

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE DE TLEMCCEN
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de
l'Univers

Département des Sciences de la Terre et de l'Univers



*Laboratoire N° 25 : Promotion des Ressources Hydriques, Minières et Pédologiques :
Législation de l'Environnement et Choix Technologiques*

MEMOIRE

Présenté par

BOUARFA OUM KELTHOUM

En vue de l'obtention du

**Diplôme de MASTER
EN
HYDROGEOLOGIE**

Thème

**CONTRIBUTION A L'ETUDE HYDROGEOLOGIQUE ET
HYDROCHIMIQUE DU SYNCLINAL SKHOUNA –HAMMAR
(AIN SEFRA –MONTS DES KSOUR) ALGERIE**

Soutenu publiquement le, 30 / 07 / 2019, devant le jury composé de :

M. A BOUDJEMA Abderrazak	MCB.	Université de Tlemcen	Président
M. KACEMIA Ali	MCB	Université de Tlemcen	Encadreur
M. RAHMANI Abderrahmane	MCB.	Hydraulique de Naâma	Co-Encadreur
M. KERZABI Rachid	MAA.	Université de Tlemcen	Examineur

2018– 2019

Dédicaces

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut ... Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, la reconnaissance ... Aussi, c'est tout simplement que Je dédie ce travail à :

A mes très chers parents : Ibrahim et Fatiha

Pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendance, leur soutien et leur prière tout au long de mes études.

A mes très chères sœurs : Imen, Nadjet et Manel :

En souvenir d'enfance dont nous avons partagé les meilleures et les plus agréables moments pour leurs encouragements permanents, et leurs soutiens moral.

A mes chers copines Djamilia, Dalel et Houda

Pour leurs encouragements et leurs aides qu'Allah les garderait pour moi.

A toute ma famille pour son soutien et son encouragement, je cite généralement, Mes tantes, mes oncles ainsi que mes cousins et cousines.

A tous les étudiants de la promotion, particulièrement : Salah.

Que ce travail soit l'accomplissement des vœux tant allégués et le fruit du soutien infailible de mes parents et merci d'être toujours là pour moi.

BOUARFA OUM KELTHOUM

REMERCIEMENTS

L'élaboration de ce mémoire de fin d'études est le fruit de cinq années d'études. Ce travail n'aurait pu voir le jour sans la collaboration de nombreuses personnes qu'il m'est agréable de remercier.

Je remercie Allah le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il m'a donnée durant toutes ces années d'études.

Je tiens tout d'abord à remercier mes encadreurs Monsieur KACEMI Ali et Monsieur RAHMANI Abderrahmanede m'avoir fait confiance, ainsi que pour leur disponibilité, leur patience et leurs généreux conseils tant scientifiques qu'humains qui m'ont été d'une grande valeur. Merci pour votre aide inestimable. Vos précieux conseils avisés m'ont été très utiles pour améliorer et développer mon esprit critique et scientifique.

Je tiens aussi à remercier Monsieur BOUDJEMAA Abderrazak, qui après m'avoir fait profiter de son enseignement, a accepté de présider ce jury.

Merci à Monsieur KERZABI Rachid pour avoir eu la bienveillance d'accepter d'examiner ce travail.

Mes remerciements à tous les enseignants du Département des Sciences de la Terre et de l'Univers de l'Université de Tlemcen.

Et enfin, je tiens à remercier tous mes amis (es) qui m'ont aidé et encouragé pour réaliser ce mémoire.

ملخص

تنتمي منطقة الدراسة إلى أطلس الصحراء الغربية (جبال قصور) يتعلق الأمر بمزامنة "السخونة - الحمار"، الواقعة غرب مدينة عين الصفراء.

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو المساهمة في الدراسة الهيدروجيولوجية والكيميائية سفلى "السخونة - الحمار" وتحديد ما إذا كانت الطاقة المائية لهذا التزامن توفر الاحتياجات المختلفة لمدينة عين الصفراء باعتبارها النوعية و الكمية.

