

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed



Faculté des Sciences de la Terre, et de l'Univers
Département Sciences de la Terre
Mémoire de Master
Option: Hydrogéologie

Thème

Contribution à l'étude Hydrogéo-chimique du synclinal de Tiout – Maâder
(Aïn Sefra, Monts des Ksour, Atlas Saharien Occidental)

Présenté par:

KHELIFA Mohammed

Soutenu le: 20 /06/2018 devant la commission d'examen:

M. FOUKRACHE M.	Maitre-Assistant A	Université d'Oran Président
M. MANSOUR H.	Professeur.	Université d'Oran Rapporteur
M. BORSALI T.	Maitre-Assistant A	Université d'Oran Examineur

Oran 2018

Dédicace

C'est avec un grand plaisir et une grande joie, que je dédie ce modeste travail à la mémoire d mon père pour ses conseils inoubliables et sa compassion tout au long de ma vie.

Je dédie ce mémoire à ma mère pour son soutien pendant toutes mes études.

A mon cher frère et mes sœurs, à toute la famille, surtout le petit Wafaa.

A tous les étudiants des sciences de la terre, à tous mes très chers fidèles amis.

A ceux qui m'ont connu de près ou de loin.

A mon famille.

A ma promotion.

A mon promoteur PR, MANSOUR, H.

A tous mes enseignants de tout le cycle d'étude.

Khelifa Mohammed



Remerciement

Au terme de ce modeste travail, nous tenons à remercier tout d'abord Dieu le tout puissant, pour tout ce qu'il nous a apporté de courage, de volonté et de patience.

Il nous est agréable d'adresser nos sincères remerciements à Monsieur Mansour H qui nous a fait confiance en nous proposant ce sujet fort intéressant. On la remercie de nous avoir guidés pendant toute sa réalisation, pour toutes les connaissances en hydrogéologie qu'elle nous a transmises, pour sa sagesse et sa bonté.

Nos vifs remerciements vont également à Monsieur Foukrache M que l'on estime beaucoup et pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant de présider notre jury.

Je remercie également M. Borsali T d'avoir accepté de faire partie du jury. Donne-nous sa critique.

Nous adressons notre profonde reconnaissance à tout le personnel administratif du département des Sciences de la terre ainsi qu'aux enseignants qui ont participé à notre formation.

Enfin, nos remerciements vont à tous nos amis, tous les étudiants du département de Géologie, qui nous ont encouragés et aidés pour la réalisation de ce modeste travail.

Que tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'édification de ce mémoire de fin d'étude soient remerciés.



Sommaire

Introduction générale

Introduction générale	01
------------------------------------	-----------

Chapitre I: Généralités

I-Cadre géographique générale	02
--	-----------

II. Situation géographique du secteur d'étude	04
--	-----------

III. Réseau hydrographique	05
---	-----------

Chapitre II : Hydroclimatologie

I-Introduction	06
-----------------------------	-----------

II- Étude des précipitations	06
---	-----------

II-1. Précipitations annuelles à la station d'Ain Sefra	06
--	-----------

II-2. Répartition des précipitations moyennes mensuelles	07
---	-----------

II-3. Répartition de précipitations saisonnières	08
---	-----------

III- Étude des températures	09
--	-----------

III-1. Les moyennes mensuelles	09
---	-----------

III-2. Les températures annuelles	10
--	-----------

IV-Etude du climat	10
---------------------------------	-----------

IV-1. Méthode de Visualisation	10
---	-----------

a-Courbe pluviométrique	10
--------------------------------------	-----------

b- la courbe ombrothermique	12
--	-----------

V- Les indices climatiques	12
---	-----------

V-1. Indice climatique d'Emberger	12
--	-----------

V-2. Indice de Stewarte	13
--------------------------------------	-----------

V-3. Indice de continentalité de Kerener	14
---	-----------

VI- Déficit d'écoulement	15
---------------------------------------	-----------

VII. Bilan Énergétique	16
-------------------------------------	-----------

a-Ruissellement	16
------------------------------	-----------

b- Déficit d'écoulement	16
--------------------------------------	-----------

c- Infiltration	16
------------------------------	-----------

VIII- Conclusion	16
-------------------------------	-----------

Chapitre III : géologique

I. cadre géologique	17
----------------------------------	-----------

II. Historique des études	17
--	-----------

III. Cadre Géologique Général	18
--	-----------

IV. Géologie du secteur d'étude	19
V. Série type des Monts des Ksour	20
A- La série Triasique	20
B- L'infra Lias	20
C-La série jurassique (Lias et Dogger)	21
D- Jurassique supérieur – Crétacé inférieur	22
E- Le Cénomano-Turonien	26
F- La formation Post-Turonienne	26
G- Les formations quaternaires	26
VI. Aperçu structural	27
1. Tectonique souple	27
2- Tectonique cassante	28
3- Mobilité et plasticité du Trias	28
VII- Conclusion	30

Chapitre IV : Hydrogéologie

I-Introduction	31
II. Les formations aquifères	31
II-1. La nappe du jurassique	31
II-2. La nappe aptienne	31
II-3. La nappe Barrémo-Albienne	31
Mode de gisement des sources de l'Oued Braidj et de Tiout	32
II-4. La nappe du Quaternaire	33
III. Mode d'alimentation	34
IV. L'hydrodynamique	35
IV-1. Géométrie de l'aquifère	35
IV-2. Piézométrie	36
IV-2-1. Interprétation de la carte piézométrique	37
IV-3. Détermination des caractéristiques Hydrodynamiques	37
IV-3-1. Essai de pompage dans le forage Maader 1	37
a- Courbe caractéristique	38
b- calcule le débit spécifique	38
c-calcule des pertes de charge	39
IV-3-1-1. Pompage d'essai de longue durée	40
1 - Estimation de la transmissivité	40
Méthode de Jacob	41
a-courbe de descente	41

b- Courbe de remontée	42
2- Estimation du bilan de la nappe.....	42
V- Conclusion	43
<i>Chapitre V : Hydrochimie</i>	
I- Introduction	44
II- Interprétation des données de mesure et des résultats d'analyses	44
II-1. Contrôle des analyses par balance ionique:	44
II-2. Interprétation physico-chimique	45
Potentiel d'Hydrogène pH	45
Carte d'isoteneur de Minéralisation	45
Carte d'isoteneur de conductivité	46
Carte d'isoteneur de Le résidu sec	47
III-Caractéristiques chimiques	48
1-Qualité des eaux	48
A/ Norme de portabilité	48
Interprétation des résultats	48
B/ La dureté	50
La dureté totale	50
2-Qualité des eaux d'irrigation	50
IV- Représentation graphique des analyses d'eau	54
1- Diagramme de Schöeller-Berkaloff	54
A/ Les eaux Bicarbonatées calciques	54
B/ Les eaux sulfatées Magnésiennes	54
C/ Les eaux sulfatées calciques	55
D/ Les eaux sulfatées sodiques	55
2- Diagramme de piper	57
V- Interprétations des cartes d'isoteneurs	58
1-Carte d'isoteneur Ca^{2+}	58
2-Carte d'isoteneur Mg^{2+}	59
3-Carte d'isoteneur $Na^{+}+K^{+}$	60
4-Carte d'isoteneur SO_4^{2-}	61
5-Carte d'isoteneur Cl	62
6-Carte d'isoteneur HCO_3^{-}	63
7-Carte d'isoteneur NO_3^{-}	64
VI- Les rapports caractéristiques	65
1-Rapport rMg^{2+}/rCa^{2+}	65

<i>2- Rapport rSO_4^{2-} / Cl</i>	65
<i>3-Rapport rCl / HCO_3^-</i>	65
<i>VII-Conclusion</i>	66
<i>Conclusion générale</i>	
<i>Conclusion générale</i>	67
<i>Annexes</i>	
<i>Références bibliographiques</i>	
<i>Liste de figure</i>	
<i>Liste de tableau</i>	

Introduction Générale

Introduction générale

Faisant partie du cœur de l'Atlas saharien occidental, la région d'Ain Sefra constitue une très belle approche pour comprendre les phénomènes hydrogéologiques qui régissent les écoulements souterrains, leurs origines ainsi que leur chimisme lié principalement à la zonalité géologique de la région.

Ce travail consiste à l'étude de la gouttière synclinale d'El Maader, dont les exutoires donnent naissance à d'importantes émergences issues du Barrémo-Albo-Aptien.

Le premier chapitre présente la situation géographique générale (monts des Ksour), et du secteur étudié (El Maader) ainsi que le réseau hydrographique.

Le deuxième chapitre consiste à présenter les différentes formations du secteur étudié et l'aperçu structural

La troisième partie vise à déterminer le climat présent dans la région et cela en se basant sur des données de températures et de précipitations au cours d'une période donnée.

Dans le quatrième chapitre étude hydrogéologique permet de déterminer les caractéristiques hydrogéologiques d'une part et hydrodynamiques d'une autre part de la nappe Barrémo-Albo-Aptienne.

Enfin une étude hydrochimique donnant les caractères physico-chimiques de l'eau donc sa qualité pour l'irrigation ainsi que pour la consommation humaine.

Chapitre I

Généralités

I-Cadre géographique générale (fig.01):

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 Amours ou "Atlas saharien central" (El Bayedh).
- 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).

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

Ces reliefs typiquement atlasiques passent progressivement sans limite nette 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.

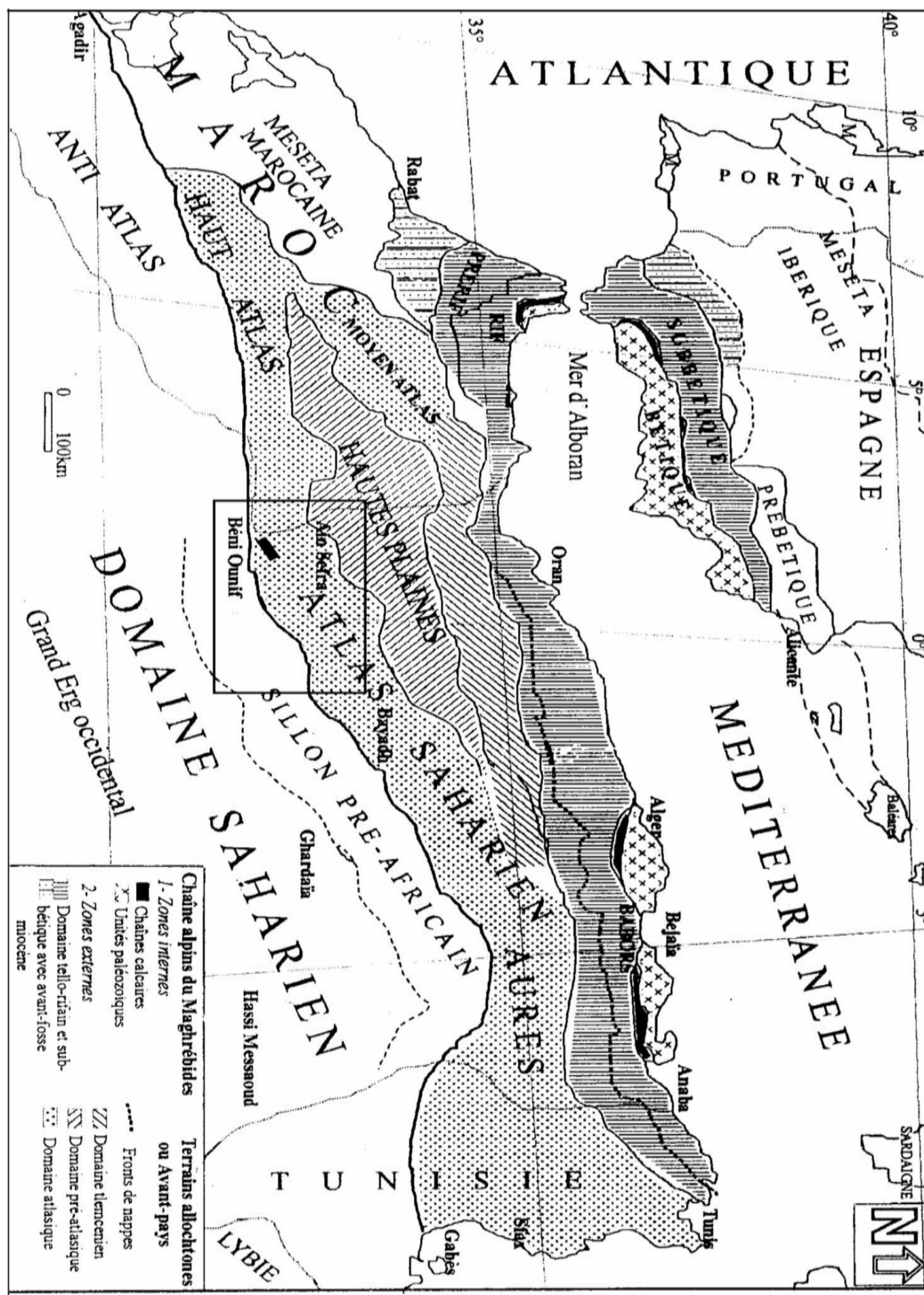


Figure N°01 : Les monts des ksour dans leur contexte régional : partie méridionale de l’atlas saharien et piémonts de la plate-forme saharienne (Benest 1985 modifié par Mansour 2007).

II. Situation géographique du secteur d'étude : (fig. 02)

Notre étude correspond à un secteur situé dans la région de Tiout, connu sous le nom de Maader, ce secteur est situé à 15km à l'Est d'Ain Sefra. Les limites de la région d'étude sont :

- Au Nord Djebel Aïssa.
- A l'Ouest Ain sefra.
- Au Sud Djebel Mekther.
- A l'Est Djebel Djara.

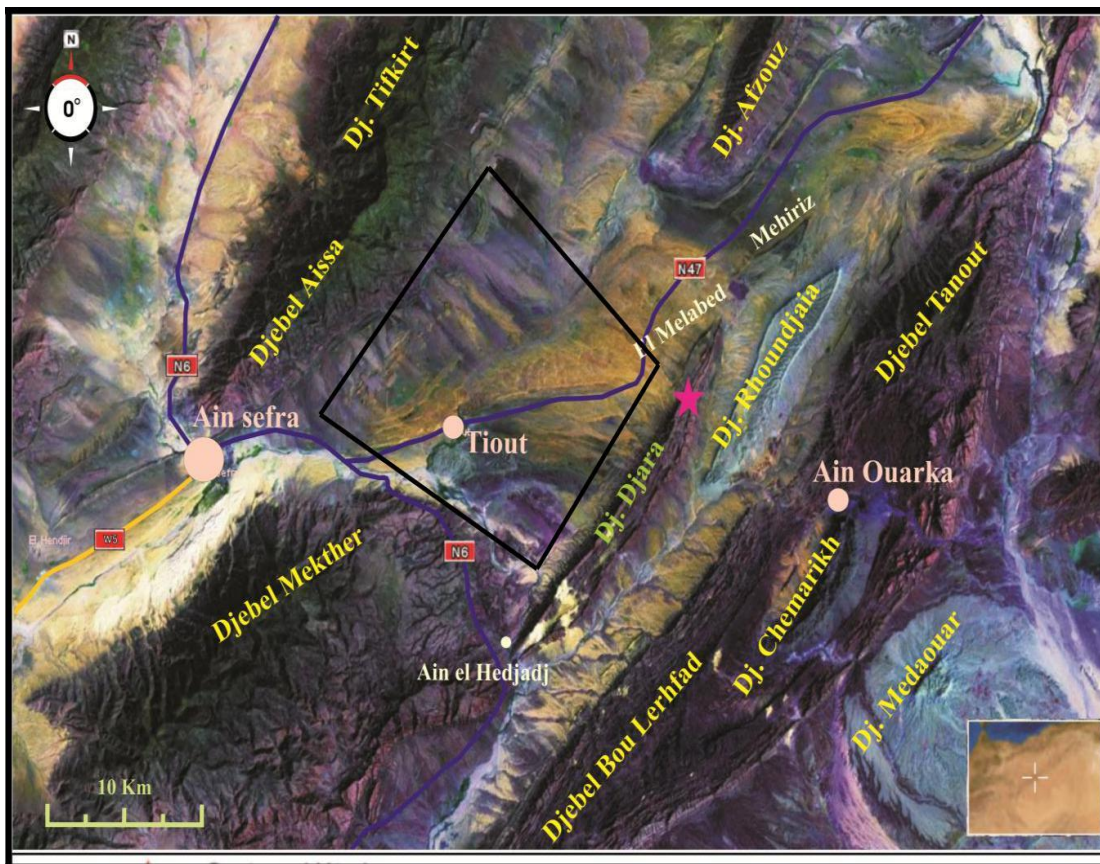


Figure N°02: Situation géographique du secteur d'étude (Encarta 2006).

III. Réseau hydrographique (fig. 03)

Du fait de la présence de nombreux massifs, les oueds sont canalisés dans les dépressions contournant les monts des Ksour pour se diriger vers le Sud.

Les principaux oueds sont :

- L'oued Breidj qui reçoit les eaux de l'oued Sfissifa et de l'oued Benikrou, et draine Les versants Nord du djebel M'zi et Mekhter
- L'oued Tirkount : qui draine les eaux du djebel Morghad et Aïssa.

Ces deux principaux Oueds se rencontrent au centre d'Ain Sefra pour former l'oued Ain Sefra qui se dirige vers le Sud tout en recevant d'autres Oueds comme l'Oued Tiourtalt, formant un seul oued celui de Rhouiba pour en former à la fin l'Oued Namous qui se dirige et se perd dans les sables du grand Erg occidental.



● Secteur d'étude

Figure N°03: Réseau Hydrographique du secteur d'étude
(Extrait de la carte topographique).

Chapitre II

Hydroclimatologie

I-Introduction :

Le climat est l'ensemble des phénomènes (ventes, précipitations, température, évaporation....) qui varie d'un lieu à un autre de la surface terrestre. Il peut agir directement sur l'approvisionnement en eau potable puisqu'il modifie le régime des cours d'eau et le volume des nappes.

La climatologie étudie la combinaison de phénomènes métrologique 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, températures et précipitations moyennes mensuelles de la station météorologique d'Ain Sefra, cette station est caractérisée comme suite :

Station	latitude	longitude	altitude	Code
Ain sefra	32°.76N	00°.60W	1058m	60560

II- Étude des précipitations :**II-1. Précipitations annuelles à la station d'Ain Sefra (fig.04):**

Les précipitations annuelles et mensuelles sont reportées dans l'Annexe (tableau-A-)

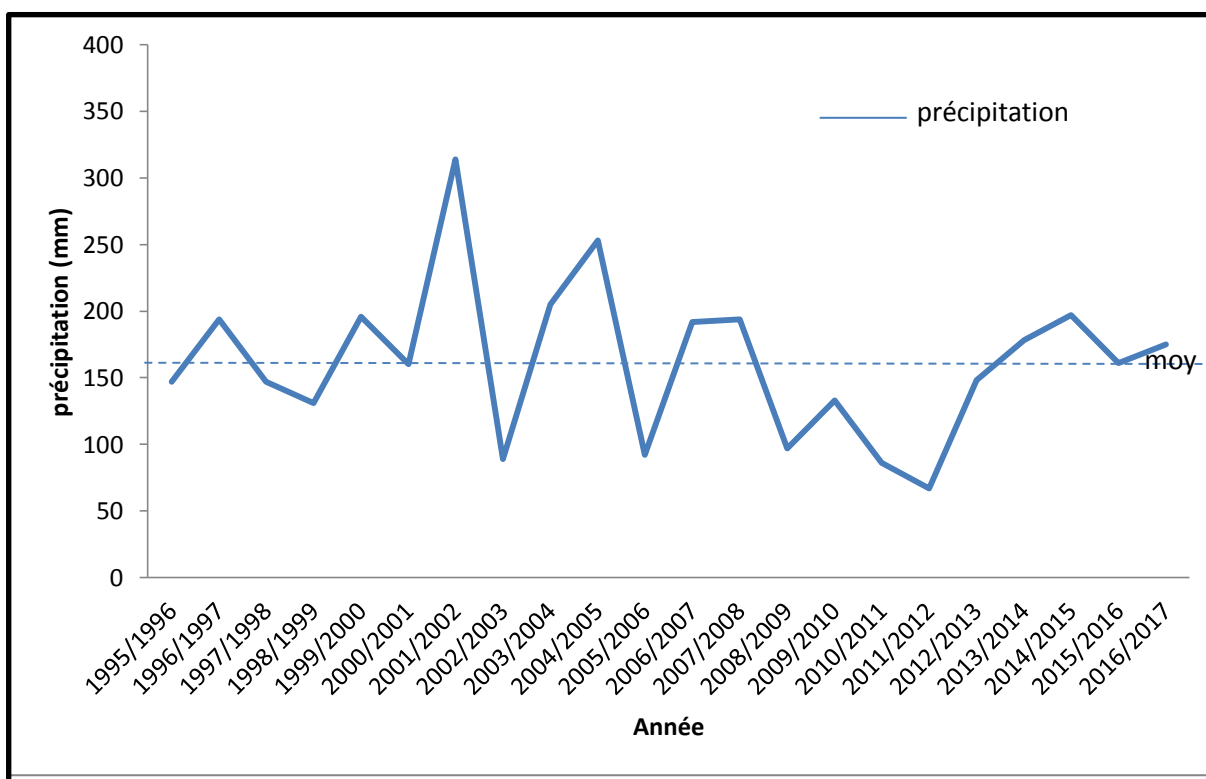


Figure N° 04 : variation des précipitations moyennes annuelle de la station d'Ain Sefra.

- d'après la figure N°04, on remarque que :
- la plus faible valeur (67.6mm) enregistrée : 2011-2012
- la plus grande valeur (314,7mm) enregistrée en : 2001-2002
- la valeur moyenne est de 162,02mm

II-2. Répartition des précipitations moyennes mensuelles (fig.05) :

On a pris les valeurs mensuelles moyennes des précipitations de la période (1995/1996 - 2016/2017) mentionnées au tableau 1 :

Tableau 01 : les précipitations moyennes mensuelles.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout
Précipitation (mm)	18.04	21.29	16.28	9.3	15.34	12.59	19.23	14.92	11.82	9.18	7.55	6.49

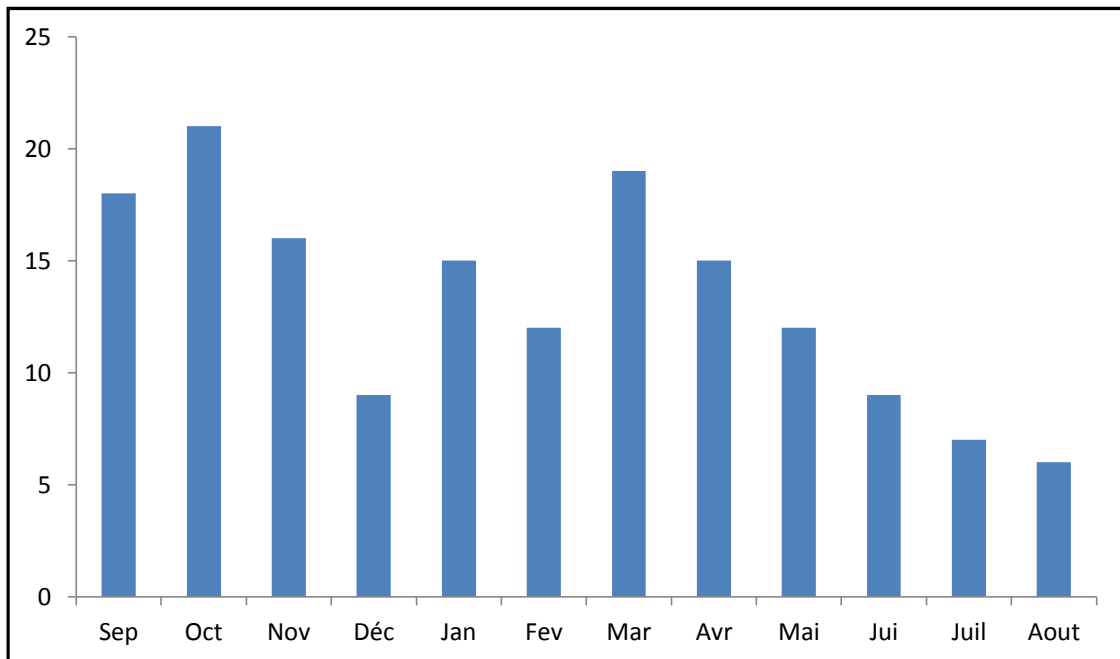


Figure N°05 : variation des précipitations moyennes mensuelles de station d'Ain Sefra.

- Le mois le plus pluvieux est celui de Octobre avec une valeur de 21,29mm.
- Le mois le plus sec est celui d'Août avec une valeur extrême : 6,49mm.

II-3. Répartition de précipitations saisonnières (fig.06) :

-Les précipitations saisonnières de la station d'Ain Sefra sont données au tableau N°02

Tableau 02 : les précipitations saisonnières mensuelles.

saison	Hiver	Printemps	été	Automne
P (mm)	37.33	46	23.22	55.61

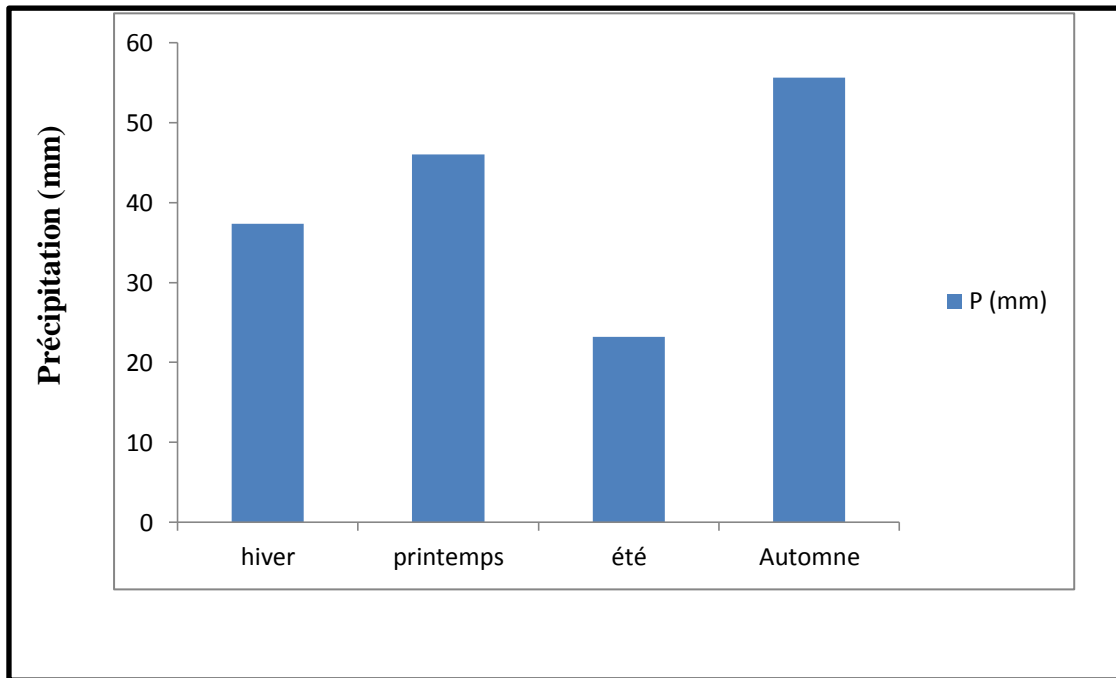


Figure N°06 : Variation des précipitations moyennes saisonnières de la station d'Ain Sefra.

