



*Université de Ghardaïa*

N° d'ordre :  
N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies  
Département de Génie des Procédés et Hydraulique

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de**

**MASTER**

**Domaine :** *Sciences et Technologies*

**Filière :** *Hydraulique*

**Spécialité :** *Resource Hydraulique*

**Par : NAAM Hamza**

**Thème**

Etude de qualité des eaux de forges ALBIEN de la région de Hassi Messaoud. Wilaya  
d'Ouargla

**Soutenu publiquement le 24/06/2019**

**Devant le jury :**

<b>Daheur Elhadj Guesmia</b>	MAA	Université Ghardaïa	<b>Président</b>
<b>Boutelli Mohamed Hicham</b>	MAA	Université Ghardaïa	<b>Examineur</b>
<b>Achour Mensour</b>	Doctorant	Université Ghardaïa	<b>Examineur</b>
<b>BOUBELLI Salim</b>	MCB	Université Ghardaïa	<b>Encadreur</b>

**Année universitaire 2018/2019**

## *Remerciements*

Je remercie avant tout ALLAH tout puissant, de m'avoir guidé toutes les années d'étude et m'avoir donné la volonté, la patience et le courage pour terminer ce travail.

J'exprime mes profonds remerciements à mon directeur mémoire, Monsieur. BOUBELLI Salim professeur au Département d'automatique et électromécanique à l'université de Ghardaïa, qui m'a accordé l'honneur de diriger ce travail.

Mes remerciements vont également très honorés par les membres du jury pour avoir accepté d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions et conseils.

Je réserve une pensée toute particulière à mes amis d'avoir m'aider tout au long de la préparation ce mémoire halim bennour , seddik zemitte , telli mourad et qui m'ont toujours aidé et encouragé de près ou de loin.

Je remercie mon père, ma soeur et mes frères qui sont venus me voir et qui m'ont toujours soutenu.

Celles et ceux que j'ai oublié de mentionner, de vouloir m'excuser inattention de hâte.



# DEDICACE

*A mon père, A ma mère, A tous mes frères , A MA Fille*

*A toute la famille, NAAM*

*A tous mes collègues de l'université de Ghardaïa*

*particulier les étudiants de la*

*2<sup>ème</sup> année Master Hydraulique*

**2018 - 2019**



## SOMMAIRE

Remerciements	
Dédicace	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des Tableaux	
Introduction Générale .....	1

### Chapitre I : Contexte général

Introduction .....	2
I.1. Cadre général .....	2
I.1.1. Situation géographique de la willaya d'Ouargla .....	2
I.2. Réseau hydrographique .....	4
I.3. Climat et végétation .....	4
I.4. Activité économique .....	5
I.5. Besoin et ressources en eau .....	6
I.6. Cadre Hydro climatique .....	7
I.7.1 Précipitations .....	8
I.7.2. Température .....	8
I.7.3. Le vent .....	10
I.7.4. l'humidité .....	11
I.7.5. L'évaporation .....	12
Conclusion .....	13

### Chapitre II : Cadre géologie et hydrogéologique

Introduction .....	14
II.1. Géologie .....	14
II.1.1. Cadre géologique du Sahara .....	14
II.1.2. Cadre géologique de la région .....	15
II.1.3. Aperçu structural de la région de Hassi Messaoud .....	16
II.1.4. Stratigraphie .....	16
II.1.4.1-Tertiaire .....	17
II.1.4.2-Mésozoïque .....	17
II.2.hydrogéologie .....	22
II.2.1. Hydrogéologie régional .....	25
II.2.2. La nappe phréatique .....	25
II.2. 2 . Complexe Termina .....	25
II.2. 2.1. La première nappe des sables .....	26
II.2. 2.2. La deuxième nappe du sable .....	27
II.2.2.3. La nappe du Sénonien-Eocène .....	27
II.2.3. Nappe du Continental Intercalaire .....	28
II.2.4. Piézométrie de l'aquifère du Continental intercalaire .....	29
II.2.5.Piézométrie de l'aquifère du Continental terminal .....	31

II.2.6. les conséquences d'exploitation .....	32
II.2.7. Hydrogéologie d'Hassi Messaoud .....	33
Conclusion .....	33

### **Chapitre III : La procédure et réalisation de forage**

Introduction .....	34
III.1. Vue sur l'appareil de forage d'eau .....	34
III.1.1. Les équipe de forage .....	34
III. 1.2- Équipement de forage ) .....	34
III. 1.2-1- Le mât (Derrick) .....	34
III. 1.2.2- Treuil .....	37
III. 1.2.3- Table (mandrin) de rotation .....	37
III. 1.2.4- Pompe à boue .....	38
III. 1.2.5-Moteur thermique ou électrique .....	38
III. 1.2.6-Tête de circulation (ou d'injection) .....	38
III. 1.2.7- La garniture de forage .....	40
III. 1.2.8- L'outil .....	41
III. 1.2.8.1- Les outils à lames .....	41
III. 1.2.8.2- Les outils à molettes .....	41
III. 1.2.9-la boue .....	42
III. 2-Procédures et programme de forage hydraulique à l'albien pour hassi Messaoud selon Sonatrch .....	42
III. 2.1-But du forage .....	42
III. 2.2 - Architecture du puits .....	43
III. L'opération de Forage HMH 10 .....	45
III. 2.4-Cimentation .....	47
III. 2.4.1-Programme de cimentation de la phase 16" tubage 13"318 .....	47
III.2.4.2- Calcul le volume total .....	48
III.2.4.3- Calcul volume de chasse (déplacement) .....	50
Conclusion .....	51

### **Chapitre IV : Hydrochimie et qualité des eaux**

Introduction .....	52
IV.1. Qualité des eaux des forages de la région de Hassi Messaoud .....	52
IV.1.1. Faciès chimique .....	52
IV.1.1.1.Diagramme de piper .....	52
IV.1.1.2.Le diagramme de Schoeller- Berkaloff .....	53
IV.2. Qualité des eaux destinées à la consommation humaine (domestique) .....	54
IV.2.1. Critères de qualité des eaux destinées à la consommation humaine .....	54
IV.2.2. Les paramètres physiques .....	55
IV.2.2.2. La température .....	55

IV.2.2.2. Le pH .....	56
IV.2.3. Paramètres chimiques .....	55
IV.2.3.2. Les bicarbonates .....	58
IV.2.3.3. Les chlorures .....	59
IV.2.3.5. Le potassium K <sup>+</sup> .....	60
IV.2.3.6. Le magnésium .....	61
IV.2.3.7. Le calcium .....	62
IV.3.3.1. Qualité des eaux destinées à l'irrigation (AEI) .....	62
IV.3.1. Les inconvénients de l'irrigation .....	63
IV.3.1. Taux d'absorption du Sodium (SAR) .....	63
IV.4. Qualité des eaux destinées à l'industrie (AEI) .....	65
IV.4.1. Indicateurs calco-carboniques .....	65
IV.4.1.1. L'indice de Ryznar (indice de stabilité) .....	65
IV.5. L'indice de Langelier (indice de saturation) .....	66
IV.4.1.3. Indication du CCPP (calcium carbonate précipitation potentiel) .....	67
IV.4.2. Indicateurs de corrosivité .....	68
IV.4.2.1. L'indice de Larson (indice de corrosivité) .....	68
Conclusion .....	70
Conclusion générale .....	71
Résumé	

## LISTE DES FIGURES

Fig.1. Carte de situation d’Ouargla.....	3
Fig.2. Carte de découpage administratif de la Wilaya d’Ouargla.....	3
Fig.3. Le lac de Hassi Ben Abdallah.....	5
Fig.4. Carte des sous bassins versants du Sahara algérien d’après (ANRH [3]).....	7
Fig.5. Variation des précipitations moyennes mensuelles.....	8
Fig.6. Variation des températures moyennes maximums mensuelles en (°C).....	9
Fig.7. Variation de la vitesse moyenne mensuelle du vent.....	10
Fig.8. Variation de l'humidité moyenne mensuelle .....	11
Fig.9. Variation de l'évaporation moyenne mensuelle.....	12
Fig.10. Des bassins sédimentaires, (ANRH Ouargla) [3] .....	15
Fig.11. Carte géologique du Sahara orientale 1/1 000 000 [7].....	20
Fig.12. Série stratigraphique du champ de Hassi Messaoud [7].....	21
Fig.13. Carte des ressources en eau souterraines. Continental intercalaire et complexe terminal (ANRH) [3].....	23
Fig.14. Coupe hydrogéologique transversale du "CT" complexe terminal de la région d'étude(ANRH) [6].....	26
Fig.15. Carte piézométrique de référence du "CI" (OSS, 2003)[6].....	29
Fig.16. Carte piézométrique de référence du "CT" (OSS, 2003) [6].....	30
Fig.17. Mât de forage.....	35
Fig.18. Plateforme du moufle fixe.....	36
Fig.19. Passerelle d'accrochage .....	37
Fig.20. Passerelle de tubage .....	37
Fig.21. Table de rotation.....	38
Fig.22. Tête d'injection .....	39
Fig.23. Les tiges de forage.....	41
Fig.24. La masse tige .....	41
Fig.25. Outils de forage à molettes.....	42
Fig.26. STRATIGRAPHIQUES DE FORAGE (MDHA 10)[].	44
Fig.27. Diagramme de Piper (Mai 2018).....	51
Fig.28. Diagramme de Schoeller- Berkaloff (Mai 2018) .....	52
Fig.29. Qualité des eaux vis-à-vis la température (Mai 2018) .....	55
Fig.30. Qualité de l'eau vis-à-vis le pH (Mai 2018) .....	56
Fig.31. Qualité de l'eau vis-à-vis les sulfates (Mai 2018) .....	57
Fig.32. Qualité de l'eau vis-à-vis les bicarbonates (Mai 2018) .....	58
Fig.33. Qualité de l'eau vis-à-vis les chlorures (Mai 2018) .....	58
Fig.34. Qualité de l'eau vis-à-vis Le sodium (Mai 2018) .....	59
Fig.35. Qualité de l'eau vis-à-vis le potassium (Mai 2018) .....	60
Fig.36. Qualité de l'eau vis-à-vis le magnésium (Mai 2018) .....	61
Fig.37. Qualité de l'eau vis-à-vis le calcium (Mai 2018) .....	62

Fig.38. Risque du SAR eaux souterraines (Mai 2018).....	63
Fig.39. L'indice de stabilité de Ryznar (Mai 2018) .....	64
Fig.40. L'indice de Langelier (Mai 2018) .....	65
Fig.41. Indication du CCPP (Mai 2018) .....	66
Fig.42. L'indice de Larson (Mai 2018) .....	67

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau.1. Besoins en eau de la région de HMD (SONATRACH [2] et ADEO-HMD [1]).....	6
Tableau.2. Précipitations moyennes mensuelles d’Ouargla (OMN OUARGLA 2018[4]) .....	8
Tableau.3. Variation de la température maximale mensuelle à la station d’Ouargla en °C (OMN OUARGLA 2018 [4]) .....	9
Tableau.4. Variation de la vitesse (v) moyenne mensuelle du vent à la station d’Ouargla (OMN OUARGLA 2018 [4]).....	10
Tableau.5. variation de l'humidité relative max mensuelle d’Ouargla en % (OMN OUARGLA 2018 [4]) .....	11
Tableau.6. Variation de l'évaporation moyenne mensuelle interannuelle à la station d’Ouargla en mm (OMN OUARGLA 2018 [4]).....	12
Tableau.7. Synthèse hydrogéologique régional des différent aquifères.....	24
Tableau.8.Programme de tubage du puits .....	46
Tableau.9.Normes OMS et Algérienne des paramètres physico-chimiques appliqués pour les eaux potables.....	54
Tableau.10. Le risque du SAR dans l’eau d’irrigation.....	64
Tableau.11. Relation entre l’indice de stabilité et la tendance de l’eau .....	65
Tableau.12. Relation entre l’indice de corrosivité et la tendance de l’eau.....	69

# **Introduction**

## **générale**

## Introduction générale

---

### Introduction générale :

Le problème de la pénurie d'eau est l'un des problèmes les plus difficiles auxquels le monde est confronté, en particulier dans les pays du tiers monde, l'eau exposée prodigalité par des gens, en raison d'une mauvaise utilisation et Il est contaminé par des produits chimiques, et l'eau d'assainissement, en plus du problème des pluies acides qui causent la pollution des plans d'eau, et beaucoup d'autres problèmes qui causent la pénurie d'eau et son manque, les pays du monde sont exposés à la sécheresse, et aussi le problème de la désertification et de la mort des plantes et des animaux.

Par conséquent, l'homme cherche à le trouver et à répondre à ses besoins en termes de quantité et de qualité, et pour lui fournir tous les moyens disponibles tel que le forage des puits et traitement des eaux du dessalement de l'eau de mer et d'autres sources, L'eau est utilisée pour boire, préparer la aliments et l'agriculture dans l'irrigation, les industries et la production d'énergie

La région d'Ouargla 'Hassi Messaoud' située dans le sud est algérien est riche en ressources énergétiques, où l'exploitation a commencé en 1956 et depuis (Wikipédia [5]), des nouvelles découvertes se sont succédées. Cette zone se voit sa demande en eau de plus en plus grande en liaison avec son taux de croissance industrielle, agricole et démographique. Ainsi la satisfaction de la région en eau devient un objectif majeur, pour le pouvoir public pour répondre à ces besoins. Cette mobilisation s'est faite par le biais d'entreprises spécialisés dans le domaine du forage pétrolier, et hydraulique comme SONATRACH, ENAGEO, ENTP, ENAFOR, TASSILI. La mise en œuvre d'une politique adéquate de développement du secteur de l'eau s'impose à fin de faire le point sur la mise en valeur des ressources en eau. Mon projet de fin d'étude s'inscrit à juste titre dans cet axe qui est « Etude et gestion de qualité des eaux de forages de la région de Hassi Messaoud. Wilaya d'Ouargla ».

Pour ce faire, nous avons adopté un plan de travail scindé en Quatre (4) chapitres :

- ❖ Chapitre I : Cadre générale.
- ❖ Chapitre II : Hydrologie et Géologie.
- ❖ Chapitre III : La procédure et réalisation de forage.
- ❖ Chapitre IV : Hydrochimie et qualité des eaux.

**CHAPITRE I**  
**CADRE GÉNÉRALE**

**Introduction :**

En Algérie, la zone saharienne, aride, couvre plus que des deux tiers de la superficie du pays. Malgré le caractère aride du climat, cette région renferme deux grands systèmes aquifères dans son sous sol :

Les nappes du « continental intercalaire », très profondes dans le bassin nord oriental, et contenant des eaux chaudes et souvent très minéralisées,

Les nappes du « complexe terminal », moins profondes mais salées.

Ces différentes nappes recèlent des potentialités hydriques importantes, qui sont actuellement abondamment exploitées pour les usages domestique, industriel et agricole.

**1-Cadre général :****1.1-Situation géographique de la willaya d'Ouargla :**

Ouargla est située au sud-est algériens à environ 760 Km d'Alger entre les longitudes 32.00° et 32.90° nord et entre la latitude 5.20°et 5.31° Est.

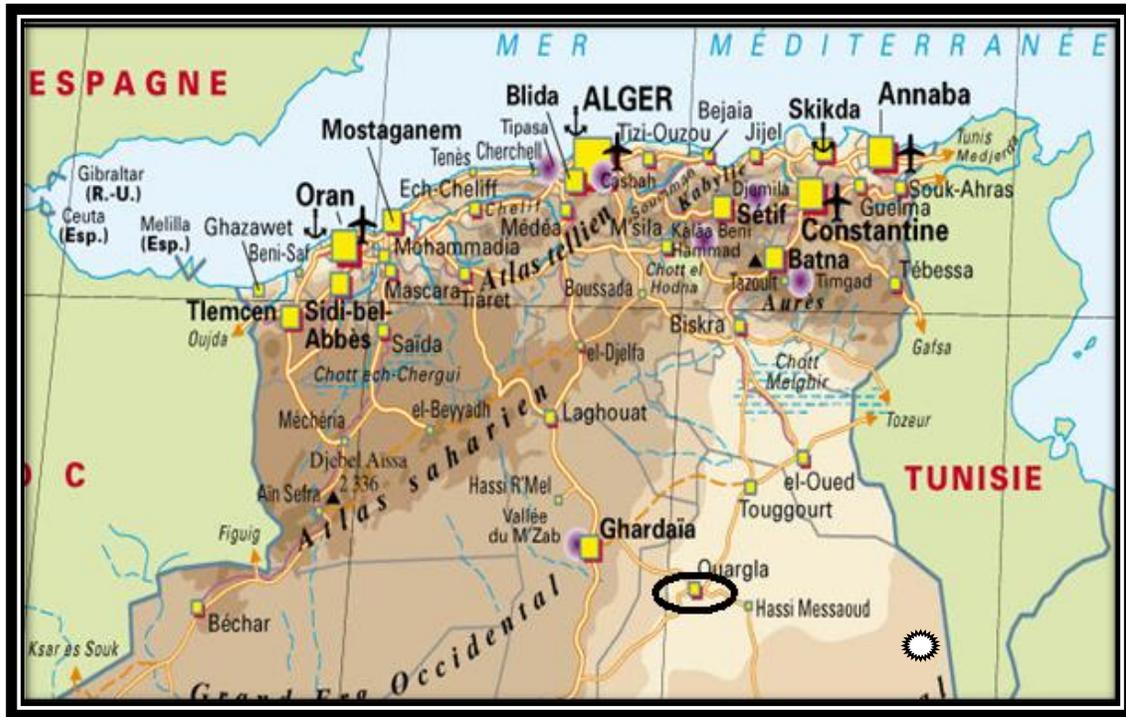
Elle est limitée au Sud-Ouest par "L'erg occidental ", au Nord par les massifs des Aurès, à l'Est par ville de « Hassi Messaoud », et au Nord-Ouest par la ville de Ghardaïa (**Figure. 1**).

La willaya comporte trois importants regroupements urbains (**Figure 2**) qui sont :

La ville d'Ouargla.

La ville de Hassi Messaoud au Sud.

La ville de Touggourt au Nord.



- : La wilaya d’Ouargla
- ☀ : Zone d’étude Hassi Messaoud.

Figure 1 : Carte de situation d’Ouargla.

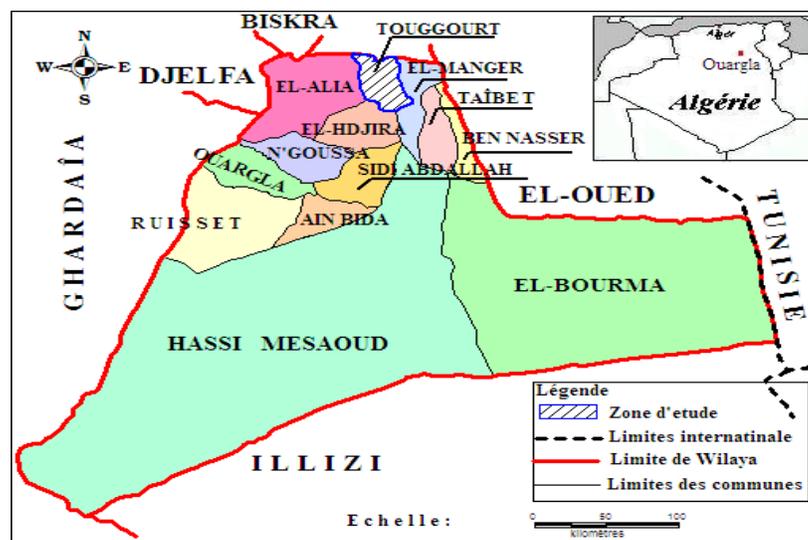


Figure 2 : Carte de découpage administratif de la Wilaya d’Ouargla.

Hassi Messaoud occupe une superficie totale de l'ordre de 71 000 ha et s'étale sur une longueur 80 km environ. Elle est orientée selon une direction sud-west nord-est et elle est limitée :

- Au Nord par Taibet et El-Manger et Abdallah et Ain Bida et Ruisset.
- À l'Est par El-Bourma et Ben Nasser.
- Au Sud par Illizi.
- À l'Ouest par Gardaia.

### **2-Réseau hydrographique:**

Les pluies annuelles sont insignifiantes (42 mm en moyenne) et le réseau hydrographique n'a pas beaucoup d'influence sur le régime hydraulique de la région. En revanche les zones dépressionnaires comme la sebkhat Safioune et surtout le chott de Ouargla sont des zones d'hydromorphie qu'il est impossible de drainer efficacement. L'irrigation et l'exploitation des nappes aquifères alimentent une nappes phréatique très salée et très gênante pour les palmeraies bordières du chott et pour les installations urbaines de Ouargla.

Sur les 99000 hectares que compte la cuvette d'Ouargla, la superficie occupée par les sebkhas est évalué à 21000 ha dont 3500 ha sont occupées par les chotts (lieux d'apparition des eaux stagnantes). Parmi les plus importants chotts, on distingue les chotts Ain Beida, Oum Raneb et sebkhat Safioune, les autres sites sont de moindre importance comme les chotts de Saïd Otba et Bour El-Haicha, les sebkhas de N'Goussa et Bamendil.

### **3-Climat et végétation:**

Les données de plusieurs décennies d'observation météorologiques à la station d'Ouargla (aéroport), montrent que cette région est caractérisée par un climat typiquement saharien. Les précipitations sont faibles et aléatoires, une température moyenne élevée et une humidité faible. Les études agro-hydrologiques font ressortir que les eaux des précipitations ne contribuent nullement à l'irrigation des cultures ni dans la recharge des aquifères à cause de l'aridité du climat.

**4-Activité économique:**

Départ sa situation géographique au Nord du Sahara, son voisinage aux champs pétroliers et gaziers, cette région est devenue actuellement un pôle économique très important dans l'économie de l'Algérie. Les principales ressources énergétiques du pays se trouvent dans le sous sol de cette région où l'exploitation a commencé au début de la moitié du xx siècle.

Les palmeraies représentent la principale activité agricole de la région, qui utilise 35% de la main d'œuvre, de ce fait, elle est non seulement importante mais vitale pour la région.

La région de Ouargla offre d'importants sites touristiques comme les oasis, El Ksar, le lac, l'ancienne médina (Figure 3) et culturel comme la Zaouïa kadiriya qui accueille de nombreux visiteurs chaque année.



**Figure 3 : Le lac de Hassi Ben Abdallâh.**

**5-Besoin et ressources en eau :**

Devant le développement agricole et industriel d'une part, et la croissance démographique d'autre part, les besoins en eau au Sahara algérien ont augmenté d'une manière

très rapide. Tableau 1-1. Ceci a obligé les gestionnaires des ressources en eau à prospecter et réaliser des forages, des puits et d'ouvrages hydrauliques dans les deux nappes (CT,CI) comme celui qui est en cours et fait l'objet d'un suivi par nos soins.

**Tableau 1 : Besoins en eau de la région de HMD [2] , [1]**

Besoins en eau			
AEP		Industriel	
Nombre de puits =21, Q=30 m <sup>3</sup> /h		Nombre de puits =18, Q=30m <sup>3</sup> /h	
Volumes sorties (m <sup>3</sup> /mois)	Quantité requise (m <sup>3</sup> /mois)	Volumes sorties (m <sup>3</sup> /mois)	Quantité requise (m <sup>3</sup> /mois)
1050000 à 1350000	630000	35342 à 44453	35342 à 44453

**Remarque :**

Le secteur agricole ne présente aucune importance devant le secteur industriel. La quantité d'eau potable Adéquate et supérieure aux besoins et la même chose pour les besoins du secteur industriel.

