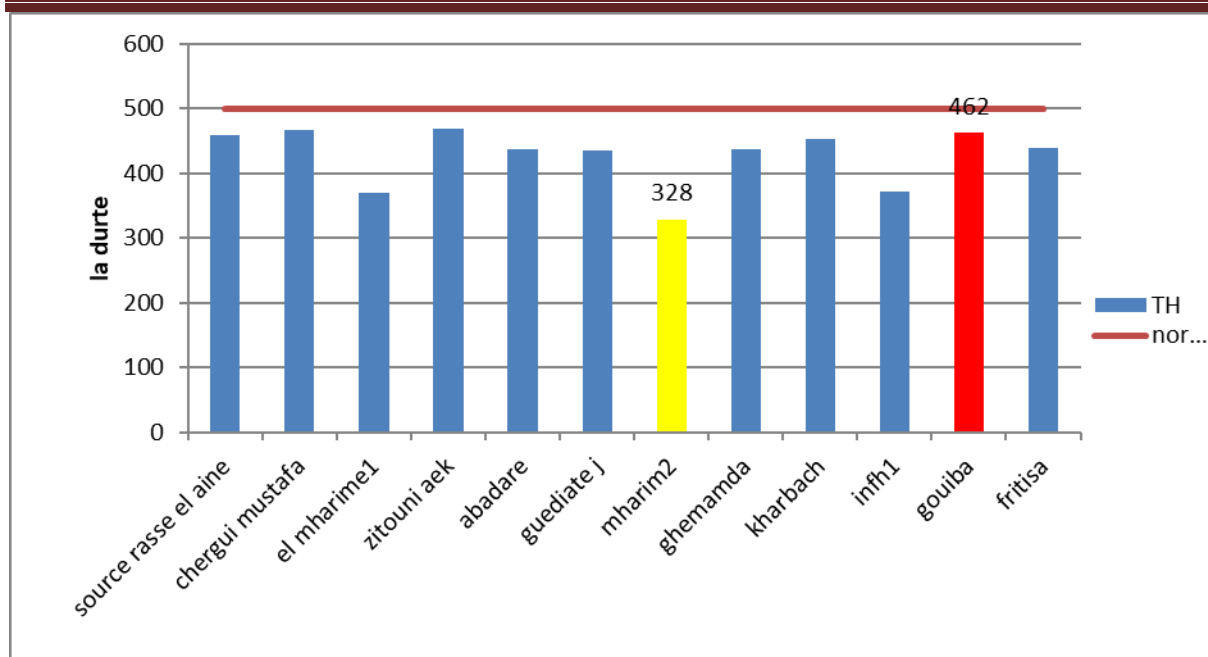
A l'exception des 03 forages : Chergui Mustafa, Abadare et Mharim 2 qui sont supérieures à la norme algérienne avec des valeurs de **522.41mg/l**, **478.14mg/l** et **412.2mg/l** respectivement.

### 7.3 Dureté et alcalinité des eaux :

#### 7.3.1 La dureté :

La dureté d'une eau est un caractère naturel correspondant à la présence de sels de calcium et de magnésium dans l'eau. Une eau trop dure constitue un risque important d'entartrage des canalisations. En fonction de leur dureté, définie par le Titre Hydrotimétrique (TH).





**Figure 44: Histogramme des résultats de la dureté des points de prélèvement.**

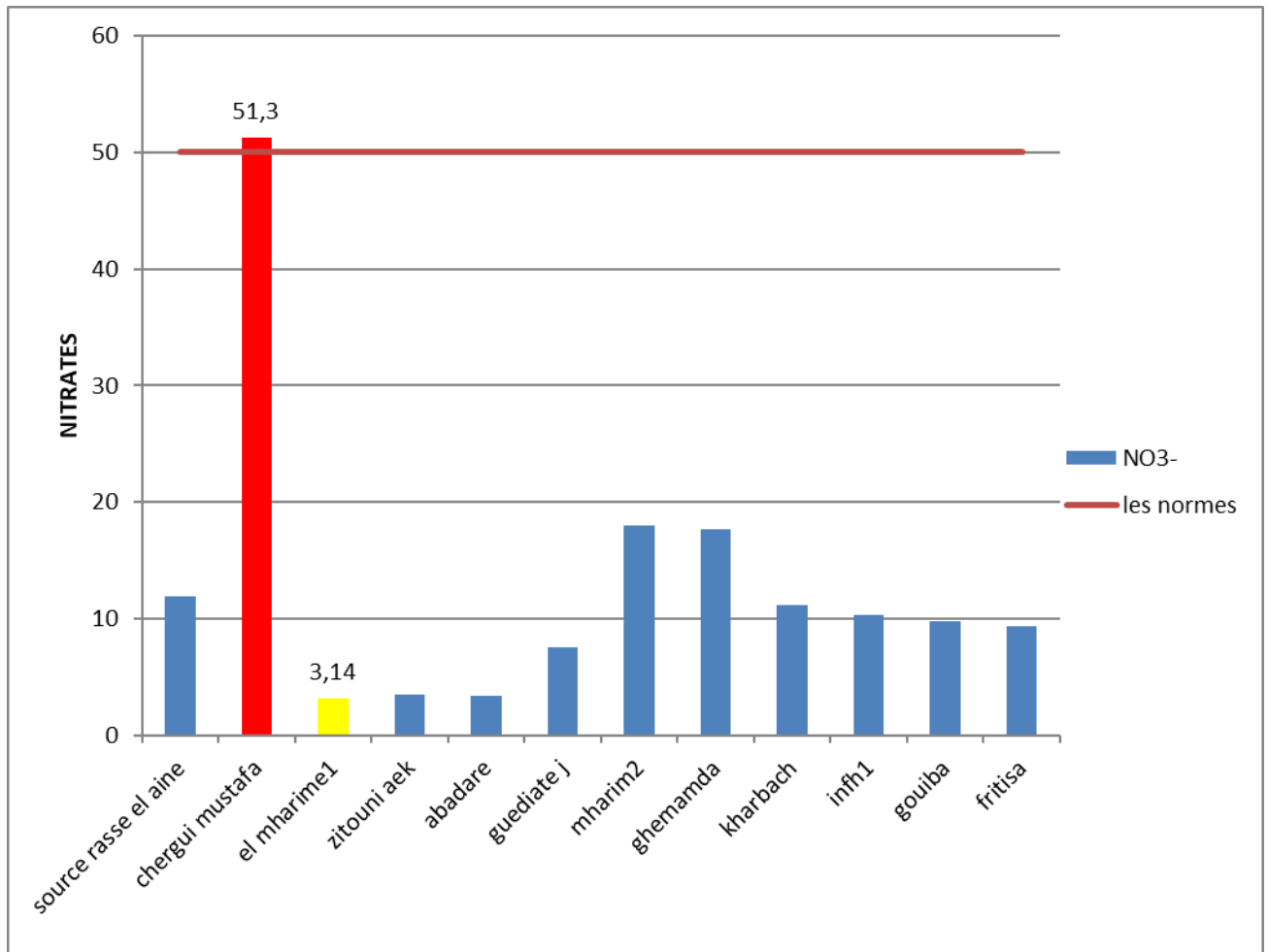
Les résultats obtenus (**Figure 44**) dans histogramme montrent que la dureté dans les 12 points de prélèvements varie entre (140 et 480 mg/l) dans les normes de potabilité algérienne fixée 500mg/l. Les eaux peuvent être classées suivant les indications du tableau suivant :