تتمتع المنطقة بمناخ شبه جاف إلى جاف تتميز بمتوسط درجة الحرارة السنوي 18.2 درجة مئوية، كما أن متوسط هطول الأمطار السنوي من 166.9 ملم.

في العصر التيثوني - العصر الطباشيري السفلي يضمن ميدان الدراسة تشكيلتين من تيلولا وتيوت يزيد سمكهما عن 2000 م. تتميز هذه التكوينات بترسبات قارية بشكل عام

أظهرت الدراسة الهيدروجيولوجية البئرین تمت دراستهما (مویلح وسخونة) أنهما ينتميان إلى طبقة المياه الجوفية بريميان- أبتيان - ألبيان.

بينت الدراسة الهيدروكيميائية لمياه طبقة المياه الجوفية لست حفر (الحمار، المیلح، منبع سخونة 2، دزيرة، عين السخونة، عين الصفراء 4) من نفس الغشاء المتزامن هذا، أن من الممكن التمييز بين ثلاث سحن هيدروكيميائية سائدة، وهي : كلوريد الصوديوم والبيوتاسيوم وكبريتات الكالسيوم وكبريتات المغنسيوم ، للتمعدن بين 600 و 1500 ملغم / لتر وقيم الصلابة بين 40 و 83 درجة فهرنهايت هذه المياه عادة ما تكون ذات نوعية جيدة وممتازة للري.

كلمات المفتاحية

سفلى" السخونة - الحمار -- تكوين تيلولا - تكوين تيوت - جبال قصور - جيولوجيا المياه- الهيدروكيمياء- تيثونيان- العصر الطباشيري السفلي-- باريميان-أبتيان-ألبيان.

Résumé :

La région d'étude appartient à l'Atlas Saharien occidental (Monts des Ksour). Elle concerne synclinal de « Skhouna - Hammar », situé à l'Ouest de la ville d'Aïn Séfra.

L'objectif principal de ce travail est une contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique du synclinal « Skhouna - Hammar » et de déterminer si la capacité de l'eau de ce synclinal offre les différents besoins de la ville d'Aïn Séfra tant qualitatif que quantitatif.

La région jouit d'un climat semi-aride à aride. Elle est caractérisée par une température moyenne annuelle de 18,2°C et de précipitations moyennes annuelle de 166,9mm.

D'âge Tithonien - Crétacé inférieur, le secteur d'étude englobe deux formations celle de Tiloula et celle de Tiout sur une épaisseur de plus de 2000 m. Ces formations sont caractérisées par une sédimentation généralement continentale.

L'étude hydrogéologique de deux forages étudiés (Mouilah et Skhouna) montre qu'ils appartiennent à la nappe du Barrémien-Aptien-Albien.

L'étude hydrochimique des eaux de cette nappe par le biais de six forages (Hammar, Mouilah, Skhouna 2, Source Dzira, Aïn Skhouna, et Aïn-Séfra F4) de ce même synclinal a permis de distinguer trois faciès hydrochimiques prédominants, à savoir : Chloruré Sodique et Potassique, Sulfaté Calcique et Sulfaté Magnésien, pour des minéralisations comprises entre 600 et 1500 mg/L et des valeurs de dureté comprises entre 40 et 83°F. Ces eaux sont généralement de bonne qualité et excellente pour l'irrigation.

Mots clés :

Synclinal « Skhouna-Hammar » – Formation de Tiloula - Formation de Tiout - Monts des Ksour – hydrogéologie - hydrochimie - Tithonien – Crétacé inférieur – nappe du Barrémien-Aptien-Albien.

Absract

The study area belongs to the Western Saharan Atlas (Ksour Mountains). It concerns syncline of "Skhouna - Hammar", located: in the west of the town Aïn-Séfra.

The main objective of this work is the contribution of the hydrogeological and hydrochemical study of the syncline "Skhouna - Hammar" and to determine if the water capacity of this syncline offers the different needs of the town Ain-Sefra as a qualitative and quantitative.