**6-Cadre Hydro climatique :**

D'après la carte des sous bassin versants du Sud algérien, nous distinguons que le Sahara est divisé en dix (10) bassins versants et que la région de Ouargla se trouve dans le B.V n° 4 nommé B.V de l'erg oriental.

Les données relatives aux différentes composantes qui régissent le climat (pluies, vents, températures, humidité et évaporation) ont été enregistrées à la station « aéroport » d'Ouargla.

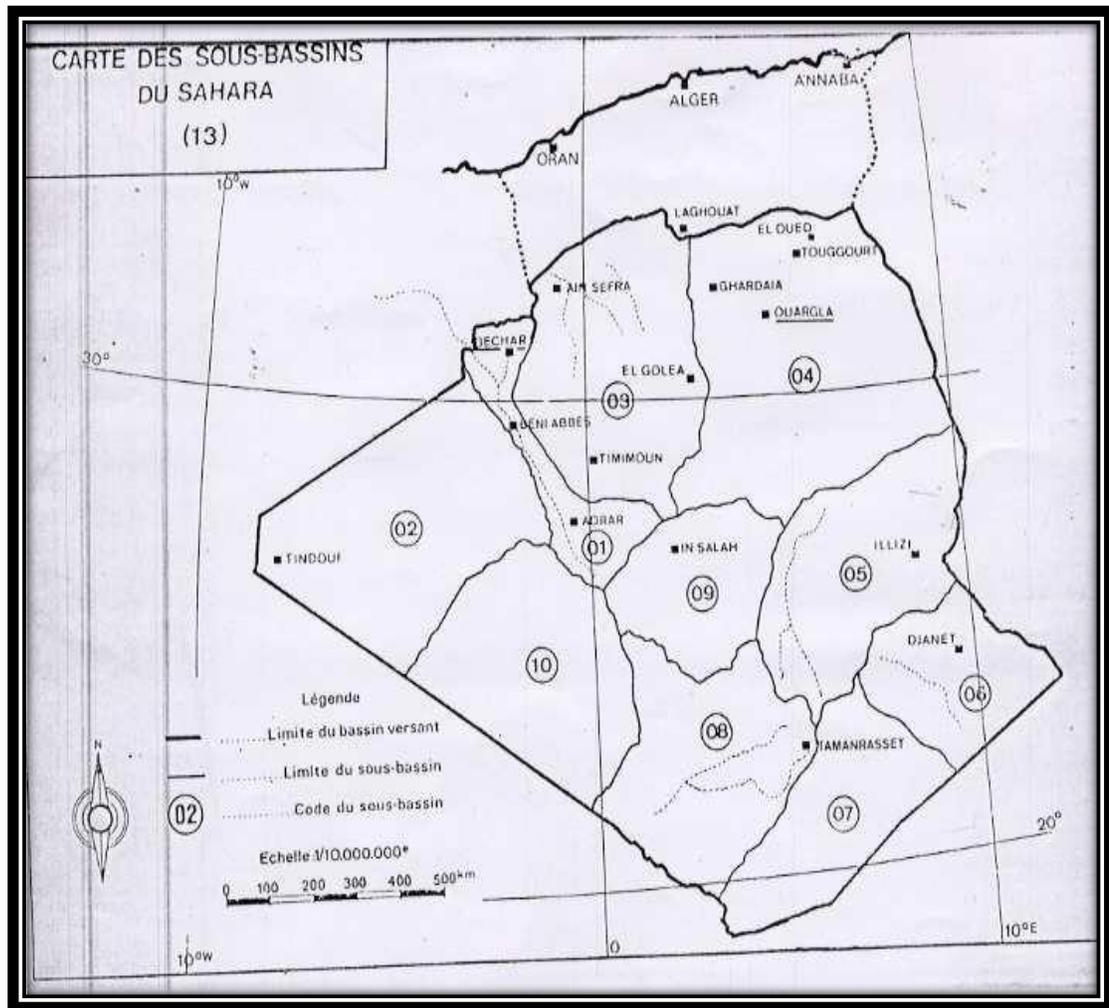


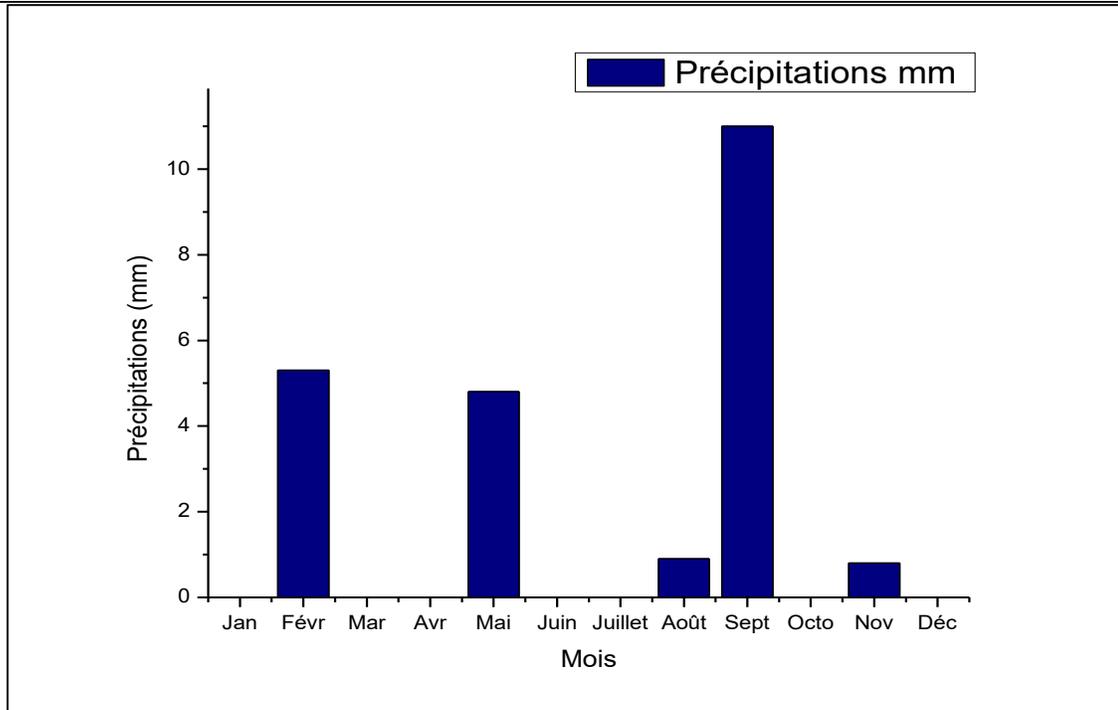
Figure 4 : Carte des sous bassins versants du Sahara algérien d’après (ANRH [3])

### 6.1-Précipitations :

La lame d’eau annuelle précipitée est de l’ordre de 22.8 mm. Le maximum est enregistré au moins de Septembre avec 8.7mm et un minimum de 0 mm enregistré aux mois de Janvier, Mar, Avril, Juin, Juillet, Octobre et Décembre (Figure 5).

**Tableau 2 : Précipitations moyennes mensuelles d’Ouargla (OMN OUARGLA 2018[4]).**

Mois	Jan	Févr	Mar	Avr	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Octo	Nov	Déc
P (mm)	0	5.3	0	0	4.8	0	0	0.9	11	0	0.8	0



**Figure 5 : Variation des précipitations moyennes mensuelles.**

**6.2-Température :**

La température joue un rôle primordial dans le climat. Dans la région d’Ouargla, désertique, ce paramètre a plus d’ampleur et influe grandement sur les autres paramètres météorologiques tels que l’évaporation et le taux d’humidité de l’atmosphère. Donc ce paramètre est déterminant dans le calcul du bilan hydrologique.

Le tableau 3 donne les valeurs de la température maximale mensuelle interannuelle observée à Ouargla durant l’année 2018

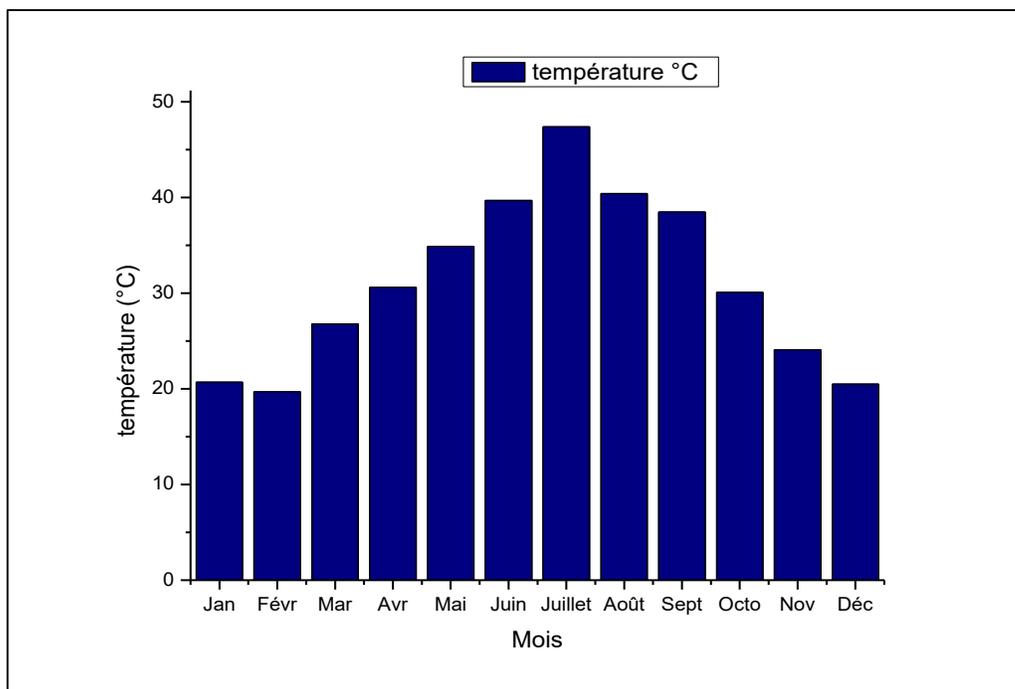
**Tableau 3 : Variation de la température maximale mensuelle à la station d’Ouargla en °C (OMN OUARGLA 2018 [4]).**

Mois	Jan	Févr	Mar	Avr	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Octo	Nov	Déc
TX °C	20.7	19.7	26.8	30.6	34.9	39.7	47.4	40.4	38.5	30.1	24.1	20.5

TX = Température moyenne maximale en °C.

L'analyse de l’histogramme (**Figure 6**) permet de montre que :

Le mois le plus chaud est le mois de juillet avec 47.4 °C alors que le mois le plus froid est février avec 19.7 °C. La température moyenne maximale annuelle est de 31.11°C.



**Figure 6 : Variation des températures moyennes maximums mensuelles en (°C)**

**6.3-Le vent :**

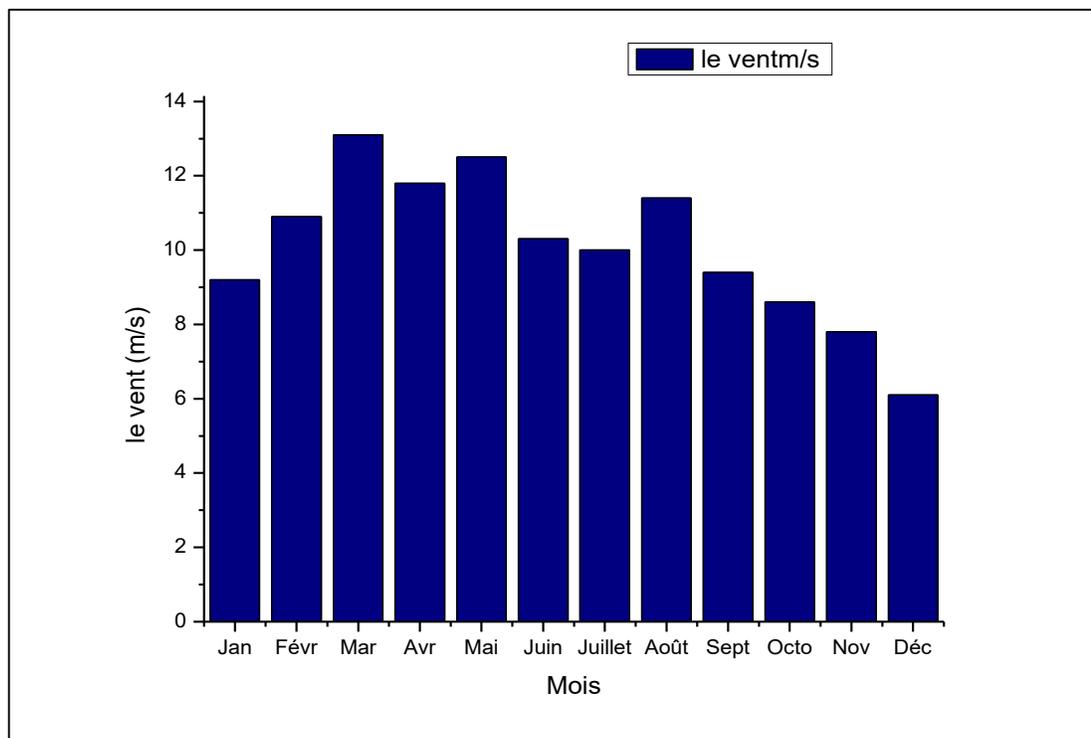
D’après les données rapportées par la station d’Ouargla, le vent du secteur à une direction dominante Nord-Est. Il est caractérisé par des températures très élevées.

Généralement au printemps les vents sont les plus forts. Les vents sont chargés de sable, donnant au ciel une teinte jaune et qui peuvent durer jusqu'à 3 jours consécutives avec une vitesse allant de 40 à 50 Km/h en ville (**Tableau 4**).

**Tableau 4 : Variation de la vitesse (v) moyenne mensuelle du vent à la station d'Ouargla (OMN OUARGLA 2018 [4]).**

Mois	Jan	Févr	Mar	Avr	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Octo	Nov	Déc
FX m/s	9.2	10.9	13.1	11.8	12.5	10.3	10.0	11.4	9.4	8.6	7.8	6.1

L'examen de l'histogramme (**Figure 7**) montre que la vitesse maximale est enregistrée durant le mois de Mars avec une vitesse de 13.1 m/s alors que la vitesse la plus faible est enregistré durant le mois de décembre avec : 6.14m/s. La vitesse moyenne mensuelle est de l'ordre de 10.08 m/s.



**Figure 7 : Variation de la vitesse moyenne mensuelle du vent.**

**6.4-l'humidité :**

L'humidité c'est la quantité de la vapeur d'eau, qui se trouve dans l'atmosphère à une température bien déterminée. Le tableau 5 donne les valeurs d'Humidité relative maximale (en %) mensuelle à Ouargla (2018).

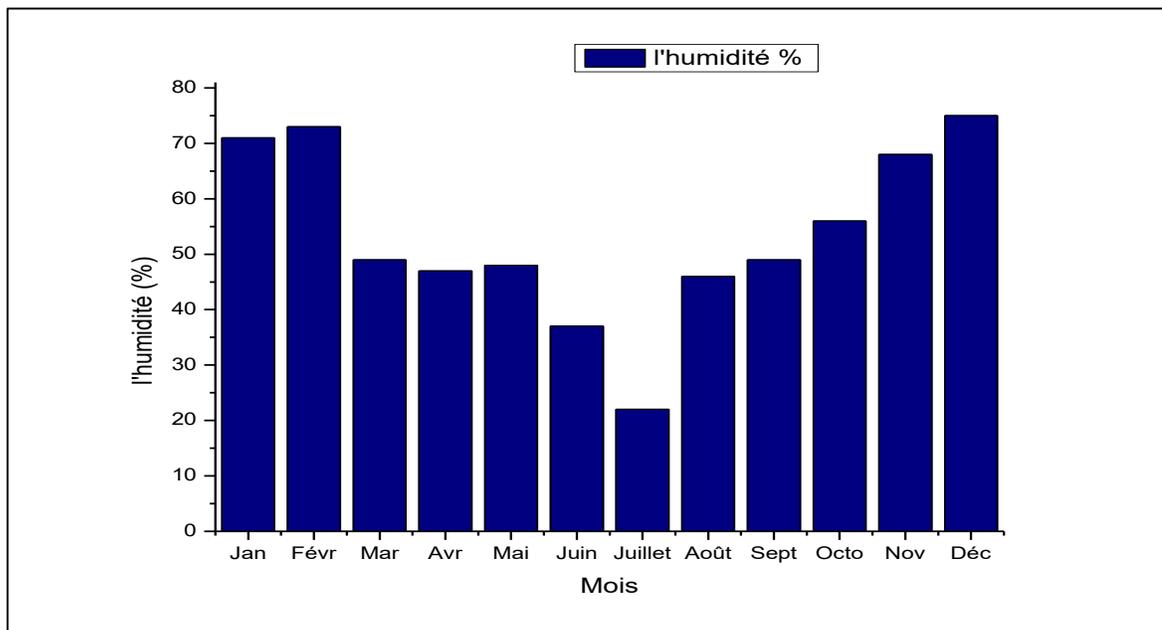
**Tableau 5 : variation de l'humidité relative max mensuelle de Ouargla en % (OMN OUARGLA 2018 [4]).**

Mois	Jan	Févr	Mar	Avr	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
L'humidité%	71	73	49	47	48	37	22	46	49	56	68	75

L'examen de l'histogramme (**Figure 8**) montre que :

L'humidité maximale est enregistrée durant le mois de décembre avec un taux de 70 % alors que l'humidité minimale est enregistrée au mois de juillet avec un taux de 22 %.

L'humidité moyenne mensuelle interannuelle est de l'ordre de 53.44 %.



**Figure 8 : Variation de l'humidité moyenne mensuelle.**

**6.5-L'évaporation :**

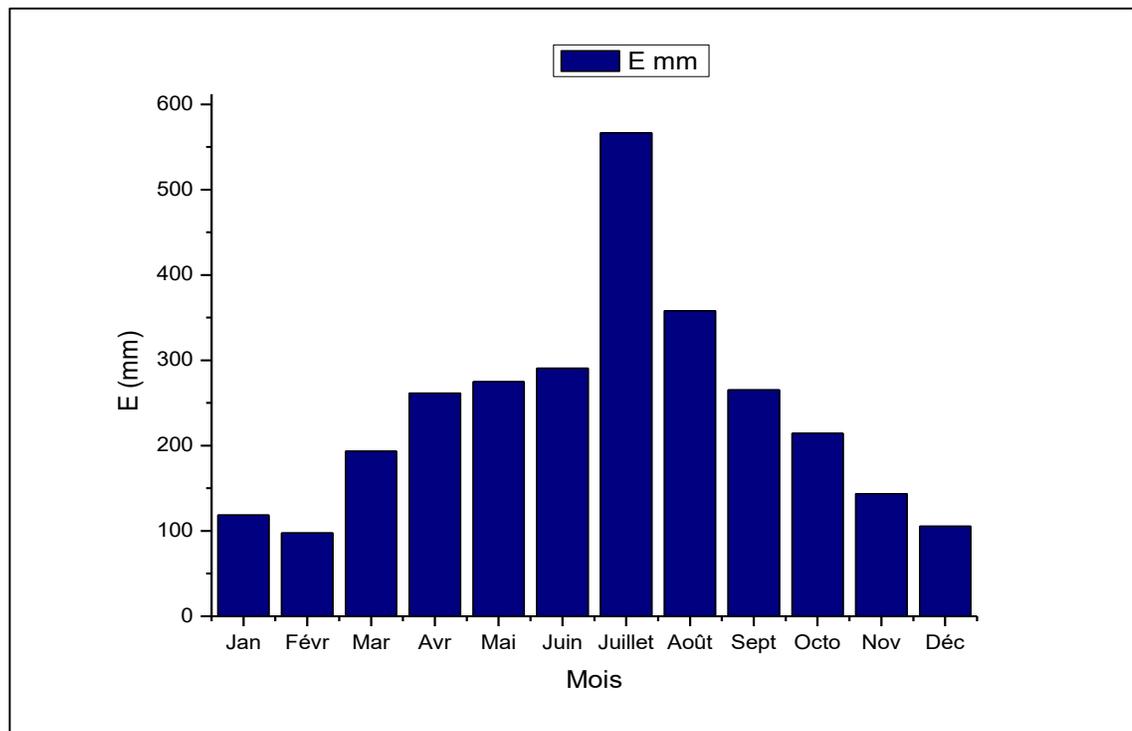
L'examen des données relatives à l'évaporation montre que :

Le mois de juillet est caractérisé par une forte évaporation avec 566.6 mm/an alors que l'évaporation la plus faible est enregistrée au mois de février avec 97.5 mm/an.

La valeur moyenne de l'évaporation annuelle est de 240.87 mm (Tableau 6 et Figure 9).

**Tableau 6 : Variation de l'évaporation moyenne mensuelle interannuelle à la station d'Ouargla en mm (OMN OUARGLA 2018 [4]).**

Mois	Jan	Févr	Mar	Avr	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
E (mm)	118.6	97.5	193.6	261.4	275.0	290.6	566.6	358.1	265.4	214.3	143.7	105.6



**Figure 9 : Variation de l'évaporation moyenne mensuelle.**

**Conclusion :**

Le développement socio-économique de la région d'Ouargla (Hassi Messaoud) s'est répercuté sur ses besoins en eau de plus en plus grandes. Ceci nécessite la réalisation de plus en plus de forages d'eau destinée aux différents secteurs (population, industrie et agriculture).

Du point de vue climatique, la ville d'Ouargla est caractérisée par un climat aride avec une température moyenne maximale de (31.11°C) et une précipitation annuelle faible et aléatoire (22.8 mm). Ceci s'est répercuté d'une manière négative sur l'état des ressources hydriques superficielles.

**CHAPITRE II**  
**CADRE GÉOLOGIE**  
**ET**  
**HYDROGÉOLOGIQUE**

**Introduction :**

Nous expliquons dans ce chapitre la géologie et l'hydrogéologie de la région d'étude. La géologie permet de donner une description lithologique et stratigraphique des formations et d'identifier celles qui se sont susceptibles de constituer des aquifères et de suivre leurs évolutions dans l'espace. L'hydrogéologie permet de connaître et de comprendre comment les structures géologiques du sol et du sous-sol affectent les caractéristiques physico-chimiques de l'eau, sa distribution, son écoulement et sa résurgence.

**1-Géologie :****1.1-Cadre géologique du Sahara :**

La région de Hassi Messaoud fait partie de la plateforme saharienne, cette dernière commence au pied méridional de l'atlas saharien ou elle renferme l'essentiel des ressources hydriques et hydrocarbures. Elle est formée de grandes étendues de dunes (erg oriental et erg occidental), de plains caillouteux (reg) et de quelques oasis qui sont aussi des centres urbains à l'image d'El Oued, Ouargla et Ghardaïa (**Figure 10**) [23].

La plateforme saharienne comprend un socle Précambrien sur lequel repose en discordance une puissante couverture sédimentaire, structure au Paléozoïque en plusieurs bassins séparés par des zones hautes (**Figure 10**) :

➤ **Bassin de Bechar :**

Il forme une continuité avec l'Atlas saharien et présente des formations détritiques d'âge Paléozoïque inférieur et des récifs carbonifères.

➤ **Bassin de Tindouf :**

C'est un synclinal au Nord des Eglab, Il se présente en surface comme une vaste dépression plate à remplissage Paléozoïque surmontée en surface par les hamadas tertiaires.