**Tableau 13 : classification de qualité d'eau par la dureté**

TH (°F)	Qualité de l'eau
<b>0 à 6</b>	Eau très douce
<b>6 à 15</b>	Eau douce
<b>15 à 30</b>	Eau moyennement dure
<b>30 et plus</b>	<b>Eau très dure</b>

Concernant notre secteur d'étude, les valeurs de TH calculées de l'ensemble des points de prélèvement montrent qu'on est en présence d'eaux **très dure**

## 7.4 Paramètres de pollution :

7.4.1 Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) :

**Figure 45 : Histogramme des résultats de nitrate des points de prélèvement.**

On remarque à travers les résultats obtenus (**Figure 45**) prouve que les teneurs des nitrates dans les eaux de 11 points d'eau étudiés sont comprises entre et 3.14mg/l, ces valeurs sont inférieures aux normes de l'eau potable fixées à 50mg/l.

A L'exception de forage Chergui Mustafa 51.3 mg/l est supérieure aux normes de l'eau potable, la concentration élevée à cause de l'utilisation des produit phytosanitaires dans la terre culturale de chergui Mustafa.

8. Identification du faciès chimiques des eaux :

8.1 Diagramme de Piper :

Le diagramme de Piper permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles témoignant les teneurs relatives en chacun des ions par rapport au total des ions. A ces deux triangles, est associé un losange synthétisant le faciès global. ( **Figure 46** )

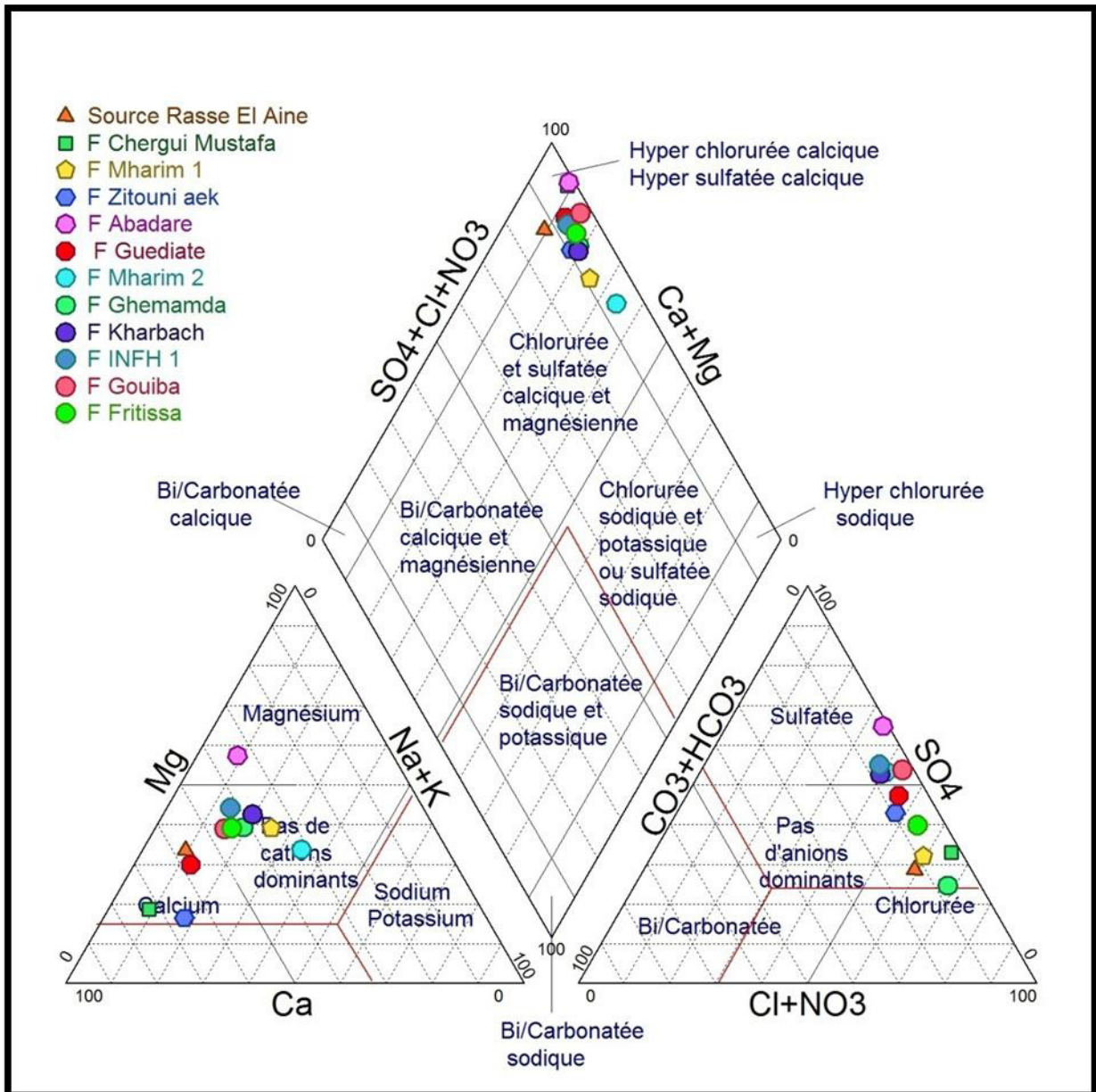


Figure 46 : Le diagramme de Piper des eaux souterraines de la région de Ksar Chellala

A partir du diagramme de piper nous remarquons que le faciès chimique dominant est le Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne dans les points de prélèvements et la totalité des échantillons sont des magnésium et calcium représentés sur le triangle des cations, traduisant l'origine géologique des terrains traversés à savoir : Les Calcaires, dolomies et marnes , argiles et

des grès ou une origine externe par le biais de l'Oued Touil (l'altération des terrains affleurant au bassin versant de ce dernier)

### 8.2 Diagramme de Schoeler Berkaloff

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff permet de représenter le faciès chimique de plusieurs eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points figurant les différents éléments chimiques. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique

