

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ ABOU BEKR BELKAID DE TLEMCEM



FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET
SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS
DÉPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

Mémoire de fin d'études
Présenté pour l'obtention du grade
De Master Académique
Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers
Filière : Géologie
Option : Hydrogéologie

Par
Chair Abdelkader et **Sahraoui Ahmed**
Intitulé

CONTRIBUTION A L'ETUDE HYDROGEOLOGIQUE ET HYDROCHIMIQUE DU
SYNCLINAL KOUDIAT ABDELHAK-REDJIMAT (REGION D'ASLA)
MONTS DES KSOUR (ATLAS SAHARIEN OCCIDENTAL, ALGERIE)

Soutenu le : 05/11/2020 devant le jury composé de :

| | |
|--|--------------|
| M ^{er} Benchouk M. : Maître assistant Université de Tlemcen | Président |
| M ^{er} Rahmani A. : Maître de conférences Université de Naâma | Encadreur |
| M ^{er} Kacemi A. : Maître de conférences Université de Tlemcen | Co-Encadreur |
| M ^{er} Boudjemâa A. : Maître de conférences Université de Tlemcen | Examineur |

Année académique : 2019-2020

Dédicaces

Je dédie ce travail :

-A la femme qui m'a porté toute ma vie et qui m'a enveloppé de gentillesse. A la femme la plus extraordinaire et la plus douce du monde. Mère, je t'exprime mon profond amour.

-A mon père et je lui exprime mon profond respect.

-A mes chers frères : Hamza et sa femme Fatima, Boumediene et sa femme Souhila, Noureddine, Rahime.

-A mes sœurs : Fouzia, Fatna, Souad.

-A tous mes amis (es) surtout: Tayeb, Samed, Mustapha, Mohamed, Kamel, Ibrahim, Kader, Ahmed, Abdellah, Lakhdar, Chawi et sa femme Fatima.

-A toute la promotion 2^{ème} Année Master Hydrogéologie 2019-2020.

A tous ceux que je porte dans mon cœur sans exception.

Chair Abdelkader

Dédicaces

Sahraoui Ahmed

Remerciements

Avant d'exposer ce modeste travail, je tiens d'abord à remercier très sincèrement tous les enseignants du Département des Sciences de la Terre pour les connaissances qu'ils nous ont apportées pendant toute la durée de notre formation en géologie et en hydrogéologie.

L'idée de cette étude revient à notre encadreur, Monsieur Rahmani. A, Docteur en hydrogéologie, à l'université de Naâma, on tient à lui exprimer nos profondes gratitudes pour ces orientations, qui a accepté de diriger ce travail, on le remercie également pour nous avoir consacré son temps et nous a fait profiter de ces judicieux conseils

On a la satisfaction d'exprimer notre plus profonde gratitude à notre deuxième promoteur Monsieur Kacemi A., qui a accepté de codiriger ce travail, on le remercie également de nous avoir consacré son temps et nous a fait profiter de ces judicieux conseils.

On adresse nos remerciements à Monsieur Benchouk M., Maître-assistant. Université de Tlemcen, d'avoir honoré de sa présence la présidence du jury.

On remercie également Monsieur .Boudjema A., maître de conférences, Université de Tlemcen d'avoir bien voulu examiner ce travail.

On remercie chaleureusement Madame Guettaia .S, maître de conférences Université de Tlemcen, qui nous a aidés et nous a donné le courage de reprendre les études de nouveau.

Nos sincères gratitudes aussi à nos collègues de D.R.E Naâma (Direction des ressources en eau Naâma).

Enfin, on remercie toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Résumé

Notre étude concerne le secteur de Koudiat Abdelhak – Redjimat situé dans la région d'Asla, à l'Est de Ain Séfra.

La nappe des grès du Crétacé inférieur du synclinal de Koudiat Abdelhak qui fait partie des Monts des Ksour (Atlas Saharien occidental), alimente les habitants ainsi que les périmètres agricoles de la région d'Asla.

En raison de l'intérêt et de l'importance de l'aquifère Crétacé inférieur ; des études hydrogéologique et hydrochimique ont été faites.

L'étude piézométrique menée, présente un écoulement souterrain global se fait de l'Ouest à l'Est des eaux de cette nappe.

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées, ont montré que les eaux de cette nappe sont admissible et médiocre pour l'irrigation et présente une potabilité acceptable à la consommation humaine.

Mots clé : Synclinal de Koudiat Abdelhak– Redjimat, Asla, Grès, Crétacé inférieur, Hydrogéologie, Hydrochimie.

Abstract

Our study concerns the sector of Koudiat Abdelhak-Redjimat located in the region of Asla, east of Ain Sefra.

The inferior cretaceous sandstone water table of the Koudiat Abdelhak syncline, which is part of the Ksour Mountains (Western Saharan Atlas), supplies the inhabitants as well as the agricultural perimeters of the Asla region.

Due to the interest and importance of the inferior cretaceous aquifer; hydrogeological and hydrochemical studies have been made.

The piezometric study carried out, shows an overall underground flow is from West to East of the waters of this water table.

The results of the physicochemical analyzes carried out have shown that the waters of this water table are admissible and poor for irrigation and acceptable potability for human consumption.

Keywords: Syncline of Koudiat Abdelhak– Redjimat, Asla, Sandstone, Inferior cretaceous, Hydrogeology, Hydrochemistry.

Sommaire :



Pages

| | |
|---|----|
| Dédicaces | 01 |
| Remerciements | 02 |
| Résumé | 03 |
| Sommaire | 04 |
| | |
| Introduction générale et objet de l'étude | 07 |
| | |
| PARTIE I : CONSIDERATIONS GENERALES ET CLIMATOLOGIE | |
| | |
| I- Présentation du domaine de l'étude | 10 |
| II- Situation géographique du secteur d'étude | 12 |
| III-Réseau hydrographique | 13 |
| IV-Climatologie. | 15 |
| IV-1-Introduction. | 15 |
| IV-2- Etude des précipitations. | 15 |
| 1- Précipitation annuelle. | 15 |
| 2- Coefficient d'irrégularité du régime des précipitations. | 16 |
| 3- Répartition des précipitations moyennes mensuelles. | 16 |
| 4- Répartition des précipitations saisonnières | 16 |
| IV-3- Etude des températures. | 17 |
| 1- Les moyennes mensuelles. | 17 |
| 2- Les moyennes annuelles. | 18 |
| IV-4- Etude du climat. | 19 |
| IV-4-1-Méthodes de visualisation. | 19 |
| a- Courbe pluviothermique. | 19 |
| b- Courbe ombrothermique | 20 |
| IV-4-2- Les indices climatiques. | 20 |
| 1- indice d'aridité de De. Martonne | 20 |
| a- Indice d'aridité annuel de De. Martonne. | 20 |
| b- Indice d'aridité mensuel de De. Martonne. | 21 |
| 2- Les indices de Moral. | 22 |
| a- Indice annuel de Moral. | 22 |
| b- Indice mensuel de Moral. | 22 |
| 3- Indice climatique d'Emberger. | 23 |
| 4- Indice de Stewart. | 24 |

| | |
|--|----|
| 5- Indice de continentalité de Kerner. | 25 |
| VI-5- Evaporation et déficit d'écoulement. | 25 |
| 1- L'évapotranspiration réelle. | 26 |
| 2- L'évapotranspiration potentielle (ETP). | 26 |
| 3- Déficit d'écoulement. | 27 |
| IV-6- Bilan hydrologique. | 28 |
| -Eléments du bilan. | 28 |
| - Détermination des éléments du bilan. | 28 |
| a- Apports. | 28 |
| b- Ruissellement. | 28 |
| c- Déficit d'écoulement. | 28 |
| d- Infiltration. | 28 |
| IV-7- Conclusion. | 29 |

PARTIE I : GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE

| | |
|--|----|
| I-Aperçu géologique | 31 |
| I-1- Stratigraphie | 31 |
| I-1-1- Le trias | 32 |
| I-1-2- Le jurassique | 32 |
| • Le dogger. | 32 |
| • Le malm. | 33 |
| I-1-3-Le passage jurassique- crétacé | 33 |
| I-1-4-Le Crétacé inférieur. | 33 |
| • Le membre inférieur | 34 |
| • Le membre médian | 34 |
| • Le membre supérieur | 34 |
| I-1-5-Le cénomano- turonien | 34 |
| I-1-6-Le tertiaire continental | 36 |
| I-1-7-Le quaternaire | 36 |
| I-2-tectonique | 36 |
| II-Cadre géologique du secteur d'étude | 38 |
| III-Cadre hydrogéologique de la région | 39 |
| IV-La piézométrie | 41 |
| IV-1- Interprétation de la carte piézométrique | 43 |
| V-La transmissivité | 43 |

PARTIE III : HYDROCHIMIE

| | |
|--|----|
| I- Introduction. | 46 |
| II- Interprétation des données de mesure et des résultats d'analyse. | 46 |

| | |
|--|----|
| 1- Contrôle des analyses par la balance ionique | 46 |
| 2- Interprétation physico-chimique. | 47 |
| - pH. | 47 |
| - La minéralisation. | 47 |
| - La conductivité. | 47 |
| - Le résidu sec. | 48 |
| III- Caractéristiques chimiques. | 48 |
| 1- Qualité des eaux. | 48 |
| A- Norme de potabilité. | 48 |
| B- La dureté. | 51 |
| 2- Qualité des eaux d'irrigation. | 52 |
| IV- Représentation graphique des analyses d'eau. | 55 |
| 1- Diagramme de Shoeller-Berkaloff | 55 |
| A- Les eaux bicarbonatées calciques. | 56 |
| B- Les eaux sulfatées magnésiennes. | 57 |
| C- Les eaux sulfatées calciques. | 57 |
| D- Les eaux sulfatées sodiques. | 57 |
| E- Les eaux chlorurées calciques. | 57 |
| 2- Diagramme de Piper. | 58 |
| 3- Diagramme de Stiff. | 59 |
| V- Conclusion | 61 |
| Conclusion générale | 62 |
| Annexes | 64 |
| Références bibliographiques | 71 |
| Liste des figures | 73 |
| Liste des tableaux | 74 |
| Résumé | 75 |

INTRODUCTION GENERALE ET OBJET DE L'ETUDE :

Depuis l'aube de l'humanité, l'eau est un facteur prépondérant pour toute activité socio-économique et à l'épanouissement et aux comforts de l'humanité. Cependant, les ressources en eau sont profondément liées aux précipitations qui sont peu importantes par endroit, mal réparties et d'une irrégularité extrême. En conséquent, et à l'échelle planétaire, les problèmes liés à l'eau sont désormais aptes à devenir plus complexes dans le futur, en raison de la poussée démographique et les besoins qu'ils lui sont associés surtout le caractère instable et variable des régimes pluviométriques liés à la péjoration climatique. Pour cela, la gestion de l'eau a pour rôle de trouver le bon équilibre entre ressource et usage.

Assurer le développement durable d'une région, c'est avant tout garantir à cette dernière une disponibilité en eau compatible avec ses capacités de développement social et économique.

A l'instar des villes situées en milieu semi-aride, la disponibilité de l'eau a toujours été au centre des préoccupations des collectivités locales de la zone d'Asla. Elle constitue un facteur déterminant pour le développement économique et social de la région.

La région étant à vocation agricole, de nombreux puits et forages ont été réalisés depuis la mise en place en l'an 2010 du fond national du développement et de la régularisation agricole (FNDRA). Le nombre de puits et forages, n'a cessé d'augmenter d'une année à l'autre, avec une demande croissante pour une éventuelle création et extension des périmètres irrigués, en plus de l'alimentation en potable (AEP). Ce dernier secteur est considéré comme prioritaire. En fait presque tous les centres habités de la zone d'étude sont alimentés en eau potable par les nappes profondes de la région.

Cette situation nécessite un programme pour l'étude et la gestion des disponibilités en eaux souterraines, tant quantitatives que qualitatives dans cette région qui appartient à l'étage climatique aride à semi-aride, caractérisée par l'irrégularité et la rareté des précipitations.

Ainsi comprendre les phénomènes hydrogéologiques qui régissent les écoulements souterrains, leur origine ainsi que le chimisme lié principalement à la zonalité géologique de la région.

Introduction générale

La ressource en eau souterraine de la région est répartie principalement sur trois (03) nappes aquifères, à savoir la nappe des grès du Jurassique supérieur, du Crétacé inférieur et celle du Quaternaire alluvionnaire. La nappe des grès du Crétacé inférieur, dont les exutoires donnent naissance à d'importantes émergences, constitue la ressource souterraine la plus importante de la région.

Ce travail, porte principalement sur l'étude du système aquifère des grès Crétacés Inférieurs des gouttières synclinales de Koudiat Abdelhak (la région d'Asla).

Elle s'articule sur 03 chapitres :

- Les considérations générales qui comportent la situation géographique de la zone d'étude, ainsi que l'étude climatologique.
- L'étude géologique et hydrogéologique, qui déterminera les formations perméables qui jouent le rôle de réservoirs, et les imperméables qui constituent le toit et le mur des aquifères. En plus des paramètres hydrodynamiques, et le sens de l'écoulement de la nappe déduit à partir de la carte piézométrique.
- L'étude hydrochimique, qui permettra de faire sortir les différents facies chimiques ainsi que la qualité des eaux, leur potabilité et leur aptitude à l'irrigation.

Une conclusion générale pour synthétiser les résultats trouvés.

PARTIE I :

***CONSIDERATIONS
GENERALES
ET
CLIMATOLOGIE***

I. PRESENTATION DU DOMAINE DE L'ETUDE :

L'Atlas saharien est situé dans la partie Nord de l'Algérie et s'interpose entre deux domaines stables :

-Le domaine des hautes plaines oranaises, au Nord.

-Le domaine saharien, au sud.

Et correspond à des reliefs orientés SW-NE qui s'étendent sur plus de 1000 Km depuis la frontière algéro-marocaine à l'Ouest, jusqu'à la limite occidentale des monts des Aurès à l'Est.

Cet édifice plissé est représenté par un alignement structural qui a permis à Rilter en 1902 de la subdiviser en trois faisceaux de plis qui sont d'Est en Ouest :

- ✓ les monts d'Ouled Nail ou "Atlas saharien oriental" (Laghouat-Boussaâda).
- ✓ les monts des Amour ou "Atlas saharien central" (El Bayadh).
- ✓ les monts des Ksour ou "Atlas saharien occidental" (Ain Sefra).

La partie occidentale de l'Atlas saharien (monts des Ksour) située à environ 400Km au sud d'Oran, est limitée au Nord par les hautes plaines Oranaises, au sud par la plaine saharienne, à l'Ouest par le Haut Atlas Marocain et à l'Est par les monts des Amours.

Morphologiquement, ces monts correspondent à une région montagneuse assez élevée avec certaines culminations dépassant souvent les 2000m d'altitude (Djebel Aïssa : 2236m ; Djebel M'Zi 2145m ; Mir El Djebel 2109m ; djebel Mekther 2020m)(fig.01).

Ces chaînons allongés du Sud-Ouest vers le Nord-Est sur 30 à 50 Km de long et forment une barrière topographique et climatique entre l'Algérie du Nord et le Sahara algérien.

Ces reliefs typiquement atlasiques passent progressivement sans limite nette vers le nord aux reliefs plus doux des hautes plaines oranaises ; qui ne sont que de 1200m d'altitude. Tandis qu'au sud le passage vers la plate-forme saharienne est net et rapide et les reliefs n'atteignent que 1000m d'altitude. Cette transition se développe dans un espace qui pourrait avoir 20 à 40 Km de large.

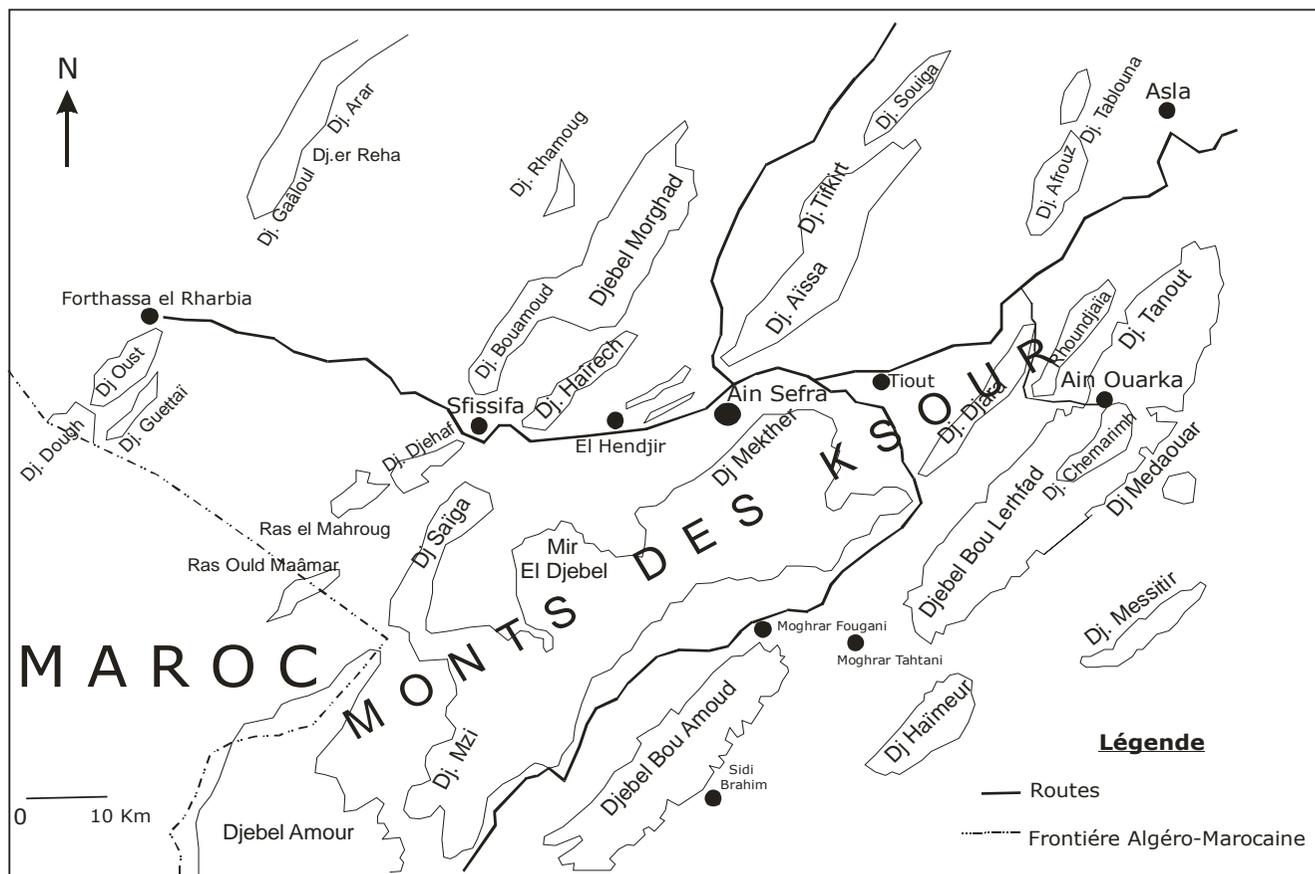


Figure 01 : Principaux reliefs des monts des Ksour

(A. Kacemi, 2005)

II. SITUATION GEOGRAPHIQUE DU SECTEUR D'ETUDE :

Notre étude correspond à un secteur situé dans la région d'Asla, connu sous le nom de Koudiat Abdelhak, ce secteur est situé à 65 Km à l'Est d'Ain Séfra (fig. 02). Les limites de la région d'étude sont:

- Au Nord-Ouest par Djebel Afzouz-Talbouna
- Au Sud- Est par Djebel Tanout et Bram.
- Au Nord-Est Asla.
- A Sud-Est le synclinal Rhoundjaia.

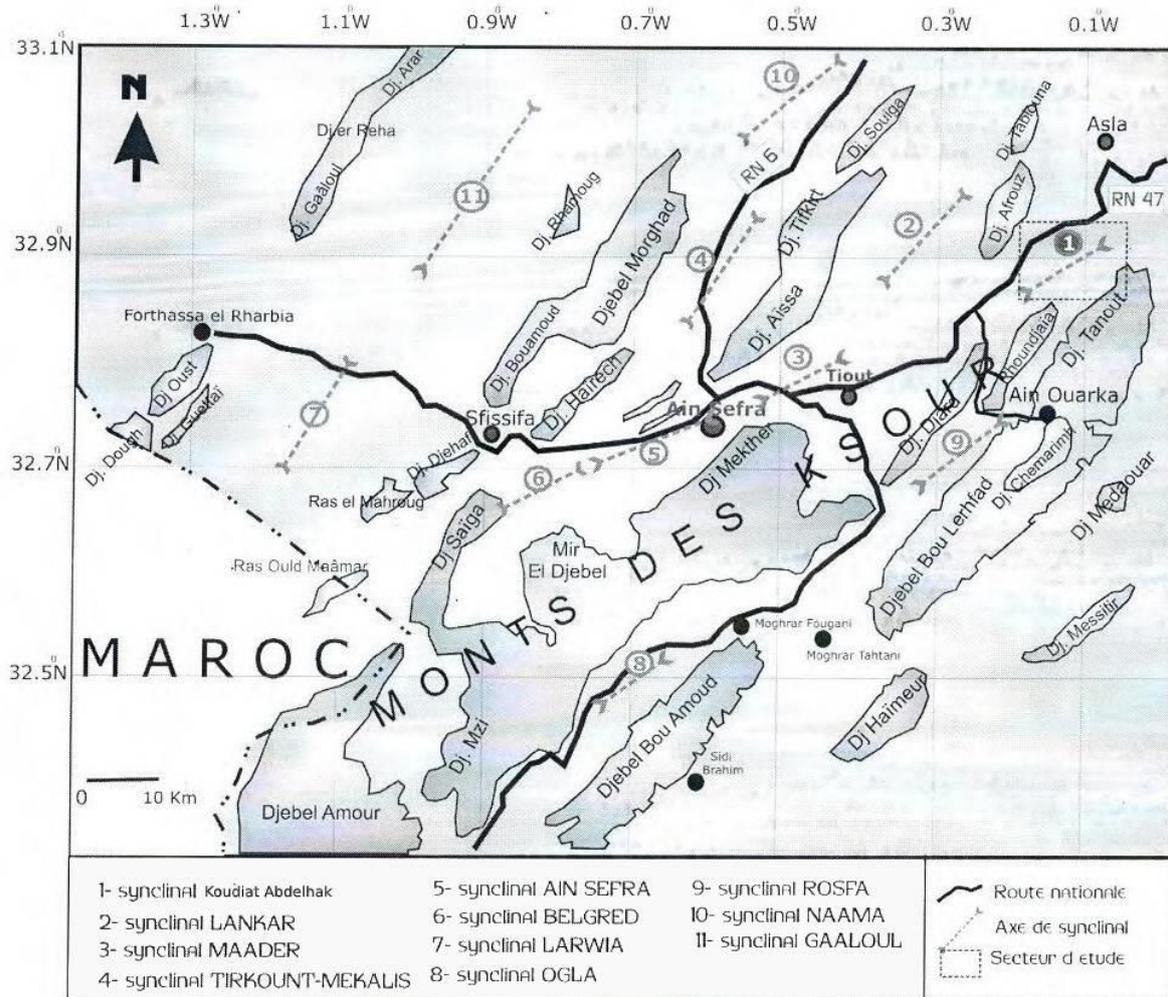


Figure 02 : Les principaux synclinaux des monts des ksour et situation géographique du secteur d'étude (A. Kacemi, 2005, modifiée)

III. RESEAU HYDROGRAPHIQUE :

Le Bassin de l'Oued Rharbi fait partie du bassin méridional de l'Atlas saharien (fig. 3), sa superficie atteint 14600 Km.²

Le Rharbi prend naissance dans la partie orientale des Monts des Ksour vers 1500 m d'altitude jusqu'à son entrée en région saharienne à El Abiodh Sid Cheikh à 65 Km de l'origine. Son profil est assez régulier, il se poursuit dans la gouttière sud-atlasique jusqu'à son confluent avec le Chergui, vers 800 m d'altitude après 130 Km de parcours.