➤ **Bassin de l'Ougarta :**



Elle est limitée au Nord par l'ensellement de Djimaa, Touggourt, au Nord-Est par le dôme du Dahar, la dorsale d'Amguid et l'Abiod sépare à son tour le bassin d'Illizi à l'Est de celui de Mouydir à l'Ouest pour s'enraciner plus au Sud dans le socle Précambrien [23].

De nombreux auteurs ont travaillé et publié des articles et des ouvrages sur la géologie du bassin sédimentaire du Sahara Septentrional, aussi bien dans le cadre de la géologie pétrolière, que par des chercheurs universitaires, parmi eux nous citons les plus connus : G. Busson, 1970; G. Conrad, 1969; Dubief, 1959. La région d'Ouargla fait partie du bassin sédimentaire du Sahara Nord-est Septentrional (**Figure 11**). [2]

### **1.3-Aperçu structural de la région de Hassi Messaoud :**

Le dôme de Hassi Messaoud est une entité majeure de la plate-forme Saharienne. Il fait partie d'un ensemble de structures formant la partie Nord de la province triasique.

Les principales failles qui affectent ce domaine sont héritées des anciennes phases orogéniques, et l'histoire tectonique de la région comportent l'empreinte de l'orogénèse panafricaine, résultat de la collision entre les boucliers Est et Ouest africains. [23]

Un réseau de failles de direction Subméridienne SW-NE et NW-SE, proviennent des évènements antéhercyniens dont l'origine est le socle.

La mole de Hassi-Messaoud a favorisé l'érosion d'un dépôt d'âge Paléozoïque ou les termes Mésozoïque reposent directement sur les formations cambriennes.

On note qu'aucune influence tectonique n'affecte les formations du Tertiaire, les seules influences connues sur le Complexe Terminal, concernant les formations du Mésozoïque.

### **1.4-Stratigraphie :**

Sur la dorsale de Hassi-Messaoud une bonne partie de la stratigraphie est absente. Ce sont des dépôts du Paléozoïque reposant sur un socle granitique qui ont été érodés au centre de la structure au centre de la phase hercynienne. De ce fait les Pats mésozoïques reposent en discordance sur le Cambro-Ordovicien. (**Figure 12**)

En allant vers la périphérie du champ, la série devient plus complète. Du sommet à la base on distingue [23]:

#### 1.4.1. Tertiaire :

➤ **Mio-Pliocène : (e = 240 m)**

Sable blanc, translucide. Parfois jaunâtre moyen à grossier sub-anguleux à grès blanc anisométrique silico-carbonate, friable, avec rares passées de calcaire dolomitique, gris-blanc, microcristallin, dur et d'argile beige et verte, silto-sableuse, plastique.

➤ **Eocène carbonate : (e = 218 m)**

Calcaire à calcaire dolomitique, blanc à beige, microcristallin dur, avec présence par endroits de nodule de silex, localement crayeux et argileux, tendre intercale de dolomie beige microcristalline dure et rares passées d'argile grise à gris-verdâtre tendre à indurée, carbonatée.

#### 1.4.2-Mésozoïque :

❖ **Crétacé supérieur :**

➤ **Sénonien carbonaté : (e = 97 m)**

Calcaire à calcaire dolomitique, cristallin dure, et gris argileux, parfois vacuolaire moyennement dure. Intercalaire d'argile grise à grise-vert, tendre à indurée dolomitique et d'anhydrite, blanche pulvérulente.

➤ **Sénonien anhydritique : (e = 219 m)**

Anhydrite blanche rarement, rosâtre, cristalline dure, avec intercalation de dolomie calcaire blanche à gris-beige microcristalline dure, et grise à gris-vert argileuse moyennement dure, d'argile dolomitique gris-verdâtre dure légèrement silteuse et de calcaire blanc argileux, moyennement dur.

➤ **Sénonien salifère : (e = 140 m)**

Sel massif blanc à translucide, intercale d'argile grise à gris-vert et brune indurée, localement salifère et d'anhydrite blanche microcristalline dure.

➤ **Turonien : (e = 70 a 120 hi)**

Calcaire gris-blanc à beige crayeux, parfois argileux, tendre localement dolomitique microcristallin dur, avec passées de dolomie beige microcristalline dure et un niveau d'argile brune, plastique a la base.

➤ **Cénomaniien : (e = 145 m)**

Argile gris fonce, gris vert et brun à brun-rouge tendre, avec intercalation d'anhydrite blanche, pulvérulente, localement microcristalline, dure, et fine passées de dolomie beige à gris-beige, tendre. Présence d'un niveau de sel blanc, translucide.

❖ **Crétacé inferieur :**

➤ **Albien : (e = 350 m)**

Grès gris-blanc à gris-vert et brun, très fin à fin, rarement moyen, silico-argileux, parfois carbonate, moyennement consolide, friable, intercale d'argile brun-rouge et grise à gris-vert tendre à plastique, silteuse à silto-gréseuse et de dolomie beige microcristalline, localement gréseuse, dure, traces de lignite et de pyrite.

➤ **Aptien (e = 25 m)**

Dolomie beige microcristalline, dure et grise à gris-vert argileuse moyennement dure, intercalée de calcaire blanc argilo-dolomitique dur. Passées de marne grise, tendre, à la base de cet intervalle.

➤ **Barrémien : (e = 280 m)**

Alternance de sable, blanc translucide, parfois jaunâtre, moyen à grossier, sub-arrondi à sub-anguleux, et de gris-blanc et brun, très fin a fin, silico-argileux à silico-carbonate, par endroits, mal consolide friable avec intercalations d'argile brunâtre et gris-vert, tendre a plastique, saleuse à silto-sableuse, passant par fois à silt, rares passées de calcaire blanc, argilo-dolomitique, localement gréseux, moyennement dur. Présence de pyrite et de lignite.

➤ **Néocomien : (e = 180 m)**

Argile grise à gris-vert, tendre à indurée, saleuse, carbonatée localement brunâtre plastique, avec intercalations de grès gris-blanc à blanc et gris-vert, fin à moyen, silico-argileux à silico-carbonate par endroit, glauconie, par fois ligniteux, mal consolide, friable et de silistone brun, rouge moyennement dur. Rares passées de dolomie beige microcristalline dure et de calcaire gris-blanc à beige argileux, tendre. [23]

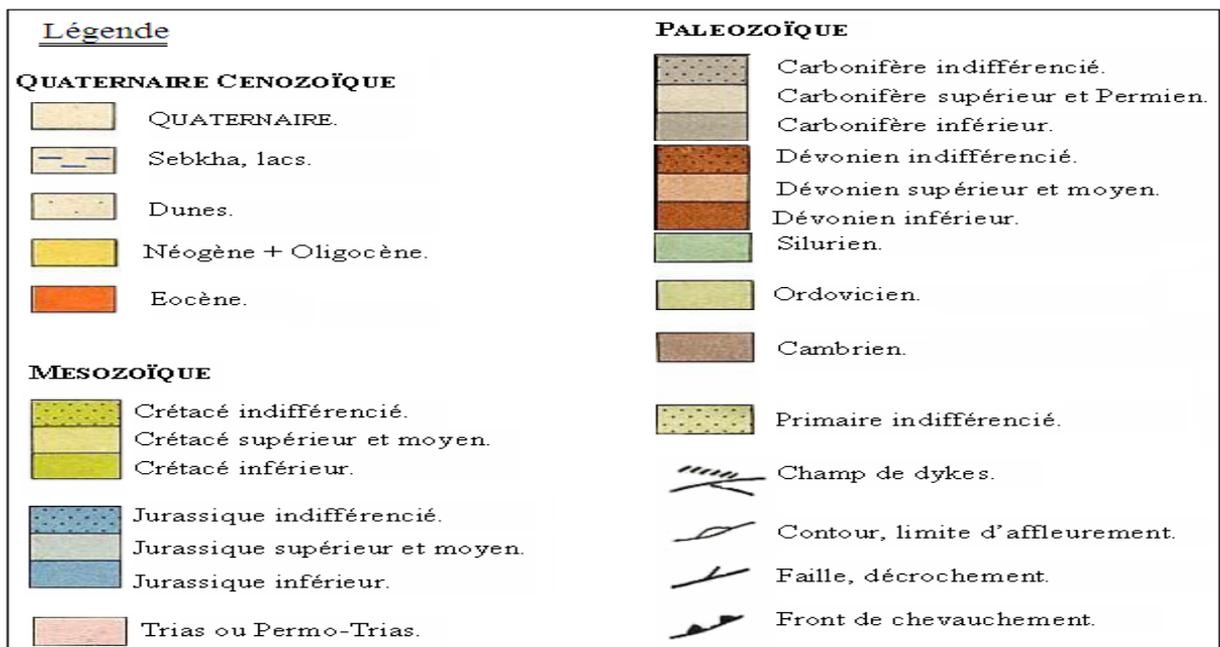
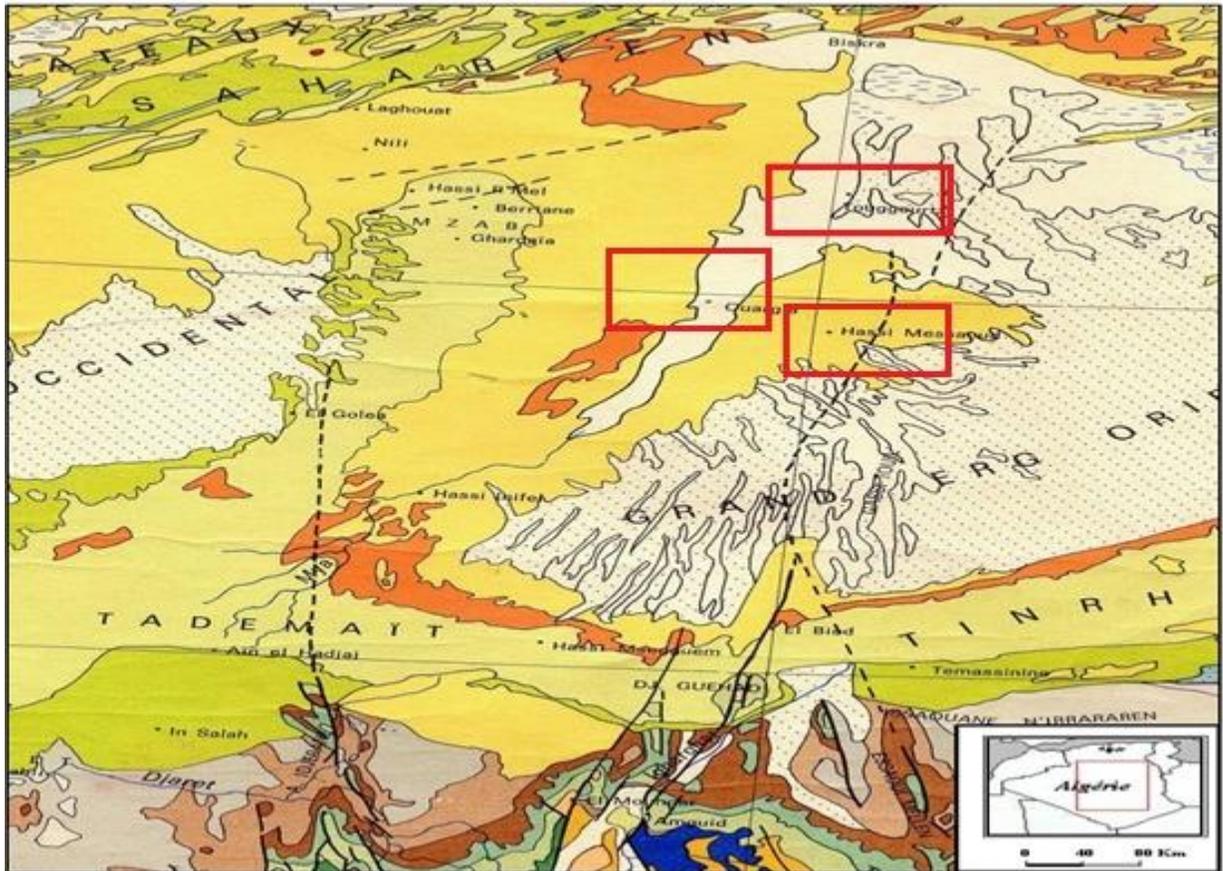


Figure 11 : Carte géologique du Sahara orientale 1/1 000 000 [7]

ERE	SYST	ETAGES		Ep moy	DESCRIPTION		
CENO-ZOIQUE	NEOGENE	MIO-PLIOCENE <i>discordance alpine</i>		240	Sable, calcaire, marne sableuse		
		EOCENE		120	Sable, calcaire à silex		
	MESOZOIQUE	CRETACE	SENONIEN	CARBONATE	107	Calcaire, dolomie, anhydrite	
				ANHYDRITIQUE	219	Anhydrite, marne, dolomie	
				SALIFERE	140	Sel massif et traces d'anhydrite	
			TURONIEN		90	Calcaire crayeux avec quelques niveaux argileux	
			CENOMANIEN		145	Anhydrite, marne, dolomie	
			ALBIEN		350	Grès, sable avec intercalations d'argile silteuse	
			APTIEN		25	Dolomie cristalline avec niveau argileux, calcaire	
			BARREMIEN		280	Argile, grès, dolomie	
			NEOCOMIEN		180	Argile, marne, dolomie, grès	
			MESOZOIQUE	JURASSIQUE	MALM		225
	DOGGER	ARGILEUX			105	Argile silteuse, marne dolomitique avec fines passées de grès	
		LAGUNAIRE			210	Anhydrite, marne dolomitique, marne grise	
	LIAS	L.D 1			65	Dolomie, anhydrite, argile	
		L.S 1			90	Alternances sel, anhydrite et argile	
		L.D 2			55	Anhydrite et dolomie cristalline	
		L.S 2			60	Alternances sel et argile	
		L.D 3			30	Alternances de dolomie et de marne	
MESOZOIQUE	TRIASSIQUE	SALIFERE			TS 1	46	Alternances de sel, d'anhydrite et de dolomie
					TS 2	189	Sel massif à intercalations d'anhydrite et argile gypsifère
			TS 3	202	Sel massif et traces d'argile		
		ARGILEUX		113	Argile rouge dolomitique ou silteuse injectée de sel et d'anhydrite		
		GRESEUX		35	Grès, argile		
		ERUPTIF <i>discordance hercynienne</i>		0-92	Andésites altérées		
		PALEOZOIQUE	ORDOVICIEN	QUARTZITES D'EL HAMRA		75	Quartzites fines avec traces de tigillites
GRES D'EL ATCHANE				25	Grès fins à ciment argileux, bitumineux		
ARGILES D'EL GASSI				50	Argiles schisteuses, vertes ou noires, glauconieuses à graptolithes		
ZONE DES ALTERNANCES				20	Alternance de grès et argile. Présence de tigillites		
PALEOZOIQUE	CAMBRIEN		Ri	50	Grès isométriques, fins, silteux		
			Ra	120	Grès à grès quartzitiques anisométriques à niveaux de silts		
			R2	100	Grès moyens à grossiers à ciment argileux illitique		
			R3	300	Grès grossier à ciment argileux, argile silteuse		
			INFRA-CAMBRIEN		45	Grès argileux rouges	
S O C L E					Granite porphyroïde rose		

Figure 12 : Série stratigraphique du champ de Hassi Messaoud [ 7 ]

## 2-hydrogéologie

Pour découvrir les nappes de Hassi Messaoud et de déterminer les caractéristiques de la nappe phréatique (source d'alimentation et le phénomène de la remontée des eaux, le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) s'étend sur une vaste zone dont les limites sont situées en Algérie, Tunisie et Libye. Ce bassin renferme une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT).

Afin de bien positionner la zone du forage principal qui a fait l'objet du suivi, nous allons passer en revue l'hydrogéologie régionale puis locale de la région [6]

Dans la région étudiée, il existe deux systèmes aquifères, séparés par d'épaisses séries argileuses et évaporitiques, de la base du Crétacé supérieur. Il s'agit du : **(Fig. 13 et tableau 7)**

Continental intercalaire (CI), aquifère profond composé de sable gréseux ou gréseux argileux

Complexe terminal, composé de trois nappes superposées :

L'une dans les sables et argiles du Pliocène (CT 1).

L'autre dans les sables grossiers à graviers, du Miocène supérieur (CT 2).

La troisième dans les calcaires fissurés, plus ou moins karstiques, de l'Eocène inférieur (CT 3).11

Selon l'étude de l'Agence National des Ressources Hydrauliques (NARH) **(Figure 10)**, il existe un aquifère superficiel à nappe libre, dite nappe phréatique. Ces deux systèmes hydrauliques fond du Sahara Algérien une région considérée comme très riche en ressources hydriques.

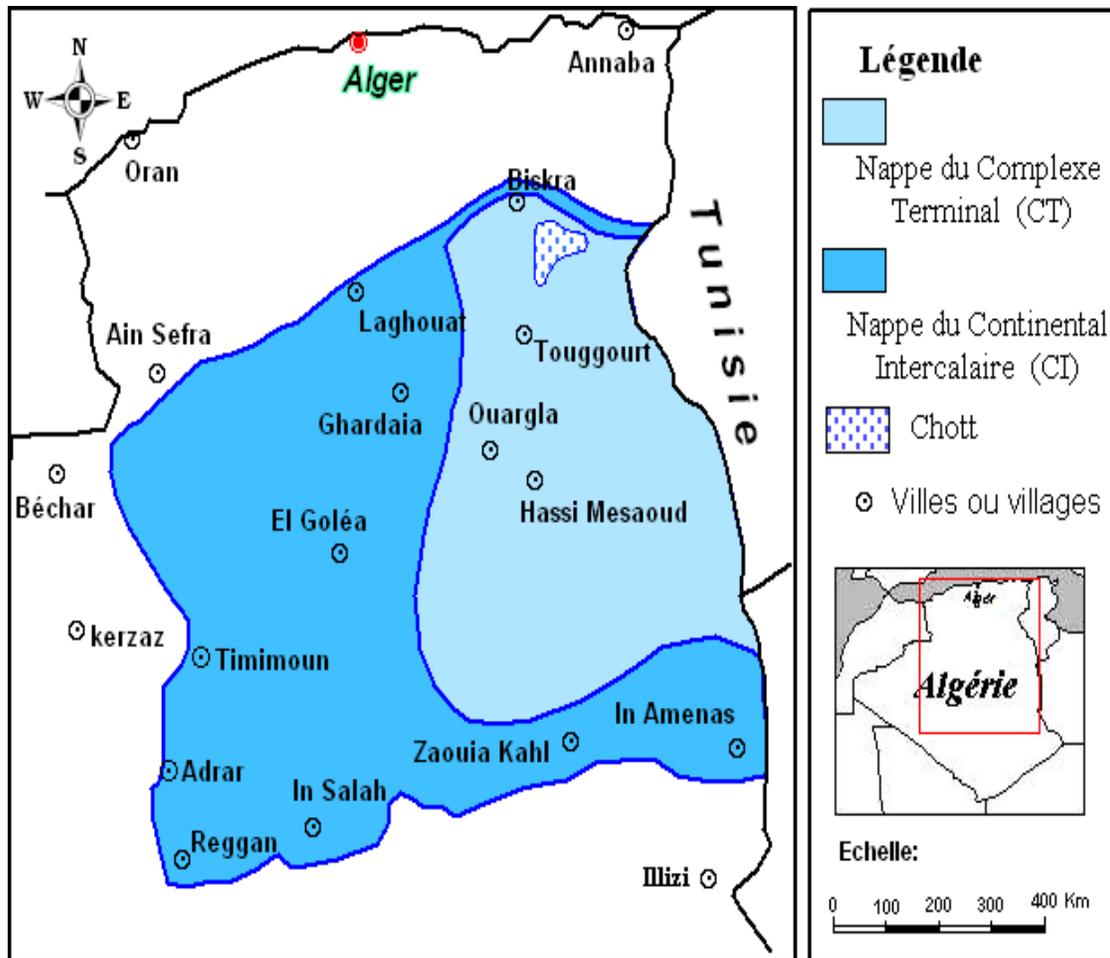


Figure. 13 : Carte des ressources en eau souterraines. Continental intercalaire et complexe terminal (ANRH) [3].

**Tableau 7 : Synthèse hydrogéologique régional des différent aquifères.**

<b>Ere</b>	<b>Etage</b>	<b>Lithologie</b>	<b>Nature de la formation</b>
<b>Q U A T E R N A I R E</b>	Quaternaire supérieur	Sable	
	Quaternaire Inferieur	Argiles évaporites	Semi perméables
<b>T E R T I E R E</b>	Mio-pliocène	Sable	1 <sup>ère</sup> nappe( CT1)
		Argiles	Semi-perméables
		Sable et grés	2 <sup>ème</sup> nappe (CT2)
		Argiles	Imperméables
	Eocène Moyen	Argiles lagunaires	Imperméables
	Eocène inférieur		
<b>S E C O N D A I R E</b>	Sénonien Calcaire	Calcaires	3 <sup>ème</sup> nappe (CT3)
	Sénonien Lagunaire	Evaporites et argiles	Semi et imperméables
	Cénomaniien	Argiles et marnes	Imperméables
	Albien	Sables et grés	Nappe du C1
	Aptien	Marne dolomitique et argile	Imperméables
	Barrémien	Grés argileux	Aquifère

**2.1. Hydrogéologie régional :****2.1.1. La nappe phréatique :**

La nappe phréatique est contenue dans les sables fins à moyens, d'âge Quaternaire, contenant des cristaux de gypse. Elle s'épaissit du Sud vers le Nord et sa puissance moyenne est d'une vingtaine de mètres. Caractérisée par des eaux à forte salinité, la nappe phréatique est gonflée par l'excès de l'eau d'irrigation et des pompages du CI et du CT. C'est pour drainer cet excès d'eau que le réseau de drainage naturel a été réalisé dans la dépression d'Ouargla.

La nappe phréatique est principalement alimentée par les eaux d'irrigation et de distribution urbaine, les eaux des forages dont les tubages sont détériorés, par les faibles précipitations et par les percolations des nappes du Complexe Terminal. Les pertes sont surtout le fait de l'évaporation.