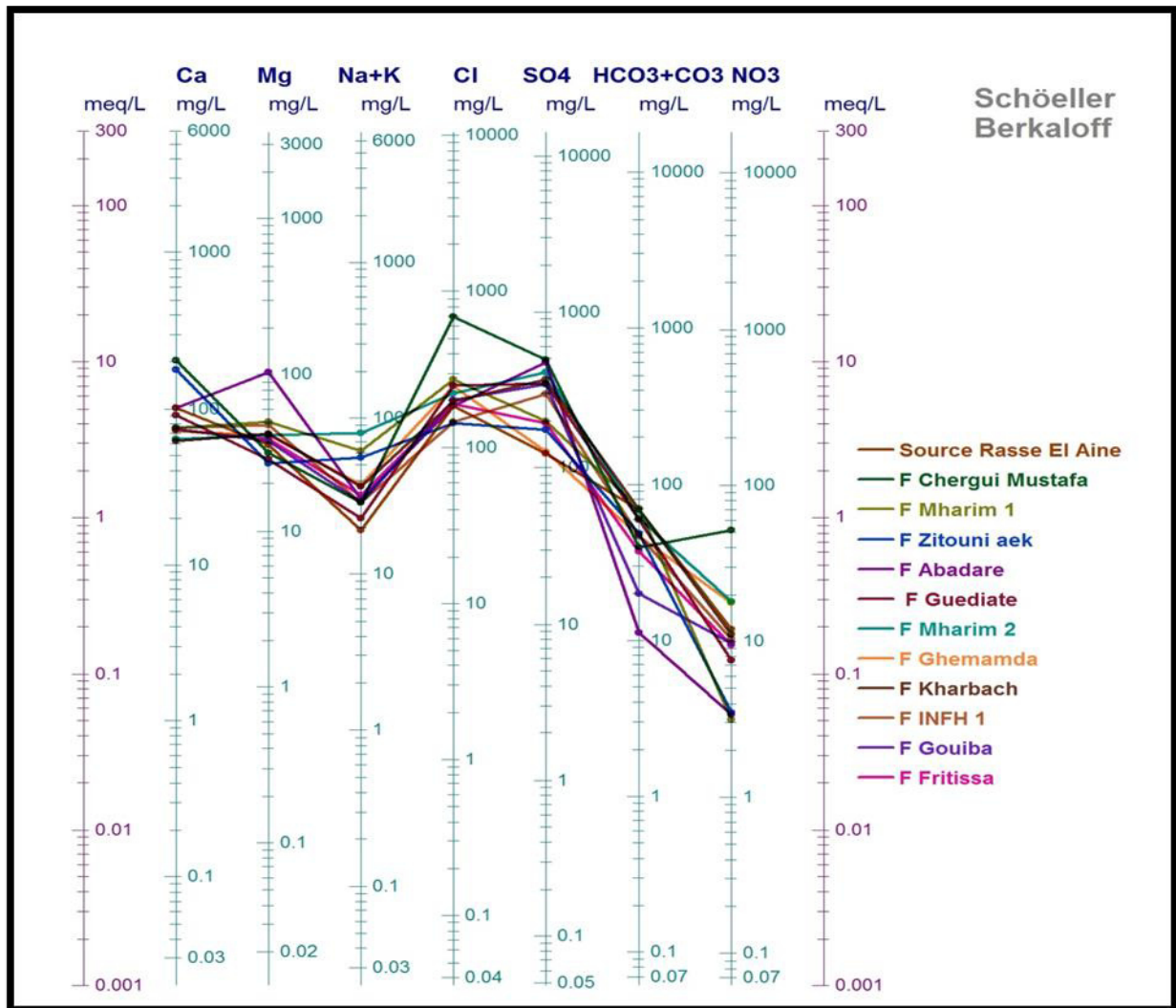


Figure 47 : Le diagramme de Schoeller Berkaloff des eaux souterraines de ksar Chellala.

Selon ce diagramme (Figure 47) On observe que la concentration de Cl et Mg et Ca sont élevée ce qui donne une dominance de faciès Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne.

### 9. Résultats des paramètres bactériologiques

Le principe des analyses bactériologique de l'eau est basé sur la recherche des micro-organismes marqueurs, témoins de contamination pour permettent d'éliminer les bactéries, les pathogènes qui présentent un risque pour la santé humaine (**Tableau 14**)

Les résultats obtenus pour les analyses bactériologiques sont représentés dans le tableau cité ci-après :

**Tableau 14 : Résultats des paramètres bactériologiques des eaux souterraines de la région de Ksar Chellala.**

Les échantillons	Coliformes totaux	Coliformes Fécaux	Streptocoques fécaux
S Ras El Ain	NEGATIF	NEGATIF	NEGATIF
F Abdare	NEGATIF	<b>POSITIF</b>	<b>POSITIF</b>
F Chergui Mustafa	NEGATIF	NEGATIF	NEGATIF
F Mharim1	NEGATIF	NEGATIF	NEGATIF
F Mharim2	NEGATIF	NEGATIF	NEGATIF
F Fritissa	NEGATIF	NEGATIF	NEGATIF
F Guediat Jrad	NEGATIF	NEGATIF	NEGATIF
F Ghemamda	NEGATIF	NEGATIF	NEGATIF
F Kharbache	<b>POSITIF</b>	<b>POSITIF</b>	NEGATIF
F Zitoni aek	NEGATIF	<b>POSITIF</b>	<b>POSITIF</b>
F Ghouiba	NEGATIF	<b>POSITIF</b>	NEGATIF
F INFH	NEGATIF	NEGATIF	NEGATIF

Selon les résultats obtenus dans le tableau ci-dessus on remarque que 07 points de prélèvement sont nettement nuls (absence totale des coliformes totaux, coliformes fécaux et streptocoques fécaux.), ce qui nous indique que les eaux de ces points ne sont pas contaminées car elles ne renferment pas des germes pathogènes durant la période de prélèvement.

A l'exception de 5 points de prélèvements (05 forages privés) ou les analyses ont confirmé une présence des germes, ce qui nous indique que les eaux de ces points sont contaminées par des bactéries pathogènes.

Tableau 15 : signification de la présence de pathogène ;

Paramètre	Valeurs Guide OMS	Interprétation
<b>Coliformes Thermo-tolérants</b>	0/100 ml	Indicateur de pollution fécale
<b>Streptocoques fécaux</b>	Pas de normes	Indicateur de pollution fécal
<b>Coliformes totaux</b>	0/100 ml dans 95% des échantillons d'eau traitées	Indicateur d'efficacité du traitement (désinfection) ; ne signalent pas nécessairement une pollution fécale.

### 9.1 Les sources et l'origine des pathogènes bactériologiques dans l'eau :

La contamination récente par des matières fécales humaines ou animales représente la principale source de pathogènes dans l'eau potable.

- **Fosses septiques et rejets d'eau usées mal traités.**
- **Lessivage de fumiers animaux.**
- **Eaux de ruissellement.**
- **Animaux domestiques ou sauvages.**

Pendant et après des précipitations, des bactéries et d'autres micro-organismes dangereux peuvent pénétrer dans les rivières, les lacs et les nappes phréatiques. Un puits mal construit ou mal entretenu peut accroître les risques de contamination.