D'après la figure N°06, on remarque que la saison la plus humide est celle de l'automne tandis que la plus sèche est celle d'été.

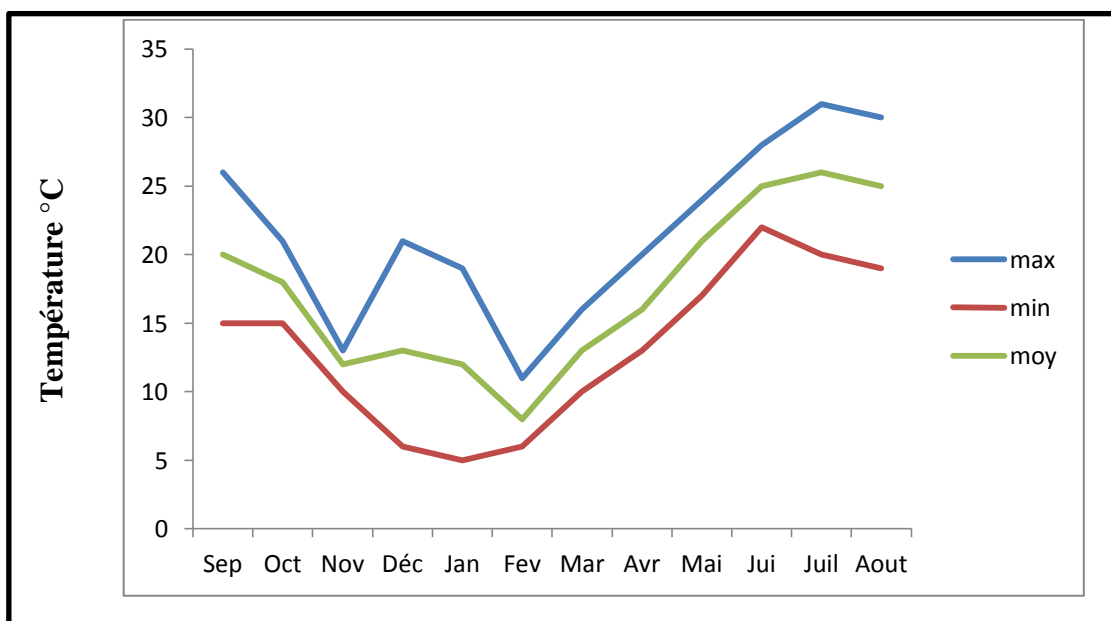
III- Étude des températures :

Les températures moyennes annuelles et mensuelles régissant directement le climat en interaction avec les autres facteurs météorologiques permettent avec les précipitations. Le calcul du déficit d'écoulements et les indices climatiques.

Les valeurs des températures annuelles et mensuelles sont reportées en Annexe (tableau B).

III-1. Les moyennes mensuelles (fig. 07) :**Tableau 03** : les moyennes mensuelles.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout
Maxima Tx	26	21.2	13.55	21.2	19.65	10.95	15.8	19.6	24.45	28.5	31.55	30.9
Minima Tm	14.85	15.35	10	5.6	4.7	5.95	9.78	13.2	17.4	22.1	20.4	18.94
(Tm+Tx)/2	20.425	18.275	11.775	13.4	12.175	8.45	12.79	16.4	20.925	25.3	25.975	24.92

**Figure N°07** : variation des températures moyenne mensuelle de la station d'Ain Sefra.

-Les maxima (Tx) sont comprise entre : (31,55-10,95)°C

-Les minima (Tm) sont comprise entre : (22,1-4,7)°C

-Les moyennes (TM) : les moyennes mensuelles et annuelles de températures moyennes :

$TM = (Tx + Tm) / 2$ sont comprises entre : (22-8,45) °C.

Le tableau N°03 nous a donné les minima et les maxima ainsi que les températures moyennes pour la station d'Ain Sefra sur une période de 22ans (1995/1996-2016/2017).

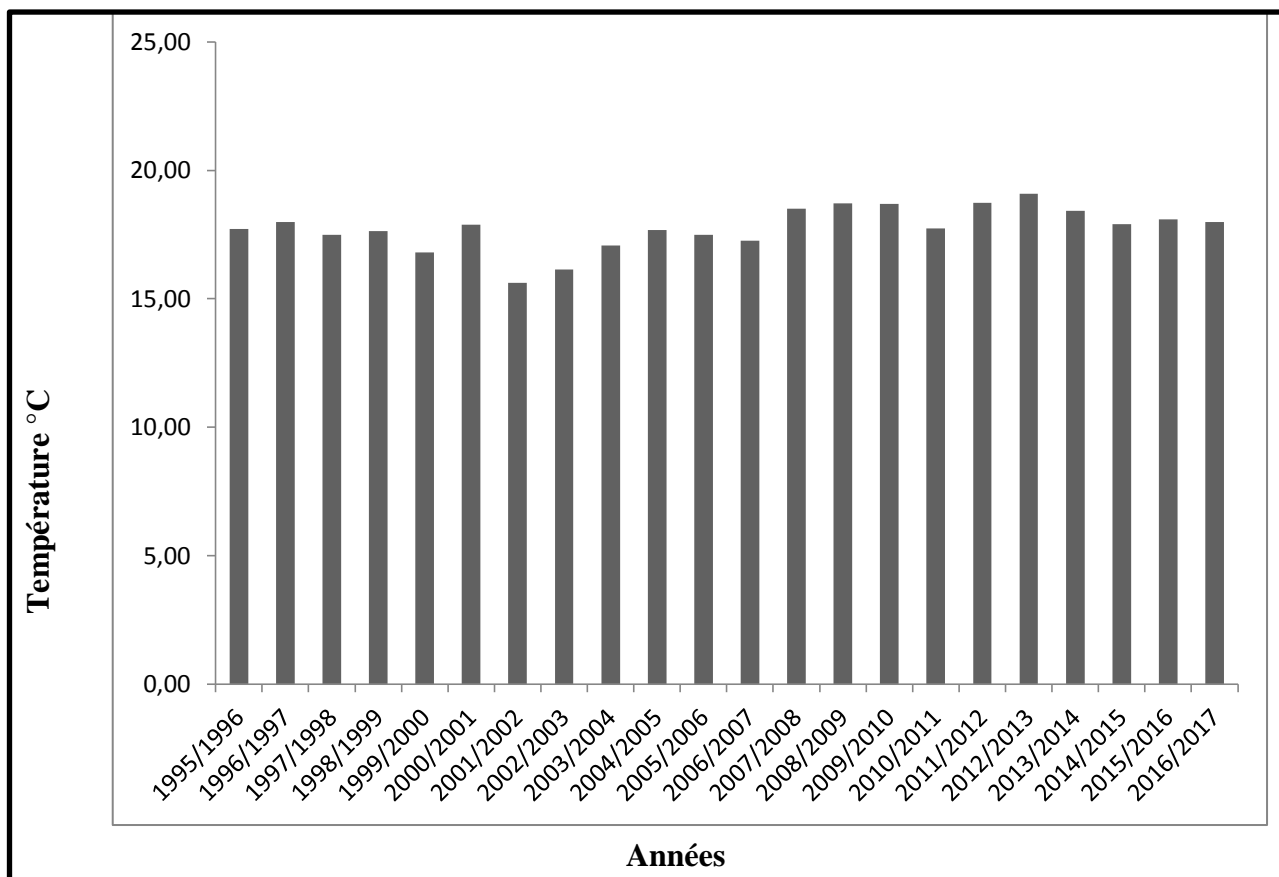
III-2. Les températures annuelles (fig.08) :

Figure N°08 : Variation des températures moyennes annuelles de la station d'Ain Sefra.

D'après la figure N° 08 on remarque que :

- La valeur moyenne de plus faible (15,62°C) enregistrée en 2001- 2002.
- La valeur moyenne la plus grande (19,10°C) enregistrée en 2012-2013.
- La valeur moyenne est de : 17,76°C.

IV-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-1. Méthode de Visualisation**a-Courbe pluviométrique (fig.09) :**

Pour GAUSSEN et BAGNOLS, un mois sec est celui où le total moyen des précipitations exprimées en mm est inférieur ou égale au double de la température moyenne exprimée en degrés $P < 2T$.

Cette relation permet d'établir des diagrammes pluviométriques dans lesquels les températures sont portées sur une échelle double de celle des précipitations.

- La courbe de température passe au-dessus de celle de précipitations pendant les mois secs.
- Les mois humides, la courbe des précipitations passe au-dessus de la courbe des températures.
- Les valeurs des précipitations et températures mensuelles sont reportées dans le tableau 4

Tableau 04 : les précipitations et températures moyennes mensuelles.

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
P (mm)	15.34	12.59	19.23	14.29	11.82	9.18	7.55	6.49	18.04	21.29	16.28	9.3
T (°C)	7.65	9.01	12.79	15.95	20.95	26.05	29	28.79	23.53	18.3	12.1	8.95

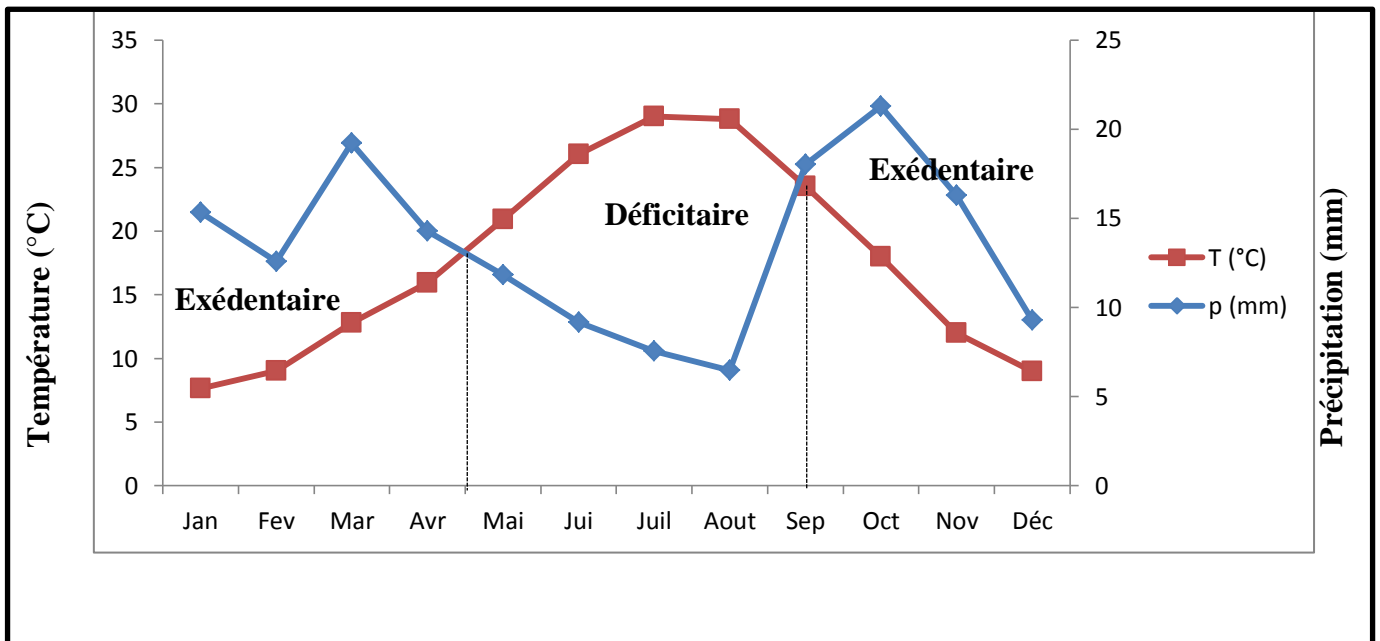


Figure N°09 : Diagramme pluviométrique de la station d'Ain Sefra.

D'après le diagramme pluviométrique de la station d'Ain Sefra figure N°09, nous constatons que la courbe thermique : se situent, au-dessus de la courbe des précipitations pendant les mois : Mai, Juin, Juillet, Août, Septembre indiquant la période sèche ou la période déficitaire.

Et une période humide ou excédentaire pendant les mois : Octobre à mois de Mai.

b- la courbe ombrothermique (fig.10) :

Le diagramme d'Euverte consiste à reporter on ordonnées les précipitations en mm (échelle logarithmique) et les températures en °C (échelle linéaire).

Et en abscisse on reporte les mois de l'année.

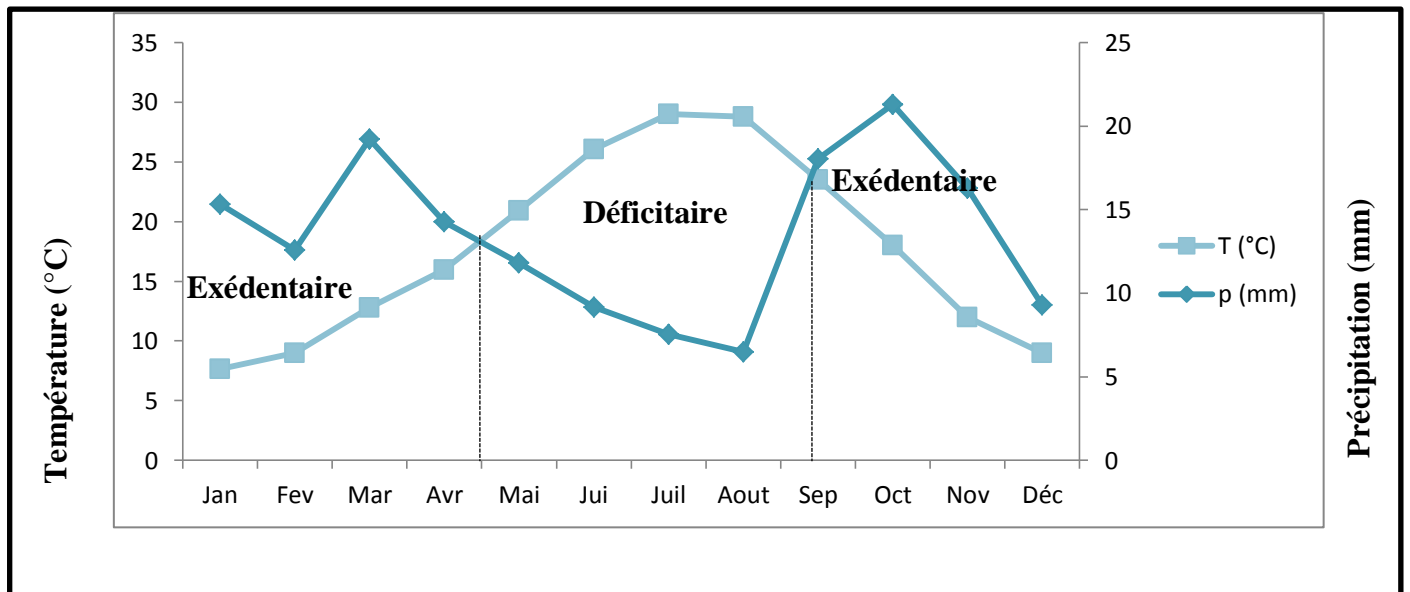


Figure N°10 : Diagramme ombrothermique de la station d'Ain Sefra.

Nous remarquons que la courbe thermique se situe au-dessus de la courbe de précipitation pendant les mois Mai, Juin, Juillet, Août, Septembre, donc indiquant la période déficitaire.

La courbe de précipitation se situe au-dessus de la courbe thermique pendant le mois Octobre, jusqu'à le mois de Mai indiquant la période excédentaire

V- Les indices climatiques

L'utilisation des indices climatiques définis par différents auteurs est intéressante, car elle permet de définir le climat de la région.

V-1. 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 :

$$Q2 = \frac{P}{(M-m)\frac{M+m}{2}} \times 1000 \quad Q2 = \frac{2000P}{M^2 - m^2}$$

P : précipitations moyennes annuelles (mm)

M : moyenne des maxima de température en (°K) du mois le plus chaud
($M = 28.28 + 273 = 301.28^\circ\text{K}$)

m : moyenne des minima de température en (°K) du mois le plus froid

$$m = 6,56 + 273 = 279,56^{\circ}\text{K}$$

Q2 : quotient pluviométrique d'Emberger dont $Q_2=25,68$

En reportant cette valeur sur le diagramme d'Emberger figure N°11 qui comporte en ordonnées les valeurs de Q2 et en abscisses la moyenne des minima du mois le plus froid (°C). Nous pouvons constater que la région présente un climat aride avec hiver tempéré.

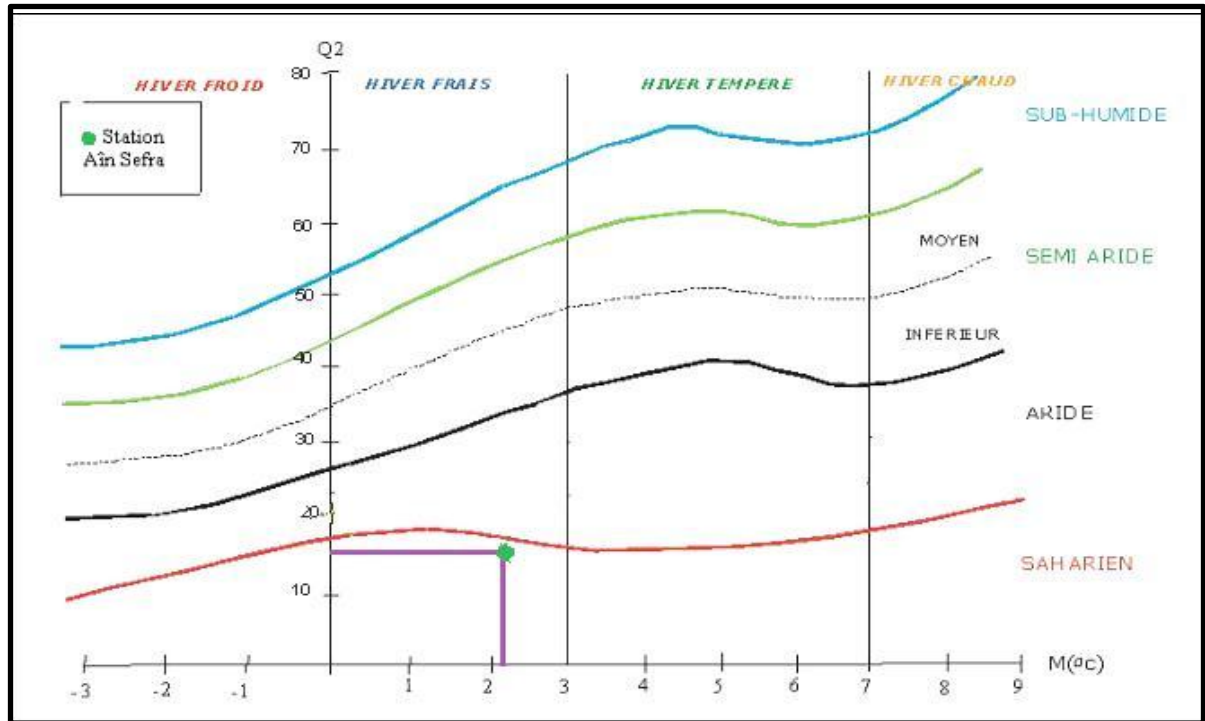


Figure N°11: Climagramme d'après Emberger.

V-2. Indice de Stewarte :

Cet indice est donné par la relation :

$$Q_2 = 3,43p / M + m$$

Avec : **P** : précipitation moyenne annuelle (mm)

M : moyenne des maxima de température du mois le plus chaud en °C

m : moyenne des minima de température du mois le plus froid en °C

$$Q_2=16$$

On a déjà : $10 < Q_2 < 50$ 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 caractérisée un climat semi-aride.

V-3. Indice de continentalité de Kerener :

C'est indice est défini par la relation suivant:

$$K = \frac{T_0 - T_A}{A} \times 100$$

$K=10,5$

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.

$K=10,5$

Comparent le résultat trouvé par les valeurs d'autres stations on constate que les influences maritimes sont moyenne sur la région étudié ; les indices de continentalité diminuent au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la mer

Béni Saf : $K=34,7$

Tlemcen : $K=21,8$

Ain Sefra : $K=10,5$

Ghardaïa : $K=1,3$

Aflou : $K=15,7$

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

VI- Déficit d'écoulement :

Le déficit d'écoulement est la différence entre la pluviométrie tombée sur un bassin versant et le totale de la quantité d'eau écoulée, plusieurs méthodes ont été proposés pour le calcul du déficit, mais seulement la méthode de Verdeil(1988) nous donne une valeur proche de la réalité du déficit d'écoulement.

Méthode de Verdeil : l'abaque de Verdeil figure N°12, donne directement les valeurs du déficit d'écoulement (mm) en fonction de la précipitation moyenne annuelle pour la station d'Ain Sefra le déficit d'écoulement est égale à 160mm soit 98,75% des précipitations.

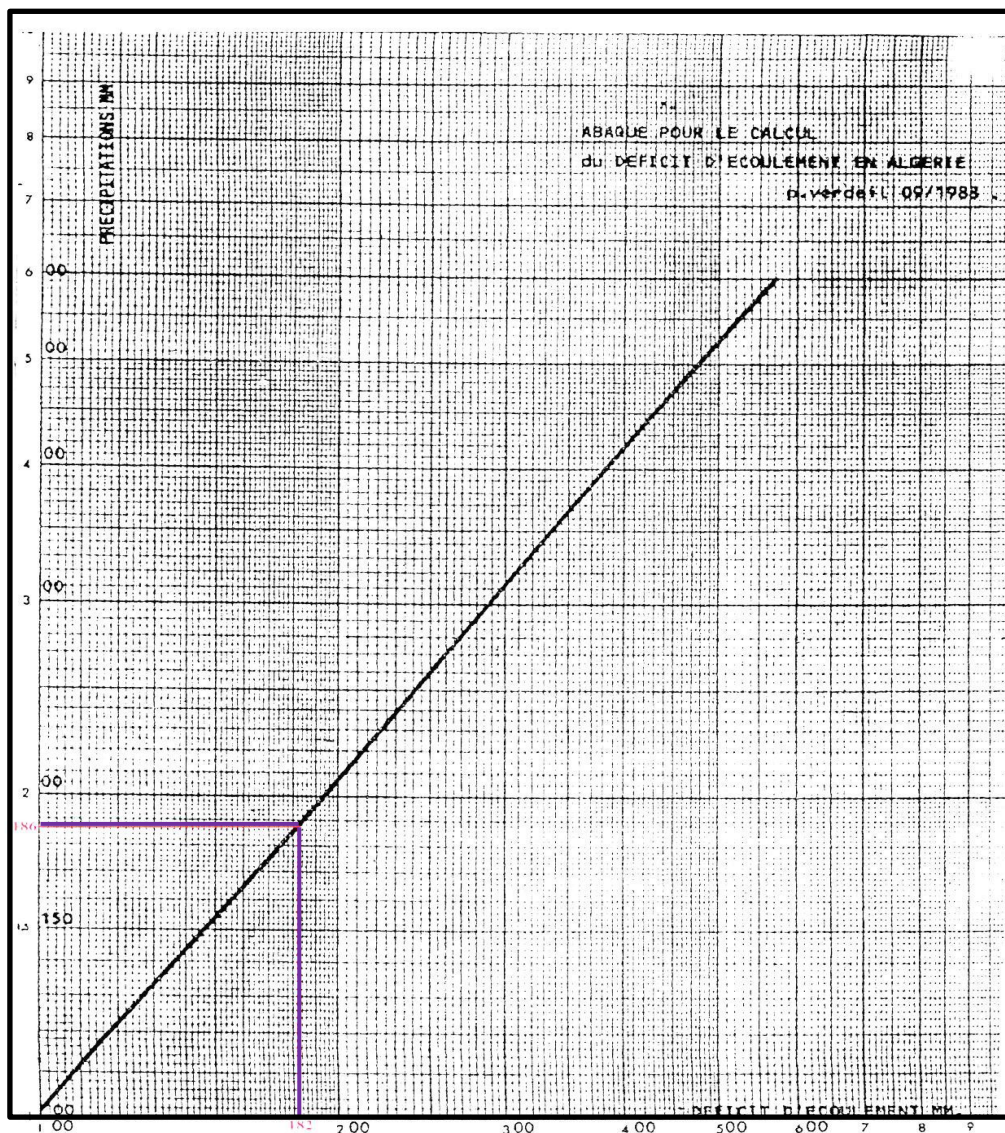


Figure N°12 : Abaque de Verdeil (1988).

VII. Bilan Énergétique :

$$\text{Écoulements du bilan : } P=R+I+ETP \qquad I=P-R-D$$

P : Précipité=162,02mm=0,162m

R : Ruissellement

I : infiltration

ETP : évaporatranspiration potentielle= 85,57mm =0,08m

D : déficit d'écoulement (abaque de Verdeil)= 160mm= 0,16m

Détermination des éléments du Bilan (1995/2017)

a-Ruissellement :

Sa valeur sera donnée par la relation de TIXERONT-BERKALOFF

$$R=p^3/3ETP^3$$

R= 1,67mm Soit : 1,03% des précipitations

b- Déficit d'écoulement :

D= 160mm soit 98,75% des précipitations

c- Infiltration

$$I= P-D-R$$

I= 0,35mm soit 0,2% des précipitations

Tableau 05 : élément du bilan

Elément du bilan	mm	%
Ruissellement	1,67	1,03
Déficit	160	98,75
Infiltration	0,35	0,2

VIII- Conclusion :

Le secteur étudié est caractérisé par un climat désertique avec une température moyenne annuelle de 17,76°C et une précipitation moyenne annuelle de : 162,02mm.