The region contains a semi-arid to arid climate. It is characterized by an average annual temperature of 18.2 ° C and an average annual rainfall of 166.9mm. Of Tithonian age - lower Cretaceous, the study area included two formations: Tiloula and Tiout with a thickness of more than 2000 m. These formations are characterized by generally continental sedimentation.

The hydrogeological study of two wells (Mouilah and Skhouna) shows that they belong to the Barremian-Aptian-Albian aquifer.

The hydrochemical study of the waters of this aquifer about six drillings (Hammar, Mouilah, Skhouna 2, Dzira Source, Ain Skhouna, and Ain-Sefra F4) of the same syncline leads-to distinguish three predominant hydrochemicalfacies, namely: Sodium and Potassium Chloride, Calcium Sulfate and Magnesium Sulphate, for mineralization between 600 and 1500 mg / L and hardness values between 40 and 83 ° F. These waters are generally of good quality and excellent for irrigation.

Keywords

Synclinal "Skhouna-Hammar"- Formation of Tiloula - Tiout Formation- - Ksour Mountains- Hydrogeology - Hydrochemistry - Tithonian - Lower Cretaceous - Barremian- Aptian- Albiannappe.

Liste des abréviations

Ca²⁺: calcium
Cl⁻: Chlorure
ETP :Evapotranspiration potentielle
ETR :Evapotranspiration réelle
h : Heure
HCO₃⁻: Bicarbonate
K⁺: Potassium
L :litre
m: mètre
Mg²⁺: Magnesium
mm: millimetre
Mn : minute
Na⁺:**Sodi**
PH : Potentiels d'hydrogène.
PM:précipitations maximal
Pm: précipitations minimale
S : seconde
S.A.R: Sodium adsorption ratio
SO₄²⁻:sulfate
TM: Temperature maxima
Tm: Temperature minima S : Surface.
P : Périmètre.
Kc : Indice de compacité.
L : longueur du rectangle équivalent.
l : largeur de rectangle équivalent.
I_m : pente moyenne.
I_G : indice globale de pente.
Ds : dénivelé spécifique.
D_d : densité de drainage.
F : densité hydrographique.
Rc : rapport de confluence.
R_L : rapport de longueur.
P : précipitation.
P_{moy} : précipitation moyenne.
T : température.
T_{moy} : température moyenne.

I : indice d'aridité de De.Martonne annuel.
i : indice d'aridité de De.Martonne mensuelle.
 I_M : indice de Moral.
Ce : conductivité.
BI : balance ionique.
SAR : Sodium Alkalinity Ratio.

Liste des figures :

Fig. I. 01 : Situation géographique des Monts des Ksour.....	4
Fig. I. 02 : Situation géographique du secteur d'étude.....	5
Fig. I. 03 : Carte des pentes (DERDOUR. A, <i>et al</i> , 2017).....	6
Fig.I. 04 : Courbe hypsométrique.....	7
Fig. I. 05 : Variation interannuelle des températures à la station d'Ain Séfra (1982/1983-2015/2016).....	10
Fig. I.06: Variation des températures moyennes mensuelles à la station d'Ain Séfra.....	11
Figure I. 07: Variation des précipitations moyennes annuelles à la station d'Ain Séfra (1982/1983 – 2015/2016).....	12
Fig. I.08 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles à la station d'Ain Séfra (1982/1983-2015/2016).....	13
Fig. I. 09 : Diagramme pluvio-thermique de la station d' Ain Sefra (1982/1983- 2015/2016).....	15
Fig. I. 10 : Abaque de l'indice d'aridité de De. Martonne, station d'Ain Séfra (1982/1983-2015/2016)	16
Fig. II.1 : Situation géographique des Monts des Ksour, dans l'Atlas Saharien Occidental....	20
Fig. II. 2 : Coupe de la « Formation de Tiout » (Kacemi 2013).....	23
Fig. II. 3 : Les grandes coupures tectoniques des Monts des Ksour (D'après L. MEKAHLI, 1998).....	26
Fig.II. 4: Carte géologique de la région d'Ain Séfra (Galmier 1972 –digitalisée).....	28
Fig. II. 5 : Coupe géologique Garet Kheil – Skhouna (RAHMANI, 2010).....	29
Fig.III.1 : Carte géophysique du toit du Jurassique (CGG, 1974).....	34
Fig. III.2 : Coupes géoelectriques (CGG 1974).....	35
Fig. III. 3 : Coupe hydrogéologique schématique Djebel Haïrech – Dir Haïrech – Djebel Mekther (A. RAHMANI 2010).....	38
Fig. III. 4 : Corrélation des coupes de forages de la région d'étude (Rahmani 2010).	38
Fig. III. 5 :.Coupe schématique montrant les conditions d'émergences de la source Skhouna (A. RAHMANI 1994).....	39
Fig. III. 6 :Courbe caractéristique $S=f(Q)$	41
Fig. III. 7 : Droite de descente forage Mouilah.....	42
Fig.III. 8 : Droite de descente du forage Skhouna.....	44
Fig. III. 9. Localisation des points d'eau du secteur étudié sur image satellitale géoréférencée.....	46
Fig. III. 10. Carte piézométrique système aquifère Crétacé inférieur « Skhouna – Hammar » (A. RAHMANI, Octobre 2012).....	46