Après Arich et Tir, à 280 Km de son origine et vers 600 m d'altitude, il s'engage dans l'Erg où sa vallée actuelle peut se suivre de nos jours jusqu'à Gour El Gahouane. Son parcours de crues extrêmes a atteint Gour EL Gahouane à 310 Km.

Les Oueds de la région du Sahara, se caractérisent par des crues très rapides (montée de crue rapide) et très fortes avec des durées pouvant atteindre une dizaine de jours, causant des dégâts matériels et humaines. Ces crues apportent plus de 85% de l'apport annuel.

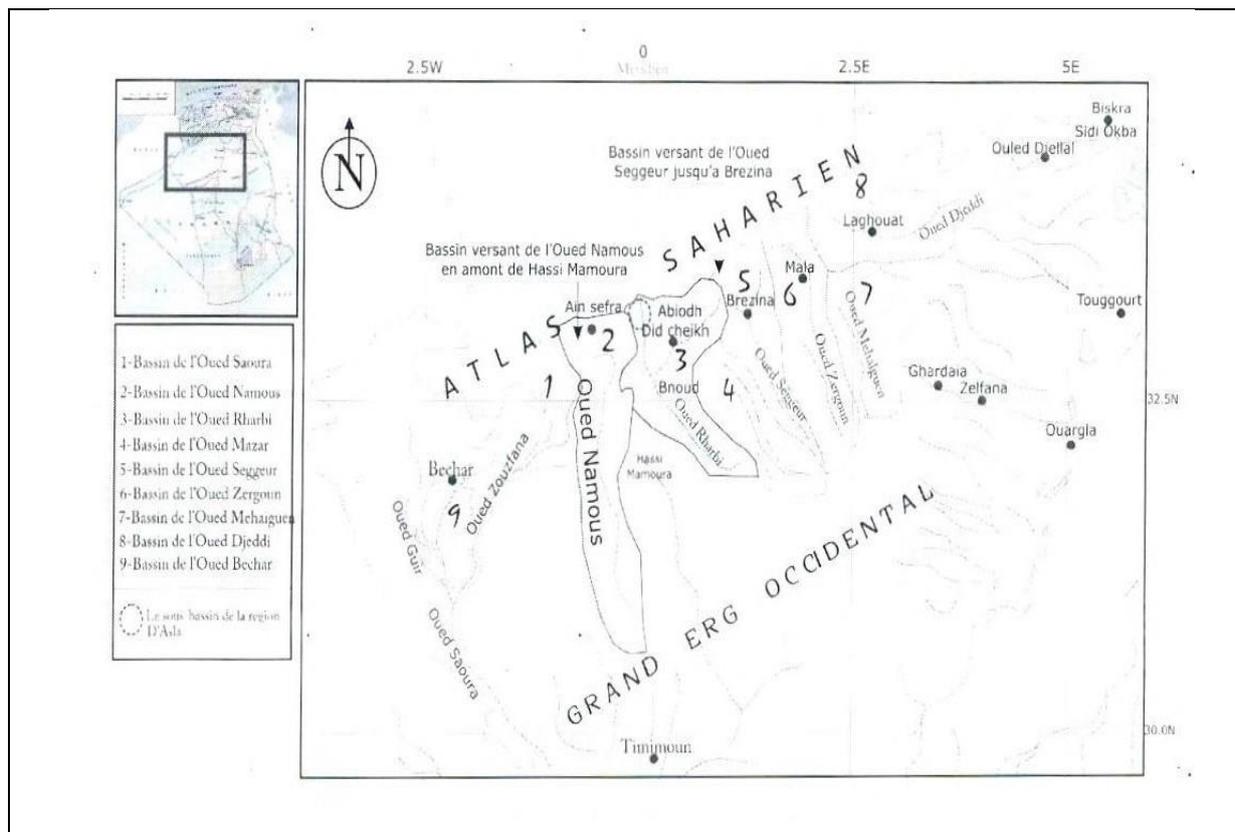


Figure 03 : Bassin versant méridional de l'Atlas saharien OULD BABA SY M. 2005, (modifiée)

L'oued Asla est la principale ressource superficielle dans la région d'étude, il reçoit l'Oued Msif et l'Oued Rtem et draine les versants Nord-Est du Djebel Afzouz et Talbouna, en se dirigeant vers le Sud. Tout en recevant d'autres Oueds au Sud-Est (l'Oued Mezioud, l'Oued Khoundjaia, l'Oued Torba) formant un seul Oued, celui de Mellah dans la région de Boussemgoun (fig. 04). Cet Oued reçoit, l'Oued Boudjhane et l'Oued El Atchane, finissant pour donner un grand Oued est l'Oued Rharbi qui se dirige vers le Sud et décharge ses eaux dans le grand erg occidental.

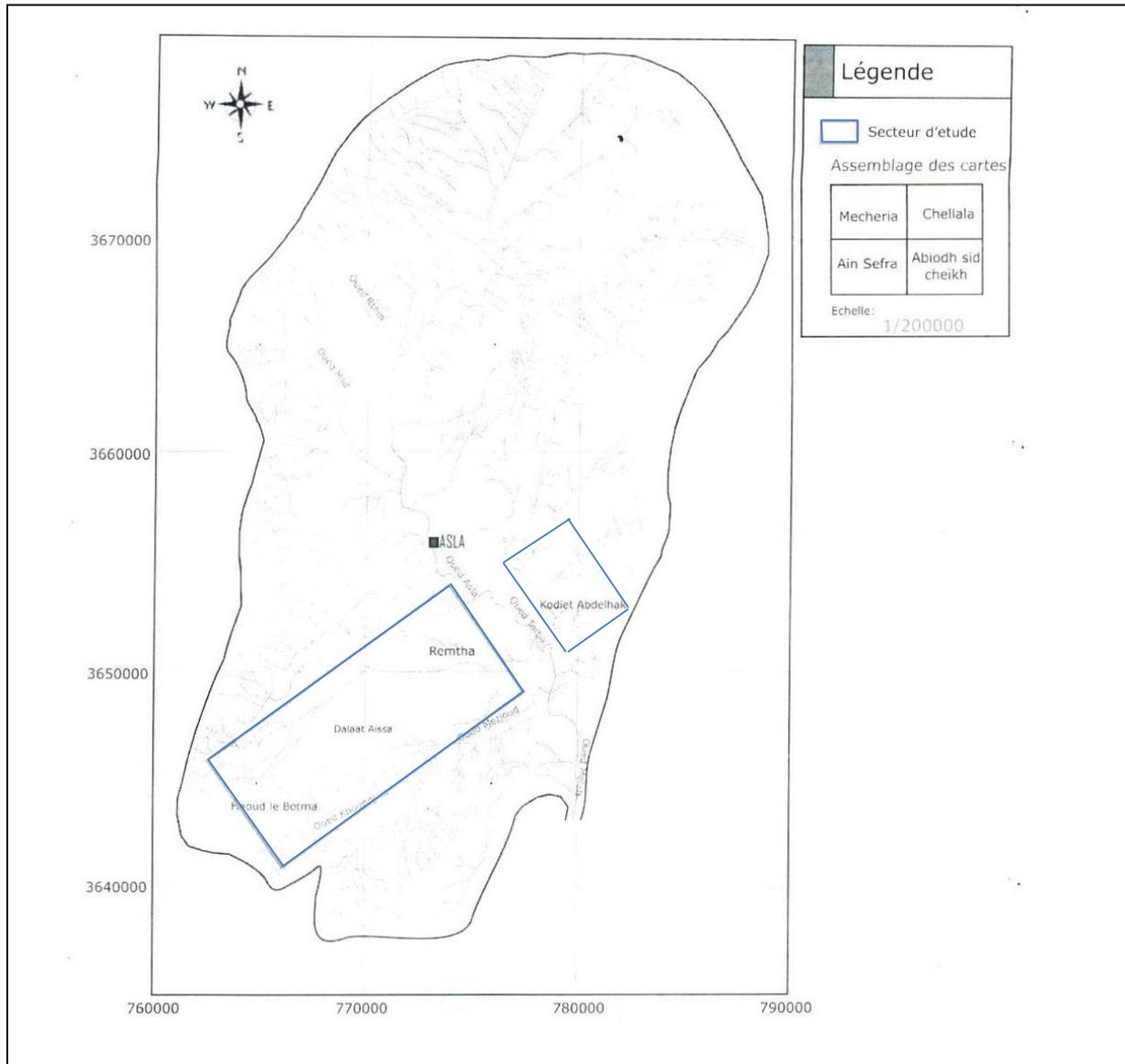


Figure 04 : Réseau hydrographique de la région d'Asla

IV. CLIMATOLOGIE :

IV-1. Introduction :

Le climat est l'ensemble des phénomènes (vents, précipitations, température, évaporation...) qui varient d'un lieu à un autre de la surface terrestre

La climatologie étudie la combinaison de phénomènes météorologiques à la surface du globe ; elle a pour objet de déterminer le type de climat d'une région.

Notre étude climatique sera effectuée à partir des données météorologiques (température et précipitations moyennes mensuelles) de la station d'Ain Séfra sur une période de 20 années (1987/88 à 2006/2007).

| Station | Latitude | Longitude | Altitude | Code |
|-----------|----------|-----------|----------|-------|
| Ain Séfra | 32°.76 N | 00°.60 W | 1058 m | 60560 |

IV-2. Etude des précipitations :

1- Précipitations annuelles à la station d'Ain Séfra :

Les précipitations annuelles et mensuelles sont reportées dans l'Annexe (**Tableau –A-**).

D'après la **figure 05**, on remarque que :

- La plus faible valeur (43.9mm) est enregistrée en 1999-2000
- La plus élevée valeur (380.2 mm) est enregistrée en 1990-1991
- La valeur moyenne est de 172.2mm

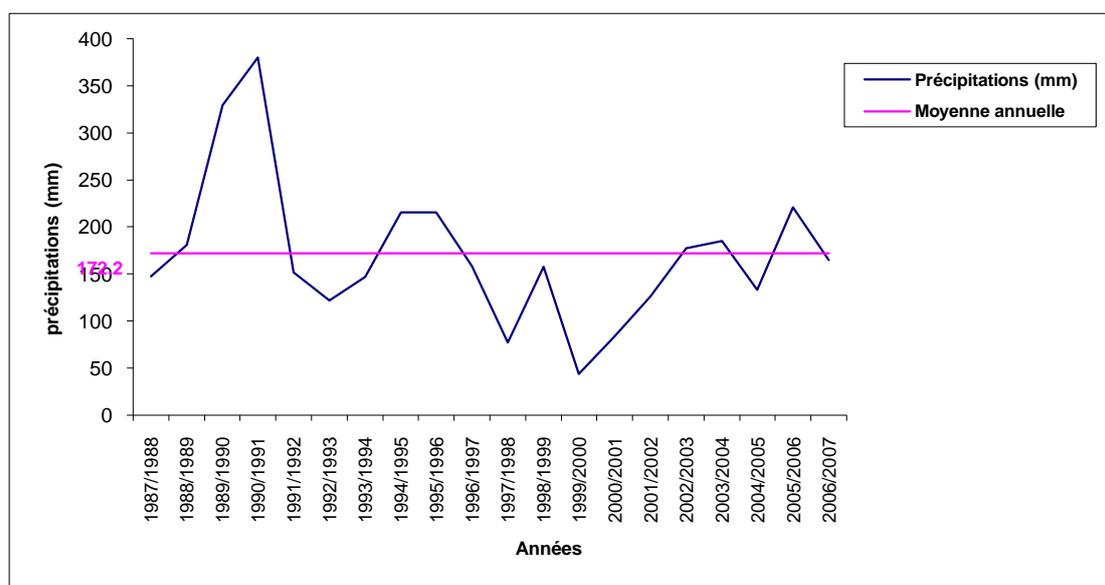


Figure 05: variation des précipitations annuelles.

2- Coefficient d'irrégularité du régime des précipitations :

Ce coefficient est donné par le rapport du module de l'année la plus humide PM à celui de l'année la plus sèche Pm.

$PM/Pm=380.2/43.9=8.66$ (valeur caractéristique du climat aride)

3- Répartition des précipitations moyennes mensuelles :

On a pris les valeurs mensuelles moyennes des précipitations de la période (1987/1988-2006/2007) mentionnées au **tableau N° 01** :

Tableau N°01 : valeurs des précipitations mensuelles

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | Jt | A | ANN |
|--------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|-----|----|------|--------------|
| P (mm) | 16.4 | 19.3 | 12.5 | 8.6 | 16.1 | 12.1 | 25.8 | 18.7 | 19.2 | 8.8 | 4 | 10.7 | 172.2 |

D'après la **figure 06**, on constate que :

- Le mois le plus pluvieux est celui de Mars, avec une valeur de 25.8 mm.
- Le mois le plus sec est celui de Juillet avec une valeur extrême de 4 mm.

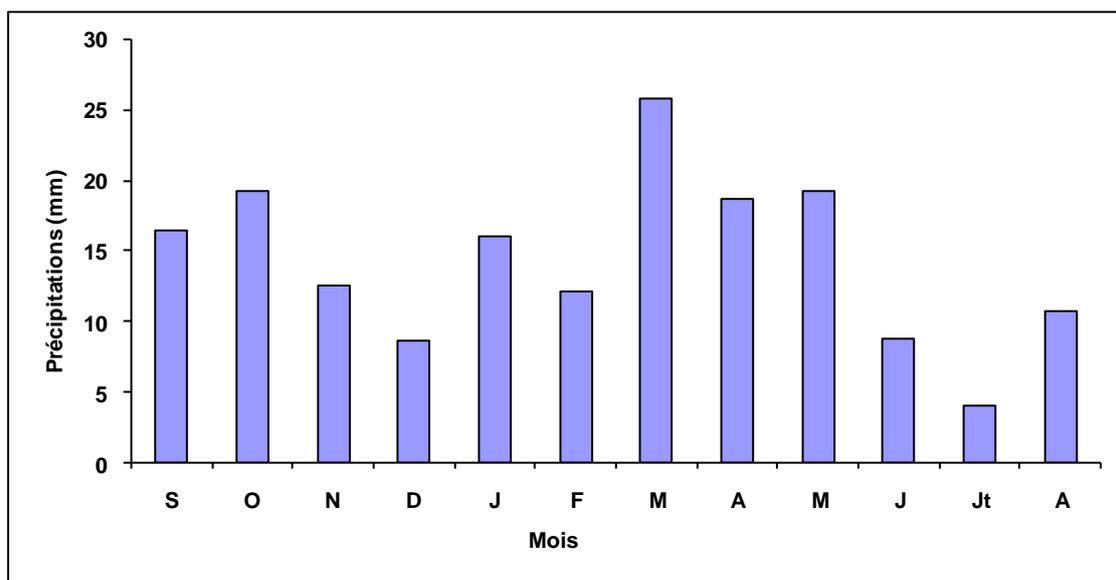


Figure 06: variations des précipitations mensuelles

4- Répartition des précipitations saisonnières :

Les quatre saisons de l'année correspondent à:

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

Les précipitations saisonnières de la station d'Ain Séfra sont données au **tableau N° 02** :

Tableau N°02 : précipitations saisonnières

| Saison | Automne | Hiver | Printemps | Eté | ANN |
|--------|---------|-------|-----------|------|--------------|
| P (mm) | 48.2 | 36.8 | 63.7 | 23.5 | 172.2 |

D'après la **figure 07**, on remarque que la saison la plus humide est celle du printemps tandis que la plus sèche est celle d'été.

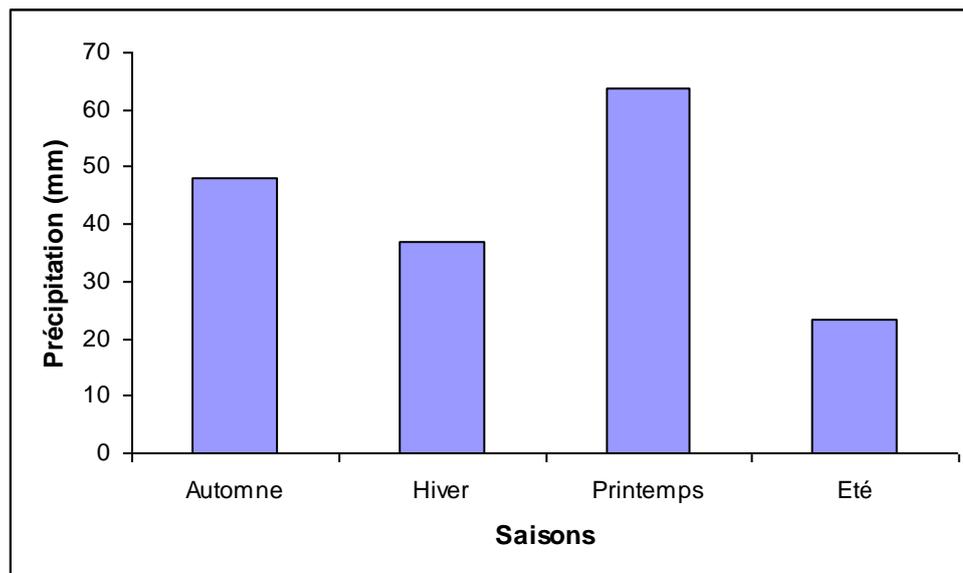


Figure 07 : variations des précipitations saisonnières

IV-3. Etude des températures :

Les températures moyennes annuelles et mensuelles régissent directement sur le climat en interaction avec les autres facteurs météorologiques, elles permettent avec les précipitations, le calcul du déficit d'écoulement et des indices climatiques. Les valeurs des températures annuelles et mensuelles sont reportées en Annexe (**Tableau -B-**)

1- les moyennes mensuelles (figure 08) :

-les minima (T_m) : sont comprises entre 1.02°C en janvier et 21.59°C en Juillet.

-les maxima (T_x) : sont comprises entre 13.26°C en janvier et 37.88°C en Juillet.

-les moyennes (T_M) : les moyennes mensuelles et annuelles de température moyenne

$$T_M = (T_x + T_m) / 2$$

Le **tableau N° 03** nous donne les minima et les maxima ainsi que les températures moyennes pour la station d'Ain Séfra sur une période de 20 ans (1987/1988-2006/2007):

Tableau N° 03: température mensuelle minimum et maximum et moyenne

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | Jt | A | ANN |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| Tm (°C) | 16.49 | 11.36 | 5.77 | 2.19 | 1.02 | 2.14 | 5.92 | 8.97 | 13.59 | 19.33 | 21.59 | 19.96 | 10.69 |
| Tx (°C) | 31.51 | 25.49 | 18.35 | 14.39 | 13.26 | 15.78 | 19.60 | 22.57 | 27.94 | 32.92 | 37.88 | 36.66 | 24.70 |
| (Tm+Tx) /2 | 24 | 18.42 | 12.06 | 8.29 | 7.14 | 8.96 | 12.76 | 15.77 | 20.76 | 26.12 | 29.72 | 28.31 | 17.70 |

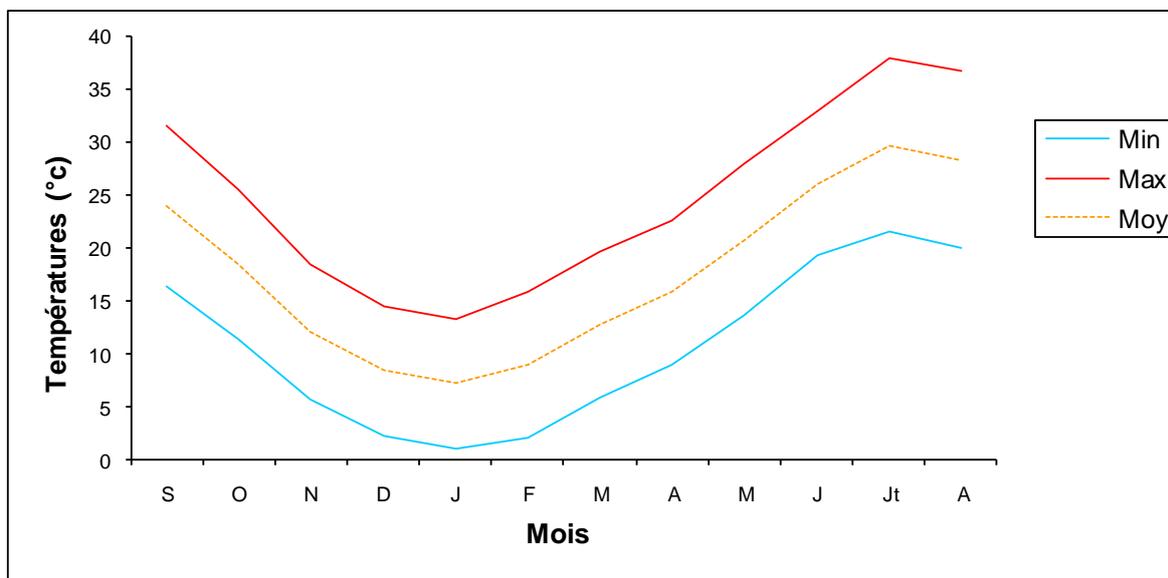


Figure 08 : variations des températures moyennes mensuelles

2- les moyennes annuelles :

D'après le tableau 03, on remarque que la valeur moyenne annuelle est de 17.7°C:

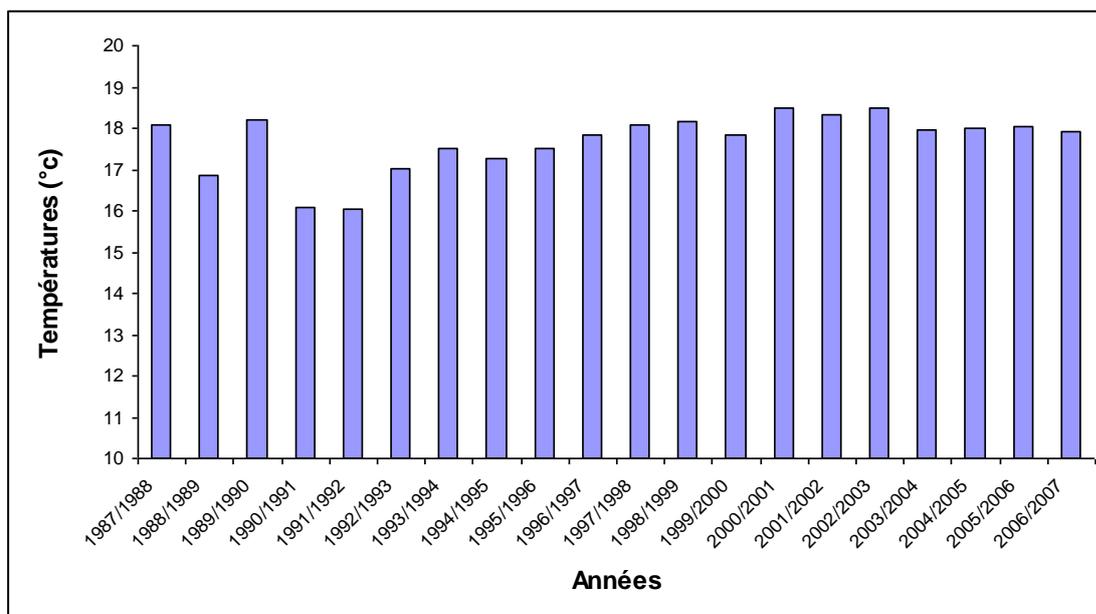


Figure 09 : variations des températures moyennes annuelles

IV-4. Etude du climat :

Pour l'étude du climat, il existe différentes méthodes qui sont basées sur la détermination d'indices qui permettent de caractériser le type du climat de la région à partir des précipitations et des températures.