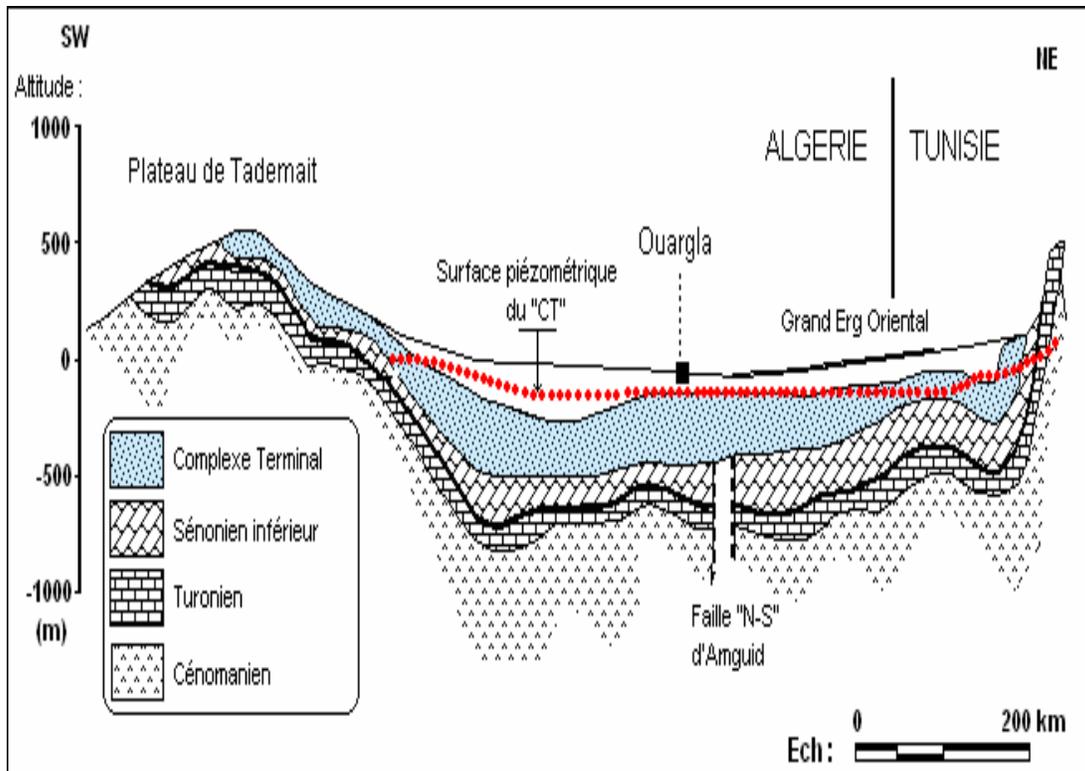
**2.2- Complexe Terminal :**

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

Cette nappe étend de la dorsale du M'zab à l'Ouest jusqu'à la hamada du Tinhert au Sud

La nappe du le continental terminal reste la plus très exploitée dans la région de Hassi Messaoud et de Ouargla el Oued Reg. Ce sont : la 1ère et la 2ème nappe des sables.

Les dépôts continentaux (Continental Terminal) sont représentés par des sables de taille variable, intercalés de lentilles argileuses parfois évaporitiques, d'âge Mio-pliocène. En revanche, les formations marines sont essentiellement carbonatées, déposées au cours de la transgression marine du Sénono-Eocène.



**Figure 14 : Coupe hydrogéologique transversale du "CT" complexe terminal De la région d'étude(ANRH)[6].**

**2.2 .1-La première nappe des sables :**

Hormis la nappe phréatique, cette nappe est la moins profonde 50 à 100 m. Elle est constituée de sable fin à moyen, sable argileux et grés, d'âge Mio-pliocène. Le faciès sableux varie largement, latéralement. Un niveau d'argile constitue son substratum et son toit est formé par des argiles et des évaporites.

C'est une nappe captive qui était jadis très exploitée, avec un débit faible à moyen, de l'ordre de 20 à 40 l/s, (le débit global d'exploitation proche à 6 m<sup>3</sup>/s). Cependant, à cause de la salinité élevée de l'eau, les forages qui la capent sont actuellement moins utilisés.

**2.2.2-La deuxième nappe du sable :**

Les formations contenant cette nappe sont également d'âge Mio-pliocène. Comme la première nappe, elle est formée essentiellement des grés, de gravier et de sables avec la présence de quelques lentilles argileuses. L'épaisseur de la couche aquifère est de 20 à 36 m. Cette nappe captive est très exploitée par des forages moyennement profonds (100 et 165 m), avec un débit variant entre 25 et 45 l/s. Des argiles à niveaux calcaires et des marnes, forment son substratum, alors que des argiles et les argiles sableuses constituent son toit.

Ces deux nappes du Mio-pliocène sont alimentées localement par les rares précipitations et les infiltrations d'eaux de surface (de la nappe phréatique et du canal d'Oued Righ), et les percolations des nappes artésiennes sous jacentes. Les prélèvements par forages représentent leur seule exhaure.

Ces deux nappes du Mio-Pliocène surmontent l'autre ensemble du Complexe Terminal (CT), constituant la troisième formation aquifère, formée par les carbonates de l'Eocène inférieur – Sénonien supérieur.

**2.2.3- La nappe du Sénonien-Eocène :**

Ces deux étages géologiques ont été regroupés parce qu'ils forment un ensemble lithologique et hydrogéologique homogène. Essentiellement carbonaté, il est formé de calcaires, calcaires dolomitiques ou marneux, d'anhydrite et gypse donnant un débit de 25 à 40 l/s et parfois présentant un cartésianisme à faible débit (0,3 à 0,6 l/s). Leur toit est supérieur à 180 m, dont le débit global peut atteindre 2,8 m<sup>3</sup>/s.

A la base, le Sénonien lagunaire forme le substratum de cette nappe et au sommet, le toit est surtout argileux. La porosité moyenne de cette nappe est de 20%.

### 2.3- Nappe du Continental Intercalaire :

C'est un aquifère profond, composé de sables gréseux ou argileux. L'épaisseur de la couche productive peut dépasser 500 m, mais son épaisseur utile est proche de 400m. Le réservoir du continental intercalaire est contenu dans les formations continentales du Crétacé inférieur (Barrémien et Albien).

La nappe du continental Intercalaire (CI) dans la région de Ouargla est caractérisée par:

Sa grande profondeur, plus de 1500 m,

Un fort artésianisme (15 à 20 bars),

Un grand débit d'exploitation (250 à 400 l/s),

Une température de l'eau élevée (50 à 65°C),

Une charge en CO<sub>2</sub>, qui lui donne un caractère corrosif,

Un résidu sec des eaux variant entre 3 et 5 g/l.

Les apports d'eau au système aquifère s'effectuent par:

L'infiltration des eaux de ruissellement des reliefs situés à la périphérie du

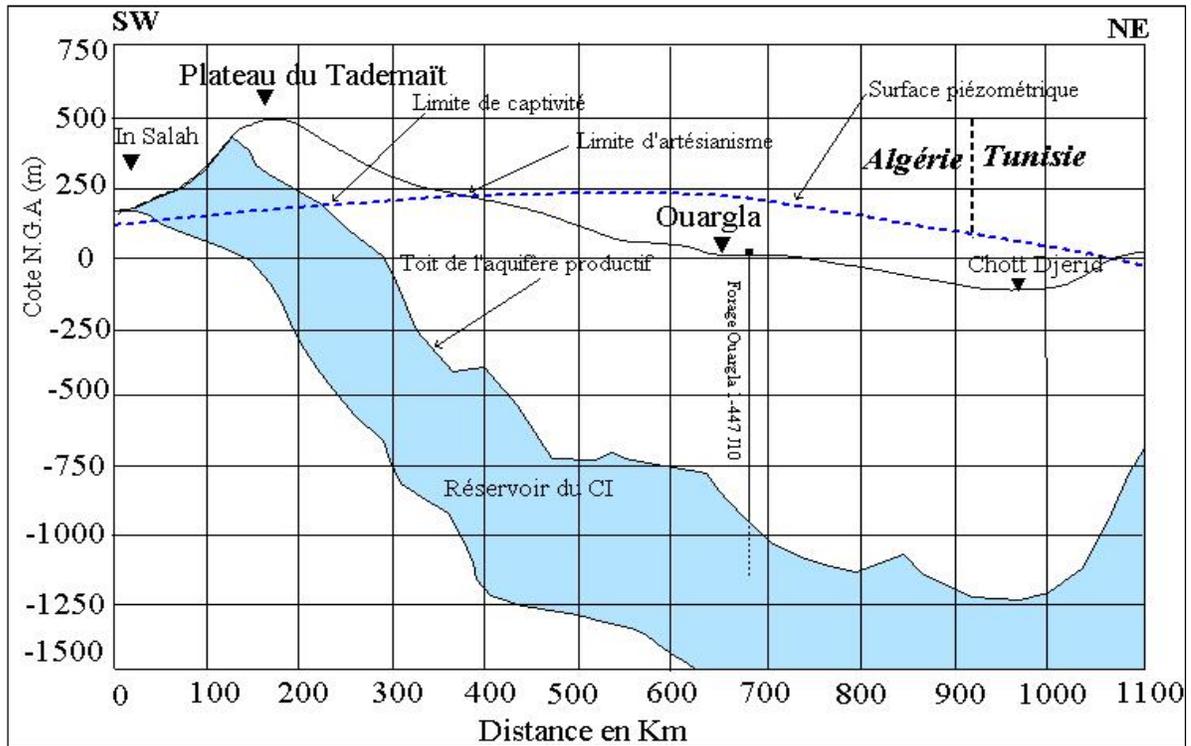
Domaine et par des précipitations sur les affleurements,

Le piémont de l'Atlas saharien, au Nord,

Le plateau de Tihert, au Sud,

En 1961, **A. Cornet** estimait cette alimentation à 25m<sup>3</sup>/s, en 1963 l'étude du **burgeap** la fixait à 15m<sup>3</sup>/s. Dans ces deux cas, cette alimentation provient en grande partie du piémont de l'atlas. L'exutoire naturel du Continental Intercalaire est la zone des chotts, avec un sens d'écoulement souterrain Sud-Nord, conformément d'ailleurs à la topographie de la région. D'autre part, les prélèvements par forages représentent une autre sortie. Le toit de cette nappe varie selon les régions : à l'Ouest (Gourara, Touat), il est en surface et l'aquifère forme une nappe

libre captée par les foggaras. A l'Est, le toit plonge progressivement sous d'épais terrains, jusqu'à atteindre son maximum de profondeur dans la dépression de l'oued MYA. Une même morphologie du substratum est observée dans le sens méridien, qui atteint son maximum au Nord, en bordure de l'Atlas saharien (**Figure 15**).



**Figure 15 Coupe hydrogéologique transversale montrant le toit et la surface piézométrique du CI [6].**

**2-4. Piézométrie de l'aquifère du Continental intercalaire :**

La carte de la figure 16 montre l'écoulement de la nappe à l'état naturel, peu ou pas influence par pompage. L'examen de cette carte met en évidence les zones d'alimentation, indiquées par les directions d'écoulement.

Il s'agit :

- Du piémont sud atlasique au Nord et Nord-Ouest ;
- Du Tinrhert au Sud ;

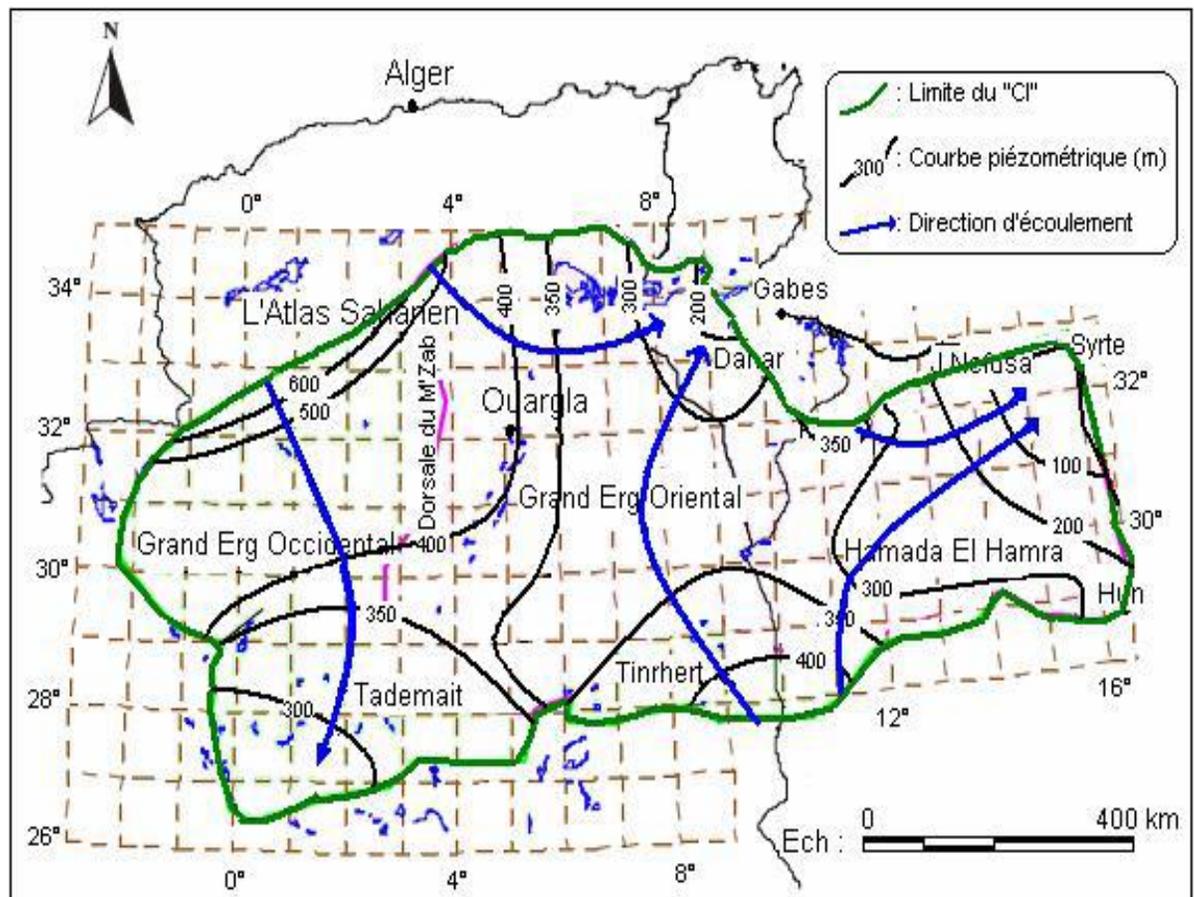
- Du Dahar à l'Est.

L'écoulement de cette nappe se produit :

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

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

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



**Figure 16 : Carte piézométrique de référence du "CI" (OSS, 2003)[6].**

### 2.5- piézométrie de l'aquifère du Complexe terminal :

Comme pour le "CI", la construction de cette carte piézométrique est le résultat de l'accumulation des contributions successives élaborées depuis quarante ans, depuis la publication par Cornet (1964) de la première carte piézométrique couvrant tout le

Continental Terminal du Sahara.

Cette piézométrie a concerné les formations calcaires sénoniennes et éocènes ainsi que les sables du Pontien (O. Rhir et Djérid) assez souvent en relai hydrogéologiques. Elle se raccorde parfaitement et permet d'avoir la continuité de l'écoulement souterrain en passant d'une zone à l'autre (OSS, 2003).

L'examen de la carte piézométrique met en évidence les zones d'alimentation, à savoir :  
(Figure17)

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

L'écoulement de cette nappe se produit :

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

Dans le sens Ouest-Est, où les eaux en provenance de l'Atlas Saharien, se convergent vers la zone des Chotts.

Dans le sens Sud-Nord, du plateau du Tinrhert vers la zone des Chotts et le Golfe de Syrte.

## 2.6- les conséquences d'exploitation :

Les conséquences d'exploitation de ces aquifères sont multiples :

- Rabattement du niveau piézométrique (jusqu'à plus de 50m à Ouargla)
- Remontée de la nappe phréatique et salinisation de l'eau et du sol, par accumulation des eaux d'irrigation mal drainées.
- La corrosivité et la température élevée des eaux posent également certains problèmes techniques, qui touchent surtout les forages albiens.

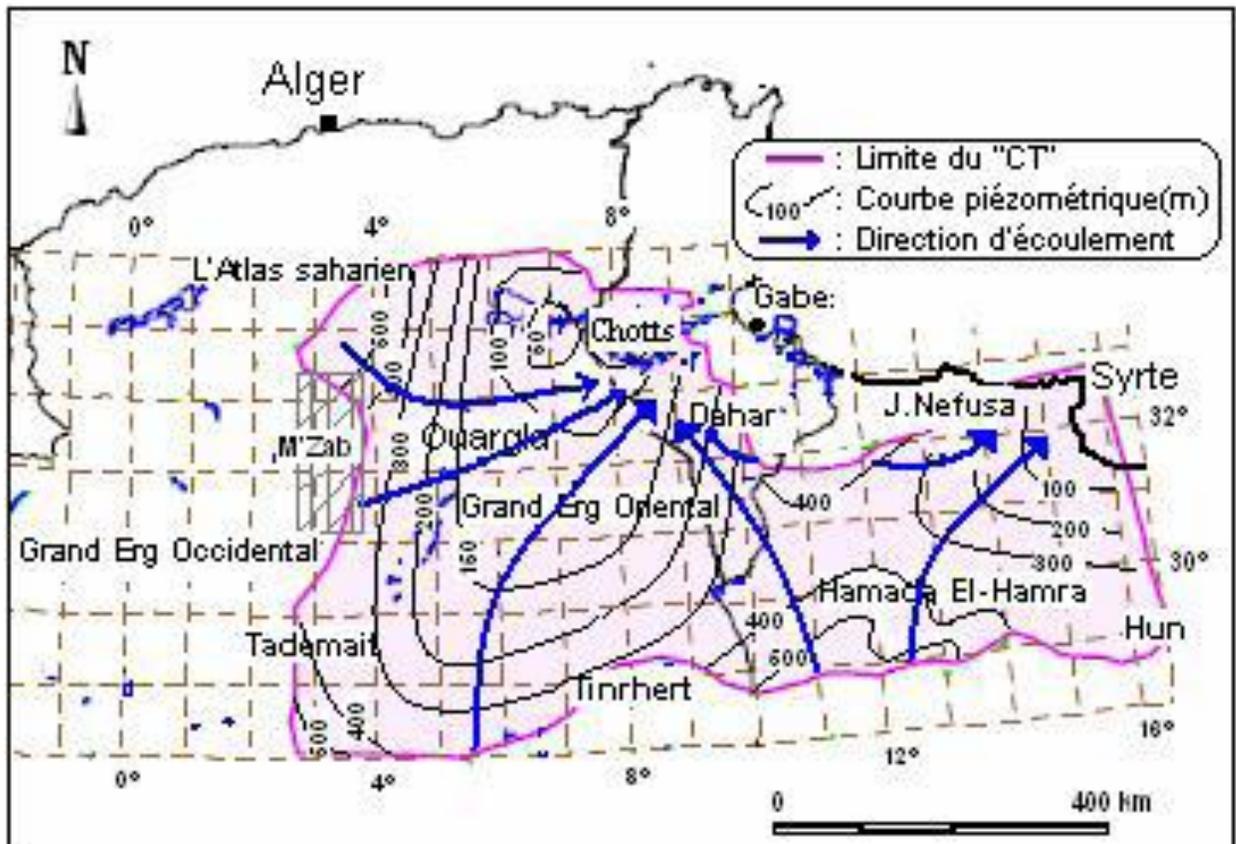


Figure 17 : Carte piézométrique de référence du "CT" (OSS, 2003) [6].

### 2.7- Hydrogéologie de Hassi Messaoud :

Le site d'implantation de forage est choisi en vue de prévenir toute surexploitation ou modification significative du niveau l'écoulement souterrain. Ce forage sera destiné à la production d'eau utilisée pour la consommation humaine.

L'implantation de forage doit faire l'objet d'un rapport mettant en évidence surtout l'influence hydrodynamique du forage sur les ouvrages existants. Les forages doivent être distants de 500 m au minimum.

La région de Ouargla est caractérisé par la présence de tous les aquifères. Ainsi, on a entre :

- 15 et 30 m de profondeur, la nappe phréatique
- 50 et 100 m de profondeur, la 1<sup>ère</sup> nappe du CT (Mio-pliocène)
- 160 et 250 m de profondeur, la 2<sup>ème</sup> nappe du CT (Eocène-Sénonien)
- 800 et 950 m de profondeur, la 3<sup>ème</sup> nappe du CT (Turonien) très salée
- 1300 et 1500 m de profondeur, la nappe de l'Albien du continental intercalaire.

Les forages en cour d'exploitation dans la région d'Ouargla exploitent les nappes de CT à partir de 150m de profondeur.

#### Conclusion :

Après l'étude **géologique** et **hydrogéologie** de la région de Hassi Messaoud, on conclut qu'elle est riche en eaux souterraines.

Pour utiliser cette eau, Nous forons des forages d'eau, comme nous allons voir au chapitre suivant.

**CHAPITRE III**  
**LA PROCÉDURE ET**  
**RÉALISATION DE**  
**FORAGE**

**Introduction**

La réalisation d'un forage d'eau se fait généralement à l'aide d'une machine en rotary. Cette technique est la plus rentable techniquement surtout dans des terrains non consolidés où les éboulements sont à redouter par nous allons nous attarder beaucoup plus sur les différents composés de la machine et les différentes opérations liées à cette technique.

**1-Vue sur l'appareil de forage d'eau :****1.1-Les équipes de forage :**

Ils travaillent au système 4x4 enter les entreprises opérant en Algérie, L'équipe est composée de [9] :

- Superviseur de forage (le chef de projet)
- Un chef de chantier de jour.
- Un chef de chantier de nuit
- Un secrétaire
- Un chef de poste
- Un second
- Un accrocheur
- Trois sondeurs
- Groupe mécanicien
- Groupe électricien

**1.2- Équipement de forage :****1.2-1- Le mât (Derrick) :**

Le mât de forage (**Figure 18**) sert aux manœuvres des garnitures de forage ou des tubages. Il a remplacé la tour [derrick] grâce à la rapidité de son montage et démontage. Il peut être du type qui ne se démonte pas pour le déménagement, ou de celui qui se démonte en un petit nombre d'éléments. Il est dressé tout monté sur la plate-forme de forage. Le mât est composé de deux montants reliés par des entretoises et des croisillons qui reposent sur une substructure [8].

Une plate-forme (**Figure 19**) installée au sommet, comportant des traverses de forte capacité, supporte le moufle fixe [crown block].



**Figure 18 : Mât de forage.**



**Figure 19 : Plateforme du moufle fixe.**

Une passerelle d'accrochage (**Figure 20**) est installée à une hauteur de 26 mètres du plancher pour permettre l'accrochage des longueurs de tiges. Elle est accrochée au mât par deux attaches, repose sur deux jambes de force, et est maintenue en haut par deux câbles. Elle comprend deux rangées pour le stockage des tiges et masse-tiges de part et d'autre d'une partie rabattable réservée à l'accrocheur. Les rangées de stockage sont divisées en plusieurs autres rangées séparées par des traverses munies chacune d'un dispositif de sécurité pour empêcher les tiges d'en sortir [8].

La longueur maximale d'une longueur de tiges à stocker dans le mât ne doit pas dépasser 30 mètres, sinon les tiges risquent de se déformer de façon permanente.

A environ 9 mètres du plancher est montée une passerelle de tubages (**Figure 21**) qui permet le guidage de ces derniers lors de leur vissage.

La hauteur de cette passerelle est ajustable entre 6 et 12 mètres à l'aide d'un treuil à air [8].



**Figure 20 : Passerelle d'accrochage.**

**Figure 21 : Passerelle de tubage.**

### 1.2.2- Treuil :

Il est forme par à plusieurs tambours et cabestans.

### 1.2.3- Table (mandrin) de rotation :

En cours de forage, la table de rotation (**Figure 22**) transmet le mouvement de rotation à la garniture de forage, par l'intermédiaire de fourrures et de la tige d'entraînement, et, en cours de manœuvre, supporte le poids de la garniture de forage, par l'intermédiaire de coins de retenue [8].



**Figure 22 : Table de rotation.**

#### **1.2.4- Pompe à boue :**

La pompe à boue utilisée est de types DUPLUX, elle permet d'injecter la boue sous pression dans les tiges, la boue pompée dans les bacs de décantation.

#### **1.2.5-Moteur thermique ou électrique :**

Dans la plupart du temps c'est le moteur du camion qui actionne tous les mouvements. Dans notre cas, il s'agit d'un moteur diesel à cylindre.