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

L'indice climatique d'Emberger présente un climat aride avec un hiver tempéré.

L'indice climatique de Stewart présente un climat semi-aride.

Pour le calcul du déficit d'écoulement selon la méthode de Verdeil nous obtenons une valeur : 160mm.

Chapitre III

Cadre Géologique

I. Cadre géologique:

La structure actuelle de l'Algérie du Nord est une au mouvement hercynien et alpin qui a permis l'individualisation de plusieurs domaines. Nous avons du Nord au Sud.

- Domaine Tellien.
- Domaine Tlemcenien.
- Les Hautes plaines Oranaises.
- L'Atlas Saharien.
- Domaine Saharien.

Notre région d'étude fait partie de l'Atlas Saharien.

II. Historique des études:

-Pouyane et Perou (1874-1883) sont les premiers à reconnaître l'existence des dépôts Crétacés dans la région de Tiout près d'Ain Sefra dans l'Albien saharien.

-Welsh (1890) travailla dans le djebel Mellah à Mecheria et identifia le Jurassique moyen dans les dépôts rapportés ultérieurement au Lias.

-Rilter (1902) et Flamand plus tard ont attribué les "grés à dragées" à l'Albien.

-Flamand G.B.M (1911) leva plusieurs cartes géologiques aux 1/200 000, 1/500 000 et 1/800 000 et réalisa une thèse sur l'Atlas saharien, ces travaux sur le haut pays de l'Oranie et sur l'Atlas saharien ont servi de base pour les autres recherches

-Carnet (1947) établit une synthèse stratigraphique et une analyse tectonique et apporta quelques modifications à l'échelle stratigraphique donnée par Flamand G.B.M (1911).

-En 1952, l'association du congrès géologique international d'Alger fait apparaître la carte géologique de l'Algérie au 1/500 000.

-Cheylou (1952) répara la création de points d'eau dans la région d'Ain Sefra.

-Cornet, Galmier et Lucas (1953) étudient la série de Raha Zergo (secteur de Ain Ben Khelil) et rapportent les terrains d'âge céno-manien de Flamand au Jurassique inférieur.

-Galmier (1953) effectua des travaux sur l'accident Nord atlasique et montra que ce dernier est en réalité un déversement vers le Nord-Ouest exagéré jusqu'à un véritable chevauchement.

-Lasnier (1965) réalisa une première étude stratigraphique micropaléontologique des hautes plaines algériennes : Ain Sefra, Mecheria, Djebel Nadour et Hodna

En 1974, il présente un modèle d'application des séquences de plate -forme en milieu gréseux sur les grés des Ksour.

-Douihasni (1976) complète la partie stratigraphique de Bassoulet et donne une importante analyse structurale sur les monts des Ksour. Il définit la formation de Chemarikh.

-Elmi (1978, 1982, 1986) souligne les différences de l'évolution géodynamique entre les domaines atlasiques (monts des Ksour); prés atlasiques (Nador et Tiaret) et tlemcenien (monts

de Ghar Roubane), il a aussi établi une polarité du Sud vers le Nord avec une couverture plus précoce du sillon atlasique.

-Kazi. Tani (1986) présente une synthèse de l'évolution géodynamique de la bordure Nord-africaine.

En se basant sur une approche méga séquentielle ; il distingua deux groupes:

* Groupe éo-alpin inférieur.

*Groupe éo-alpin médian.

-Ait Ouali (1991) a présenté un travail concernant le rifting des monts des Ksour et la diagenèse des assises carbonatées du Lias.

-Mekahli (1995) présente une étude sur l'Héttangien-Bajocien supérieur des monts des Ksour concernant la biostratigraphie, sédimentologie, évolution géodynamique et stratigraphie séquentielle.

-Vially (1995) définit le style structural de l'avant pays alpin d'Algérie en se basant sur les données de la recherche pétrolière.

-Kacemi (2005) pour arriver à étudier l'évolution du delta des Ksour du Jurassique moyen au Crétacé présenta la lithostratigraphie et la sédimentologie de ces formations au cours de la même période.

III. Cadre Géologique Général: (fig. 13)

L'Atlas saharien occidental est une chaîne intracratonique s'intégrant dans un vaste ensemble montagneux plissé lors de l'orogénèse alpine, et séparé des hautes plaines oranaises au Nord par l'accident Nord atlasique, et de la plateforme saharienne au Sud par l'accident Sud atlasique.

Il se poursuit à l'Ouest par le haut Atlas Marocain et à l'Est par l'Atlas saharien central et oriental. Notons aussi l'existence d'autres accidents Nord-Sud qui séparent les trois grandes régions atlasiques (monts des Ksour, djebel Amour et monts de Ouled Nail).

Ce domaine est matérialisé par des plis anticlinaux allongés, généralement coffrés, flancs redressés, faillés, déversés d'axes sensiblement parallèles à la direction de cette chaîne.

Ces anticlinaux sont séparés par des synclinaux perchés à fonds larges presque plat, représentant le style atlasique qui caractérise le niveau structural moyen (domaine des plis isopaques).

La phase majeure qui a structuré l'édifice atlasique a engendré des plis isopaques de direction SW-NE (Douihassni, 1976) et elle est datée du fin Lutétien-priabonien (Coiffait et al, 1984). La série stratigraphique de la région d'Ain sefra s'étale de terrains allant de l'âge Jurassique au Quaternaire récent.

IV. Géologie du secteur d'étude :

Ain Sefra est située dans un de ces synclinaux où les couches sont représentées par des grés crétacés attribués au Barrémo-Albo-Aptien.

Deux anticlinaux l'un au Nord et l'autre au Sud encadrent le synclinal, ils y affleurent des terrains gréseux plus anciens : Jurassique supérieur et Crétacé inférieur, ces anticlinaux ont donné naissance aux Djébel Aïssa et Djébel Mekther.

La limite SW du synclinal d'Ain Sefra est bien marquée, il s'agit de la zone disloquée NS renfermant les ophites et le Trias d'El Hendjir. La zone reliant Tiloula à Koudiat Tiourtalt constitue une séparation structurale avec le synclinal de Tiourtalt.

La première partie de ce synclinal se situe entre El-Henjir et Ain Sefra le flanc SE étant fortement masqué par les dunes d' Ain Sefra.

La deuxième partie du synclinal se trouve à l'E-NE d'Ain Sefra dans la région de Tiout plus connue sous le nom de Maader (qui fait l'objet de notre étude) c'est un synclinal typique des monts des Ksour à fond plat affectant l'Albien encadré par les anticlinaux jurassiques de Djebel Aïssa et Djra.

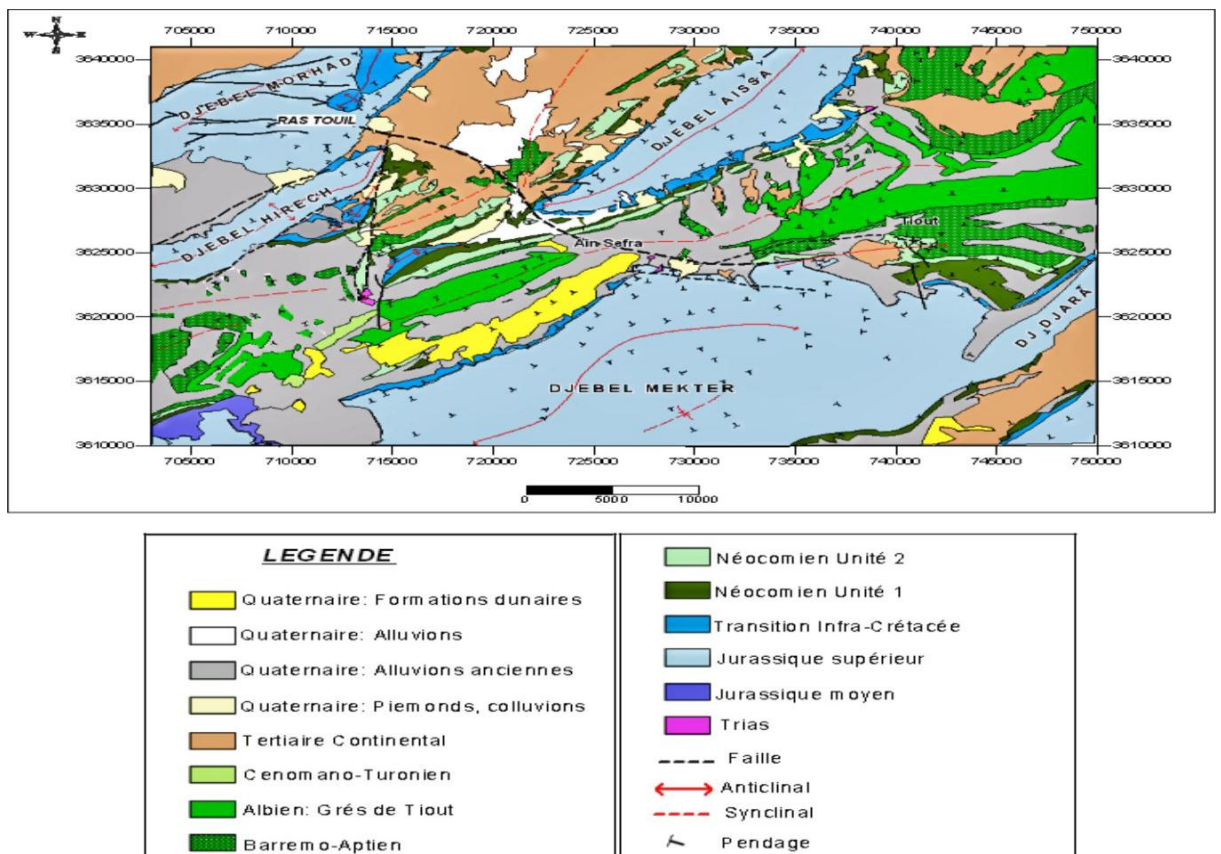


Figure N°13: Carte géologique de la région d'Ain Sefra (in moussa, 2013)

V. Série type des Monts des Ksour :

Dans les monts des Ksour la majeure partie des affleurements appartiennent aux formations mésozoïques. A l'intérieur de l'Atlas, les sédiments cénozoïques sont localisés dans les dépressions et représentés par le Tertiaire continental discordant le Secondaire en petits lambeaux dispersés çà et là. C'est au Sud de la flexure sud atlasique que l'on peut observer les formations post-turonniennes avec plus de continuité

A-la série Triasique :

Le Trias diapyrique se compose d'argiles bariolées versicolores, d'évaporites et de carbonates noirâtres. Il est accompagné de roches vertes (basaltes et basaltes doléritiques). Il affleure à Ain Ouarka, El Hendjir, NW à El Rhoundjaia, Koudiet Tiourtalt, I Djebel Melah, etc...Il apparaît le plus souvent aux cœurs des anticlinaux en position stratigraphique anormale sous forme de diapirs ou bien en masses injectées le long des grandes fractures qui ont affecté la couverture sédimentaire.

Le Trias diapyrique d'Ain Ouarka se compose de:

- un ensemble évaporitique gypso salin.
- argiles bariolées versicolores (violette, rouges, vertes)
- argiles violettes à barres gréseuses et traînées de sel.
- carbonates noirâtres déformés à traînées de sel.
- intrusions de basaltes doléritiques et de roches vertes à structure ophitique qui ont repris tous les faciès.

Les ophites dont l'épaisseur à Ain Ouarka peut dépasser les vingt mètres forment une coupole au-dessus de la masse argileuse et se trouvent stratigraphiquement en position normale sur ces argiles.

B-L'infra Lias :

Ce terme utilisé en 1911 par G.B.M Flamand, désigne une formation de calcaires dolomitiques ou de dolomies franches. Cette formation épaisse de 200m affleure au djebel Chemarikh d'Ain Ouarka. Elle comporte à sa partie supérieure (Douihasni, 1976):

- dolomies ocreuses à cassures blanchâtres à gris clair, massives d'aspect bréchique.
- calcaires dolomitiques à fantômes d'organismes recristallisés, et qui forment le sommet de la formation de Chemarikh.

J.P Bassoulet (1973) rapporte la formation de Chemarikh à l'infra Lias par comparaison avec les faciès semblables de la coupe du pont de Tiout où il a trouvé des empreintes de dinosaures tridactyles du genre *Garallator*.

C-La série jurassique (Lias et Dogger) (fig. 14) :

Elle comprend:

1. La « Formation de Chemarikh » : (Douihasni, 1976; Elmi, 1978) ou les Dolomies de Chemarikh (Mekahli, 1998) ; d'âge Hettangien inférieur – Sinémurien. Elle est d'une épaisseur de 150 à 200 m. Il s'agit de calcaires dolomitiques.

2. « Les Alternance de Ain Ouarka » (Mekahli, 1998) cette formation dessine des chevrons plaqués sur la dolomie de Chemarikh (NW de Djébel Chemarikh) D'âge Sinémurien-Domérien, cette formation possède une épaisseur de 120 à 170m est constituée de marnes et de calcaires. L. L. Mekahli (1995) a subdivisé cette formation en 07 membres et sont de bas en haut:

-Membre a : calcaires noirâtres lités, à intercalations marneuses à ammonites

-Membre b: calcaires sublithostratigraphiques grisâtres à trainées rouges à intercalations marneuses à ammonites.

-Membre c : Alternance de marnes et de calcaires à silex.

-Membre d: Alternance de marnes et de calcaires ondulés et bioturbés

-Membre e: Alternance verdâtre de marnes et de calcaires, c'est une micrite pélagique riche en radiolaires.

-Membre f: Alternance violacée de marnes et de calcaires, c'est une formation de l'ammonitico-rosso.

-Membre g: Alternance noirâtre de marnes et de calcaires.

3. les « Marno-calcaires de Ain El Rhezala » (Mekahli, 1995): ce sont les affleurements blanchâtres entre la dépression d'Ain El Rhezala et le flanc NW du Chemarikh. Cette formation est représentée par une alternance de marnes et de calcaires blanchâtres très riches en ammonites, filaments et zoophycos. Ayant un âge Lias supérieur (Toarcien), début de l'Aalénien, elle possède une épaisseur de 65 à 110m.

4. La « Brèche de la Reknet El Kahla », (Mekahli, 1995): elle est d'âge Aaléno- Bajocien inférieur et de 50 à 95 m d'épaisseur. Cette formation est limitée au sommet par les premiers bancs gréseux de Teniet El Klakh, elle est caractérisée par l'abondance de brèches, des figures de glissement et de calcaires noirs à aspect schisteux qui renferment parfois des lentilles d'Oolithes.

Il faut noter la présence de fragments d'Ammonites, des Brachiopodes, des lamellibranches à tests minces etc...

5. La formation de Teniet El Klakh (J.P. Bassoulet, 1973) : cette formation constitue la dépression contournant le relief du Chemarikh (dépression de Ain El Rhozala). D'une

puissance d'environ 456m, elle est subdivisée en un nombre inférieur argilo gréseux (406m) et un membre supérieur argilo carbonaté (50m). Elle est d'âge Bajocien supérieur.

6. La formation de Tifkirt (J.P Bassoulet, 1973): d'âge Bajocien supérieur Bathonien inférieur. C'est une alternance de calcaires récifaux, bioclastiques ou Oolithique, de grés de marnes et d'argiles. Elle est d'une épaisseur d'au moins 500m et début par les récifs à Ain Ourka.

7. La formation de Djara (J.P Bassoulet, 1973) : c'est une alternance de grés, d'argilites et de dolomies. Cette formation de 472 mètres d'épaisseur est subdivisée en deux membres : un membre inférieur (242m) ; ce membre est caractérisé par l'importance des épaisseurs des blancs. Il est constitué par une alternance de calcaires de dolomies, de grés et d'argiles. Un membre supérieur (230m) ; il est caractérisé par la réduction des épaisseurs des alternances des grés, d'argiles et dolomies. Le taux des grés domine et devient important vers le sommet. Cette formation serait d'âge Bathonien inférieur Callovien (A. Kacemi 2005).

D- Jurassique supérieur – Crétacé inférieur (fig. 15):

1 -La formation d'Aïssa (J.P Bassoulet, 1973) : c'est une formation de 623m d'épaisseur entièrement argilo gréseuse. Elle est subdivisée en deux membres :

-membre inférieur ou membre des alternances espacées (304m) : ce membre est généralement constitué d'argiles et d'argiles silteuses, de couleur verdâtre ou lie de vin.

Ces argiles alternant avec de grosses barres de grés à grandes stratifications obliques qui peuvent atteindre 25m d'épaisseur.

-membre supérieur ou membre des alternances rapprochées (333m) : il est caractérisé par la rareté des argiles. Les bancs des grés peuvent être d'une épaisseur de soixantaine de mètres. La partie supérieure de ce membre est caractérisée par la couleur rosâtre des grés et la présence de dragées de quartz. Cette formation serait d'âge Jurassique supérieur (Kimméridgien-Portlandien) (J.P Bassoulet, 1973).

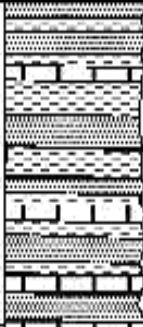

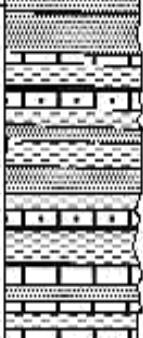
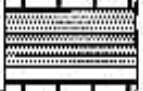


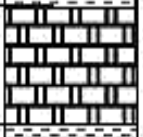
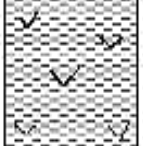
Etage	Formation	Epais	Colone lithologique	Description lithologique
Oxfordien Callovo Bathonien Sup	Djara	470m		Grès siliceux à stratification oblique dans les argiles et de rares bancs dolomitiques
Bathonien inf Bajocien Sup	Tifkirt	540m		Calcaires dolomitiques à oolithes Argiles Alternance calcaire, grès, argile et calcaires, oolithiques et lumachelliques
Bajocien supérieur	Teniet El Klakh	500m		Marnes vertes entrecoupées par des niveaux de calcaires sublithographiques et oolithique
Aaléno-Bajocien	B. De Reknat El Kahla	95m		Alternance d'argiles et de grès
Toarcien Aalénien	M.C de Ain Rhezala	110m		Grès furigineux à microfissurations entrecroisées.
Domérien sup Sinémurien	Alternane de Ain Ouarka	170m		Marnes gris avec intercalation de niveau de calcaires Alternance de marne et de calcaires blanchâtre riche en Ammonite, filaments et Zoophycos
Sinémurien Hettangien inf	Dolomie de Chemarikh	200m		Calcaires dolomitiques à débris d'organismes et nodules de silex
Trias (Keuper)		+ de 250 m		Argiles bariolées de basaltes, gypse et de roches vertes

Figure N°14 : coupe lithostratigraphique des formations du Lias et Dogger dans la partie centrale des Monts des ksour (Douihasni, 1976)

2- La formation de Tiloula (J.P Bassoulet, 1973) : D'une puissance de 466m, cette formation est bien visible dans la nature. Elle constitue un repère structural important car elle débute les grands synclinaux à fond plat par de fortes arêtes gréseuses (synclinal d'Ain Sefra). Elle occupe la périphérie des grands massifs Jurassiques tels que Aïssa, Mekther, Djara, etc...

Cette formation est caractérisée par :

- l'augmentation des épaisseurs des argiles qui étaient très faibles dans la formation précédente.

- l'apparition des premiers niveaux dolomitiques.

- la disparition des grés rosâtres à dragées de quartz,

- l'apparition des grés plus ou moins massifs ou en plaquettes de très faibles épaisseurs et très espacés à grains fins. Le passage Jurassique-Crétacé s'effectuerait au sein de cette formation (J.P Bassoulet, 1973)

3- La Formation de Tiout: elle est attribuée au Barrémo-Albo-Aptien par J.P Bassoulet (1973).

Elle est appelée aussi " groupe de grés à dragées " par Douihasni (1976).

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

Ce sont des grés massifs rouges à stratifications obliques dans les quels apparaissent des niveaux lenticulaires de dragées de quartz surmontés par une série d'argiles pelitiques entrecoupés de niveaux de grés rouges à chenaux. Les grés se présentent en gros bancs, occupant les plaines et dépressions, ou ils affleurent en petits dômes amygdaloïdes très surbaissés.

Lorsqu'ils sont obliques, les bancs donnent des séries de crêtes parallèles.

Le synclinal d'Ain Sefra est formé uniquement de ces grés, qui débutent au pied du Dir El Hirech, et se prolongent au centre de part et d'autre de la route de Ain Sefra- El Hendjir. Sur l'autre flanc, on les retrouve au niveau de l'Oued Bredj.

On peut estimer que cette formation occuperait une largeur de 10 Km le long de l'axe à partir de la faille d'El Hendjir avec, une largeur d'environ 1200m au niveau de Ain Skhouna et de 1500m au Sud-Est d'El Hendjir, au niveau de Ain sefra on a un rétrécissement de ce synclinal.

A l'E et au NE d'Ain sefra, il s'étale à nouveau beaucoup plus largement, où on retrouve le synclinal de Maader (Tout) qui fait l'objet de notre étude puis le synclinal de Tiourtalt au NW, du côté de Tiloula, il se pince par faille contre l'infra Crétacé et le Trais.

E- Le Cénomano-Turonien :

Le Cénomaniens est lié au Turonien, il est entièrement marin dans tout l'Atlas sous un faciès dont l'épaisseur diminue régulièrement d'Est en Ouest.

Il est représenté par deux ensembles qui forment les affleurements de tous les synclinaux perchés de la zone centrale des monts des Ksour :

*Un ensemble d'Argiles pelitiques gris verdâtre gypsifère surmonté par une alternance marno-dolomitique attribué au Cénomaniens.

*Un ensemble formé de marnes blanches à oursins et à calcaire dolomitiques massifs 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 et Safrat El Djir à proximité d'El Hendjir.

F- La formation Post-Turonienne :

Egalement appelé « Tertiaire continental » C'est du Mio-Pliocène.

Elle se présente sous des aspects assez différents d'un lieu à l'autre avec une prédominance de dépôts argilo-gréseux rouges.

La formation post Turonienne est constituée par des dépôts continentaux ou lagunaires attribués au Tertiaire et au Quaternaire, d'après les résultats des travaux antérieurs de JP Bassoulet, (1973) et M Douihasni (1976).

Ces dépôts sont discordants soit sur la formation turonienne, soit sur celle du Barrémo-Albo-Aptien et comblent les dépressions, cette formation post Turonienne comporte :

-des formations terrigènes constituées de blocs détritiques dont l'âge est rapporté à l'Oligocène-Miocène par G.B.M Flamand (1911), et au Tertiaire et au Tertiaire basal par Cornet (1952).

-une série attribuée au Mio-pliocène formée de couches rouges argilo gréseuses entrecoupées de niveaux gypsifères.

-une formation épaisse de 300m rapportée au pliocène formée de conglomérats hétérométriques appelés « poudingue de Ksour ».

-une croûte horizontale de 1 à 2m d'épaisseur constituée de calcaires blanchâtres attribués au Villafranchien supérieur d'après J.H.Durand, 1952.

G- Les formations Quaternaires :

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 par Galmier 1970 sous le terme de « formation Turfacée » elle est constitué de limons et de microconglomérats. D'après Douihasni, 1976, à ces limons anciens sont rattachés des tufs et travertins Localisés à proximité des sources et souvent liées à des accidents.

-Colluvions de piémonts : constitués de cailloutis de pente cimentés par des carbonates, ils forment les brèches de pente.

-Alluvions anciennes : elles sont peu épaisses, localisées sur les étendues planes ou dans les dépressions de faible pente. Ce sont des formations argilo sableuses et conglomératiques.

-Alluvions récentes : Elles jalonnent les lits des Oueds et sont constituées de sables.

-Formations éoliennes : Elles sont assez répandues dans la région d'Ain Sefra. Ces accumulations sableuses constituent les dunes qui jalonnent la partie Nord et Nord-Est du Djebel Mekther. La plupart des dunes paraissent fossilisées.

VI. Aperçu structural :

L'atlas saharien présente une structure en éventail. Avec des plis coffrés allongés et d'importantes fractures, dont plusieurs ont une orientation NE-SW. Il est constitué d'anticlinaux pincés à flancs redressés, alternant avec des synclinaux albiens à fond plat.

Sa partie occidentale présente un aspect structural complexe lié à l'action conjuguée :

- des rejeux de socle.
- d'une tectonique souple et cassante.
- de la mobilité et la plasticité du Trias.

I. Tectonique souple:

Les dépôts turoniens affectés par des plissements dans l'ensemble de l'Atlas saharien permettent selon différents auteurs. Galmier, 1970 et Bassoulet, 1973 d'attribuer un âge Tertiaire à la phase orogénique.

A la phase principale de plissement intense de la série Mésozoïques succèdent d'autre rejeux non synchrones d'Est en Ouest et qui sont selon Galmier, 1970 :

- Une phase de plissement ayant affectée « les poudingues des Ksour ».
- Une phase récente liée aux décrochements N 80° E et N 160°E recoupant presque toutes les structures.

En fonction de leur densité et leur direction, les plis permettent de subdiviser les Monts des Ksour en trois zones bien distinctes :

- Une zone occidentale caractérisée par des plis complexes de petites dimensions, de forme irrégulière où les synclinaux sont bien plus marqués que les anticlinaux.
- Une zone centrale (Djebel Aïssa et Djebel Mekther) englobe les structures à matériel Jurassique. Ces dernières sont trapues, larges et constituées par des grès. Les voutes sont surbaissées coffrées et massives.
- Une zone orientale dont la structure des plis est plus simple et correspond au style des plis atlasiques.

2- Tectonique cassante (fig.16) : L'étude de la fracturation permet d'individualiser trois zones principales dans l'Atlas saharien occidental :

-Une zone occidentale fi très forte fracturation : où les accidentes Nord Sud et $N30^\circ$ in $N40^\circ$ jouent un rôle prépondérant.

-Une zone centrale ou: la fracturation diminue, mais demeure importante, elle est représentée par les directions $N70^\circ$ à $N85^\circ$ à des cisaillements importants (Djebel Mekther).