IV-4-1- Méthode de visualisation :

a) Courbe pluviothermique :

Pour Gausсен et Bagnouls, un mois sec est celui où le total moyen des précipitations exprimées en (mm) est inférieur ou égal au double de la température moyenne exprimés en degrés Celsius ($P < 2T$).

-cette relation permet d'établir des diagrammes pluviothermiques sur lesquels les températures sont portées à une échelle linéaire double de celle des précipitations.

-la courbe des températures passe au-dessus de celle des précipitations pendant les mois secs et au-dessous de la courbe des températures pour les mois humides.

Les valeurs des précipitations et températures moyennes mensuelles sont reportées dans le **tableau N° 04** :

Tableau N° 04 : précipitations et températures moyennes mensuelles

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | Jt | A |
|--------|------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P (mm) | 16.4 | 19.3 | 12.5 | 8.6 | 16.1 | 12.1 | 25.8 | 18.7 | 19.2 | 8.8 | 4 | 10.7 |
| T (°C) | 24 | 18.42 | 12.06 | 8.29 | 7.14 | 8.96 | 12.76 | 15.77 | 20.76 | 26.12 | 29.72 | 28.31 |

D'après le diagramme pluviothermique de la station d'Ain Séfra (**figure 10**) : On a une période sèche allant du mois d'avril à décembre, et une humide de janvier à Mars.

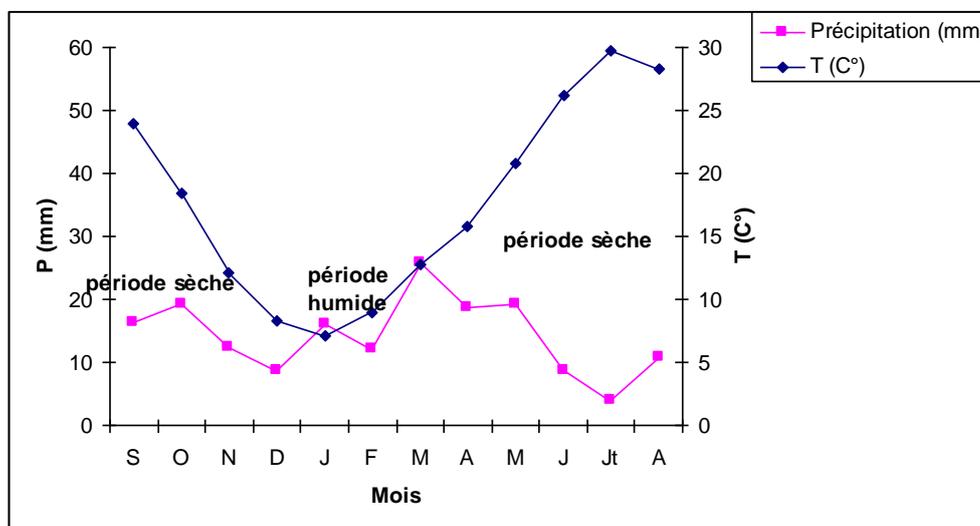


Figure 10: diagramme pluviothermique de la station d'Ain Séfra

b) La courbe ombrothermique (figure 11) :

Le diagramme d'Euverte consiste à reporter en ordonnées les précipitations en mm (échelle logarithmique) et les températures en °C (échelle linéaire), et en abscisse les mois de l'année.

Nous remarquons que; la courbe thermique se situe au-dessus de celle des précipitations pendant les mois : Avril, Mai, Juin, Juillet, Août, Septembre, Octobre, Novembre indiquant une période déficitaire (sèche), et la courbe des précipitations se situe au-dessus de celle des températures du mois Décembre jusqu'au la fin Mars indiquant une période excédentaire (humide).

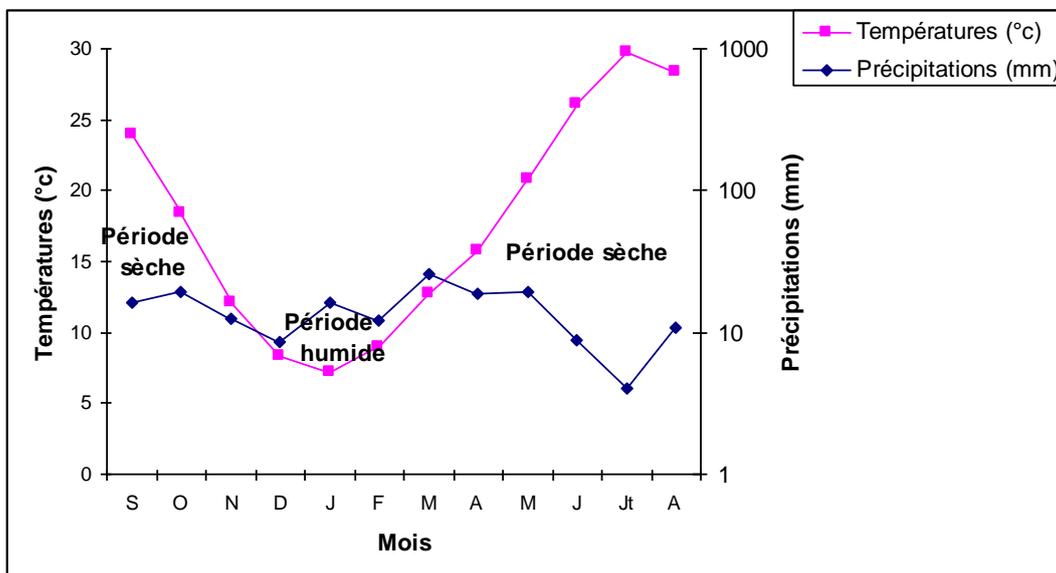


Figure 11 : diagramme ombrothermique de la station d'Ain Séfra

IV-4-2 Les indices climatiques :

L'étude de certains indices climatiques est importante, car elle permet de mieux approcher le type de climat de la région étudiée.

1- indice d'aridité de De. Martonne :

a) indice d'aridité annuel de De.Martonne: Il est définie par

$$I = \frac{P}{10 + T}$$

$$I = 172.2 / 10 + 17.7$$

$$I = 6.21$$

Pour: $20 < I < 30$: climat tempéré

$10 < I < 20$: climat semi-aride

$7.5 < I < 10$: climat steppique

$5 < I < 7.5$: climat désertique

$I < 5$: climat hyper aride

A la station d'Ain Séfra, l'indice I est égal à 6.21, et d'après la **figure 12**, on constate bien que la période présente un régime désertique.

b) indice d'aridité mensuelle de De.Martonne i :

Il est intéressant de considérer également les variations mensuelles de l'indice d'aridité, en utilisant la relation mise au point par les élèves de De. Martonne :

$$i = \frac{12P}{T + 10}$$

Avec : P : précipitations moyennes mensuelles exprimées en (mm)

T : températures moyennes mensuelles exprimées en (°C)

Les résultats d'indice d'aridité mensuelle de De Martonne i, sont reportés dans le **tableau N° 05**.

Tableau N° 05 : valeurs d'indice d'aridités mensuelles

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | Jt | A |
|--------|------|------|-----|------|---------|------|---------|-----|------|---------|---------|---------|
| i | 5.78 | 8.15 | 6.8 | 5.64 | 11.27 | 7.65 | 13.6 | 8.7 | 7.49 | 2.92 | 1.20 | 3.35 |
| climat | d | d | d | d | s.aride | d | s.aride | d | d | h.aride | h.aride | h.aride |

d : désertique s : steppique s.aride : semi-aride h.aride : hyper aride

D'après le tableau 05, on a un régime désertique à semi-aride ($5 < i < 10$) allant du mois de Septembre jusqu'à Mai. Pour le reste de l'année c'est un climat hyper aride ($i < 5$).

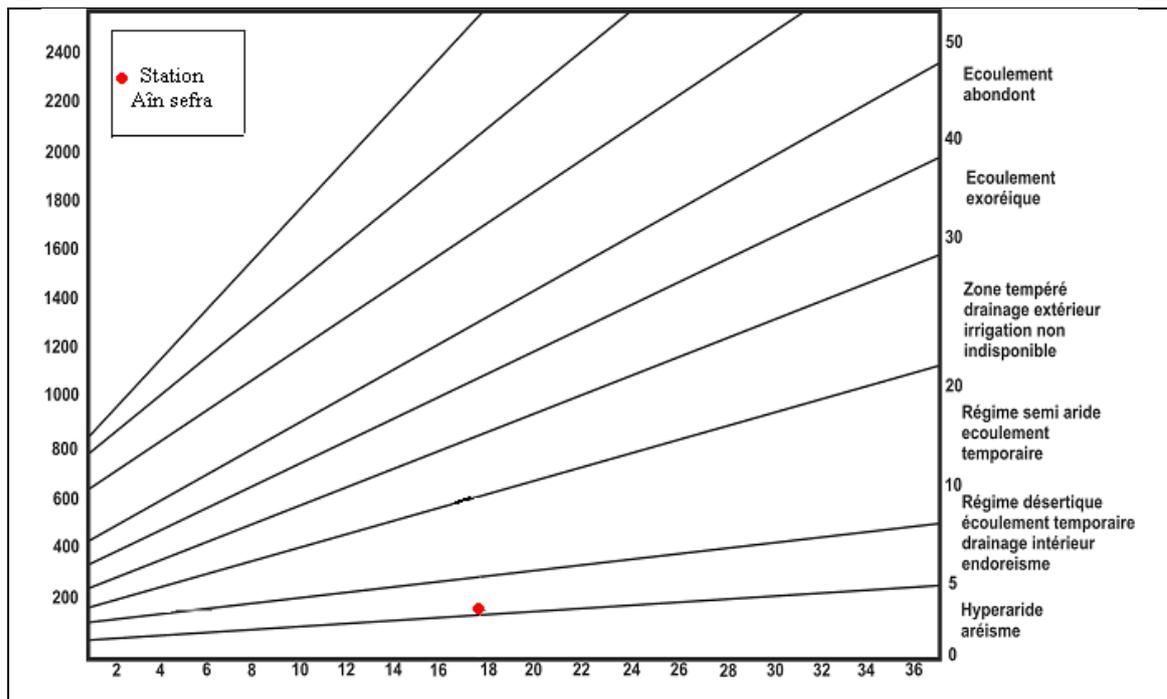


Figure 12 : Indice d'aridité de De. Martonne

2- les indices de Moral :

a) indice annuel de Moral :

L'application de cet indice permet de fixer la limite de la zone aride pour un coefficient égal à l'unité.

$$I_M = \frac{P}{T^2 - 10T + 200}$$

Avec : P : précipitation moyenne annuelle (mm)

T : température moyenne annuelle (°C)

On obtient: $I_M=0.51$

Nous constatons que l'indice de Moral n'étant pas suffisant pour préciser les caractères climatiques. Moral nous a proposé un indice mensuel.

b) indice mensuel de Moral :

$$I_m = \frac{P_m}{0.1T_m^2 - T_m + 20}$$

Avec : P_m : précipitation moyenne mensuelle (mm)

T_m : température moyenne mensuel (°C)

Les résultats d'indice de Moral sont reportés dans le **tableau N° 06**

Tableau N° 06 : valeurs des indices mensuelles de Moral

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | Jt | A |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Im | 0.30 | 0.54 | 0.55 | 0.46 | 0.89 | 0.63 | 1.09 | 0.64 | 0.45 | 0.14 | 0.05 | 0.148 |

Les quatre types de mois indiqués par Moral sont :

- 1 Mois pluvieux : $P_m > 0.1t_m^2 + t_m + 30$
- 2 Mois humide : $0.1t_m^2 + t_m + 30 > P_m > 0.1t_m^2 - t_m + 20$
- 3 Mois sec : $0.1t_m^2 - t_m + 20 > P_m > 0.05t_m^2 - t_m + 10$
- 4 Mois aride : $P_m < 0.05t_m^2 - t_m + 10$

Les résultats de la méthode de Moral sont regroupés dans le **tableau N° 7**

Tableau N° 7 : type des mois selon Moral

| | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | Jt | A |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|
| $0.1t_m^2 + t_m + 30$ | 111.6 | 82.34 | 56.60 | 45.16 | 42.23 | 46.98 | 59.04 | 70.63 | 93.85 | 124.34 | 148.04 | 138.45 |
| $0.1t_m^2 - t_m + 20$ | 53.6 | 35.50 | 22.48 | 18.58 | 17.95 | 19.06 | 23.52 | 29.09 | 42.33 | 62.10 | 78.60 | 71.83 |
| $0.05t_m^2 - t_m + 10$ | 14.8 | 8.54 | 5.21 | 5.14 | 5.40 | 5.05 | 5.38 | 6.66 | 10.78 | 17.99 | 24.44 | 21.76 |
| Type | Sec | Sec | Sec | Sec | Sec | Sec | humide | Sec | Sec | Aride | Aride | Aride |

3- indice climatique d'Emberger :

Pour définir son indice d'aridité, Emberger s'est basé sur les limites des zones occupées par les différentes associations végétales. Il propose d'utiliser la relation suivante :

$$Q_2 = \frac{P}{\frac{M+m}{2}(M-m)} \times 1000 \quad Q_2 = \frac{2000P}{M^2 - m^2}$$

P : précipitation moyenne annuelle (mm)

M : moyenne des maxima de température en (°K) du mois le plus chaud
($M=37.88+273=310.88$)

m : moyenne des minima de température en (°K) du mois le plus froid ($m=1.02+273=274.02$)

Q_2 = quotient pluviothermique d'Emberger.

$$Q_2 = 15.97$$

En rapportant cette valeur sur le diagramme d'Emberger (**Figure 13**) qui comporte en ordonnées les valeurs de Q_2 et en abscisses la moyenne des minima du mois le plus froid ($^{\circ}\text{C}$). Nous pouvons constater que la région présente un climat saharien avec un hiver frais.

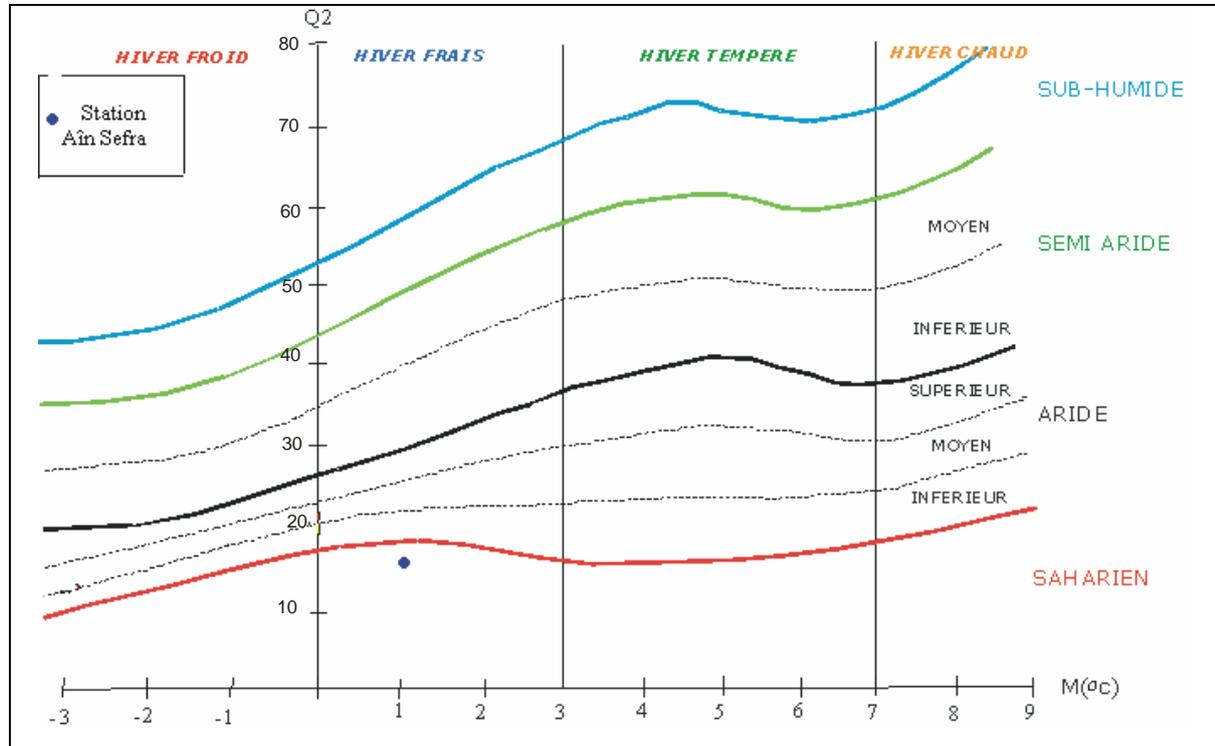


Figure 13 : Climagramme d'Emberger.

4- indice de Stewart :

Cet indice est donné par la relation :

$$Q_2 = \frac{3.43P}{M + m}$$

Avec : P : précipitation moyenne annuelle (mm)

M : moyenne des maxima de température du mois le plus chaud en $^{\circ}\text{C}$

m : moyenne des minima de température du mois le plus froid en $^{\circ}\text{C}$

On a: $Q_2=15.18$

Pour: $10 < Q_2 < 50$ climat semi-aride

$2 < Q_2 < 10$ climat désertique

$Q_2 < 2$ climat insaturé

Q_2 est compris entre 10 et 50, selon Stewart cette valeur caractérise un climat semi-aride.

5- indice de continentalité de Kerner :

Kerner a proposé l'établissement d'un indice isodromique qui permet de calculer le degré de continentalité ou d'océanisation d'une station.

Cet indice est défini par la relation suivante :

$$IK = \frac{T_O - T_A}{A} \times 100$$

T_0 = température moyennes du mois d'octobre.

T_A = température moyenne du mois d'avril

A= amplitude entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid

$$IK=11.73$$

Comparant le résultat trouvé par les valeurs d'autres stations, on constate que les influences maritimes sont très faibles sur la région étudiée :

-Beni Saf: $IK=34.7$

-Tlemcen: $IK= 21.8$

-Aflou : $IK= 15.7$

-Ain Sefra: $IK= 11.73$

-Ghardaïa: $IK= 1.3$

D'après l'ensemble des indices calculés, on peut dire que la région d'Ain Sefra présente un régime souvent désertique.

IV-5 : Evaporation et déficit d'écoulement :

Le processus d'évaporation est fondamental. Il est à la source de la création des masses nuageuses et constitue de ce fait, une phase essentielle du cycle de l'eau, la vapeur de l'eau contenue dans l'atmosphère qui provient de l'évaporation des masses liquides (océans, mers, eau continentales) et aussi dans une moindre mesure de l'évapotranspiration des végétaux est un régulateur essentiel du climat.

Cependant, l'évaporation de l'eau dans l'atmosphère dépend de nombreux paramètres qui sont difficiles à déterminer ou à mesurer. On sait qu'elle est directement en fonction de la différence de température entre l'eau et l'air qui est plus frais.

Dans les régions désertiques, elle est importante le jour que la nuit, en raison du rayonnement qui refroidit le sol par rapport à l'air qui produit son phénomène inverse : la condensation.

1- L'évapotranspiration réelle : elle est toujours inférieure à l'évapotranspiration potentielle et correspond à la quantité qui est réellement évaporée.

-calcul de l'évapotranspiration réelle selon Thornthwaite, cette méthode conduit d'abord à calculer pour chaque mois une évapotranspiration potentielle à partir des tableaux et des abaques donnés par l'auteur et ensuite ressortir l'ETR.

Les valeurs de i sont reportées dans le **tableau N° 8**

Tableau N° 8 : valeurs de i

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | Jt | A |
|--------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T (°C) | 24 | 18.42 | 12.06 | 8.29 | 7.14 | 8.9 | 12.76 | 15.77 | 20.76 | 26.12 | 29.72 | 28.31 |
| i | 10.75 | 7.20 | 3.79 | 2.15 | 1.71 | 2.39 | 4.13 | 5.69 | 8.63 | 12.21 | 14.85 | 13.80 |

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

T : température mensuelle (°C)

I: somme des i **I=87.3**

2- L'évapotranspiration potentielle ETP : est la quantité d'eau nécessaire à la transpiration non ralentie d'un tapis végétal couvrant entièrement le sol et alimenté régulièrement en eau. Elle commande les excès et les déficits des régions humides et arides.