### 9.3 Les Impacts des Maladies a transmission hydrique sur la sante humaines :

Une maladie d'origine hydrique est définie comme toute maladie de nature infectieuse ou d'origine physico-chimique causée par : ingestion d'eau, contact avec l'eau ou une maladie infectieuse d'origine hydrique se manifeste généralement par des troubles gastro-intestinaux (nausées, vomissements et diarrhée) de courte durée. Le contact avec la peau d'une eau de mauvaise qualité peut parfois causer des dermatites, de même que des infections aux yeux, aux oreilles et à la gorge ainsi que les concentrations élevées des composants chimiques de l'eau représentent un grand danger pour la santé humaine

Afin que toutes ces augmentations soient collectées et déposées dans les artères internes du corps humain ou dans des organismes tels que le foie, l'estomac ou la rate avec le temps, la masse devient un cancer interrelation de vapeurs ou de gouttelettes d'eau »

### 10.Le risque de salinité :

A côté de la rareté et la répartition temporelle défavorable du facteur de production eau, la salinité est devenue une problématique typique des régions arides et semi-arides.

L'accumulation des sels dans le sol occasionne des effets nocifs sur les végétaux et sur le sol. Il s'en suit une diminution des rendements et à long terme une stérilisation du sol. En plus de la salinité primaire. (Rakrak H., 2018)

#### 10.1 Evolution temporelle de la salinité :

Richards, en 1969 a établi une échelle de qualité des eaux d'irrigation en fonction de leur salinité évaluée par leur conductivité électrique.

**Tableau 16 : Classes de salinité selon Richards (Faby et al, 2000).**

Classe	Conductivité de l'eau (mm hos/cm)	Sels correspondants estimés en Na Cl (mg/l)
I- Excellente	<0,25	<160
II- Faible salinité	0,25-0,75	160-500
<b>III- Forte salinité</b>	<b>0,75-2,25</b>	<b>500-1500</b>
IV- Très forte salinité	2,25-5	1500-3600



Pour nos échantillons, la teneur de NaCl (mg/l) est entre (500-1500mg/l) donc la classe de salinité de l'eau est de **forte salinité**

## 10.2. Diagramme de Richards

**Richards (1954)** a élaboré une classification, en se basant sur les deux paramètres à savoir (SAR et conductivité électrique). Les classes de potabilité des eaux (C1S1,...C4S4) (**Tableau 18**) correspondent, dans le diagramme de Richards au SAR (en ordonnées pour la lettre S) et à la conductivité (en abscisses pour la lettre C).

Le SAR (Sodium Adsorption Ratio) qui rend compte du rapport entre la concentration en sodium, et en alcalino-terreux, et la conductivité de l'eau appliquée. Le SAR qui est défini par la relation :

$$\text{SAR} = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} \text{ (mg/l)}$$

Les valeurs du **SAR** sont représentées en fonction de la conductivité électrique de l'eau sur le diagramme de Richards

**Tableau 18 : Classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation (Méthode du SAR).**

Degrés	Qualité	Classe	Etat d'utilisation
<b>1</b>	Excellente	C <sub>1</sub> -S <sub>1</sub> C <sub>1</sub> -S <sub>2</sub>	Utilisation sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures sur la plupart des sols.
<b>2</b>	Bonne	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub> C <sub>2</sub> -S <sub>2</sub>	Convenable aux plantes qui ont une tolérance aux sels, cependant son utilisation peut générer des problèmes pour les argiles.
<b>3</b>	Admissible	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> -S <sub>3</sub> , C <sub>3</sub> -S <sub>2</sub>	La salinité doit être contrôlée, irrigation des cultures tolérables aux sels sur des sols bien drainées.
<b>4</b>	Médiocre	C <sub>4</sub> -S <sub>1</sub> , C <sub>4</sub> -S <sub>2</sub> , C <sub>3</sub> -S <sub>3</sub>	Eau fortement minéralisée, utilisée uniquement pour des plantes très résistantes aux sels dont le sol présente une bonne perméabilité.
<b>5</b>	Mauvaise	C <sub>3</sub> -S <sub>4</sub> , C <sub>4</sub> -S <sub>3</sub> , C <sub>4</sub> -S <sub>4</sub>	Inutilisable.

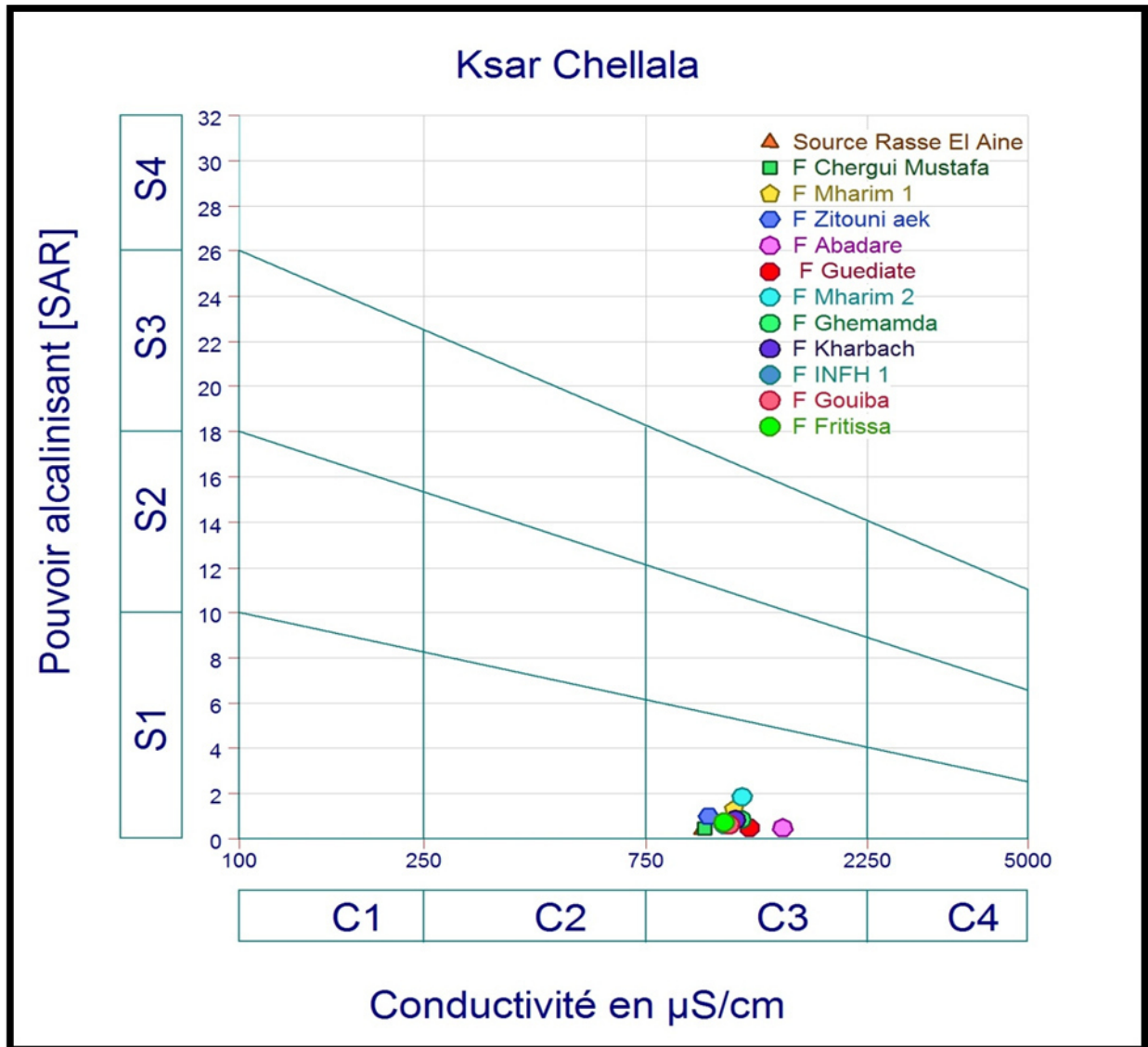


Figure 48 : Le diagramme de Wilcox des points de prélèvement

D'après les diagrammes de Wilcox de la figure 48:

Les eaux au niveau des points de prélèvement (11 forages et 1 source) appartiennent à la même classe d'aptitude à l'irrigation classe **C<sub>3</sub>-S<sub>1</sub>**, elle est de qualité Admissible. La salinité doit être contrôlée, irrigation des cultures tolérables aux sels sur des sols bien drainées.

