



MÉMOIRE

En vue de l'obtention du
Diplôme de Master

Présenté par
Benlaieb Bachir et Rahmani Mourad

Intitulé

**Etude Géostatistique Appliquée En
Hydrogéologie Cas De La Zone D'Aoulef**

Spécialité : Hydrogéologie

Soutenu le :

Devant le jury composé de :

Zeroual Ibrahim	MCA CU Ali KAFI Tindouf	Président
Djellouli Della Kheira	MAA CU Ali KAFI Tindouf	Examinatrice
TALHI Abdelkrim	MCA CU Ali KAFI Tindouf	Encadreur

Remerciements

*Merci avant tout à Dieu Tout-Puissant qui s a donné
Santé pour faire ce travail humble.*

*Nous remercions sincèrement toute notre famille pour
Un soutien très important lors de la préparation à cela
Action.*

*Nous exprimons notre grande gratitude et notre grande
gratitude*

*Concernant M. Abdul Karim Jalhi, notre directeur de
mémoire qu'il a*

*Veillez nous superviser, débogueur diligent et rigoureux sur
Travail, toujours disponible et recommandé, rarement le mien
Assez de mots pour lui exprimer ma gratitude.*

*Nous remercions également les membres du jury et nous tous
Professeurs de maîtrise en administration de l'Institut des
sciences de la Terre et de l'Univers*

*Nous remercions chaleureusement tous nos professeurs et la
famille universitaire*

*Personnel de la bibliothèque et complet l'ensemble du
personnel de l'ANRH pour la Direction Hydraulique
d'Adrar et d'Aoulef*

Coopérer.

*Enfin, nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à
Tous nos amis pour les encourager ainsi que nos étudiants
2eme Mise à niveau Master Hydrogéologie 2020.*

Dédicace

Avec l'aide d'Allah, j'ai pu faire ce travail humble

Que je donne:

*Pour ma mère qui m'a soutenu en tout
les domaines, au cours de ma vie, qui m'ont conduit à la
vie*

Espoir et persévérance.

*À mon père décédé un discours dont les mots me
manquent de vous exprimer*

Tout

*Ma gratitude. J'ai toujours trouvé avec toi
Compréhension, soutien et conseils.*

À mes frères

À toutes mes sœurs, chacune est son nom.

Pour toute la famille Rahmani.

À mon meilleur ami

*Pour passer à une maîtrise en hydrogéologie
2021/2020.*

*À mes collègues du domaine des sciences de la terre et de
l'univers, et à toute la famille universitaire*

*Et pour tous ceux qui ont participé à l'établissement
Ma thèse de fin d'études.*

Rahmani mourad



Dédicace

Je dédie ce modeste travail de fin d'étude :

À ma Mère qui m'a tant soutenue avec ses prières et qui m'a toujours encouragé.

À mon Père, pour son soutien durant toute la période de mes études.

À mes sœurs ; et mes frères.

À tous mes enseignants.

Ma famille « Benlaieb » pour leur aide.

Je profite de cette occasion pour le dédier encore à tous mes amies.

En fin je dédie ce modeste travail à ma promotion de géologie.

Benlaieb Bachir

المخلص

تواجه المياه الجوفية في المناطق الصحراوية, مشاكل في النوعية والكمية, ويعود ذلك الى عوامل بشرية وطبيعية.

يمكن لنمو الديموغرافي التأثير السلبي على استهلاك المياه الباطنية مع الاستغلال الغير عقلاني, ويمكن لمشاكل التربة والتلوث التأثير على كمية وجودة الماء كذلك. والغرض من دراستنا لمنطقة أولف معرفة الإحصائيات المكونات الأرضية وعلاقتها بالمياه الجوفية أو هيدروجيولوجيا.

المنطقة متشكلة من عصر كريستالي سفلي المتكون من الرمل والطين به كميات معتبرة من المياه, وذلك يعود لنتائج تحليل كيميائية جيولوجيا وهيدروجيولوجيا. حيث يأتي التدفق من الجنوب إلى شمال جنوب بـ 165.4 ل/مم. ونوعية مياه مشبعة بالمعادن لكن تواجه مشكل الملوحة 500مغ/ل, لتوجد العديد من السبخات, والتلوث لزيادة نسبة النترات 53مغ/ل, النشاط البشري. الزراعة ومياه الصرف الصحي مما يجعل المياه في الأغلب غير صالحة لشرب في المنطقة.

الكلمات المفتاحية : المياه الجوفية . جيولوجيا . هيدروجيولوجيا . إحصائيات . الرمل . الطين . المعادن . كيميائية .

Résumé

Les eaux souterraines des zones désertiques sont confrontées à des problèmes de qualité et de quantité, dus à des facteurs humains et naturels. La croissance démographique peut affecter négativement la consommation d'eau souterraine avec une exploitation irrationnelle, et les problèmes de sol et de pollution peuvent également affecter la quantité et la qualité de l'eau. Le but de notre étude de la région d'Ulf est de connaître les statistiques des composants de la terre et leur relation avec les eaux souterraines ou l'hydrogéologie. La région est formée à partir d'une ère cristalline inférieure composée de sable et de boue avec des quantités importantes d'eau, et cela est dû aux résultats d'analyses chimiques, géologiques et hydrologiques, car le débit du sud au nord sud est de 165,4 l / mm. La qualité de l'eau est saturée en minéraux, mais se heurte au problème de la salinité à 500 mg / l, car il n'y a pas beaucoup de marais, et de la pollution pour augmenter la proportion de nitrate de 53 mg / l, activité humaine. L'agriculture et les eaux usées, ce qui rend l'eau généralement impropre à la consommation dans la région.

Mots clés: eaux souterraines. Géologie. Hydrogéologie. Statistiques. Le sable. Argile, minéraux, produits chimiques.

Abstract

In desert areas, groundwater faces problems of quality and quantity, and this is due to human and natural factors. Demographic growth can negatively affect the consumption of underground water with irrational exploitation, and soil and pollution problems can affect the quantity and quality of water as well. The purpose of our study of the Ulf area is to know the statistics of the earth's components and their relationship to groundwater or hydrogeology. The region is formed from a

lower crystalline era consisting of sand and mud with significant quantities of water, and this is due to the results of chemical, geological and hydrological analysis, as the flow from south to north south comes at 165.4 l / mm. The quality of the water is saturated with minerals, but faces the problem of salinity 500 mg / l, because there are not many marshes, and pollution to increase the proportion of nitrate 53 mg / l, human activity. Agriculture and sewage, which makes the water mostly unsuitable for drinking in the area

Key words: groundwater. Geology. Hydrogeology. statistics . the sand . Clay Minerals Chemical.

ABREVIATIONS

AEP : Alimentation en eau potable.

ANRH : Agence nationale des ressources hydrauliques.

BI : Balance Ionique

CE: conductivité électrique

ONM : Office National De Météorologie.

PH : potentiel Hydrogène

SONATRACH : Société Nationale Pour La Recherche, La Production, Le Transport, La Transformation, Et La Commercialisation Des Hydrocarbures.

TH : la dureté Totale

LISTE DES TABLEAUX

N°	Titre des tableaux	Page
Tableau 1.1.	Climat de zone Aoulef.....	05
Tableau 1.2.	Développement des puits	15
Tableau 1.3.	Débits des foggaras.....	16
Tableau	Températures moyennes mensuelles	21
Tableau	Températures élevée mensuelles.....	21
Tableau	Moyennes mensuelles d'ensoleillement.....	22
Tableau 1.4.	Classification des sols en fonction du PH.....	30
Tableau 1.5.	Classification des eaux d'après leur pH.....	32
Tableau 1.6.	classes de turbidité usuelles... ..	32
Tableau 3.1.	Echelle de valeurs de DBO5.....	34
Tableau 4.1.	Calcule de la minéralisation globale	35
Tableau 4.2.	Classification de l'eau en fonction de la conductivité	36
Tableau 4.3.	Classe de l'eau en fonction de la minéralisation	36
Tableau 4.4.	Qualité des eaux étudiées en fonction de la minéralisation	36
Tableau 4.5.	Qualité de l'eau en fonction du TH	38
Tableau 4.6.	Calcul du TH	38
Tableau 4.8.	Les types d'analysé	47
Tableau 4.8.	Formule et faciès chimique des eaux de la nappe du continental intercalaire.....	47
Tableau 4.8.	Les paramètres des qualités des eaux.....	50

LISTE DES FIGURES

N°	Titre de figure	page
Fig 1.1	<i>Situation géographique de la région d'étude.</i>	03
Fig 1.2	<i>Réseau hydrographique.</i>	04
Fig 1.3	<i>Evolution de la température et la précipitation</i>	05
Fig 1.4	<i>la température Max et Moy et Mini en la année 1995 de la région aoulef</i>	06
Fig 1.5	<i>Carte géologique de la région d'étude</i>	07
Fig 1.6	<i>Stratigraphie du Bassin Occidental</i>	08
Fig 1.7	<i>Carte géologique drapée sur diagramme hydrogéologique de la région d'Adrar</i>	09
Fig 1.8	<i>Coupe technique de forage de TIMAGTN F01</i>	11
Fig 1.9	<i>Coupe du Continental Intercalaire à Aïn Ech-Cheikh</i>	12
Fig 1.10	<i>Etendue de la nappe du Continental Intercalaire</i>	13
Fig 1.11	<i>Carte géologique drapée sur diagramme hydrogéologique du bassin Occidental</i>	13
Fig 1.12	<i>Situation de la nappe de Continental Intercalaire</i>	15
Fig 1.13	<i>Parties de la galerie d'une foggara</i>	16
Fig 1.14	<i>Carte des épaisseurs du Continental Intercalaire</i>	17
Fig 1.15	<i>Carte piézométrique d'Aoulef</i>	18
Fig 1.16	<i>Courbe des températures moyenne mensuelle</i>	21
Fig 1.17	<i>Variation de Température élevée</i>	22
Fig 1.18	<i>Moyennes mensuelles d'insolation.</i>	22
Fig 1.19	<i>Le Continental Intercalaire et le Continental Terminal au Sahara</i>	23
Fig 2.1	<i>Proportions des constituants du sol</i>	25
Fig 2.2	<i>Matériels du prélèvement</i>	27
Fig 2.3	<i>Evolution de la minéralisation de quelques forages dans la zone</i>	37
Fig 2.4	<i>Carte de minéralisation de Quelques forage dans la région d'Aoulef.</i>	37
Fig 2.5	<i>Variation de La dureté de quelques forages dans la zone d'étude</i>	39
Fig 2.6	<i>Carte de la dureté (TH) de Quelques forage dans la région d'Aoulef.</i>	39
Fig 2.9	<i>Carte d'isoteneur de l'ion calcium dans la région d'Aoulef.</i>	40
Fig 2.10	<i>Carte d'isoteneur de l'ion magnésium dans la région d'Aoulef.</i>	41
Fig 2.11	<i>Carte d'iso teneur de l'ion sodium et potassium dans la région</i>	42
Fig 2.12	<i>Carte d'isoteneur de chlorure dans la région d'Aoulef.</i>	43
Fig 2.13	<i>Carte d'iso teneur de sulfates dans la région d'Aoulef.</i>	44
Fig 2.14	<i>Carte d'iso teneur des hydrogénocarbonates dans la région d'Aoulef.</i>	45
Fig 2.15	<i>Carte d'isoteneur de nitrates dans la région d'Aoulef.</i>	46
Fig 2.16	<i>Représentation graphique des eaux du CI sur le diagramme de PIPER.</i>	48
Fig 2.17	<i>Représentation graphique des eaux du CI.</i>	49
Fig. 3.1	<i>Graphique des résultats de quantité en calcium de l'eau pour certains puits d'Aoulef</i>	51
Fig 3.2	<i>Diagramme des valeurs de magnésium de l'eau pour certains forages dans une zone Aoulef</i>	52
Fig 3.3	<i>Un graphique des valeurs de Na⁺ dans l'eau pour certains puits de la zone étudiée</i>	53
Fig 3.4	<i>Un graphique des valeurs k⁺ dans l'eau pour certains puits de la zone étudiée</i>	54
Fig 3.5	<i>Un graphique des valeurs cl⁻ dans l'eau pour certains puits de la zone étudiée</i>	55
Fig 3.6	<i>. Un graphique des valeurs So₄ dans l'eau pour certains puits de la zone étudiée</i>	56

Fig 3.7	<i>Un graphique des valeurs NO_3^- dans l'eau pour certains puits de la zone étudiée</i>	57
Fig 3.8	<i>Évolution des valeurs de conductivité dans certains puits de la zone d'étude</i>	58
Fig 3.9	<i>Valeurs PH dans certains puits de la zone d'étude</i>	59

Remerciement

Dédicace

Listes des tableaux

Listes des figures

CHAPITRE 1 : GENERALITES

Introduction générale

I. Cadre général

I.1. Situation géographique et limites

I.2. Contexte Hydrographique

I.3. Végétation

II. Climatologique

III. Cadre géologique

III.1. Géologie régionale du Tidikelt

III.2. Stratigraphie

III.2.1. Les données de sondage pour le Crétacé inférieur

a- Sondage de recherches pétrolières

b- Sondage de recherche hydraulique

b.1. Sondage d'Aoulef :

b-2. Sondage d'Inner

b-3. Sondage de Tit

III.2.2. Les données de surface

a-La coupe d'AïnEch-Cheikh

b-La coupe d'AoulefEch-cheurfa

IV. Tectonique

V. Conclusion

I. hydrogéologie

II. Contexte hydrogéologique

II.1. Hydrogéologie du Continental Intercalaire au Sahara Algérien.

II.2. Hydrogéologie du secteur d'étude

II.2.1. les différentes nappes du secteur d'étude

II.2.2. La nappe du Continental Intercalaire

II.2.3. Le Continental Intercalaire

- II.3. Le sens d'écoulement des eaux de la nappe
- III. Les ressources en eau
 - III.1. Les forages
 - III.2. les puits
 - III.3. Les foggaras
- IV. Géométrie de l'aquifère
 - IV.1. Modes d'alimentation de l'aquifère
 - IV.2. Cartographie de l'épaisseur de l'aquifère
 - IV.3. Interprétation de la carte piézométrique et gradient hydraulique
- V. Le Sol
 - V.1. Définition du sol
 - V.2. Formation et caractéristiques des sols :
 - V.3. Classification des sols
 - V.4. Les types des sols
- VI. Généralité sur le palmier dattier :
- V.II Certaines des caractéristiques nécessaires au palmier situé dans la région ouleuf :
 - 1. le climat :
 - a- Températures
 - b- Ensoleillement
 - c- La nappe du Continental Intercalaire
 - 2. Le sol

CHAPITRE 1 : ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DE SOL ET DES EAU

- I .2. Constituants du sol
 - 3. Formation du sol
 - 4. Prélèvement et prétraitement des échantillons du sol :
 - 4.1. Le prélèvement :
 - 4.2. Matériels et Méthodes de prélèvement
 - 4.3. Prétraitement des échantillons du sol
 - 5. Analyses physico-chimiques des échantillons :
 - 5.1. Granulométrie(Texture de sols) :
 - 5.2. Le but de la sédimentométrie
 - 5.3. PH eau, PHKCl
 - 5.4. Matière Organique
 - 6. Température
 - 7. Conductivité
 - 8. Potentiel hydrogène PH

9. Turbidité
10. Ions majeurs
11. Autres éléments dissous
12. Le PH
13. La conductivité
14. La minéralisation
15. La dureté (TH)
16. Les cations
17. Les anions
18. Classification selon les formules caractéristiques des eaux de la nappe
19. Diagramme de Piper
20. Diagramme de Schoeller-Berkalof

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

I. Résultat des analyses physico-chimiques des sols et des eaux

I.1. Calcium (Ca^{+2})

2. Magnésium (Mg). mg/L
3. Sodium (Na^{+}). mg/L
4. Potassium k^{+}
5. Chlorure cl^{-}
6. Les Sulfates (So_4)
7. Les Nitrates (NO^{-3})
8. conductivité électrique(CE)
9. PH :

Conclusion générale

Références bibliographiques

INTRODUCTION
GENERALE

Ces dernières années, les questions liées à l'eau ont retenu de façon croissante l'attention internationale et se sont trouvées au centre du débat. Une seule chose vaut universellement l'existence humaine dépend de l'eau. La géosphère, l'atmosphère et la biosphère entretiennent toutes trois des relations étroites avec l'eau. L'eau interagit avec l'énergie solaire pour déterminer le climat, et elle transforme et transporte les substances physiques et chimiques nécessaires à toute vie sur la Terre. Le besoin en eau est devenu un problème grondant vécu par toutes les sociétés et en particulier par celles des pays en voie de développement. En effet, dans le sud de l'Algérie le développement des agglomérations rurales, des terres agricoles ont eu pour corollaire une dégradation de la quantité et qualité des eaux souterraines fossiles qui sont pratiquement les seules ressources d'eau pour l'alimentation en eau potable des populations, l'agriculture et l'élevage.

Dans ce contexte, la région d'Aoulef qui se localise sur la plaine du Tidikelt Occidental au Sud-est Adrar (Sud-ouest Algérie) est l'une de ces régions peu favorisée par la nature de son climat, confrontée à un système traditionnel du captage des eaux souterraines pérenne et un environnement qui ne permet pas de garantir à l'eau en quantité et qualité suffisantes. Elle renferme dans son sous-sol un potentiel hydrique important de la nappe albiennne (Continental Intercalaire) qui subit actuellement une pression anthropique de plus en plus inquiétante. La région d'Aoulef se caractérise par un système d'irrigation traditionnel creusé dans des formations hydrogéologiques du Continental Intercalaire (qui occupe à peu près la totalité du Sahara septentrional) depuis des temps.

Cette nappe est exploitée grâce à la création de ce qui est appelé communément dans la région par le nom de : « foggara ». Ce système ingénieux de l'homme sert à la fois de captage et d'adduction d'eau souterraine de la nappe aquifère par un système de galeries drainantes en dépression (ex : Plateau) de pente très douce vers les terrains agricoles. La Foggaras était l'ouvrage d'exploitation de l'eau souterraine le plus original et rationnel dans le Sahara ainsi que le système qui a permis aux hydrogéologues depuis plusieurs années passées à étudier l'hydrodynamisme souterraine dans les régions où elles installées, mais dans ces dernières années a cause de la manque et la désertion de la main ouverte de la Foggara vers d'autres secteurs, l'apparition des nouveaux ouvrages avec des débit important (forage) installés dans plusieurs cas près de ces systèmes traditionnels, cet ingénieux système de captage de l'eau dans la région d'Aoulef hélas un vois de dégradation dans ce dernières années. Le développement et la gestion des ressources en eaux est l'un des problèmes les plus cruciaux à résoudre en zones arides. Ces zones qui recèlent, parfois d'immenses réservoirs, sont constituées d'une série d'aquifères d'âge et de nature lithologique différentes.

Dans ce travail, on contribue à élaborer une synthèse hydrogéologique pour améliorer et gérer par les méthodes rationnelles et scientifiques de ressource en eau dans la région d'Aoulef qui dépendent exclusivement des ressources en eaux souterraines, surtout lorsqu'ils 'agit une région à climat aride et hostile. Chapitre 1 est consacré aux généralités sur la région d'étude elle offre une idée sur les problèmes géologiques, structuraux et tectoniques existants. Le deuxième chapitre est basé sur les analyses physique et chimique de sol et de l'eau de la région étudiée. Chapitre trois est pour discussion des résultats obtenus et on termine par une conclusion générale fera l'objet d'une synthèse des résultats trouvés et quelques recommandations.

I. Cadre général :

I.1. Situation géographique et limites :

En plein cœur du Sahara, la région d'Aoulef, située à 250 Km au Sud Est d'Adrar, fait partie du Tidikelt occidental d'une altitude moyenne de 300 m, et limitée au Nord par le plateau de Tademaït, au Sud par le Tanezrouft et la sebkha de Mekerrhane. L'Est par le Tidikelt oriental (In Salah) et à l'Ouest par la dépression du Touat. Elle s'étend entre 26°30 et 28° de latitude Nord, et 0° 30 et 1°80 de longitude Est.

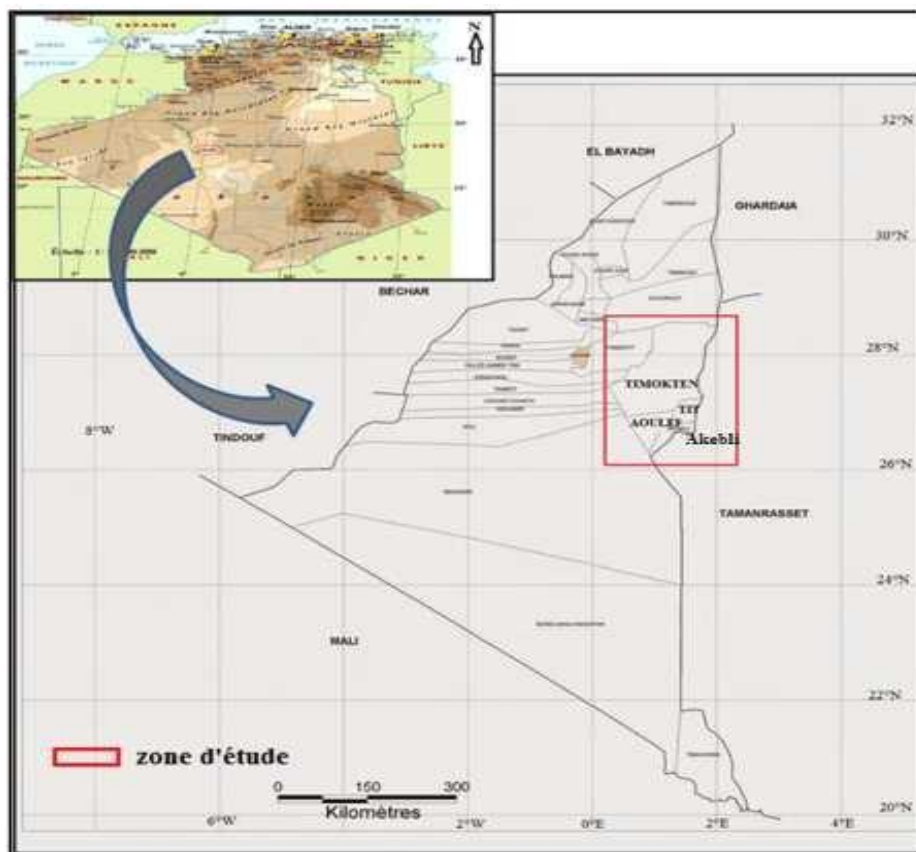


Fig. 1. Situation géographique de la région d'étude.

I.2. Contexte Hydrographique :

Le plateau du Tidikelt, formé par les alluvions Quaternaires de Crétacé inférieur et jonché de bois fossiles, on observe un réseau hydrographique complexe de l'oued Talha et son affluent l'oued Tifergmas. La confluence de ces deux derniers donne naissance à l'Oued Asriouel qui draine du Nord au Sud une zone d'épandage occupée de nos jours par la ville d'Aoulef. Au Sud, l'oued Ouzdaf va se jeter dans la sebkha de Mekerrhane.