On calcule l'évapotranspiration potentielle par la méthode de Thornthwaite :

$$ETP = 1.6 (10.T/I)^a$$

Avec: $a = (1.6I/100) + 0.5 \Rightarrow a = 1.89$

I: somme des 12 indices mensuelles (i) avec : $i = (T_m/5)^{1.514}$

T_m : températures moyennes mensuelles

Les valeurs d'ETP non corrigées ainsi que les valeurs d'ETP corrigées sont reportées dans le **tableau N° 09**

Tableau N° 09 : les valeurs d'ETP

| Mois | J | F | M | A | M | J | Jt | A | S | O | N | D | ANN |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|
| T°(C) | 7.14 | 8.96 | 12.76 | 15.77 | 20.76 | 26.12 | 29.72 | 28.31 | 24 | 18.42 | 12.06 | 8.29 | 17.69 |
| i | 10.75 | 7.20 | 3.79 | 2.15 | 1.71 | 2.39 | 4.13 | 5.69 | 8.63 | 12.21 | 14.85 | 13.80 | 87.30 |
| ETP (Cm) | 1.09 | 1.68 | 3.28 | 4.89 | 8.22 | 12.69 | 16.20 | 14.78 | 10.82 | 6.56 | 2.94 | 1.45 | 84.60 |
| Facteur | 1.03 | 0.97 | 0.88 | 0.86 | 0.80 | 0.86 | 1.03 | 1.08 | 1.19 | 1.19 | 1.21 | 1.15 | - |
| ETP Corrigé (mm) | 11.22 | 16.29 | 28.86 | 42.05 | 65.76 | 109.13 | 166.86 | 159.62 | 128.76 | 78.06 | 35.57 | 16.67 | 858.85 |

On obtient pour la région d'Ain Sefra une évapotranspiration potentielle annuelle corrigée de 858.85 mm/an. Cette méthode permet d'évaluer l'ETR et d'établir un bilan hydrique qui est représenté dans l'annexe (Tableau C).

On peut distinguer les cas suivants :

* $P > ETP$: Dans ce cas, l'ETR est égale à l'ETP et l'excédent des précipitations sur l'ETP est stocké dans le sol sous forme d'humidité.

Thornthwaite admet que la saturation est atteinte lorsque les réserves superficielles cumulées atteignent 100mm d'eau. Le surplus va s'écouler en profondeur (infiltration) ou en surface vers les Oueds (ruissellement) ce qui constitue l'excédent du bilan.

* $P < ETP$: L'ETR est égale aux précipitations du mois considéré. Le sol restitue l'eau emmagasinée jusqu'à épuisement des réserves.

Le stocke épuisé, l'ETR=P. Comme l'ETP est plus forte par rapport à P il y aura un déficit du bilan égale à ETP-ETR.

Dans notre cas on a : $P < ETP$. **ETR=P=172.2mm.**

3- Déficit d'écoulement :

Le déficit d'écoulement est la différence entre la pluviométrie tombée sur un bassin versant et le total de la quantité d'eau écoulée. La méthode de Verdeil (1988) (**figure 14**), donne une valeur proche de la réalité du déficit d'écoulement. Pour la station d'Ain Sefra le déficit d'écoulement est égal à 164 mm soit 95.91 % des précipitations.

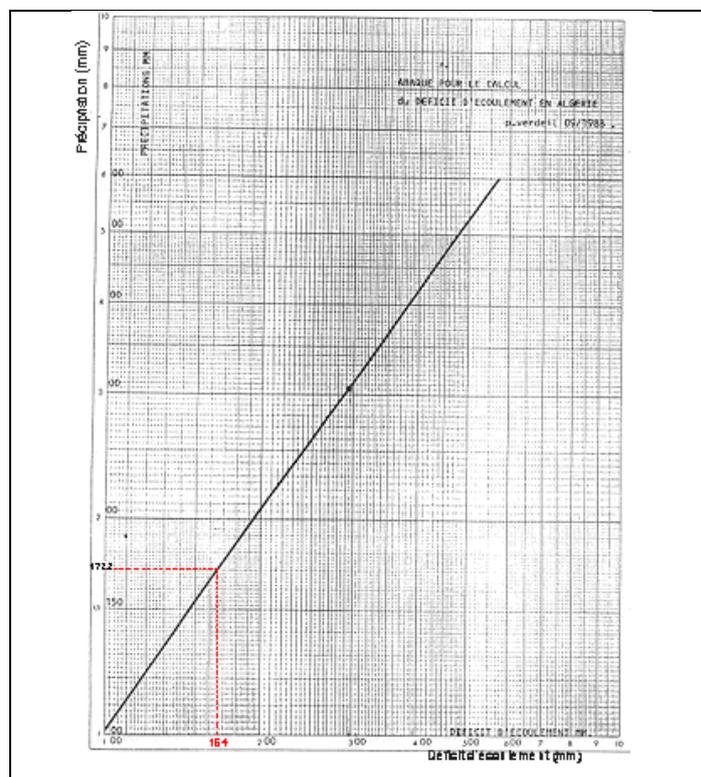


Figure 14 : Abaque de VERDEIL (1988) Calcul du déficit d'écoulement en Algérie

IV-6- Bilan hydrologique :

Eléments du bilan : $P=R+I+E$

$$I=P-R-D$$

P : Précipitation moyenne annuelle = 172.2mm = 0.1722m

R : Ruissellement de surface (mm).

I : infiltration (mm).

E : évapotranspiration réelle ou déficit d'écoulement (mm).

D : déficit d'écoulement (abaque de Verdeil) = 164mm= 0.164 m

Détermination des éléments du Bilan (1987/2007) :

a) Apports:

$P \times S = \text{apports}$

$P = 0.1722\text{m}$

S: surface du bassin versant =1358 Km²

$$\text{Apports} = 234 \text{ Hm}^3$$

b) Ruissellement:

Sa valeur sera donnée par la relation de TIXERONT-BERKALOFF:

$$R = \frac{P^3}{3ETP^2}$$

R= 2.30 mm soit **1.33 % des précipitations.**

Pour le bassin : **3 Hm³**

c) déficit d'écoulement :

D=164 mm soit **95.24% des précipitations**

Pour le bassin : **223 Hm³**

d) Infiltration:

$I=P-D-R$

I=5.90 mm soit 3.43 % des précipitations

Pour le bassin: **8 Hm³**

Les résultats des éléments du bilan sont classés dans le **tableau N° 10**

Tableau N° 10 : éléments du bilan

| Élément du bilan | mm | % | Bassin Hm³ |
|-------------------------|-----------|----------|------------------------------|
| Apports | 172.2 | 100 | 234 |
| Ruissellement | 2.30 | 1.33 | 3 |
| Déficit | 164 | 95.24 | 223 |
| Infiltration | 5.90 | 3.43 | 8 |

IV-7- Conclusion :

Le secteur étudié est caractérisé par un climat semi-aride à désertique avec une température moyenne annuelle de 17.7°C et des précipitations moyennes annuelles de 172.2 mm.

A l'échelle saisonnière, l'étude des précipitations montre que le printemps est la saison la plus pluvieuse et que l'été la plus sèche.

Les indices climatiques d'Emberger et Stewart présentent un climat saharien à hiver frais.

Pour le calcul du déficit d'écoulement selon la méthode de Verdeil nous obtenons une valeur de 164mm.

L'analyse des différents paramètres climatiques montre toute la difficulté quand à l'établissement d'un bilan hydrologique.

PARTIE II :

GEOLOGIE

HYDROGEOLOGIE

I. APERCU GEOLOGIQUE :

La chaîne occidentale de l'Atlas Saharien correspond aux monts des Ksour. C'est une chaîne intracratonique plissée lors de l'orogénèse alpine, qui s'interpose entre deux domaines stables : les hautes plaines oranaises au Nord et la plateforme saharienne au Sud. Elle est affectée par deux grandes lignes de démarcation qui correspondent aux accidents Nord et Sud atlasiques.

C'est une région montagneuse qui s'étend à l'Ouest depuis la terminaison orientale du Haut Atlas marocain jusqu'à l'Atlas Saharien Central et Oriental à l'Est.

La série stratigraphique de la région d'Ain Sefra s'étale de terrains allant de l'âge Triasique au Quaternaire récent, se présentant sous des facies marins et continentaux. Les terrains Jurassique et Crétacé, sont essentiellement gréseux avec intercalations de marnes et argiles.

Les monts des Ksour sont constitués de plis en échelon de direction générale NE-SW. Ces structures possèdent un style tectonique caractérisé par des anticlinaux généralement coiffés, pincés, faillés, souvent déversés, donnant naissance aux Djebels Aissa, Morhad, Hirech, Djara, Mekter, Boulerhfad et Mir Djebel. Ils sont caractérisés aussi par des synclinaux à fond larges (Tiout, Skhouna, Tirkount, Benhandjir, Koudiat Abdelhak-Rejimat, Oglats, Sidi Brahim et Djenien Bourezg) et des synclinaux parfois perchés tels que Djebel Rhoundjaia.

I.1. STRATIGRAPHIE :

La série lithostratigraphique des Monts des Ksour a été subdivisée en cinq ensembles lithologiques (Kacemi 2013) :

- Des argiles versicolores à gypse, surmontés par du sel d'épaisseur importante à Ain Ouarka, recoupés par des roches vertes à texture ophitique (basaltes tholéitiques).
- Un ensemble carbonaté où apparaissent des marnes en alternance avec des calcaires au sommet (Lias – Aalénien).
- Un ensemble détritique argilo-gréseux, avec des niveaux carbonatés plus ou moins importants en intercalation dans les argiles (Bajocien inférieur à Bathonien inférieur).

- Un ensemble détritique argilo-gréseux, à la base surmonté par des grès massifs (Bathonien-Callovien à Albien).
- Des argiles à bancs gréseux et dolomitiques puis à gypses surmontés de calcaires et de marnes (Vraconien, Cénomaniens à Turonien).

Cette série lithostratigraphique constitue la série géologique des Monts des Ksour, c'est-à-dire les différentes formations des différents auteurs. (Bassoulet 1973 ; Douihasni 1976 ; Mekahli 1998 et Kacemi 2005 et 2013).

I.1.1. LE TRIAS :

- Il affleure en extrusion, généralement le long des failles favorisant sa remontée au niveau des anticlinaux. Il est constitué de matériel argilo-gypseux, parfois salifère, il montre une sédimentation évaporitique de type lagunaire et apparaît en diapir (Bassoulet 1973 ; Douihasni 1976 ; Mekahli 1998, Meddah, 2007 et Kacemi 2005 et 2013).
- Il y affleure dans la région d'Ain Ouarka, El Hendjir, Tiouartalt et Djenien Bourezg, et est représenté par des argiles versicolores bariolées gypso-salines, du basalte doléritique et de roches à structure ophitique (Kacemi, 2013).

I.1.2. LE JURASSIQUE :

- *Le Lias* jusqu'à l'Aalénien :

D'une épaisseur moyenne de 800 m, il est formé par des calcaires et des marnes. Il occupe la majeure partie de l'Atlas Saharien Occidental. Cette série a été décrite à Djebel Chemarikh, Souiga et Mellah par Bassoulet (1973), Douihasni (1976), Ait Ouali (1991), Mekahli (1995,1998) et Kacemi (2013).

- *Le Dogger*:

Il occupe généralement les flancs des anticlinaux, tel que Djebel Souiga, Mellah, Chemarikh et Djara. Le faciès constituant cette série est représentée par des calcaires

oolithiques prédominant en quelques endroits, des calcaires à lumachelles, des dolomies, des argiles et des grès (Kacemi 2013).

- *Le Malm:*

Il constitue l'Oxfordien, le Kimméridgien et le Portlandien. Le faciès est généralement détritique, formé de grès et d'argile. Il est représenté en grande majorité par la " *Formation de Aissa* "

I-1-3- LE PASSAGE JURASSIQUE – CRETACE :

Il concerne la « *formation de Tiloula* » d'âge Tithonien-Néocomien, définie par J.P Bassoulet (1973) et subdivisée en 02 ensembles, un inférieur et un supérieur. Elle est constituée d'argiles pélitiques versicolores, de grès de couleur claire, de petits bancs de dolomies et de rares lits gypseux.

I-1-4- LE CRETACE INFÉRIEUR :

Il concerne la « *formation de Tiout* » (fig.20) d'âge Barrémien-Aptien-Albien. Cette formation à sédimentation détritique, a été définie au nom du village de Tiout par J.P Bassoulet (1973), appelée aussi « groupe de grès à dragées » par Douihasni (1976).

D'une épaisseur moyenne de 1065m (Kacemi 2005), cette masse principale de grès présente un faciès assez caractéristique, quoique pas toujours différenciable des autres étages gréseux.

Ce sont des grès massifs rouges à stratifications obliques dans lesquels apparaissent des niveaux lenticulaires de dragées de quartz surmontés par une série d'argiles pélitiques entrecoupés de niveaux de grès rouges à chenaux.

Les grès se présentent en gros bancs, occupant le cœur des synclinaux de l'Atlas saharien occidental.

Cette formation a été subdivisée en trois membres selon la composition lithologique et la géomorphologie (Kacemi 2013): Un membre inférieur (115m), un membre médian (790m) et un membre supérieur (160m).

- **Le membre inférieur : « Le membre des grès inférieurs de Tiout » (115m)**

Formé de grès grossiers à dragées de quartz, à ciment argileux avec à leur base un niveau graveleux. Au dessus, les argiles sont parfois intercalées de grès d'épaisseur décimétrique à grains moyens à fins de couleur rosâtre. Il s'agit bien d'une séquence fluviatile

- **Le membre médian : « Le membre argileux » ou « membre des alternances argilo-gréseuses » (790m)**

Il est formé d'une alternance de grès, de dolomie et de quelques lits gypseux intercalés dans des argiles. On note la présence de grès de couleur verdâtre qui présentent des indices cuprifères.

- **Le membre supérieur : « Le membre des grès supérieurs de Tiout » (160m)**

Il s'agit de séquences typiquement fluviatiles. Il est caractérisé par la présence de grès rougeâtres à dragées de quartz, intercalé de bancs d'argiles.

Cette formation occupe le cœur des grands synclinaux à fond plat (Garet Kheil-Tirkount, Benhandjir- Skhouna, Slih –Maader, Asla, Sidi Brahim, Djenien Bourezg).

I-1-5 : LE CENOMANO-TURONIEN :

Il est formé par:

- Un ensemble d'argiles pélitiques gris verdâtre gypsifère surmonté par une alternance marno-dolomitique, attribué au Cénomanién.
- Un ensemble formé de calcaires dolomitiques massifs et de marnes blanchâtres à oursin d'âge Turonien.

Ces deux ensembles forment les affleurements de tous les synclinaux perchés de la partie centrale des monts des Ksour en particulier le Djebel Rhoundjaia (Ain Ouarka) et Safret El Djir à proximité d'El Hendjir.

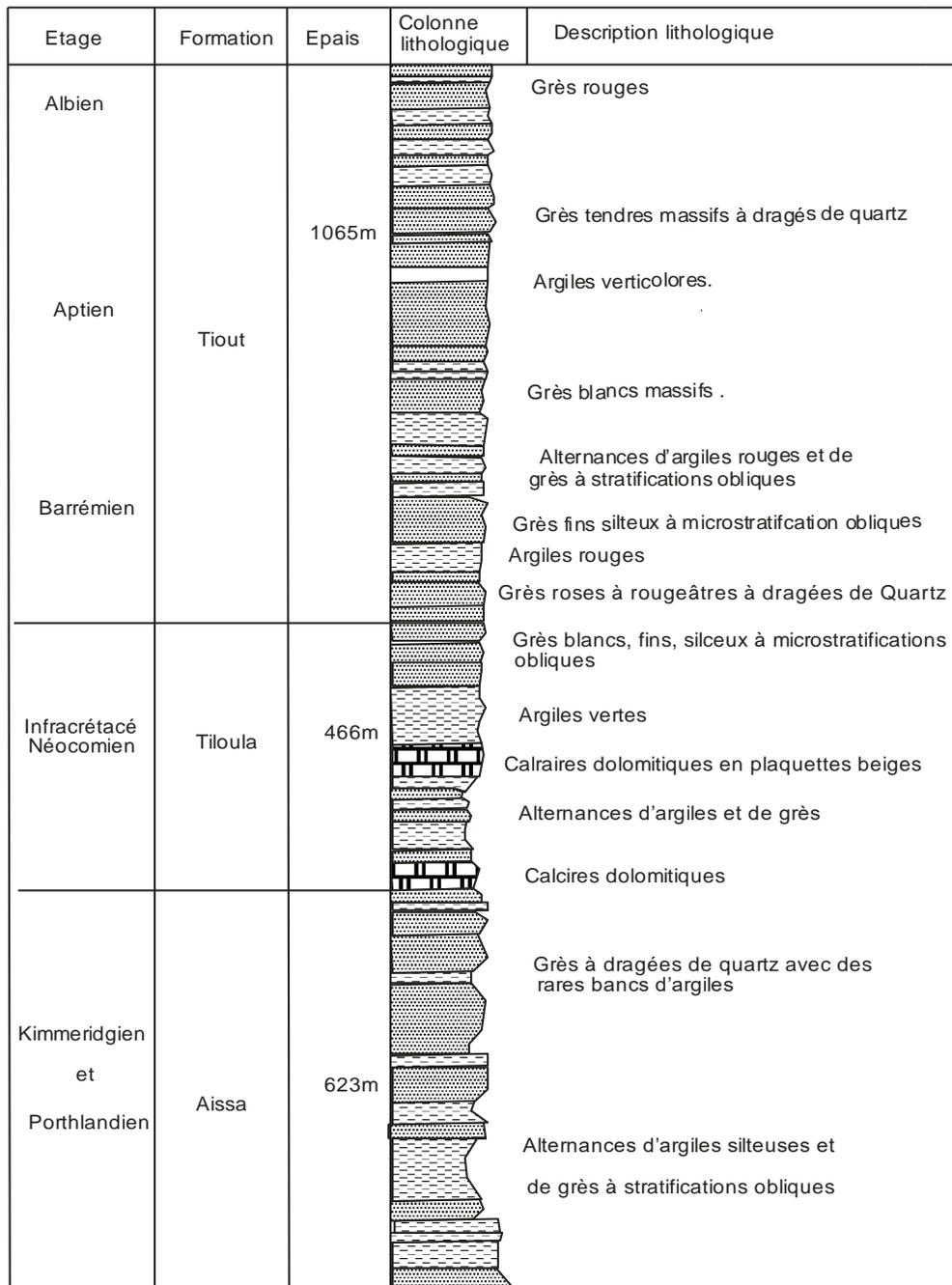


Figure 15 : Coupe lithostratigraphique des formations du Jurassique-Crétacé dans la partie centrale des monts des Ksour (A.Kacemi, 2005)

I-1-6- LE TERTIAIRE CONTINENTAL :

Il est constitué par des dépôts continentaux ou lagunaires attribués au Tertiaire et au Quaternaire, Bassoulet (1973).

Cette formation comporte:

- une série attribuée au Mio-pliocène formée de couches rouges argilo-gréseuses entrecoupées de niveaux gypsifères.
- une formation épaisse rapportée au Pliocène formée de conglomérats hétérométriques appelés « poudingues de Ksour ».
- Une croûte horizontale de 1 à 2m d'épaisseur constituée de calcaires blanchâtres.

I-1-7- LE QUATERNAIRE :

Les formations quaternaires sont constituées par plusieurs types de dépôts :

- *Les limons anciens* : attribués au Plio-Quaternaire et Quaternaire ancien et constituent des alluvions connues sous le terme de « formations tufacées » (Galmier 1972).

A ces limons anciens sont rattachés des tufs et travertins localisés à proximité des sources et souvent liées à des accidents (Douihasni 1976).

- *Colluvions de piémonts* : constitués de cailloutis formant les brèches de pente.
- *Alluvions anciennes* : Ce sont des formations argilo-sableuses et conglomératiques. Elles sont peu épaisses, localisées sur les étendues planes ou dans les dépressions de faible pente.
- *Alluvions récentes* : Sont constituées de sables, et jalonnent les lits des Oueds.
- *Formations éoliennes* : Elles sont assez répandues dans la région d'Ain Séfra. Ces accumulations sableuses constituent les dunes qui jalonnent la partie Nord et Nord-Est du Djebel Mekter.

I-2- TECTONIQUE :

La région a été intensément plissée. Le style tectonique est celui classique de l'Atlas Saharien. Entre les vastes voûtes anticlinales, de direction NE-SW, s'étalent des synclinaux à fond plat. (Figure 16).

Au Nord, le domaine des hautes plaines oranaises culminant à 1200 m d'altitude, et au Sud, le domaine saharien(ou plateforme saharienne) culminant à 800 m d'altitude.

Cet ensemble structural est limité au Nord par « l'accident nord atlasique », correspondant à la limite entre l'Atlas saharien occidental et les Hautes plaines oranaises, d'orientation SW-NE, au Sud par l'accident Sud atlasique appelé aussi « Flexure sud atlasique ».

D'importantes fractures, dont plusieurs ont une orientation NE-SW, ont affecté les terrains.

A la fracturation et aux plissements s'ajoutent un certain nombre d'alignements qui se manifestent par arrêts de structures et des anomalies tectoniques.