Fig. IV.1 : Variation du pH des différents points d'eau.....	51
Fig. IV. 2 : Variation de la minéralisation des points d'eau.....	53
Fig. IV. 3. : Carte d'iso minéralisation.....	54
Fig. IV.4 : Représentation des eaux d'Ain Séfra sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff..	56
Fig. IV.5 : Classification des eaux d'Ain Séfra selon le diagramme de Piper.....	57
Fig. IV.6:Qualité des eaux d'irrigationd'après le S.A.R.....	60

Liste Des Tableaux

Tableau. I. 1 : Répartition hypsométrique.....	6
Tableau I. 2 : Classement du relief à partir de la dénivelée spécifique selon la classification de l'ORSTOM.....	8
Tableau I. 3 : Caractéristique de la station météorologique d'Aïn Séfra	9
Tableau I. 4 : Variation interannuelle de la température	10
(1982/1983-2015/2016).....	11
Tableau I. 5 : Valeurs moyennes mensuelles des températures à la station d'Aïn Séfra durant la période (1982/1983-2015/2016).....	11
Tableau I. 6 : Valeurs des précipitations moyennes annuelles à la station d'Aïn Séfra (1982/1983-2015/2016).....	12
Tableau. I. 7 : Valeurs des précipitations moyennes mensuelles à la station d'Aïn Séfra (1982/1983-2015/2016).	13
Tableau I. 8 : Valeurs des précipitations et des températures moyennes mensuelles (1982/1983-2015/2016).....	14
Tableau I. 9 : Indice d'aridité de De. Martonne (1982/1983-2015/2016).....	15
Tableau I.10 : indice d'aridité mensuel.....	16
Tableau I. 11 : Indice annuel de Moral.....	17
Tableau III.1 les résultats de l'essai de pompage par paliers.....	41
Tableau. III. 2 : Inventaire de points d'eau « Skhouna - Hammar ».....	46
Tableau IV.1 : Résultats des analyses chimiques balance ionique.	50
Tableau IV. 2 : Classification des eaux selon le pH (Rodier, 2009).....	52
Tableau IV.3: Valeurs de la dureté suivant l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé).....	52
Tableau IV. 4 : Valeurs de la dureté.....	52
Tableau IV.5 : Valeurs de la conductivité et de la minéralisation	53
Tableau IV.6 : Classification des eaux d'Aïn Séfra selon leurs faciès.....	55
Tableau IV.7 : Résultats des rapports caractéristiques.....	58
Tableau IV. 8 : Valeurs du S.A.R. et la conductivité pour les différents points d'eau.....	59
Tableau IV. 9 : Classification des eaux d'irrigation d'après J. Servant, 1975 (U.S. Salinity LAB).....	61

TABLE DES MATIERES

Remerciements.....	I
Dédicaces.....	II
Résumé.....	III
Liste des abréviations.....	V
Liste des figures.....	VII
Liste des tableaux.....	IX
Table des matières	X
Introduction	1