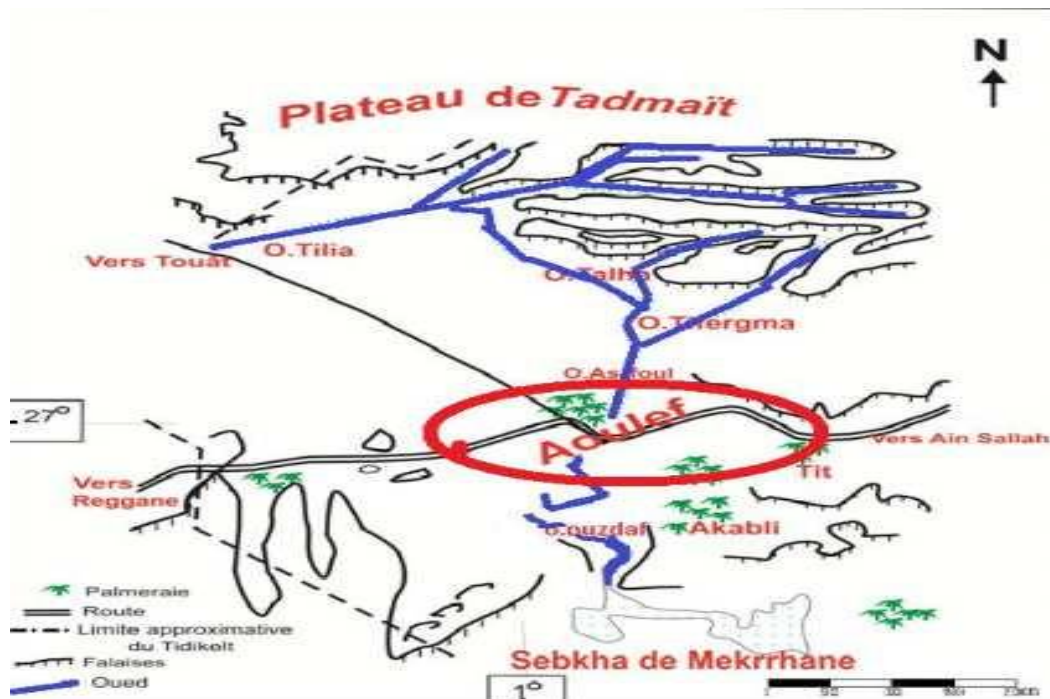


Fig. 2. Réseau hydrographique

I.3. Végétation :

La région d'Aoulef, comme les autres oasis Sahariens, se caractérise par un couvert végétal désertique qui est les palmeraies (les dattiers), l'étude du climat confirme ces résultats, ainsi elle est caractérisée par des végétaux saisonniers exprimés par les différentes activités culturelles des habitants dans leurs jardins (les Djennas), on trouve :

- Les grains : blé, orge, sorgho....
- Les légumes : tomate, pomme de terre, oignon, carotte, piment....
- Les fruites : figue, grenade, salade...

II. Climatologique :

La région d'Aoulef fait partie du bassin versant du Tidikelt. Elle a une superficie de 30000 km², soit le tiers de la superficie totale du Tidikelt. Pour l'étude du climat la station d'Adrar a été prise en considération et couvrant une période d'observations de 25 ans (1990-2015).

Mois	Température moyenne	Température moyenne min/max	Record des températures min/max	Précipitation	Nombre de jour avec de la pluie	Notre avis
Janvier	14	8 / 22	-2 / 36	10	1	Peu favorable
Février	17	10 / 25	-1 / 39	3	1	Envisageable
Mars	22	14 / 29	1 / 42	13	1	Très favorable
Avril	26	18 / 34	3 / 43	27	1	Très favorable
Mai	31	23 / 39	10 / 52	6	1	Défavorable
Juin	36	28 / 44	15 / 49	12	1	Défavorable
Juillet	38	30 / 45	16 / 49	11	0	Défavorable
Août	37	30 / 45	17 / 54	9	0	Défavorable
Septembre	34	26 / 41	15 / 49	16	1	Défavorable
Octobre	28	21 / 35	6 / 46	4	1	Très favorable
Novembre	20	13 / 27	0 / 40	10	1	Très favorable
Décembre	15	9 / 23	-1 / 33	10	1	Peu favorable

Tableau 01. Climat de zone Aoulef

II.1. Climatologie Aoulef :

Aoulef possède un climat chaud sans saison sèche (Cfa) selon la classification de Köppen-Geiger. Sur l'année, la température moyenne à Aoulef est de 26.4°C et les précipitations sont en moyenne de 130.2 mm.

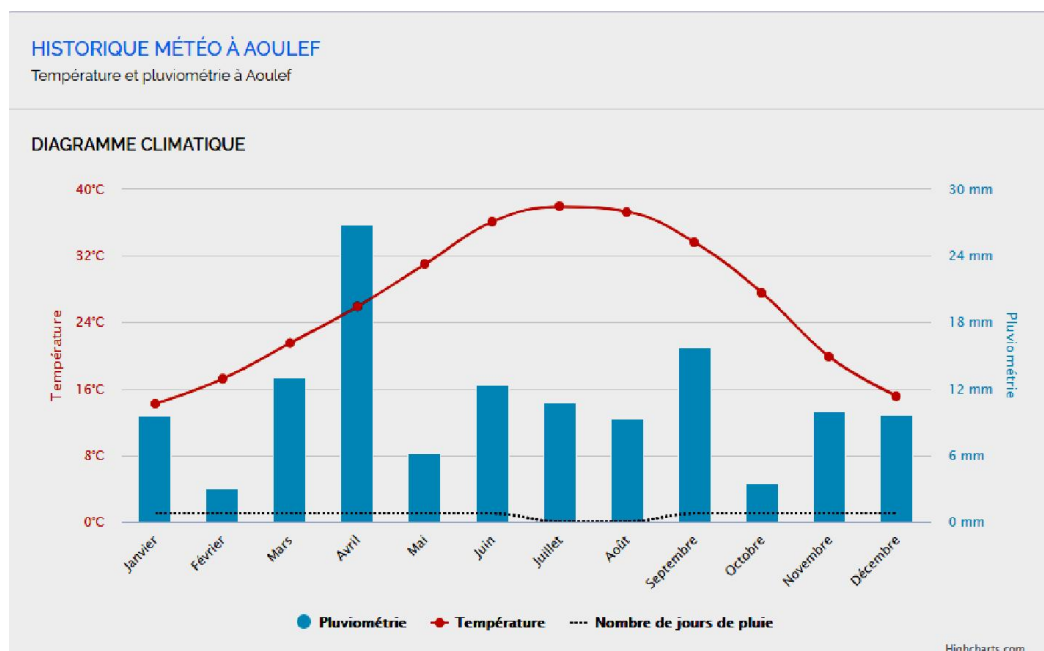


Fig. 3 : Evolution de la température et la précipitation

Des précipitations moyennes de 3 mm font du mois de février le mois le plus sec. En avril, les précipitations sont les plus importantes de l'année avec une moyenne de 26.8 mm.

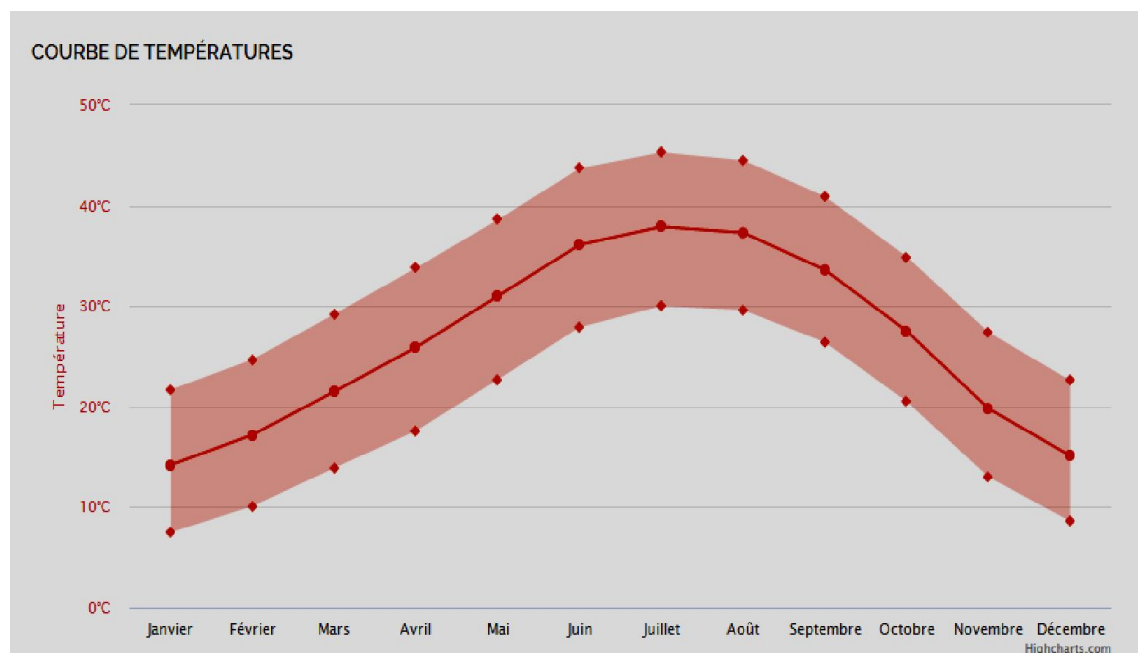


Fig. 4 : la température Max et Moy et Mini en la année 1995 de la région aoulef

Au mois de juillet, la température moyenne est de 37.9°C. Juillet est de ce fait le mois le plus chaud de l'année. Janvier est le mois le plus froid de l'année. La température moyenne est de 14.2°C à cette période. Le record de chaleur est de 54°C enregistré le mardi 26 août 2008 et le record de froid de -2°C enregistré le dimanche 15 janvier 1995.

III. Cadre géologique :

III.1. Géologie régionale du Tidikelt :

La région d'Aoulef se trouve sur le rebord Nord du bassin de l'Ahnet-Mouydir qui a des limites bien marquées au Nord, la falaise Crétacée du Tademaït au Sud, par le Tanezrouft et la sebkha de Mekerrhane, l'Est par le Tidikelt oriental (In Salah) et à l'Ouest par la dépression du Touat. Schématiquement, on observe un substratum de formations antécambriennes, recouvert par des séries sédimentaires pelliculaires plus ou moins épaisses. L'ensemble étant traversé, en plusieurs régions, par des roches volcaniques. Ce substratum antécambrien apparaît en vastes boutonnières : l'Eglab formant la bordure occidentale et l'Ahaggar (avec ses annexes Adrar des Iforas et Aïr) formant la bordure orientale. Il est formé essentiellement de schistes cristallins, de granites et de roches éruptives.

Le fait remarquable, est que le plus ancien qu'on appelle Suggarien en Ahaggar, semble bien avoir commandé toute l'évolution architecturale postérieure. Les schistes cristallins de ce cycle ancien, généralement très métamorphique, ont ordinairement une disposition Sud-méridienne dans toute la moitié occidentale du Sahara. Les formations du cycle suivant (qu'on appelle Pharusien en Ahaggar), généralement moins métamorphiques, ont gardé les mêmes directions d'ensembles. Quant aux formations antécambriennes récentes (Nigritien ou Tarkwaien), elles n'apparaissent que comme des lambeaux très peu étendus. A la fin de cette période, il semble bien qu'on a une vieille plate-forme avec une surface presque parfaitement pénéplanée. Durant les périodes qui vont suivre, c'est-à-dire du Cambrien à l'époque actuelle, on observe une succession d'incursions marines sur cette plateforme, et des déformations plus ou moins importantes. Avec les temps paléozoïques, commence une transgression marine qui s'étend progressivement sur les deux tiers occidentaux de la plate-forme, et durera d'une façon plus ou moins continue jusqu'au milieu du Carbonifère. Durant cette période, l'orogénèse hercynienne s'inscrit plus nettement par des zones plissées et surtout par de grands accidents de style cassant.

Une longue période continentale s'instaure dès la régression et persiste jusqu'au milieu du Crétacé. Elle se manifeste par d'importants dépôts détritiques : continental post Tassilien (pays bas de l'Ahnet) sur lequel repose en discordance le complexe du Continental Intercalaire qui constitue le plateau du Tidikelt. Avec le Crétacé supérieur, débute une nouvelle transgression marine qui envahit toutes les zones basses du Sahara, et persiste jusqu'au Tertiaire. Dès l'Eocène, la mer se retire et le régime continental se rétablit définitivement.

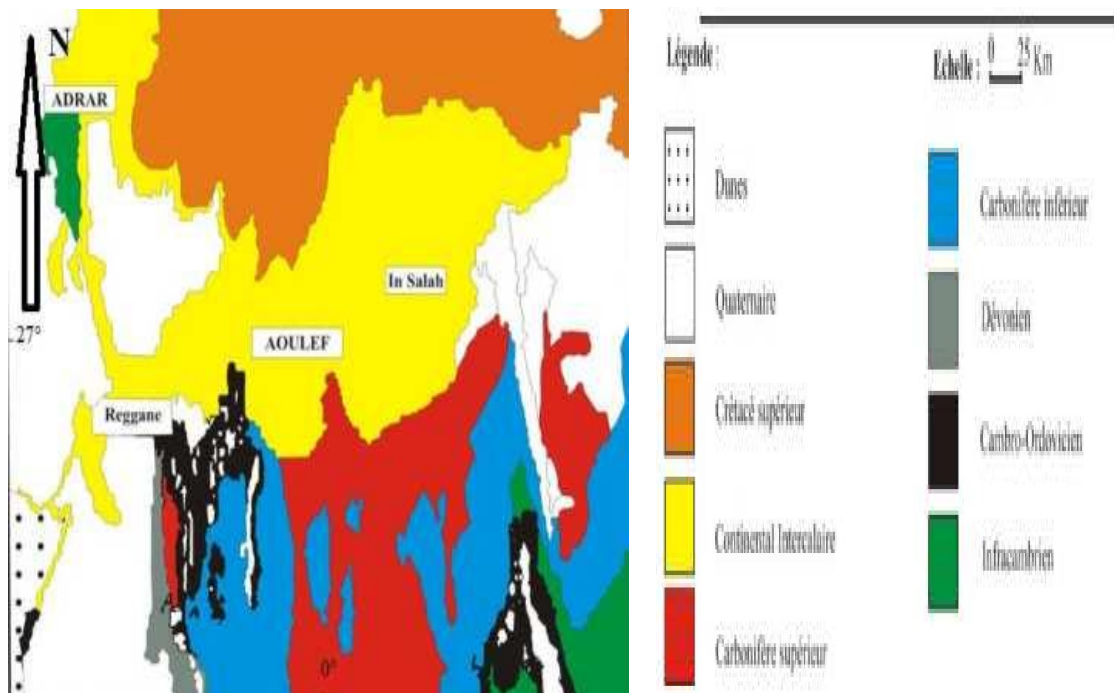


Fig. 5. Carte géologique de la région d'étude

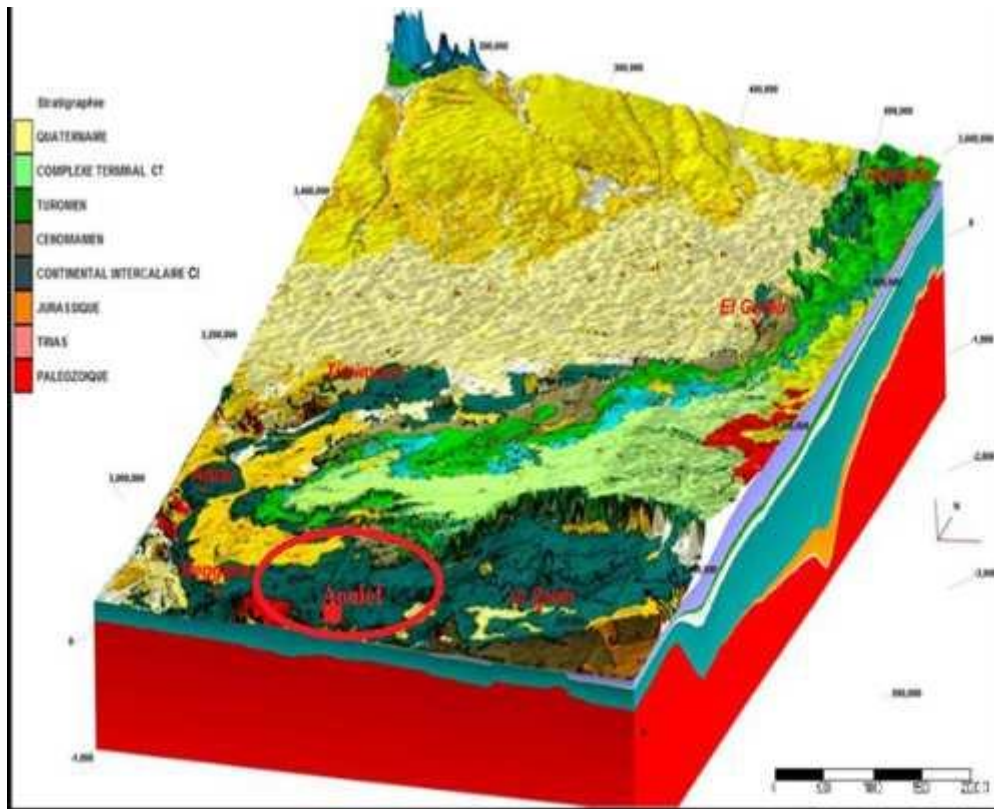


Fig. 7. Carte géologique drapée sur diagramme hydrogéologique de la région d'Adrar. (BENHAMZA, 2011)

III.2.1. 1es données de sondage pour le Crétacé inférieur :

a- Sondage de recherches pétrolières

Deux forages pétroliers ont été exécutés à l'ouest de la région : TK105 et TK101. Le Continental Intercalaire a été traversé sur une épaisseur de 315 m pour TK105 et 130 m pour TK101.

b- Sondage de recherche hydraulique

Plusieurs forages d'eau ont été exécutés dans la région d'Aoulef et ses environs pour l'alimentation en eau potable d'une part, et pour l'agriculture d'autre part.

b-1. Sondage d'Aoulef

Deux forages de grande profondeur ; 224 m pour le forage d'Aoulef 01 (9P5), et 222 m pour forage d'Aoulef 02 (OCRS) ; ont été exécutés dans la région. Ils ont traversé le Continental Intercalaire sur une épaisseur de 197,65 m. la lithologie de ces forages est identique : sable, argile avec les termes intermédiaires : argile sableuse, grès argileux, sable et gravier.

b-2. Sondage d'Inner

Inner, le centre de la commune de Timokten, se trouve à 9 km au Nord d'Aoulef El Arab. Plusieurs forages ont été exécutés pour l'alimentation en eau potable. La lithologie est identique aux précédents, toutefois, on observe une épaisseur importante de la couche argileuse dans plusieurs forages voisins, à une profondeur de l'ordre 70 m.

b-3. Sondage de Tit

La palmeraie de Tit est située à 58 km à l'Est d'Aoulef. Plusieurs forages ont été exécutés ; le plus important est celui de Tit 101 qui est réalisé en 1956 pour le chantier pétrolier. Ce forage d'une profondeur de 510 m a rencontré le continental intercalaire jusqu'à une profondeur de 400 m. la lithologie est identique aux précédents.

III.2.2. Les données de surface**a- La coupe d'Aïn Ech-Cheikh :**

Une coupe établie à AïnEch-Cheikh montre un Continental Intercalaire peu épais essentiellement gréseux, reposant sur les schistes siluriens alunifères.

b- La coupe d'Aoulef Ech-cheurfa :

Une butte témoin (point coté 343 m) de Continental Intercalaire domine immédiatement à l'Est de la palmeraie d'Aoulef Ech-cheurfa. Les grès quartzites du sommet sont couverts par endroits de nombreuses inscriptions touarègues et ici comme à Ain Ech-Cheikh, il y a une silicification de plus importante vers le sommet des grès supérieurs (niveau B) qui forment une dalle de 3 à 4 m d'épaisseur.

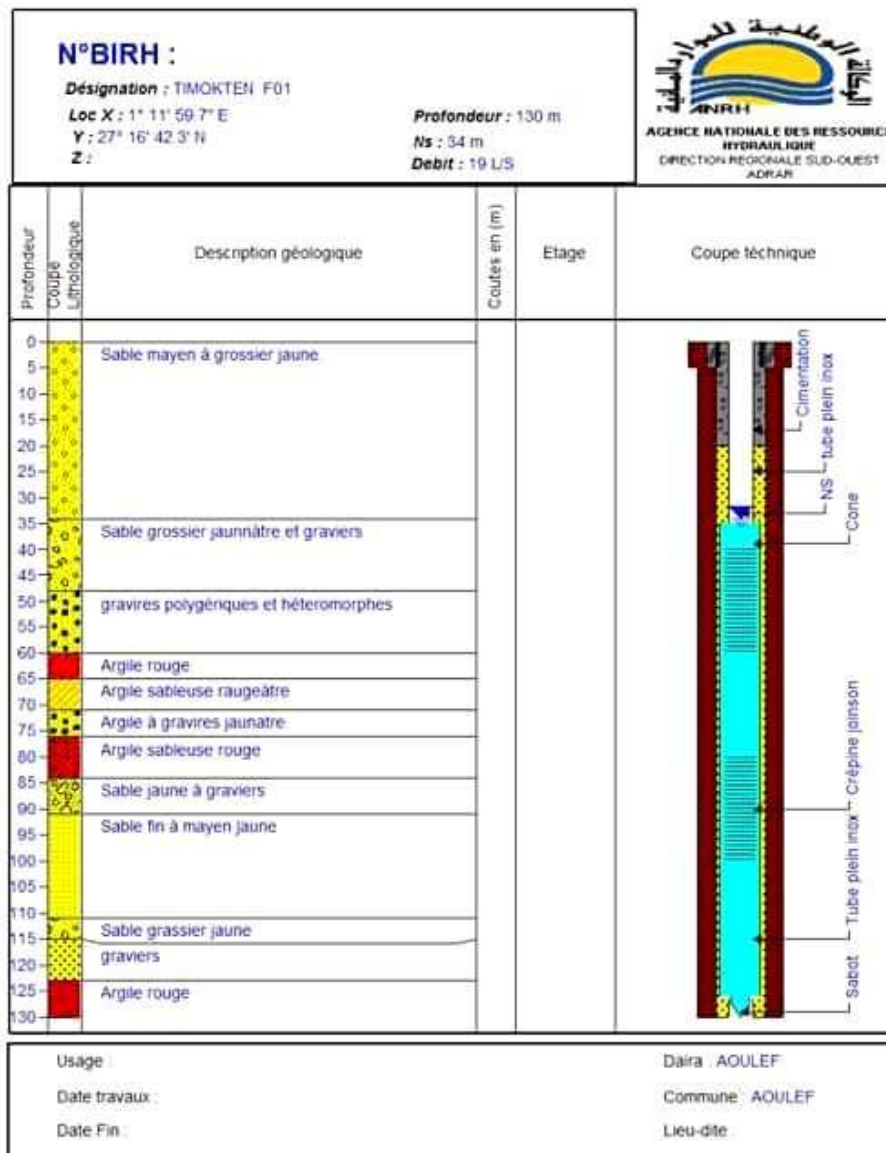


Fig 8 : Coupe technique de forage de TIMAGTN F01

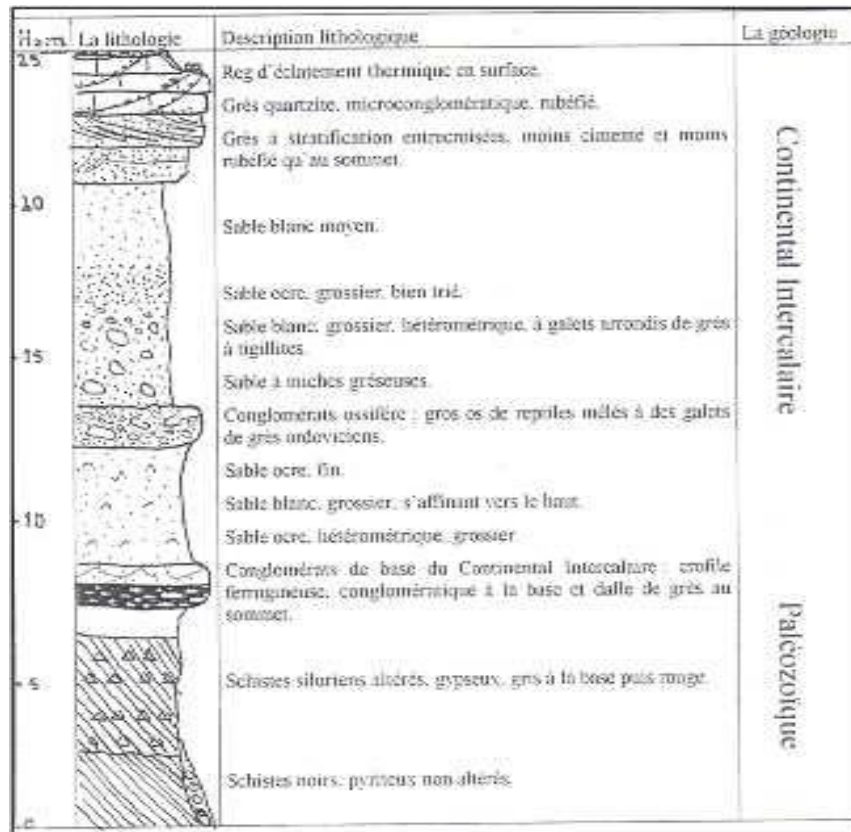


Fig. 9. Coupe du Continental Intercalaire à Aïn Ech-Cheikh (Conrad, 1969)

VI. Tectonique :

D'une manière générale, on peut dire que le Crétacé déposé sur la plateforme saharienne n'a pas subi de plissements. Néanmoins, certains contrecoups de plissements tertiaires ont été enregistrés jusqu'au Sahara ; c'est alors que s'est dessiné l'immense bassin à très faible rayon de courbure du Tademaït. Cet exhaussement apparait sous forme d'avancées d'affleurements paléozoïques. Cela entraîne une légère inclinaison du Crétacé.