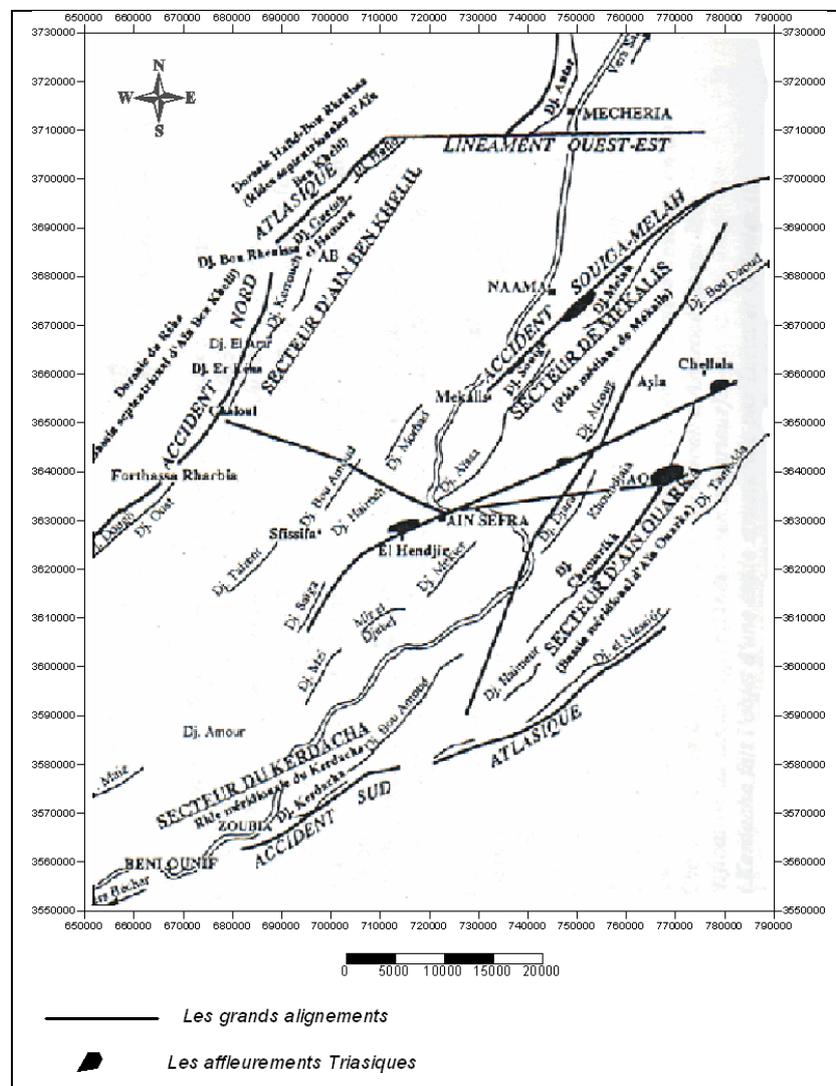


Figure 16 : Les grandes coupures tectoniques des Monts des Ksour (D'après L. Mekahli, 1998)

Aux différents alignements et la carte globale de linéaments Kacemi 2013 (fig. 22) dont les principales directions sont $N90^\circ$ à $N110^\circ$ et $N70^\circ$ à $N90^\circ$, on peut rattacher la faille « Ras Touil – Ain Séfra », décelé par l'étude géophysique réalisée en 1974 dans la région par la CGG (Compagnie Générale de Géophysique).

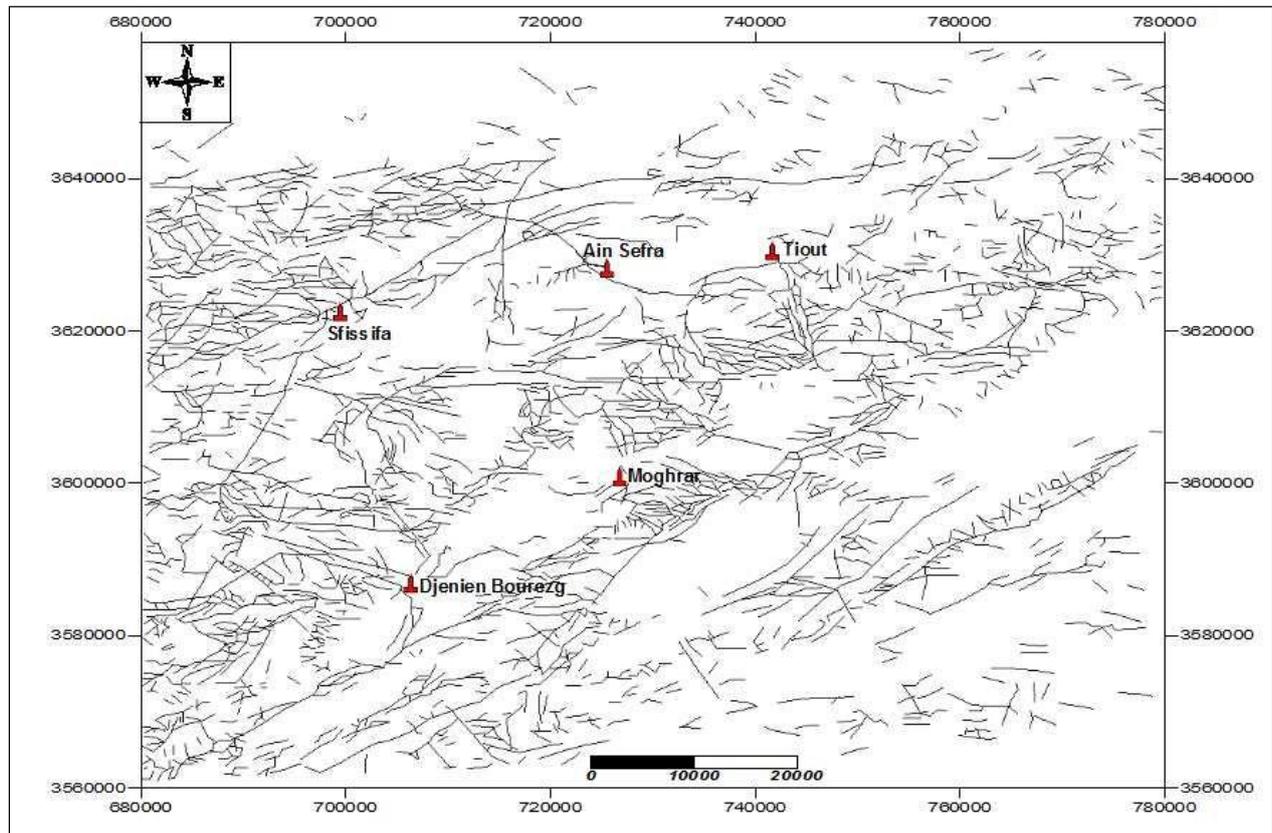


Figure 17 : Carte de linéaments globale issue des images satellitales et des quatre cartes photogéologiques rassemblées (Kacemi 2013)

II-CADRE GEOLOGIQUE DU SECTEUR D'ETUDE :

La région de Koudiat Abdelhak est située dans un de ces synclinaux où les couches sont représentées par des grès crétacés attribués au Barrémo-Albo-Aptien.

Deux anticlinaux l'un au Nord et l'autre au Sud encadrent le synclinal où il y affleure des terrains gréseux plus anciens: Jurassique supérieur et Crétacé inférieur, ces anticlinaux ont donné naissance aux Djebel Afzouz et Djebel Tanout et Bram (figure18).

La structure de ce synclinal se présente comme suit:

On distingue du Nord-Ouest au Sud-Est:

- L'anticlinal jurassique du Djebel Afzouz
- Un synclinal Albien à fond très plat de Remtha et Redjimat.
- Un synclinal Albien de Koudiat Abdelhak.
- L'anticlinal jurassique de Djebel Tanout.
- L'anticlinal jurassique de Djebel Bram.

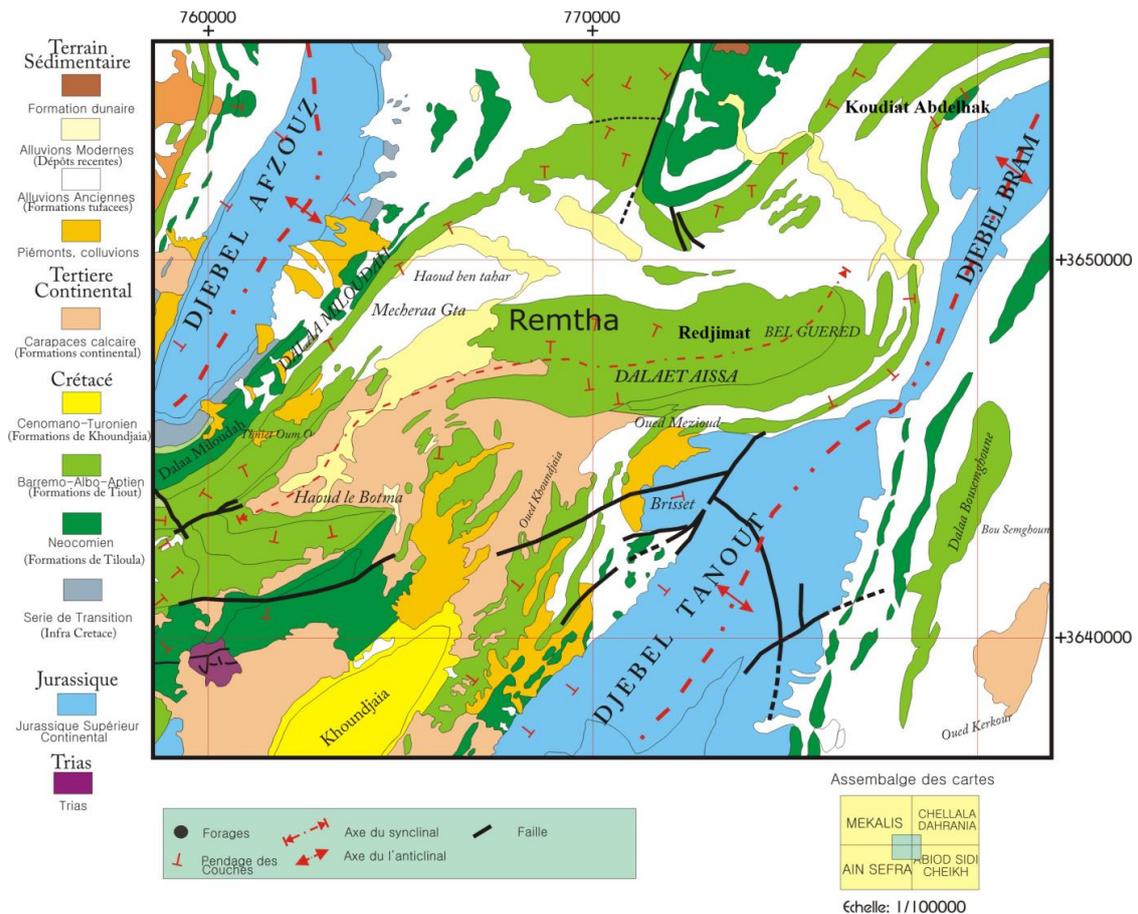


Figure 18 : Carte géologique de la région d'Asla Koudiat Abdelhak (Galmier 1970) modifiée.

III- CADRE HYDROGEOLOGIQUE DE LA REGION :

La coupe géologique AA' (Fig. 19) établies à partir des logs stratigraphiques des forages réalisés par la DHW Naama et l'étude géophysique effectuées par la C.G.G (Compagnie générale de la géophysique) en 1974 dans la région des Monts des Ksour, qui consistait à l'étude de l'importance et l'extension des niveaux grossiers, sables, grès

et conglomérats des terrains susceptible d'être aquifère, montre l'existence de 02 aquifères interstratifiés :

- *Les grès du Jurassique supérieur* : affleurant généralement aux piedmonts des Djebels (Aissa – Mekter – Affezouz- Tanout et Bram).
- *Les grès massifs du Crétacé inférieur* : C'est dans ces grès aquifères que les ressources en eau sont les plus importantes.

L'interprétation des logs synthétiques de quelques forages (Fig. 20) répartis sur le secteur d'étude révèle le niveau aquifère :

- Les grès massifs de la formation de Tiout: à porosité d'interstices et de fissures, intercalés par des passées argileuses rougeâtres, lui conférant une semi captivité de la nappe.

Appelée le Barremo-Albo-Aptien par quelques auteurs, c'est la plus importante nappe de la région, et de nombreux points d'eau de la région l'exploitent.

Cette formation se divise en 03 membres:

- Inférieur
- Médian
- Supérieur

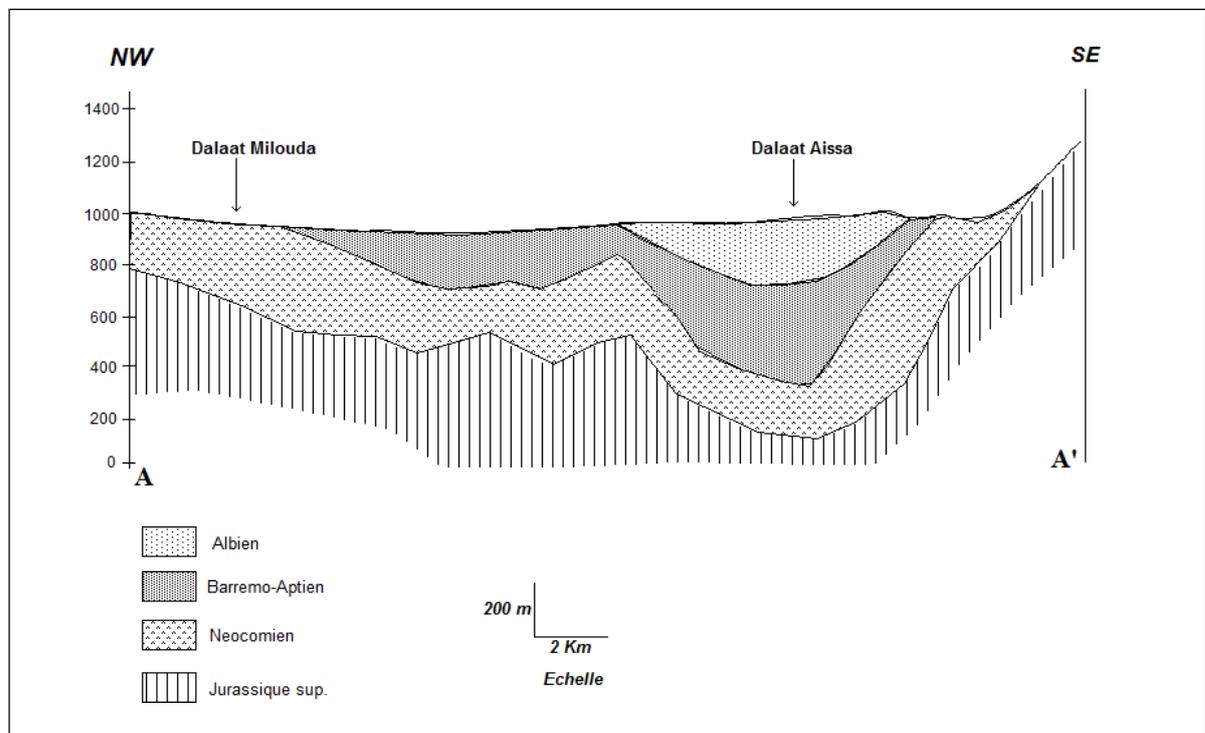


Figure 19: Coupe géologique au niveau du synclinal Remtha

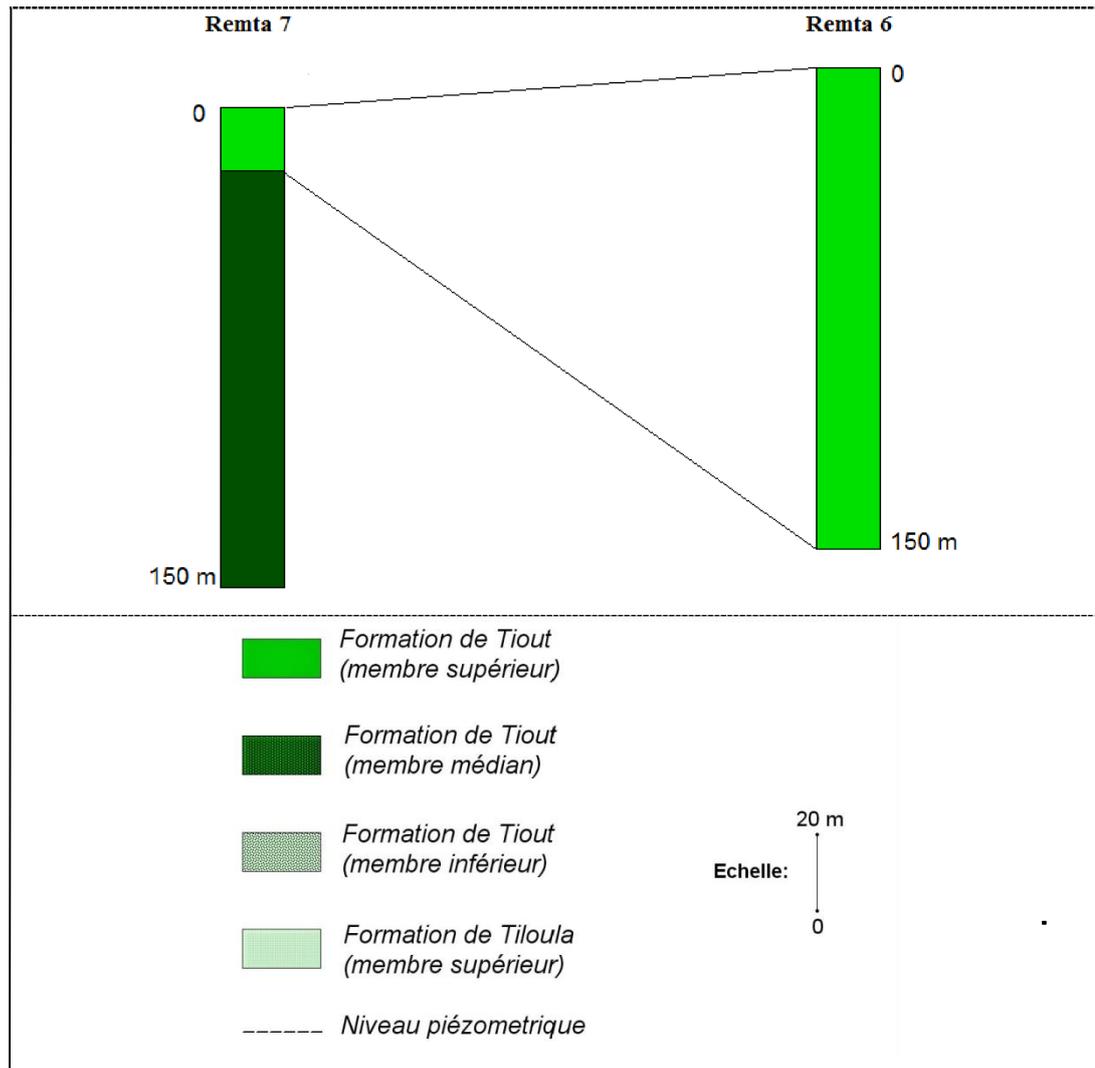


Figure 20: Essai de corrélation des coupes de forages de la région de Remta (Rahmani 2018)

IV- LA PIEZOMETRIE :

Le système aquifère de la région est représenté par des eaux circulant dans des terrains hétérogènes gréseux, argileux plissés et affectés par des failles.

A cet effet, en plus de l'inventaire, établi par la Direction des Ressources en eau de la Wilaya de Naama (DRE), des points d'eau captant les grès du Crétacé inférieur, un autre a été effectué en Septembre 2008 et actualisé en Octobre 2012.

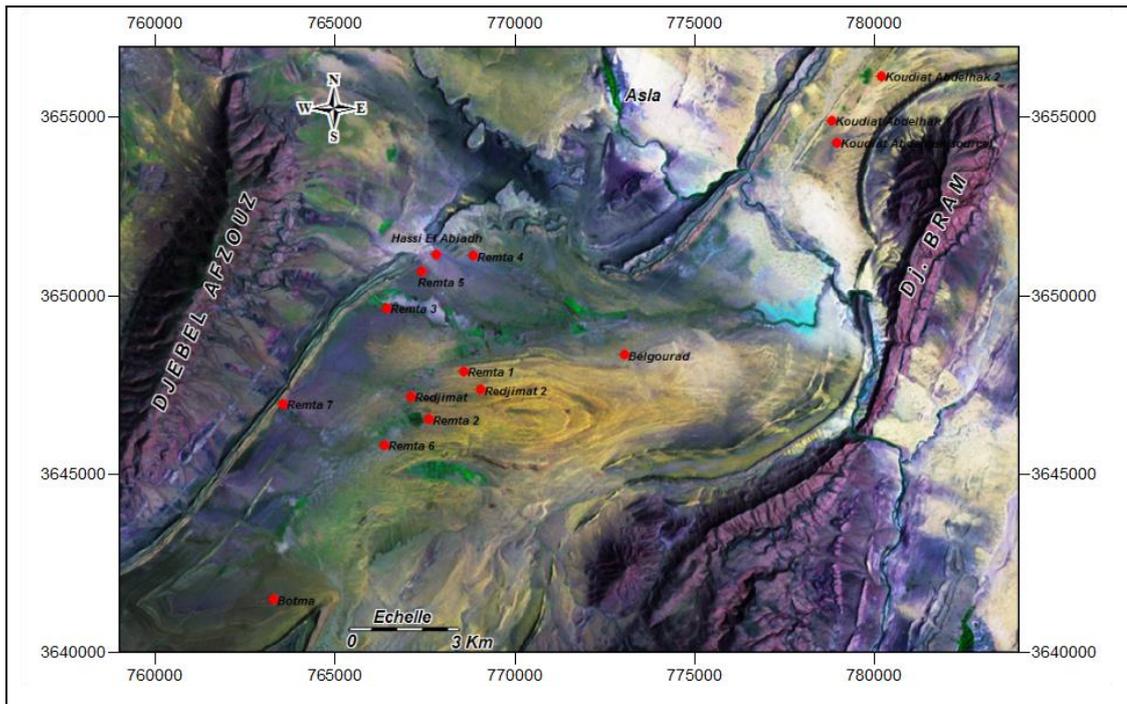


Figure 21 : Carte d’inventaire des points d’eau (Octobre 2012)

Nous avons réalisé une campagne piézométrique de la nappe du Crétacé inférieur du synclinal de Koudiat Abdelhak - Redjimat, à partir des relevés des niveaux sur les différents points d’eau (puits, forages et une source) (figure 21).

La carte piézométrique a été tracée sur la base des informations reportées dans l’Annexe (Tableau D).