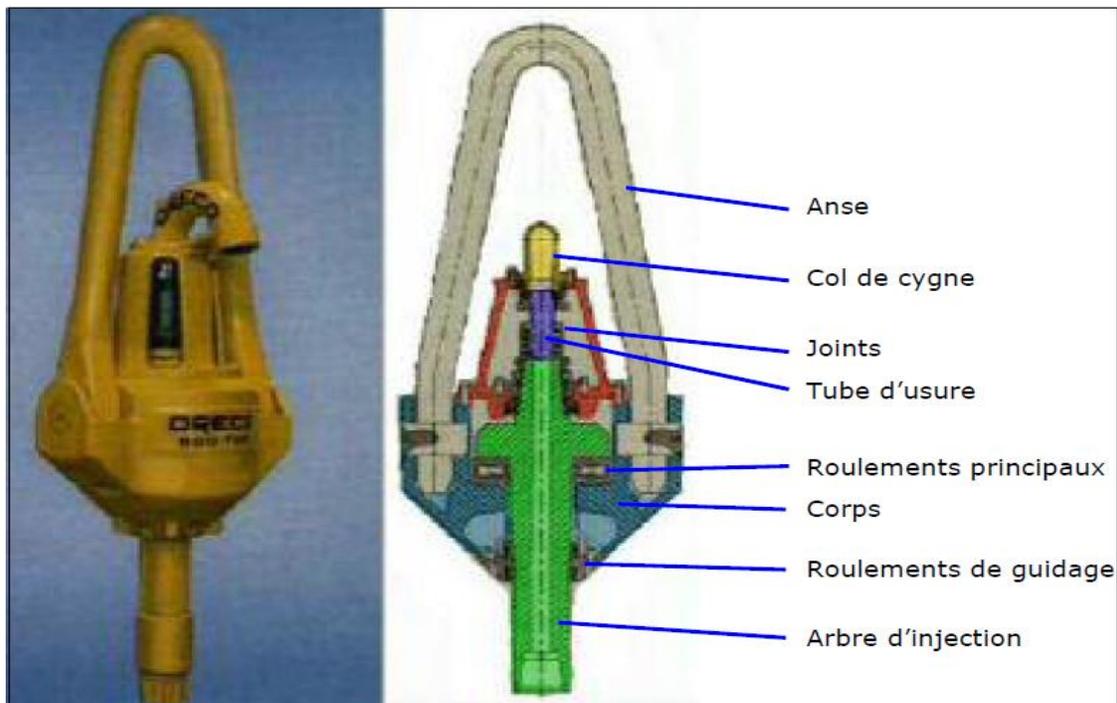
#### **1.2.6-Tête de circulation (ou d'injection) :**

Dans une installation de forage, la tête d'injection supporte la garniture de forage et permet d'injecter la boue en rotation ou à l'arrêt (**Figure 23**).

Elle est assurée par un arbre d'injection creux fileté à sa partie inférieure pour être raccordé à la tige d'entraînement. Cet arbre possède une partie plus large en forme de plateau qui,

par l'intermédiaire d'un roulement à billes ou à rouleaux, repose sur un autre plateau support, à travers lequel il passe. Le corps est suspendu au moyen d'une anse au crochet du moufle mobile. L'ensemble constitue le dispositif qui assure la suspension du train de tiges, aussi bien en rotation qu'à l'arrêt.

La boue arrive dans l'arbre d'injection par un tube coudé appelé col de cygne relié au corps. Entre le col de cygne fixe et l'arbre d'injection tournant, qui sont dans le prolongement l'un de l'autre, il y a un raccord tournant faisant joint, qui assure l'étanchéité à la boue.



**Figure 23 : Tête d'injection.**

L'étanchéité peut être obtenue soit sur l'arbre d'injection (l'arbre tourne et le joint est fixe), soit sur le col de cygne (le joint tourne et l'arbre autour du col de cygne est fixe).

La tête d'injection comporte par ailleurs un roulement à sa partie supérieure pour éviter que l'arbre d'injection ne se déplace vers le haut lorsqu'on appuie sur le train de tiges et deux roulements latéraux de part et d'autre du roulement principal pour assurer le guidage de l'arbre

d'injection. Les roulements sont enfermés dans un carter (le corps de la tête d'injection), qui comporte des joints d'huile à ses parties inférieure et supérieure [8].

### **1.2.7- La garniture de forage :**

Elle est également appelée "train de tiges ou train de sonde" . Elle assure la liaison entre l'outil de forage et la surface.

Ses principaux rôles sont :

- Permettre la rotation de l'outil pour détruire la roche
- Guider et contrôler la trajectoire de l'outil
- Mettre du poids sur l'outil
- Permettre la circulation du fluide de forage
- La garniture de forage est composée de :
- Tige d'entraînement ou Kelly
- Tiges de forage ou Drill Pipe
- Masses-Tiges.

Dans notre cas la longueur moyenne d'une tige est de "6" m, son diamètre est de : 65/8" et le poids moyen de la masse tige est de 150 kg/ml (kg par mètre linéaire), alors que celui de la tige est de 25.3 kg/ml (**Figure 24 et 25**).



**Figure 24 : Les tiges de forage.**



**Figure 25 : La masse tige.**

### 1.2.8- L'outil :

Selon la nature des terrains et l'objet de l'opération, on utilise différents outils.

Sonatrch est déterminée la qualité d'outil qu'utilise dans le programme de forage [11].

#### 1.2.8.1- Les outils à lames :

Queue de poisson : deux lames

Trois ailes.

Pilote : plusieurs étages de diamètres différents qui agissent en rabotant le fond du trou.

Ces outils travaillent en rotation, comme une fraise dans un métal, ils font des « copeaux » dans le terrain. Ils sont employés dans les formations sédimentaires compactes, à structure fine et de dureté peu élevée.

#### 1.2.8.2- Les outils à molettes :

Les outils à molettes ont été introduits dans le forage rotary par H.R. HUGUES en 1909 : ils en constituent aujourd'hui l'outil de base.

Il existe plusieurs types d'outils à molettes à dents en acier, notamment :

- les bicônes (2 cônes),
- les tricônes (3 cônes). Le tricône est le plus utilisé.

L'entreprise qui a réalisé le forage de MDH-10 a utilisé par la reconnaissance des outils 121/4 et outils à dents pour l'alésage (**Figure26**).



**Tricône à dents acier.**



**Tricône à pastilles.**

**Figure 26 : Outils de forage à molettes.**

### **1.2.9-la boue :**

La boue est un mélange colloïdal dont les caractéristiques doivent être vérifiées régulièrement et modifiées selon les cas pour conserver les qualités rhéologiques qui lui sont nécessaires : densité, viscosité, filtrat, cake, pH et teneur en sable.

## **2-Procédures et programme de forage hydraulique à l'albien pour hassi Messaoud selon Sonatrach:**

### **2.1-But du forage :**

Production d'eau douce de l'ALBIEN. Cette production d'eau peut être utilisée pour les besoins de

Réinjection pour maintien de pression du CAMBRIEN ou pour l'alimentation en eau des unités de production.

## **2.2 - Architecture du puits :**

Le puits est foré en trois phase : 26" (18"5/8) - 16"1/2 (13"3/8) - 12"1/4 (9"5/8 crépine), Avant le forage, nous élaborons un schéma d'approximation du forage 'STRATIGRAPHIQUES DE FORAGE' comme forge ALBIN MDH 10 (**Figure 27**).

### **➤ Phase 26'' :**

Des formations non consolidées du MIO PLIOCENE à environ 40 mètres dans leSénonien lagunaire ; environ 500 mètres (RT).

Utilisation de boue benthonique très visqueuse de densité 1,04 à 1,08 maxi.

Pose d'un tubage 18''5/8 API, J55, 8 filets ronds, STC, 87,5 lb/ft.

Cimentation du tubage de surface 18"5/8 à l'aide d'un stinger avec laitier de densité 1,58 suivi par

Un laitier de densité 1,90.

Coupe du tubage.

Installation de la plaque de base 21''1/4 x 2000, et test de la soudure

Montage du B.O.P 21"1/4 x 2000 et test.

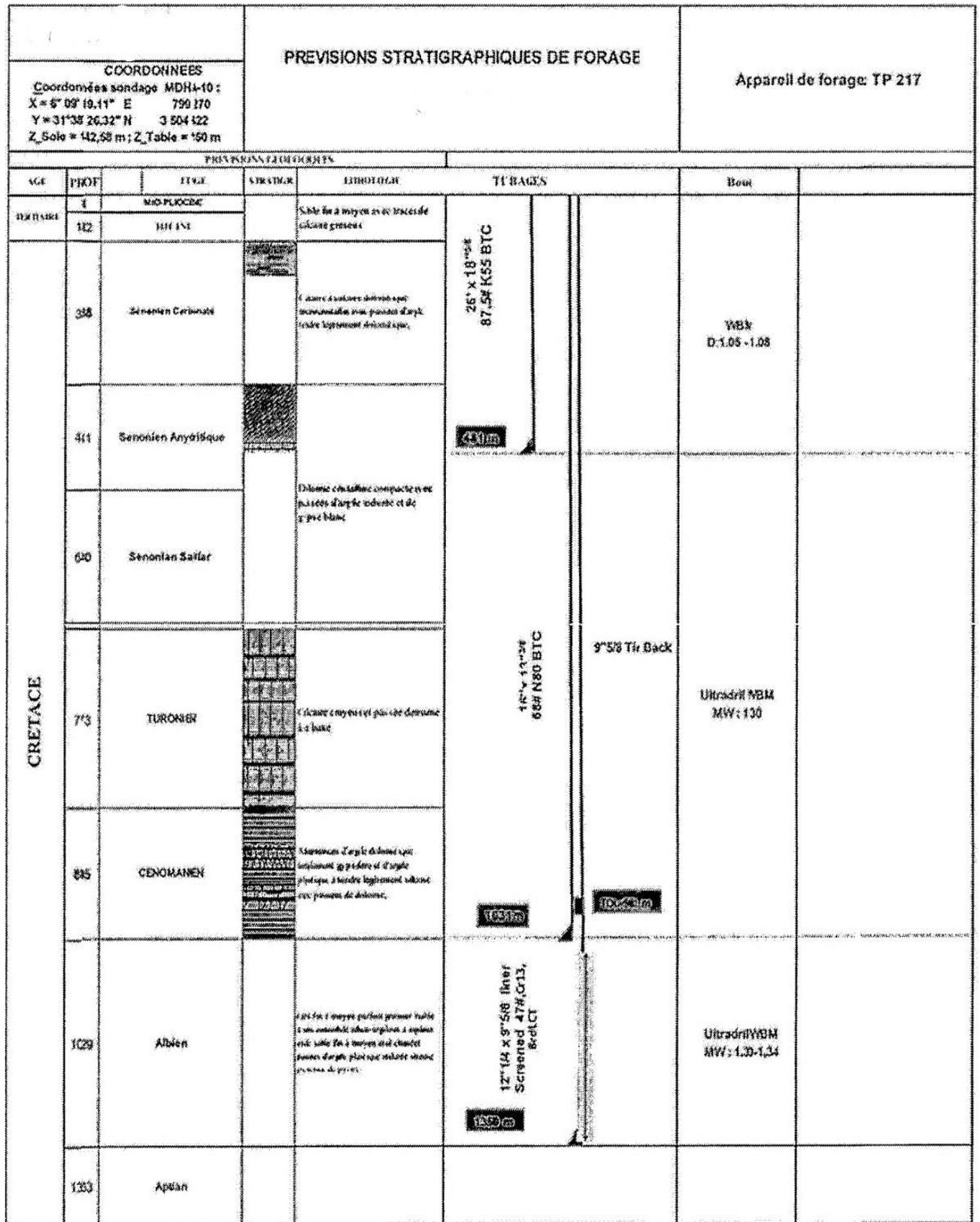


Figure 27 : STRATIGRAPHIQUES DE FORAGE (MDHA 10)[]

➤ **PHASE 16''**

Descente avec outil 17''1/2 et reforage du sabot 18''5/8.

Forage en 17''1/2 jusqu'au top de l'ALBIEN ; environ 1050 mètres (RT).

Utilisation de boue émulsionnée inverse de densité 1,25.

Pose d'un tubage 13''3/8, J55, 8 filets ronds, LTC, 54,5 lb/ft.

Cimentation du tubage, simple étage avec un laitier de densité 1,58 suivi par un laitier de densité 1,90. Installation du casing spool 21''1/4 x 2000 - 13''5/8 x 3000.

Installation du BOP 13''5/8 x 3000 et test.

➤ **PHASE 12'' :**

Refrage des équipements et sabot avec garniture lisse et outil à dents fraisées.

Changement d'outil, assemblage garniture pendulaire avec outil PDC et forage de l'ALBIEN en 12''1/4 jusqu'au top de l'APTIEN ; environ 1400 mètres (RT).

Utilisation de boue salée saturée de densité 1,25.

### **2.3-L'opération de Forage MDHA 10:**

Démarrage de la phase 36" descente casing 30" à 59 m, mais il y'a eu un coincement à 54 m remontée casing 30" à 54 m, cimentation la phase 36" jusqu'à surface, travaux génie civil sur cave avec + travaux sur Rig (03j), car l'affaissement de Plateforme et l'éboulement que résulte après la récupération des casings.

➤ **Phase 26'' :**

Forage jusqu'à 481 m environ après pénétration de, 40 m dans le sénonien

Tubage 185/8 pose de la colonne au fond, vers 481 m.

Cimentation jusqu'en surface.

➤ **Phase 16" :**

Forage jusqu'à pénétration de 2 m environ le toit de l'albien soit vers 1031 m

Tubage 133/8 pose de la colonne à 1031m.

Cimentation jusqu'à 150m environ de la surface.

➤ **Phase 12" :**

Forage jusqu'à l'arrêt final vers 1359 m , soit 4m au-dessus du toit de l'Aptien.

Descente slotted liner Inox 1359 m.

Test du réservoir une fois la cote attendue.

Pression attendue est 130kg/cm<sup>2</sup>.

Logging du réservoir pour évaluation.

**Tableau 8 : Programme de tubage du puits.**

Casing size	phase
185/8 surface à 481 m	26"
133/8 481 m à 1031 m	16"
95/8 surface m à 918 m	12"

**Programme de boue :**

➤ **Phase 26" :**

Boue douce benthonique dont les paramètres sont les suivants :

Densité : 1.05 – 1.08.

Viscosité marsh : 80 s

Filtrat : naturel.

➤ **Phase 16" :**

Boue (ultra drill) dont les paramètres sont les suivants :

Densité : 1,35.

Viscosité marsh : 80 s.

Filtrat : naturel

➤ **Phase 12" :**

Boue (Ultra drill) dont les paramètres sont les suivants :

Densité : 1.35.

Viscosité marsh : 80 s.

Filtrat : naturel.

## **2.4-Cimentation :**

### **2.4.1-Programme de cimentation de la phase 16" tubage 13"318**

➤ **Objectif de l'opération :**

- Atteindre le top de ciment jusqu'a 281 m.
- Isoler la zone de haute pression.
- Réalisation de l'opération sans incident.

**2.4.2-Calcul le volume total :****➤ Volume total de laitier :**

Si le mélange seulement de ciment et Peau, le dosage est d'environ 40 à 50 litre d'eau pour 100 kg de ciment, ce qui donne environ 75 litre de laitier de ciment à 1,9 densité. [31]

Après avoir déterminé la hauteur du ciment dans l'annulaire, et connaissant le profit du puits (diamètre intérieur et extérieur du tubage et le diamètre du trou), on peut calculer le volume de laitier à pomper qui (pour une cimentation primaire) égale à : [31]

$$VL = (VT - VE) H. K + VS$$

**VL** : Volume de laitier,

**VT** : Volume du trou et volume intérieur de l'avant dernier tubage.

**VE** : Volume extérieur du tubage.

**H** : Hauteur d'espace annulaire à cimenté.

**VS** : Volume de sécurité = volume intérieur tubes entre sabot et anneau.

**K** : coefficient de majoration variant de 1,05 à 1,30 et plus.

**V<sub>T</sub>**: volume total de laitier de ciment (m<sup>3</sup>).

**V<sub>1</sub>** : volume entre l'anneau-sabot (m<sup>3</sup>).

**V<sub>2</sub>** : volume de trou au-dessous de sabot (m<sup>3</sup>).

**V<sub>3</sub>** : volume de l'espace annulaire trou-tubage 13"3/8 (m<sup>3</sup>)

**V<sub>4</sub>** : volume de l'espace annulaire tubage 16" — tubage 13" 3/8 (m<sup>3</sup>).

**N.B** : le volume du trou est généralement supérieur à celui du trépan d'où les volumes.

**V<sub>2</sub>** et **V<sub>3</sub>** doivent être majorés par un coefficient de majoration qui dépend de la formation.

**➤ Calcul V 1:**

$$V_1 = C_{\text{tubage}13''3/8} * H_1$$

$C_{\text{tubage}13''3/8}$  : Volume unitaire a P intérieur de tubage (1/m).

$H_1$  : Hauteur entre l'anneau de retenu et le sabot (m).

$$(H_1 = H_{\text{sabot } 13''3/8} - H_{\text{anneau de retenu}})$$

$$V_1 = 78,094 * (1036 - 1012) = 1871,256 \text{ L} = \mathbf{1,871 \text{ m}^3}$$

➤ **Calcul  $V_2$ :**

$$V_2 = \frac{\pi D_{\text{trou}}^2}{4} * H_2 * K$$

$V_2$  : Volume de trou au-dessous de sabot (m<sup>3</sup>) .

$D_{\text{trou}}$  : Diamètre de trou 16" en (m).

$H_2$  : la hauteur entre le sabot de tubage 13"3/8 et le fond de puits (m).

$$(H_2 = H_{\text{fond puits}} - H_{\text{sabot } 13''3/8})$$

$K$  : coefficient de majoration (dans notre puits  $K=15\%$ ).

$$V_2 = \text{capacité Annulaire } 16'' \text{ OH} \times 13''3/8 \text{ Csg} + \text{Excess LQ } 2,4\% \text{ OH} *$$

$$(H_{\text{topTopTailSlurry}} - H_{\text{sabo } 18''5/8}) * \text{coefficient de majoration } K (15\%)$$

$$V_2 = 40,0012 * 200 * 1,15 = 9200,276 \text{ L} = \mathbf{9,20 \text{ m}^3}$$

➤ **Calcule  $V_3$  :**

$$V_3 = (S_{\text{trou}} - S_{\text{tubage}13''3/8}) * H_3 * k$$

$$V_3 = \left( \frac{\pi D_{\text{trou}}^2 - \pi OD_{\text{tubage}}^2}{4} \right) * H_3 * K$$

$S_{\text{trou}}$  : section de trou 16" (m<sup>2</sup>).

$S_{\text{trou } 13''3/8}$  : section de tubage 13"3/8 (m<sup>2</sup>).

$H_3$  : Hauteur entre le sabot 13"3/8 et le sabot 18"5/8 (m),

$$(H_3 = H_{\text{sabot } 13''3/8} - H_{\text{sabot } 18''5/8})$$

$D_{\text{trou}}$  : diamètre de trou 16" (m).

$OD_{\text{tubage}}$ : Diamètre extérieur de tubage (m).

$V_3$  = capacité Annulaire 16"  $OH$  x 13"3/8 Csg + Excess LT 24%  $OH$

$*(H_{\text{topTopTailSlurry}} - H_{\text{abo } 18''5/8}) * \text{coefficient de majoration } K (15\%)$

$$V_3 = 48,4434 * 355 * 1,15 = \mathbf{19,8 \text{ m}^3}$$

➤ **Calcul V4 :**

$$V_4 = C_{\text{tubage-tubage}} * H_4$$

$C_{\text{tubage-tubage}}$  : Volume unitaire entre le tubage 18"5/8 et le tubage 13"3/8 (l/m).

$H_4$  : Hauteur entre le sabot 18"5/8 et le top Ciment (m).

$$(H_4 = H_{\text{sabot } 18''5/8} - H_{\text{top ciment}})$$

$$V_4 = 69.0958 * (481 - 281) = \mathbf{13,8 \text{ m}^3}$$

Donc on aura le volume total :

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = 1,871 + 9,20 + 19,8 + 13,8 = \mathbf{44,671 \text{ m}^3}$$

### 2.4.3-Calcul volume de chasse (déplacement) :

Le volume de boue de chasse c'est le volume de boue qui pousse le ciment à l'intérieur de tubage.

$$V_{\text{chasse}} = C_{\text{int-tubage}} * H_{\text{annee-surface}}$$

$V_{\text{chasse}}$  : volume de boue de chasse ( $\text{m}^3$ ).

$C_{\text{int-tubage}}$  : volume unitaire a l'intérieur de tubage (l/m).

$H_{\text{auteur-entre}}$  :  $H_{\text{annee}}$  entre l'anneau de retenu et la surface (m).

$$V_{\text{chasse}} 78,10 * (0-1012) = 79,04 \text{ m}^3$$

**Conclusion :**

La réalisation d'un forage d'eau est une opération délicate qui met en œuvre un ensemble de nombreuses techniques spécialisées dont dépend son succès, sa productivité et sa durée de vie, mais le succès du processus ne changera pas la qualité de l'eau.

**CHAPITRE IV**  
**HYDROCHIMIE ET**  
**QUALITÉ DES**  
**EAUX**

**Introduction**

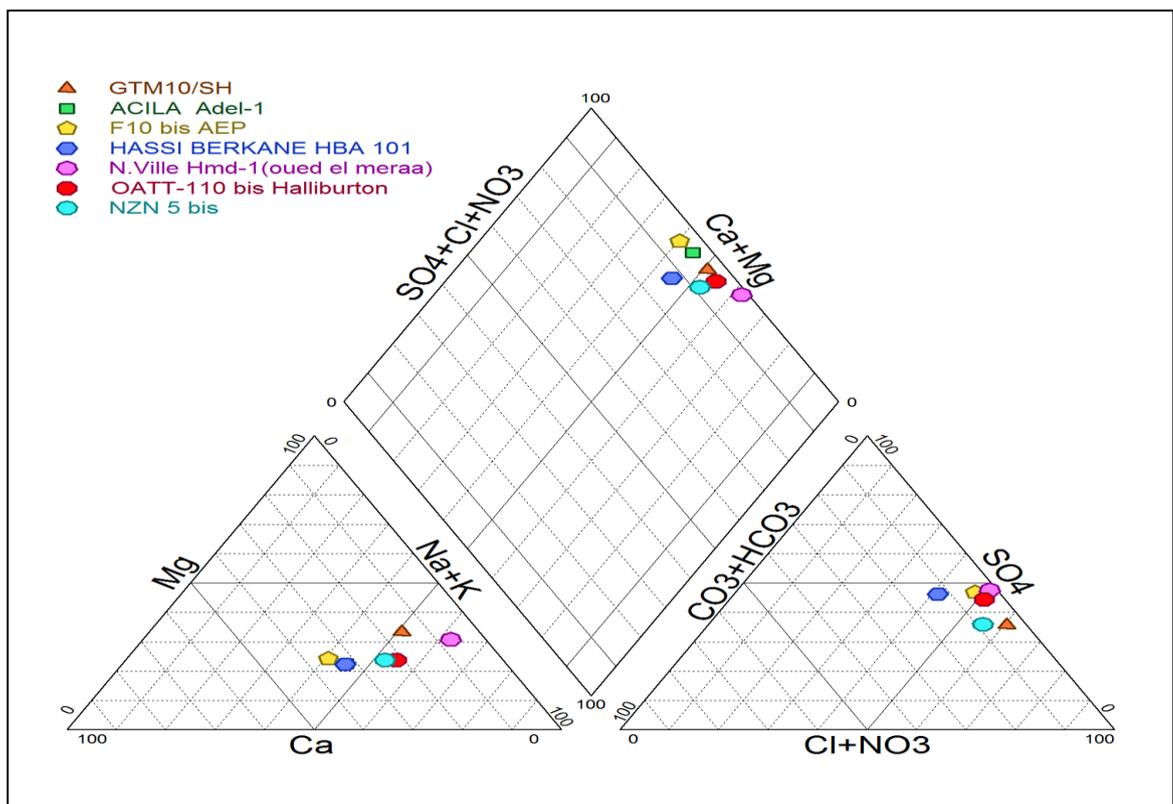
L'eau constitue une ressource naturelle indispensable dans la vie des hommes, des animaux et des végétaux. L'avoir à disposition en quantité suffisante et en qualité contribue au maintien de la santé. Mais elle peut être aussi source de maladies du fait de sa pollution par des rejets industriels, des eaux usées, des déchets ménagers ou agricoles, des excréta et divers déchets organiques [15] ;[14]. Cependant., La qualité de l'eau dépend de facteurs naturels déterminants (sol, sous-sol, etc.) et d'activités humaines (domestique, industrielle et agricole) produisant des rejets qui se retrouvent directement ou indirectement dans les milieux aquatiques.