**Conclusion**

La zone de Ksar Chellala se distingue par la diversité des roches qui les compose ainsi la qualité des eaux souterraines. Grâce aux analyses physicochimiques de l'eau étudiée, nous avons relevé un groupe de concentrations dont la plus importante est la forte concentration de chlorures, Magnésium, Sodium et Calcium, qui sont des électrolytes, contribue à l'augmentation de la conductivité de l'eau.

Les eaux de la région Ksar Chellala sont caractérisées par un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésienne causée par les terrains traversés (surtout les formations de calcaire et dolomies caractérisant la région d'étude) et les résultats des analyses microbiologiques des échantillons d'eau ont montré la présence de bactéries responsables de maladies dangereuses pour la santé du consommateur.

Dans les 12 points analysés (11 forages et 01 source) de 05 forages ont présentes une mauvaise qualité bactériologique : F Abdare, F Kharbache, F Zitouni Aek , F Ghouiba

Et pour l'analyse physicochimique la teneur de Chlorure et Sulfate Nitrate Calcuim dans les 3 forages : Chergui Mustafa, Abdar, Ghouiba, dépassant les normes algériennes de potabilité

## **Conclusion générale**

## Conclusion générale

L'eau est l'élément liquide le plus répandu sur la surface de la terre elle est indispensable à toute forme de vie sur la planète, dans l'état naturel l'eau souterraine est généralement propre, mais elle peut être un véhicule des maladies fatales et un élément de destruction environnementale si elle est polluée.

Notre travail basé sur un ensemble des données de plusieurs études : l'étude géologique, géophysique, hydrologique et climatologique ainsi hydrochimique à pour but l'évaluation quantitative et qualitative des eaux souterraines de la nappe de la région de Ksar Chellala.

Géographiquement notre zone d'étude appartient au domaine des hauts plateaux à des altitudes variant entre 700 et 900m

L'étude géologique, permet d'identifier les diverses formations qui constituent Les formations géologiques de la zone d'étude, Marque que la région de Ksar Chellala présente une géologie complexe, dont l'essentiel des formations lithologiques sont d'âge allant du Quaternaire au Jurassique.

La fragilité du sol lié à l'irrégularité du couvert végétal sont autant de facteurs qui favorisent le phénomène de l'érosion et de la sédimentation dans cette région. En effet, la zone d'étude se caractérise par une formation végétale basse composée par des espèces herbacées adaptées à la sécheresse la zone d'étude se caractérise par une formation végétale basse composée d'espèces herbacées adaptées à la sécheresse, disposée en touffes plus ou moins espacée.

Notons que le climat de la région d'étude est un climat aride caractérisé par une pluviométrie moyenne annuelle de l'ordre de 260.19 mm, avec l'opposition de deux périodes

- Une période sèche du mois de mai au mois de novembre.
- Une période humide (pluvieuse) du mois novembre au mois d'avril
- Ce climat influe sur le bilan hydrique qui montre des valeurs moyennes de l'évapotranspiration réelle (260.19 mm) avec une infiltration trop faible (2.64mm.mm) et un

ruissellement (7.23mm) à cause des précipitations faibles et un pouvoir évaporant important.

L'hydrogéologie de cette région est insuffisante à cause de manque des données

- ❖ Et aussi l'état des forages il ya 5 avec un débit total de 125l/s et 7 sources.
- ❖ Une étude géophysique a été réalisée proche de notre zone d'étude par la prospection
- ❖ Électrique dans localités Zmalet el Amire abdelkader le nombre de sondages est de 204 et qui donne une interprétation assez complexe vue la superposition anormale des différentes structures rencontrées et la tectonique chaotique

La zone de Ksar Chellala se distingue par la diversité des roches qui les compose ainsi la qualité des eaux souterraines. Grâce aux analyses physicochimiques de l'eau étudiée, nous avons relevé un groupe de concentrations dont la plus importante est la forte concentration de chlore, magnésium, sodium et calcium, qui sont des électrolytes, contribue à l'augmentation de la conductivité de l'eau. Nous avons enregistré la salinité élevée de l'eau analysée donc certain nombre de cette eau ne convient pas à l'irrigation

- ❖ Les eaux de la région Ksar Chellala est caractérisée par un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésienne causée par les terrains traversés (surtout les formations de calcaire et dolomies caractérisant la région d'étude) et les résultats des analyses microbiologiques des échantillons d'eau ont montré la présence de bactéries responsables de maladies dangereuses pour la santé du consommateur.

### **Recommandations**

Les résultats de notre travail permettront de mettre à la disposition des autorités des données de base susceptibles d'être exploitées dans le cadre de l'amélioration de la qualité des eaux souterraines de la région de Ksar Chellala. Pour lutter contre la pollution des eaux souterraines et de surface, la mesure la plus facile à appliquer consiste à mener une large campagne de sensibilisation. Nous recommandons dans un avenir très rapproché le respect des mesures suivantes :

- Une éducation sanitaire en encourageant les sensibilisations sur les médias.
- Un contrôle permanent des points d'eau surtout dans la saison estivale.
- Mettre en place un système d'évacuation correcte des eaux usées.
- Surveillance permanente de l'évolution de la salinité du sol.
- Etablissement des périmètres de protection des ouvrages de captage est interdire toute activité anthropique qui peut nuire ou dégrader la qualité des eaux souterraines.