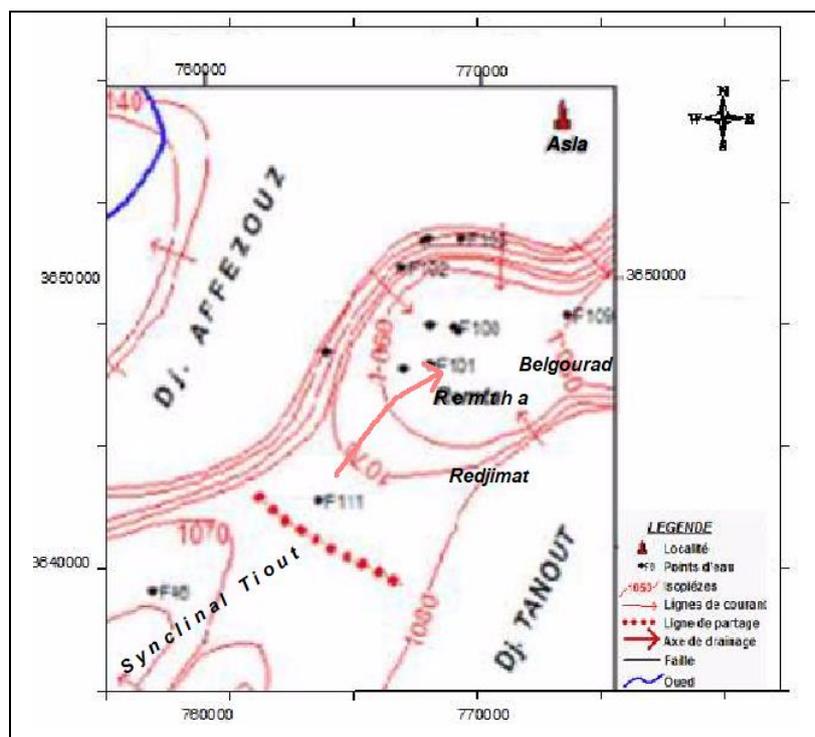


Figure22 : Carte piézométrique de la nappe de Remtha-Redjimat (Rahmani 2018)

IV-1- Interprétation de la carte piézométrique : (figure 22)

En général il existe une étroite relation entre les écoulements superficiels et souterrains, en particulier le long des principaux axes de drainage.

L'écoulement souterrain suit le plus souvent la pente topographique et ne coïncide pas nécessairement avec un linéament majeur.

- Au niveau de la zone d'étude, l'écoulement souterrain global se fait de l'Ouest à l'Est, l'exutoire de la nappe est la source de Belgourad (Remtha - Redjimat).
- Remarquons que la ligne de partage des eaux structurale correspond à une faille qui limite le synclinal de Redjimat-Remtha et celui de Tiout.
- Pour les gradients hydrauliques, on notera des valeurs de 9 ‰ à 30 ‰.

Cette augmentation est due à une diminution de la section d'écoulement ainsi qu'au drainage des eaux à partir des formations Jurassiques du Djebel Affezouz.

V- LA TRANSMISSIVITE :

Des essais de pompage de longue durée (48 h à 72 h) à débit constant ont été effectués sur les différents forages captants les grès crétacés inférieurs.

A partir des courbes de descente et de remontée, le calcul des transmissivités a été effectué par l'expression de la pente de la droite représentative ΔS , déterminée par l'accroissement des rabattements, au cours d'un cycle logarithmique, à partir de la formule de Jacob.

$$T = \frac{0.183.Q}{\Delta S}$$

Les valeurs des transmissivités varient entre 10^{-5} et 10^{-2} m²/s. Cette grande dispersion des valeurs dépend d'une part, des variations de l'épaisseur de la nappe et d'autre part, de la perméabilité des formations gréseuses fissurées.

D'après le tableau nous remarquons que les bonnes valeurs de transmissivité sont situées au niveau de cœur de synclinal (Dalaat Aissa) liées aux affleurements importants

des grès qui favorisent l'alimentation de la nappe. Les basses valeurs situées au niveau des autres forages s'explique par les fortes épaisseurs des passées argileuses intercalées (c'est une limite étanche imperméable stratigraphique représentée par les fréquentes intercalations argileuses).

Le tableau N°11 résume les différents résultats obtenus.

| N° | points d'eau | X | Y | T (m ² /s) | T(m ² /j) |
|----|--------------|--------|---------|-----------------------|----------------------|
| 1 | Remta 2 | 767645 | 3646525 | 7.10 ⁻⁴ | 61 |
| 2 | Remta 3 | 766501 | 3650063 | 2.10 ⁻⁴ | 19 |
| 3 | Remta 4 | 768853 | 3651070 | 7.10 ⁻⁴ | 63 |
| 4 | Remta 5 | 767355 | 3650984 | 6.10 ⁻⁴ | 55 |
| 5 | Remta 6 | 766586 | 3646344 | 1,5.10 ⁻⁰² | 1200 |
| 6 | Remta 7 | 763574 | 3646952 | 8.10 ⁻⁰⁵ | 7 |
| 7 | Redjimat 2 | 768720 | 3647679 | 2.10 ⁻⁰³ | 176 |

Tableau N°11 : Les valeurs de transmissivités pour la région d'Asla

PARTIE III :
HYDROCHIMIE

L'analyse de la chimie des eaux constitue un complément indispensable à l'étude hydrogéologique. Elle permet d'apporter de nombreuses informations sur le milieu aquifère, la nature de l'encaissant, les zones d'alimentation et de circulation, ainsi que la potabilité des eaux.

C'est dans cet objectif qu'ont été analysés 12 échantillons d'eau pris dans les points d'eau (puits, forages, source) tous captant les grès du Crétacé inf.

La caractérisation d'une ressource en eau requiert l'obtention de données physico-chimiques diverses obtenues à partir des analyses d'échantillons prélevés à différents points d'eau situés dans le même secteur d'étude.

Cette étude hydrochimique est basée sur l'interprétation des analyses chimiques des échantillons prélevés par la Direction des ressources en eau de la wilaya de Naama au niveau de 12 points d'eau (forages).

Ces analyses ont été réalisées au laboratoire de chimie des eaux de l'ANRH d'Oran (Agence Nationale des Ressources Hydriques), et ont porté sur les éléments chimiques majeurs suivants:

- Les cations: Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ et K^+ .
- Les anions: HCO_3^- , SO_4^- , Cl^- et NO_3^- .

ainsi que le PH, la conductivité et la minéralisation.

Les résultats des ions en Mg/L, et de la conductivité mesurée sur terrain, sont reportés au Tableau en (Annexe).

II. Interprétation des données de mesure et des résultats d'analyse :

1- Contrôle des analyses par balance ionique :

Les analyses peuvent être contrôlées par la formule suivante :

$$BI = \left| \frac{\sum r^+ + \sum r^-}{\sum r^+ - \sum r^-} \right| \times 100$$

Avec : BI : Balance ionique en (%)

r : quantités en réaction en Mg/L.

Expression des résultats : Si $BI > 5\%$ => erreur dans l'analyse.

Si $2 > BI > 5\%$ => l'analyse est acceptable.

Si $BI < 2$ => bonne analyse.

Les résultats des analyses chimiques effectués sur les échantillons prélevés dans les différents points d'eau sont portés en Annexe (**Tableau E**).

Les valeurs de la balance ionique sont :

* inférieures à 2% dans les points d'eau (la Source Koudiat Abdelhak, Remta 1, Remta 6, Redjimat et Botma), donc on a une bonne analyse, tandis qu'elles sont comprises entre 2% et 5% pour les points d'eau (Koudiat Abdelhak 2, Remta 3, et Remta 7) donc elles sont acceptables.

* La valeur de la balance ionique est supérieure à 5% dans les autres points (Koudiat Abdelhak 1, Remta 2, Remta 4, Remta 5), donc on a des résultats douteux.

2 - Interprétation physico chimique :

-pH :

Le pH d'une solution varie en fonction de la concentration en ions (H_3O^+) ou H^+ . 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.

Les valeurs du pH dans notre secteur sont comprises entre 7.3 et 8.3, elles sont donc dans les normes algériennes (6.5-8.5).

- La minéralisation :

Dans la région de Asla, on a une minéralisation de l'ordre 1500 Mg/L, qui augmente à l'Est de ce synclinal aux points d'eau Koudiat Abdelhak1 et 2, Remta 5 et 7 ainsi que la source (Koudiat Abdelhak), captant le membre médian et inférieur de la formation de Tiout.

-la conductivité : elle traduit la minéralisation totale de l'eau, sa procédure est simple ; elle fait partie des moyens utilisés pour valider les analyses physico-chimiques de l'eau et de déceler immédiatement une variation de sa composition.

On peut classer la conductivité dans notre région en deux parties :

-Conductivité importante dans les points d'eau : Remta 6, Redjimat 2 et Botma.

-Conductivité élevée dans les autres points d'eau ainsi que la source (Koudiat Abdelhak).

Les valeurs de minéralisation, conductivité ainsi que le résidu sec sont reportés dans le **tableau N°12**

Tableau N° 12 : valeurs des minéralisations, conductivité et résidu sec
Pour les différents points d'eau

| Points d'eau | Minéralisation (Mg/L) | Conductivité (μ S/cm) | Résidu sec (Mg/L) |
|----------------------|--------------------------|-------------------------------|----------------------|
| S (Koudiat Abdelhak) | 1820 | 1.7 | 1054 |
| Koudiat Abdelhak 1 | 2220 | 2.6 | 1612 |
| Koudiat Abdelhak 2 | 1800 | 2.2 | 1632 |
| Remta 1 | 1020 | 1.2 | 744 |
| Remta 2 | 1060 | 1.5 | 930 |
| Remta 3 | 1280 | 1.2 | 744 |
| Remta 4 | 900 | 1.1 | 682 |
| Remta 5 | 2000 | 1.9 | 1178 |
| Remta 6 | 680 | 0.8 | 496 |
| Remta 7 | 2000 | 2.4 | 1488 |
| Redjimat 2 | 540 | 0.8 | 547 |
| Botma | 2220 | 0.9 | 660 |

-Le résidu sec :

La valeur limite en résidu sec dans l'eau destinée à la consommation humaine est fixée à 1500 Mg/L.

Les valeurs de résidu sec dans notre région sont comprises entre 496 et 1488, ce sont des valeurs moyennes et acceptables ne dépassant pas les normes.

Sauf pour les deux points Koudiat Abdelhak 1 et 2 qui ont dépassé la norme avec des valeurs respectives de 1612 et 1632 Mg/L.

III. Caractéristiques chimiques :

1 -Qualité des eaux :

A/ Norme de potabilité :

La qualité de l'eau de consommation est appréciée sur la base des normes de potabilité définies par la réglementation.

Si un des paramètres dépasse la concentration limite autorisée, il y a absence de conformité aux normes établies.

Les normes définies par la réglementation algérienne (N.A-1992) sont inspirées des normes de l'Organisation Mondiale de Santé (O.M.S) relatives aux eaux et des normes prescrites par les directives de la Communauté Européenne (C.E.E) (Haouiou, 1994).

Interprétation des résultats :

Les résultats sont reportés au **tableau N°13**, l'eau de notre région répond en général aux normes algériennes, tous les points d'eau prélevés sont potables, mais on remarque un excès :

- du Ca^{++} qui dépasse les normes algérienne aux points d'eau : (Remta5 : 285 Mg/L), (Remta7: 224 Mg/L) et (Koud 1 : 216 Mg/L), (Koud 2: 264 Mg/L) et la source de Koudiat Abdelhak (S : 257 Mg/L).
- du SO_4^{-2} points d'eau : (Remta 5 :1008 Mg/L), (Remta: 7816 Mg/L), (Koud 2 :930 Mg/L), et la source de Koudiat Abdelhak : 744 Mg/L).
- Une minéralisation élevée qui dépasse aussi les normes au niveau des points d'eau : (Remta 1 :1020 Mg/L), (Remta 2 : 1060 Mg/L) et (Remta 3 : 1280 Mg/L) et (Remta 5 : 2000 Mg/L), (Remta 7 : 2000 Mg/L) et (Koud 1 : 2220 Mg/L) (Koud 2 : 1800 Mg/L), (Koud(Source) : 1820 Mg/L).

Tableau N°13 : Potabilité des eaux selon les normes algériennes.

| Paramètres | Unités | Niveau guide | Concentration Maximale admissible | Résultats des analyses chimiques | |
|-------------------------------|--------|--------------|---|--|---|
| | | | | Eau potable | Eau non potable |
| Ca ⁺⁺ | Mg/L | 75 | 200 | Remta1-Remta2- Remta3-Remta4- Remta6- Redjimat2- Botma | Remta5-Remta7- koudiat Abdelhak1- Koudiat Abdelhak2- Source Koudiat.A |
| Mg ⁺⁺ | Mg/L | | 150 | Remta1-Remta2- Remta3-Remta4- Remta5-Remta6- Remta7- Redjimat2- Kod1-kod2- Kod(Source)- Botma | |
| Cl ⁻ | Mg/L | | 500 | Remta1-Remta2- Remta3-Remta4- Remta5-Remta6- Remta7- Redjimat2-kod2- Kod(Source)- Botma | Kod1 |
| So ₄ ⁻² | Mg/L | 200 | 400 | Remta1-Remta2- Remta3-Remta4 -Remta6- Redjimat2- Botma | Remta5-Remta7- Kod2- Kod(Source) |
| No ₃ ⁻ | Mg/L | | 50 | Remta1-Remta2- Remta3-Remta4- Remta56- Remta7- Redjimat2- Kod1-kod2- Kod(Source)- Botma | Remta6 |
| Cu | Mg/L | | 1 | | |
| pH | - | 6.5 | 8.5 | Remta1-Remta2- Remta3-Remta4- Remta5-Remta6- Remta7- Redjimat2- Kod1-kod2- | |

| | | | | | |
|----------------|-------|--|------|--|--|
| | | | | Kod(Source)- Botma | |
| Minéralisation | Mg/L | | 1000 | Remta4-Remta6- Redjimat2- Botma | Remta1-Remta2- Remta3-Remta5- Remta7-Kod1- kod2- Kod(Source) |
| Résidu Sec | Mg/L | | 2000 | Remta1-Remta2- Remta3-Remta4- Remta5-Remta6- Remta7- Redjimat2- Kod1-kod2- Kod(Source)- Botma | |
| Conductivité | µs/cm | | 2880 | Remta1-Remta2- Remta3-Remta4- Remta5-Remta6- Remta7- Redjimat2- Kod1-kod2- Kod(Source)- Botma | |

B/ la dureté :

En plus des paramètres physico-chimiques d'une eau, la charge en minéraux est appréciée par la dureté, produite par les sels de calcium et de magnésium qu'elle contient.

Elle est mesurée par le titre hydrotimétrique TH et s'exprime en degré français °F. (1 °F correspond à 10 mg de carbonate de Ca⁺⁺ dans 1 litre d'eau).

$$\text{TH} = (\text{rCa}^{++} + \text{rMg}^{++}) \times 5 \text{ °F}$$

Valeurs de la dureté suivant l'OMS

| TH (°F) | 0 à 7 | 7 à 22 | 22 à 32 | 32 à 54 | >54 |
|---------|-------|------------------|------------|---------|-----------|
| Dureté | douce | Modérément douce | Assez dure | Dure | Très dure |

Les valeurs de la dureté totale des différents points d'eau sont reportées dans le tableau suivant :

| Points d'eau | TH (°F) |
|---------------------------|-----------|
| Koudiat Abdelhak (Source) | 102 |
| Koudiat Abdelhak 1 | 99 |
| Koudiat Abdelhak 2 | 103 |
| Remta 1 | 55 |
| Remta 2 | 59 |
| Remta 3 | 72 |
| Remta 4 | 45 |
| Remta 5 | 108 |
| Remta 6 | 36 |
| Remta 7 | 101 |
| Redjimat 2 | 41 |
| Botma | 51 |

En général les eaux de la région sont dures à très dures, avec des valeurs variant de 36 (Remta 6) à 108 °F (Remta 5).

Les valeurs de la dureté comprise entre 36 et 55 °F, correspondent aux eaux issues des forages captant les grès du membre supérieur de la formation de Tiout.

2- Qualité des eaux d'irrigation :

Les eaux superficielles et souterraines peuvent être utilisées aussi bien pour l'alimentation humaine ou industrielle que pour l'irrigation.

La méthode du S.A.R permet d'interpréter les classes des couples, salinité, sodicité pour chaque point d'eau et aussi la nature du sol pour l'irrigation. Il est donné par la formule suivante :

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

Na⁺⁺, Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺ en meq/l

SAR<10 eau excellente

10<SAR<18 bonne eau

18<SAR<26 eau convenable

SAR>26 eau médiocre :

Les valeurs sont représentées dans le **tableau N°14** :

Tableau N°14 : valeurs du S.A.R. et la conductivité pour les différents points d'eau

| Points d'eau | SAR | Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) |
|-----------------|--------------|--|
| S (Koudiat AEH) | 36.87 | 1700 |
| Koud. AEH 1 | 86.51 | 2600 |
| Koud. AEH 2 | 40.44 | 2200 |
| Remta 1 | 14.04 | 1200 |
| Remta 2 | 14.13 | 1500 |
| Remta 3 | 18.84 | 1200 |
| Remta 4 | 18.32 | 1100 |
| Remta 5 | 32.25 | 1900 |
| Remta 6 | 6.46 | 800 |
| Remta 7 | 47.69 | 2400 |
| Redjimat 2 | 7.23 | 800 |
| Botma | 10.35 | 900 |

D'après le **tableau N°14**, on constate que les eaux des points :

- Remta 6, Redjimat 2 et Botma sont excellentes pour l'irrigation ($\text{SAR} < 10$).
- Remta 1, Remta 2, Remta 3 et Remta 4 sont convenables pour l'irrigation ($18 < \text{SAR} < 26$).
- Remta 5, Remta 7, Koudiat Abdelhak 1 et 2 ainsi que la source sont médiocres pour l'irrigation ($\text{SAR} > 26$)

Les valeurs calculées du SAR et celle de la conductivité permettent de classer l'eau, du point de vue de sa qualité pour l'irrigation, suivant le diagramme de classification qui comprend des classes de différentes qualités de l'eau.

La position de ce point caractérise la qualité de l'eau de ces puits pour l'irrigation, qui est définie dans le **tableau N°15** (d'après J.Servant, 1975, classification des eaux d'irrigation, U.S. Salinity LAB).

Tableau N°15 : classification des eaux d'irrigation

| Degré | Qualité | Classes | Description |
|-------|------------|-------------------------|---|
| 1 | excellente | C1-S1 | Eau utilisable sans danger dans l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart des sols |
| 2 | Bonne | C2-S1 C2-S2 | En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels, sur sols ayant une bonne perméabilité. Principaux problèmes dus aux plantes trop sensibles, au sodium et aux sols à forte capacité d'échange d'ions (sols argileux) |
| 3 | admissible | C3-S1 | En général, eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée. Principaux problèmes dus aux plantes trop sensibles au sodium et aux sols à faible perméabilité. |
| 4 | Médiocre | C4-S1 C4-S2 C3-S3 | En général eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés |
| 5 | mauvaise | C3-S4 C4-S3 C4-S4 | Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation, mais pouvant être utilisé sous certaines conditions : sols très perméables, bon lessivage, plante tolérant très bien le sel |

D'après la **figure N°23**, on remarque que la plupart des points d'eau sont inclus dans la classe C3-S1, elles doivent être utilisées avec précaution, nécessité de drainage, et avec des doses de lessivage et des apports de gypse.

Ces eaux possèdent une qualité admissible pour l'irrigation.

Les points d'eau Remta 7 et Koudiat Abdelhak 2 sont inclus dans la classe C4-S1 et le point Koudiat Abdelhak 1 dans la classe C4-S2, en général eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.

Ces eaux possèdent une qualité admissible pour l'irrigation.

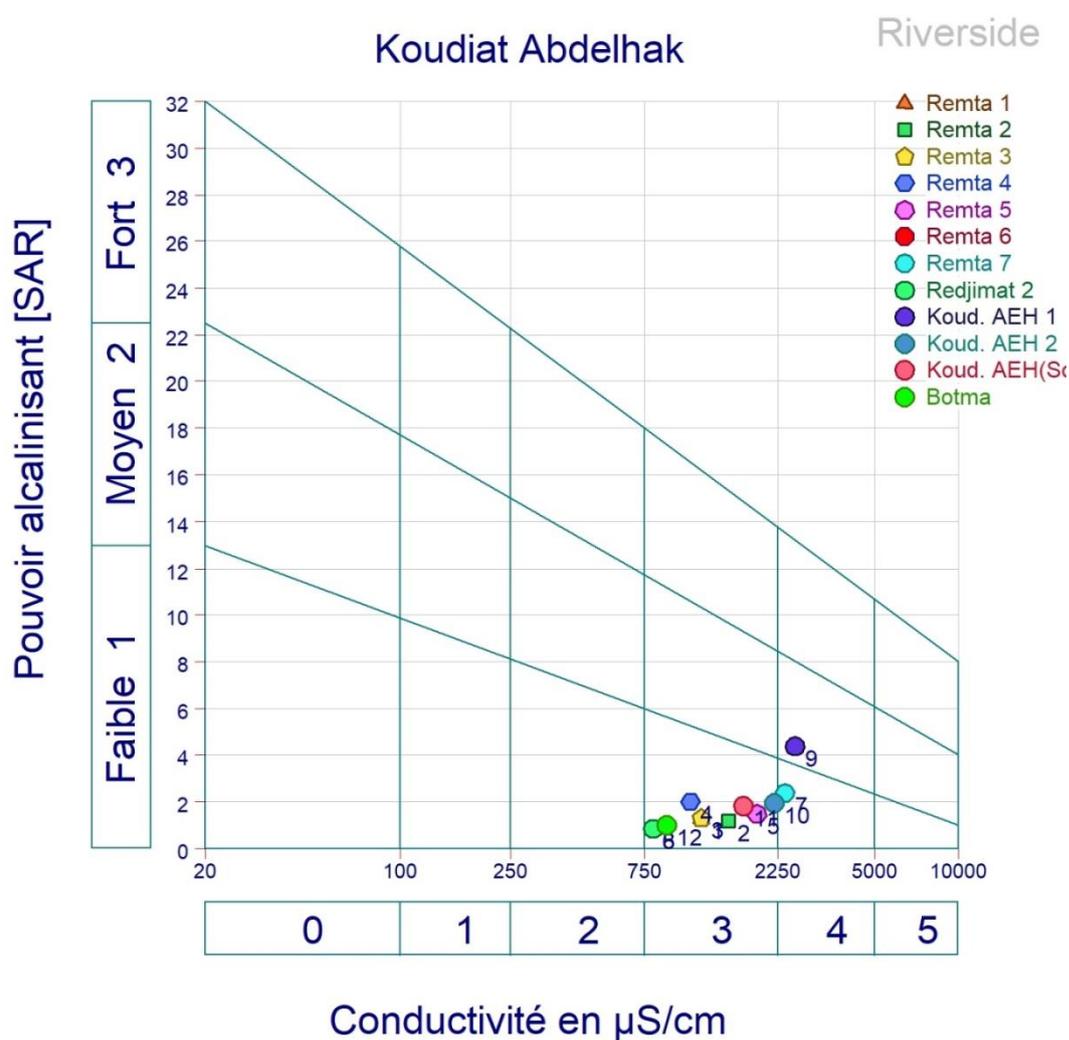


Figure 23 : Qualité des eaux d'irrigation S.A.R.