**1- Qualité des eaux des forages de la région de Hassi Massaoud :**

**1-1. Faciès chimique :**

**1-1-1. Diagramme de piper :**

Afin de déterminer le faciès chimique des eaux des forages de la région de Hassi Massaoud, on a utilisé le diagramme de Piper et Schöeller- Berkalloff (**Figures 28 et 29**)



**Figure 28 : Diagramme de Piper (Mai 2018).**

Dans ce diagramme on reporte directement les résultats des analyses chimiques en mg/l.

D'après le diagramme de Piper, on remarque que le faciès chimique dominant est le Chloruré-sodique et sulfaté-sodique.

**1-1-2. Le diagramme de Schoeller- Berkaloff :**

D'après le diagramme de Schoeller- Berkaloff, on remarque que le faciès chimique dominant est le faciès Chloruré- sodique et sulfaté-sodique.

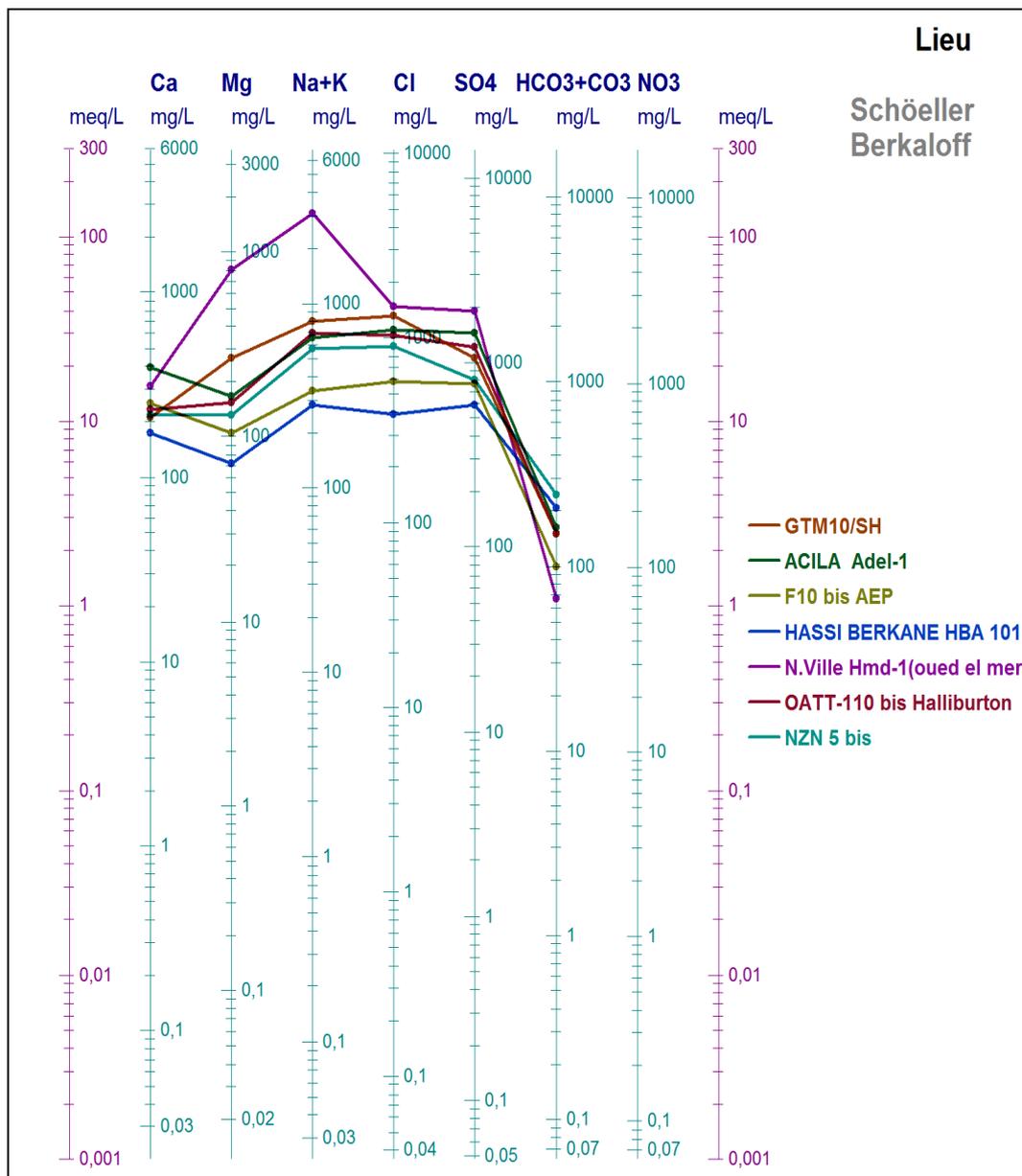


Figure 29 : Diagramme de Schoeller- Berkaloff (Mai 2018).

**2- Qualité des eaux destinées à la consommation humaine (domestique) :**

Les eaux destinées à la consommation humaine sont toutes les eaux destinées à la boisson, à la cuisson, à la préparation d'aliments ou d'autres usages domestiques. Les eaux

sont salubres et propres si elles ne contiennent pas un nombre ou une concentration de micro-organismes, de parasites ou de toutes autres substances constituant un danger potentiel pour la santé des personnes [18].

**2.1-Critères de qualité des eaux destinées à la consommation humaine :**

Une eau est dite potable quand elle satisfait à un certain nombre de caractéristiques la rendant propre à la consommation humaine [12]. Les standards de référence dans ce domaine diffèrent selon les époques et les pays et selon l'autorité en charge de cette définition dans certains pays. Le concept de « potabilité » varie à travers le monde, fruit d'un contexte historique, scientifique et culturel local. Il détermine la question de l'accès à l'eau, puisqu'une eau de bonne qualité est essentielle au développement économique et humain [16].

Sur notre travail et afin de définir la potabilité des eaux destinées à la consommation humaine, on a pris en considération les normes Algérienne (JO n°11/18, 2011) et celles de l'O.M.S (2013), qui ont défini la concentration maximale de la substance (**Tableau 9**).

**Tableau 9 : Normes OMS et Algérienne des paramètres physico-chimiques appliquées pour les eaux potables.**

Paramètres	Unité	Norme OMS 2011	Norme Algérienne
Teau	°C	25	25
pH	-	6,5 à 8,5	6.5-9
CE	µs/cm	1500	2800 à 20°C
MES	mg/l	/	/
Rs	mg/l	1500	1500 à 2000
Ca <sup>++</sup>	mg/l	200	75 à 200
Mg <sup>++</sup>	mg/l	150	150
Na <sup>+</sup>	mg/l	200	200
K <sup>+</sup>	mg/l	12	12
Cl	mg/l	≤ 250	250
SO <sub>4</sub>	mg/l	≤ 250	500
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	/	250
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	≤ 50	≤ 50
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/l	≤ 0,1	≤ 0,1
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	≤ 0,5	≤ 0,5
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/l	≤ 0,5	/

DCO	mg O <sub>2</sub> /l	30	/
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /l	5	/
DCO/DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /l	/	/
O <sub>2</sub> dis	mg O <sub>2</sub> /l	5 ≤ O <sub>2</sub> ≤ 8	/
As	mg/l	0,01	10 µg/l
Pb <sup>+</sup>	mg/l	0,01	10 µg/l
Hg	mg/l	+ 0,001	26 µg/l
Cu <sup>2+</sup>	mg/l	2	2
Zn <sup>2+</sup>	mg/l	3	5
FeT	mg/l	Pas de valeur guide	0,3
Mn <sup>2+</sup>	mg/l	0,4	g/l

### 2-2 Les paramètres physiques :

La température, le pH, et la conductivité, sont des paramètres mesurés in-situ à chaque sortie et pour chaque échantillon d'eau.

#### 2-2-1.-La température :

Elle été mesurée à l'aide d'un thermomètre. Les résultats obtenus sont illustrés sur le graphe ci-dessous :

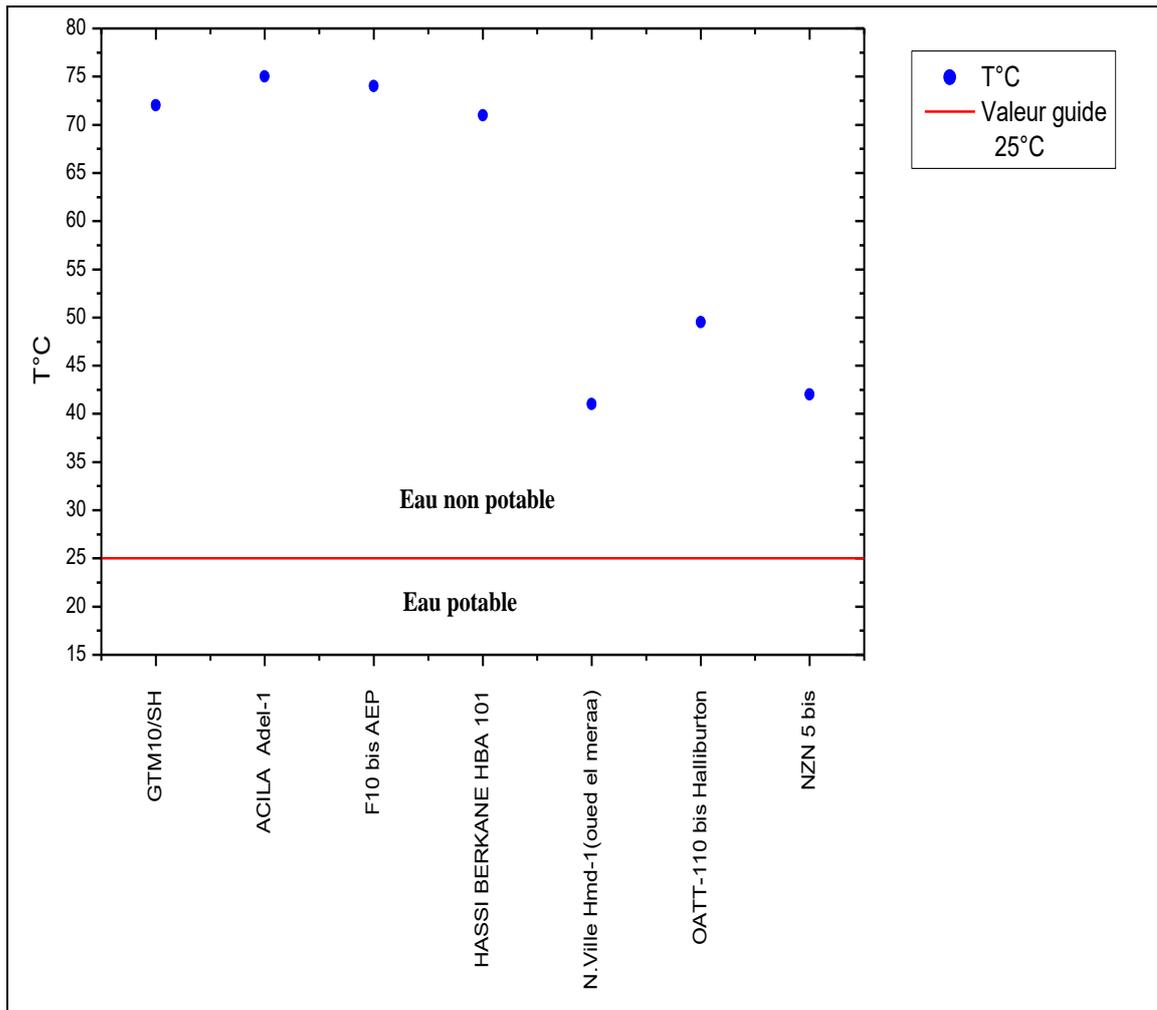
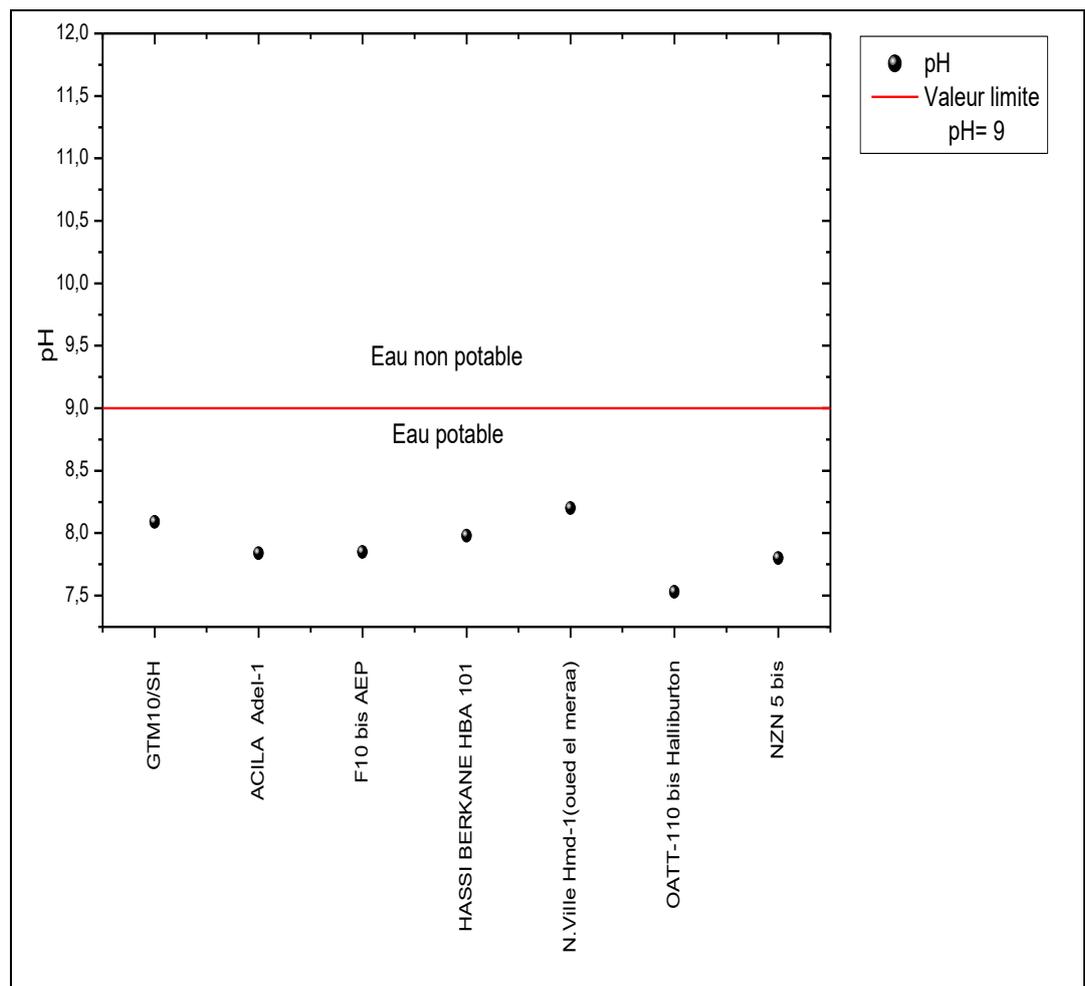


Figure- 30 : Qualité des eaux vis-à-vis la température (Mai 2018).

La température des eaux étudiées est supérieure à la norme OMS et Algérienne donc nous ne pouvons pas utiliser l'eau des puits mentionnés directement.

### 2-2-2. Le pH :

Le potentiel Hydrogène (pH) est un coefficient qui caractérise l'acidité ou la basicité d'une eau. Une eau est acide si son pH est inférieur à 7, basique si son pH est supérieur à 7. Une eau est dite neutre à pH 7. Le pH d'une eau naturelle dépend de son origine et de la nature des terrains traversés, il est en relation étroite avec la concentration des ions  $H^+$  présents dans l'eau ou les solutions. (Les ions  $H^+$  présents dans les eaux naturelles sont dus à des causes diverses en particulier à l'ionisation de l'acide carbonique et de ses sels.) [17].



**Figure 31- Qualité de l'eau vis-à-vis le pH (Mai 2018).**

De la figure 31 on remarque que les eaux de la zone d'étude ne dépassent pas les normes de potabilité par rapport au pH, elles sont bonnes et ne dépassent pas les normes admissibles.

### 2-3.Paramètres chimiques :

#### ❖ Concentrations des anions :

**2.3.1-Les sulfates** : sont précipités sous forme de sulfate de baryum par le chlorure de baryum (Méthode turbidimétrique).

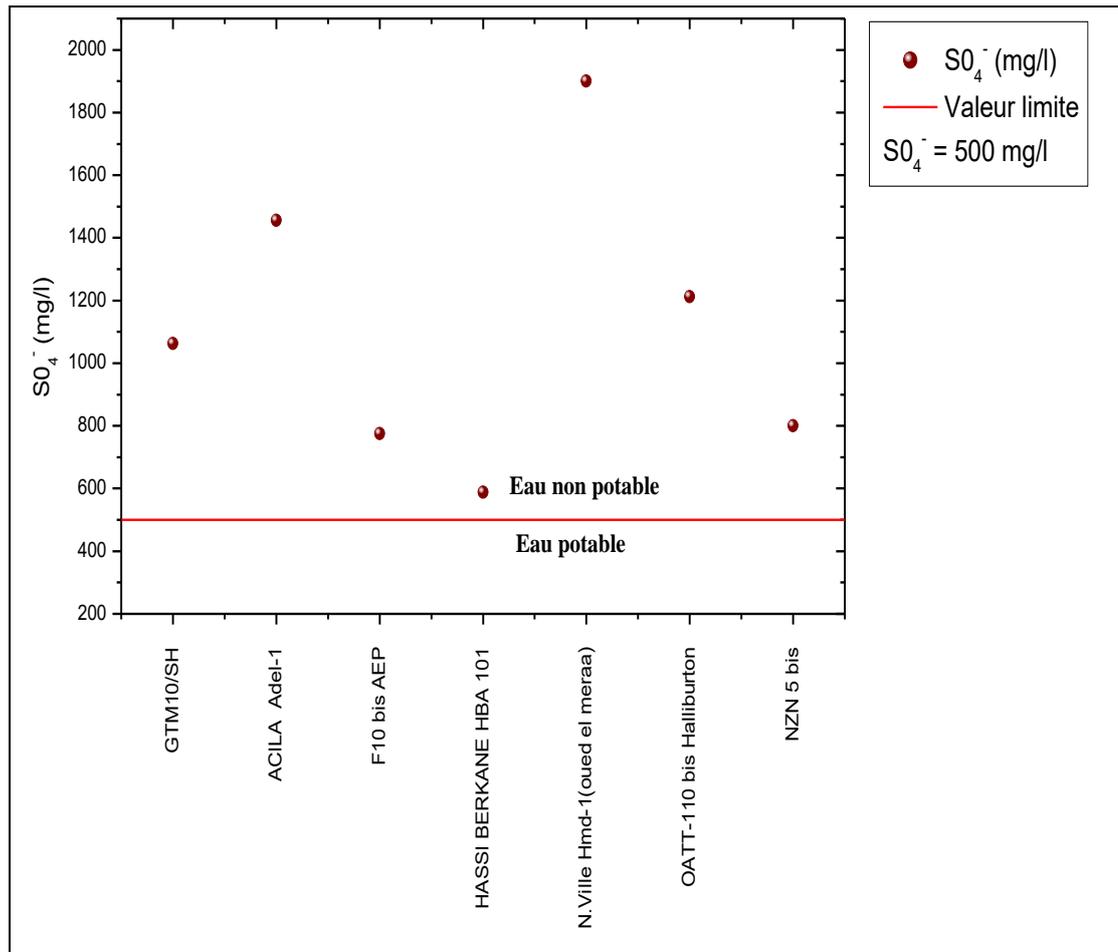


Figure 32 : Qualité de l'eau vis-à-vis les sulfates (Mai 2018).

L'ensemble des points d'eaux prélevés ne sont pas potables vis-à-vis les sulfates et dépassent largement la valeur admissible 500 mg/l.

**2.3.2-Les bicarbonates :** La détermination des concentrations de bicarbonate se fait suivant une méthode titrimétrique.

La figure 33 montre que la concentration des bicarbonates est très faible par rapport aux normes de l'OMS et même Algérienne donc l'eau est considérée comme potable.

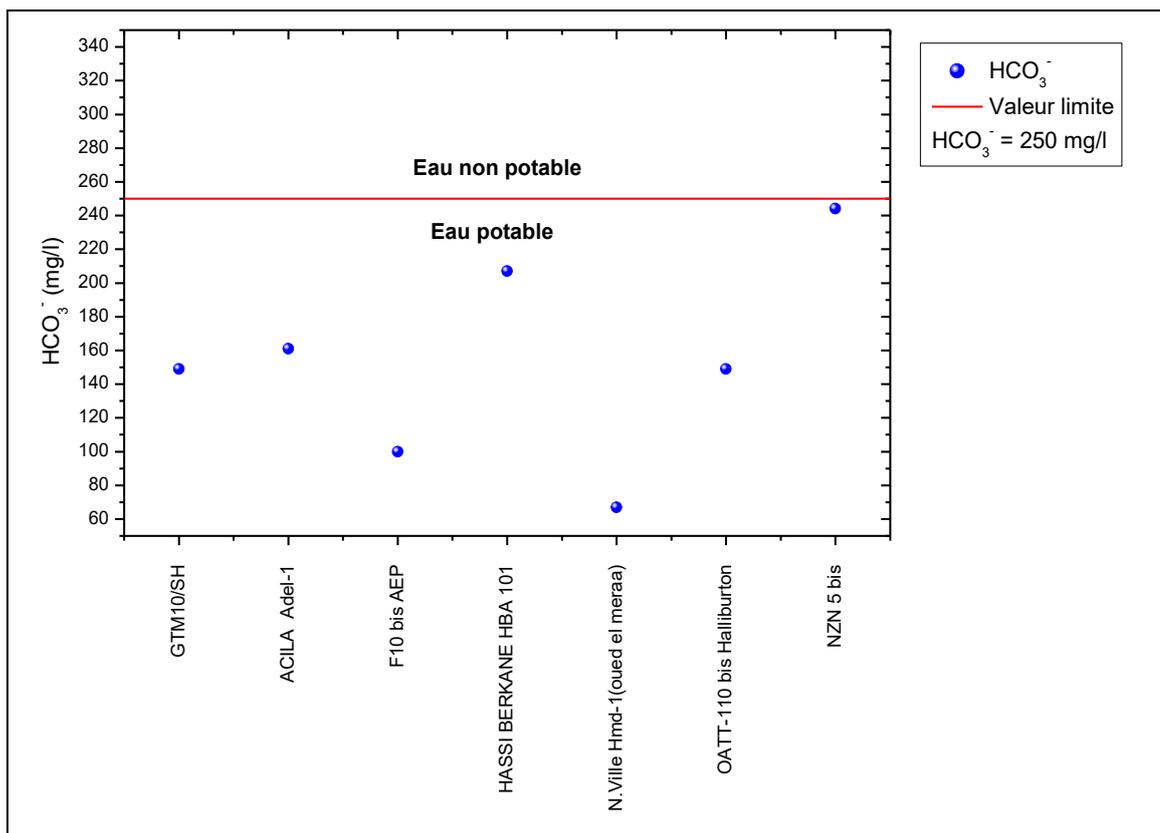


Figure 33 : Qualité de l'eau vis-à-vis les bicarbonates (Mai 2018).