I. HYDROGEOLOGIE :

Le désert algérien recouvre une superficie de deux millions de km. Il contient une réserve très importante d'eaux souterraines grâce aux nappes qu'il contient. Sur cette plateforme repose en discordance une formation gigantesque qui renferme le plus important aquifère dans le Sahara algérien : le Continental Intercalaire.

II. Contexte hydrogéologique

Le rôle joué par le Continental Intercalaire est important dans la partie médiane de la région étudiée où il affleure largement. Il recèle en outre la plus importante nappe aquifère du Sahara, dont l'eau conditionne l'existence des palmeraies du Gourara, du Touat, du Tidikelt, ce qui accroît encore l'intérêt de son étude. Ce chapitre est consacré à l'étude de la nappe du Continental Intercalaire (C.I) et les caractéristiques hydrodynamiques dans la région d'étude.

II.1. Hydrogéologie du Continental Intercalaire au Sahara Algérien.

Il y a aussi une autre formation, qui ne fait pas partie du secteur d'étude, peu profonde et qui contient un volume d'eau moins important que le Continental Intercalaire, c'est le Complexe Terminal.

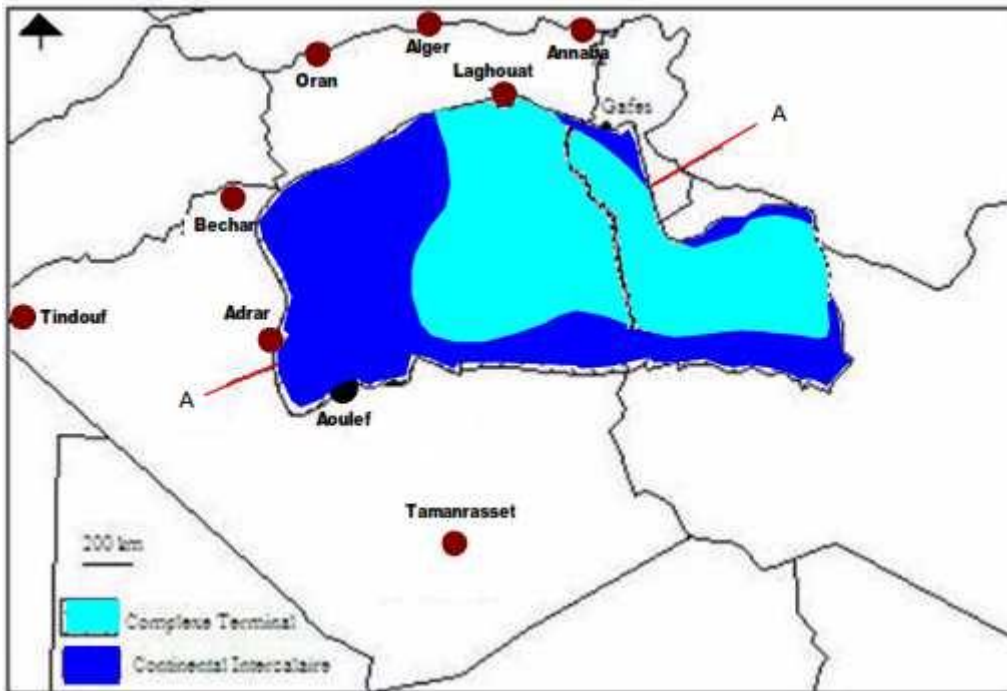


Fig 10. Etendue de la nappe du Continental Intercalaire (REMINI.B 2014)

II.2. Hydrogéologie du secteur d'étude

II.2.1. les différentes nappes du secteur d'étude

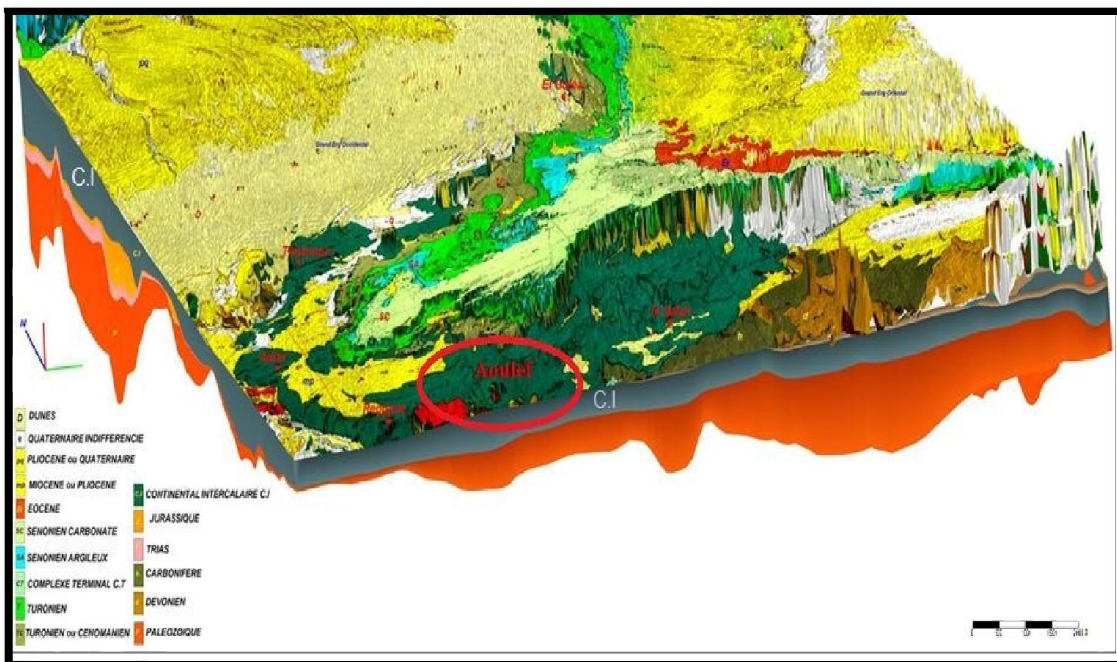


Fig. 11. Carte géologique drapée sur diagramme hydrogéologique du bassin Occidental (BENHAMZA, 2011)

II.2.2. La nappe du Continental Intercalaire

Parmi les formations qui affleurent dans la région, la plus importante du point de vue hydrogéologique, est celle du Crétacé inférieur et appelé aussi le Continental Intercalaire, cette nappe est constituée de dépôts continentaux, des argiles, argiles sableuses et grés.

II.2.3. Le Continental Intercalaire

C'est un système multicouche qui s'étend sur une superficie de 800 000 km, et de 600 000 km² d'après une source de la recherche française sur le climat (cycle d'eau), sa réserve totale (en théorie) est estimée à un volume de 63,072 milliard m³ soit un débit fictif continu de 1000 m²/s durant 2000 ans (20 siècles).

II.3. Le sens d'écoulement des eaux de la nappe

Les axes d'écoulements des eaux de la nappe aquifère du Continental Intercalaire (CI) sont généralement :

- NS, NE et SW, c'est à dire vers le Gourara, le Touat, le Tidikelt.
- L'autre partie s'écoule vers les exutoires tunisien et libyen.

III. Les ressources en eau

Les ressources en eau qui sont alimentées par le système de Continental Intercalaire sont les suivantes :

- Les forages.
- Les puits.
- Les foggaras.

III.1. Les forages

Au niveau de la Wilaya, il y a 250 forages à usage domestique et 529 forages à usage agricole. Dans la région d'Aoulef, il y a un grand réservoir de la nappe du Continental Intercalaire avec une grande superficie, en se basant sur les renseignements fournis par ces forages, une coupe géologique a été exécutée dans la direction est-ouest, elle montre que le mur du Continental Intercalaire est un anticlinal avec des pendages vers Reggane à l'ouest et vers Tit à l'est. L'affleurement du Primaire au sud de la Région d'Aoulef peut être considéré comme le sommet de cet anticlinal, appelé anticlinal d'Aoulef. Le schéma fig. 12 représente une coupe lithologique de la situation de la nappe continentale intercalaire.

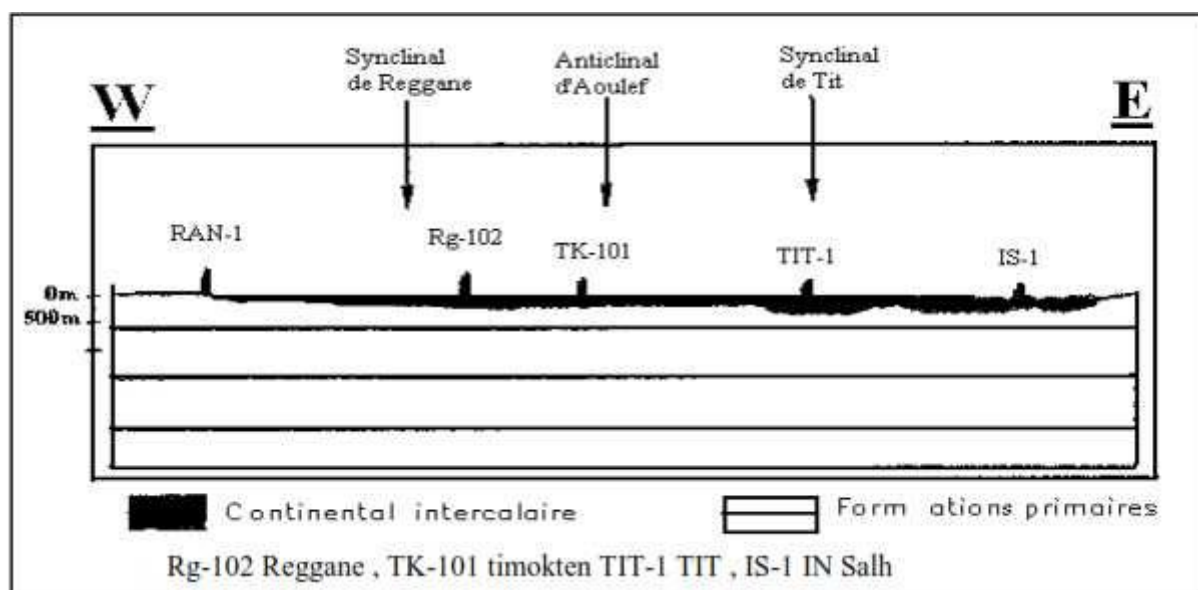


Fig.12. Situation de la nappe de Continental Intercalaire (HADDADI M., 2006)

Dans la région d'Aoulef, il y a 68 forages d'irrigation affectés aux périmètres de grande mise en valeur.

III.2. LES PUITES

Dans le cadre du programme ANRH, les ressources hydriques des petits périmètres de mise en valeur sont des puits et la distribution se fait par pompage.

Année	2000	2001	2002	2003
Nombre des puit	3417 puits	3783 puits	4436 puits	4898 puits
Débit Q (L/s)	5125	6305	8434	9820

Tableau02.Développement des puits.

Les puits sont alimentés par la nappe de l'Erg. La zone la plus riche en eau, est située au plateau de Tademaït vers le sud-ouest et sud-est.

III.3. Les foggaras

L'examen de la carte du Sahara algérien révèle un chapelet d'oasis, en forme d'arc de cercle, qui s'étend du Grand Erg Occidental au Grand Erg Oriental. Au pied du Plateau du Tademaït se succèdent ainsi les palmeraies du Gourara, du Touat et du Tidikelt, constituant une seule région saharienne dénommée par les anciens géographes « Archipel Touatien », et dont la similitude des caractères physiques, économiques et humains est concrétisée par son système de galeries souterraines appelées « foggaras ». La création des foggaras était certes une grande découverte favorable à l'implantation des oasis. Cette idée d'exploiter l'eau souterraine par des foggaras, montre ce que les premiers habitants de ces lieux, aux moyens limités, étaient capables de faire. (Capitaine Lô, 1957). Les différents débits des foggaras de la région d'Aoulef sont représentés dans le tableau

Débit	Q (L/mn)		
	Avant 1998	1998	2015
Oasis			
Aoulef	131,06	78,3	41,1
Timokten	240,77	194,167	124,3
Total	371,83	272,467	165,4

Tableau03. Débits des foggaras.

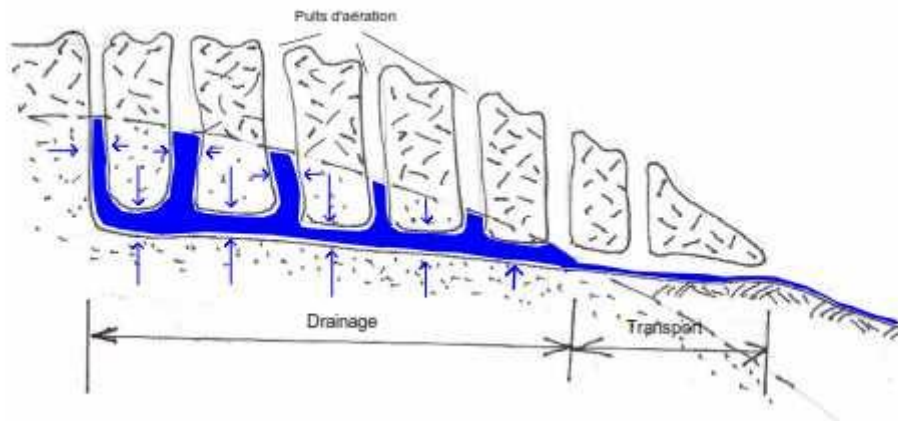


Fig.13 : Parties de la galerie d'une foggara (REMINI.B 2014)

IV. Géométrie de l'aquifère

IV.1. Modes d'alimentation de l'aquifère

La recharge actuelle de la nappe s'effectue par l'infiltration :

- des ruissellements à la périphérie du domaine, tout au long des oueds qui descendent des massifs montagneux notamment de l'Atlas Saharien, mais aussi parfois du Plateau de Tademaït.
- des pluies d'années exceptionnelles sur le Grand Erg Occidental, et les régions où elles tombent.

IV.2. Cartographie de l'épaisseur de l'aquifère

L'épaisseur du CI varie entre 200 et 300 m dans la région d'étude.

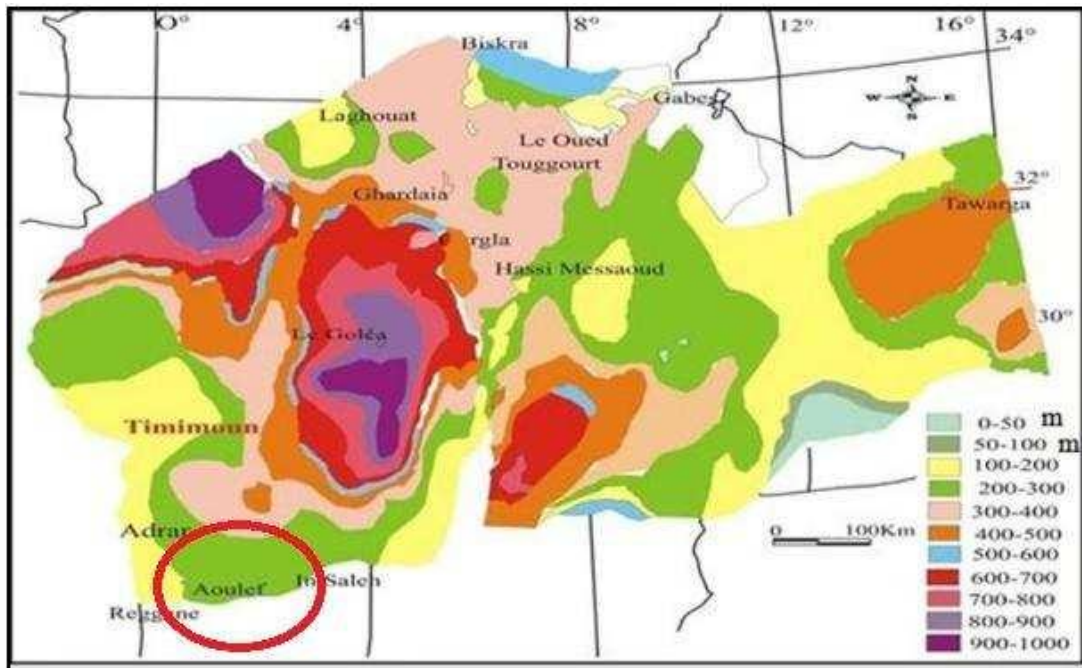


Fig. 14. Carte des épaisseurs du Continental Intercalaire (OSS, 2003b)

IV.3. Interprétation de la carte piézométrique et gradient hydraulique

Pour cette étude nous avons réalisé cartes piézométriques 2010. La carte piézométrique montre l'existence d'une nappe radiale à deux axes de drainage, de deux directions différentes EW et NS. Ces axes sont en concordance avec l'alignement des foggaras et correspondent en réalité à des empreintes d'anciens oueds qui alimentent la sebkha d'Aoulef, l'écoulement se fait de NE-SO, NO-SE et de SE vers le NO. On remarque aussi que les lignes iso pièzes sont bien espacées à l'Est d'Aoulef montrent un faible gradient hydraulique est d'ordre 0.61×10^{-3} mais au Nord de Timokten, au pied de la sebkha, elles sont très serrées, Ce qui montre l'importance du gradient hydraulique dans cette zone est d'ordre 1.80×10^{-3} . Les valeurs du gradient hydraulique sont relativement différentes. Cette variation est due à l'hétérogénéité des formations donc à la perméabilité. La zone N et NE de la carte où le gradient hydraulique est relativement élevé, traduit une perméabilité relativement faible

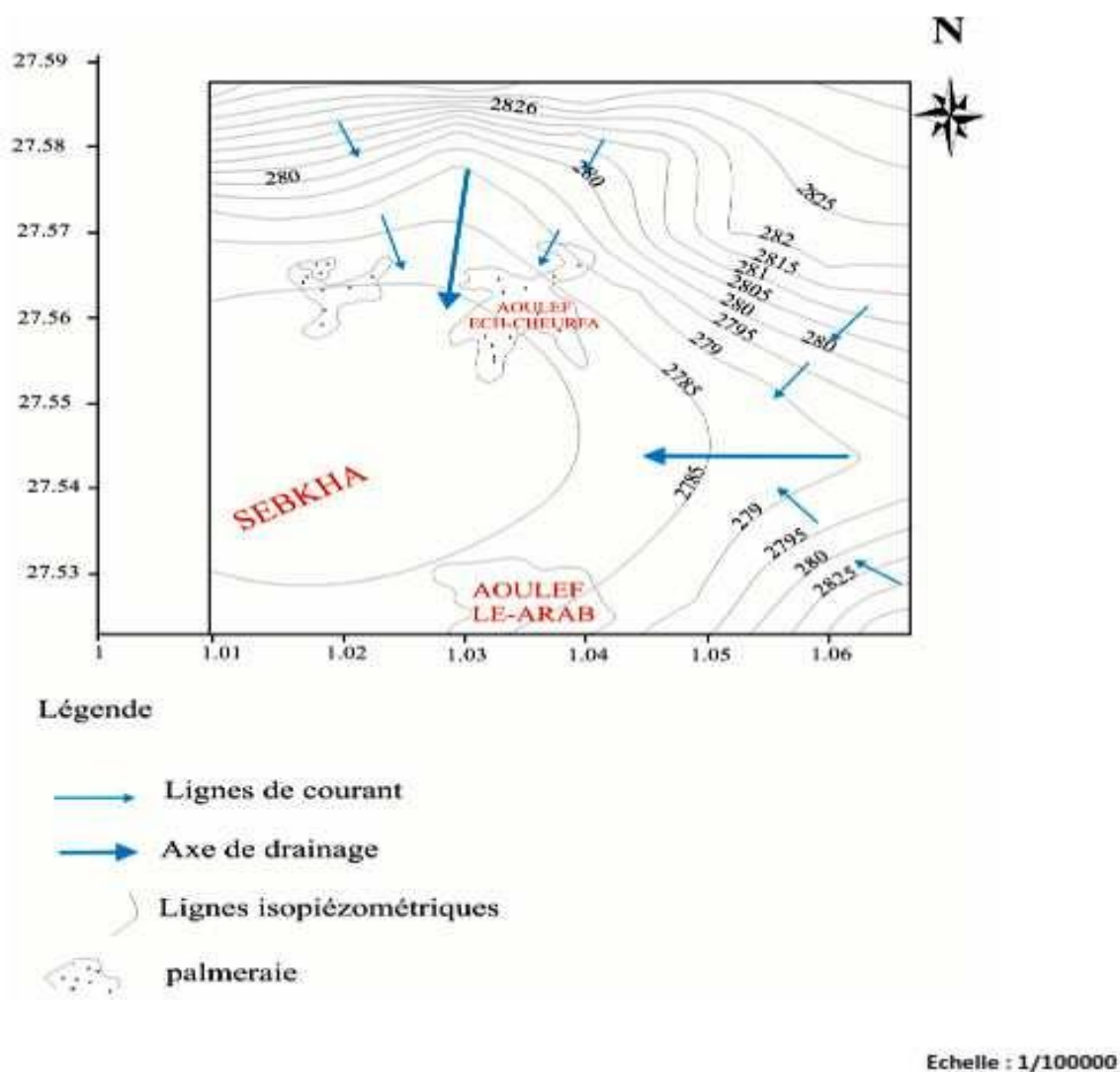


Fig. 15. Carte piézométrique d'Aoulef (d'après l'ANRH, 2010)

V. Le Sol

V.1. Définition du sol

Le **sol** est la couche la plus externe de la croûte terrestre résultant de l'interaction entre la lithosphère, l'atmosphère, l'hydrosphère et la biosphère. Il résulte de la transformation de la couche superficielle de la roche-mère, dégradée et enrichie en apports organiques par les processus vivants de pédogenèse. Hors des milieux marins et aquatiques d'eau douce, il est ainsi à la fois le support et le produit du vivant. La partie du sol spécialement riche en matière organique se nomme l'humus.