## **Références bibliographiques**



- ADE Ksar chellala
- Ammari. H , M. Touaher. 2017 : Analyse séquentielle des formations du Kimmeridjien, Inférieur Tithonique de la région d'Ain el Morra (Monts de Chelalla Wilaya de Tiaret).
- ANRH : Administration nationale des Ressources Hydrique.
- Ayad, A, (1997) : Eude hydrologique de la plaine de Ksar Chellala. Ingénieur en chef hydrologique 123p.
- Azzaz Rahmani H. (2012) : Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de sources de la région de Sidi Slimane, Mémoire Ing sciences Agronomique.
- Bagnouls F. et Gaussen H., 1953.station sèche et indice xérothermique .Doc. Carte prot.veg .art. 8 :47 p Toulouse.
- Benkhattou.A ,2015-Diversité floristique du massif de Nador en zone steppique «Tiaret ,Algérie » Article.
- Bersi M. et Massioun Y. : Identification géoélectrique des potentialités aquifères des zones steppiques (Ksar Chellala, Taguine) 3P.
- Bersi M. et Massioun Y., 2011 : Identification géoélectrique des potentialités aquifères des zones steppiques (Ksar Chellala, Taguine) 3P.
- Castny .G (1982): Hydrogéologie principe et méthode .Ed : DUNOD, Paris ,224-227p.
- Chermat et al.2012. : Etude phytosociologique et pastorale des djebels Youssef et Zdimm(Hautes plaines Sétifiennes) p 245-262.
- Cornet .G du 2 avril 1954. : Implantation de forages de reconnaissance profonds dans la région de Taguine ; documentation de l'ANRH d'Algie.
- Degrement, (1989) : Société Dégréeront Mémento technique de l'eau. Tome II 1ere. Edition technique et documentation Lavoisier 604p.
- Dejardin Raymond ; (1990).Le traitement des eaux .Ed .L'école polytechnique de Montréal.274p.
- Guiraud.J-P(1998) : Microbiologie alimentaire .Dunod ,651p.
- Hadj Mohamed ,2016 : rapport exprimée par bureau d'étude + mémoire master en écologie 2016 ibn kaldoun.
- INCT : Institut Nationale de Cartographie et de Télédétection .

- JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 18 : Décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.
- JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 34 : Art. 3. Les objectifs de qualité prévus à l'article 1er ci-dessus correspondent à des valeurs maximales fixées dans l'annexe du présent décret pour les paramètres organoleptiques, physico-chimiques, chimiques et microbiologiques.
- MEHDAOUI M, FATHALLAH B, 2016 : mémoire de master
- Ramade F, (1998) : Dictionnaire Encyclopédique des sciences de l'eau. Édition science, Paris 786p.
- Rodier J (1996) : L'analyse de l'eau eaux naturelles eaux résiduaires eau de mer .Tome I. Ed : DUNOD, Paris, 665p.
- Rodier J ; Bazin C, Boroutin J .P. ; Champsaur H, Rodi L (2005) : L'analyse de l'eau :Eaux naturelles ,eaux résiduaires ,eaux de mer :Chimie ,physico-chimique ,microbiologie ,interprétation des résultats ;8èmeEd : Dunod :Paris ,1383p .
- Rodier J. ,2005 : L'analyse de l'eau :Eaux naturelles ,eaux résiduaires ,eaux de mer :Chimie ,physico-chimique ,microbiologie ,interprétation des résultats ;8èmeEd : Dunod :Paris ,1383p .
- Schoeller H. (1962) : les eaux souterraines, Massonn, Paris
- Zitouni M, 2017 :bureau d'étude.

## **Les Annexes**

# ***Les Annexes***

---

## **Les annexes :**

### **Annexe n°01 : Les appareils et les produits utilisés :**

#### **Les analyses physico-chimiques**

##### **Verrerie**

- Pipettes.
- Fioles.
- Béchers.
- Capsules.
- Eprouvette.
- Spatule et papier filtre.
- Burettes de 50ml et 100ml.

#### **Les analyses bactériologiques**

- Rompe de filtration.
- Pompe à vide ou trompe d'eau assurant au moins 50 Kpa (0.5 Kgf/cm<sup>2</sup>)
- Un flacon aspirateur.
- Boite de pétri.
- Membrane filtrante (pore 0.45 µm).
- Bec de benzène.
- Gélose Endos.
- Gélose TSI.
- Oxidase Discs.
- ONPG Discs.

#### **Appareils opératoires**

- Agitateur magnétique chauffant et barreau magnétique.
- Plaque chauffante.
- Bain marie.
- Etuves.
- Dessiccateur.

#### **Appareils de mesure**

## ***Les Annexes***

---

- pH- mètre
- Conductivité mètre
- Balance analytique.
- Balance (METTER BB).
- Chronomètre.
- Spectrophotomètre(UV).

### **Produits utilisés**

- Ethylène diamine tétra acétique(E.D.T.A) à 0.02N..
- Eau distillée.
- Solution tampon ammoniacale à 25%.
- Solution de méthyle orange à 0.05%.
- Solution de phénophtaléine.
- Acide chlorhydrique à 0,1N.
- Carbonate de calcium.
- Acide nitrique pur.
- Solution chromate de potassium à 10%.
- Solution nitrates d'argent 0.1N.
- Acide sulfurique à 50%.
- Solution de permanganate de potassium à 0.01N.
- Acide oxhydrique à 0.01N.

### **Annexe n°02: Analyses physiques**

#### **Mesure de la température (T°)**

#### **Mode opératoire :**

- ✓ La température est déterminée sur place à l'aide d'un thermomètre simple :
- ✓ Faire plonger le thermomètre dans l'eau, à l'endroit du prélèvement.
- ✓ Effectuer la lecture de sorte que l'extrémité inférieure de thermomètre reste immergée dans l'eau.
- ✓ Le résultat est donné directement en °C.

### **Annexe n°03: Mesure de potentiel d'hydrogène (pH)**

## Les Annexes

---

Après l'étalonnage du pH-mètre, on prend dans un bêcher environ 100 ml d'eau à analyser et on trempe l'électrode dans le bêcher. On laisse stabiliser un moment, puis on note la valeur du pH (**Richard *et al*, 1987**). La valeur mesurée du pH est effectuée avec un pH-mètre de précision  $\pm 0.01$  unité pH.

### **Annexe n°04: Mesure de la conductivité électrique(CE) :**

D'une façon générale, opérer avec une verrerie propre et rincée avant usage, avec d'eau distillée. Rincer plusieurs fois la cellule à conductivité, d'abord avec de l'eau distillée puis en la prolongeant dans un récipient contenant de l'eau à analyser.

Le résultat de la conductivité est donné directement en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### **Analyses Chimiques :**

#### **Annexe n°05:Détermination de la teneur en Calcium ( $\text{Ca}^{+2}$ )**

##### **Réactifs:**

Solution d'E.D.T.A N 50 ( $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )

- ✓ E DTA.....3,725g.
- ✓ H<sub>2</sub>O distillée.....qs p1000ml
- ✓ Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) 2N
- ✓ NaOH (pastilles) .....80g.
- ✓ H<sub>2</sub>O distillée .....qsp 1000ml.

Solution d'hydroxyde d'ammonium( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) pH=10,1

- ✓ Chlorure d'ammonium .....67, 5g.
- ✓  $\text{NH}_4\text{OH}$  (25%).....570ml
- ✓ HCl concentré.....pH=10,1
- ✓ H<sub>2</sub>O distillée .....q.s.p 1000ml.
- ✓ Noir érichrome

## Les Annexes

---

### Mode opératoire :

$\text{Ca}^{2+}$

- Prendre 10ml d'eau à analyser.
- Ajouter 2ml de NaOH à 2N.
- Ajouter du Murexide.
- Titrer avec l'E.D.T.A jusqu'au virage (violet).