Certaines failles, de directions $N110^\circ E$ à $N160^\circ E$, recoupant l'ensemble des structures sont postérieures aux plissements, les accidents $N110^\circ$ sont généralement dextres et bien marques au djebel Mekther et Aïssa peu exprimées au Djebel Morghad.

3- Mobilité et plasticité du Trias : Les mouvements du Trias se sont fait soit horizontalement avec entrainement de la couverture, ce qui explique la multiplicité des axes structuraux et l'existence des plis disharmoniques, soit verticalement avec rehaussement des structures

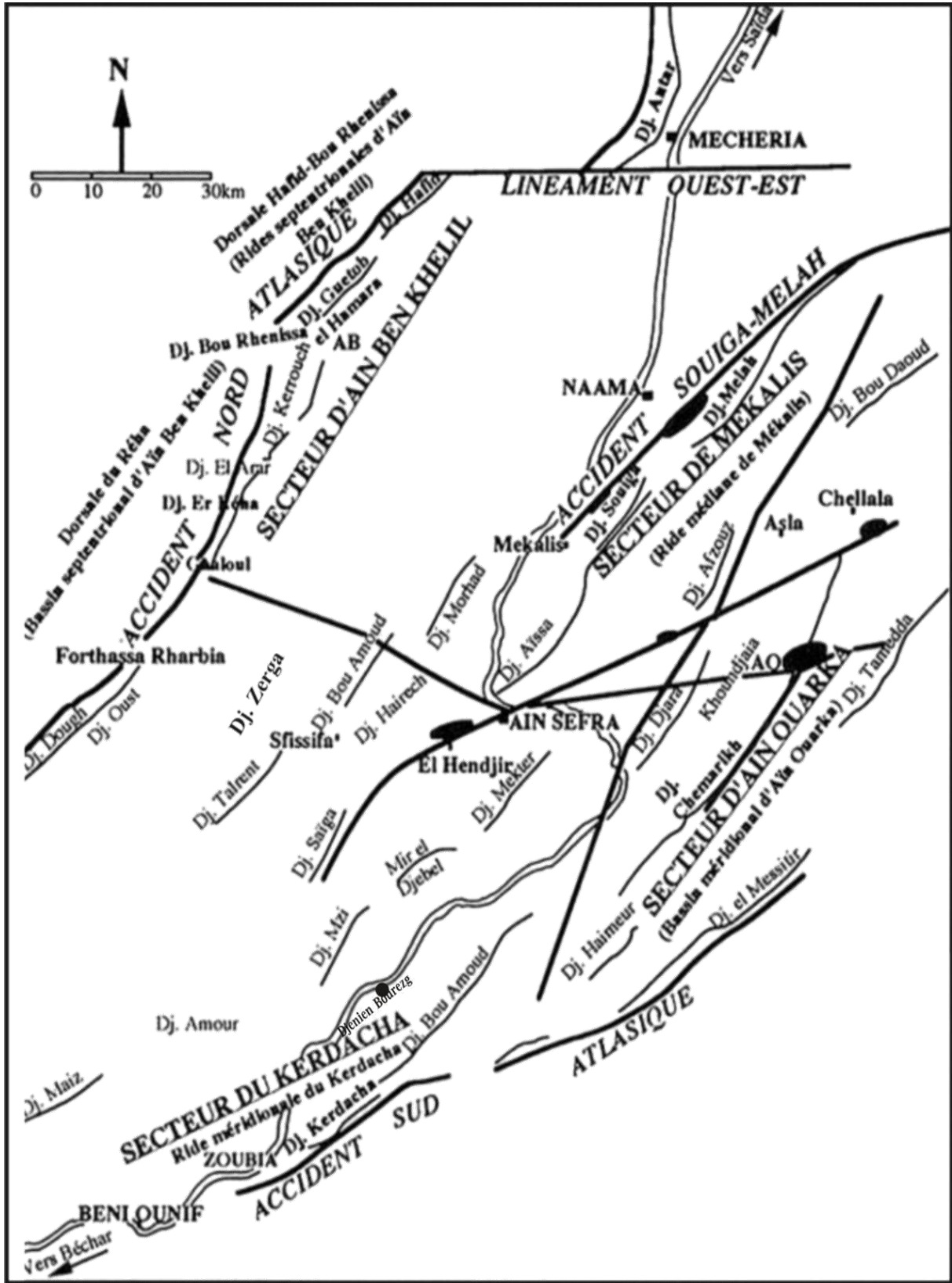


Figure N°16 : les grandes coupures tectoniques des Monts des Ksour (D'après L. Mekahli, 1998)

VII- Conclusion :

L'étude géologique du secteur étudié nous a permis de préciser la lithostratigraphie, et montre que ces formations peuvent être subdivisées en ensembles principaux

*Un ensemble triasique argilo-gypseux accompagné de basaltes.

*Une série carbonatée à la base et marneuse au sommet datée du (Lias-Bajocien).

*Une série détritico-argilo-gréseuse avec des intercalations de bancs dolomitiques surmontés de calcaires et de marnes. Ces ensembles ont été attribués au Cénomano-Turonien.

Du point de vue tectonique, l'Atlas Saharien occidental (Monts des Ksour) est formé d'un ensemble de plis coiffés à flancs déversés, séparés par de larges synclinaux qui facilitent les communications Nord-Sud et Est-Ouest.

La fracturation des terrains compacts (grès) représente une donnée importante quant à l'étude hydrogéologique. En effet, la circulation des eaux souterraines dans les formations consolidées et les intercommunications entre aquifères se font essentiellement à la faveur des fractures ouvertes, diaclases et fissures, etc...

Chapitre IV

Hydrogéologie

I-Introduction:

L'étude géologique (lithostratigraphique, structurale) a permis de localiser les formations et les zones propices à l'existence des eaux souterraines.

L'étude sur les propriétés hydrodynamique du système aquifère de notre région d'étude a été réalisée en se basant, d'une part sur l'établissement de la carte piézométrique et son interprétation, et d'autre part, sur la détermination des différents paramètres hydrodynamiques (transmissivité, perméabilité etc....).

II. Les formations aquifères:

Les faciès qui prédominent largement dans cette région est les formations gréseuses, mais sont le plus souvent argileux entre coupés de bancs marneux ou quartzeux compacts.

Leurs perméabilités restent donc très faibles dans l'ensemble, sauf pour les grès albiens.

On peut distinguer Les niveaux aquifères suivants:

II-1. La nappe du Jurassique:

Malgré l'importance des aires d'affleurement du Jurassique, aucune nappe importante n'a été mise en évidence dans cette formation. Il existe cartes quelques points d'eau, mais sont d'un débit insignifiant exception faite à quelques points d'eaux à proximité du sommet du Djebel Aïssa.

II-2. La nappe Aptienne :

L'Aptienne est une formation gréso-marneuse qui occupe souvent des dépressions topographiques, de perméabilité assez homogène, cette formation se révèle souvent aquifère mais aucune continuité n'existe (A.RAHMANI 1994)

Les sources et les puits sont généralement de faible débit. C'est le cas de la source "Ain-Beida" situé à 05 km au Nord-Est d'Ain Sefra.

II-3. La nappe Barrémo-Albienne :

C'est la seule importante nappe de la région. Le Barrémo-Albienne occupe généralement les dépressions topographiques, facteur qui favorise l'alimentation de la nappe.

Leur étendue est assez grande et de nombreux points d'eau sont exploités.

Trois niveaux différent ont été mise en évidence par:(N. GOUSKOV ,1942) qui sont séparés par des couches imperméables.

C'est le niveau moyen qui semble être plus riche. Les grosses sources de la région étudiée, L'albien se situe dans plusieurs bandes parallèles plus au moins larges.

Tout d'abord de part et d'autre d'Ain Sefra, s'entendent deux gouttières synclinales

* **Au sud** d'Ain Sefra; une première zone d'Albien: synclinal d'Ain Sefra, L'oued Breidj prolongé par celui de Benikrou occupe le centre de cette gouttière, ce qui doit favoriser considérablement l'alimentation de la nappe en période de crue.

L'exutoire de la nappe était Ain Skhouna (Tarie après la mise en marche du forage Skhouna) qui se trouve sur le bord même de l'Oued. La zone d'émergence se situe d'ailleurs tout le long du lit.

* **Au Nord Est** d'Ain Sefra s'étale le synclinal à fond plat de Tiout El Angar, en grande partie drainé par l'Oued de Tiourtalt.

Les assises gréseuses contiennent (03) nappes séparées par (03) couches imperméables. Ces (03) nappes se manifestent par les principales sources de la région.

* un premier niveau dans les grés massifs de la base de l'étage. Les sources alimentées par ce niveau sont plus nombreuses et peu importantes. L'Ain Tessela est considérée comme étant l'exutoire de ce niveau inférieur.

* un deuxième niveau correspondant à une masse de grés grossiers homogènes (grés à dragées d'une épaisseur d'environ 300 mètres).

Ce niveau fournit les plus grosses sources de la région comme la source de Tiout et la source d'Ain Messeoud.

* une troisième niveau qui n'est pas représenté dans le synclinal d'Ain Sefra lui-même, mais dans son prolongement vers le Nord Est près de l'Oued Tiourtalt. Ce niveau est également contenu dans des grés grossiers marquant le sommet de l'étage. Il donne naissance à Ain Tiourtalt.

Mode de gisement des sources de l'Oued Breidj et de Tiout (fig .17)

Au Point de vue Hydrogéologique, les sources de l'Oued Breidj et Tiout émergent d'un niveau aquifère contenu dans la masse des grés Albiens, qui Structuralement forment un synclinal allongé d'une direction SW-NE (synclinal d'Ain Skhouna et synclinal de Tiout). Les deux sources émergent dans les couches de base sur le flanc sud des synclinaux.

Les couches ont des pentes d'environ 75°, vers le Nord-Ouest. L'Oued Breidj et Tiout coulent parallèlement aux couches des grés Albiens. Ils frôlent le niveau aquifère sur une certaine longueur. Grâce à une telle disposition. L'émergence se présente comme une multitude de suintements strictement allongés l'un après l'autre.

Les grés Albiens forment à l'endroit des sources une muraille rocheuse d'une hauteur moyenne de 6 à 7 m environ.

- La coupe détaillée du lieu d'émergence donne:
- Sable alluvionnaires du lit des Oueds d'environ 0.5m.
- Grés rouges fissurés constituant le niveau aquifère et donnant les émergences.
- Argiles rouges d'environ 0.5m.
- Grés rouges: 1.5 à 2m.
- Argiles rouges: de 0.5 à 1m.
- Grés rouges: de 3 à 5m environ.

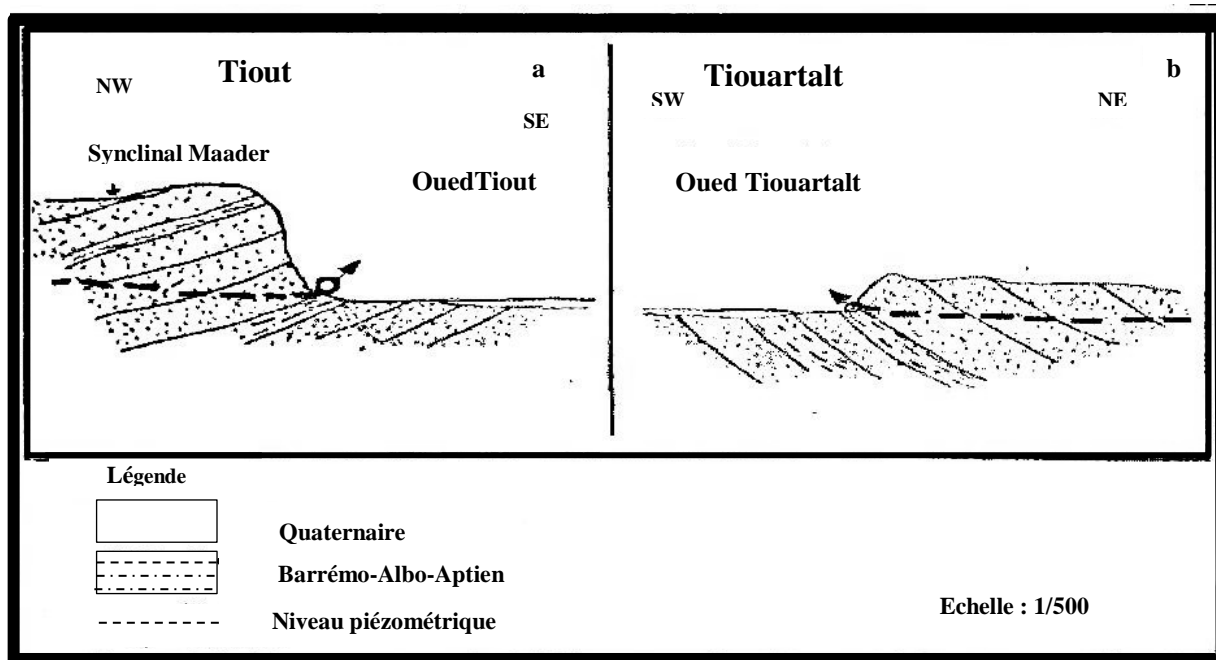


Figure N°17 : Coupe Schématique des sources de Tiout et Tiouartalt.

(D'après A.RAHMANI.1994)

II-4. La nappe du Quaternaire:

Les dépôts alluvionnaires des principaux Oueds constituent de bons réservoirs lorsque leurs étendue et leur puissance sont importantes, comme c'est le cas de l'Oued Breidj qui laisse en rive droite d'importants dépôts alluvionnaires qui contiennent une nappe exploitée par de nombreux puits souvent à l'entretien des jardins.

- les dépôts dunaires : les dunes d'Ain Sefra contiennent aussi une nappe aquifère qui se manifeste par quelques sources pérennes aux abords de la ville, (source de Dzira) la nappe dunaire est certainement en communication avec celle des terrasses, qu'elle doit suralimenter en certaines périodes.

III. Mode d'alimentation:

Dans les principales zones de l'Atlas Saharien Occidental, selon plusieurs auteurs, ceci est réalisé:

*Soit par l'infiltration directe de la pluie (lorsque l'albien affleure ou est recouvert par des terrains Quaternaires), la rétention de l'eau à travers le sol n'existe pas, mais il faut que l'intensité de la pluie soit suffisante pour que l'eau arrive à la nappe et échappe à l'évaporation directe.

*Soit par ruissellement (crues des Oueds Tifkirt, Mellah, Namous, Charbi) qui dévalent souvent très loin des massifs montagneux lorsque les crues sont assez importantes et que les eaux arrivent sur une certaine étendue de terrain perméable (ce qui correspond alors à un épandage naturel de la crue).

La réalimentation de la nappe peut être considérable en ces zones d'épandage.

*les fortes averses donnent naissance à un ruissellement suffisant pour que l'eau s'accumule dans les dépressions et les dayas.

*L'étude géologique de la surface et certains aspects qualitatifs des eaux de la nappe nous permet de considérer un autre type d'alimentation régi essentiellement par des apports verticaux par l'intermédiaire des failles latéraux.

IV. L'HYDRODYNAMIQUE :**IV-1. Géométrie de l'aquifère :**

Les coupes hydrogéologiques AA' figure N°18 établies à partir du log Stratigraphiques des forages et des données des géophysiques, montre l'existence de 03 aquifère interstratifiés: (A.RAHMANI 1994).

- des grés compacts à porosité d'interstices, et de fractures d'âge Jurassique.
- une série gréseuse attribuée au Barrémo-Albo-Aptienne à porosité combinée de fractures d'interstices et de chenaux avec intercalation de passées argileuses.
- une formation quaternaire constituée d'alluvions et de dunes de sable.

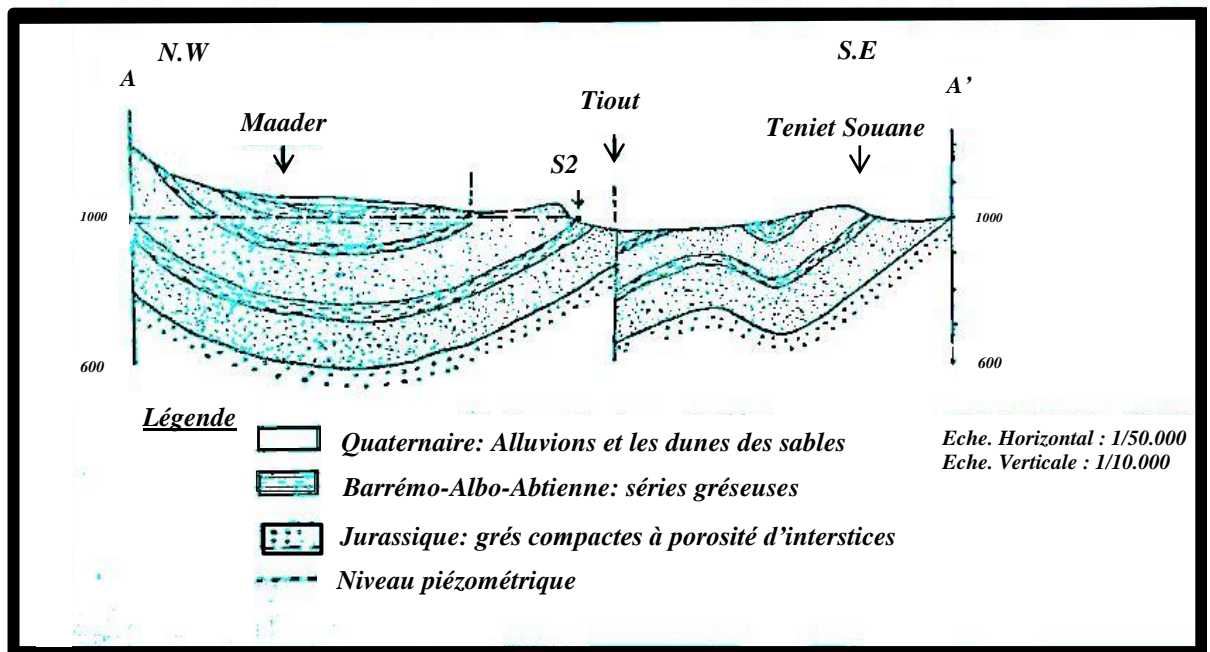


Figure N°18 : Coupe hydrogéologique de l'aquifère (D'après : Rahmani 1994).

IV-2. Piézométrie :

La carte piézométrie d'Ain sefra établie en 2010 par (RAHMANI) montre :

Dans la partie Nord du secteur : un sens de l'écoulement:

Nord Est – SudOuest dans la dépression de Tirkount.

SudOuest – NordEst dans la région de Garet Kheil.

Les lignes de courant montrent que les eaux drainées proviennent des flancs :

Sud de Djebel Hirech et Nord de Djebel Aissa.

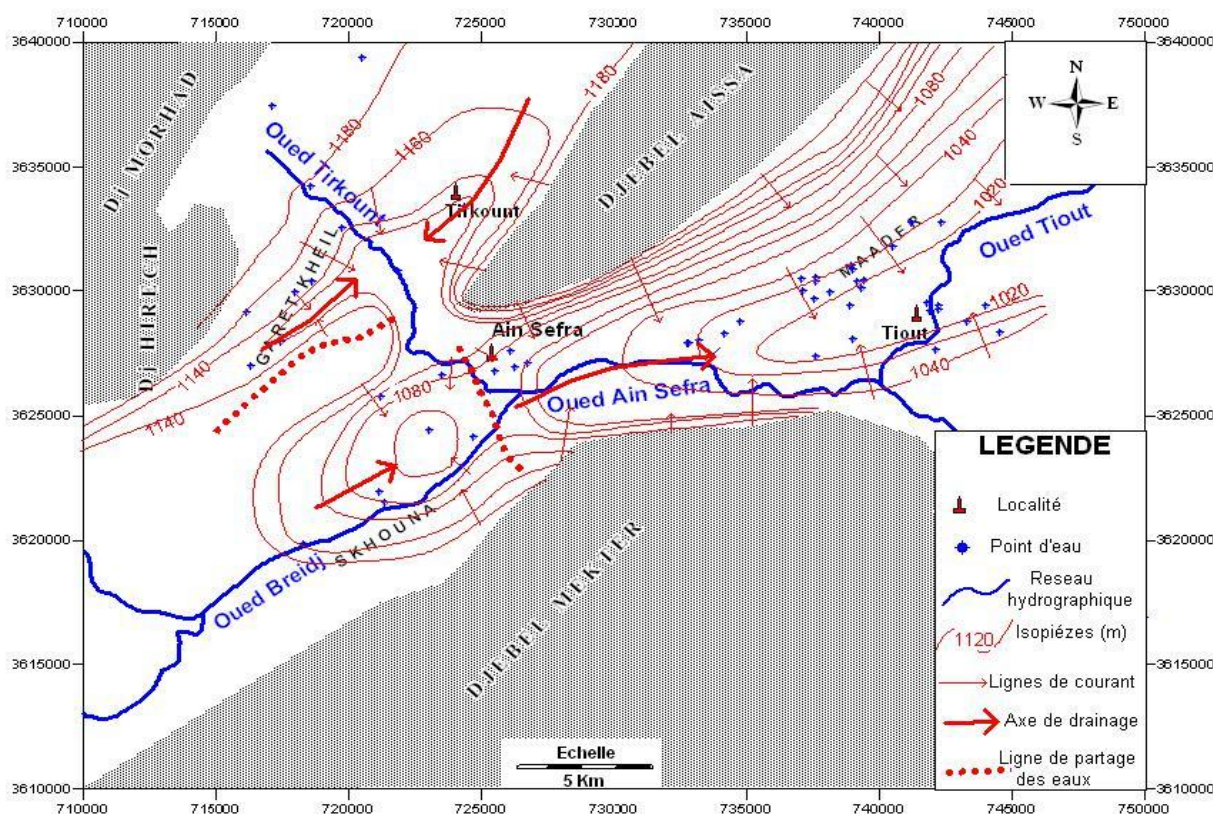


Figure N°19 : Carte piézométrique (Septembre 2010, Rahmani).

A ces niveaux les isopièzes sont espacées au niveau du centre des bassins, avec un gradient hydraulique de 10 à 20 ‰ pour se rétrécir, avec un gradient hydraulique de l'ordre de 25 à 35‰.

Cette variation du gradient peut être expliquée par des variations latérales des perméabilités. Notons que dans cette zone l'Oued Tirkount draine la nappe.

Une ligne de partage des eaux séparant les synclinaux de Garet Kheil et Skhouna.

Dans la partie Sud:

L'écoulement souterrain global se fait de l'Est vers l'Ouest, avec une dépression piézométrique au niveau de Skhouna qui correspond à une zone de captage. Les eaux sont drainées par les Oued Breidj – Ain Sefra et Tiout et la nappe est alimentée par le Djebel Aissa au Nord et par Djebel Mekter au Sud.

Le gradient hydraulique varie en général de 10‰, au centre des bassins, à 35 ‰ au niveau des piedmonts de la partie Sud de Djebel Aissa.

IV-2-1. Interprétation de la carte piézométrique :

La nappe Barrémo -Albo- Aptienne est représentée par des eaux circulant dans des terrains hétérogènes gréseux, argileux plissés et affectés par une fissuration.

La carte piézométrique (janvier 2010) du secteur étudié figure N° 19, montre que le sens général de l'écoulement de la nappe de Maader est suivant une direction N-S.

Les lignes de courant montrent que les eaux drainées proviennent du Nord à partir du Djebel Aïssa et de l'Est et se dirigent vers l'exutoire principal de la nappe : la source de Tiout

IV-3. Détermination des caractéristiques Hydrodynamiques:

Des essais de pompages ont été effectués au niveau du forage F4 (Maader).

IV-3-1. Essai de pompage dans le forage Maader 1:

L'essai de pompage a été effectué avec quatre paliers à débits enchaînés pour fixer le débit d'exploitation une fois le débit d'exploitation est connu, un essai de longue durée (72h) a été exécuté avec un débit de 20 l/s.

Les résultats des essais de pompages sont représentés au Tableau N°06:

Tableau 06: Résultats de l'essai de pompage dans le forage dc Maader.

Niveau statique 28.10m	1 ^{er} palier	2 ^{ème} palier	3 ^{ème} palier	4 ^{ème} palier
Durée de pompages(h)	5	5	5	5
Débit (m ³ /h)	43.2	54	64.8	72
Rabatement (m)	27.80	39.30	42.18	52.80
Niveau dynamique (m)	55.90	67.40	70.28	80.90

a- Courbe caractéristique (fig.20) :

La courbe caractéristique représentant la fonction. $S = f(Q)$ apporte des informations sur le comportement hydrodynamique du complexe aquifère (ouvrage de captage). Elle détermine le débit maximum d'exploitation qui est de 72 m³/h pour un rabattement maximum .

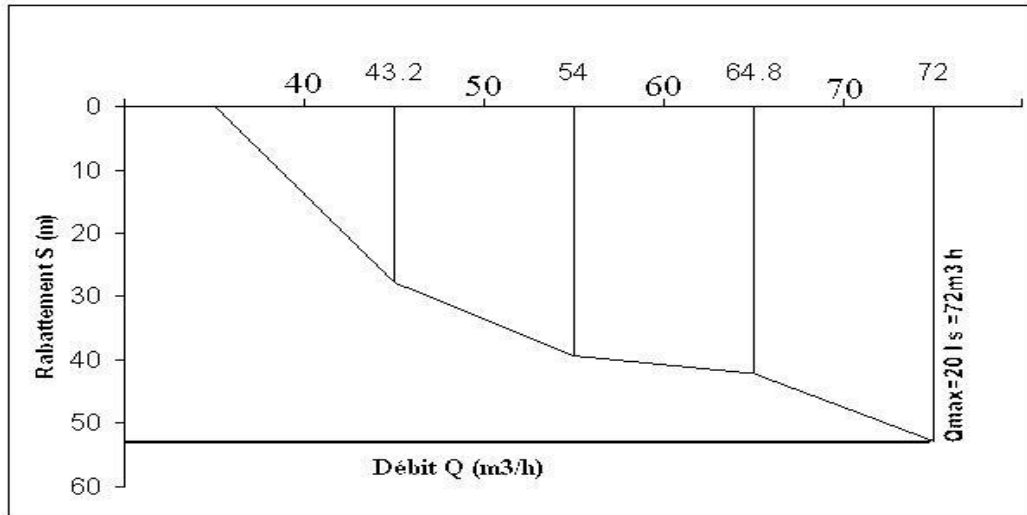


Figure N°20: Droite $S = f(q/S)$.

b- calcule le débit spécifique (fig.21):

Le débit spécifique (q_s) est le débit pompé Q rapporté au rabattement S dans le forage. Les résultats des essais globaux et le calcul des débit spécifique pour chaque palier sont représentés dans le tableau N° 07.