Sous un climat désertique chaud. Les processus pédologénétiques sont extrêmement réduits faute d'humidité. C'est principalement la désagrégation par voie mécanique provoquée surtout par les variations de température, qui assure la décomposition ou la fragmentation des roches. L'intervention du vent (corrosion éolienne) permet le tri des particules fines en laissant sur place la fraction grossière caractérisée par les cailloux et le sable.

On considère généralement que les sols sahariens sont des sols squelettiques à fertilités physiques et chimiques très limitées, bien enrichis en calcium, magnésium et en oligo-éléments, mais pratiquement dépourvus de MO. A titre indicatif, une caractérisation des sols sahariens non cultivés a donné les résultats suivants :

Une fraction minérale dominée par les sables,

Une fraction organique très faible (<1 %),

Une CR en eau très faible de 8 % en volume d'eau disponible,

Un PH alcalin : $7.5 < PH < 8.5$,

Une CEC de 6 meq / 100 g .

V.2. Formation et caractéristiques des sols :

La formation et l'évolution des sols du Sahara algérien sont principalement conditionnées par le climat et la salinité. Le climat très aride influe sur la pédogenèse par la forte évaporation, ce qui a engendré dans certaines zones de très fortes accumulations salines (ABHS, 2013). Le facteur essentiel de la formation des sols du Sahara est en général le vent, ainsi que les variations thermiques, notamment journalières. Le lessivage du sol qui joue un rôle si important sous le climat humide, n'intervient pas en milieu aride (KARIMI M, 2016). Situé au sud du plateau du Tademaït, une dépression complexe et morcelée, creusée dans le continental intercalaire en majorité gréseux, lequel repose, au Sud-est, sur les terrains primaires. Le Tidikelt est composé d'une succession de plateaux d'altitudes différentes. Des failles des plateaux s'échappent des lits d'oueds plus ou moins ensablés, tels les oueds Tiliat et Tighermas dans le Ouest et El-Rokna dans l'Est. Les altitudes se varient enregistre 243 m à Aoulef et 290 à In-Ghar et à In- Salah (Capderou, 1985).

V.3. Classification des sols

La classification des sols est essentiellement basée sur les caractères morphogénétiques et fortement inspirée de la classification française. Les normes de cette classification ont été légèrement modifiées pour représenter les sols de cette région saharienne, et ce pour le critère de salinité, car ces sols auraient tous été classés dans la seule classe des sols halomorphes, vu la salinité généralisée de ces sols (HIDAOUÏ A ,2015). La salinité n'a été considérée que comme caractéristique secondaire, réversible dans ces sols sableux, très perméables. Aussi, la salinité n'apparaît comme caractère principal, au niveau de la classe des sols halomorphes, que pour les sols très salés, ayant un horizon supérieur de salinité > 25 mS/cm. La salinité inférieure à 4 mS/cm caractérise le sous-groupe modal, et celle de 4 à 25 mS/cm le sous-groupe à caractère halomorphe (HIDAOUÏ A ,2015).

V.4. Les types des sols

A partir de l'étude des caractères morphologiques des sols ainsi que leurs analyses physicochimiques on peut définir deux classes de sols :

Sols peu évolués et sols halomorphes.

Sols peu évolués

Les sols de cette classe sont caractérisés par leur évolution qui n'est jamais suffisante pour que de véritables horizons soient différenciés. Avec une altération chimique très faible, le sol est constitué essentiellement de fragments de roches mères grossières et fines (HIDAOUÏ A ,2015). Ces sols présentent généralement des formations grésocalcaires plus ou moins compactes et caillouteuses, reposant sur un niveau argileux rougeâtre dont l'épaisseur augmente avec la profondeur, ils sont constitués d'un recouvrement graveleux, caillouteux et des sables éoliens (en surface). Les résultats analytiques ont montré que les sols ont une perméabilité élevée en surface et en profondeur avec des valeurs supérieures à 9cm/h jusqu'à 55 cm/h constituant des niveaux très perméables. Leur texture est généralement sableuse ou sablo-limoneuse avec la présence de gypse, Parfois qui leur confère une pseudo-texture, la structure est particulière.

- La compacité est faible, et la couleur est brun-jaunâtre à brun-rougeâtre.
- Le gypse se présente sous forme de petits cristaux ou par de nombreuses tâches blanchâtres et le pH varie de 7.8 à 8.4
- Les teneurs en calcaire total et actif varient selon les profils entre 6 et 30 % pour le total et 4 à 12 pour l'actif (HIDAOUÏ A ,2015).

Les sols halomorphes

Ces sols ont une forte salinité, variant de (25 à 57mmhos/cm). Cette salinité a pour origine, des roches parentales assez faible pour les grès, mais forte pour les argiles, car ces accumulations de sels se sont produites pendant des périodes anciennes, où le niveau d'eau souterraines était élevé par rapport à la surface où il y avait une forte évaporation. Le type de salinité est variable indépendamment de la profondeur et du degré de salinité des horizons, et est essentiellement chloruré et sulfaté .

VI. Généralité sur le palmier dattier :

La région d'oulef est célèbre pour d'autres régions désertiques avec la culture de palmiers en raison de son climat sec et chaud, et cette dernière a besoin de ces conditions en plus de la qualité du sol, de l'eau, de l'éclairage solaire ... etc. En 1905, Timokten possédait 9 drains vivants totalisant 20 kilomètres, Aoulef Chorfa, 8 (40 km), Aoulef el-Arab, 9 (60 km). C'est dans cette région que l'on a relevé les drains les plus longs du Tidikelt, jusqu'à 9 kilomètres. Timokten possédait alors 13 060 palmiers en production, Aoulef Chorfa 29 762 et Aoulef el-Arab 80 166 (Voinot, 1909). C'est dire la richesse de ces oasis qui devaient subir l'exploitation permanente des Kel-Ahaggar sinon leurs pillages. Cette capacité de survie et de production locale leur accordait un rang très honorable dans les réseaux d'échanges sahariens.

Certaines des caractéristiques nécessaires au palmier situé dans la région oulef :

Le climat :

Aoulef a un climat désertique chaud (classification climatique de Köppen *BWh*), avec des étés longs et extrêmement chauds et des hivers courts et très chauds. On sait que les températures diurnes approchent constamment les 50 ° C (122 ° F) en été et les températures nocturnes restent

habituellement supérieures à 30 ° C (86 ° F). Les précipitations annuelles moyennes sont extrêmement faibles, avec seulement 10 mm (0,39 po). Le ciel est presque toujours clair tout au long de l'année et les jours nuageux sont extrêmement rares. Aoulef est souvent cité comme l'un des endroits les plus chauds du monde.

Températures

La température est un facteur important qui conditionne la climatologie d'une région. Pour notre étude nous avons pu disposer des données mensuelles de la station d'Adrar qui sont représentées dans le tableau.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne
T °C	32,5	25,9	18,3	13,5	12,8	15,7	20,5	24,7	29	34,5	37,2	36,2	25,1

Tableau 4. Températures moyennes mensuelles

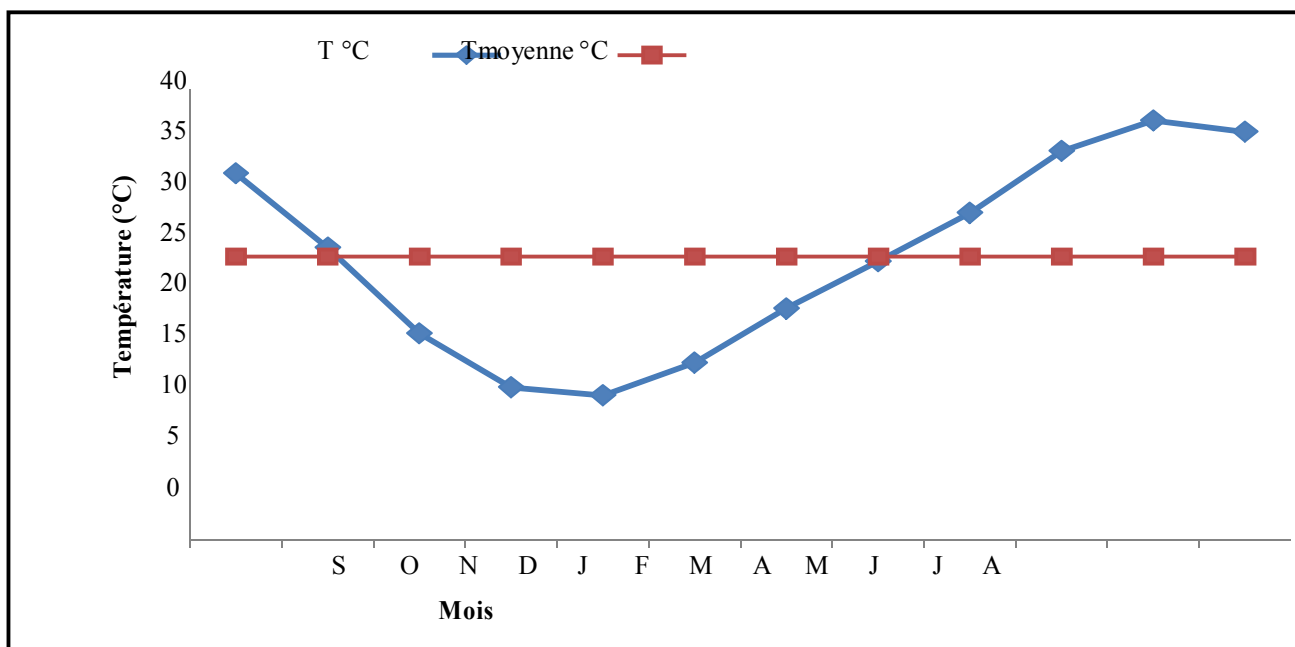


Fig.16 : Courbe des températures moyenne mensuelle

La figure 16 représente la distribution des températures moyennes mensuelles en fonction du temps. Nous remarquons que les températures croissent de Janvier en Juillet et décroissent le reste de l'année.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	juil	Août	SEP	oct	nov	déc	An
Moyenne élevée °C	22	25,8	29,2	34,7	39,7	44,4	46,8	45,7	42,2	35,9	27,5	22,5	34,7

Tableau 5. Températures élevée mensuelles

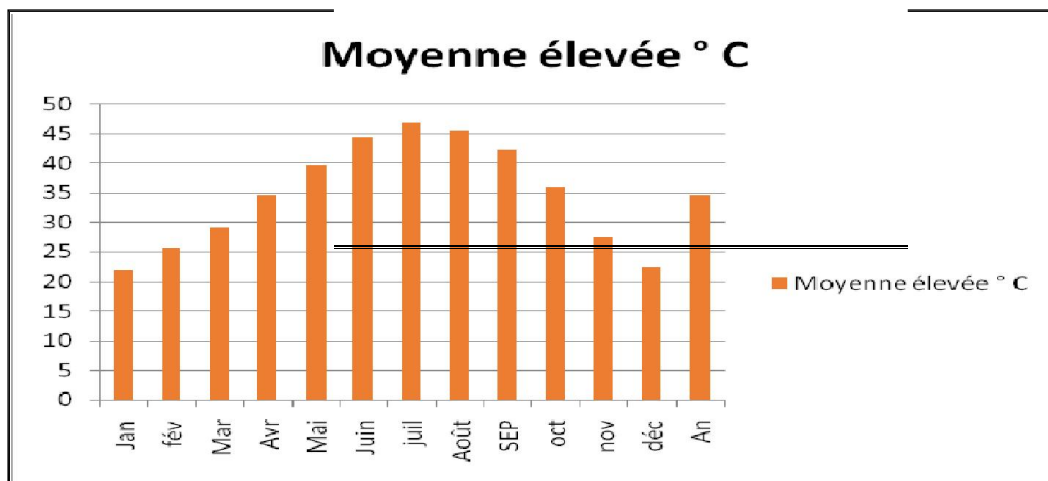


Fig.17 : Variation de Température élevée

Ensoleillement

L'insolation journalière est élevée, elle a une valeur moyenne de 9,6 heures par jour. Elle influe sur la croissance et le développement des plantes, elle atteint son maximum en juin (11,10 h/j) et son minimum en Janvier (8,4 h/j).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
insolation horaire/j	9,4	9,1	9	8,6	8,4	9,4	9,3	9,6	10,6	11,1	10,9	10,1

Tableau 7. Moyennes mensuelles d'ensoleillement.

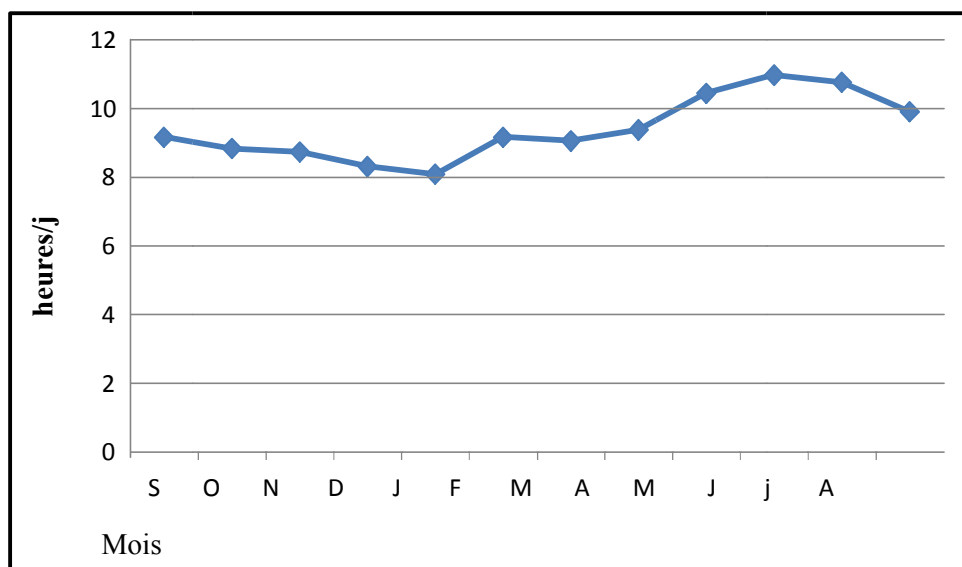


Fig. 18 : Moyennes mensuelles d'insolation.

Les réseaux hydrographie (les eaux) :

La région d'Aoulef fait partie du bassin versant du Tidikelt et de la nappe Continental Intercalaire. Elle a une superficie de 30000 km², soit le tiers de la superficie totale du Tidikelt. Pour l'étude du climat la station d'Adrar a été prise en considération et couvrant une période d'observations de 29 ans (1990-2019). Il y a aussi une autre formation, qui ne fait pas partie du secteur d'étude, peu profonde et qui contient un volume d'eau moins important que le Continental Intercalaire, c'est le Complexe Terminal.

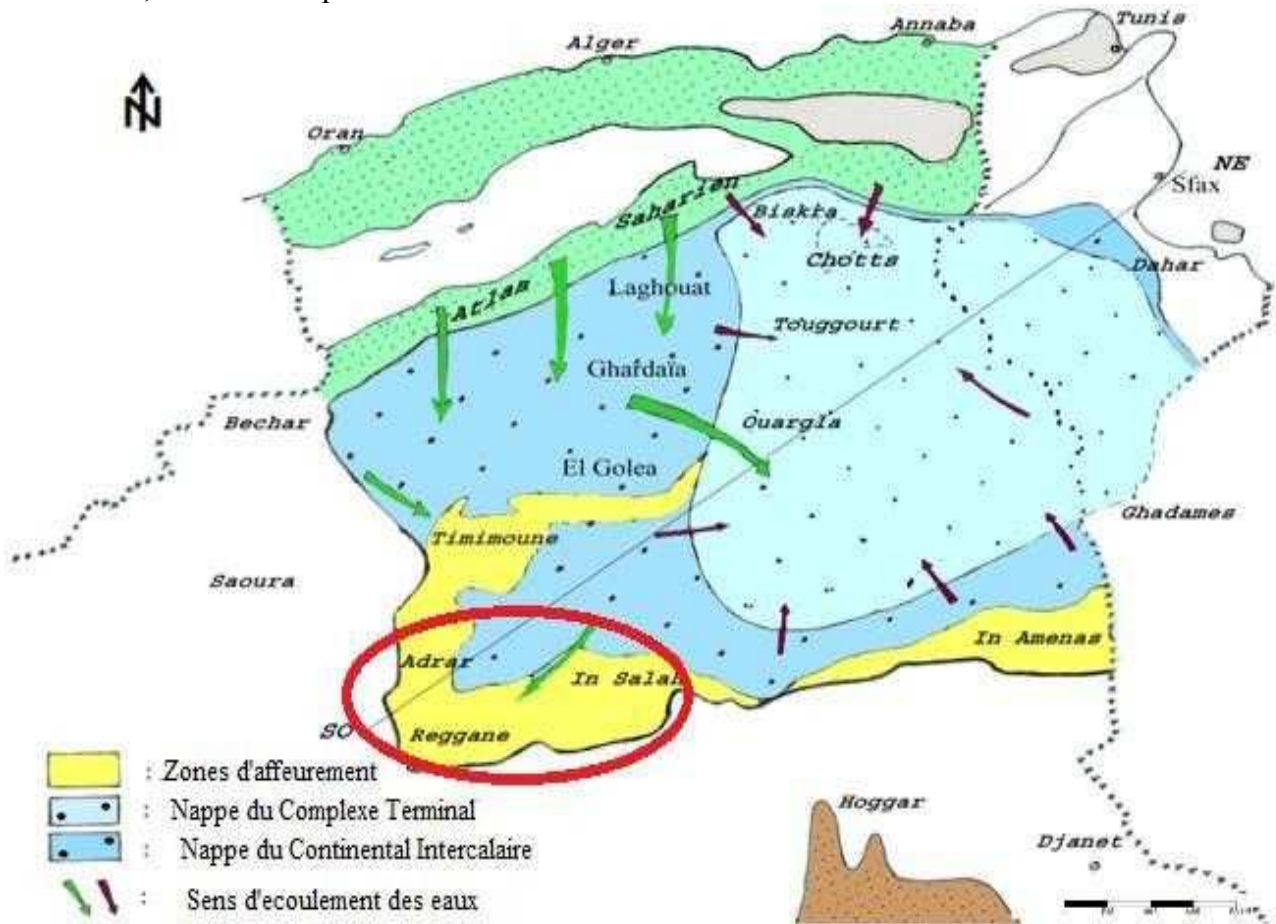


Fig.19 : Le Continental Intercalaire et le Continental Terminal au Sahara. (BENHAMZA, 2011)

La nappe du Continental Intercalaire

Parmi les formations qui affleurent dans la région, la plus importante du point de vue hydrogéologique, est celle du Crétacé inférieur et appelé aussi le Continental Intercalaire, cette nappe est constituée de dépôts continentaux, des argiles, argiles sableuses et grès.

Le sol :

Le sol d'Aoulef est généralement sablonneux ou sablo- limoneux en particulier l'erg, il est pauvre en matières organiques, assez profond et facile à travailler. Leur pH est neutre ou légèrement alcalin avec un taux de salinité variable. Il existe des sols dont les textures sont limono argileux ou alluvionnaires. C'est le cas des lits d'oued formés par la sédimentation d'argile et du calcaire. On rencontre dans cette région le sol de regs, où il existe des croûtes gypso-salines.

Dans la région d'Adrar, certaines terres agricoles sont très salées. Les cultures pratiquées sont en général halotolérantes comme Phoenix dactylifera et certains maraîchages sous les palmiers comme la culture de l'ail et de l'oignon

CHAPITRE II *ANALYSES*
PHYSICO-CHIMIQUES DE SOL ET
DES EAUX

Le sol est défini comme une formation naturelle de surface à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation ou de l'altération de la roche mère sous-jacente. D'un point de vue agricole, le sol constitue un support pour les plantes cultivées ; il joue un rôle essentiel dans la nutrition hydrique et minérale des végétaux, il est le lieu d'une activité biologique qui favorise la biodisponibilité des éléments nutritifs. Le sol représente la couche superficielle de la croûte terrestre qui constitue une interface entre la biosphère et la lithosphère. La science qui étudie les sols, leur formation, leur constitution et leur évolution, est la pédologie, cette dernière décrit les différents types de sols ainsi formés, en distinguant la couche arable et le sol sous-jacent. L'agriculteur travaille la couche arable qui est la plus riche en matières organiques, elle est le siège d'une intense activité biologique. Sa composition est modifiée par la présence des cultures et les apports de fertilisants au cours des années. La couche sous-jacente, entre la couche arable et la roche mère, contribue aussi à la nutrition de la plante en éléments minéraux et en eau. L'agronomie s'intéresse à ces deux couches à travers un profil cultural. La composition d'un sol dépend de nombreux facteurs tels que : le climat, la nature de la roche mère, la pente, l'exposition, et des facteurs biotiques : couvert végétal, organismes vivants. Sa formation est liée au facteur temps, c'est-à-dire, la durée nécessaire à la dégradation de ses éléments constitutifs organiques et minéraux.

2. Constituants du sol :

La composition d'un sol dépend de nombreux facteurs tels que : le climat, la nature de la roche mère, la pente, l'exposition, etc..., et des facteurs biotiques : couvert végétal, organismes vivants, etc.... Sa formation est liée au facteur temps, c'est-à-dire, la durée nécessaire à la dégradation de ses éléments constitutifs organiques et minéraux. Le sol comprend quatre composants principaux : l'air, l'eau, les constituants minéraux et la matière organique. La proportion de ces parties est représentée selon la figure suivante :

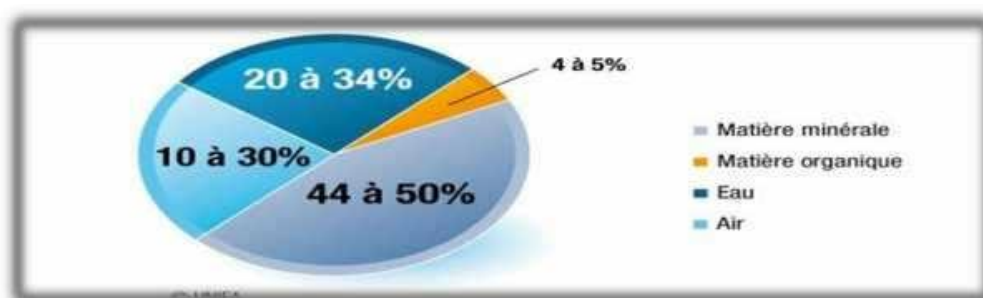


Fig.01 : Proportions des constituants du sol

3. Formation du sol :

Un sol est le résultat d'une altération superficielle d'une roche mère, et d'un enrichissement en matières organiques issue d'êtres-vivants, du fait de la décomposition de la litière par désorganismes décomposeurs. On a ainsi trois facteurs entrant en jeu dans la formation d'un sol :

La roche mère : ses propriétés physiques ou sa composition chimique a une influence directe sur la nature et sur la rapidité de l'évolution d'un sol.