### Expression des résultats

La détermination du taux de Calcium (mg /l) est donnée par la formule suivante :

$$\text{Ca}^{2+} = \frac{V1 \times 0,4 \times 1000 \times F}{PE}$$

- $V_{\text{EDTA}}$  : volume d'EDTA
- **P.E** : Prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage).
- **F** : Facteur de l'EDTA =1.04

### Annexe n°06: Détermination de taux l'alcalinité ( $\text{HCO}_3^-$ )

#### Réactifs:

- ✓ Méthyle orange 10%
- ✓ Solution d'HCl à 0.01N.

#### Mode opératoire :

- ✓ Prendre 100 ml d'eau à analyser.
- ✓ Ajouter 2 à 3 gouttes de Méthyle orange.
- ✓ Titrage avec HCl (0.1) jusqu'à virage de couleur.

#### Expression des résultats :

$$\text{HCO}_3^- = \frac{V_{\text{HCl}} \times N_{\text{HCl}} \times M_{\text{HCO}_3^-} \times 1000 \times F}{PE}$$

- $V_{\text{HCl}}$  : Volume d'acide versé.
- $M_{\text{HCO}_3^-}$  : Masse des bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )



## Les Annexes

---

- $N_{HCl}$  : normalité d'acide versé.
- **PE** : Prise d'essai.

### Annexe n°07: Détermination du taux de Chlorures (Cl)

La réaction se fait en présence de chromates de potassium.

#### Réactif

- ✓ Solution de nitrates d'argent à 0.01N.
- ✓ Solution de chlorures à 71mg/l
- ✓ Indicateur coloré  $K_2CrO_4$  à 10

#### Mode opératoire

- ✓ Prendre 5ml d'eau à analyser.
- ✓ Ajouter 2 gouttes de  $K_2CrO_4$  (coloration jaunâtre).
- ✓ Titrer avec  $AgNO_3$  à 0.01N jusqu'à coloration brunâtre.

#### Expression des résultats

$$FG = \frac{V_{AgNO_3} \times N_{AgNO_3} \times M_{Cl} \times 1000}{PE}$$

- $V_{AgNO_3}$  : Volume d' $AgNO_3$  est nécessaire pour le dosage de l'échantillon.
- $N_{AgNO_3}$  : Normalité d' $AgNO_3$
- $M_{Cl}$  : Masse des chlorures.
- **F** : Facteur de correction du titre d' $AgNO_3$ .
- **PE** : Prise d'essai.

#### Pour le F :

- ✓ Prendre 5ml de la solution mère à 71mg /l.
- ✓ Ajouter 2 gouttes de l'indicateur coloré.
- ✓ Doser par  $AgNO_3$  à 0.01 N jusqu'au virage. (rouge brique).

$$F = \frac{1}{V_{AgNO_3}}$$

## Les Annexes

---

### Annexe n°08: Détermination du taux de Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

#### Réactifs :

Solution mère de sulfates à 1g/l à partir de  $\text{NO}_2\text{SO}_4$

#### Solution stabilisante :

- ✓ Acide chlorhydrique .....60 ml
- ✓ Ethanol.....200 ml
- ✓ Chlorure de sodium.....150 g
- ✓ Glycérol.....100 ml
- ✓ Eau distillée.....600 ml

#### Solution de chlorure de baryum:

- ✓ Chlorure de baryum .....150 g
- ✓ Acide chlorhydrique.....5 ml
- ✓ Eau distillée .....1000 ml

#### Mode opératoire :

- ✓ Prendre 20 ml d'eau à analyser puis compléter à 100 ml d'eau distillée.
- ✓ Ajouter 5 ml de la solution stabilisante.
- ✓ Ajouter 2 ml de chlorure de baryum.
- ✓ Agiter énergiquement pendant 1 mn.
- ✓ Passer au spectrophotomètre  $\lambda = 420 \text{ nm}$ .

#### Expression des résultats :

$\text{SO}_4^{2-}$  (mg/l) = la valeur lue sur le spectrophotomètre x la dilution.

### Annexe n° 09: Détermination de l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ )

#### Réactif 1 :

- ✓ Acide dichloroisocyanidrique.....2 g.
- ✓ Hydroxyde de sodium ( Na OH ) .....32 g .
- ✓  $\text{H}_2\text{O}$  distillée.....qsp 1000 ml.

## Les Annexes

---

### Réactif 2 (coloré) :

- ✓ Trictrate de sodium .....130 g
- ✓ Salicylate de sodium .....130 g
- ✓ Nitropruciate de sodium .....0.97 g
- ✓ Eau distillée.....qsp 1000 ml.

### Mode opératoire :

- ✓ A prendre 40 ml d'eau à analyser.
- ✓ Ajouter 4 ml du réactif 1
- ✓ Ajouter 4 ml du réactif 2 et ajuster à 50 ml avec H<sub>2</sub>O distillée et attendre 1 heure.

❖ L'apparition de la coloration verdâtre indique la présence de : NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

Effectuer la lecture à 665nm.

### Expression des résultats :

Le résultat est donné directement en mg/l.

### Annexe n°10:Détermination des nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) :

#### Réactifs:

- ✓ Solution de salicylate de sodium à **0,5 % (renouveler toutes les 24 h)**  
**0.5g** de salicylate de sodium dans 100ml d'eau distillée.
- ✓ Solution d'hydroxyde de sodium **30 %**.  
**30g** de NaOH dans **100ml** d'eau distillée.
- ✓ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentré.
- ✓ Tartrate double de sodium et de potassium.
- ✓ Hydroxyde de sodium NaOH .....**400 g**.
- ✓ Tartrate de sodium et de potassium.....**60g**
- ✓ Eau distillée.....qsp **1000 ml**
- ✓ Solution mère d'azote d'origine nitrique à 1000 mg /l
  - Nitrate de potassium anhydre .....**0.722**
  - Eau distillée.....**1000ml**.
  - Chloroforme .....**1ml**.
- ❖ Solution fille d'azote d'origine nitrique à 5 mg /l

#### Mode opératoire.

- ✓ Prendre 10ml de l'échantillon à analyser.

## Les Annexes

---

- ✓ Ajouter **2 à 3 gouttes** de NaOH à 30 %.
- ✓ Ajouter 1ml de salicylate de Na.
- ✓ Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75 -88 °C.
- ✓ Reprendre le résidu avec 2ml .H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> repos 10 mn.
- ✓ Ajouter 15 ml d'eau distillée.
- ✓ Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium puis passer au spectre au 415 mm

### Annexe n°11 : Détermination du taux de phosphates (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)

#### Réactif Mixte :

Heptamolybdate d'ammonium .....	13g	
Eau distillée.....	100ml	A
Tartrate d'antimoine.....	0.35 g	
Eau distillée.....	100ml	B
Acide sulfurique pur.....	150 g	
Eau distillée .....	150ml	C
(A+B) +C.....	500 ml d'eau distillée.	