PREMIER CHAPITRE : GENERALITES

I.Cadre géographique	4
I.1. Cadre géographique général	4
I. 2. Situation géographique du secteur d'étude.....	4
II. Relief.....	5
II.1. Carte hypsométrique.....	6
II.2. Courbe hypsométrique.....	7
II.3. Indice global de pente.....	8
II. 4. Dénivelée spécifique "Ds.....	8
III.Réseau Hydrographique (Oued Breidj)	9
IV.Hydroclimatologie (Station d'Aïn-Séfra).....	9
IV.1. Etude des températures.....	9
1.1Températures moyennes annuels.....	9
1. 2. Températures mensuelles.....	11
IV.2. Etude des précipitations.....	12
2.1. Précipitation annuelle.....	12
2. 2. Précipitation mensuelle.....	13
V. Etude climatique.....	14
V.1. Diagramme pluvio-thermique de Bagnouls et Gaussen.....	14
V. 2. L'indice d'aridité de De. Martonne.....	15
2.1. L'indice d'aridité de De Martonne annuel.....	15
2. 2. Indice d'aridité mensuel (i).....	16
V.3. Indice de Moral.....	17

DEUXIEME CHAPITRE : ETUDE GEOLOGIQUE

I.ETUDE GEOLOGIQUE	19
I.1.Généralites.....	19
I.2. Cadre géologique des Mont des Ksour.....	20
I.3 Lithostratigraphie des Monts desKsour.....	21
3.1. Trias.....	21
3.2. Lias	22
3.3. Le Dogger	22
3.4. Jurassique supérieur-Crétacé inférieur	22
3.4.1. La formation d'Aïssa	22
3.4.2. La « Formation de Tiloula »	22
3.4.3. La « Formation de Tiout »	23
3.5. Vracono - Céno mano -Turonien (Formations de Rhelida, Medaouar et Rhoundjaïa).....	24
3.6. Formations continentales post Turoniennes	24
3.7. Quaternaire	25
II.Aperçu structural	25
III. Géologie du synclinal de Skhouna–Hammar.....	27
1. Etude géologique du secteur « Skhouna - Hammar »	27
2. Etude lithostratigraphique du synclinal (secteur d'étude).....	28
2.1-Le passage Jurassique – Crétacé.....	29
2.2. Le Crétacé inférieur	29
2.3. Le Quaternaire	30

TROISIEME CHAPITRE : GEOPHYSIQUE & HYDROGEOLOGIE

I.Etude géophysique.....	32
1. Sondage électrique.....	32
2. Les travaux réalisés	33
II.Etude hydrogéologique.....	35

II.1. Aperçu sur l'hydrogéologie régionale	35
1.1. Nappe du Jurassique.....	36
1.2. Nappe du Barrémien-Aptien-Albien.....	36
1.3. Nappe du Quaternaire	36
II. 2 Cadre hydrogéologique du secteur d'étude.....	37
2.1. Les grès du Jurassique supérieur.....	37
2.1. Les grès massifs du Crétacé inférieur	37
III. Hydrodynamique.....	39
1. Généralités sur les pompages d'essais.....	39
1.1. Essai de courte durée	40
1.2. Essai de longue durée.....	40
2. Forage de Mouilah	40
2.1. Essai de puits	40
2.2. Essai de nappe.....	41
2.3. Interprétation d'essai.....	42
2.4. Forage de Skhouna 2	43
3.1. Essai de nappe.....	43
3.1. Interprétation d'essai	44
3.2. Discussion des résultats	45
IV. La piézométrie.....	45
1. Piézométrie du secteur d'étude	45
2. Interprétation de la carte piézométrie	47

QUATRIEME CHAPITRE : HYDROCHIMIE

I. Introduction.....	49
II. Interprétation des analyses par balance ionique.....	49
II.1. Caractéristiques physico-chimiques.....	51
1.1. Le pH	51
1.2. La dureté totale	52
1.3. La minéralisation.....	53
II. 2. Les formules caractéristiques des faciès chimiques.....	55
II.3. Représentation graphique	55
3. 1. Diagramme Schorller-Berkaloff.....	56
3.2. Diagramme de Piper.....	57