Les végétaux : fournisseurs de l'essentiel de la matière organique présente dans le sol, et qui influencent aussi son évolution.

Le climat : qui affecte les deux facteurs précédents, par la température en ce qui concerne l'altération de la roche mère, et les précipitations pour les phénomènes de migration se déroulant au niveau du sol.

4. Prélèvement et prétraitement des échantillons du sol :

4.1. Le prélèvement :

Le prélèvement d'un échantillon de sol est souvent la première étape du conseil agronomique en matière de fertilisation ou de l'expertise physique du sol. A cause de la variabilité, tant spatiale que temporelle, des propriétés physiques et chimiques des sols, la qualité du prélèvement est une étape décisive pour la fiabilité du conseil. En agriculture, comme dans bien d'autres domaines, il est impossible de mesurer une ou plusieurs caractéristiques sur l'ensemble d'un groupe ou d'une parcelle. En effet, il n'est pas envisageable de transporter la totalité de la terre de sa parcelle ou d'emporter tout son silo pour réaliser une analyse

4.2. Matériels et Méthodes de prélèvement :

Le prélèvement d'échantillons de sol nécessite plusieurs outils et matériaux. Une sonde d'échantillonnage du sol est utilisée pour extraire des carottes de sol. Il est également possible d'utiliser une pelle ou une tarière. Un seau propre en plastique est utilisé pour mélanger les échantillons. Enfin, de petits sachets de plastique ou de papier ligné ou des boîtes hermétiques sont nécessaires pour emballer les échantillons du sol. Le prélèvement d'échantillon consiste à effectuer les opérations suivantes :

- Traverser diagonalement le terrain, faisant l'objet de l'échantillonnage, en vue d'évaluer sa longueur, sa largeur, sa surface, son apparence, sa topographie, sa végétation.
- Subdiviser le terrain en unités homogènes de 100-150 m² environ représentatives de la parcelle.
- Fixer au hasard, dans ces unités homogènes, les endroits de prélèvements.
- Dégager la surface du sol (environ 1 cm de profondeur).
- Faire 12-15 trous par unité homogène de 10 cm à 1,20 m de profondeur des trous à l'aide de la tarière, ce qui est plus pratique.

- Prélever 200-500 g sur les côtés, dans chaque unité homogène.
- Déposer chaque prélèvement dans un seau et mélanger.
- Déposer 500 g de sol du mélange dans un sachet en plastique (ne contenant pas des débris d'engrais ou de produits chimiques).
- Numéroter chaque échantillon (chaque sachet).
- Indiquer sur une étiquette toutes les informations correspondantes à chaque échantillon.
- Fermer les sachets pour les rendre hermétiques (éviter toute perte d'humidité).
- Envoyer les échantillons au laboratoire dans 3-4 jours qui suivent le prélèvement.
- Il faut garder les sachets ouverts dans un endroit bien aéré et loin de toute possibilité de contamination par d'autres produits.

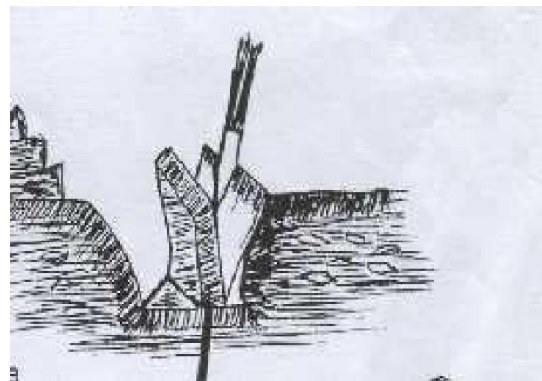


Fig.02 : Matériels du prélèvement.

4.3. Prétraitement des échantillons du sol :

Les prétraitements nécessaires des échantillons du sol doivent être soumis à des analyses physicochimiques des paramètres stables et non-volatils. Cette procédure décrit les trois types de prétraitement des échantillons: séchage, broyage et tamisage. Lorsque l'échantillon de terre est trop volumineux, une homogénéisation est effectuée. Une partie suffisante représentative est gardée pour l'analyse. L'excédent est éliminé.

-Séchage:

On met l'échantillon de terre dans un bac en aluminium. Puis on le sèche à une température de 40°C pendant une nuit (à une température plus élevée, il y a risque de réification de certains éléments, et risque de volatilisation d'autres éléments).

-Broyage et pilonnage :

A la sortie de l'étuve, on broie l'échantillon avec passage forcé à travers une maille de 2 mm. On utilise un mortier et un pilon qui le transforme en une terre fine. Tous cela pour défragmenter les cristaux solides de taille assez grande obtenue après séchage.

-Tamisage

La poudre obtenue au stade de broyage passé à travers un tamis avec de mailles de diamètre de 2mm. Finalement, on obtient une poudre fine.

5. Analyses physico-chimiques des échantillons :**5.1. Granulométrie (Texture de sols) :****But et Principe :**

Mise en suspension des particules minérales d'un échantillon de terre et stabilisation de cette suspension dans des conditions bien définies en particulier, destruction des agrégats. Séparation des différentes classes de particules par sédimentation par gravité pour les fractions ($<50\mu\text{m}$) et par tamisage pour les fractions supérieures. Prélèvement des fractions fines par la méthode de la pipette. Pesé du résidu solide après évaporation du liquide.

Matériels et Méthode :

- Agitateur rotatif.
- Balance de précision.
- Pipette de robinson.
- Tamis de 50 μm et 200 μm .
- Burette de 50 ml.
- Capsules à fond plat.
- Eprouvettes de 1L.
- Flacons en plastiques de 1L pour agitation.
- Thermomètre et chronomètre.
- Etuve de séchage.
- Eau distille.
- Hexamètophosphate de sodium.

On pèse 30g de terre fine séchée et tamisée à 2mm dans un flacon de 1L. Puis on mouille la terre avec environs 200 ml d'eau distillée. On ajoute 30 ml d'hexamètophosphate de sodium et 250 ml d'eau distillée. On agite à l'aide d'un agitateur rotatif pendant 2h et on transvase dans une éprouvette de 1L et on complète à 1L avec l'eau distillée. Puis on agite à la main par renversement successif.

On effectue un prélèvement à l'aide de pipette de robinson au bout de 4min 48s à 20 °C après agitation et la mise en place de la pipette la couche de la suspension comprise entre la surface et 10 cm de profondeur ne contient plus que des particules de diam $< 0,02$ mm c'est-à-dire le Limon et de l'Argile. La profondeur varie en fonction de la température de la salle. On place l'éprouvette à sédimentation sous la pipette de Robinson 20 à 30°C avant la fin du délai de sédimentation, déterminé par la table en fonction de la température. Au temps voulu on aspire et on ouvre le robinet pour remplir doucement la pipette. On remonte la pipette et on vide le contenu dans une capsule tarée.

5.2. Le but de la sédimentométrie:

Lorsque les particules ont une dimension inférieure à 80 μ m, le tamisage n'est plus possible. La suspension est donc récupérée dans une éprouvette. Une lecture des densités se fait à l'aide d'un densimètre à des temps préalablement fixés. Les particules sont classées selon une échelle internationale :

- Inférieur à 0.002 mm argile ;
- Entre 0.002 et 0.2 mm limons fins ;
- Entre 0.02 et 0.05 mm limons fins ;
- Entre 0.05 et 0.2 mm sable fins ;
- Entre 0.2 et 2 mm sable grossiers ; L'ensemble des diamètres inférieurs à 2 mm sont appelés terre fine.

5.3. PH eau, PHKcl :

But et Principe :

Mesure électrométrie du PH au moyen d'une électrode combinée.

- Balance.
- pH mètre.
- Pissette et flacons ou Erlen de 100ml.
- Agitateur magnétique.
- Le sol séché.
- Eau distillée.
- les étalons PH 4, PH7 et PH9.
- chlorure de potassium KCl.

Dans un Erlen on pèse 10g de l'échantillon de sol séché et on ajoute 25ml de l'eau distillée. On agite jusqu'à l'homogénéisation puis on le laisse pendant une nuit et on mesure le PH en parallèle, on ajout 25 ml de chlorure de potassium.

Valeur du Ph	Qualification du sol
<à5	Fortement acide
Entre 5 et 6	Franchement acide
Entre 6 et 6.6	Légèrement acide
Entre 6.6 et 7.4	Neutre
Entre 7.4 et 7.8	Légèrement alcalin
> à 7.8	Alcalin

Tableau 4 : Classification des sols en fonction du PH.

5.4. Matière Organique :

But et principe :

Oxydation de la matière organique d'un échantillon de terre pour essai dans des conditions bien définies, par une quantité en excès de potassium en milieu sulfurique à 135°C. Dosage spectrométrique des ions chromiques Cr³⁺ formés. La teneur en Matière Organique est évaluée par le carbone organique ainsi déterminé.

Matériels et Méthode :

- spectrophotomètre mono faisceau.
- Agitateur vortex.
- Digesteur.
- Tubes à minéralisation jaugée à 75 ml.
- pissette.
- flacons en plastique de 150 ml pour filtration.
- Entonnoirs en plastique de 100 ml.
- Fiole jaugée de 100 ml.
- Papier filtre bande bleue diam.150 mm.

Solution dichromate de potassium : Dans une fiole Jauger de 1L. On pèse 80 g de bichromate de potassium. Puis on dissoudre à chaud dans 1L d'eau distillée et agiter.

Préparation des échantillons: Dans un tube de minéralisation, introduire 0,5 g de terre pilonnée et tamisée à 325 µm. Ajouter 5 ml de solution de bichromate de potassium à 8% et 7,5 ml d'acide sulfurique concentrée.

Préparation des étalons : Dans un tube de minéralisation : pipeter 5 ml des étalons T. Ajouter :

- 7,5 ml d'acide sulfurique.
- Homogénéiser à l'aide d'un agitateur vortex.
- placer immédiatement le portoir dans le bloc chauffant. T0 à T4

- laisser réagir exactement 30 mn.
- Retirer le portoir du bloc.
- Ajouter environ 50 ml d'eau distillée.
- Refroidir les tubes dans un bain d'eau.
- Les tubes étant à une température ambiante, ajusté à 75 ml, homogénéiser.

Filtration: Une fois ajustée, les tubes sont mis au repos pendant une nuit. Après, on procède à une filtration pour chaque tube sur papier filtre diam 150 mm, les filtrats sont recueillis dans des erlens de 100 ml.

6. Température :

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment). De plus, en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau. La température doit être mesurée in situ. Les appareils de mesure de la conductivité ou du pH possèdent généralement un thermomètre intégré.

7. Conductivité :

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. La conductivité est également fonction de la température de l'eau : elle est plus importante lorsque la température augmente. Les résultats de mesure doivent donc être présentés en termes de conductivité équivalente à 20 ou 25°C. Les appareils de mesure utilisés sur le terrain effectuent en général automatiquement cette conversion. Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur le terrain. La procédure est simple et permet d'obtenir une information très utile pour caractériser l'eau. Comme la température, des contrastes de conductivité permettent de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélanges ou d'infiltration. La conductivité est également l'un des moyens de valider les analyses physico-chimiques de l'eau : la valeur mesurée sur le terrain doit être comparable à celle mesurée au laboratoire.

8. Potentiel hydrogène PH :

Le PH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions H⁺ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau. Le PH doit être impérativement mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH-mètre ou par colorimétrie.

pH < 5	Acidité forte => présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée => majorité des eaux de surface
5,5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense

Tableau : classification des eaux d'après leur pH

9. Turbidité :

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau. Les désagréments causés par une turbidité auprès des usagers sont relatifs car certaines populations sont habituées à consommer une eau plus ou moins trouble et n'apprécient pas les qualités d'une eau très claire. Cependant une turbidité forte peut permettre à des micro-organismes de se fixer sur des particules en suspension. La turbidité se mesure sur le terrain à l'aide d'un turbidimètre.

NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble
NTU	La plupart des eaux de surface en Afrique atteignent ce niveau de turbidité

Tableau 2 : classes de turbidité usuelles (NTU, nephelometric turbidity unit)

10. Ions majeurs :

La minéralisation de la plupart des eaux est dominée par huit ions appelés couramment les ions majeurs. On distingue les cations : calcium, magnésium, sodium et potassium, et les anions : chlorure, sulfate, nitrate et bicarbonate.

11. Autres éléments dissous :

Le fer : La présence de fer dans les eaux souterraines a de multiples origines : le fer, sous forme de pyrite (FeS_2), est couramment associé aux roches sédimentaires déposées en milieu réducteur (marnes, argiles) et aux roches métamorphiques. Il se retrouve souvent à de fortes concentrations dans les eaux des cuirasses d'altération de socle. Présent sous forme réduite (Fe^{2+}), le fer est oxydé par l'oxygène de l'air et précipite sous forme ferrique lorsque l'eau est pompée $\Rightarrow \text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + e^-$. Les dalles de forages ou puits sont alors colorées en brun/rouille et les populations se désintéressent parfois de la ressource car l'utilisation d'une eau chargée en fer pour la lessive colore le linge et, consommée directement ou sous forme d'infusion), peut avoir un goût prononcé.

Le fluor : Les sources principales de fluor dans les eaux souterraines sont les roches sédimentaires (fluorapatite des bassins phosphatés par exemple) mais également les roches magmatiques et certains filons. Les zones de thermalisme sont aussi concernées. Les concentrations en fluor sont plus faibles si la teneur en Ca^{2+} , issu du gypse par exemple, est forte. Le temps de contact entre roche et eau souterraine ainsi que les réactions chimiques déterminent les teneurs en F⁻ (équilibre avec la fluorine, Ca^{2+} dominant). Le fluor est reconnu comme un élément essentiel pour la prévention des caries dentaires (dentifrices fluorés). Cependant, une ingestion régulière d'eau dont la concentration en fluor est supérieure à 2 mg/l (OMS) peut entraîner des problèmes de fluorose osseuse et dentaire (coloration en brun des dents pouvant évoluer jusqu'à leurs pertes). Les enfants sont particulièrement vulnérables à cette atteinte.

L'Aluminium : La question de l'aluminium se pose essentiellement après traitement de l'eau avec un composé d'aluminium. Même si aucun risque sanitaire n'a pu être prouvé, on évoque le rôle aggravant de cet élément dans la maladie d'Alzheimer. Selon l'OMS, la présence d'aluminium à des concentrations supérieures à 0,2 mg/l provoque souvent des plaintes de la part des consommateurs, en raison de la floculation de l'hydroxyde d'aluminium dans les canalisations et d'une accentuation de la coloration de l'eau par le fer.

Oxygène, DBO, DCO et Oxydabilité : L'ensemble de ces paramètres permet d'estimer la quantité de matière organique présente dans l'eau.

Oxygène dissous : L'eau absorbe autant d'oxygène que nécessaire pour que les pressions partielles d'oxygène dans le liquide et dans l'air soient en équilibre. La solubilité de l'oxygène dans l'eau est fonction de la pression atmosphérique (donc de l'altitude), de la température et de la minéralisation de l'eau : la saturation en O_2 diminue lorsque la température et l'altitude augmentent. La concentration en oxygène dissous est un paramètre essentiel dans le maintien de la vie, et donc dans les phénomènes de dégradation de la matière organique et de la photosynthèse.

C'est un paramètre utilisé essentiellement pour les eaux de surface. Au niveau de la mer à 20C, la concentration en oxygène en équilibre avec la pression atmosphérique est de 8,8 mg/l d'O₂ à saturation. Une eau très aérée est généralement sursaturée en oxygène (torrent), alors qu'une eau chargée en matières organiques dégradables par des micro-organismes est sous-saturée. En effet, la forte présence de matière organique, dans un plan d'eau par exemple, permet aux micro-organismes de se développer tout en consommant de l'oxygène. L'oxygène dissous est donc un paramètre utile dans le diagnostic biologique du milieu eau.

DBO, DCO et oxydabilité : La DBO (demande biochimique en oxygène) exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau par le développement de micro-organismes, dans des conditions données. Les conditions communément utilisées sont 5 j (on ne peut donc avoir qu'une dégradation partielle) à 20 C, à l'abri de la lumière et de l'air ; on parle alors de la DBO₅. Cette mesure est très utilisée pour le suivi des rejets des stations d'épuration, car elle donne une approximation de la charge en matières organiques biodégradables. Elle est exprimée en mg de O₂ consommé.

Situation	DBO ₅ (mg/l d'O ₂)
Eau naturelle pure et vive	< 1
Rivière légèrement polluée	1 < c < 3
Egout	100 < c < 400
Rejet station d'épuration efficace	20 < c < 40

Tableau : Echelle de valeurs de DBO₅

La DCO (demande chimique en oxygène) exprime la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique (biodégradable ou non) d'une eau à l'aide d'un oxydant, le bichromate de potassium. Ce paramètre offre une représentation plus ou moins complète des matières oxydables présentes dans l'échantillon (certains hydrocarbures ne sont, par exemple, pas oxydés dans ces conditions). L'objectif de la DCO est donc différent de celui de la DBO. La DCO peut être réalisée plus rapidement que la DBO (oxydation "forcée") et donne une image de la matière organique présente, même quand le développement de micro-organismes est impossible (présence d'un toxique par exemple). Le résultat s'exprime en mg/l d'O₂.

Généralement, la DCO vaut de 1,5 à 2 fois la DBO₅ pour les eaux usées domestiques. La relation empirique suivante lie la DBO₅, la DCO et la matière organique de l'échantillon (MO) :

$$MO = (2 DBO_5 + DCO) / 3$$

L'oxydabilité est une mesure similaire à la DCO, utilisée dans le cas de faible concentration en matière organique (DCO < 40 mg/l d'O₂). L'oxydant requis est le permanganate de potassium.

12. Le PH :

C'est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau par la concentration en ions H⁺, les valeurs du pH dans la région d'étude varient de 7 à 7,66 donc pH neutre et respectant la norme de potabilité des eaux.

13. La conductivité :

Elle permet d'évaluer la teneur ou la concentration des ions présents dans l'eau. L'eau douce est évidemment résistante, par contre, l'eau salée est conductrice. C'est un paramètre qui dépend de la minéralisation qui est la totalité des sels dissous dans l'eau avec les matières organiques. La conductivité des eaux analysées variant entre 2,12 ms/cm et 4,10/cm. Ces données montrent que les eaux analysées présentent une conductivité relativement supérieure à la norme qui est de 2,8 ms/cm.

14. La minéralisation :

La minéralisation de l'eau peut être déterminée soit par la conductivité électrique, soit par la teneur en ions dissous obtenue par sommation des concentrations des anions et des cations car celles-ci sont fortement corrélées dans toutes les formations aquifères (en première approximation on peut lier la force ionique à la concentration ionique).

Conductivité (μS/cm)	Minéralisation (mg/L)
CE < 50	M= CE × 1,365079
50 < CE < 166	M= CE × 0,947658
166 < CE < 333	M= CE × 0,758544
333 < CE < 10 000	M= CE × 0,758544
CE < 10 000	M= CE × 0,850432

Tableau 04. Calcule de la minéralisation globale

Conductivité ($\mu\text{S/cm}$)	Minéralisation (mg/L)
$\text{CE} < 100 < \text{CE} < 200$	Trèsfaible
$200 < \text{CE} < 333$	Faible
$333 < \text{CE} < 666$	Moyenne
$666 < \text{CE} < 1000$	Moyenne accent
$\text{CE} < 1000$	Important

Tableau 05. Classification de l'eau en fonction de la conductivité

Années	Minéralisation (mg/L)	Qualité des eaux
2015	$\text{CE} > 1000$	Elevée

Tableau 06. Classe de l'eau en fonction de la minéralisation

Année	Nom de forage	Minéralisation(mg/L)	Qualité des eaux
2015	AOULEF 02	1721,89	Elevée
	AOULEF CHOURFA	2010,14	Elevée
	TIMOKTENE 01	1714,3	Elevée
	TIMOKTENE 02	1615,69	Elevée
	AOULEF 04	2260,46	Elevée
	AOULEF F 09	1608,11	Elevée
	AOULEF VI	1843,26	Elevée
	AOULEF CENTRE 03	3110,03	Elevée

Tableau 07. Qualité des eaux étudiées en fonction de la minéralisation

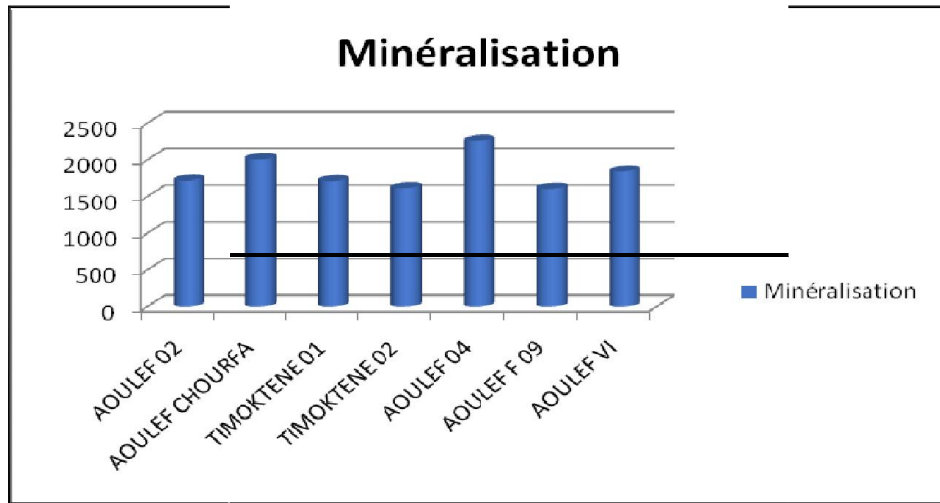


Fig12. : Evolution de la minéralisation de quelques forages dans la zone d'étudier

La carte d'iso-minéralisation (Fig. 13) montre que la minéralisation augmente selon le sens d'écoulement des eaux de l'Est (plateau du Tidikelt) vers l'Ouest (dépression de l'Aoulef), avec une moyenne de 1985,5 mg/L, elle atteint des valeurs de 1843,26mg/L au niveau des zones dépressionnaires et des Sebkhass.