Tableau 07: calcul du débit spécifique.

N ° palier	Débit pompé (m ³ /h)	Rabattement (m)	Débits spécifiques (m ³ /h/m)
1 ^{er}	43,2	27,80	1,55
2 ^{ème}	54	39,30	1,37
3 ^{ème}	64,8	42,18	1,54
4 ^{ème}	72	52,80	1,36

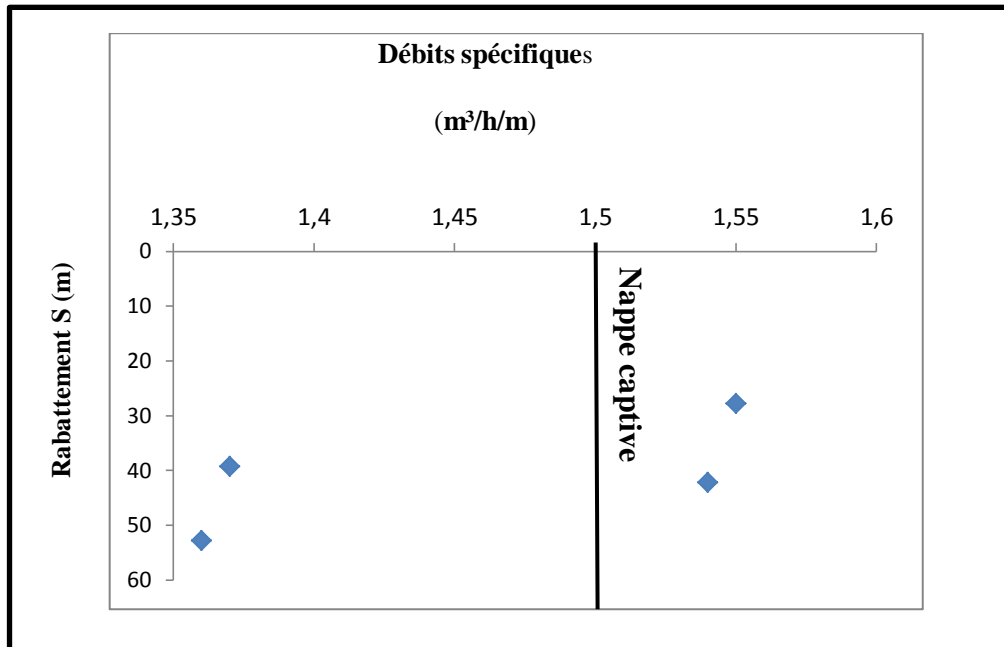


Figure N°21: droits $S = f(q/s)$.

La courbe spécifique rabattement figure N°21, nous montre une représentative $S = f(q/s)$. Le débit spécifique relatif est de $q/s = 1.48 \text{ m}^3/\text{m.h}$.

Cette courbe montre qu'on est en présence d'une nappe captive, ceci confirme le contexte géologique, la nappe d'El Maader est bien une nappe captive.

c-calcul des pertes de charge (fig.22):

La droite de rabattement spécifique en fonction du débit permet de calculer l'équation de la droite qui est la forme : $S/Q = B + CQ$ d'où : $S = BQ + CQ^2$

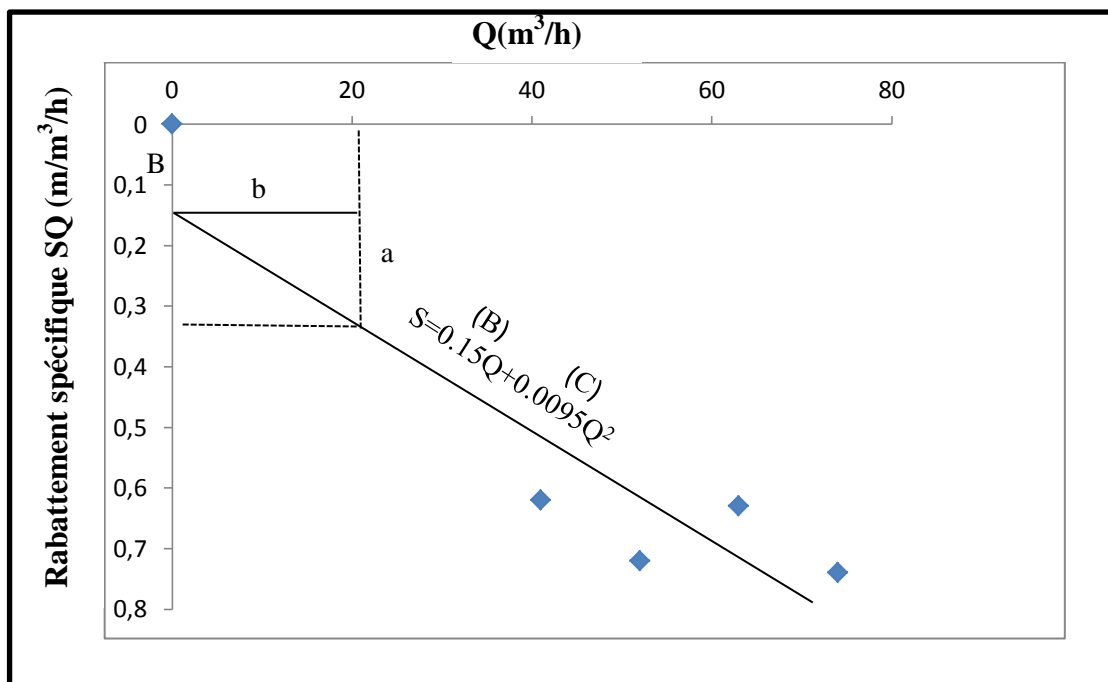


Figure N°22: le rabattement spécifique-débit.

Le coefficient B est obtenu par l'intersection de la droite représentative avec l'axe de rabattement spécifique

Le coefficient C est égal à la pente de la droite représentative $C = \text{tg}\theta = a/b$

D'après le droit rabattement spécifique en fonction du débit figure N°22, l'équation de la droite représentative est : $S = 0,15Q + 0,9 \cdot 10^{-3}Q^2$

Le calcul de la perte de charge linéaire est donné par l'expression:

$S = BQ$, la perte de charge quadratique est CQ^2 , le calcul des différentes pertes de charge dans le forage est donné dans le tableau N°08

Tableau 08: calcul des différentes pertes de charge dans le forage Maader.

Forage	N°: de palier	Débits Q (m ³ /h)	Rabattement S(m)	Rabattement spécifique (S/Q/m ³ /h)	Porte de charge		Valeurs de B et C
					Linéaire BQ	Quadratique CQ ²	
Maader1	0	0	0	0			B=0.15 C=9.5 10 ⁻³
	1	43.2	27.8	0.64			
	2	54	39.30	0.73	6.48	17.72	
	3	64.8	42.18	0.65	8.10	27.70	
	4	74	52.80	0.73	9.72	40	
					11.10	52.02	

D'après le tableau, on remarque que les pertes de charge dans le forage Maader

IV-3-1-1. Pompage d'essai de longue durée:

Les pompages de longue durée sont exécutés par un seul palier de débit, à débit constant, Prolongé durant au moins 42 heures, avec un optimum de 72 heures.

L'exécution et l'interprétation des données mesurées rabattements et temps reposent sur l'emploi des relations hydrodynamiques en régime transitoire. L'essai de pompage a pour but principal de déterminer paramètres hydrodynamiques d'où l'emploi très fréquent des "essais de débit" pour étudier un aquifère.

On peut estimer que le coefficient d'emmagasinement ne peut être calculé et cela en absence de piézomètre d'observation.

1 - Estimation de la transmissivité:

L'essai d'une durée de 72 h a été effectué avec un débit de 72 m³/h (20 l/s). Les résultats sont reportés an tableau N°: (porté en annexe).

- Méthode de Jacob:

L'estimation est basée sur l'utilisation de l'équation:

$$T = (0.183/\Delta s) Q$$

DS représente la pente de la droite obtenue par accroissement du rabattement pour un cycle logarithmique de temps.

La transmissivité peut être ainsi calculés à partir de la courbe de remontée en portant sur le papier semi-logarithmique en abscisse, les logarithmiques (t/t'') est en ordonnées, les rabattements résiduels DS', avec t' temps de remontée.

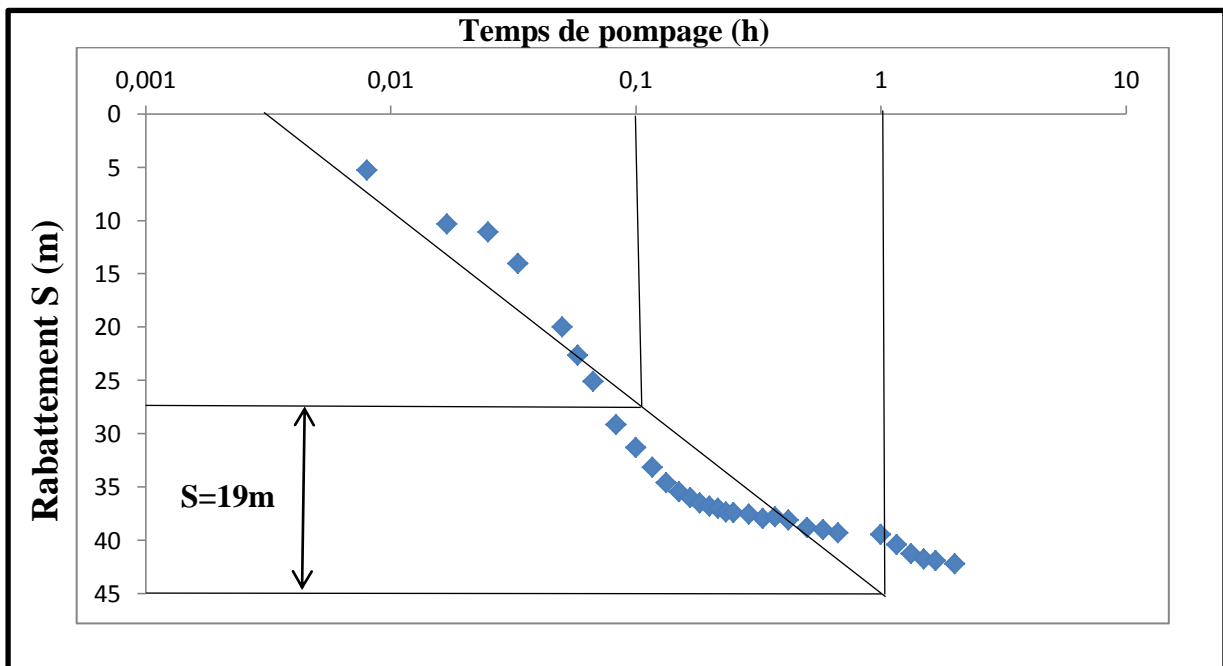
a-courbe de descente (fig.23):

Figure N°23: Courbe de rabattement S(m) de Maâder 1.

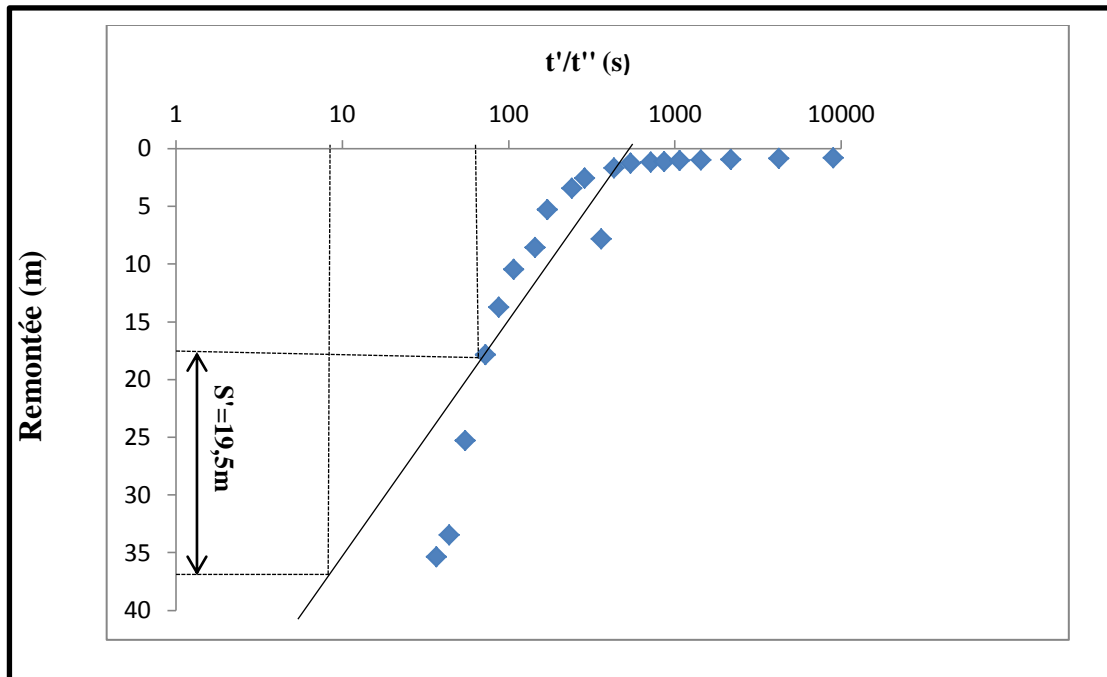
La courbe de descente présente dans figure N°23, elle marque quatre stades distincts dont le première traduit l'effet de capacité du puits pendant les première minutes, puis on a assisté au deuxième stade qui exprime le régime transitoire, et la troisième stade marque par la présence de palier de stabilisation donc l'aquifère qui alimente la nappe (phénomène d'égouttage) et on fin le stade finale marque la frontière imperméable.

Pour cela un rabattement $\Delta s = 19\text{m}$ et un débit

$$Q = 2 \cdot 10^{-2} \text{m}^3/\text{s}.$$

La transmissivité $T = 1,183 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \text{m}^2/\text{s}.$

$$T = 1,9 \cdot 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$$

b- Courbe de remontée (fig.24):**Figure N°24:** Courbe de remontée de Maâder 1.

La courbe de remontée présente dans figure N°24, elle marque trois phases distinctes une phase correspond à l'effet de capacité du puits pendant les premières secondes, puis on assiste à la deuxième phase qui exprime le régime transitoire, et enfin la phase finale marquée par la présence d'un palier de stabilisation qui montre le comportement de la nappe ou sont calculés les paramètres hydrodynamiques caractéristiques de l'aquifère.

Pour un rabattement résiduel $\Delta s = 19.5\text{m}$ et un débit $Q = 2.10^{-2}$

La transmissivité $T = 0,183.20.10^{-3}/19.5$

$T = 3.66.10^{-3}/19.5\text{m/sm}^2/\text{s}$

$T = 1.88.10^{-4}\text{m}^2/\text{s}$

La transmissivité moyenne serait de $T = 1,9.10^{-4}\text{m}^2/\text{s}$

2- Estimation du bilan de la nappe:

Le bilan de l'écoulement des eaux souterraines peut être estimé par l'application de la loi de Darcy : $Q = TiL$.

T : transmissivité en m^2/s .

i : gradient hydraulique.

L : longueur de la section considérée.

A Maader, entre l'isopièze 1048 et 1040

T: $1,9.10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$

i: 3‰

L: 2769m

$Q = 1,58.10^{-3} \text{m}^3/\text{s}$ \longrightarrow $Q = 1,58 \text{ l/s}$

Cette valeur est inférieure par rapport à celle d'El Hendjir ($Q=346,5 \text{ l/s}$) et à Skhouna ($Q=175,5 \text{ l/s}$) (d'après A.Rahmani, 1994) et cela est due à la transmissivité et le gradient hydraulique qui sont supérieures avec :

El Hendjir : $T=3,5.10^{-3} \text{m}^2/\text{s}$ et $i=33\text{‰}$

Skhouna : $T=4,5.10^{-3} \text{m}^2/\text{s}$ et $i=13\text{‰}$ (d'après A.Rahmani, 1994)

Ces valeurs donnent des débits de $Q=346,5 \text{ l/s}$ pour El Hanjir et $175,5 \text{ l/s}$ pour Skhouna.

Danc la somme de ces débits est de $523,58 \text{ l/s}$, soit $0,30\%$ du débit total au niveau du forage Maader.

V- Conclusion :

L'étude piézométrique de l'aquifère du synclinal Barrémo-Albo-Aptien d'El Maader montre un écoulement NW-SE.

Les sens de l'écoulement permettent de confirmer que l'exutoire de la nappe pour ce synclinal est la source de Tiout (Ain Messaoud).

L'alimentation de la nappe se fait par infiltration des eaux de pluie et à partir des massifs du Djebel Aissa.

La valeur du gradient hydraulique met en évidence un changement de faciès et une alimentation par les formations Jurassiques du Djebel Aissa .La faible valeur du gradient hydraulique peut s'expliquer par une faible alimentation sur la partie latérale de la nappe.

Les essais de pompage effectuées sur les forages Maader permis d'estimer la transmissivité de l'ordre de $1,9.10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$ pour l'ensemble de la nappe.

Chapitre V

Hydrochimie

I- Introduction:

L'étude Hydrochimique permet de connaître la qualité des eaux et de confirmer les résultats de l'étude géologique et hydrodynamique.

C'est dans cet objectif qu'ont été analysés 08 échantillons pris dans les forages, puits et les sources), tous captant la nappe Barremo -Albo -Apteinne. Ces échantillons ont été analysés au laboratoire de l'ANRH, Oran en mai 2014.

Les dosages chimiques effectués à l'ANRH d'Oran ont porté sur les éléments chimiques majeures ainsi que les mesures du pH, de la conductivité et de la minéralisation.

II- Interprétation des données de mesure et des résultats d'analyses :**II-1. Contrôle des analyses par balance ionique:**

Les analyses peuvent être contrôlées par la formule suivante

$$e\% = \left| \frac{\sum \text{cation} - \sum \text{anions}}{\sum \text{cation} + \sum \text{anions}} \right| \times 100$$

Avec : **e** : Balance ionique en (%)

r : quantités en réaction en mg/l.

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

Si $2 > e > 5\%$: l'analyse est acceptable.

Si $e < 2\%$: bonne analyse.

Les résultats des analyses chimiques effectués sur les échantillons prélevés dans les différents points d'eau sont portés en ANNEXE (tableau F).

Les valeurs de la balance ionique sont :

*analyses des eaux sont inférieures à 2% dans les points d'eau (P1, F1, F2), donc on a une bonne analyse, tandis qu'elles sont comprise entre 2% et 5% pour les points d'eau (P2, P3, P4, F3) donc on a une analyse acceptable.

*Les valeurs de la balance ionique est supérieure à 5% dans la source de Ain Messaoud, donc on a des résultats douteux.

II-2. Interprétation physico-chimique:

Potentiel d'Hydrogène 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 d'étude sont comprise entre : 6,5-8,4, elles sont donc dans les normes algériennes (6,5-8,5).

Carte d'isoteneur de Minéralisation (fig.25) :

C'est la quantité des sels minéraux dissous contenus dans l'eau, elle est estimée à partir de la mesure de la conductivité. Dans la région de P2 (Mehisserat), on a une minéralisation très élevée de 1361mg/l, qui augmente aux puits (P2, P3, P4, F3) dépassent la concentration maximale admissible selon les normes Algériennes 1000 mg/l), cela est due au lessivage des pointements triasiques localisés au Nord de Tiout. les puits (P1, Ain Messaoud, F1, F2) avec des valeurs comprise entre (573 et 936 mg/l).

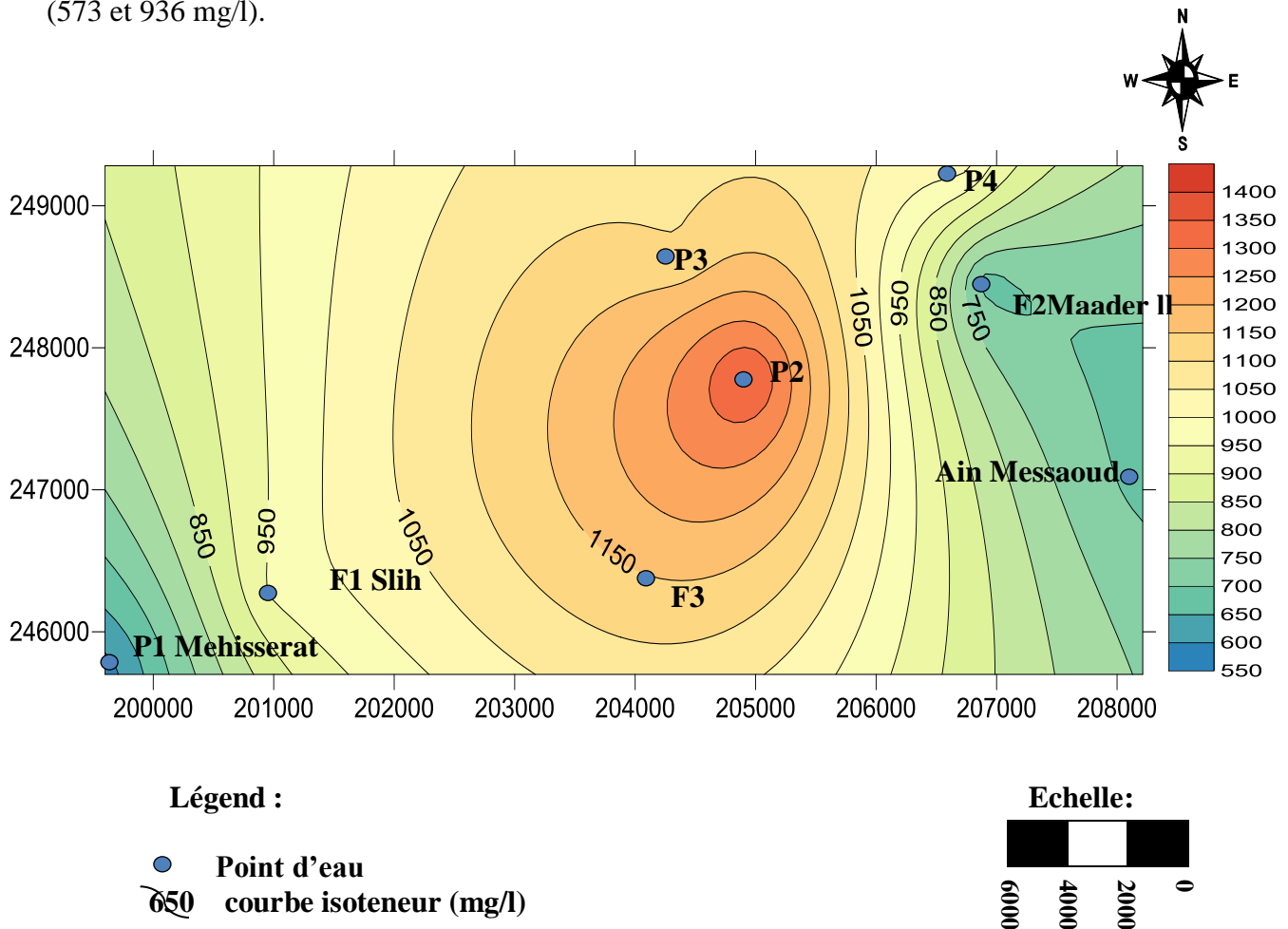


Figure N°25 : Carte d'isovaleur de Minéralisation en (mg/l).

Carte d'isoteneur de conductivité (fig.26):

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

D'après la carte d'iso-valeur on peut classer la conductivité dans notre région en deux parties :

*Conductivité plus élevée marquée au niveau des points d'eau : P2, P3, P4, F1, F3. comprise entre (1100 et 1600 $\mu\text{s/cm}$).

*Conductivité minimales marquée au niveau des points d'eau : S, P1, F2 et la source d'Ain Messaoud comprise entre (800 et 900 $\mu\text{s/cm}$).

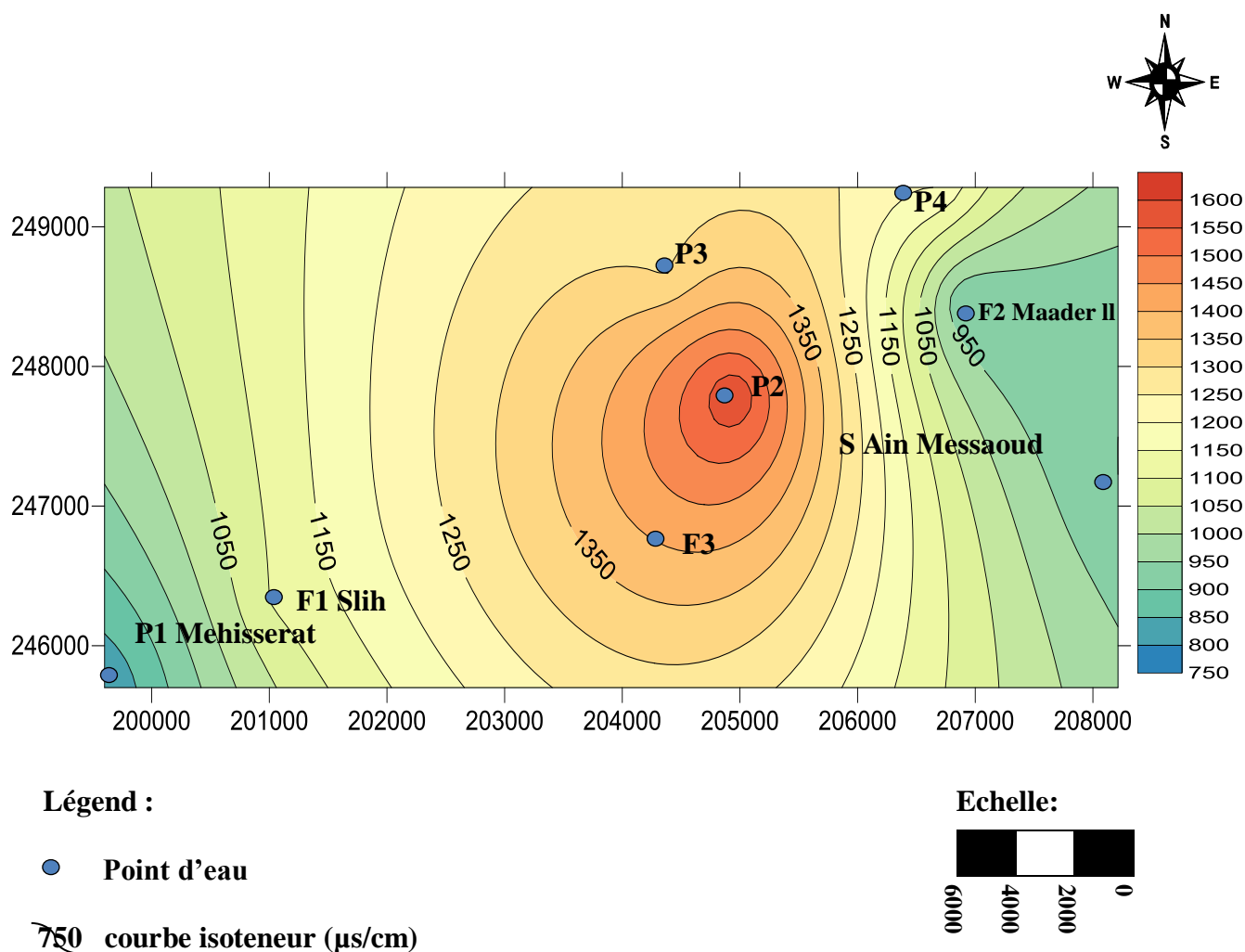


Figure N°26 : Carte d'isovaleur de Conductivité en ($\mu\text{s/cm}$).