2.3.3-Les chlorures :

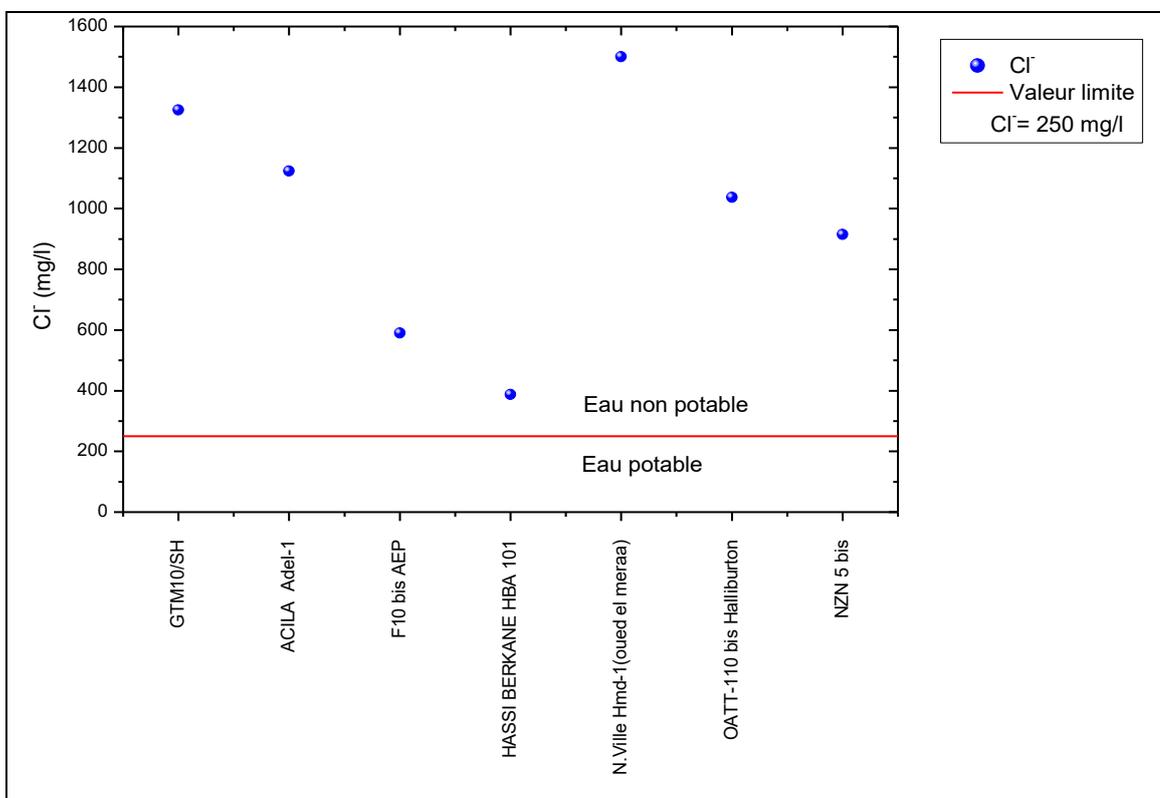
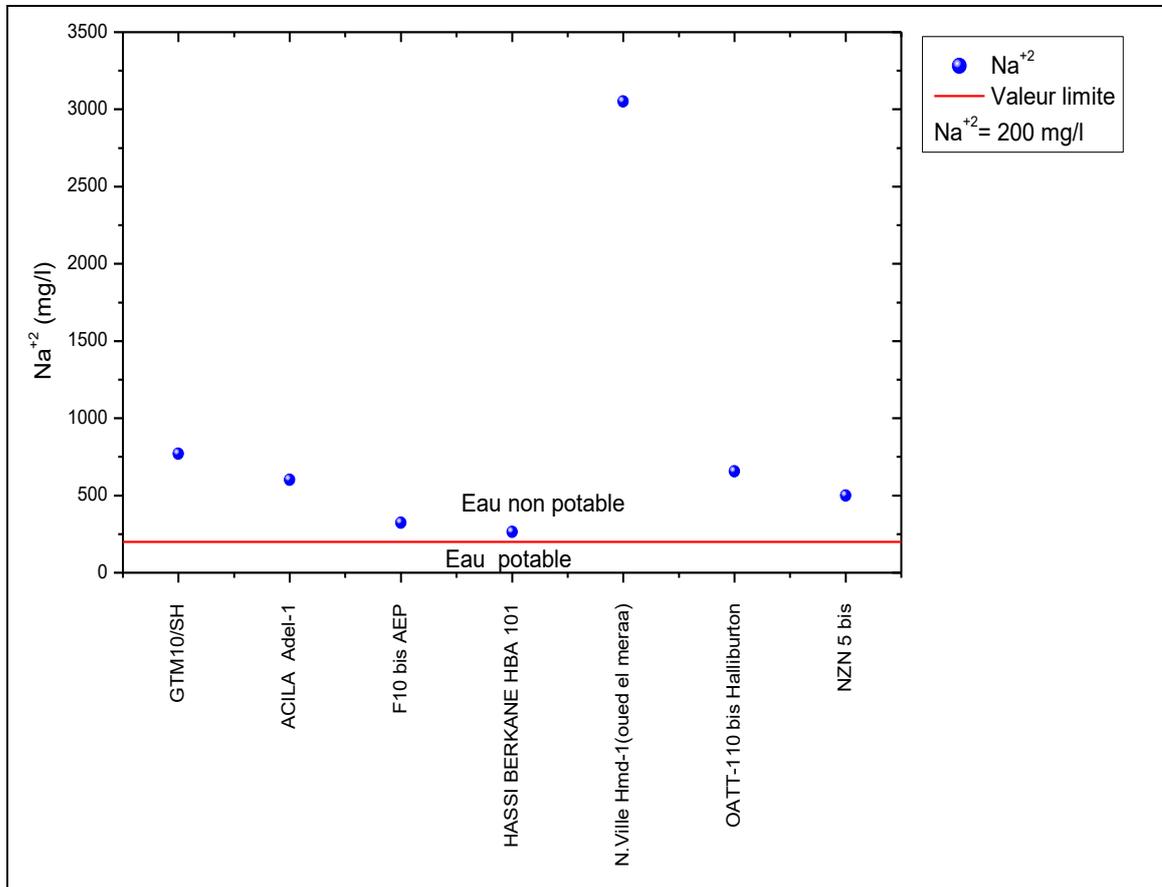


Figure 34 : Qualité de l'eau vis-à-vis les chlorures (Mai 2018).

Des fortes teneurs en chlorures pour la totalité des échantillons analysés ce qui rendre l'eau non potable vis-à-vis des chlorures.

**2.3.4-Le sodium :**



**Figure35 : Qualité de l'eau vis-à-vis Le sodium (Mai 2018).**

L'évolution du sodium dans l'espace et dans le temps pour les eaux souterraines (**Figure 35**) montrent des concentrations qui dépassent les normes admissibles et qui conduisent ces eaux vers le non potabilité vis-à-vis le sodium

**2.3.5-Le potassium K<sup>+</sup> :**

L'évolution dans l'espace du potassium pour les eaux souterraines (**Figure 36**) montre le non potabilité de ces eaux vis-à-vis le potassium.

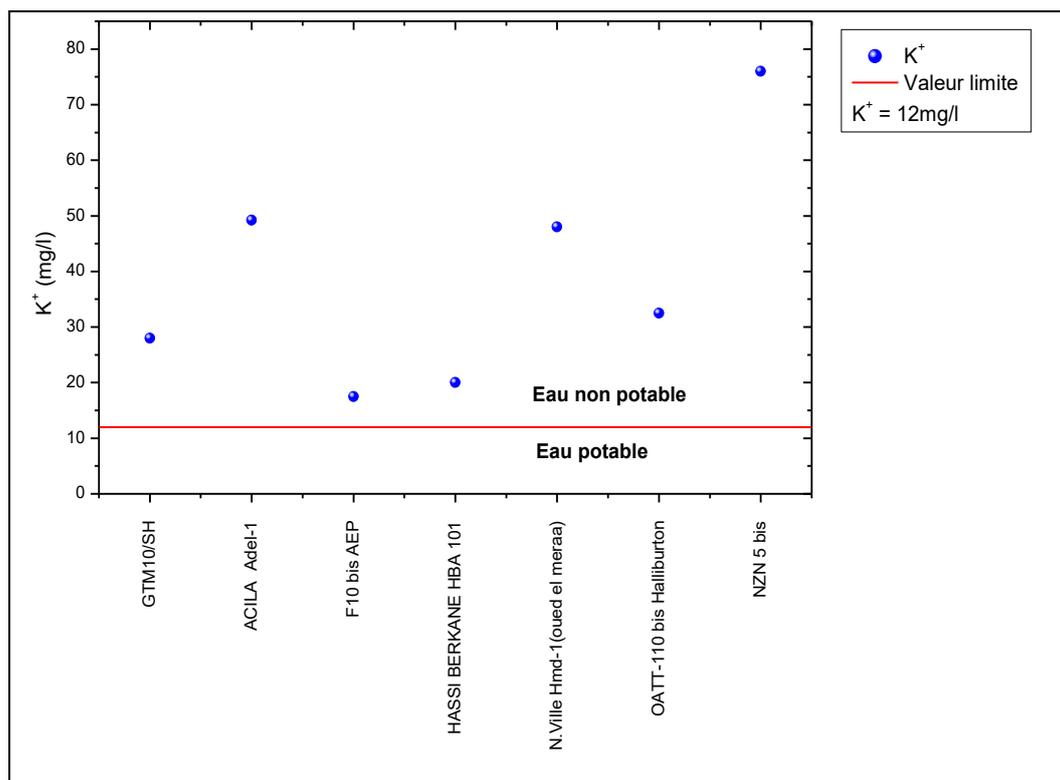


Figure 36 : Qualité de l'eau vis-à-vis le potassium (Mai 2018).

2.3.6-Le magnésium :

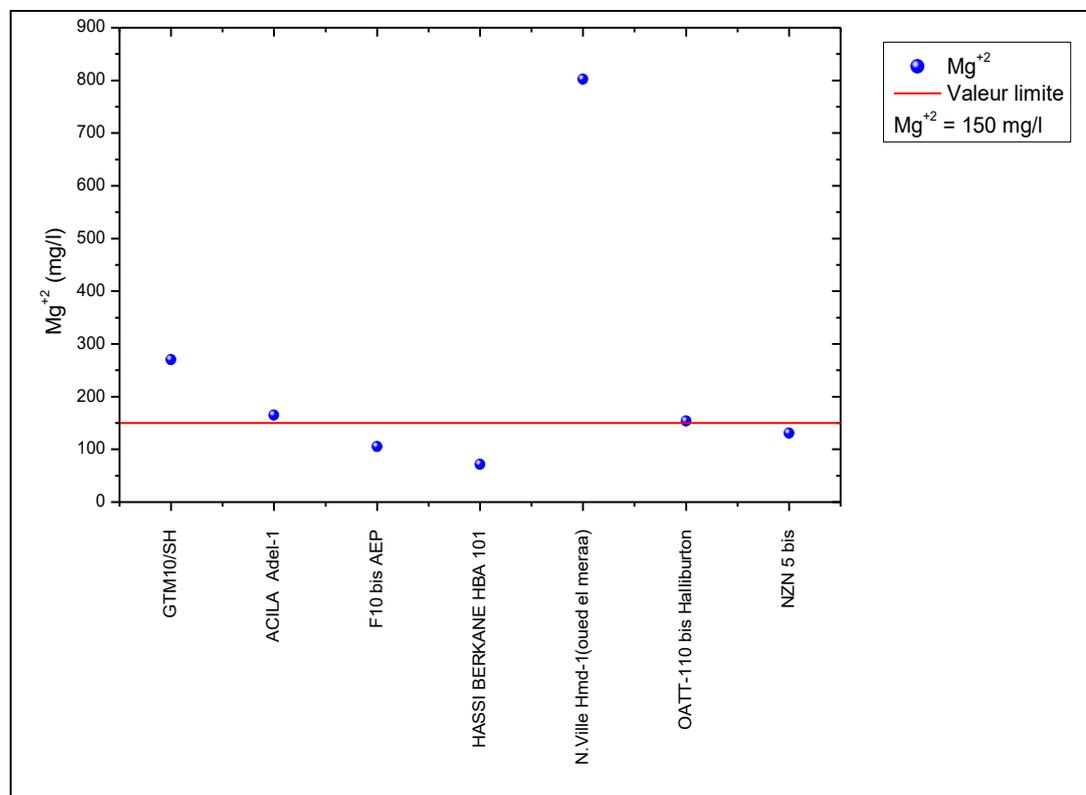
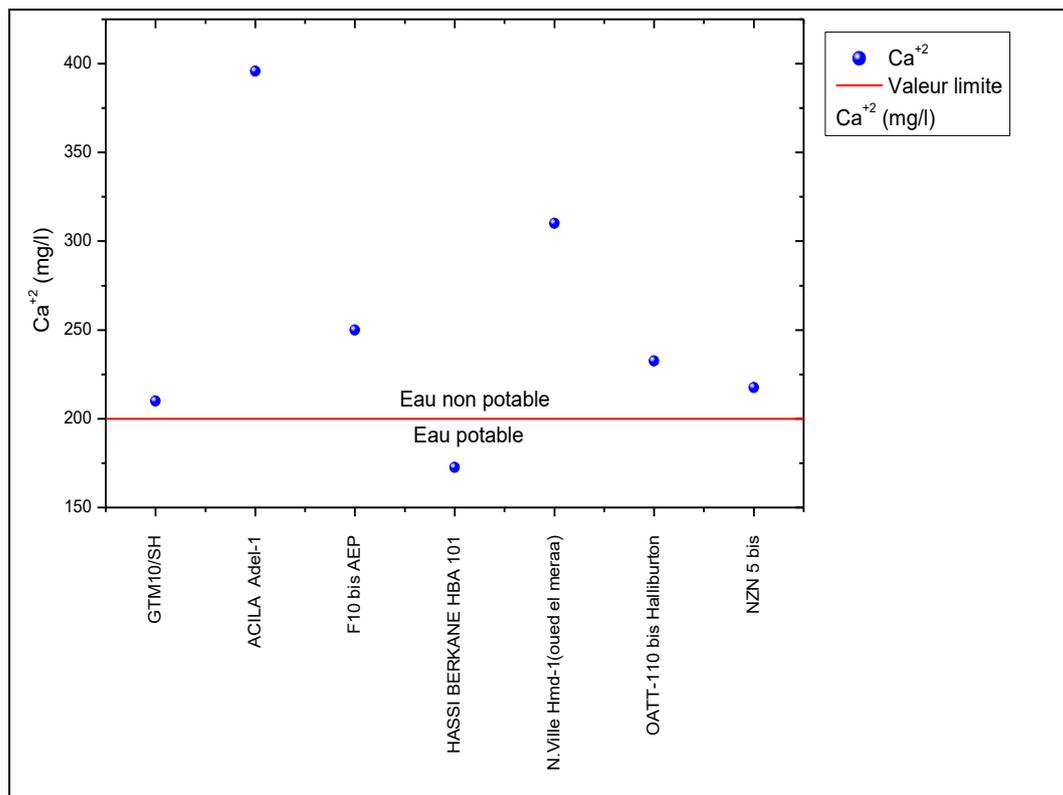


Figure 37 : Qualité de l'eau vis-à-vis le magnésium (Mai 2018).

L'évolution dans l'espace des eaux souterraines (**Figure 37**) montrent que la majorité des eaux sont non potables vis-à-vis le Magnésium sauf pour les eaux des forages (F10 bis AEP, Hassi Berkane HBA 101 et NZN 5 bis)

### 2.3.7-Le calcium :



**Figure 38 : Qualité de l'eau vis-à-vis le calcium (Mai 2018).**

L'évolution dans l'espace des eaux souterraines (**Figure 38**) montrent que la majorité des eaux sont non potables vis-à-vis le Calcium à l'exception du forage (Hassi Berkane HBA 101).

### 3-Qualité des eaux destinées à l'irrigation (AEI) :

L'agriculture, de façon générale, est une grande consommatrice d'eau. Dans les conditions arides et semi arides, les exploitants agricoles sont amenés à utiliser différentes sources d'eaux pour l'arrosage de leurs cultures [34]. Le développement de l'irrigation s'accompagne, dans la majorité des situations, par l'apparition de processus de salinisation, de sodisation ou d'alcalinisation des sols à des degrés divers. Ces situations sont en relation

étroite avec les caractéristiques naturelles du milieu (sol et climat) et la modalité de gestion des eaux destinées à l'irrigation dont la qualité est déterminante [25].

### **2-1. Les inconvénients de l'irrigation :**

L'irrégularité des régimes pluviométriques en Algérie rend le recours à l'irrigation indispensable. Mais elle n'est pas sans présenter plusieurs dangers : fragilisation de certains dépôts alluvionnaires littoraux, épuisement de nappes phréatiques fossiles, salinisation des sols irrigués et particulièrement en zones arides et semi-arides [33], sans oublier des effets indésirables sur la santé humaine. Par ailleurs, les projets d'irrigation de grande ampleur entraînent des déplacements de populations, des changements d'habitudes agricoles ancestrales [22].

#### **Taux d'absorption du Sodium (SAR) :**

Pour maintenir les conditions d'infiltration adéquates dans les sols irrigués, il faut veiller à empêcher les complexes d'échange du sol de se charger en  $\text{Na}^+$ . On exprime le danger de sodicité d'une eau d'irrigation par le SAR (Sodium Absorption Ratio),

$$\text{SAR} = \text{Na} / [(\text{Ca} + \text{Mg})/2]^{1/2}$$

Où  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  sont exprimés en meq/l.

Le sodium échangeable a une incidence marquée sur les propriétés physiques et chimiques des sols. A mesure que la teneur en eau échangeable augmente, le sol a tendance à se disperser, il devient moins perméable à l'eau et ne prête guerre aux pratiques culturales [13].

D'après Djidel (2008), cet indice (SAR) exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols. Il mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium.

Tableau 10 : Le risque du SAR dans l'eau d'irrigation.

	SAR	Notes
<b>Nul</b>	<3.0	Pas de restriction sur l'utilisation de l'eau
<b>Légère à modéré</b>	3.0 à 9.0	Entre 3 et 6, une attention particulière doit être portée sur les récoltes sensibles. Entre 6 et 8 du gypse doit être utilisé. Récoltes non sensibles. Des échantillons de sol doivent être prélevés et examinés tous les 1 ou 2 jours pour déterminer s'il y a une augmentation des teneurs en Sodium.
<b>Elevé</b>	> 9.0	Domage sévère.

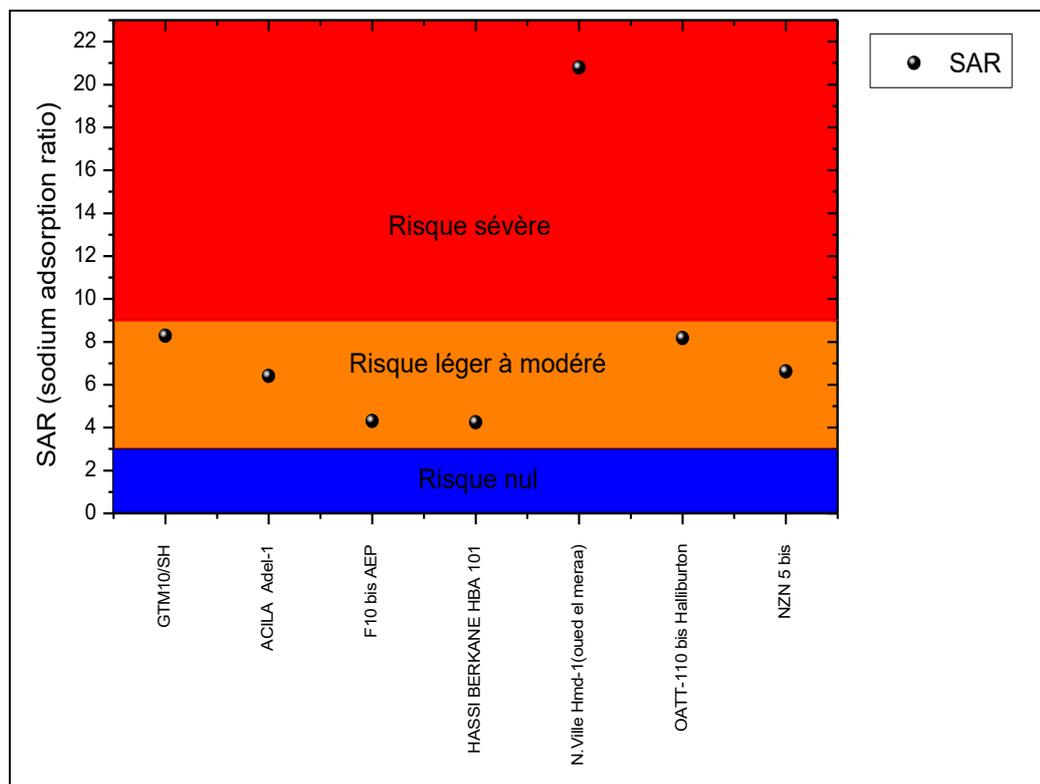


Figure 39 : Risque du SAR eaux souterraines (Mai 2018).

D'après cette figure en remarquer que tout les forages contiennent un risque modéré de SAR sauf le forage (N.Ville Hmd-1 (oued merraa)) contient un Risque sévère.

Les valeurs du SAR sont comprises entre 6 et 8, ce qui nécessite d'utiliser cette eau pour les récoltes non sensibles.

**4-Qualité des eaux destinées à l'industrie (AEI) :**

Les usages de l'eau en industrie sont multiples. Par exemple en agro-alimentaire, Elle peut être utilisée dans le processus de fabrication et ainsi être mise au contact direct des denrées alimentaires (pour le lavage des matières premières agricoles) et/ou est incorporée directement comme ingrédient lors de la préparation des aliments, sous forme liquide, de glace, de vapeur. Elle sert aussi, entre autres, pour le nettoyage des matériels et des locaux et pour l'hygiène du personnel de l'entreprise. L'eau, y compris sous forme de glace ou de vapeur, est un vecteur et/ou un réservoir possible de dangers micro-biologiques et chimiques. Ces dangers peuvent être présents dans la ressource utilisée. Ils peuvent également être générés lors du traitement, du stockage et de la distribution de l'eau au sein de l'entreprise, si des mesures appropriées pour la maîtrise de sa qualité ne sont pas appliquées [24].