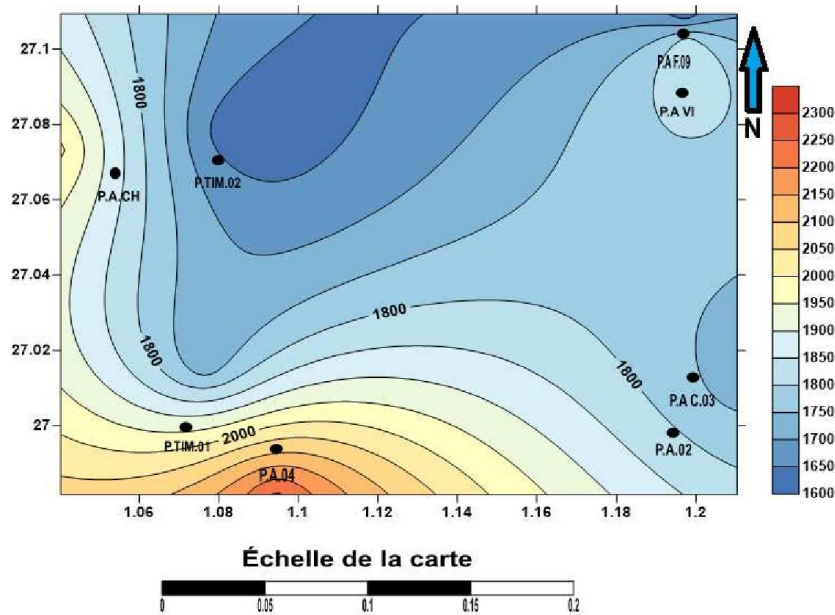


Fig.13. Carte de minéralisation de Quelques forage dans la région d'Aoulef.

15. La dureté (TH) :

Dans le tableau 17 on peut voir que la valeur maximale de TH est de 83 °F, valeur mesurée au niveau de la région de Aoulef, la valeur minimale observée dans le forage de TIMOKTENE 02 est de 50 °F. La moyenne étant de 61,12 °F. La dureté semble la principale caractéristique des eaux de la nappe du CI dans la région de Tidikelt. Ce qui entraîne des désagréments pour les usages domestiques à savoir :

- la mauvaise cuisson des légumes.
- le non moussage du savon.
- le bouchage des chauffe-bains.
- la formation de couche jaunâtre sur les baignoires, etc.

TH	0 – 7	7 – 22	22 – 32	32 – 54	> 54
Qualité de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure

Tableau 08. Qualité de l'eau en fonction du TH

Nom de forage	TH
AOULEF 02	52
AOULEF CHOURFA	68
TIMOKTENE 01	51
TIMOKTENE 02	50
AOULEF 04	72
AOULEF F 09	51
AOULEF VI	62
AOULEF CENTRE 03	83

Tableau 09: Calcul du TH

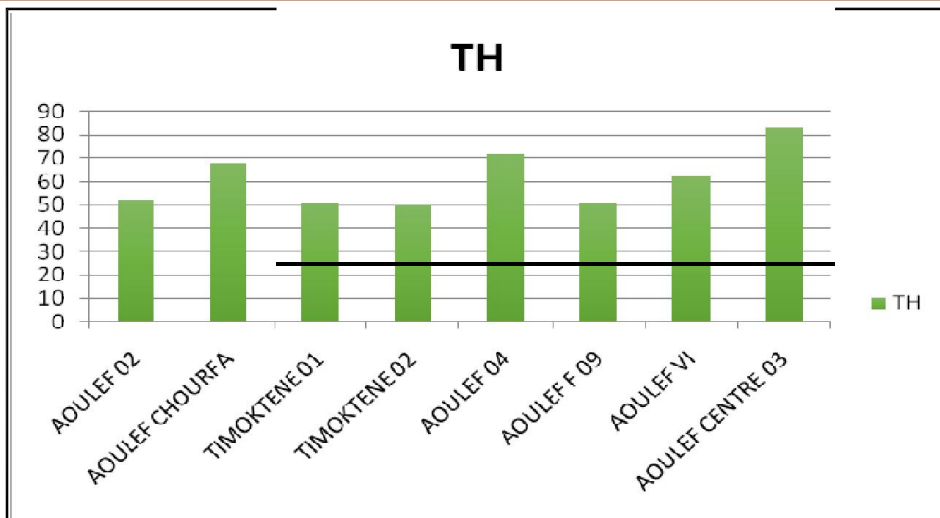


Fig. 15. Variation de La dureté de quelques forages dans la zone d'étude

Les analyses des échantillons montrent que les eaux de la région d'Aoulef, sont plupart des eaux très dures. Pour les eaux de consommation, les normes algériennes indiquent comme bonne qualité une eau dont la dureté est entre 20°F et 50°F. On peut dire que les eaux étudiées du point de vue de la dureté sont impropres aux usages humains à part quelques-unes.

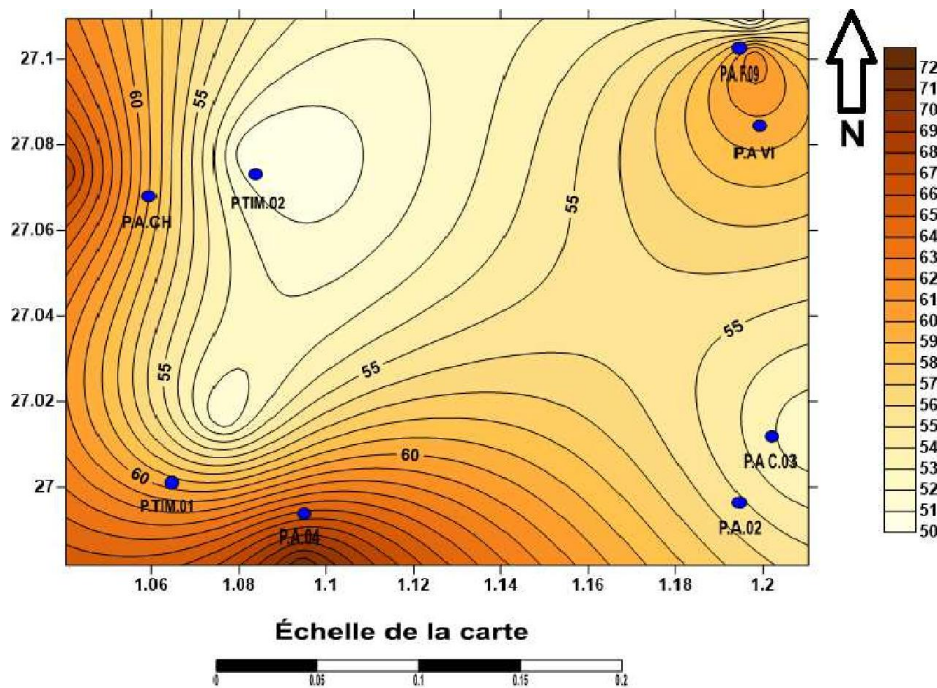


Fig. 14. Carte de La dureté (TH) de Quelques forage dans la région d'Aoulef.

16. Les cations : Les cations analysés sont le calcium, le magnésium, le sodium et le potassium.

L'ion Calcium (Ca²⁺) : Sa présence résulte principalement de l'infiltration des eaux météoriques à travers des formations carbonatées. Soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO₃), soit la dissolution des formations gypseuses (CaSO₄, 2H₂O). D'après la carte d'iso teneur en Calcium, la concentration diminue du Sud vers le Nord c'est due à l'accumulation des eaux et la présence des dépôts gypso-salins contribuant fortement à cette augmentation. L'origine de ces teneurs est certainement liée au lessivage des terrains et des dalles calcaires du Plateau de Tidikelt (sénonien, turonien) et à la dissolution des encroûtements gypso-salins de la dépression du Tidikelt (sebkhas).

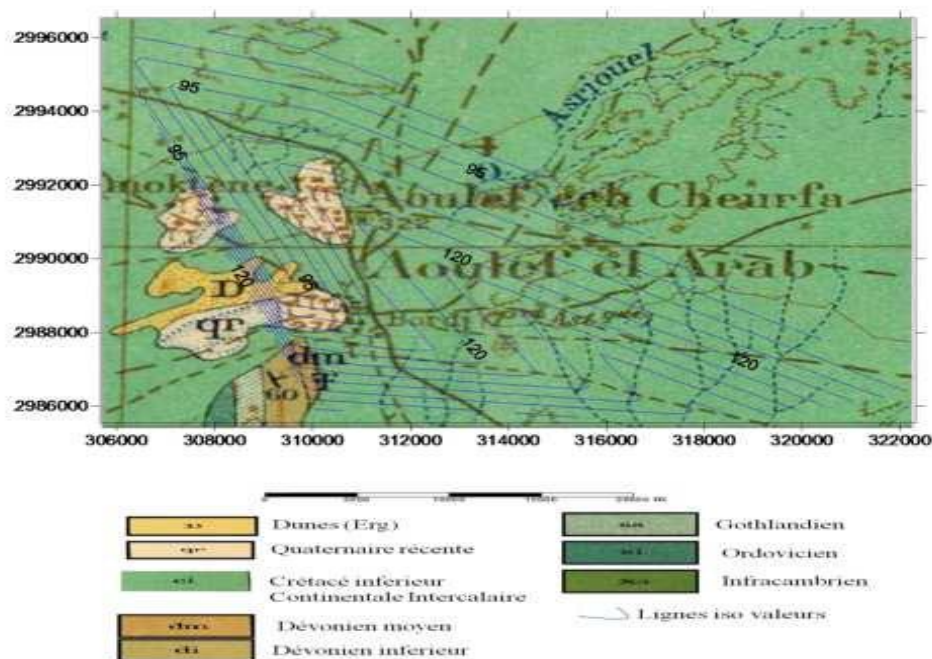


Fig. 14. Carte d'isoteneur de l'ion calcium dans la région d'Aoulef.

L'ion Magnésium (Mg²⁺) : Second élément intervenant dans la dureté totale des eaux, le magnésium est moins abondant que le calcium et le sodium. Il peut avoir deux origines :

- Les calcaires dolomitiques qui libèrent le magnésium par dissolution, en présence du gaz carbonique.
- La dissolution du Mg SO₄ des terrains gypseux du Trias.

D'après la carte d'iso teneur en Magnésium la (Fig. 15) montre que la concentration élevée de magnésium est au S-W de la région.

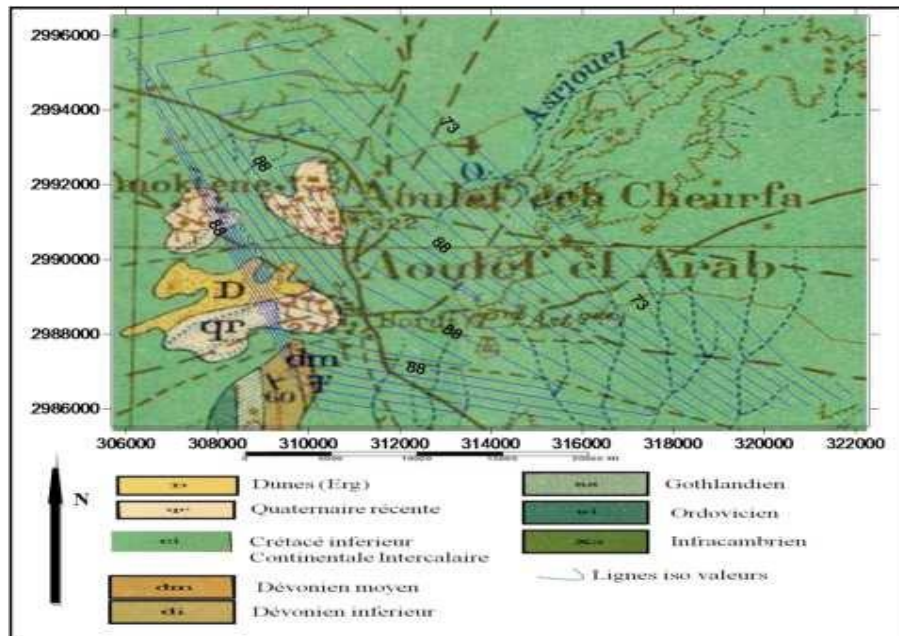
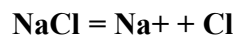


Fig. 15. Carte d'isoteneur de l'ion magnésium dans la région d'Aoulef.

L'ion Sodium (Na⁺) et l'ion Potassium (K⁺) : L'origine du sodium dans les eaux est liée principalement au lessivage des dépôts évaporitiques et ceci par des phénomènes de lessivage, d'évaporation et par échange de base. La dissolution des minéraux salifères se fait selon la relation suivante :



D'après la carte d'iso teneur en sodium et potassium (Fig. 16), les fortes teneurs se localisent dans la partie Sud-ouest de la zone d'étude et au niveau des sebkhas.

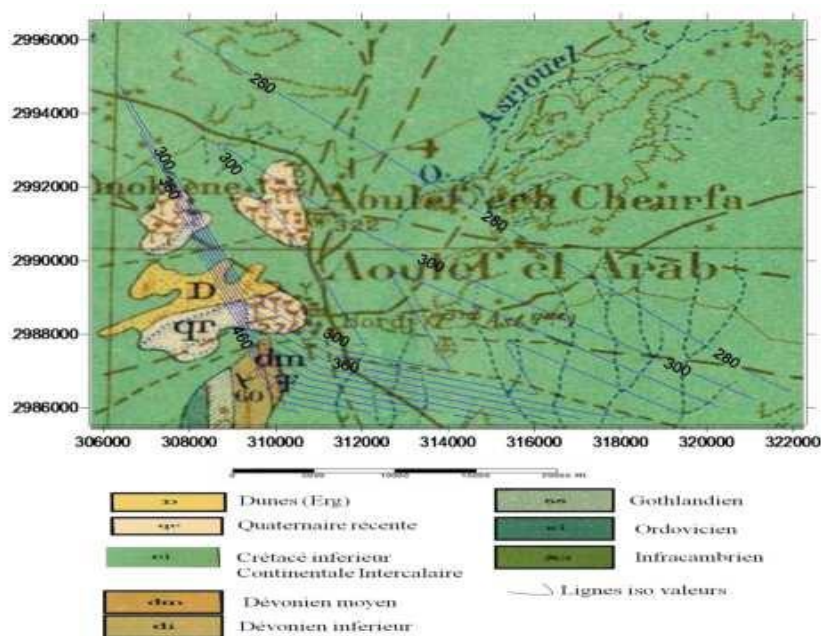


Fig. 16. Carte d'iso teneur de l'ion sodium et potassium dans la région d'Aoulef.

17. Les anions : Les anions analysés sont les chlorures, les sulfates et les bicarbonates :

Les Chlorures (Cl) : Les chlorures possèdent des caractéristiques différentes de celles des autres éléments. Ils ne sont pas adsorbés par les formations géologiques, ne se combinent pas facilement avec les éléments chimiques et restent très mobile. Les chlorures sont présents en grande quantité dans les eaux souterraines qui proviennent de la dissolution et lessivage des terrains salifères. D'après la carte d'iso teneur en chlorures, leur évolution suit la direction inverse d'écoulement des eaux souterraines et les fortes teneurs se localisent au S-W de la région. Leur origine est liée au lessivage des formations évaporitiques gypso-salines et les formations argileuses intercalées dans les formations gréseuses du Crétacé inférieur.

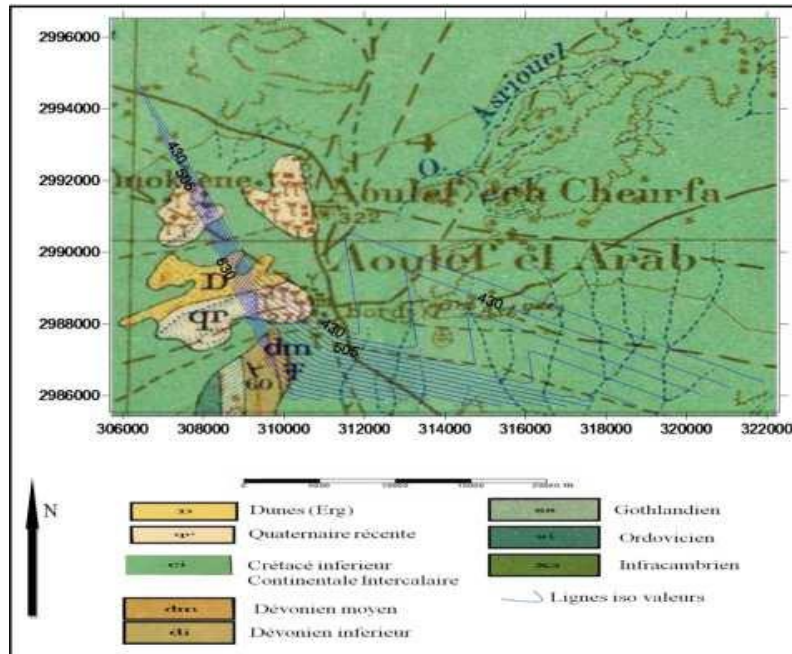


Fig. 17. Carte d'isoteneur de chlorure dans la région d'Aoulef.

Les Sulfates : Les sulfates sont présents dans l'eau en quantités variables. Ils peuvent provenir de:

- la solubilité des formations gypseuses dans le haut bassin versant ou du lessivage des niveaux argileux et marneux de la nappe.
- rejets d'eaux usées et industrielles contenant de l'acide sulfurique (H_2SO_4).
- L'utilisation d'engrais chimiques.

La carte d'iso teneur en sulfates montre que les fortes valeurs caractérisent le centre de la région. L'origine des sulfates dans les eaux est essentiellement liée à la nature lithologique des formations gypseuses, à leur solubilité, et à l'oxydation du soufre présent dans l'atmosphère.

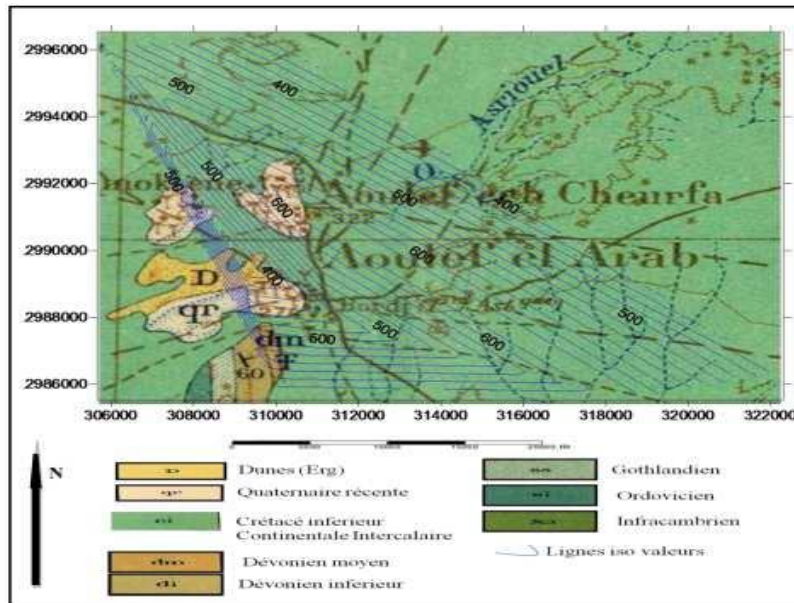
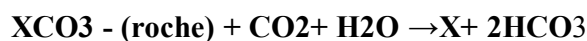


Fig. 18. Carte d'iso teneur de sulfates dans la région d'Aoulef.

Les Hydrogénocarbonates, (Bicarbonates) (HCO₃⁻) :

Les Hydrogénocarbonates sont le résultat de l'équilibre physicochimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique, selon l'équation générale suivante :



La concentration des Hydrogénocarbonates dans l'eau est fonction des paramètres suivants :

- Température de l'eau.
- Tension du CO₂ dissous.
- Concentration de l'eau en sels et nature lithologique des terrains traversés.

L'analyse de la carte d'iso teneur en Hydrogénocarbonates montre une augmentation des teneurs au centre de la région.

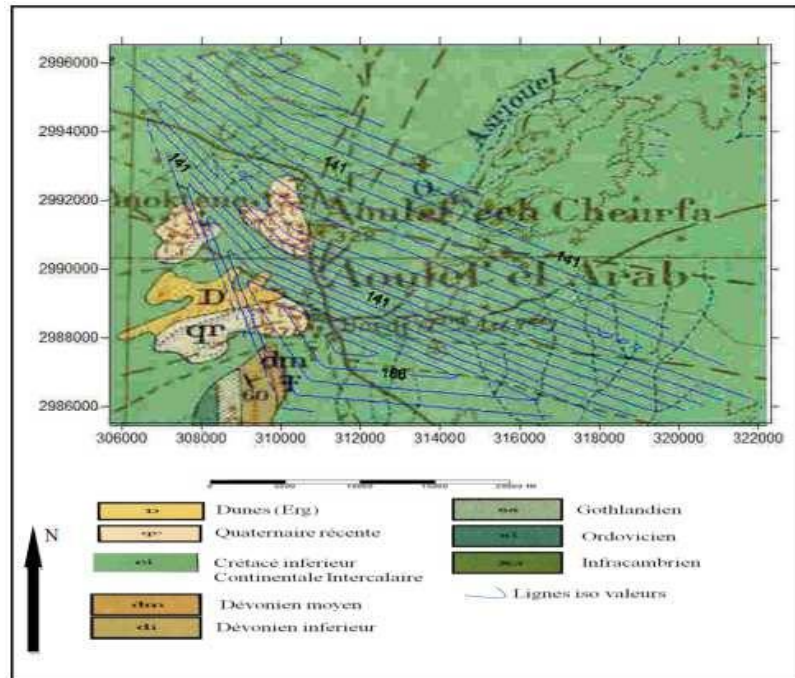


Fig. 19. Carte d'iso teneur des hydrogénocarbonates dans la région d'Aoulef.

Les Nitrates (NO₃) :

Les nitrates représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. Sa présence dans les eaux souterraines est liée, en général à l'utilisation des engrais chimiques utilisé en agriculture et au rejet des eaux usées. La carte d'iso teneur en nitrates montre la zone de concentration qui présente des fortes valeurs de nitrates, elles sont dues aux activités agricoles dans la région et aux rejets des eaux usées.

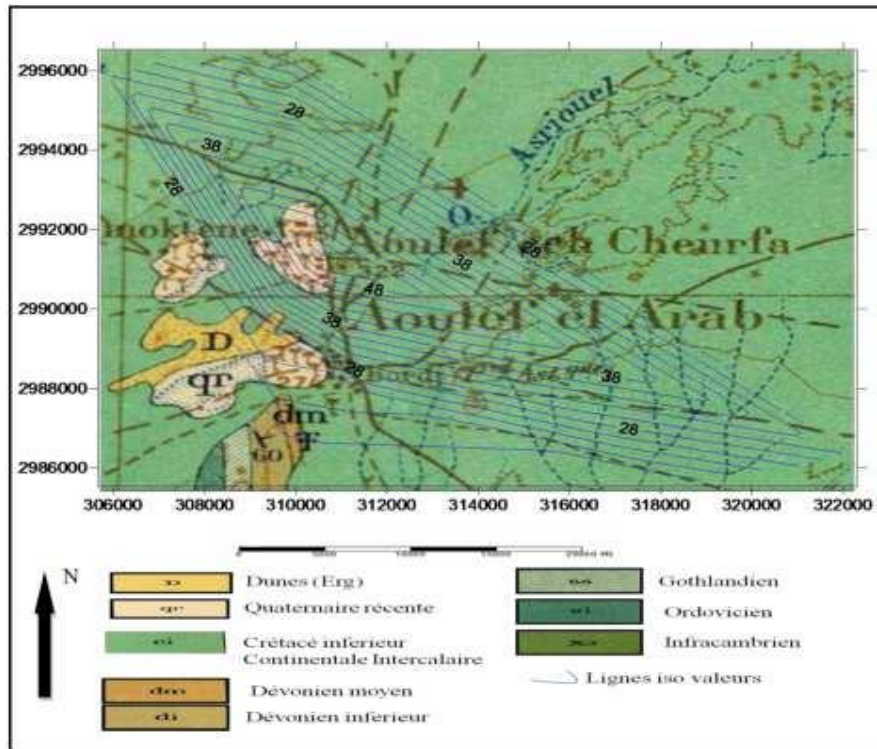


Fig. 20. Carte d'isoteneur de nitrates dans la région d'Aoulef.