3. 4. Les rapports caractéristiques : (SO ₄ ²⁻ /Ca ²⁺) (Na ⁺ /Cl ⁻)	58
II. 5. la qualité des eaux à l'irrigation.....	58
5.1. Sodium adsorption ratio (S.A.R).....	58
III. Conclusion.....	62
Conclusion général	64
Références bibliographiques.....	67
Annexe.....	72

Introduction Générale

Introduction

Introduction

L'eau est une substance primordiale de la vie et l'élément dans lequel les premières formes de vie ont émergé. Elle est non seulement vitale en matière de santé, mais aussi d'emplois en permettant de subvenir au développement économique, social et humain.

La qualité des eaux a connu une grande détérioration, à cause des rejets domestiques non contrôlés et l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture d'une part, et l'exploitation désordonnée des ressources en eau d'autre part. Ces derniers produisent une modification chimique de l'eau et influencé sur la réserve d'eau souterraine.

L'importance de l'eau en tant que ressource vitale et facteur de développement est mondialement reconnue, la protection de cette ressource nous amène à évaluer les paramètres qui jouent un rôle important dans le comportement souterrain. Ces paramètres englobent les caractéristiques géologiques, géomorphologiques, hydrologiques, climatiques, hydrochimiques et géophysiques dont nous nous intéresserons, dans la présente étude.

Dans ce sens, ce travail constitue une contribution pour une meilleure connaissance hydrogéologique et hydrochimique du synclinal « *SKHOUNA – HAMMAR* », dans la région d'Aïn Séfra (Monts des Ksour).

Il s'avère nécessaire de déterminer si le système aquifère des grès du Crétacé Inferieur du synclinal « *SKHOUNA – HAMMAR* » offre la capacité de desservir tous les exploitants utilisateurs (agriculture et l'alimentation en eau potable) tant quantitatif que qualitatif.

Le travail s'articule sur quatre chapitres, en plus d'une introduction générale pour présenter le thème à étudier et d'une conclusion générale à la fin pour synthétiser les différents résultats de l'étude :

- Tout d'abord, des généralités qui comportent la situation géographique générale des monts des Ksour et locale du secteur d'étude, aussi une vue générale sur le relief et le réseau hydrographique après une étude climatique.
- Une étude géologique pour déterminer les différents formations dans notre secteur d'étude et l'étude lithostratigraphique, qui permettra de faire ressortir les formations susceptibles de constituer les niveaux aquifères.
- Dans un même chapitre sont incluses l'étude géophysique et l'étude hydrogéologique.
- L'étude géophysique pour définir la géométrie et l'étendue des principaux réservoirs et enfin voir les types de nappes.

Introduction

- L'étude hydrogéologique dans laquelle seront déterminées les caractéristiques hydrogéologiques (limite d'aquifère, extension de la nappe) et hydrodynamiques (transmissivité, coefficient d'emménagement ...etc.) de l'aquifère à partir des résultats des essais de pompage de deux forages, de dresser une carte piézométrique en faisant ressortir le sens de l'écoulement, et nous tenterons de réaliser une carte hydrogéologique du secteur d'étude.
- Une étude hydrochimique dans laquelle nous tenterons de donner une idée sur la qualité physico-chimique des eaux, leur potabilité et leur aptitude à l'irrigation.

PREMIER CHAPITRE :
GENERALITES

I. Cadre géographique

I.1. Cadre géographique général

L'Atlas saharien est situé dans la partie Nord de l'Algérie, chaîne de montagnes d'environ 1000 Km de long orientée SW-NE intercalée entre la plateforme saharienne au Sud et le domaine des Hautes plaines au Nord.