IV. Représentation graphique des analyses d'eau :

1- Diagramme de Shoeller-Berkaloff :

Le diagramme semi-logarithmique de Shoeller Berkaloff (**figure 24**) est utilisé pour la représentation graphique des analyses chimiques.

La classification tient compte de l'importance des principaux anions et cations et permet de déterminer le type de faciès des eaux ainsi que leurs évolutions.

Les analyses chimiques effectuées sur les eaux des grès du Crétacé inférieur de Koudiat Abdelhak - Redjimat permettent de distinguer 5 types de faciès :

1. Bicarbonaté Calcique (Redjimat 2 et Remta 6)
2. Sulfaté Magnésien (Remta 3)
3. Sulfaté Calcique (Remta 1, Remta 4, Remta 5, Remta 7, Koudiat Abdelhak 2 et la Source de Koudiat Abdelhak)
4. Chloruré Sodique (Koudiat Abdelhak 1)
5. Chloruré Calcique (Remta 2)

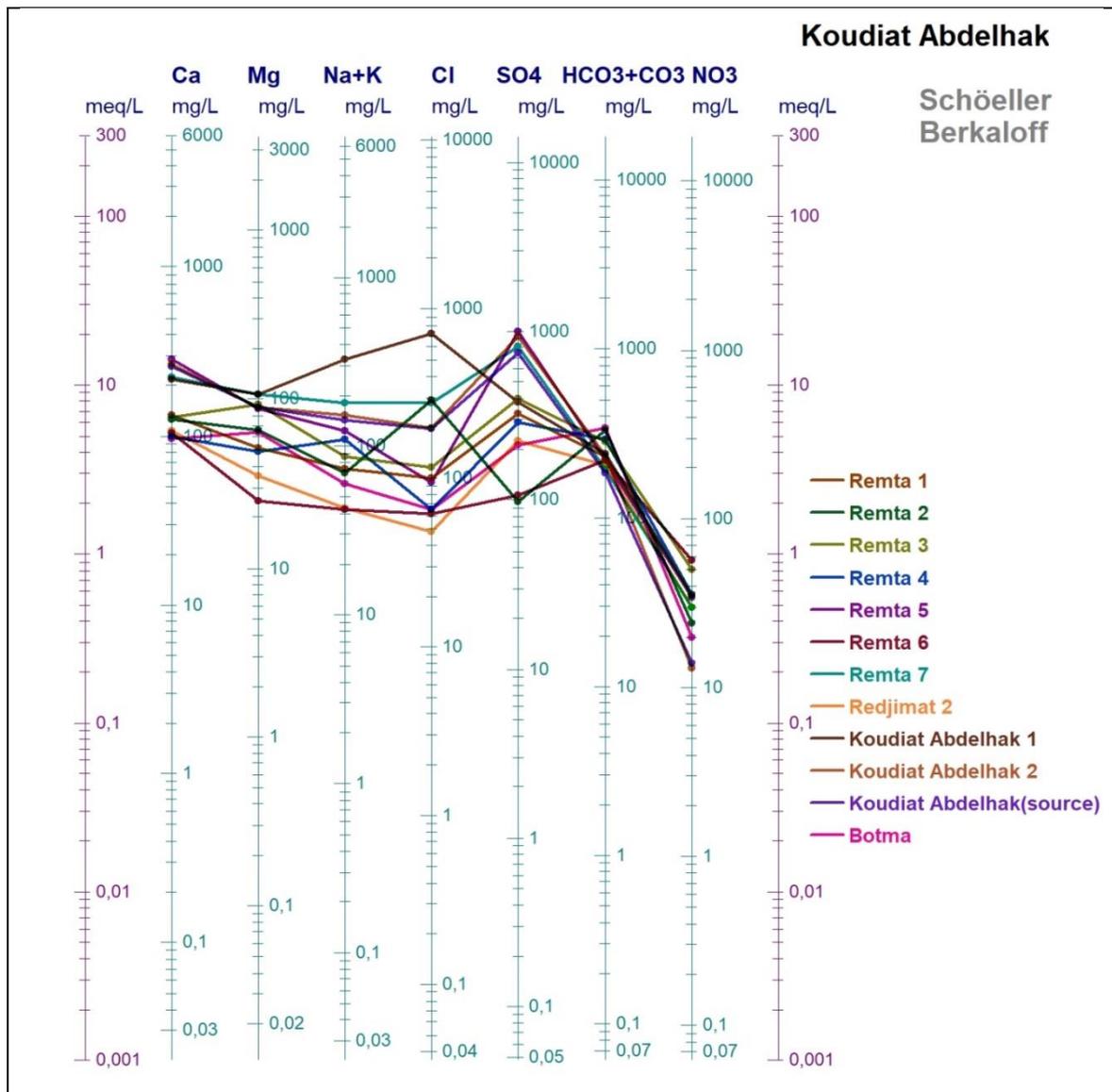


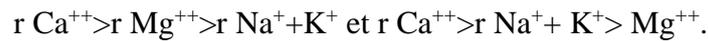
Figure 24 : diagramme de Schoeller Berkaloff

A/ Les eaux Bicarbonatées calciques :

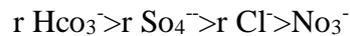
Ce faciès caractérise les eaux de forage Remta 6 et Redjimat 2.

Le résidu sec est de 496 Mg/L et 547 Mg/L. Ce faciès présente des eaux de bonne qualité et moins minéralisées.

Les formules caractéristiques sont :



Avec



L'accroissement de la concentration de Ca^{++} et Mg^{++} par rapport à $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ est due à la dissolution des calcaires qui forment le ciment des grès crétaqués.

B/ Les eaux sulfatées Magnésiennes:

Ce faciès est rencontré au niveau du forage Remta 3.

Son résidu sec est de 744 Mg/L. Ces eaux sont moins minéralisées.

La formule caractéristique est :

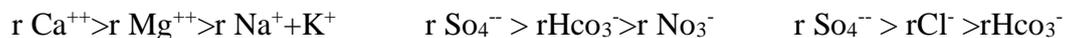


C/ Les eaux sulfatées calciques:

Ce faciès caractérise la plupart des eaux de la région d'étude. (Remta 1, Remta 4, Remta 5, Remta 7, Koudiat Abdelhak 2 et la Source de Koudiat Abdelhak)

Leur résidu sec est compris entre 682 et 1632 Mg/L. Ce sont des eaux moyennement minéralisées.

Les formules caractéristiques de ces eaux sont :

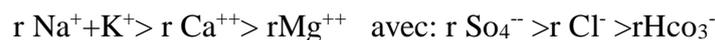


L'accroissement de la concentration des ions de calcium (Ca^{++}), bicarbonate (HCO_3^-) et de sulfates (SO_4^{--}) est due essentiellement à la dissolution des inter lits gypseux localisés dans la région de Asla.

D/ Les eaux Chlorurées sodiques :

Ce faciès est rencontré au niveau du Forage Koudiat Abdelhak 1; leur résidu sec est de l'ordre de 1612 Mg/L, ce sont des eaux minéralisées.

La formule caractéristique est :



E/ Les eaux Chlorurées Calciques :

Ce faciès est rencontré au niveau du forage Remta 2

2- Diagramme de Piper :

La représentation des analyses chimiques sur le diagramme de piper permet de catégoriser les faciès chimiques des échantillons d'eau prélevés sur le terrain.

Les résultats sont reportés en pourcentage (%) par la formule suivante :

Pour les anions $r\% = rx.100 / r \text{ anions}$ Pour les cations $r\% = rx.100 / r \text{ cations}$

x : paramètre chimique

A partir du diagramme de Piper (**figure 25**) la position des points représentatifs caractérisant la composition chimique de l'eau, fait ressortir un groupe très dominant dans tous les points d'eau : chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne.

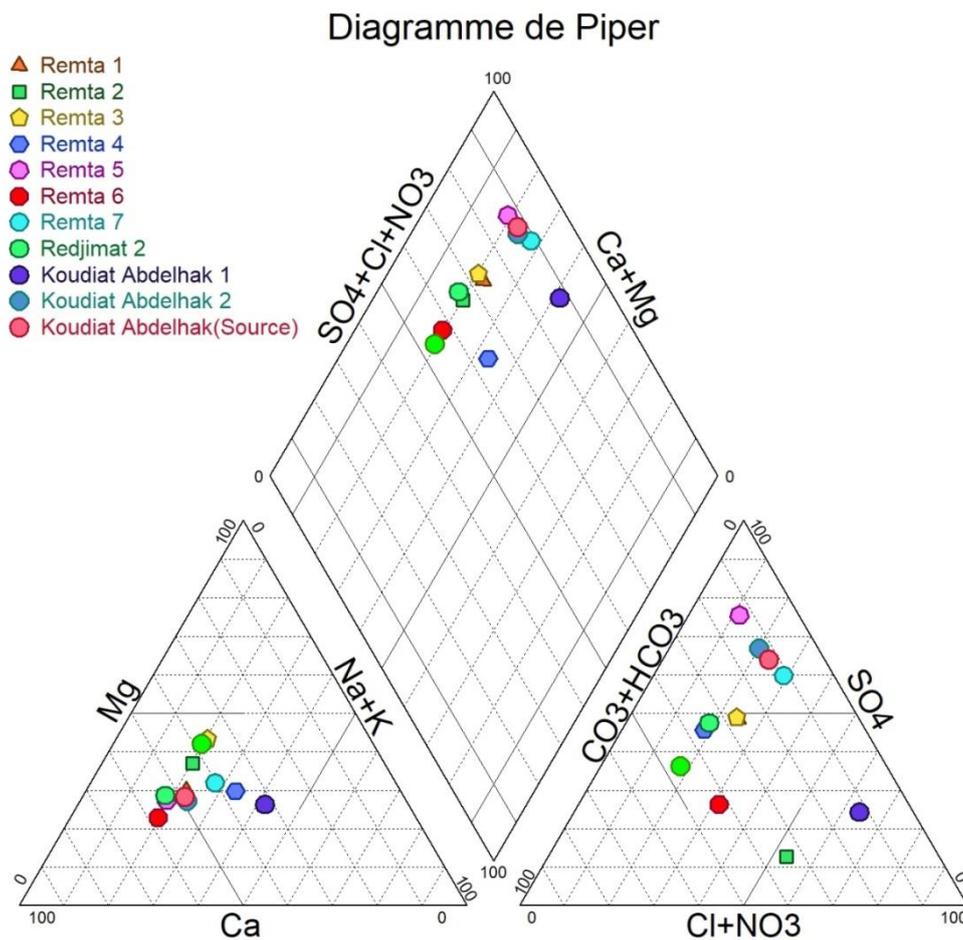


Figure 25 : Diagramme de Piper

3- Diagramme de STIFF (Figure 26):

Ce diagramme nous donne 07 types de faciès :

● Sulfaté Calcique (Remta 1, Remta 4, Remta 5, Remta 7, Koudiat Abdelhak 2, Koudiat Abdelhak(Source)).

- Chloruré Calcique (Remta 2).
- Chloruré Sodique (Koudiat Abdelhak 1).
- Sulfaté Magnésien (Remta 3).
- Sulfaté Sodique (Koudiat Abdelhak 1).
- Bicarbonaté Calcique (Remta 6. Redjimat 2).
- Bicarbonaté Magnésien (Botma).

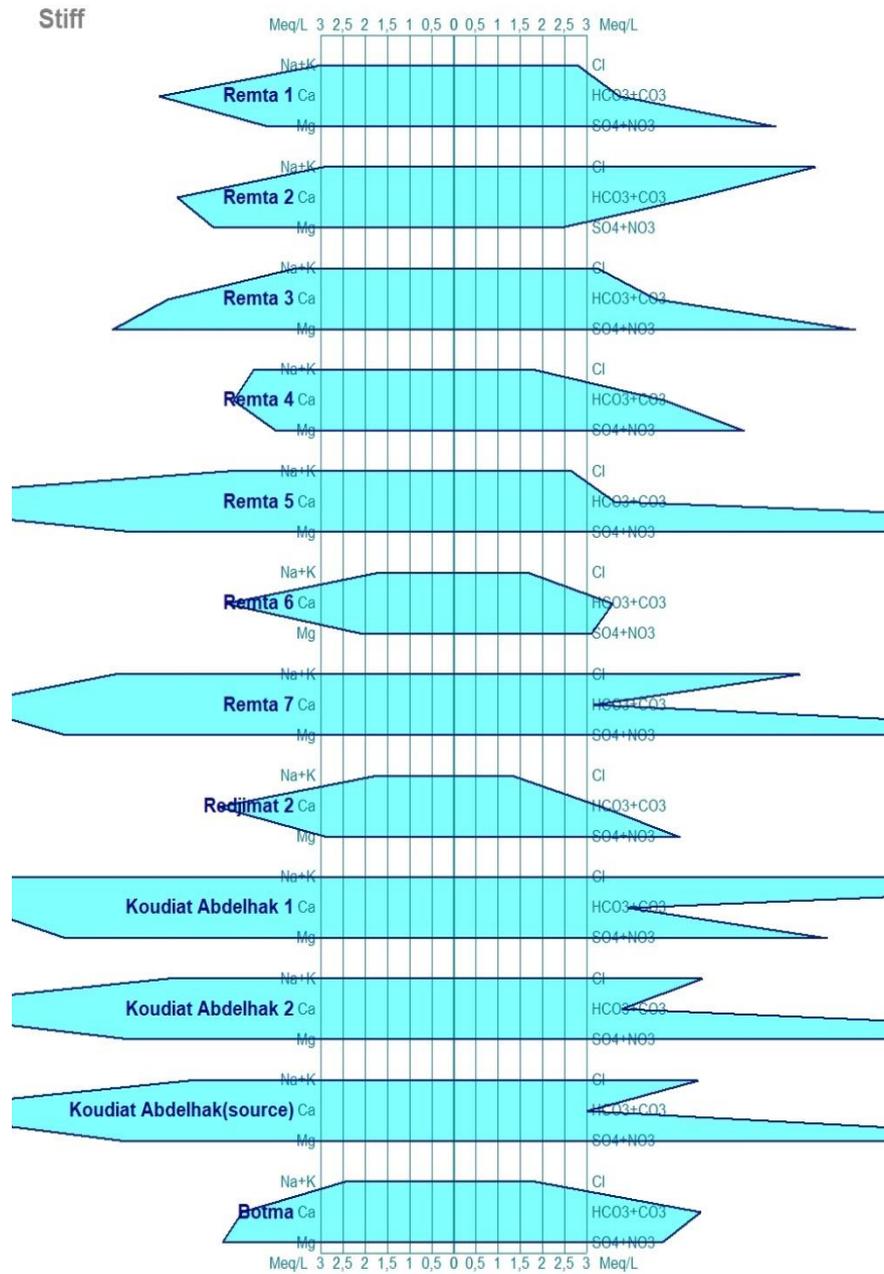


Figure 26 : diagramme de Stiff

V. Conclusion :

L'interprétation des analyses physico-chimiques des eaux de la zone d'étude montre l'existence de cinq faciès chimiques, avec des eaux dures à très dures.

Des valeurs de minéralisation qui varient entre 500 et 2200 Mg/L.

L'étude des faciès hydrochimiques des eaux souterraines de la région, montre que celles-ci sont de manière générale, de nature Sulfaté Calcique à Magnésienne et Chlorurée Sodique à Calcique.

Les anions dominants sont les Sulfates et les Chlorures pour la nappe du Crétacé inférieur. Ces résultats révèlent que les faciès rencontrés sont essentiellement contrôlés par la dissolution du gypse et l'halite malgré la différence de nature des roches rencontrées.

Les captages d'eaux souterraines dans la région de Asla du point de vue quantitatif et qualitatif du système aquifère gréseux Crétacé inférieur se limite au membre supérieur de la formation de Tiout. Les membres médian et inférieur de Tiout peuvent servir à l'irrigation et le pastoralisme.

***CONCLUSION
GENERALE :***

CONCLUSION GENERALE

Cette étude nous a permis d'avoir une idée sur les caractéristiques hydrogéologiques et hydrochimiques de la région d'étude.

La géologie de la région étudiée est caractérisée par trois grandes formations: secondaires, post turoniennes et quaternaires et présente un aspect structural complexe caractérisé par :

- une tectonique souple.
- Une tectonique complexe.
- Mobilité et plasticité du Trias.

Du point de vue climatologique, la région présente un climat semi-aride à désertique avec une température moyenne annuelle de 17,7°C et cela durant une période de 1987-2007; l'analyse climatologique aboutit à un bilan hydrique déficitaire.

L'étude piézométrique de l'aquifère du synclinal Crétacé inf. de Koudiat Abdelhak montre un écoulement souterrain global se fait de l'Ouest à l'Est, ce qui confirme que l'exutoire de la nappe pour ce synclinal est la source de Belgourad.

Nous remarquons que les bonnes valeurs de transmissivité sont situées au niveau de cœur de synclinal (Dalaat Aissa et Redjimat) liées aux affleurements importants des grès crétacés qui favorisent l'alimentation de la nappe. Les basses valeurs situées au niveau des autres forages s'explique par les fortes épaisseurs des passées argileuses intercalées (c'est une limite étanche imperméable stratigraphique représentée par les fréquentes intercalations argileuses).

L'étude hydrochimique a permis de compléter l'étude piézométrique et géologique.

En général, l'eau de cette région répond aux normes algériennes de potabilité, elle est admissible et médiocre pour l'irrigation, et l'eau captant les grès du membre supérieur de la formation de Tiout est favorable pour la consommation humaine.

ANNEXES

Recueil des données
Station : Ain Séfra
Latitude : 32.76 N
Altitude : 1058.0 m

Indicatif : 60560
Longitude : 00.60 W
Période : 1987-2007

| Année/mois | SEP | OCT | NOV | DEC | JAN | FEV | MAR | AVR | MAI | JUN | JUL | AUT | Total |
|------------------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|-------|
| 1987/1988 | 1.7 | 5.5 | 27.6 | 12.4 | 10.3 | 31.1 | 16.4 | 0.9 | 14 | 19.3 | 8.3 | 0.1 | 147.6 |
| 1988/1989 | 13.2 | 7.1 | 14.1 | 0.6 | 31.4 | 5.5 | 24.1 | 20.8 | 24.7 | 14.6 | 2.3 | 22.7 | 181.1 |
| 1989/1990 | 8.7 | 20.1 | 13.5 | 8.4 | 22.7 | 00 | 4.1 | 68.2 | 164.5 | 4.2 | 12.2 | 2.9 | 329.5 |
| 1990/1991 | 12.4 | 1.1 | 3 | 13.4 | 2.5 | 52.3 | 164.4 | 53.2 | 25.6 | 38.9 | 6.5 | 6.9 | 380.2 |
| 1991/1992 | 8.8 | 55.2 | 0.6 | 16 | 3.7 | 4.2 | 13.1 | 4.2 | 32.5 | 0.5 | 8.8 | 4 | 151.6 |
| 1992/1993 | 0.6 | 00 | 15.8 | 1.7 | 7 | 31.9 | 46.5 | 7.5 | 4.8 | 5.1 | 1 | 0.4 | 122.3 |
| 1993/1994 | 10.8 | 14.6 | 71.6 | 4.2 | 49.4 | 3.6 | 65 | 00 | 1.5 | 3.6 | 1 | 3.5 | 146.8 |
| 1994/1995 | 57.8 | 54.7 | 12.8 | 00 | 1.7 | 4.5 | 40.6 | 34.7 | 0.5 | 3.1 | 0.3 | 5 | 215.7 |
| 1995/1996 | 11.3 | 39.2 | 0.2 | 5 | 21.9 | 23.5 | 55.3 | 7.8 | 5.2 | 32.3 | 12.2 | 1.6 | 215.5 |
| 1996/1997 | 4.3 | 2.7 | 00 | 25.3 | 34.9 | 00 | 4.6 | 45.7 | 2.9 | 00 | 3.4 | 34.3 | 158.1 |
| 1997/1998 | 14.6 | 6.3 | 3.3 | 2.7 | 6.7 | 6.5 | 4 | 4.4 | 13.2 | 14.3 | 0.8 | 0.5 | 77.3 |
| 1998/1999 | 28.4 | 6.7 | 0.2 | 11.6 | 64.5 | 12 | 9.9 | 9 | 00 | 0.4 | 5.4 | 9.9 | 158 |
| 1999/2000 | 3.4 | 6 | 6.6 | 6.2 | 4.1 | 00 | 1 | 2.5 | 8.3 | 3.4 | 00 | 2.4 | 43.9 |
| 2000/2001 | 22.9 | 40.1 | 00 | 1.8 | 2.8 | 1.1 | 00 | 2.1 | 2.2 | 0.2 | 0.3 | 10.6 | 84.1 |
| 2001/2002 | 8.8 | 17.9 | 14 | 7.6 | 00 | 7.5 | 3.1 | 27.5 | 2.3 | 4.3 | 1.5 | 31.4 | 125.9 |
| 2002/2003 | 11 | 14.9 | 38 | 7.2 | 20.7 | 25.3 | 25.3 | 8 | 15.1 | 0.8 | 8.3 | 3.1 | 177.7 |
| 2003/2004 | 14.8 | 47.1 | 4.9 | 4.9 | 0.5 | 13.6 | 25.8 | 18.8 | 18.8 | 25.4 | 1.8 | 8.9 | 185.3 |
| 2004/2005 | 44.3 | 3 | 22.7 | 16.9 | 6.1 | 2 | 3.1 | 00 | 0.6 | 4.4 | 0.3 | 29.9 | 133.3 |
| 2005/2006 | 24.9 | 37.8 | 44.1 | 7.8 | 29.7 | 11.8 | 5.7 | 10.8 | 43.2 | 0.4 | 1.8 | 3.1 | 221.1 |
| 2006/2007 | 24.6 | 7 | 20.4 | 17.2 | 1.7 | 5.7 | 2.8 | 47.6 | 3.1 | 00 | 3.2 | 31.8 | 165.1 |
| Moyenne M | 16.4 | 19.3 | 12.5 | 8.6 | 16.1 | 12.1 | 25.8 | 18.7 | 19.2 | 8.8 | 4 | 10.7 | 172.2 |