Balances ioniques : La qualité des analyses testée par la balance ionique, permet de déterminer le pourcentage d'erreur à l'aide de la relation suivante :

$$e\% = (\sum \text{cations} - \sum \text{anions}) / (\sum \text{cations} + \sum \text{anions}) \times 100$$

- e < 2% Bonne analyse
- 2% < e < 5% Analyse acceptable
- e > 5% Mauvaise analyse

Les résultats d'analyse des eaux montrent un pourcentage d'erreur relativement ≤ 2 pour l'ensemble des échantillons.

Année	Nom de forage	BI	Type d'analysé
2015	AOULEF 02	3	Analyse acceptable
	AOULEF CHOURFA	1	Bonne analyse
	TIMOKTENE 01	1	Bonne analyse
	TIMOKTENE 02	1	Bonne analyse
	AOULEF 04	1	Bonne analyse
	AOULEF F 09	2	Analyse acceptable
	AOULEF VI	1	Bonne analyse
	AOULEF CENTRE 03	1	Bonne analyse

Tableau 10. Les types d'analysé

18. Classification selon les formules caractéristiques des eaux de la nappe :

Nom	Les cations	Les anions	Faciès chimique des eaux
AOULEF 02	$rCa^{2+} < rMg^{2+} < r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} < rNO_3^{-} < rSO_4^{-2} < rCl^{-}$	Chloruré sodique et Potassique
AOULEF CHOURFA	$rCa^{2+} < rMg^{2+} < r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} < rNO_3^{-} < rCl^{-} < rSO_4^{-2}$	Sulfaté sodique
TIMOKTENE 01	$rCa^{2+} < rMg^{2+} < r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} < rNO_3^{-} < rSO_4^{-2} < rCl^{-}$	Chloruré sodique et Potassique
TIMOKTENE 02	$rCa^{2+} < rMg^{2+} < r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} < rNO_3^{-} < rSO_4^{-2} < rCl^{-}$	Chloruré sodique et Potassique
AOULEF 04	$rCa^{2+} < rMg^{2+} < r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} < rNO_3^{-} < rSO_4^{-2} < rCl^{-}$	Chloruré sodique et Potassique
AOULEF F 09	$rCa^{2+} < rMg^{2+} < r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} < rNO_3^{-} < rSO_4^{-2} < rCl^{-}$	Chloruré sodique et Potassique
AOULEF VI	$rCa^{2+} < rMg^{2+} < r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} < rNO_3^{-} < rSO_4^{-2} < rCl^{-}$	Chloruré sodique et Potassique
AOULEF CENTRE 03	$rCa^{2+} < rMg^{2+} < r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} < rNO_3^{-} < rSO_4^{-2} < rCl^{-}$	Chloruré sodique et Potassique

Tableau 11. Formule et faciès chimique des eaux de la nappe du continental intercalaire

Les résultats des analyses des eaux des forages de la région d'étude montrent que deux faciès hydro-chimiques sont dominants dans toute la région, le sulfaté sodique et le chloruré sodique.

19. Diagramme de Piper :

Le diagramme de Piper est celui qui présente le plus grand intérêt et qui est de ce fait le plus utilisé. Il est composé de deux triangles représentant la répartition des anions et celle des cations, respectivement, et d'un losange représentant la répartition synthétique des ions majeurs. Ce diagramme permet de catégoriser le faciès chimique d'une eau et d'étudier l'évolution spatiotemporelle du chimisme d'une eau ou d'un aquifère. La (Fig. 21) montre que le regroupement des points est en majeure partie sur les losanges des familles :

- Chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique 87,5%.
- Chloruré et sulfaté calcique et magnésien 12,5%.

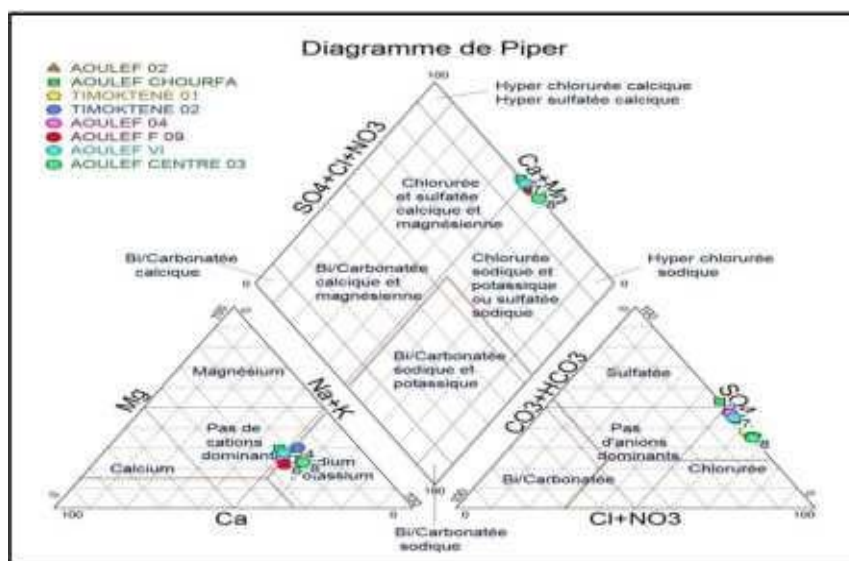


Fig. 21. Représentation graphique des eaux du CI sur le diagramme de PIPER.

20. Diagramme de Schoeller-Berkalof :

Ce diagramme donne la minéralisation, en se basant sur des axes verticaux gradués selon une échelle logarithmique. Les teneurs exprimées en mg/L sont reportées sur les axes, puis reliées par des droites. Soit 87,5% des échantillons présentent un faciès chloruré sodique et potassique, et 12,5% des échantillons présentent un faciès sulfaté sodique et potassique. Les différentes analyses sont représentées dans les (fig 22)

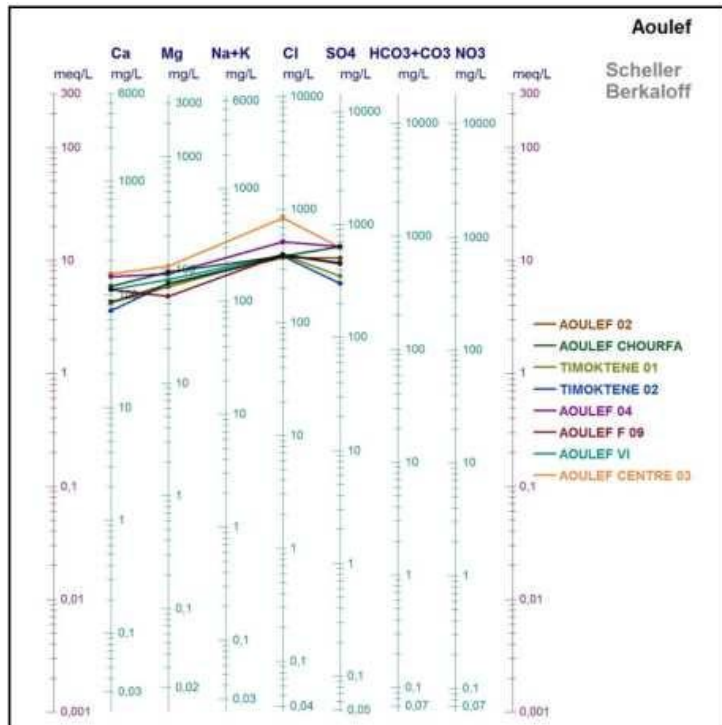


Fig. 22. Représentation graphique des eaux du CI.

CHAPITRE III
RESULTATS ET DISCUSSIONS

Après les analyses des eaux on obtient les résultats des analyses physico-chimiques des sols et des eaux

Nom de Forage	PH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Ca^{2+} (mg/L)	mg^{+2} (mg/L)	Na^+ (mg/L)	k^+ (mg/L)	cl^- (mg/L)	So^{2-4} (mg/L)	No^{-3} (mg/L)	Potabilité
Normes	6,5-8,5	2880	200	150	200	20	500	400	50	
TIMOKTENE 01	7	2270	86	75	250	44	380	500	29	non potable
AOULEF CHORFA	7.04	2650	119	96	278	26.5	388	640	53	non potable
Timokten BIS 1	7.55	2260	85	71.28	260	23	400	350	26	non potable
INNER 01	7.6	2130	72.2	76.56	240	25	390	300	18	non potable
OULEF CHOURFA	7.53	2980	143	92	339	25	520	640	18	non potable
Aoulef 6	7.66	2120	110	59	260	18	400	450	30	non potable
Aoulef 2	7.52	2430	110.6	81.72	270	25	400	460	23	non potable
AOULEF CENTRE 03	7.63	4100	151.2	108.12	500	35	850	625	18	non potable

Tableau 1. Les paramètres des qualités des eaux.

Les normes Algériens de potabilité

Paramètres	Concentration maximale admissible
PH	6.5 - 8.5
Conductivité(CE). $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20°C	2880
Résidu sec. mg/L après séchage à 180°C	2000
Dureté Totale(TH) .mg/L de CaCO_3	500
Calcium (Ca^+) .mg/L	200
Magnésium (Mg). mg/L	150
Sodium (Na^+). mg/L	200
Potassium (k^+) .mg/L	20
Sulfates (So^{-4}) .mg/L	400
Chlorures (cl^-) .mg/L	500
Nitrates (No^{-3}). mg/L	50
Nitrites (No^{-2}). mg/L	0.1

Calcium (Ca^+) :

Les résultats chimiques de l'analyse de l'eau dans certains puits indiqués sur la figure ... représentent la quantité de calcium dans l'eau par rapport aux normes légales pour l'eau 200mg/l Lorsque la quantité minimale est de 72,2 mg/l et la plus grande quantité est de 151,2 mg/l par rapport aux normes d'eau potable sont dans le niveau. 200 mg/l. c'est due à l'accumulation des eaux et la présence des dépôts gypso-salins contribuant fortement à cette augmentation. L'origine de ces teneurs est certainement liée au lessivage des terrains et des dalles calcaires du Plateau de Tidikelt (sénonien, turonien) et la dissolution des encroûtements gypso-salins de la dépression du Tidikelt (sebkhas).

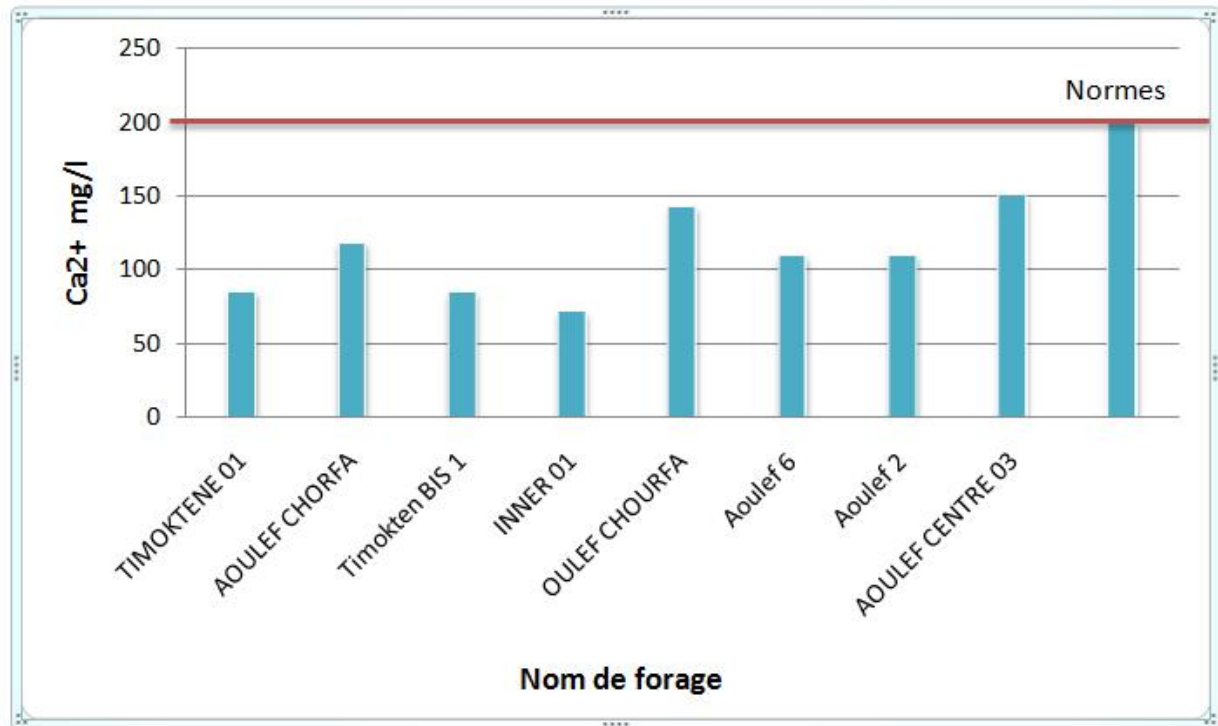


Fig.23. Graphique des résultats de quantité en calcium de l'eau pour certains puits d'Aoulef

Magnésium(Mg):

Les valeurs de magnésium indiquées sur la figure sont les résultats de l'analyse chimique de certains puits par rapport aux normes nationales, où les valeurs sont limitées entre 59mg/l et 108,12mg/l par rapport aux normes du magnésium 150mg/l . Second élément intervenant dans la dureté totale des eaux, le magnésium est moins abondant que le calcium et le sodium.

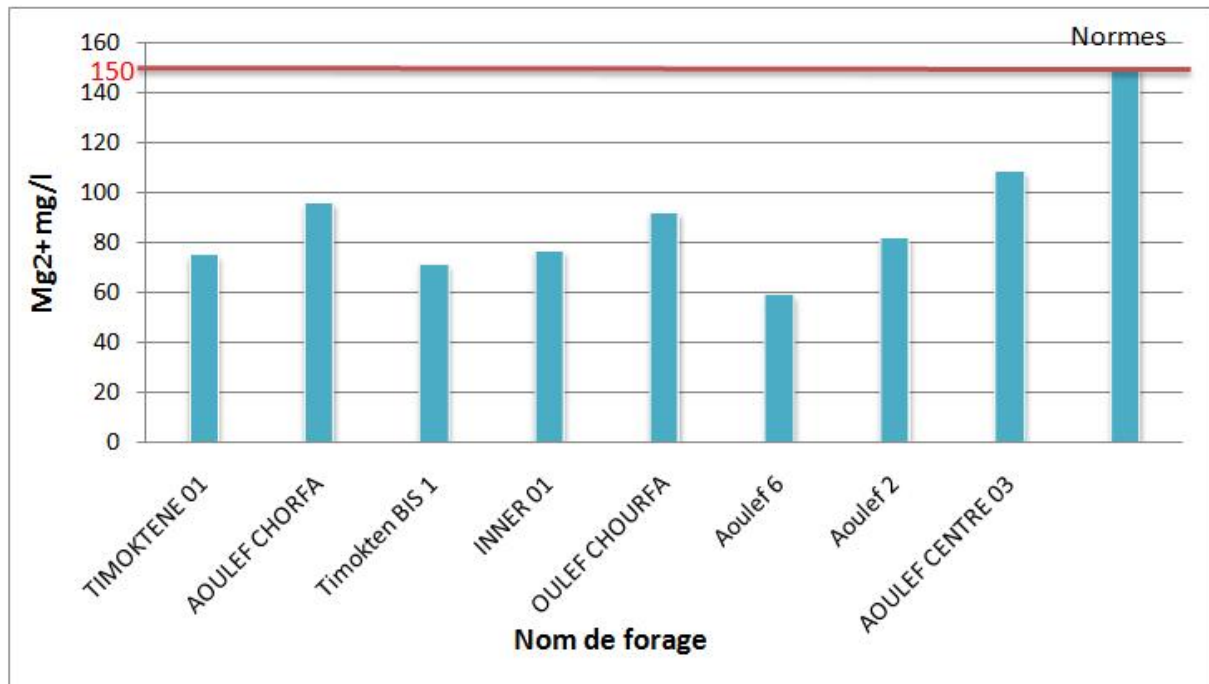


Fig.24. Diagramme des valeurs de magnésium de l'eau pour certains forages dans une zone Aoulef

Sodium (Na⁺). mg/L :

Ici, dans le cas du sodium, nous trouvons toutes les valeurs au-dessus du seuil potabilités, Valeurs illustrées entre 240mg/l et 500mg/l dépassant 200mg/l normes Montré dans Fig 25. L'origine du sodium dans l'eau est principalement liée au lavage des sédiments L'évaporation et cela se fait par le phénomène de filtration, d'évaporation et d'échange de base. Ce qui signifie qu'une augmentation de l'eau en renvoie l'origine de la roche évaporée ou fondue (sebkhas).

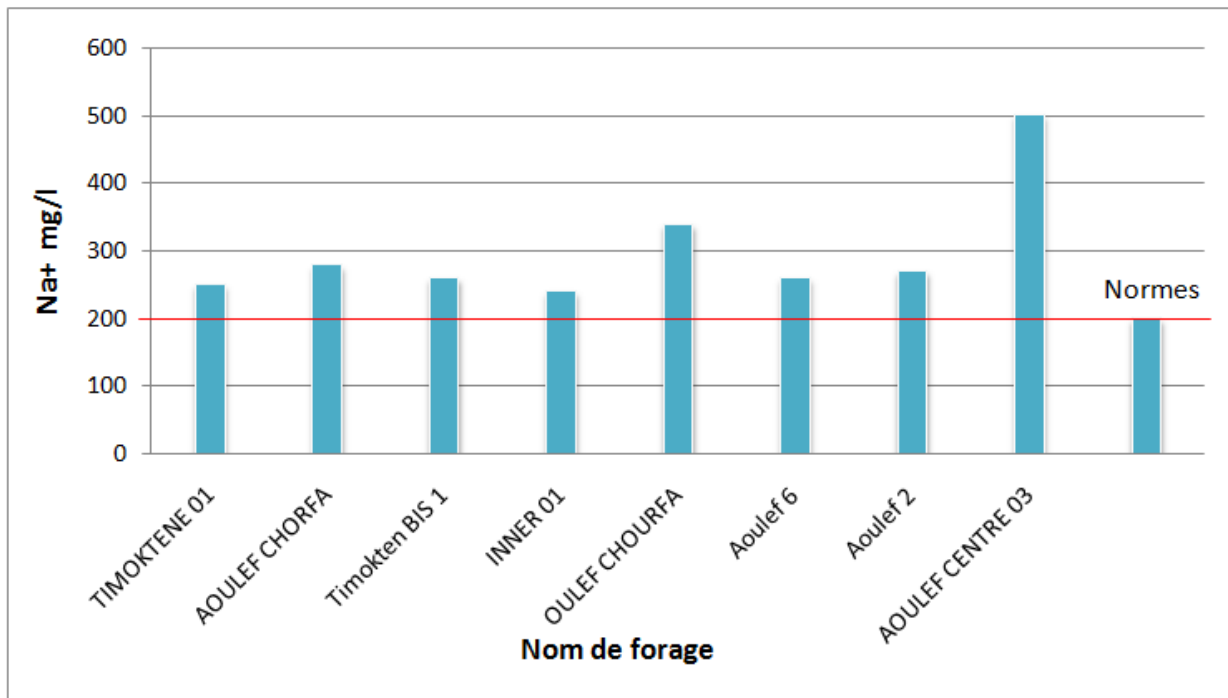


Fig .25. Un graphique des valeurs de Na⁺ dans l'eau pour certains puits de la zone étudiée

Potassium k⁺ :

Les valeurs de potassium varient entre 18 mg / l et 44 mg / l. On note une augmentation des valeurs de potassium dépassant la norme 20 m / l dans chacun des puits sauf Aoulef 06 selon la norme 18mg/l fig26. -Le potassium a les mêmes propriétés que le sodium et la même source est un ajout qui peut provenir des plantes et de l'irrigation de surface

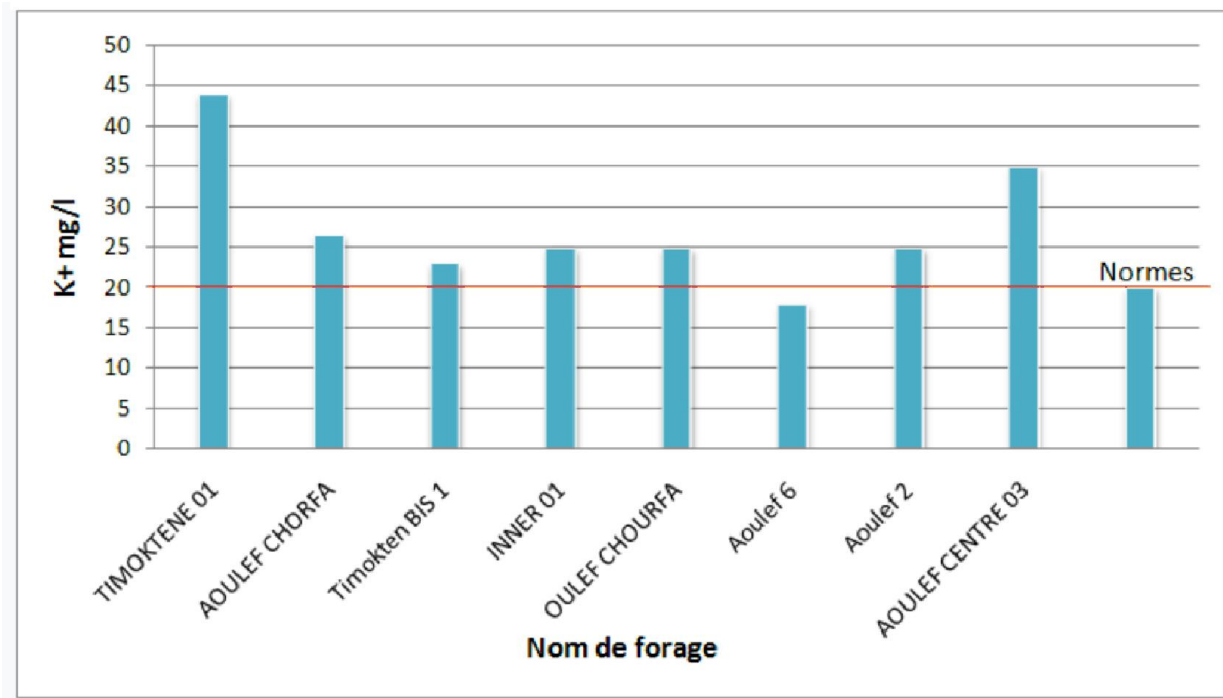


Fig. 26. Un graphique des valeurs k + dans l'eau pour certains puits de la zone étudiée

Chlorure Cl- :

Les valeurs de chlore dans les puits d'eau varient de 380mg/l à 580mg/l, ce qui dépasse les normes de 500mg/l dans les deux puits OULEF CHOURFA 520mg/l et AOULEF CENTRE03 580mg/l Fig27. Les chlorures possèdent des caractéristiques différentes de celles des autres éléments. Ils ne sont pas adsorbés par les formations géologiques, ne se combinent pas facilement avec les éléments chimiques et restent très mobile. Les chlorures sont présents en grande quantité dans les eaux souterraines qui proviennent de la dissolution et lessivage des terrains salifères. L'origine des chlorures est liée au lavage des formations évaporatoires salines de gypse Formations d'argile entrecoupées de formations de grès de la période du Crétacé inférieur.