Carte d'isoteneur de Le résidu sec (fig.27):

Représente la minéralisation totale de l'eau et la totalité des sels dissous dans l'eau et des suspensions organiques et minérales, il est exprimé en g/l ou mg/l.

La carte d'égaies valeurs en résidu sec montre que la valeur la plus élevée est de 1080 mg/l dans F3 (Maader III), et la valeur minimale est de 680 mg/l marquée au niveau du puits S (Ain Messaoud), P1 (Mehisserat).

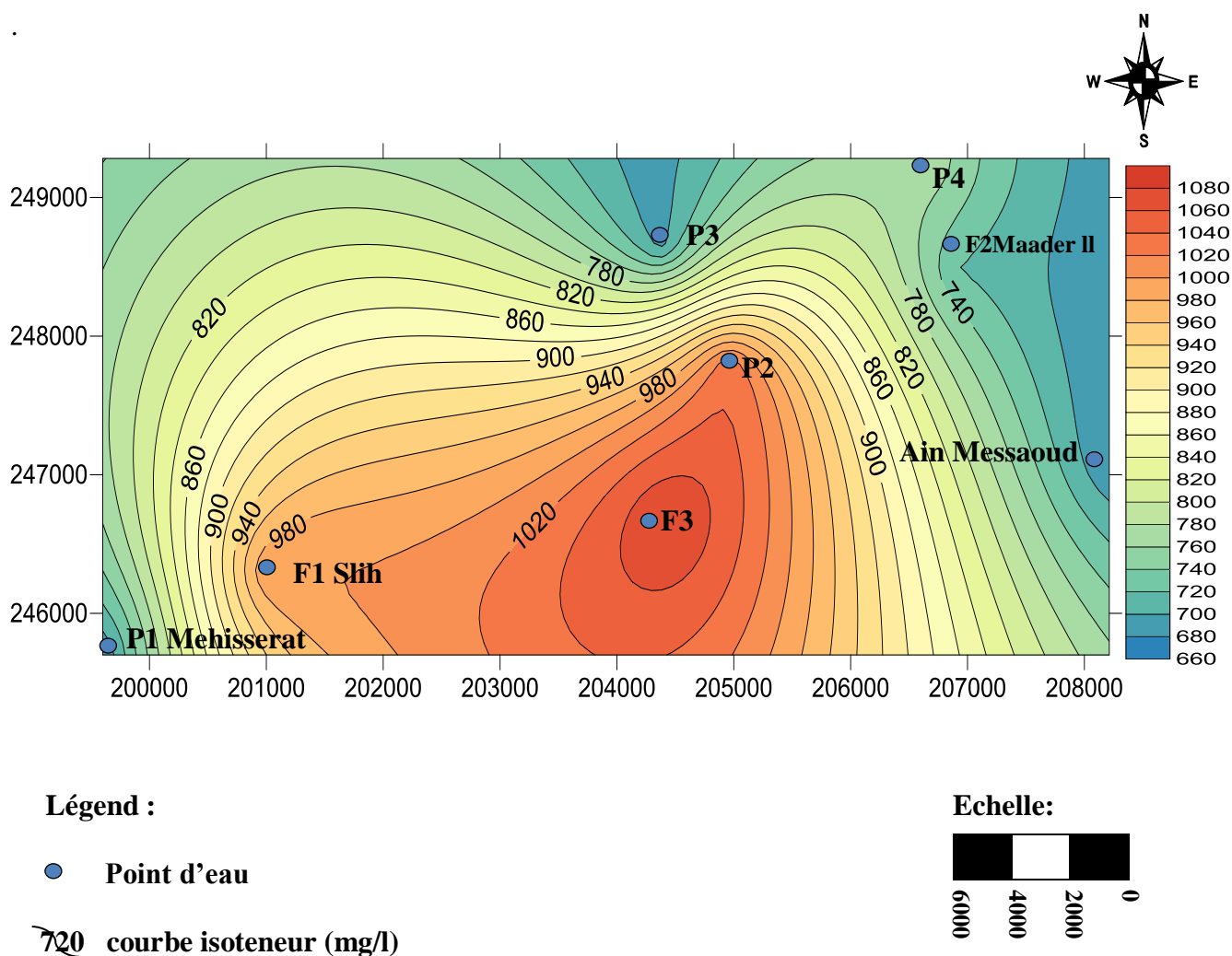


Figure N°27 : Carte d'isovaleur de Résidu sec en (mg/l).

III-Caractéristiques chimiques :**1-Qualité des eaux :*****A/ Norme de portabilité :***

La qualité de l'eau de consommation est appréciée sur la base des normes de portabilité 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°09, l'eau de notre région en général aux normes algériennes, tous les points d'eau prélèvements sont potables, mais on remarque un excès du NO_3^- qui dépasse les normes algérienne en puits (P2 : 75mg/l), (P4 :72mg/l) et forage Maader II (F2 : 53mg/l). Et avec une minéralisation élevée qui dépasse aussi les normes au niveau des puits (P2 :1361mg/l), (P3 :1106mg/l) et (P4 :1021mg/l).

Tableau 09: Potabilité des eaux selon les normes algériennes.

Paramètres	Unités	Niveau guide	Concentration Maximale admissible	Résultats des analyses chimiques	
				Eau potable	Eau non potable
Ca ²⁺	mg/l	75	200	S(Ain Messaoud)-P1-P2-P3-P4-F1-F2-F3	
Mg ²⁺	mg/l		150	S(Ain Messaoud)-P1-P2-P3-P4-F1-F2-F3	
Cl ⁻	mg/l		500	S(Ain Messaoud)-P1-P2-P3-P4-F1-F2-F3	
SO ₄ ⁻	mg/l	200	400	S(Ain Messaoud)-P1-P2-P3-P4-F1-F2-F3	
NO ₃ ⁻	mg/l		50	S(Ain Messaoud)-P1-P3-F1-F3	P2-P4-F2
Cu	mg/l		1		
pH	-	6.5	8.5	S(Ain Messaoud)-P1-P2-P3-P4-F1-F2-F3	
Minéralisation	mg/l		1000	S(Ain Messaoud)-P1-F1-F2-F3	P2-P3-P4
Résidu sec	mg/l		2000	S(Ain Messaoud)-P1-P2-P3-P4-F1-F2-F3	
Conductivité	μs/cm		2880	S(Ain Messaoud)-P1-P2-P3-P4-F1-F2-F3	

B/ La dureté :**La dureté totale :**

La dureté hydrotimétrique totale de l'eau correspond à la somme des concentrations des ions Calcium (Ca^{2+}) et de celle des ions magnésium (Mg^{2+}), elle est donnée en degré français.

$$\text{TH} = r (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \cdot 5 \text{ meq/l}$$

On peut classer les eaux en fonction de leurs duretés

Le tableau ci-dessous le TH en °F avec la dureté des différents points d'eau

	0 à 3°F	3 à 15°F	15 à 30°F	> 30°F
TH de l'eau	Très douce	Douce	dure	Très dure

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

échantillon	S (Ain Messaoud)	P1	P2	P3	P4	F1	F2	F3
TH°F	46.6	39	50.4	44.75	41.1	52.3	47.15	48.2

D'après le tableau, on a une eau très dure dans tous les points d'eau.

2-Qualité des eaux d'irrigation:

Les eaux superficielles et souterraines peuvent être utilisées ainsi 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

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

Avec: Na^{2+} , Ca^{2+} , et Mg^{2+} en mg/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 suivant.

Le tableau 10: valeur du SAR et de la conductivité pour les différents points d'eau.

Point d'eau	S.A.R	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
S(Ain Messaoud)	1.57	900
P1 (Mehisserat)	1.716	800
P2	2.035	1600
P3	2.16	1300
P4	1.4995	1200
F1 (Slih)	2.47	1100
F2 (Maader II)	1.20	900
F3 (Maader III)	2.73	1400

D'après le tableau on constate que les points d'eau sont excellentes pour l'irrigation ($\text{SAR} < 10$).

Les valeurs calculées du SAR et celle de la conductivité permettant 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 caractérisée la qualité de l'eau de ces puits pour l'irrigation, qui est définie dans le tableau N°11 (d'après J.Servant, 1975, classification des eaux d'irrigation, U.S.Salinity LAB).

Tableau 11: 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 problème dus au trop sensible, 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 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°28, on remarque que tous les 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.

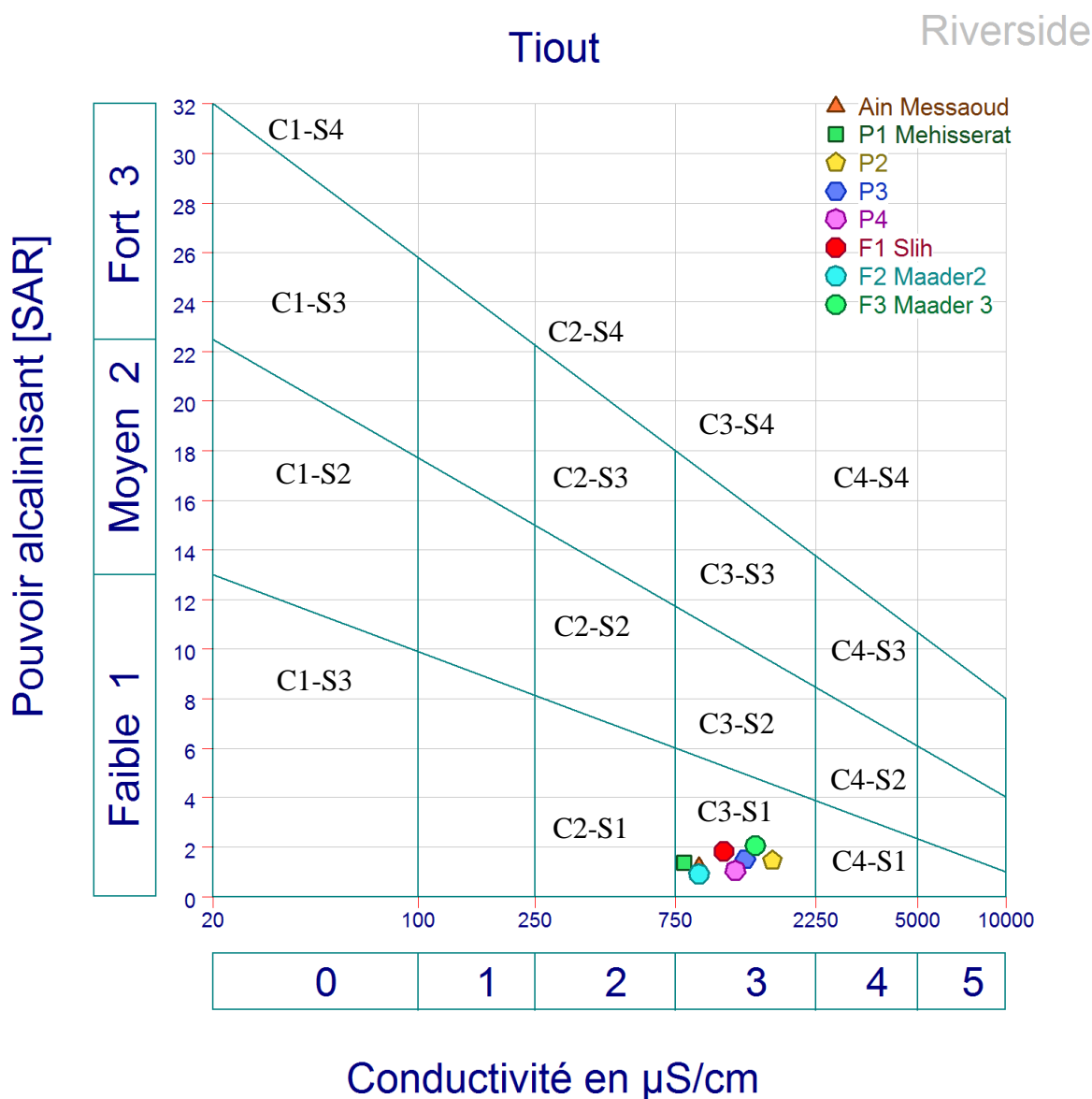


Figure N°28: Qualité des eaux d'irrigation S.A.R

IV- Représentation graphique des analyses d'eau :**1-Diagramme de Schöeller-Berkaloff :**

Le diagramme semi-logarithmique de Schöeller-Berkaloff 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 de la nappe Barrémo-Albo-Aptienne d'El Maader permettent de distinguer 4 types de faciès :

1-Bicarbonaté calcique (Ain Messaoud (S))

2-Sulfaté magnésien (Mehisserat (P 1))

3-Sulfaté calcique (P2, P3, P4, F1, F2)

4-Sulfaté sodique (F3)

A/ Les eaux Bicarbonatées calciques :

Ce faciès caractérise les eaux de la source d'Ain Messaoud (S).

Le résidu sec est de 680mg/l, ce faciès présente des eaux de bonnes qualités et moins minéralisées.

Les formules caractéristiques sont :

$rCa^{2+} > rMg^{2+} > rNa^+ + rK^+$ et $rCa^{2+} > rNa^+ + K^+ > Mg^{2+}$. Avec

$rHCO_3^- > rSO_4^- > rCl^- > NO_3^-$.

L'accroissement de la concentration de Ca^{2+} et Mg^{2+} par rapport à $Na^+ + K^+$ est due à la dissolution des dolomies qui ferment le ciment des grés Crétacés.

On remarque que les teneurs en bicarbonates sont légèrement supérieures à celle des sulfates ; cela est dû peut être au lessivage dans les terrains dolomitiques.

B/ Les eaux sulfatées Magnésiennes :

Ce faciès est remontré au niveau du puits Mehisserat (P1) localisé dans le niveau deux des grés Albiens décrit par Gouskov.

Son résidu sec est de 680 mg/l. Ces eaux sont moyennement minéralisées.

La formule caractéristique est :

$rMg^{2+} > rCa^{2+} > rNa^+ + K^+$

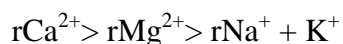
Avec : $rSO_4^{2-} > rCl^- > rHCO_3^- > rNO_3^-$

Les teneurs en SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} sont dues à la dissolution des formations triasiques rencontrées au Sud de Tiout.

C/ Les eaux sulfatées calciques:

Ce faciès caractérise les eaux du puits P2, P3, P4 localisés au Nord, ainsi que les forages Slih (F1), Maader II (F2) qui représente le niveau deux des grés albiens décrit par Gousskov. Leur résidu sec est compris entre 694 et 1036 mg/l. Ce sont des eaux très minéralisées.

Les formules caractéristiques de ces eaux sont :

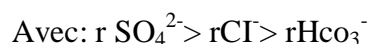
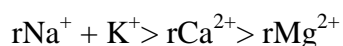


L'accroissement de la concentration des ions de calcium (Ca^{2+}), bicarbonate (HCO_3^-) et de sulfates (SO_4^{2-}) est due essentiellement à la dissolution des inter lits gypseux localisés dans la région Sud de Tiout.

D/ Les eaux sulfatées sodiques :

Ce faciès est rencontré au niveau du Forage Maader III (F3); leur résidu sec est de l'ordre de 1080 mg/l, ce sont des eaux très minéralisées.

La formule caractéristique est:



Les teneurs élevées en Na^+ , Ca^{2+} , et SO_4^{2-} sont dues à la dissolution des formations triasiques rencontrées au sud de Tiout.

Pour la détermination de la portabilité graphiquement, on reporte les analyse d'eau en mg/l sur le diagramme semi-logarithmique de Schöeller Berkaloff figure N°29.

D'après le diagramme on constate que les eaux de la nappe d'El Maader ont une portabilité bonne pour les 08 points d'eau.

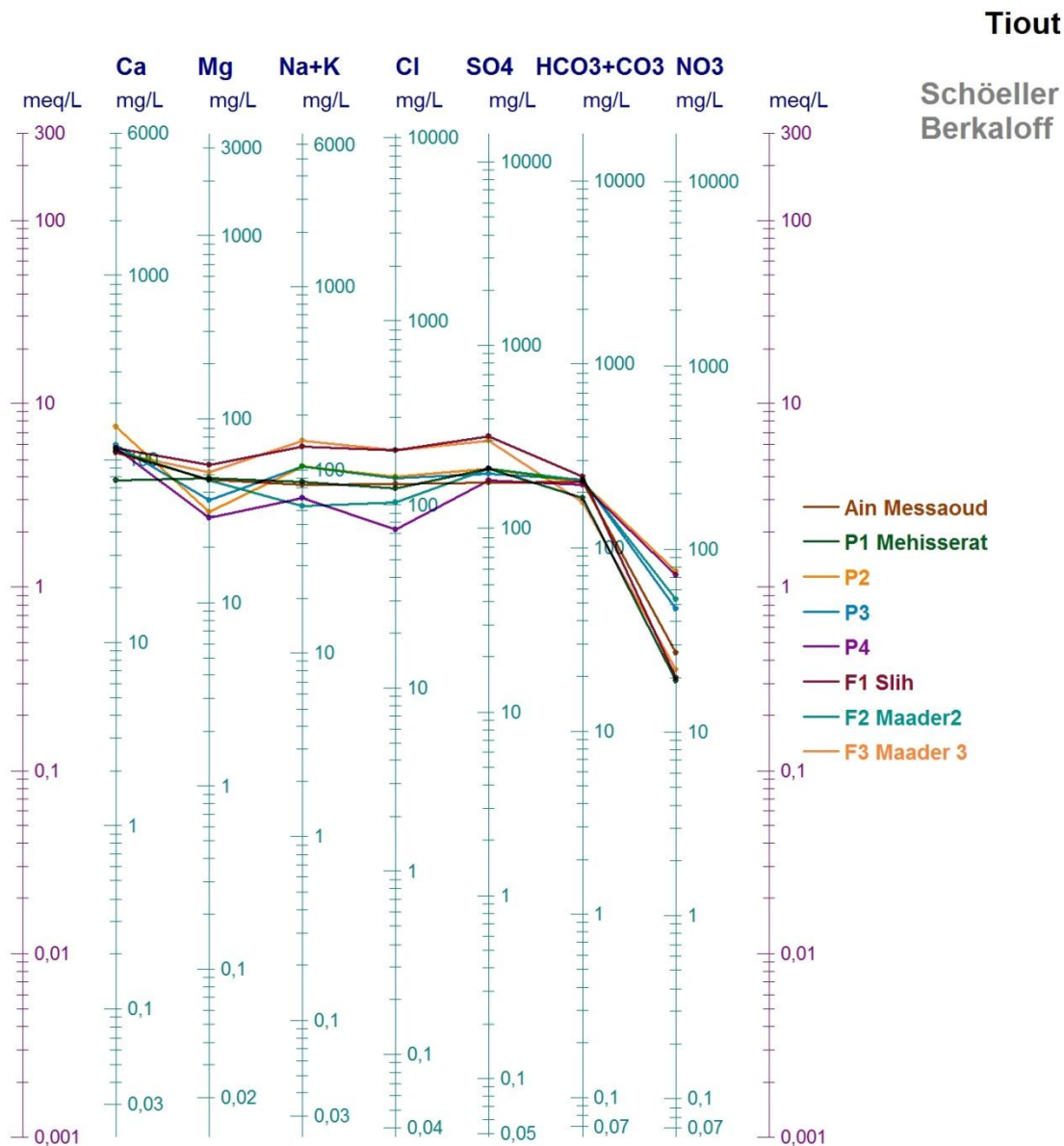


Figure N° 29 : diagramme Schöeller Berkaloff.

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 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 N°30 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.

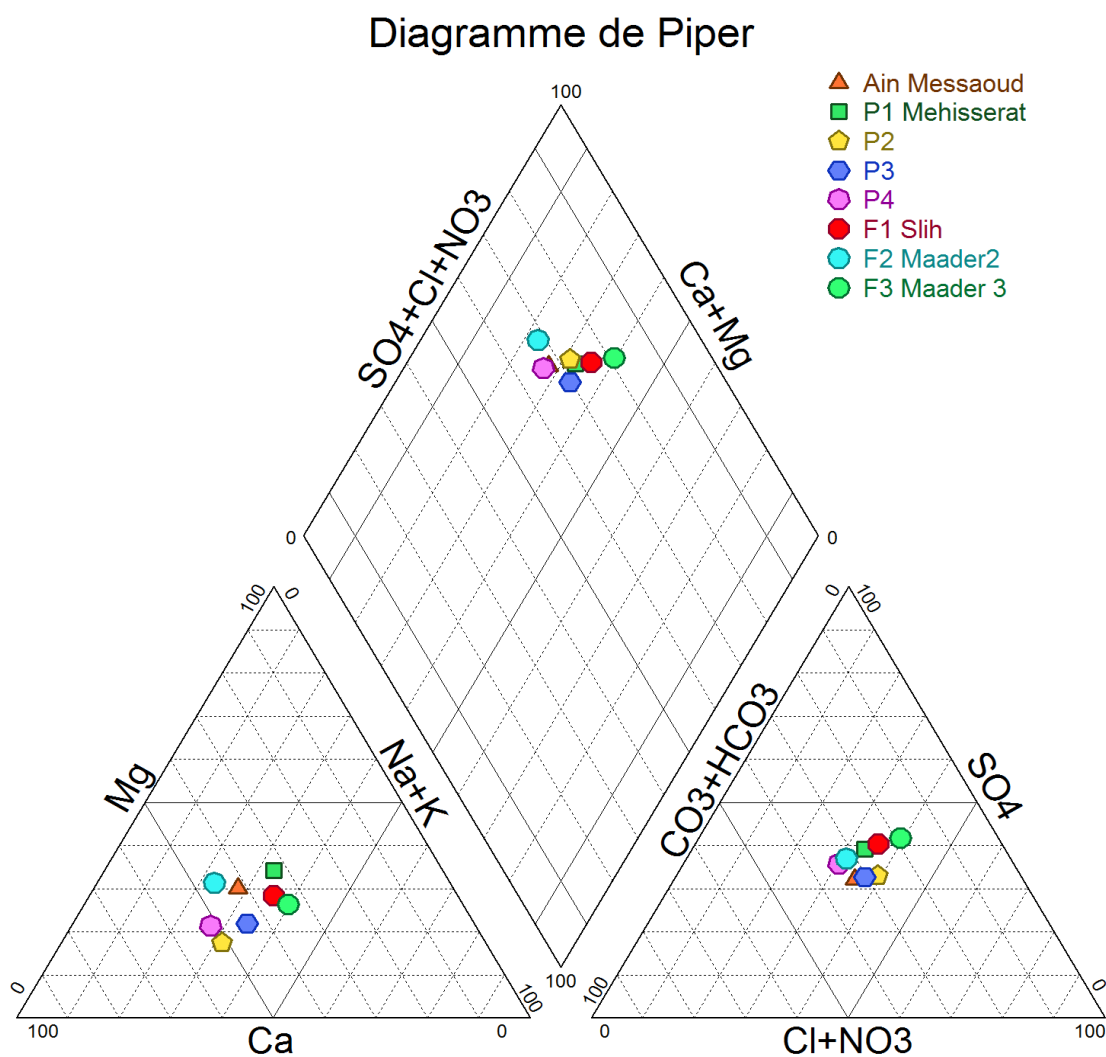


Figure N°30: Diagramme de piper.

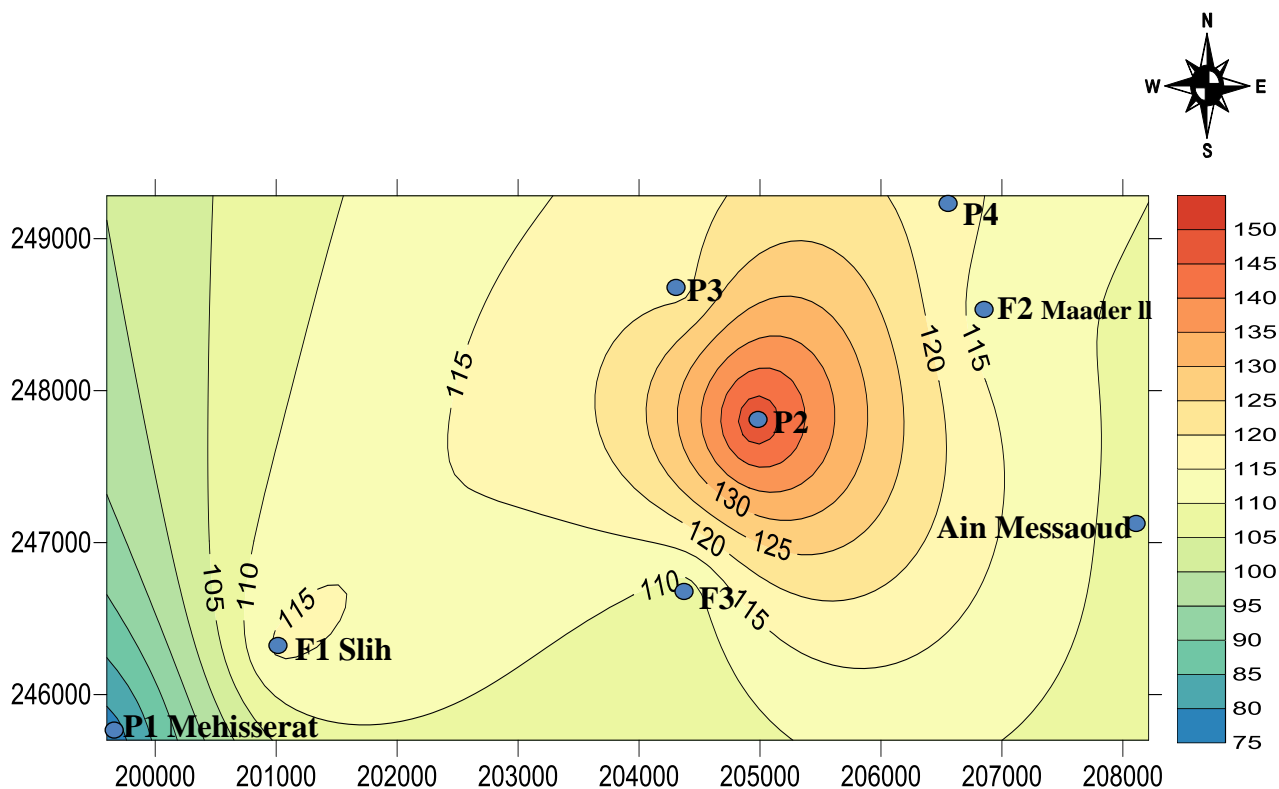
V- Interprétations des cartes d'isoteneurs :

L'étude des cartes d'isoteneurs permet de donner les indications sur l'origine des ions contenus dans les eaux souterraines.