Tableau (A)
Valeurs des précipitations moyennes mensuelles et annuelles

Recueil des données
Station : Ain Séfra
Latitude : 32.76 N
Altitude : 1058.0 m

Indicatif : 60560
Longitude : 00.60 W
Période : 1985-2005

| Année/mois | SEP | OCT | NOV | DEC | JAN | FEV | MAR | AVR | MAI | JUN | JUL | AUT | MOY |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1987/1988 | 26 | 19.3 | 11.4 | 7.95 | 8.8 | 9.5 | 12.7 | 16.1 | 20.9 | 25.2 | 29.8 | 29.45 | 18.10 |
| 1988/1989 | 22.8 | 18.15 | 12.7 | 5.6 | 5.2 | 8.75 | 12.35 | 14.9 | 20.3 | 24.65 | 28.75 | 28.25 | 16.86 |
| 1989/1990 | 24.85 | 18.7 | 13.55 | 10.85 | 6.25 | 10.95 | 14.15 | 14.4 | 20.3 | 27.75 | 28.75 | 27.85 | 18.19 |
| 1990/1991 | 25.65 | 19.3 | 12.2 | 6.95 | 6.92 | 7.25 | 10.45 | 14.35 | 17.4 | 24.75 | 28.77 | 18.94 | 16.07 |
| 1991/1992 | 24.5 | 15.65 | 11.1 | 7.35 | 5.3 | 8.35 | 9.78 | 14.9 | 19.55 | 22.1 | 27.2 | 27.05 | 16.06 |
| 1992/1993 | 24.05 | 16.9 | 10.35 | 8.2 | 6.85 | 6.1 | 11.4 | 14.95 | 20.02 | 26.55 | 30.05 | 28.85 | 17.02 |
| 1993/1994 | 22.35 | 17.8 | 11.4 | 8.1 | 7.5 | 9.5 | 12.05 | 13.85 | 22.3 | 27.1 | 29.7 | 29 | 17.52 |
| 1994/1995 | 23 | 17.6 | 11.95 | 8.6 | 6.9 | 10.05 | 11.1 | 13.2 | 22.5 | 25.25 | 28.6 | 28.7 | 17.28 |
| 1995/1996 | 22.2 | 17.3 | 13.4 | 10.3 | 9.45 | 8.05 | 12.3 | 15.8 | 19.65 | 24.25 | 28.2 | 29.25 | 17.51 |
| 1996/1997 | 22.25 | 16.8 | 12.3 | 9 | 9 | 10.36 | 13.45 | 15.7 | 21.35 | 26.25 | 29.95 | 27.55 | 17.83 |
| 1997/1998 | 24.05 | 18.4 | 13.25 | 9.75 | 8.85 | 10 | 12.7 | 16.75 | 18.45 | 25.38 | 30.3 | 29 | 18.07 |
| 1998/1999 | 25.95 | 17 | 13 | 6.25 | 7.1 | 7.15 | 12.45 | 17.2 | 23.6 | 27.5 | 30.35 | 30.45 | 18.16 |
| 1999/2000 | 25.3 | 20.85 | 10.55 | 7.41 | 4.75 | 9.55 | 13.85 | 16.3 | 21.4 | 25.2 | 30.9 | 28.2 | 17.85 |
| 2000/2001 | 23.75 | 15.35 | 13.3 | 10.05 | 8.6 | 9.2 | 15.8 | 16.75 | 19.7 | 28.15 | 31.25 | 30.05 | 18.49 |
| 2001/2002 | 25 | 21.2 | 11.4 | 9.1 | 7.4 | 9.95 | 13.55 | 15.65 | 21.3 | 27.55 | 29.7 | 28.15 | 18.32 |
| 2002/2003 | 23.7 | 18.35 | 12.75 | 10.6 | 7.65 | 8.65 | 14.25 | 16.75 | 21.45 | 28.5 | 31.1 | 28.4 | 18.51 |
| 2003/2004 | 24.25 | 19.85 | 11.75 | 8.25 | 8.25 | 10.15 | 13.7 | 16.05 | 17.80 | 26.3 | 29.65 | 29.75 | 17.97 |
| 2004/2005 | 23.95 | 20.60 | 10.25 | 6.85 | 4.5 | 5.95 | 14.35 | 17.85 | 24.45 | 27.05 | 31.55 | 28.75 | 18.02 |
| 2005/2006 | 23.7 | 19.75 | 11.7 | 7.25 | 4.95 | 8.3 | 13.85 | 18.75 | 22.55 | 26.55 | 29.75 | 29.45 | 18.04 |
| 2006/2007 | 22.7 | 19.7 | 12.95 | 7.5 | 8.45 | 11.5 | 11.05 | 15.25 | 20.4 | 26.5 | 30.1 | 29.15 | 17.93 |
| Moyenne | 24 | 18.42 | 12.06 | 8.29 | 7.14 | 8.96 | 12.76 | 15.77 | 20.76 | 26.12 | 29.72 | 28.31 | 17.7 |
| Minima Tm | 16.49 | 11.36 | 5.77 | 2.19 | 1.02 | 2.14 | 5.92 | 8.97 | 13.59 | 19.33 | 21.59 | 19.96 | 10.69 |
| Maxima Tx | 31.51 | 25.49 | 18.35 | 14.39 | 13.26 | 15.78 | 19.60 | 22.57 | 27.94 | 32.92 | 37.88 | 36.66 | 24.70 |
| (tm+tx) /2 | 24 | 18.42 | 12.06 | 8.29 | 7.14 | 8.96 | 12.76 | 15.77 | 20.76 | 26.12 | 29.72 | 28.31 | 17.7 |

Tableau (B)
Valeurs des températures moyennes mensuelles et annuelles

| Mois | JAN | FEV | MAR | AVR | MAI | JUN | JUL | AUT | SEP | OCT | NOV | DEC | ANN |
|---------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|-------|-------|--------|
| Précipitation (mm) | 16.1 | 12.1 | 25.8 | 18.7 | 19.2 | 8.8 | 4 | 10.7 | 16.4 | 19.3 | 12.5 | 8.6 | 172.2 |
| ETP corrigée (mm) | 11.22 | 16.29 | 28.86 | 42.05 | 65.76 | 109.13 | 166.86 | 159.62 | 128.76 | 78.06 | 35.57 | 16.67 | 858.85 |
| Variations (mm) | 4.88 | -4.19 | -3.06 | -23.35 | -46.56 | -100.33 | -162.86 | -148.92 | -112.36 | -58.76 | -23.7 | -8.07 | - |
| R.U (mm) | 4.88 | 0.69 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 5.57 |
| ETR (mm) | 11.22 | 16.29 | 26.49 | 18.7 | 19.2 | 8.8 | 4 | 10.7 | 16.4 | 19.3 | 12.5 | 8.6 | 172.2 |
| Déficit (mm) | 00 | 00 | 2.37 | 23.35 | 46.56 | 100.33 | 162.86 | 148.92 | 112.36 | 58.76 | 23.07 | 8.7 | 686.65 |
| Excédent (mm) | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |
| Écoulement | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |
| $\frac{P - ETP}{P}$ | 0.03 | -0.02 | -0.01 | -0.13 | -0.27 | -0.58 | -0.94 | -0.86 | -0.65 | -0.34 | -0.13 | -0.05 | -3.95 |

Tableau (C)
Éléments du bilan hydrique

| N° | points d'eau | X | Y | Z | NS | N piezo | Prof | Unité Hydro | Debit (l/s) | Usage |
|----|--------------------------|--------|---------|------|-------|---------|------|--------------|-------------|------------|
| 1 | Remta 1 | 768600 | 3647862 | 1087 | 21,00 | 1066,00 | 200 | Cretacé Inf, | 15 | Irrigation |
| 2 | Remta 2 | 767645 | 3646525 | 1084 | 18,60 | 1065,40 | 200 | Cretacé Inf, | 20 | Irrigation |
| 3 | Remta 3 | 766501 | 3650063 | 1084 | 39,50 | 1044,50 | 200 | Cretacé Inf, | 15 | Irrigation |
| 4 | Remta 4 | 768853 | 3651070 | 1077 | 42,50 | 1034,50 | 150 | Cretacé Inf, | 12 | AEP |
| 5 | Remta 5 | 767355 | 3650984 | 1085 | 35,00 | 1050,00 | 150 | Cretacé Inf, | 12 | Irrigation |
| 6 | Remta 6 | 766586 | 3646344 | 1084 | 24,30 | 1059,70 | 150 | Cretacé Inf, | 80 | Irrigation |
| 7 | Remta 7 | 763574 | 3646952 | 1108 | 44,20 | 1063,80 | 150 | Cretacé Inf, | 7 | Irrigation |
| 8 | Hassi El Abiadh | 767572 | 3651092 | 1084 | 55,00 | 1029,00 | 90 | Cretacé Inf, | 3 | AEP |
| 9 | Redjimat 2 | 768720 | 3647679 | 1085 | 22,70 | 1062,30 | 180 | Cretacé Inf, | 20 | AEP |
| 10 | Belgourad | 773051 | 3648311 | 1069 | 5,00 | 1064,00 | 100 | Cretacé Inf, | 4 | AEP |
| 11 | Redjimat | 767654 | 3647890 | 1080 | 18,00 | 1062,00 | 150 | Cretacé Inf, | 3 | AEP |
| 12 | Botma | 763326 | 3641522 | 1123 | 71,00 | 1052,00 | 90 | Cretacé Inf, | 4 | Irrigation |
| 13 | Koudiat Abdelhak 1 | 778430 | 3656092 | 1120 | 19,00 | 1101,00 | 200 | Cretacé Inf, | 15 | Irrigation |
| 14 | Koudiat Abdelhak 2 | 778764 | 3657313 | 1125 | 14,31 | 1110,69 | 88 | Cretacé Inf, | 7 | AEP |
| 15 | Koudiat Abdelhak(source) | 778933 | 3654215 | 1119 | 0,00 | 1119,00 | 0 | Cretacé Inf, | 2 | Irrigation |

Tableau (D)
Liste des points d'eau

| N° d'échan | pH | Ca ⁺⁺ mg/l meq/l | Mg ⁺⁺ mg/l meq/l | Na ⁺⁺ +k ⁺ mg/l meq/l | Σ cations mg/l meq/l | Cl ⁻ meq/l | So ₄ ⁻ mg/l meq/l | Hco ₃ ⁻ mg/l meq/l | No ₃ ⁻ mg/l meq/l | Σ anions mg/l meq/ | balance ionique % |
|--------------------------|-----|-----------------------------------|-----------------------------------|---|----------------------------|-----------------------|---|--|---|--------------------------|----------------------|
| S Koudiat Abdelhak | 8.0 | 257 | 90 | 142 | 489 | 196 | 744 | 183 | 14 | 1137 | 1.40 |
| | | 12.85 | 7.5 | 4.58 | 24.93 | 5.52 | 15.5 | 3 | 0.22 | 24.24 | |
| Koudiat Abdelhak 1 | 8.2 | 216 | 107 | 725 | 1048 | 715 | 379 | 241 | 35 | 1370 | 13.94 |
| | | 10.8 | 8.91 | 23.38 | 43.09 | 20.14 | 7.89 | 3.95 | 0.56 | 32.54 | |
| Koudiat Abdelhak 2 | 7.4 | 264 | 89 | 206 | 559 | 199 | 930 | 232 | 13 | 1374 | 3.07 |
| | | 13.2 | 7.41 | 6.64 | 27.25 | 5.60 | 19.37 | 3.80 | 0.21 | 28.98 | |
| Remta 1 | 8.3 | 134 | 51 | 105 | 290 | 100 | 324 | 228 | 35 | 687 | 1.70 |
| | | 6.7 | 4.25 | 3.38 | 14.33 | 2.81 | 6.75 | 3.73 | 0.56 | 13.85 | |
| Remta 2 | 8.0 | 126 | 66 | 292 | 484 | 290 | 98 | 333 | 24 | 745 | 13.90 |
| | | 6.3 | 5.5 | 9.42 | 21.22 | 8.17 | 2.04 | 5.45 | 0.38 | 16.04 | |
| Remta 3 | 7.8 | 130 | 94 | 121 | 345 | 116 | 398 | 280 | 50 | 844 | 3.66 |
| | | 6.5 | 7.83 | 3.90 | 18.23 | 3.26 | 8.29 | 4.59 | 0.80 | 16.94 | |
| Remta 4 | 7.6 | 100 | 49 | 75 | 224 | 65 | 288 | 290 | 36 | 679 | 6.73 |
| | | 5 | 4.08 | 2.42 | 11.50 | 1.83 | 6 | 4.75 | 0.58 | 13.16 | |
| Remta 5 | 7.9 | 285 | 88 | 103 | 476 | 94 | 1008 | 221 | 34 | 1357 | 5.50 |
| | | 14.25 | 7.33 | 3.32 | 24.90 | 2.64 | 21 | 3.62 | 0.54 | 27.8 | |

| | | | | | | | | | | | |
|------------|-----|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|------|
| Remta 6 | 7.5 | 104 | 25 | 42 | 171 | 61 | 106 | 219 | 57 | 443 | 1.23 |
| | | 5.2 | 2.08 | 1.35 | 8.63 | 1.71 | 2.20 | 3.59 | 0.92 | 8.42 | |
| Remta 7 | 8.0 | 224 | 107 | 179 | 510 | 277 | 816 | 193 | 30 | 1316 | 4.71 |
| | | 11.2 | 8.91 | 5.77 | 25.88 | 7.8 | 17 | 3.16 | 0.48 | 28.44 | |
| Redjimat 2 | 7.3 | 107 | 35 | 43 | 185 | 48 | 224 | 204 | 30 | 506 | 0.97 |
| | | 5.35 | 2.91 | 1.38 | 9.64 | 1.35 | 4.66 | 3.34 | 0.48 | 9.83 | |
| Botma | 8.0 | 96 | 64 | 60 | 220 | 65 | 211 | 340 | 20 | 636 | 0.20 |
| | | 4.8 | 5.33 | 1.93 | 12.06 | 1.83 | 4.39 | 5.57 | 0.32 | 12.11 | |

Tableau (E) : Résultats des analyses chimiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BASSOULET J. P. (1973)** : Contribution à l'étude stratigraphique du Mésozoïque de l'Atlas Saharien occidental (Algérie), thèse Sci.Nat, Paris.
- BERREZIG L. et GHORZI F. (2003)** : Etude hydrogéologique et hydrochimique du synclinal de Haoud El Botma-Remta (la région de Asla), Atlas saharien occidental, mémoire d'ingénieur, Université de Tlemcen.
- CHAIR A. (2008)** : Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique du synclinal d'El Maader- Monts des Ksour (Atlas Saharien Occidental, Algérie), mémoire d'ingénieur, Université Tlemcen.
- CASTANY G. (1982)** : Hydrogéologie, principes et méthodes, Dunod, Paris.
- CORNET A. (1952)** : L'Atlas saharien Sud-oranais. XIX^{ème} congr.Géol. Intern., Alger, Monogr. Région.
- D.R.E. Naâma** : Des données sur les forages de la région d'Asla, Rapport.
- DERDOUR A. (2010)** : Modélisation hydrodynamique de la nappe des grès crétacé du synclinal de Remtha- Monts des Ksour, Algérie, mémoire de magister, Université Tlemcen.
- DOUIHASNI (1976)** : Etude géologique de la région d'Ain Ouarka-Boussamghoun (partie centrale des Monts des Ksour). Stratigraphies et analyse structurale. Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle, Université d'Oran.
- FLAMAND.G.BM (1911)** : Recherche géologique et géographique dans le pays de l'Oranie et le Sahara. Thèse Doctorat, Lyon.
- GALMIER (1970)** : photogéologie de la région d'Ain sefra, Algérie, thèse Doctorat d'état.
- GRANDAROWSKI G. : (1965)** Etude hydrogéologique de la région d'Ain Séfra (Rapport).S.E.S.N° 498/G.E.
- KACEMI A. (2002)** : Evolution géodynamique du bassin des Ksour (Atlas Saharien occidental) au cours du Mésozoïque, Exposé.
- KACEMI A. (2005)** : Cartographie et dynamique sédimentaire de la série fin Dogger début Crétacé (Djara-Rhoundjaia) des monts des Ksour (Atlas Saharien, Algérie), thèse de Magister, Université d'Oran.
- KACEMI A. (2013)** : Evolution lithostructurale des Monts des Ksour (Atlas Saharien Algérie) au cours du Trias et Jurassique: Géodynamique, Typologie du bassin et Télégestion. *Thèse doctorat d'état, univ. Tlemcen. 229p, 88 fig., 18 pl*

MEKAHLI L. (1998) : Evolution des Monts des Ksour (Algérie) de l'Hettangien au Bajocien. Bio stratigraphie, sédimentologie, paléogéographie et stratigraphie séquentielle, Docum. Lab. Géol. Lyon. France. Doctorat d'état.

O.N.M : Office National de Météorologie d'Ain Séfra.

RAHMANI A. (1994) : Contribution à l'étude hydrogéologique du synclinal Ain sefra, Monts des Ksour (Atlas saharien occidental, Algérie), mémoire d'ingénieur, Université d'Oran.

RAHMANI A. (2010) : Apport des S.I.G. dans la caractérisation hydrodynamique et hydrochimique de la nappe du Crétacé inférieur de la région d'Ain Séfra (Atlas Saharien Occidental –Algérie-) *Mémoire Magister - Université de Tlemcen* – 120 p., 74 fig.19 tab.

RAHMANI A. (2018) : Elaboration d'un SIG pour l'étude et la gestion des ressources en eau dans une région aride : Cas des bassins de la région d'Ain Séfra -Monts des Ksour- –Algérie- *Thèse doctorat d'état, univ. Tlemcen.* 199p.105 fig. 40 tab.

RODIER J. (1984) : Analyse de l'eau. Ed. Dunod. Paris.

SERVANT J. (1975) : Classification des eaux d'irrigation, u.s salinity LAB.

LISTE DES FIGURES :

Figure 01 : Principaux reliefs des monts des Ksour.

Figure 02 : Les principaux synclinaux des monts des ksour et situation géographique du secteur d'étude.

Figure 03 : Bassin versant méridional de l'Atlas saharien.

Figure 04 : Réseau hydrographique de la région d'Asla.

Figure 05: variation des précipitations annuelles.

Figure 06: variations des précipitations mensuelles.

Figure 07 : variations des précipitations saisonnières.

Figure 08 : variations des températures moyennes mensuelles.

Figure 09 : variations des températures moyennes annuelles.

Figure 10 : diagramme pluviothermique de la station d'Ain Sefra.

Figure 11 : diagramme ombrothermique de la station d'Ain Sefra.

Figure 12 : Abaque pour le calcul de l'indice d'aridité de De. Martonne.

Figure 13 : Climagramme pluviothermique d'Emberger.

Figure 14 : Abaque de Verdeil (1988) Calcul du déficit d'écoulement en Algérie.

Figure 15 : Coupe lithostratigraphique des formations du Jurassique-Crétacé dans la partie centrale des monts des Ksour.

Figure 16 : Les grandes coupures tectoniques des Monts des Ksour (D'après L. Mekahli, 1998)

Figure 17 : Carte de linéaments globale issue des images satellitales et des quatre cartes photogéologiques rassemblées.

Figure 18 : Carte géologique de la région d'Asla Koudiat Abdelhak.

Figure 19: Coupe géologique au niveau du synclinal Remtha.

Figure 20: Essai de corrélation des coupes de forages de la région de Remta.

Figure 21 : Carte d'inventaire des points d'eaus (Octobre 2012).

Figure22 : Carte piézométrique de la nappe de Koudiat Abdelhak.

Figure 23 : Qualité des eaux d'irrigation.

Figure 24 : diagramme de Shoeller Berkaloff.

Figure 25 : Diagramme de Pipper.

Figure 26 : diagramme de Stiff.

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau N°01 : valeurs des précipitations mensuelles.

Tableau N°02 : précipitations saisonnières.

Tableau N° 03: température mensuelle minimum et maximum et moyenne.

Tableau N° 04 : précipitations et températures moyennes mensuelles.

Tableau N° 05 : valeurs d'indice d'aridité mensuelle.

Tableau N° 06 : valeurs des indices mensuels de Moral.

Tableau N° 07 : type des climats selon Moral.

Tableau N° 08 : valeurs de i.

Tableau N° 09 : les valeurs d'ETP.

Tableau N° 10 : éléments du bilan.

Tableau N°11 : Les valeurs de transmissivités pour la région d'Asla.

Tableau N° 12 : valeurs des minéralisations, conductivité et résidu sec pour les différents points d'eau.

Tableau N° 13 : Potabilité des eaux selon les normes algériennes.

Tableau N° 14 : valeurs du S.A.R. et la conductivité pour les différents points d'eau.

Tableau N° 15 : classification des eaux d'irrigation.

Tableau (A) : Valeurs des précipitations moyennes mensuelles et annuelles.

Tableau (B) : Valeurs des températures moyennes mensuelles et annuelles.

Tableau (C) : Eléments du bilan hydrologique mensuel moyen.

Tableau (D) : Liste des points d'eau.

Tableau (E) : Résultats des analyses chimiques.

Résumé

Notre étude concerne le secteur de Koudiat Abdelhak – Redjimat situé dans la région d'Asla, à l'Est de Ain Séfra.

La nappe des grès du Crétacé inférieur du synclinal de Koudiat Abdelhak qui fait partie des Monts des Ksour (Atlas Saharien occidental), alimente les habitants ainsi que les périmètres agricoles de la région d'Asla.

En raison de l'intérêt et de l'importance de l'aquifère Crétacé inférieur ; des études hydrogéologique et hydrochimique ont été faites.

L'étude piézométrique menée, présente un écoulement souterrain global se fait de l'Ouest à l'Est des eaux de cette nappe.

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées, ont montré que les eaux de cette nappe sont admissibles et médiocres pour l'irrigation et présente une potabilité acceptable à la consommation humaine.

Mots clé : Synclinal de Koudiat Abdelhak–Redjimat, Asla, Grès, Crétacé inférieur, Hydrogéologie, Hydrochimie.

Abstract

Our study concerns the sector of Koudiat Abdelhak-Redjimat located in the region of Asla, east of Ain Sefra.

The inferior cretaceous sandstone water table of the Koudiat Abdelhak syncline, which is part of the Ksour Mountains (Western Saharan Atlas), supplies the inhabitants as well as the agricultural perimeters of the Asla region.

Due to the interest and importance of the inferior cretaceous aquifer; hydrogeological and hydrochemical studies have been made.

The piezometric study carried out, shows an overall underground flow is from West to East of the waters of this water table.

The results of the physicochemical analyzes carried out have shown that the waters of this water table are admissible and poor for irrigation and acceptable potability for human consumption.

Keywords: Syncline of Koudiat Abdelhak–Redjimat, Asla, Sandstone, Inferior cretaceous, Hydrogeology, Hydrochemistry.