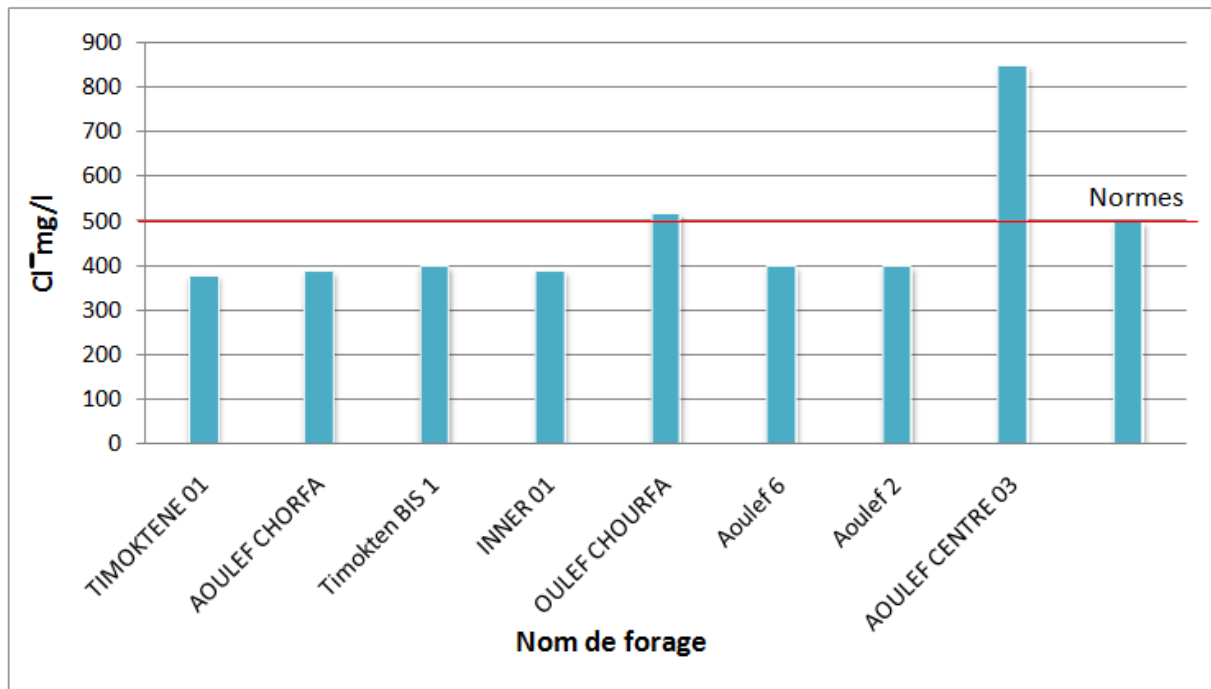


Fig. 27. Un graphique des valeurs cl^- dans l'eau pour certains puits de la zone étudiée

Les Sulfates (SO₄) :

Les valeurs de sulfates dans les puits d'eau sont limitées entre 300 et 640, la plupart des puits dépassant les normes de 500 à deux puits Timokten BIS 1 350mg/l et INNER 01 300mg/l Fig28. L'augmentation de la quantité de sulfates dans l'eau est due à l'abondance de ses sources dans la région, qui sont:

- La solubilité des formations gypseuses dans le haut bassin versant ou du lessivage des niveaux argileux et marneux de la nappe.
- Les rejets d'eaux usées et industrielles contenant de l'acide sulfurique (H₂SO₄).
- L'utilisation d'engrais chimiques.

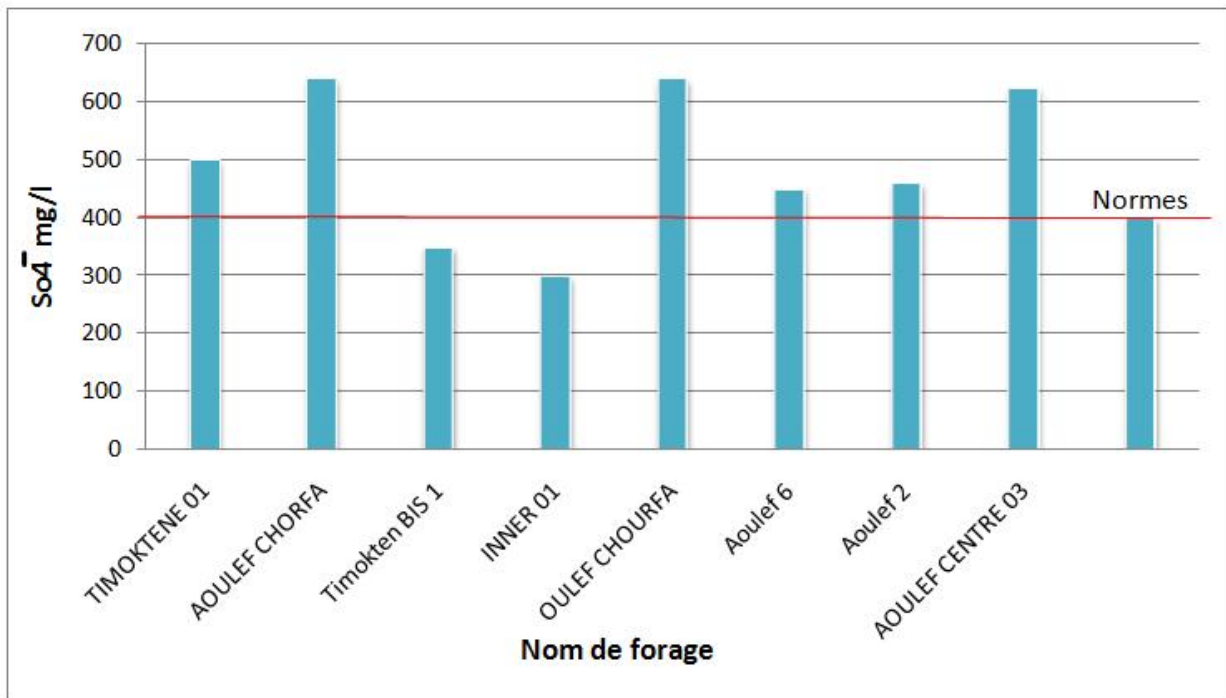


Fig.28. Un graphique des valeurs So4 dans l'eau pour certains puits de la zone étudiée

Les Nitrates (NO^{-3})

Avec un ratio de nitrates, dont les valeurs sont limitées aux résultats d'analyse de l'eau, les puits se situent entre 18mg/l et 53mg/l, alors que les normes ne dépassent pas 50mg/l sauf un puits AOULEF CHORFA 53mg/l .fig29. Les nitrates représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. Sa présence dans les eaux souterraines est liée, en général à l'utilisation des engrais chimiques utilisé en agriculture et au rejet des eaux usées. Les preuves de l'augmentation des nitrates se réfèrent aux différentes activités humaines, y compris les cultures et les déchets industriels, qu'ils soient ou non .

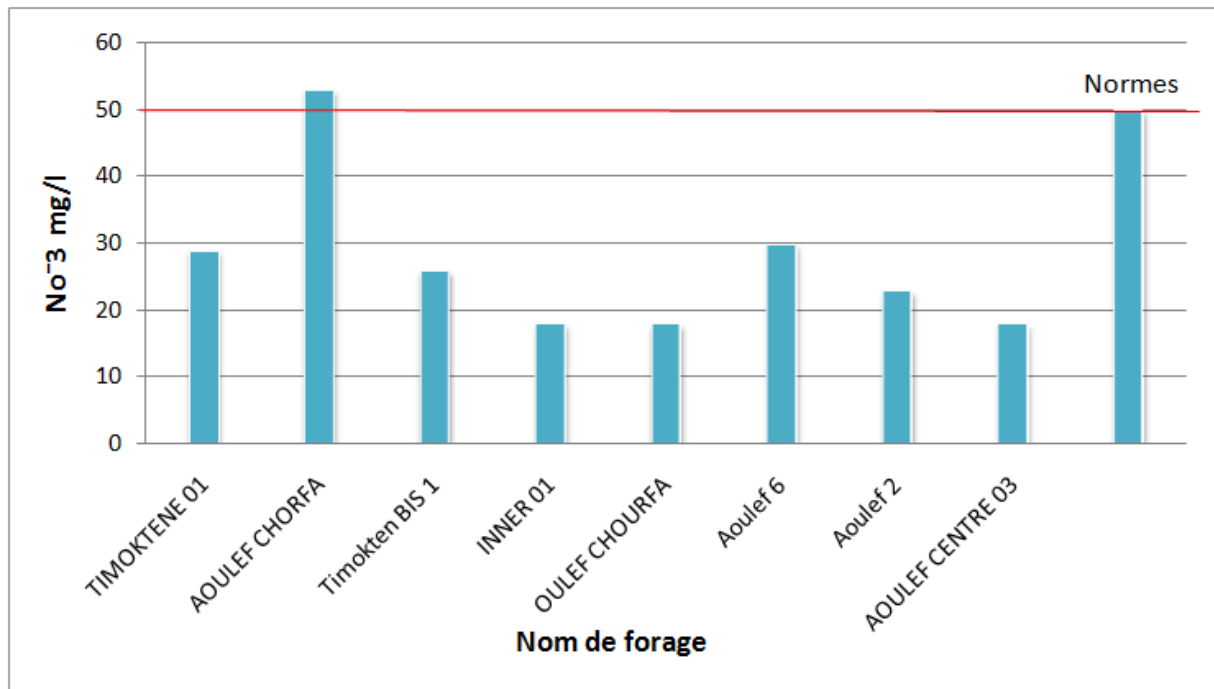


Fig.29. Un graphique des valeurs No³ dans l'eau pour certains puits de la zone étudiée

Conductivité électrique(CE) :

La mesure de la valeur de conductivité électrique dans certains puits nous a donné les résultats suivants illustrés dans la figure 30. Les valeurs CE varient entre 2120 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) et 4100 ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Il y a au moins deux puits au-dessus des normes 2880, qui sont OULEF CHOURFA 2980 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) et AOULEF CENTRE 03 4100 ($\mu\text{S}/\text{cm}$). L'eau pure n'est pas conductrice d'électricité, car la conductivité de l'eau augmente avec l'augmentation de la présence de solides dissous dans l'eau (sels). Par conséquent, la conductivité électrique de l'eau est un indicateur de la quantité de substances dissoutes et d'électrolytes à l'intérieur de l'eau et c'est donc un indicateur très important pour connaître la pureté et la qualité de l'eau, Par conséquent, augmenter la conductivité de l'eau signifie une augmentation de la rotation, ce qui conduit à l'eau minérale

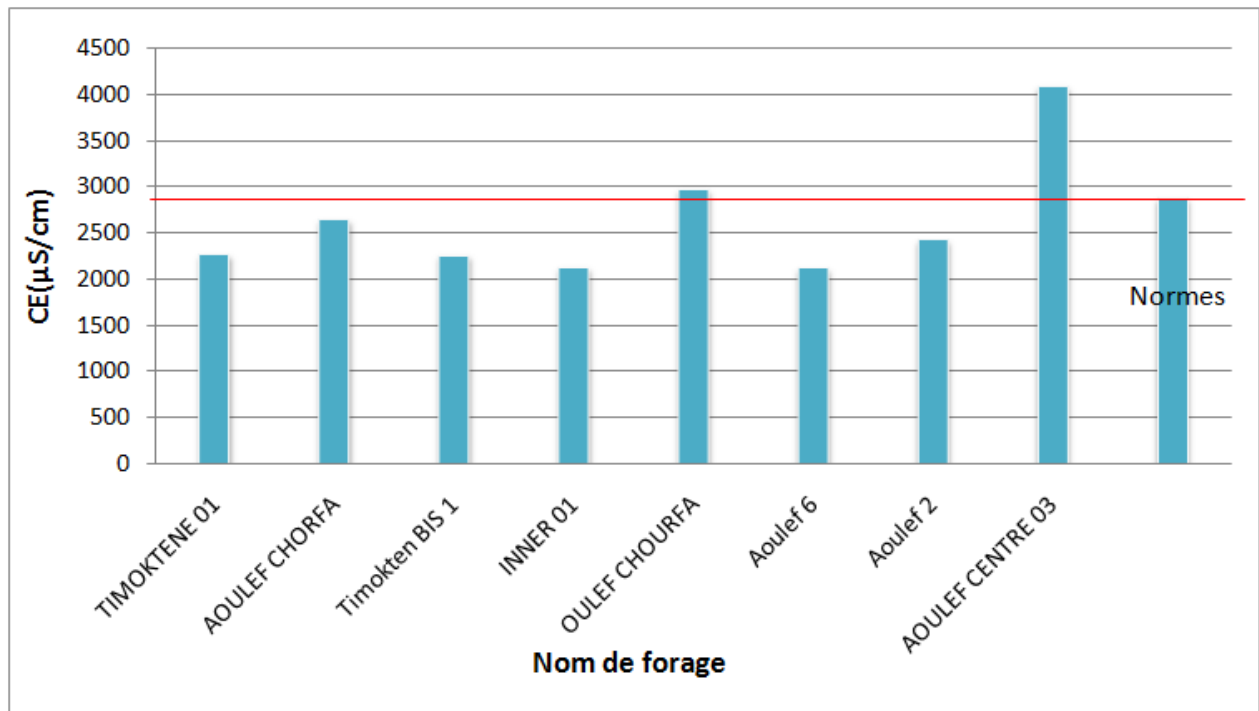


Fig.30 :Évolution des valeurs de conductivité dans certains puits de la zone d'étude

PH :

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure l'activité en ions H_3O^+ d de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14. Ce paramètre se mesure par un pH-mètre . Il conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de facteurs multiples dont la température et l'origine de l'eau. Le pH des eaux est compris entre 6,13 et 8,14, à noter que les eaux sont légèrement alcalines Les valeurs de pH dans les puits sont des valeurs entre 7 à 7.63 dans les limites des normes PH (6.5 8.5 –) .

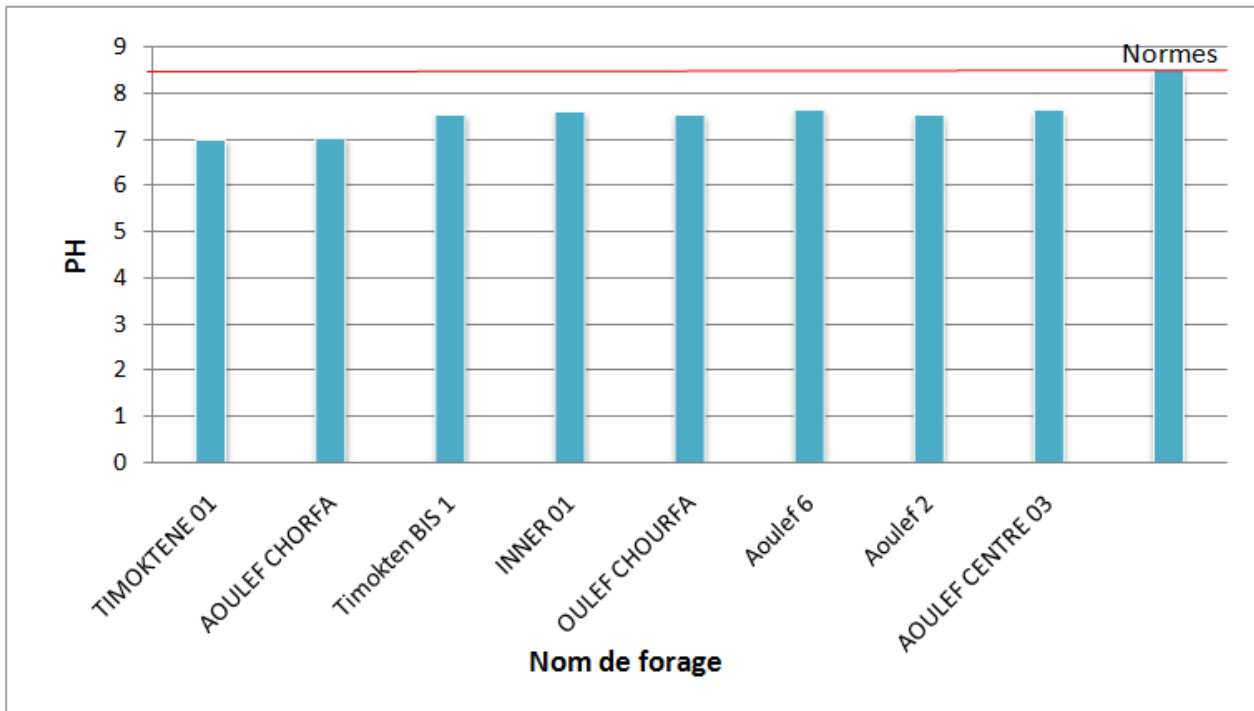


Fig.31 :Valeurs PH dans certains puits de la zone d'étude

CONCLUSION
GENERALE

Dans l'étude géologique de la zone, nous remarquons que la région d'aoulef est située dans la région de Tadikelt, qui est entourée de bassins (N. l'Ahnet-Mouydir .S. Crétacée du Tademaït.ES. Tidikelt oriental.OU. Touat). Sous le Continental Intercalaire. En termes de strates rocheuses, elles sont constituées de contributions irrégulières de (argile, grès, sable). Sur le côté, l'âge tectonique du Crétacé domine la région. L'étude hydrogéologique permet de connaître la quantité d'eau souterraine et de surface, ainsi que la direction de l'eau. Carte des épaisseurs de C.I Ses informations nous aident à connaître l'épaisseur de l'aquifère de la zone et comment il peut nous fournir de l'eau potable. et la carte piézométrique Il montre également la vitesse et la vitesse de l'eau, tout en déterminant la distance de l'eau à la surface.

Continental Intercalaire joue un rôle majeur dans l'hydrogéologie de la zone car elle contient un grand réservoir d'eau. L'aquifère est constitué de sable et d'argiles sableuses et granulaires. C'est la composition du Continental Intercalaire l'hydrogéologie de la région. D'un côté le climat du zone étude. La pluviométrie est très faible et irrégulière, de l'ordre de la dizaine de mm par an, elle reste sans signification face à l'intense évaporation à laquelle est soumise la région.

Les températures sont très élevées, la moyenne annuelle est de 25°C. Les précipitations annuelles sont très faibles, de l'ordre de 14 mm un climat chaud et sec favorise la croissance de plantes épineuses (palmiers, cactus, figes de Barbarie, etc...). L'étude chimique de l'eau permet de connaître la qualité, la qualité, les propriétés de l'eau et même le lieu de son accumulation, car elle contient des éléments chimiques traçables, son âge et quelques autres propriétés.

Après avoir étudié les analyses chimiques et physiques de l'eau de la zone, nous concluons des résultats suivants :

Les faciès chimiques caractérisent les eaux de la région d'étude ; un faciès prédominant : le faciès chloruré-sodique et les autres faciès ; sulfaté-sodique, chloruré-calcique et sulfaté-calcique et Magnésium. Plusieurs facteurs ont conduit à la minéralisation des eaux souterraines De C I:

Pollution rocheuse des terres géologiques ; la région et surtout les terres du Crétacé inférieur (grès, boue, ...).

Nomination et dissolution de la super-Terre à l'échelle régionale (Calcaire sénoman, terres calcaires marnes turuniennes, Lacs du Cinnonien inférieur, sol carbonaté du Sénonien supérieur, Carbonates et évaporites des terres quaternaires de l'Éocène et du Mioblio).

L'infiltration directe et indirecte surtout au niveau des zones d'alimentation (piémonts du l'Atlas Saharien, Plateau du Tademaït) qui traverse ces formations géologiques, Où :

- les terrains calcaires chargent les eaux par les ions Ca^{2+} , HCO_3^- , par la dissolution. Ce qui est confirmé par les cartes d'isoteneur en minéraux. les terrains salifères et gypsifères riches en gypses et en sels, chargent les eaux en ions Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , SO_4^{2-} .

-L'utilisation des engrais chimiques dans l'agriculture, comme fertilisants, augmente les concentrations en éléments de NO₃ -La plupart de l'eau d'Olaf n'est pas potable selon la norme.

REFERENCES

- [1] : ABELLAH B. et DJAAFRI M., (2002). Etude hydrogéologique de la région d'Aoulef (Tidikelt Occidental), Mémoire d'ingénieur d'état, uni. Oran.
- [2] : ANRH d'Adrar 2002. Annexe des foggaras du Tidikelt. Différentes type de foggaras. (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques).
- [3] : ANRH. Des forages (1998) et foggaras (2011) de la région du Tidikelt.
- [4] : BENHAMZA M., (2011). Aperçu hydrogéologique et hydrochimique sur le système de captage traditionnel des eaux souterraines « foggara » dans la région d'Adrar, Mémoire Magister, U. B. M. Annaba, 130 p.
- [5] : CAPITAINE LÔ. 1957. - « Les foggaras du Tidikelt ». Pp 139 – 179.
- [6] : CASTAGNY G., 1982. Principes et méthodes de l'hydrogéologie, Dunod-Université.
- [7] : CORNAD 1969. L'évolution continentale post-hercynienne du Sahara algérien.
- [8] : CORNET A. (1964). Introduction à l'hydrogéologie saharienne ; Rev. de géogr. phys. et de géol. dyn. (2), vol. VI, fasc.1 ; 5-72.
- [9] : DUBIEF J., (1953). Essai Sur L'hydrologie Superficielle Au Saharien, direction du service de la colonisation et de l'hydraulique service des études scientifiques.
- [10] : ONM (2015). Données climatiques (Station météorologique d aoulef).
- [11] : OSS (2003b) : Système Aquifère du Sahara Septentrional. Volume 4 : Modèle Mathématique. Projet SASS ; Rapport interne. Annexes. Tunis, Tunisie. 229p.
- [12] : SONATRACH-BHP-PETROLEUM, (1995) : Conventions d'étude sur les bassins de Reggane et de l'Ahnet. - Rapport interne, inédit.
- [13] : TURC L., (1955). Le bilan d'eau des sols. Relations entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement. Ann. Agr. 6, 5-131

- [14] : UNESCO, (1972). Étude des ressources en eau du Sahara septentrional. Plaquette 5. Utilisation des modèles pour l'établissement des programmes d'exploitation. 340p
- [15] : <https://planificateur.a-contrasens.net/afrique/algerie/adrar/aoulef/2506795.html>