**4.1-Indicateurs calco-carboniques :****4-1-1. L'indice de Ryznar (indice de stabilité) :**

Cet indice est défini de la façon suivante :

$$IR = 2pHS - pH.$$

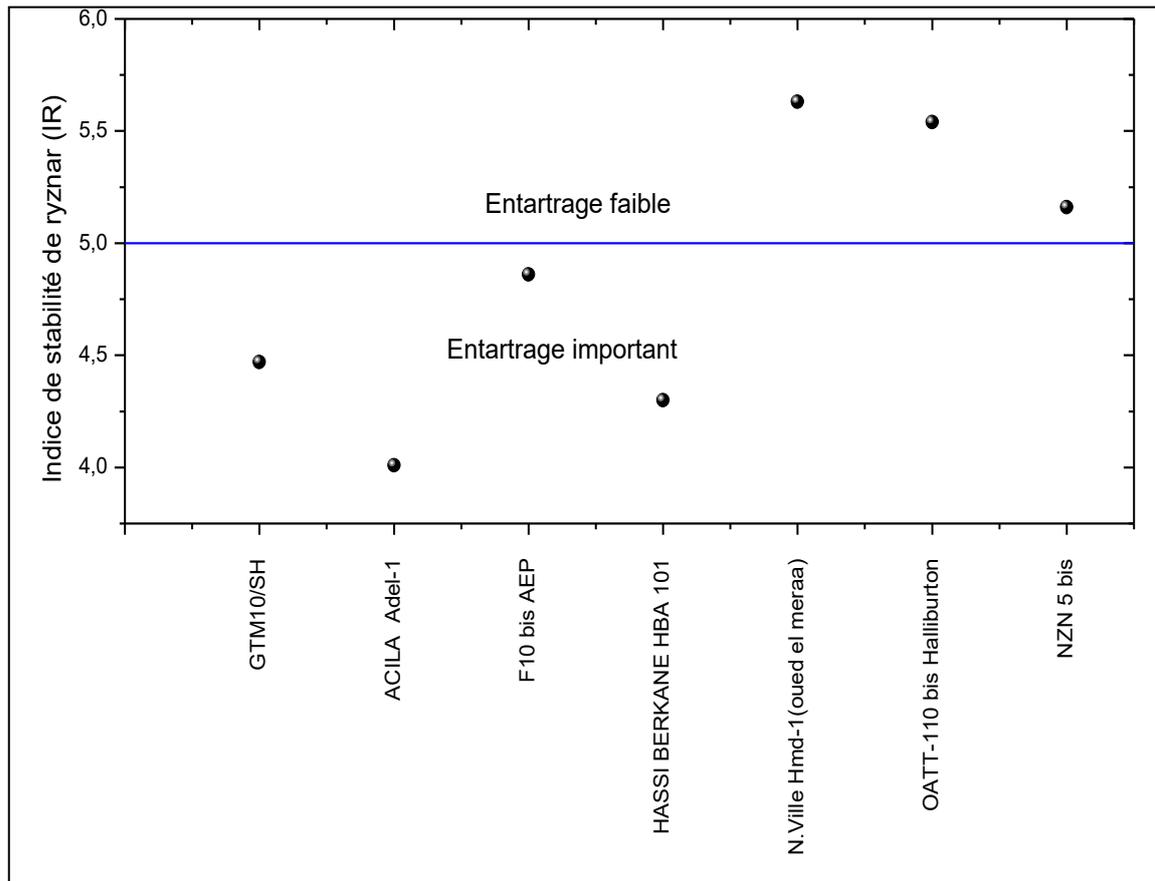
Où  $pH_s$  = pH théorique de saturation,

$pH$  = pH mesuré à 25°C

Il permet de définir la tendance agressive ou entartrante d'une eau aérée. Le tableau ci-dessous donne la relation entre l'indice de stabilité et la tendance incrustante ou corrosive de l'eau.

**Tableau 11 : Relation entre l'indice de stabilité et la tendance de l'eau**

$I_R$	Tendance
4 à 5	Entartrage important
5 à 6	Entartrage faible
6 à 7	Équilibre
7 à 7,5	Légère corrosivité
7,5 à 8,5	Corrosivité notable
> 8,5	Corrosivité importante



**Figure 40 : L'indice de stabilité de Ryznar (Mai 2018).**

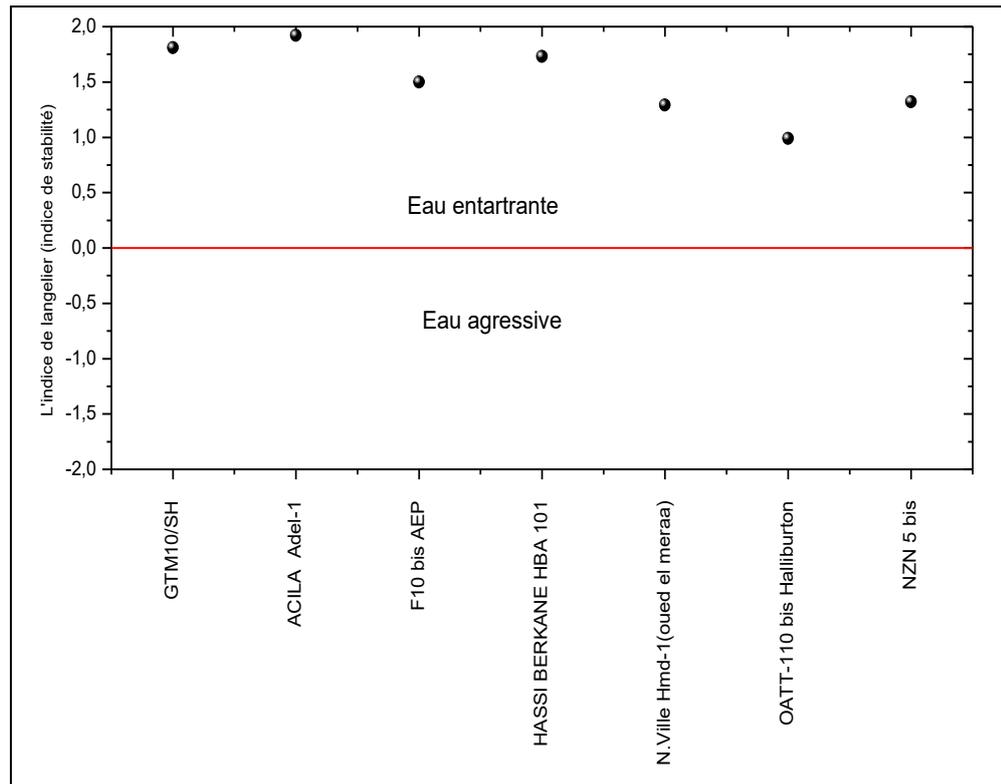
L'indice de Ryznar des eaux de surface (**Figure 40**) présente un entartrage important pour les forages (GMT 10/SH, Acila Adel-1, F10 bis AEP et Hassi Berkane HBA 101) et un entartrage faible pour les autres forages.

#### 4-1-2. L'indice de Langelier (indice de saturation) :

Il est défini comme suite :

$$IL = \text{pH} - \text{pH}_s$$

Une eau agressive est caractérisée par un indice de Langelier négatif, ce qui signifie que le pH de l'eau mesuré est inférieur au  $\text{pH}_s$  de saturation : l'eau, sous saturée en  $\text{CaCO}_3$ , dissout le calcaire sous l'action du  $\text{CO}_2$  agressif. S'il est positif, il y a formation d'une couche de carbonate de calcium qui diminue le diamètre intérieur des tuyauteries (GLS, 2006).



**Figure 41 : L'indice de Langelier (Mai 2018).**

Les eaux souterraines (**Figure 41**) sont répartir aux eaux entartrantes sans exception.

#### **4-1-3. Indication du CCPP (calcium carbonate précipitation potentiel) :**

Le potentiel de précipitation du carbonate de calcium (CCPP) est un indice de stabilité de l'eau plus fiable utiliser car cet indice fournit une mesure quantitative du déficit ou de l'excès de carbonate de calcium du l'eau, donnant un guide plus précis sur l'étendue probable des précipitations de  $\text{CaCO}_3$  [26].

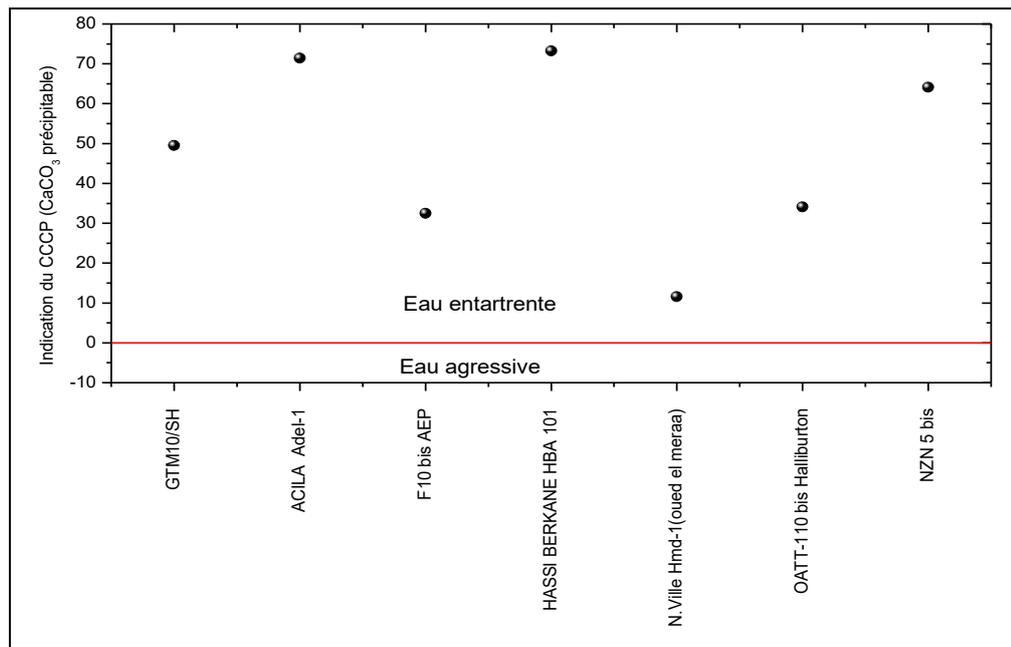


Figure 42 : Indication du CCPP (Mai 2018).

En peut préciser la stabilité de Léau par plusieurs méthode telque l'indice de Ryznar et L'indice de Langelier et Indication du CCPP elles dépendant de valeurs de PH mesuré et précipitation calcium carbonate la permet de définir la tendance agressive ou entartrantde Léau.

Les forages OTT-110 bis Haliburton, N.VillHmd-1 (oued merra), NZN 5 bis, F10bis AEP, HASSI BERKINE HBA 101, GTM 10/SH et ACILA ADEL-1 sont marquées par un entartrage important selon L'indice de Ryznar.

#### 4-2. Indicateurs de corrosivité :

##### 4-2-1-L'indice de Larson (indice de corrosivité) :

Est défini par la formule suivante :

$$IC = ([Cl^-] + 2 \times [SO_4^{2-}]) / [HCO_3^-]$$

Cette formule empirique est basée sur de nombreuses expérimentations effectuées par les américains Larson et Skold, qui ont estimé que cet indice ne devrait pas dépasser 0,2 ou 0,3. D'autres ont estimé que des valeurs allant jusqu'à l'unité étaient acceptables [27].

Tableau 12 : Relation entre l'indice de corrosivité et la tendance de l'eau :

I <sub>c</sub>	Tendance
< 0,2	Pas de tendance à la corrosion
0,2 à 0,4	Faible tendance
0,4 à 0,5	Légère tendance
0,5 à 1	Tendance moyenne
> 1	Nette tendance à la corrosion

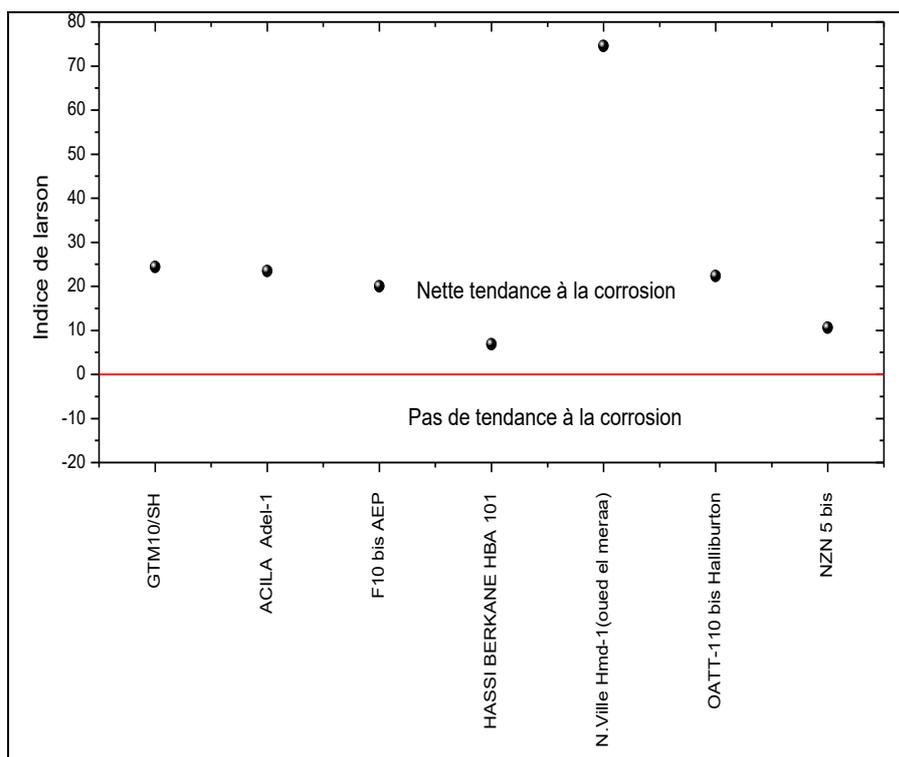


Figure 43 : L'indice de Larson (Mai 2018)

D'après cette figure en remarque que tout les forages ayant une nette tendance à la corrosion.

**Conclusion :**

L'eau étudiée, n'est pas potable à la consommation humaine, à cause d'une forte concentration en éléments chimiques suivants (**le calcium, le potassium, le sodium, les chlorures, les sulfates et le magnésium**), donc elle n'est pas conforme aux normes de potabilité algériennes et internationales. Elle possède un entartrage fort et important lorsqu'elle utilise en industrie et un risque léger à modérer pour l'utilisation en agriculture.

Les responsables de la wilaya d'Ouargla, procèdent à la réalisation de neuf stations de déminéralisation afin de diminuer le pourcentage de minéraux de l'eau de la région.

Concernant l'irrigation, après avoir le résultat d'indice (SAR) qui est intéressé, il s'est avéré qu'il convient à une utilisation pour les agricultures non sensibles.

Concernant l'utilisation de cette eau à des fins industrielles, il est plus possible que les conduites soient obstruées et érodées, donc, il faut purifier l'eau par certaines entreprises, telles que Sonatrach dans les bases de vie ou s'assurer l'entretien des canalisations périodiquement.

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

---

### Conclusion générale

Ouargla est située au sud-est algériens à environ 760 Km d'Alger entre les longitudes 32.00° et 32.90° nord et entre la latitude 5.20° et 5.31° Est. Elle est limitée au Sud-Ouest par "L'erg occidental", au Nord par les massifs des Aurès, à l'Est par ville de « Hassi Messaoud », et au Nord-Ouest par la ville de Ghardaïa

La ville d'Ouargla est caractérisée par un climat sec et une précipitation insuffisante. Nous ne pouvons pas compter sur la pluie pour couvrir les besoins en eau, nous sommes venus à forer des puits pour extraire l'eau souterraine, considérée comme une source importante de richesse en eau dans la région. Mais plus important encore c'est la qualité de l'eau sera utilisée dans plusieurs domaines, notamment l'agriculture, l'industrie et l'eau potable?

Par conséquent, nous avons étudié la qualité des eaux souterraines des forages de Hassi Messaoud, puis il a été constaté que cette eau n'est pas bonne à la consommation humaine, ni à l'utilisation pour irriguer certaines cultures. Il est possible que les canaux soient érodés et bouchés si l'on utilise ces eaux en industrie. Par conséquent, l'eau doit être traitée physiquement et chimiquement et filtrée avant utilisation.

# **Bibliographie**

## Bibliographie

- [1] l'agence d'algérienne des eaux hassi Massoud (rapport moinsal)
- [2] SONATRACH diversion de forage (rapport consommation d'eau)
- [3] Doucement ANRH Ouargla
- [4] OMN OUARGLA (étude mensuelle)
- [5] ar.wikipedia.org **النفط في الجزائر:**
- [6] Application de la tomographie électrique à l'exploration du sous sol de la région de Bamendil, wilaya d'Ouargla 2012
- [7] Doucement SONATRACH Division Forage
- [8]Le forage de J.P. Nguyen
- [9]Manuel de forage à l'usage des géologues J.N.FURGIER
- [10]MABILLOT Albert., LE FORAGE. D 'EAU, Guide pratique. Naintre : Crpines Johnson-France SA, 1971. 237p.
- [11]Le programme de forage puits MDH-10Division Forage
- [12] Belhadj M. Z, 2017- Qualité des eaux de surface et leur impact sur l'environnement dans la Wilaya de Skikda. Thèse doctorat. Univ de Biskra, p118.
- [13] Berrouch H, 2011- Etude de la qualité des eaux d'irrigation et du sol dans le périmètre de Saâda (Région du Haouz). Mémoire de fin d'étude. Université de Merrakech.
- [14] Eblin S. G., Sombo A. P., Soro G., Aka N., Kambiré O., Soro N, 2014- Hydrochimie des eaux de surface de la région d'Adiaké. J. Appl. Biosci. 75: 6259-6271.
- [15] El-Naqa A., Al-Momani M., Kilani S., Hamouri N, 2007- Groundwater deterioration of shallow groundwater aquifers due to overexploitation in northeast Jordan. Clean Soil, Air, Water 35:156-166.

[16] EP, 2012- Eau potable 2012. Les risques sanitaires liés à la microbiologie de l'eau : évolution et modalités d'évaluation TSM.

[17] Hakmi A, 2006- traitement des eaux "traitement de l'eau de source Bousfer Oran". Mém de licence. Université des sciences et de la technologie Oran.

[18] IBGE (Institut Bruxelloise pour la Gestion de l'Environnement), 2010- Qualité de l'eau distribuée par réseau "Qualité de l'eau destinée à la consommation humaine – période 2005-2006-2007". Gulledele - Bruxelles.

[19] ISSEP (Institut Scientifique de Service Public), 2014- P-16V1 – MÉTHODE DE MESURE IN SITU DE LA CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE DE L'EAU,  
<https://www.issep.be/wp-content/uploads/16-P-16-Mesure-de-la-conductivite%20in-situ.pdf>

[20] JORA, Journal Officiel De La République Algérienne Démocratique Et Populaire (JO n° 11/18), 2011- 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.

[21] OMS, 2013- Directives de qualité pour l'eau de boisson. Deuxième édition Additif au Volume 1 Recommandations.

[22] Salomon J.N, 2004-Les dangers de l'irrigation

<http://www.anales.org/re/2006/re42/Salomon.pdf>.

[23] BELDJILALI Wafaa KI-IELDOUN Afaf - CONTRIBUTION A L'ETUDE DE QUELQUES GISEMENTS PETROLIERS DANS LE SUD-EST ALGERIEN. 2013 TLEMCEM

[24] Caractéristiques des eaux utilisées en industrie agroalimentaire

<https://www.anses.fr/fr/system/files/GBPH2013sa0142.pdf>

[25] Qualité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risques de dégradation des sols dans la plaine du Bas-Cheliff, Algérie 2009 <http://hal.cirad.fr/cirad-00366475/document>

[26] Peter Gebbie WATER STABILITY - WHAT DOES IT MEAN AND HOW DO YOU MEASURE IT ? 2000

[http://wioa.org.au/conference\\_papers/2000/pdf/paper7.pdf](http://wioa.org.au/conference_papers/2000/pdf/paper7.pdf)

[27] GLS Agressivité et corrosivité 2006

[http://gls.fr/wp-content/uploads/Memotec\\_17.pdf](http://gls.fr/wp-content/uploads/Memotec_17.pdf)

[28] Techniques de forage d'eau, PDF .

[29]JEAN FABRE., géologie du Sahara occidental et central

[30]Ressources en eau souterraines au Sahara Algérien, PDF

[31]Tubage et cimentation des colonises, Division Forage Direction des Operations DDO

[32] MEMOIRE, réalisation de l'opération de cimentation et vérification de leur qualité par la méthode CBL-VDL application sur la phase 12 '4 (Nadjib DANOUNE).

[33] Lahlou, L'immigration irrégulière subsaharienne à travers et vers Maroc, 2002

[34]EL ASSLOUJ J., KHOLTEI S., EL AMRANI-PAAZA N., HILALI A. (2007). Impact des activités anthropiques sur la qualité des eaux souterraines de la communauté Mzamza

## Résumé :

Afin d'évaluer cette qualité d'eaux, un suivi de la quantité et de la qualité est effectué durant l'année d'étude pour les eaux souterraines de Hassi Messaoud. Les résultats obtenues sont représentés en graphiques spatio-temporelles, les facies chimiques, les indices calco-carboniques, les indices de corrosivité et les influences des différents facteurs (Climatiques, lithologiques, paramètres physico-chimiques).

Cette étude montre que la plupart des eaux analysées ne sont pas potables pour la consommation humaine, elle présente un risque léger à modérer pour l'irrigation dans la majorité des puits, une nette tendance à la corrosion pour les eaux souterraines.

**Les mots clés :** Hassi Messaoud, quantité, qualité, eaux souterraines, potable, corrosivité.

## ملخص:

من أجل تقييم نوعية المياه ، قمنا بإجراء رصد للكمية والجودة خلال السنة الدراسية للمياه الجوفية في حاسي مسعود. يتم تمثيل النتائج التي تم الحصول عليها في الرسوم البيانية للتغير الزمني و المكاني ، والطبيعة الكيميائية ، ومؤشرات كالكو- كربون ، ومؤشرات التآكل وتأثيرات العوامل المختلفة (العوامل المناخية ، الليثولوجية ، الفيزيائية و الكيميائية).

توضح هذه الدراسة أن معظم المياه التي تم تحليلها ليست صالحة للشرب و الاستهلاك البشري، كما تمثل مخاطر بسيطة إلى معتدلة بالنسبة للمياه المستعملة في الري في غالبية الآبار، وكذا ميل واضح للتآكل (الأنابيب) تسببه المياه الجوفية.

**الكلمات المفتاحية:** حاسي مسعود، الكمية، الجودة، المياه الجوفية، الشرب، التآكل.

## Abstract:

In order to evaluate this quality the whater, a monitoring of the quantity and quality is carried out during the year of study for the groundwater of Hassi Messaoud. The results obtained are represented in space-time graphs, chemical facies, calco-carbon indices, corrosivity indices and the influences of the various factors (climatic, lithological, physicochemical parameters).

This study shows that most of the waters analyzed are not drinkable for human consumption, it presents a slight to moderate risk for irrigation in the majority of the wells, a clear tendency to corrosion for groundwater.

**Key words:** Hassi Messaoud, quantity, quality, groundwater, drinking, corrosivity.