#### Acide ascorbique à 10%

- ✓ Acide ascorbique .....10g.
- ✓ Eau distillée .....100ml

#### Solution mère à 50mg/l PO<sub>4</sub><sup>3+</sup>

Solution fille à 2mg/l PO<sub>4</sub><sup>3+</sup>

#### Mode opératoire :

- ✓ 40ml d'eau à analyser.
- ✓ 1ml acide ascorbique
- ✓ 2ml de réactive MIXTE
- ✓ Attendre 10 mn développement de la couleur bleu.
- ✓ Effectuer la lecture à une longueur d'onde  $\lambda = 880 \text{ nm}$



## Les Annexes

**Annexe n°14** : Matériel et appareillage utilisés dans la partie expérimentale.



**Etuve**



**Indicateur de chlore**



**Test d'analyse de Nitrite ( $\text{NO}_2^-$ )**



**Test d'analyse de chlorure**

## *Les Annexes*



**Spectrophotomètre**



**Etuve**



**Indicateur de chlore**



**Cone de flambre**



**Conductimètre**



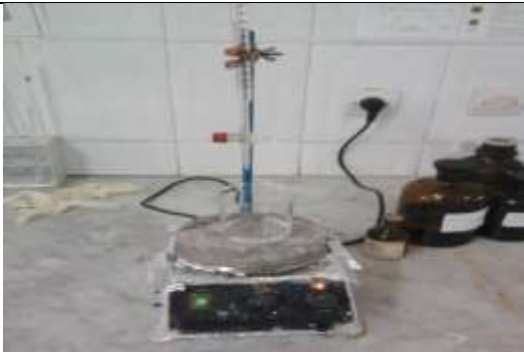
## Les Annexes



**pH-mètre**



**Cone**



**Agitateur**



**Balance analytique**



**Nitrates ( $\text{NO}_3$ ) 10ml de l'échantillon à analyser**



**à l'étuve 75 -88 °C.**



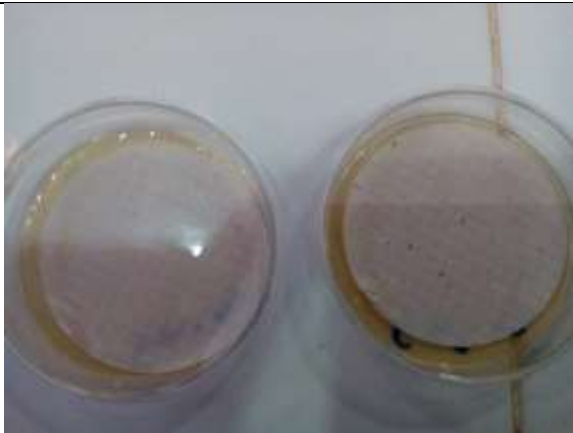
**Papier filtre**



**Bouteille stérilisé**



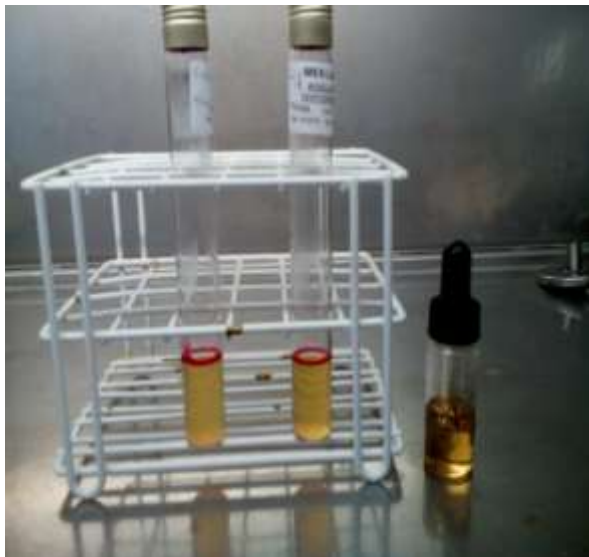
## Les Annexes



**Test des coliformes totaux  
Milieu de culture Tergitol**



**Test des streptocoques  
Milieu de culture slanetz**



**Test des coliformes fécaux  
Milieu de culture Schubert**



**Eau distillé**

## Les Annexes



**Test d'analyse de bicarbonate**



**Test d'analyse de calcium**

**INSTRUCTIONS POUR L'ANALYSE DES EAUX**

L'analyse des eaux par laboratoire

Paramètre	Unité	1	2	3	4	5	6
Température	°C	15	16	17	18	19	20
pH		7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
Conductivité	µS/cm	100	200	300	400	500	600
Turbidité	NTU	1	2	3	4	5	6
Dureté	°dH	10	20	30	40	50	60
Chlorure	mg/l	10	20	30	40	50	60
Sulfate	mg/l	10	20	30	40	50	60
Nitrate	mg/l	10	20	30	40	50	60
Ammoniac	mg/l	10	20	30	40	50	60
Phosphore	mg/l	10	20	30	40	50	60

**Analyse bactériologique des eaux par laboratoire**



**Gélose**

## Résumé :

L'eau est un élément essentiel de la vie ; et pour une étude de problème et une évaluation de qualité de l'eau dans des ouvrages de captage (forages et sources) d'eau dans la région de Ksar Chellala , et la détermination de la nature lithologique des horizons aquifères, ainsi que la définition de ses propriétés physicochimiques et bactériologiques dues à l'état de consommation d'eau de ces puits et la source d'eau potable ou agricole doit être surveillée par un ensemble d'analyses physique, chimique et bactériologique pour assurer l'adéquation et la protection du consommateur contre les risques de mauvaise qualité.

**Mots clé :** Ksar Chellala, Forage, qualité physico-chimique, bactériologique ,hydrogéologie.

## الملخص:

الماء هو عنصر أساسي في الحياة ,هذا العمل خاص بدراسة اشكالية و تقييم نوعية الماء بالآبار و كذلك منبع مائي بمنطقة قصر الشلالة و تحديد الطبيعهالهدرولوجيه للطبقات الداخلية للمكن الجوفي و كذلك التعريف بخصياته الفيزيوكيميائية و البكتيريولوجية نظرا لحالة استهلاك مياه هاته الآبار و المنبع المائي للشرب أو الفلاحة يتوجب مراقبتها من خلال مجموعة من التحليلات الفيزيائية و الكيميائية و البكتيريولوجية لضمان ملائمتها و حماية المستهلك من مخاطر الجودة الرديئة.

**الكلمات المفتاحية:** قصر الشلالة, الآبار, مكن , النوعية الفيزيوكيميائية و البكتيريولوجية, اشكالية

## Abstract :

This work is for a problem study and evaluation of the water quality in wells, as well as a water source in Ksar Chellala, determining the hydrological nature of the inner layers of the inner layers of underground reservoir, as well as introducing its physicochemical and bacteriological properties due to the state of water consumption of these wells and the water source for drinking or farming must be monitored through a set of analyzes physical, chemical and bacteriological to ensure suitability and consumer protection from the risks of poor quality.

**Key words :** Ksar Chellala ; Groundwater sources ; quality Physico-chemical ; Bacteriological , contribution