1-Carte d'isoteneur Ca²⁺ (fig.31):

Les teneurs en Ca²⁺ sont comprises entre 76 et 150 mg/l dans notre région d'étude.

La carte d'isoteneur de Ca²⁺ figure N°31 permet de distinguer une augmentation des teneurs en Ca²⁺ et une diminution des bicarbonates, le Ca²⁺ proviendrait de la transformation des carbonates et la dissolution du gypse.



Légend :

● Point d'eau

115 courbe isoteneur (mg/l)

Echelle:

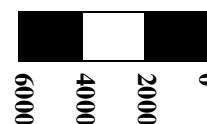


Figure N°31 : Carte d'isovaleur de Calcium en (mg/l).

2-Carte d'isoteneur Mg^{2+} (fig.32):

Les teneurs en Mg^{2+} sont comprises entre 29 et 56 mg/l. Les valeurs les plus élevées sont localisées au niveau du forage de Slih (F1) et forage de Maader III (F3).

Dans notre région d'étude les fortes teneurs en Mg^{2+} seraient le résultat d'une transformation des carbonates de magnésium constituant le ciment des grès crétacés

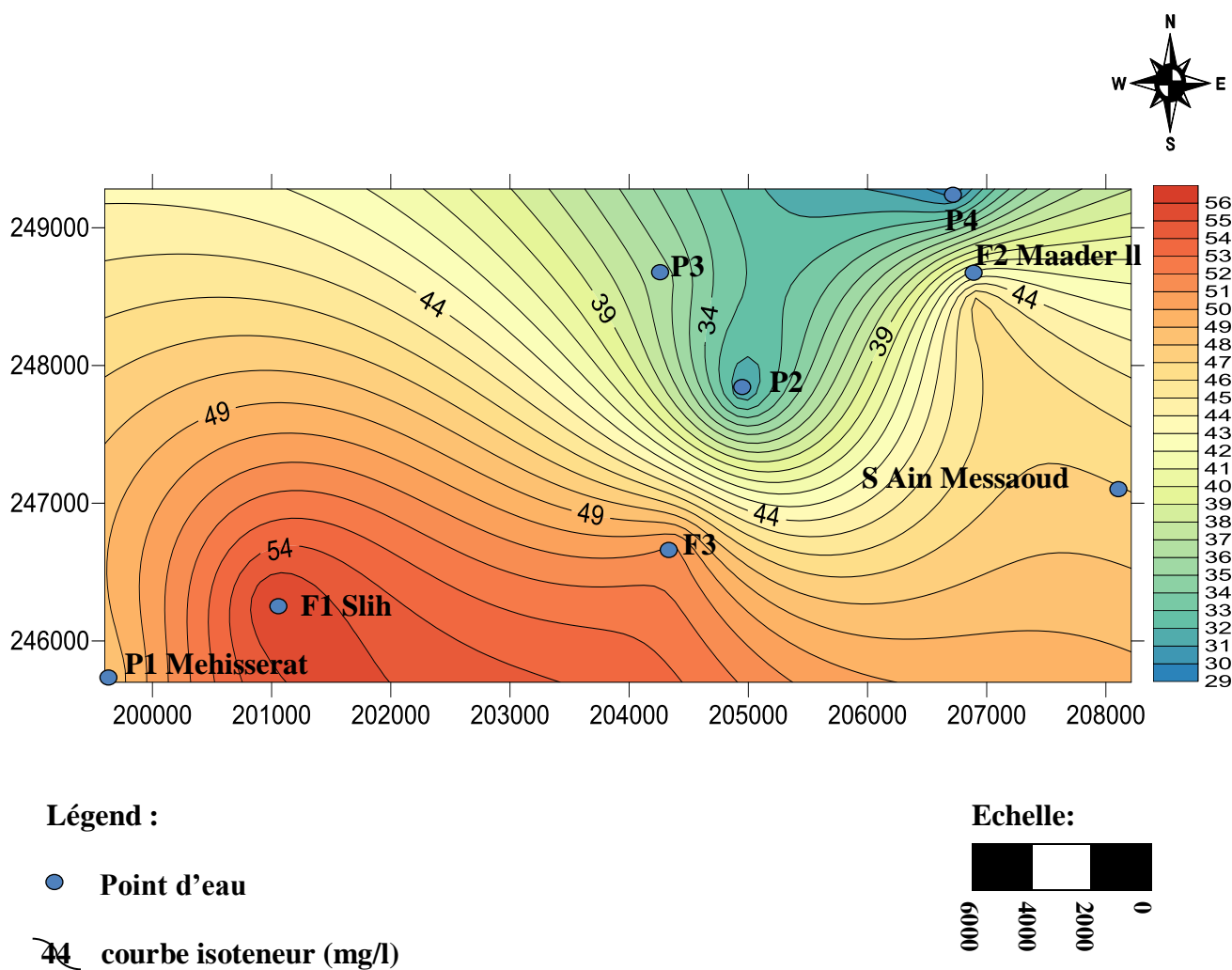


Figure N°32 : Carte d'isovaleur de Magnésium en (mg/l).

3-Carte d'isoteneur $Na^+ + K^+$ (fig.33):

Les teneurs en $Na^+ + K^+$ sont comprises entre 64mg/l au F2 et 145mg/l au F3. La carte d'isoteneur $Na^+ + K^+$ montre un accroissement progressivement du N.E vers le S.W. Elles sont dues à l'extension des formations argileuses du Crétacé.

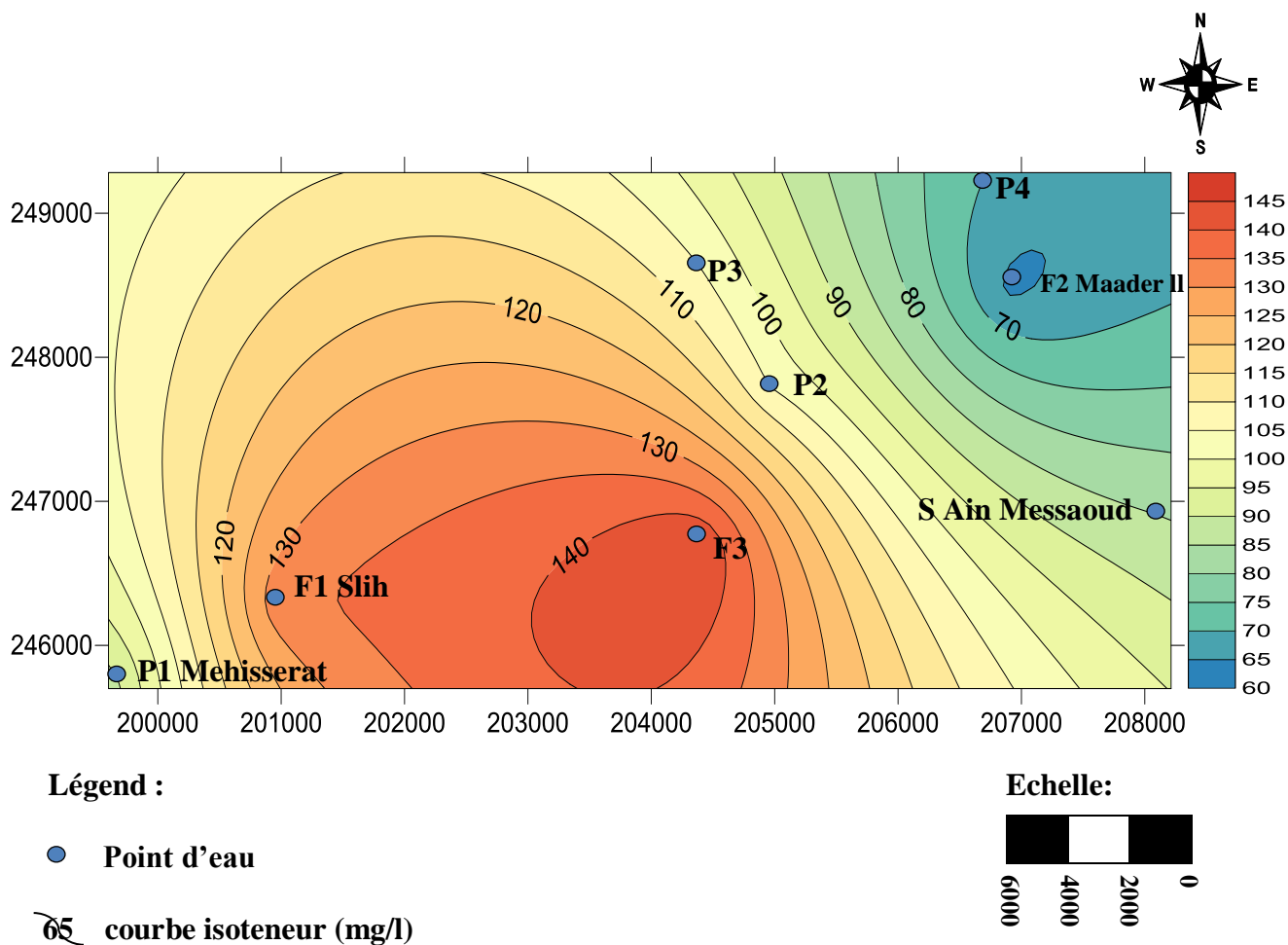
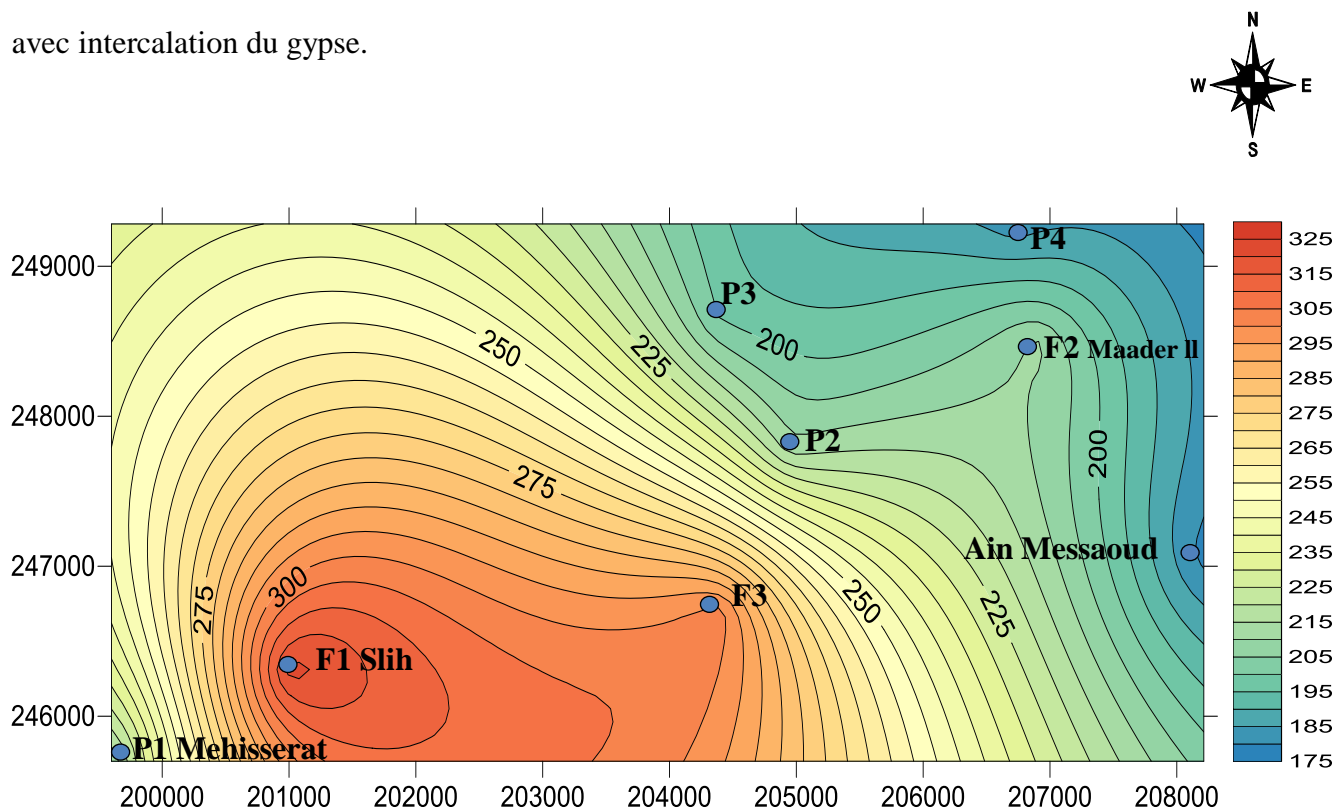


Figure N°33: Carte d'isovaleur de Sodium et Potassium en (mg/l).

4-Carte d'isoteneur SO_4^{2-} (fig.34):

Les teneurs en SO_4^{2-} sont comprises entre 178 et 322 mg/l. La variation des teneurs en SO_4^{2-} s'explique d'une part par le changement d'épaisseur et de faciès des couches argilo gréseuses avec intercalation du gypse.



Légend :

● Point d'eau

185 courbe isoteneur (mg/l)

Echelle:

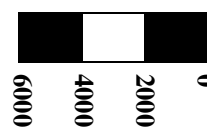


Figure N°34 : Carte d'isovaleur de Sulfate en (mg/l).

5-Carte d'isoteneur Cl⁻ (fig.35):

Les teneurs en Cl⁻ sont comprises entre 73 et 198 mg/l. Les valeurs les plus élevées sont dans les points d'eau F1 et F3.

Avec l'augmentation du Cl⁻, on pourrait penser que l'acquisition des chlorures se faisait au cours du trajet souterrain des eaux et à une élévation de Cl⁻ dans la formation Crétacée.

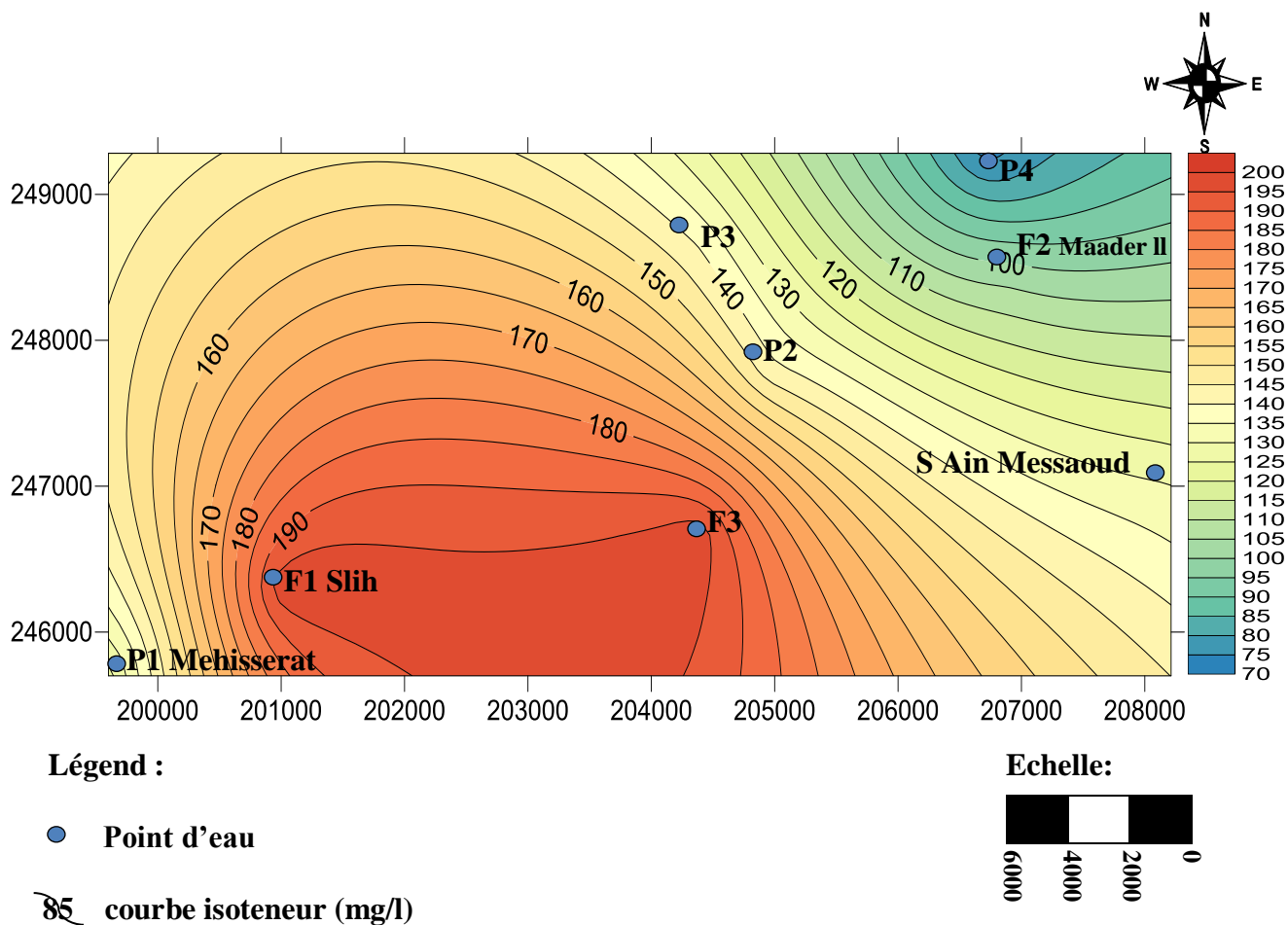


Figure N°35: Carte d'isovaleur de Chlorure en (mg/l).

6-Carte d'isoteneur HCO_3^- (fig.36):

Les teneurs en HCO_3^- sont comprises entre 175 et 242 mg/l.

Les faibles teneurs en HCO_3^- sont situées au niveau du puits (P1) et (F3), où on note une légère augmentation des sulfates car la dissolution des sels renfermant les ions Ca^{2+} comme le gypse aura pour effet de diminuer la teneur en bicarbonates.

La teneur en bicarbonates est due au lessivage des formations Crétacées représentées par des grès à ciment carbonaté, dolomitique et argileux.

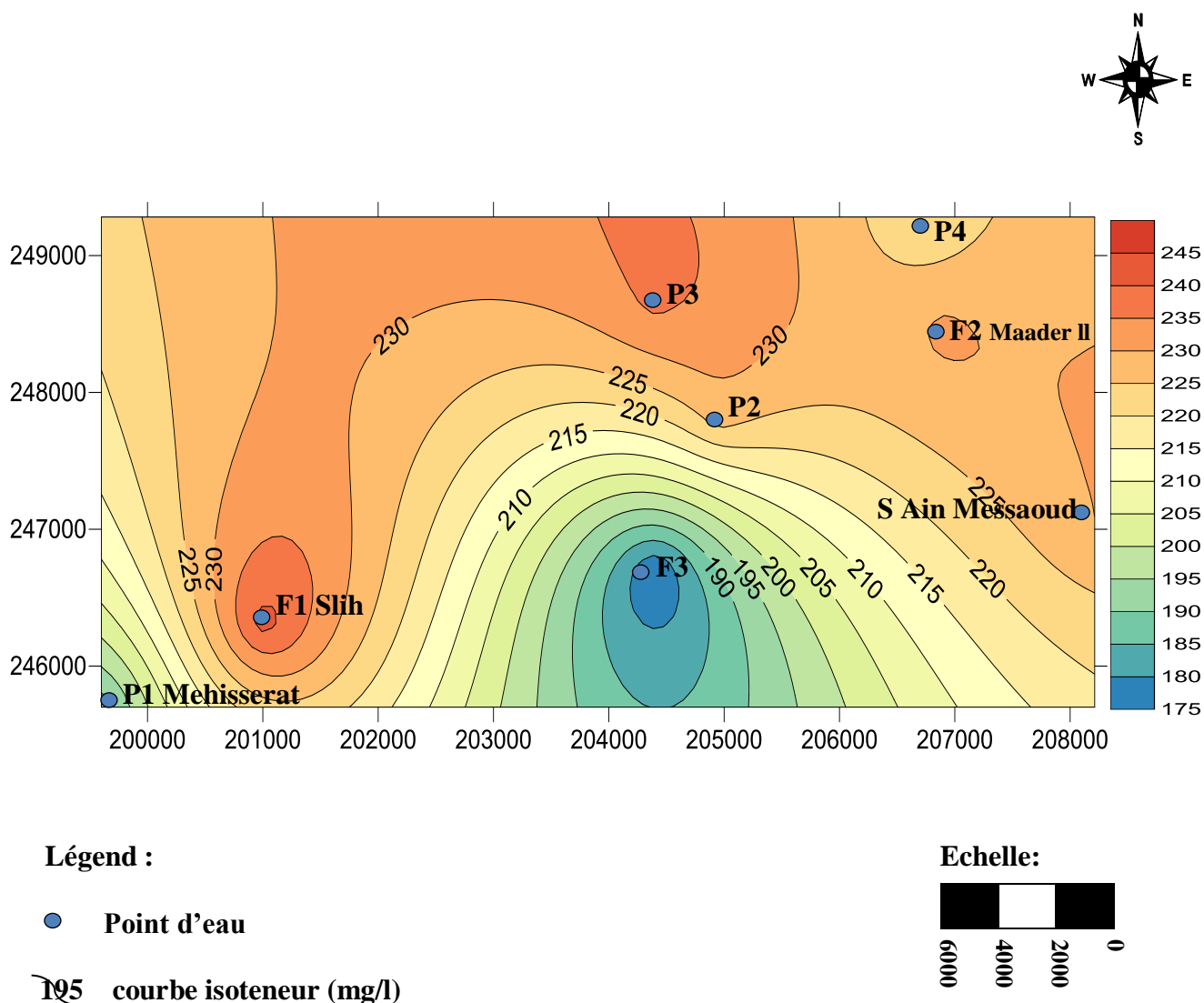


Figure N°36: Carte d'isovaleur de Bicarbonate en (mg/l).

7-Carte d'isoteneur NO_3^- (fig.37) :

Une partie des nitrates naturels dans le sol résulte de la fixation de l'azote atmosphérique par des bactéries du sol, se trouvant par exemple dans les bulbes des racines de légumineuses. Une autre partie pénètre avec les précipitations par lessivage d'impuretés anthropogènes de l'air ou lors des orages. Dans notre cas, la présence des nitrates est probablement due à une pollution anthropique, à partir de contaminations par le réseau d'assainissement et les fosses septiques d'une part, et par l'utilisation des engrais d'autre part.

Les teneurs sont portés en Annexe (tableau H) varient entre 19 et 75mg/l.

La carte d'isoteneur montre que les teneurs en Nitrates variant de 75mg/l dans le forage P2 à 19 mg/l dans le forage (P1 Mehisserat) figure N°37.

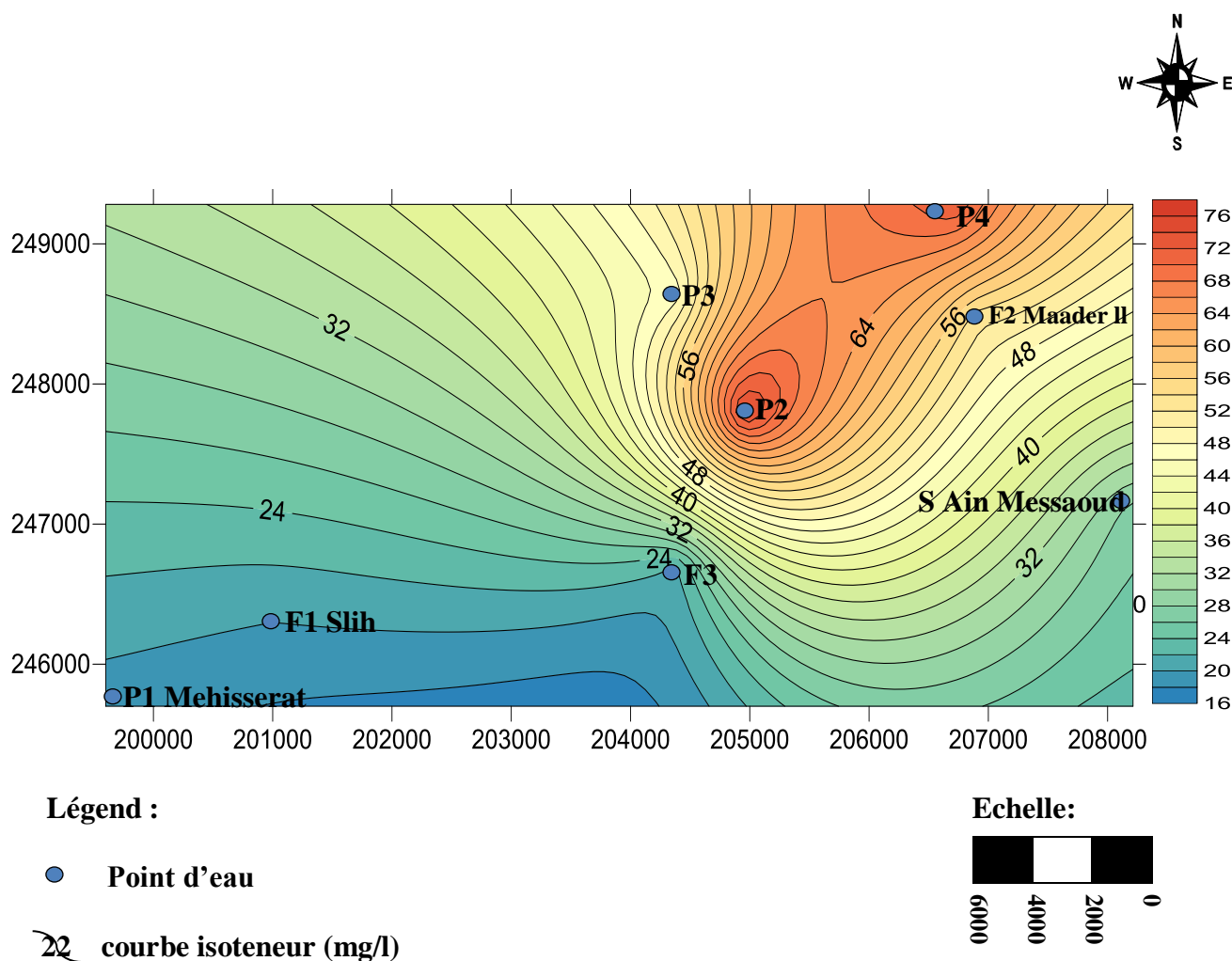


Figure N°37: Carte d'isovaleur de Nitrate en (mg/l).

V- Les rapports caractéristiques :

D'après les résultats de nos analyses, nous avons calculé les rapports caractéristiques pouvant exister entre les divers éléments en solutions, les rapports calculés sont : rMg^{2+}/rCa^{2+} , rSO_4^{2-}/Cl^- et rCl^- / HCO_3^-

Les rapports sont représentés dans le tableau N°12

Tableau 12: Les rapports caractéristiques.

N° éch	rMg^{2+}	rCa^{2+}	rSO_4^{2-}	rCl^-	$rHCO_3^-$	rMg^{2+}/rCa^{2+}	rSO_4^{2-}/Cl^-	rCl^- / HCO_3^-
S A.Messaoud	3.92	5.4	3.71	3.63	3.77	0.725	1.027	0.96
P1 Mehisserat	4	3.8	4.40	3.46	3.07	1.05	1.27	1.127
P2	2.58	7.5	4.42	4	3.72	0.34	1.105	1.075
P3	3	5.95	4.16	3.94	3.87	0.50	1.055	1.018
P4	2.42	5.8	3.79	2.06	3.61	0.417	1.839	0.57
F1	4.66	5.8	6.71	5.58	3.97	0.80	1.20	1.405
F2	3.83	5.6	4.40	2.87	3.79	0.68	1.53	0.757
F3	4.25	5.4	6.29	5.55	2.87	0.787	1.13	1.93

1-Rapport rMg^{2+}/rCa^{2+} :

Ce rapport est compris entre 0.340 et 1.05, cette évolution est due à

- un contact des eaux souterraines avec les formations argileuses.
- un apport du Ca^{2+} attribué à la dissolution du gypse des injections triasiques au Sud de Tiout.

2- Rapport rSO_4^{2-}/Cl^- :

Ce rapport est compris entre 1.027 et 1.839, il est supérieur à 1 dans tous les points d'eau, où les sulfates dominent légèrement, par rapport aux chlorures.

La prédominance des ions SO_4^{2-} est due au pointement triasique gypso-salin localisé au Sud de Tiout.

3-Rapport rCl^- / HCO_3^- :

Ce rapport est compris entre 0.570 et 1.930, les chlorures dominent au Sud de Tiout dans les points d'eau (P1, P2, P3, F1 et F3), ce qui signifie que les eaux se chargent de chlorures durant leur trajet, en contact avec les formations gypseuses, et à la dissolution du $CaCO_3$ qui diminue les bicarbonates, ainsi qu'au contact avec les pointements triasiques salins.

Les bicarbonates dominent pour les autres points d'eau (la source, P4, F2), cela est dû à la dissolution des grès Crétacés à ciment carbonaté et dolomitique.

VI-Conclusion:

L'interprétation des analyses physico-chimiques montre l'existence de quatre faciès chimique au synclinal Maader

Faciès Bicarbonaté calcique: présenté par la source de Ain Messaoud (S), cette eau est peu minéralisée avec une teneur ne dépassant pas les 800mg/l, sa dureté est de 46.6°F.

Ce sont des eaux de bonne qualité chimique.

Faciès Sulfaté magnésien: présenté par le puits de Mehisserat (P1), ou la minéralisation est importante 573mg/l, et la dureté est égale à 39°F. Ce faciès est du à a la dissolution des formations triasiques rencontrées au Sud de Tiout.

Faciès Sulfaté calcique: qui englobe la majorité des points d'eau, ou les eaux sont minéralisées avec une minéralisation élevée variant entre 683 et 1361 mg/l, et une dureté comprise entre 41.1 et 52.3 °F, ce faciès est le résultat de la dissolution des interlits gypseux localisés au Sud de Tiout.

Faciès Sulfaté sodique: ces eaux, on les rencontre dans les points d'eau (Forage MaaderIII) (F3) située au Sud de Maader.

Leur faciès est du à leur contact avec les pointements triasiques.

Danc du point de vue qualité d'eau, la zone d'El Maader est une zone favorable à la consommation d'eau potable.

Conclusion Générale

Conclusion générale

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

Géologiquement parlant, 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 1995-2017; l'analyse climatologique aboutit à un bilan hydrique déficitaire.

L'étude piézométrique de l'aquifère du synclinal Barrémo-Albo-Aptien d'El Maader montre un écoulement NW-SE, ce qui confirme que l'exutoire de la nappe pour ce synclinal est la source de Ain Messaoud. L'interprétation de l'essai de pompage dans le forage El Maader a permis d'estimer la transmissivité qui est de $1,9.10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$.

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 pour l'irrigation et favorable pour la consommation humaine.

Annexe

Tableau A : précipitations annuelles et mensuelles.
 Recueil des données
 Station : Ain Sefra
 Latitude 32.76

Indicatif 60560
 Longitude 00.60w
 Période 1995-2017

Année/mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Total
1995/1996	25	28.1	4.9	34.5	6.4	7.4	17.2	0.1	10.3	7.8	0.9	4.7	147.3
1996/1997	44.5	56	40	3.5	1.8	6.1	19.8	1.4	4.6	6	1.9	9.2	194.8
1997/1998	1.7	5.5	27.6	12.4	10.3	31.1	17	0.7	13.2	19.3	8.3	0.1	147.2
1998/1999	13.2	7.1	14.1	0.6	10.3	31.1	16.4	0.9	14	16	7	0.3	131
1999/2000	8.7	20.1	13.5	8.4	31.4	5.5	24.1	20.8	24.7	14.6	2.3	22.7	196.8
2000/2001	12.4	1.1	3	13.4	22.7	0	4.1	68.1	16.45	4.2	12.2	2.9	160.55
2001/2002	8.8	55.2	0.6	16.1	2.5	52.3	16.4	53.2	25.6	38.6	38.9	6.5	314.7
2002/2003	0.6	0	15.8	1.7	3.7	4.2	13.1	4.2	32.5	0.5	8.8	4	89.1
2003/2004	10.8	14.6	71.5	4.2	7	31.9	46.5	7.5	4.8	5.1	1	0.4	205.3
2004/2005	57.8	54.7	12.8	0	49.4	3.6	65.1	0	1.5	3.6	1	3.5	253
2005/2006	11.3	39.2	0.2	0.5	0.17	0.45	4.06	34.7	0.5	0.31	0.3	0.5	92.19
2006/2007	4.3	2.7	0	25.3	21.9	23.5	55.3	7.8	5.2	32.3	12.2	1.6	192.1
2007/2008	14.6	6.3	3.3	2.7	34.9	0	46	45.7	2.9	0	34.3	3.4	194.1
2008/2009	28.4	6.7	0.2	11.6	6.7	6.5	4	4.4	13.2	14.3	0.5	0.8	97.3
2009/2010	3.4	6	6.6	6.2	64.5	12	9.9	9	0	0.4	9.9	5.4	133.3
2010/2011	22.9	40.1	0	1.8	4.1	0	1	2.5	8.3	3.4	2.4	0	86.5
2011/2012	8.8	17.9	14	7.6	2.8	1.1	0	2.1	2.2	0.2	10.6	0.3	67.6
2012/2013	11	14.9	38	7.2	0	7.5	3.1	27.5	2.3	4.3	1.5	31.5	148.8
2013/2014	14.8	47.1	4.9	4.9	20.7	25.3	25.3	8	15.1	0.8	8.3	3.1	178.3
2014/2015	44.3	0.3	22.7	16.9	0.5	13.6	25.8	18.8	18.8	25.4	1.8	8.9	197.8
2015/2016	24.9	37.8	44.1	7.8	6.1	2	3.1	0	0.6	4.4	0.3	29.9	161
2016/2017	24.6	7	20.4	17.2	29.7	11.8	5.7	10.8	43.2	0.4	1.8	3.1	175.7
Moyenne	18.04	21.29	16.28	9.30	15.34	12.59	19.23	14.92	11.82	9.18	7.55	6.49	162.02

Tableau B : températures annuelles et mensuelles.
 Recueil des données
 Station : Ain Sefra
 Latitude 32.76
 Longitude 1058m

Indicatif 60560
 Longitude 00.60w
 Période 1995-2017

Année/mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Moy
1995/1996	24	17.7	13.5	7.3	7.2	10.3	10.9	13.9	24	25	29.3	29.44	17.71
1996/1997	23.75	16.7	10	6.8	7.6	9.4	13.6	19.6	21	27	28.6	29.7	17.81
1997/1998	26	19.3	11.4	10	8.5	9.45	12.6	17.2	21	25	20.4	30.29	17.60
1998/1999	22.8	18.15	12.7	5.6	8.8	9.5	12.7	16.1	20.9	25.2	29.8	29.45	17.64
1999/2000	14.85	18.7	13.55	10.58	5	9.75	12.35	14.9	20.35	24.65	28.7	28.25	16.80
2000/2001	25.65	19.3	12.2	6.95	6.25	10.95	14.15	14.4	20.31	27.75	28.75	27.85	17.88
2001/2002	24.5	15.65	11.1	7.35	6.92	7.35	10.45	14.3	17.4	24.75	28.77	18.94	15.62
2002/2003	24.05	16.9	10.35	8.2	5.3	8.35	9.78	14.9	19.55	22.1	27.2	27.05	16.14
2003/2004	22.35	17.8	11.4	8.1	6.85	6.1	11.4	14.95	20.02	26.55	30.05	28.85	17.04
2004/2005	23	17.6	11.95	8.6	7.5	9.5	12.05	13.85	22.3	27.1	29.7	29	17.68
2005/2006	22.2	17.3	13.47	10.3	6.9	10.05	11.1	13.2	22.5	25.25	28.6	28.9	17.48
2006/2007	22.25	16.8	12.3	9	9.45	8.05	12.3	15.8	19.65	24.25	28.2	29.2	17.27
2007/2008	24.05	18.4	13.25	9.75	9	10.36	13.45	15.7	21.35	26.25	30.55	30	18.51
2008/2009	25.95	17	13.1	6.25	19.65	10	12.7	16.75	18.45	25.38	29	30.3	18.71
2009/2010	25.3	20.58	10.55	12	7.1	7.15	12.45	17.2	23.6	27.5	30.35	30.45	18.69
2010/2011	23.75	15.35	13.3	10.05	4.75	9.8	13.85	16.33	21.4	25.2	28.2	30.9	17.74
2011/2012	25	21.2	11.4	9.1	8.6	9.2	15.8	16.75	19.7	28.15	29.75	30.05	18.73
2012/2013	23.7	18.35	12.75	21.2	7.4	9.95	13.55	15.65	21.3	27.55	29.7	28.15	19.10
2013/2014	24.25	19.85	11.75	8.25	7.65	8.65	14.25	16.75	21.45	28.5	31.1	28.7	18.43
2014/2015	23.95	20.6	11.7	6.85	8.25	10.15	13.7	16.05	17.8	26.3	29.65	29.75	17.90
2015/2016	23.7	19.75	11.75	7.25	4.7	5.95	14.35	17.85	24.45	27.05	31.55	28.75	18.09
2016/2017	22.7	19.7	12.75	7.5	4.95	8.3	13.85	18.75	22.5	26.55	29.75	29.45	18.06
Moyenne	23.53	18.30	12.10	8.95	7.65	9.01	12.79	15.95	20.95	26.05	28.99	28.79	17.76
Maxima Tx	26	21.2	13.55	21.2	19.65	10.95	15.8	19.6	24.45	28.5	31.55	30.9	
Minima Tm	14.85	15.35	10	5.6	4.7	5.95	9.78	13.2	17.4	22.1	20.4	18.94	
(Tx+Tm)/2	20.42 5	18.27 5	11.77 5	13.4	12.175	8.45	12.79	16.4	20.925	25.3	25.975	24.92	

Tableau C: Liste des points d'eau.

N° d'inventaire	Nom de point d'eau	Profondeur de l'eau (m)	Niveau piézométrique (m)	Coordonnées		
				X	Y	Z
S	Ain Messaoud	0	1022	208213.421	247080.345	1022
P1	Mehisserat	19.40	1046.60	199600	245700.245	1066
P2	/	23.77	1033.23	204956.761	247794.564	1057
P3	/	4.63	1033.37	204382.224	248644.414	1038
P4	/	22	1043	206717.116	249282.214	1065
P5	/	23.67	1039.33	204905.054	247857.145	1063
P6	/	24.50	1041.50	204573.846	248946.012	1066
P7	/	20.00	1046	204887.113	248998.846	1066
P8	/	20.41	1048.59	208818.442	250790.154	1069
P9	/	22.47	1028.53	207433	248860	1051
P10	/	22.00	1034	206769.854	248418.799	1056
P11	/	22.00	1037	206680.227	248050.155	1059
P12	/	22.42	1033.58	204209.044	248094.024	1056
P13	/	24.19	1031.81	204902.004	248628.687	1056
P14	/	4.50	1040.5	204540.487	248700.01	1045
P15	/	3.95	1045.05	204589.116	248606.443	1049
F1	Slih	26.40	1040.6	201000	246300.665	1067
F2	Maader II	21.83	1036.17	206901.449	248475.114	1058
F3	Maader III	30.00	1029	204401.681	246702.027	1059
F4	Maader	23.40	1037.6	204399.248	247472.224	1061
F5	Slih II	26.40	1062.6	199300.436	245600.618	1089
F6	Mehisserat I	20.00	1045	199100.667	245600	1065
F7	Mehsserat II	23	1053	198100.178	245700.746	1076

Tableau D: Essai de pompage dans le forage MAADER1(Tiout) a-Descente.

Débit : 18l/s

N.S : 28.10m

Rabattement S (m)	t(h)	Rabattement S (m)	t(h)
5.25	0.008	42.118	8
10.31	0.017	42.3	8.5
11.08	0.025	42.4	4
14	0.033	43.2	5
19.99	0.05	41.82	6
22.63	0.058	41.77	7
25.1	0.067	42.2	8
29.16	0.083	42.12	9
31.3	0.1	42.7	10
33.13	0.117	42.28	11
34.59	0.133	45	12
35.45	0.15	45.43	13
36	0.167	45.3	14
36.48	0.183	44.88	17
36.77	0.2	45	20
36.98	0.216	45.05	24
37.36	0.233	44.45	26
37.38	0.25	44.28	29
37.54	0.29	45.43	32
37.8	0.37	45.23	35
38.1	0.42	45.4	38
38.81	0.5	45.5	41
39	0.58	45.45	47
39.3	0.67	45.85	50
39.43	1	45.6	53
40.4	1.16	45.72	56
41.25	1.33	45.82	60
41.73	1.5	45.92	64
41.91	1.67	46.2	68
42.22	2	113.95	72
42.55	2.5		

Tableau E: Essai de pompage dans le forage MAADER1(Tiout) b- Remontée.

Débit : 18l/s

N.S : 28.10m

Remontée (m)	t'/t''
35.4	37
33.5	44
25.3	55
17.9	73
13.78	88
10.5	108
8.6	148
5.33	172
3.45	241
2.6	289
1.87	361
1.7	432
1.3	542
1.2	721
1.14	686
1.07	1075
1.04	1441
0.96	2183
0.88	4236
0.82	9001

Tableau F : Résultats d'analyse physico-chimique des eaux.

NOM	pH	Min mg/l	Cd µs/cm	R.S mg/l	TH° F	Ca mg/l	Mg mg/l	Na+K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	Hco3 mg/l	NO3 mg/l
S (Ain Messaoud)	8	683	900	680	46.6	108	47	83	129	178	230	27
P1 (Mehisserat)	8.4	573	800	680	39	76	48	87	123	211	187	19
P2	6.6	1361	1600	1036	50.4	150	31	105	142	212	227	75
P3	7.2	1106	1300	694	44.7 5	119	36	105	140	200	236	47
P4	6.5	1021	1200	773	41.1	116	29	70	73	182	220	72
F1 (Slih)	8.4	936	1100	1000	52.3	116	56	134	198	322	242	20
F2 (MaaderII)	7.8	683	900	720	47.1 5	112	6.40	64	102	211	231	53
F3 (MaaderIII)	8.4	1191	1400	1080	48.2	108	51	145	197	302	175	22

Tableau G: Résultat des analyses chimiques.

N° d'éch	coordonnées			p H	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +k +	Σ catio n	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	Hco ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Σ anions	Balance ionique %
	X	Y	Z											
S (Ain Messaoud)	208213.421	247080.345	1022	8	108	47	83	238	129	178	230	27	564	5.289
					5.4	3.92	3.52	12.84	3.63	3.71	3.77	0.44	11.55	
P1(Mehisserat)	199600	245700.245	1066	8.4	76	48	87	211	123	211	187	19	540	0.794
					3.8	4	3.62	11.42	3.46	4.40	3.07	0.31	11.24	
P2	204956.761	247794.564	1057	6.6	150	31	105	286	142	212	227	75	656	4.642
					7.5	2.58	4.57	14.65	4	4.42	3.72	1.21	13.35	
P3	204382.224	248644.414	1038	7.2	119	36	105	260	140	200	236	47	623	3.009
					5.95	3	4.57	13.52	3.94	4.16	3.87	0.76	12.73	
P4	206717.116	249282.214	1065	6.5	116	29	70	215	73	182	220	72	547	2.925
					5.8	2.42	3.04	11.26	2.06	3.79	3.61	1.16	10.62	
F1 (Slih)	201000	246300.665	1067	8.4	116	56	134	306	198	322	242	20	782	1.158
					5.5	4.66	5.75	16.21	5.58	6.71	3.97	0.33	16.59	
F2 (Maader II)	206901.449	248475.114	1058	7.8	112	6.40	64	222	102	211	231	53	597	0.956
					5.6	3.83	2.71	12.14	2.87	4.40	3.79	0.85	11.91	
F3 (Maader III)	204401.681	246702.027	1059	8.4	108	51	145	304	197	302	175	22	696	2.492
					5.4	4.25	6.18	15.83	5.55	6.29	2.87	0.35	10.06	

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BASSOULET J. P (1973): Contribution à l'étude stratigraphique du Mésozoïque de l'Atlas Saharien occidental (Algérie), thèse Sci.Nat, Paris

BENSEFIA K. et BENALI F. (2002) : Etude hydrogéologique et hydrochimique de la région de Tiout (Atlas Saharien Nord Occidental), mémoire d'ingénieur, Université de Tlemcen.

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.

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.H.W. Naâma données d'essais de pompage de forage El Maader.

DERDOUR A. (2006): contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique du synclinal des Grés Crétacé d'El Hendjir Monts des Ksour (Atlas Saharien Occidental, Algérie), mémoire d'ingénieur, 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 3ème cycle, Université d'Oran.

FLAMAND.G.BM (1911) : Recherche géologique et géographique dans le pays de l'Oranie et le Sahara. Thèse Doctorat, Lyon.

MOUSSA (2013) : photogéologie de la région d'Ain Sefra, Algérie, thèse de Magister.

GOUSKOV (1944): Captage d'Ain Skhouna. Alimentation en eau d'Ain Sefra rapport au S.C.H.

GRANDAROWSKI G. (1965) : Etude hydrogéologique de la région d'AIN Sefra (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.

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 Sefra.

ANRH : Agence National de Ressources Hydraulique d'Oran.

- 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. (1994):** Coupe Schématique des sources de Tiout et Tiouartalt.(D'après A.RAHMANI.1994)
- RAHMANI A. (1994):** Coupe hydrogéologique de l'aquifère (D'après : Rahmani 1994).
- RAHMANI A. (2010):** Carte piézométrique (Septembre 2010, Rahmani).
- RODIER J. (1984) :** Analyse de l'eau. Ed. Dunod. Paris.
- SERVANT J. (1975):** Classification des eaux d'irrigation, u.s salinity LAB.
- BENSEFIA K & BENALI F. (2002):** Etude hydrogéologique et hydrochimique de la région de Tiout (Atlas Saharien Nord Occidental)
- ZENAGUI N. (2008) :** Caractérisation hydrogéologique et hydrochimique de la nappe du Crétacé Inférieur de la région « d'Ain Sefra » (monts des Ksour-Atlas Saharien Occidental)
- Logiciel informatique:** (Surfer 8, Mapinfo, Diagramme).

Liste des Figures

Figure N°01 : Les monts des ksour dans leur contexte régional : partie méridionale de l'atlas saharien et piémonts de la plate-forme saharienne (Benest 1985 modifiée par Mansour 2007).....	03
Figure N°02: Situation géographique du secteur d'étude (Encarta 2006).....	04
Figure N°03: Réseau Hydrographique du secteur d'étude (Extrait de la carte topographique).....	05
Figure N° 04 : variation des précipitations moyennes annuelles de la station d'AinSefra.....	06
Figure N°05 : variation des précipitations moyennes mensuelles de la station d'Ain Sefra	07
Figure N°06 : Variation des précipitations moyennes saisonnières de la station d'Ain Sefra.....	08
Figure N°07 : variation des températures moyennes mensuelles de la station d'Ain Sefra.	09
Figure N°08 : Variation des températures moyennes annuelles de la station d'Ain Sefra	10
Figure N°09 : Diagramme pluviométrique de la station d'Ain Sefra	11
Figure N°10 : Diagramme ombrothermique de la station d'Ain Sefra	12
Figure N°11: Climagramme d'après Emberger	13
Figure N°12 : Abaque de Verdeil (1988)	15
Figure N°13: Carte géologique de la région d'Ain sefra (in moussa, 2013).....	19
Figure N°14 : coupe lithostratigraphique des formations du Lias et Dogger dans la partie centrale des Monts des ksour (Douihasni, 1976).....	23
Figure N°15: Coupe lithostratigraphique des formations du Jurassique-Crétacé dans la partie centrale des monts des Ksour (A.Kacem,2002).....	25
Figure N°16: les grandes coupures tectoniques des Monts des Ksour (D'après L. Mekahli, 1998)	29
Figure N°17: Coupe Schématique des sources de Tiout et Tiouartalt. (D'après A.RAHMANI.1994).....	33
Figure N°18 : Coupe hydrogéologique de l'aquifère (D'après :Rahmani1994).....	35
Figure N°19 : Carte piézométrique (Septembre 2010, Rahmani)	36
Figure N°20: Droite $S = f(q/S)$	38
Figure N°21: droites $S = f(q/s)$	39
Figure N°22: le rabattement spécifique-débit	39
Figure N°23: Courbe de rabattement $S(m)$ de Maâder1	41
Figure N°24: Courbe de remontée de Maâder1	42
Figure N°25 : Carte d'isovaleur de Minéralisation en (mg/l)	45
Figure N°26 : Carte d'isovaleur de Conductivité en ($\mu s/cm$)	46
Figure N°27 : Carte d'isovaleur de <i>Résidu sec</i> en (mg/l)	47
Figure N°28: Qualité des eaux d'irrigation S.A.R	53
Figure N° 29 : diagramme Schöeller Berkaloff	56
Figure N°30: Diagramme de piper	57
Figure N°31 : Carte d'isovaleur de Calcium en (mg/l)	58
Figure N°32 : Carte d'isovaleur de Magnésium en (mg/l)	59
Figure N°33: Carte d'isovaleur de Sodium et Potassium en (mg/l)	60
Figure N°34 : Carte d'isovaleur de Sulfate en (mg/l)	61
Figure N°35: Carte d'isovaleur de Chlorure en (mg/l)	62
Figure N°36: Carte d'isovaleur de Bicarbonate en (mg/l)	63
Figure N°37: Carte d'isovaleur de Nitrate en (mg/l)	64

Liste des Tableaux

Tableau 01 : les précipitations moyennes mensuelles	07
Tableau 02 : les précipitations saisonnières mensuelles	08
Tableau 03 : les moyennes mensuelles	09
Tableau 04 : les précipitations et températures moyennes mensuelles	11
Tableau 05 : élément du bilan	16
Tableau 06 : Résultats de l'essai de pompage dans le forage dc Maader	37
Tableau 07 : calcul du débit spécifique	38
Tableau 08 : calcul des différentes pertes de charge dans le forage Maader	40
Tableau 09 : Potabilité des eaux selon les normes algériennes	49
Tableau 10 : valeur du SAR et de la conductivité pour les différents points d'eau	51
Tableau 11 : classification des eaux d'irrigation	52
Tableau 12 : Les rapports caractéristiques	65
Tableau A : précipitations annuelles et mensuelles	Annexe
Tableau B : températures annuelles et mensuelles	Annexe
Tableau C : Liste des points d'eau	Annexe
Tableau D : Essai de pompage dans le forage MAADER1(Tiout) a-Descente	Annexe
Tableau E : Essai de pompage dans le forage MAADER1(Tiout) b- Remontée	Annexe
Tableau F : Essai de pompage dans le forage d'Ain Sefra F2 (Descente)	Annexe
Tableau G : Essai de pompage dans le forage d'Ain Sefra F4 (Descente)	Annexe
Tableau H : Résultats d'analyse physico-chimique des eaux.	Annexe
Tableau I : Résultat des analyses chimiques	Annexe