Cette succession de montagnes forme une barrière naturelle topographique et climatique entre les hautes plaines et les hauts plateaux au Nord et la plate forme saharienne au Sud. L'Atlas saharien est limité au Nord et au Sud par deux accidents tectoniques majeurs qui sont : l'accident nord atlasique et l'accident sud atlasique. Il est subdivisé d'après RITTER (1902) en trois faisceaux atlasiques qui sont d'Est à l'Ouest (fig. I. 1) :

- Les Monts de OuledNaïl (Atlas saharien oriental).
- Les Djebels Amour (Atlas saharien central).
- Les Monts des Ksour (Atlas saharien occidental).

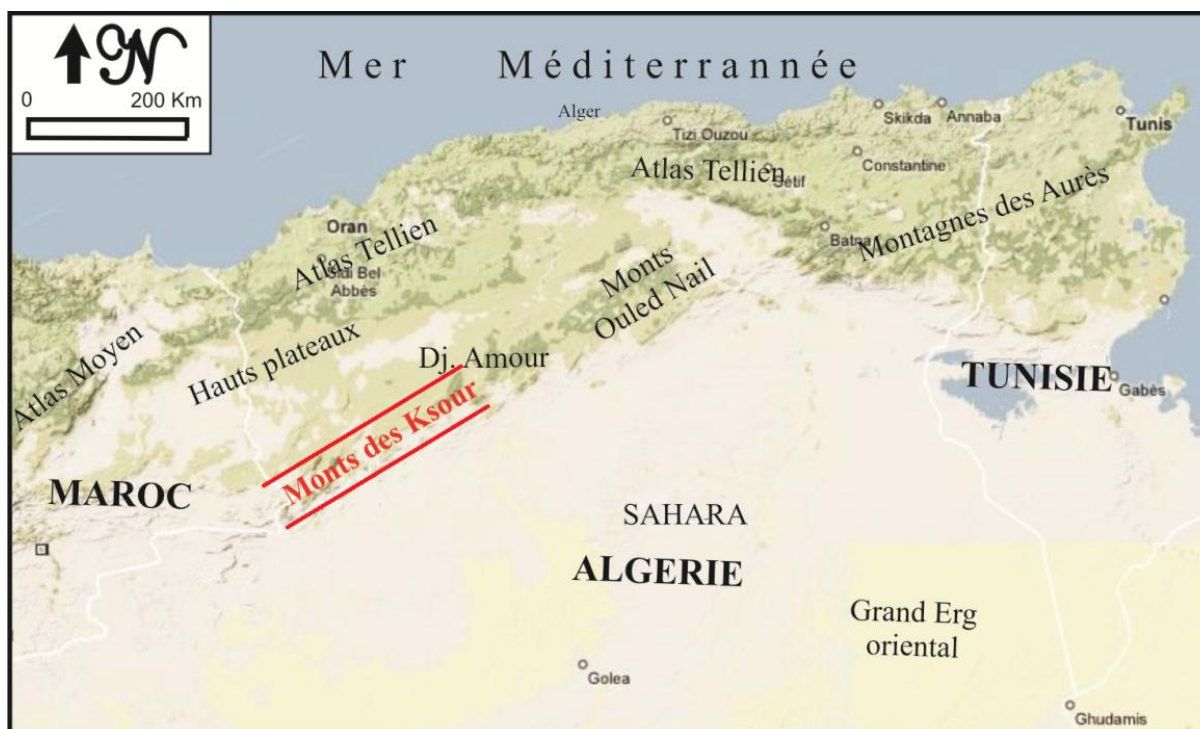


Fig. I. 01 : Situation géographique des Monts des Ksour

I.2. Situation géographique du secteur d'étude

La région d'étude appartient au domaine atlasique occidental dont la ville la plus importante est Aïn Séfra.

PREMIER CHAPITRE : GENERALITES

Notre étude concerne la région de « *Skhouna - Hammar* », située à l'Ouest de la ville d'Aïn Séfra. Les limites de la zone d'étude sont (Fig. I. 2) :

- Au Nord - Ouest : Garet Deba - Dir Hirech.
- A l'Ouest - Sud-Ouest : El Hendjir – Sefrat El Djir.
- A l'Est - Nord-Est : Aïn Séfra et Oued Tirkount.
- Au Sud-Est : Oued Breidj.

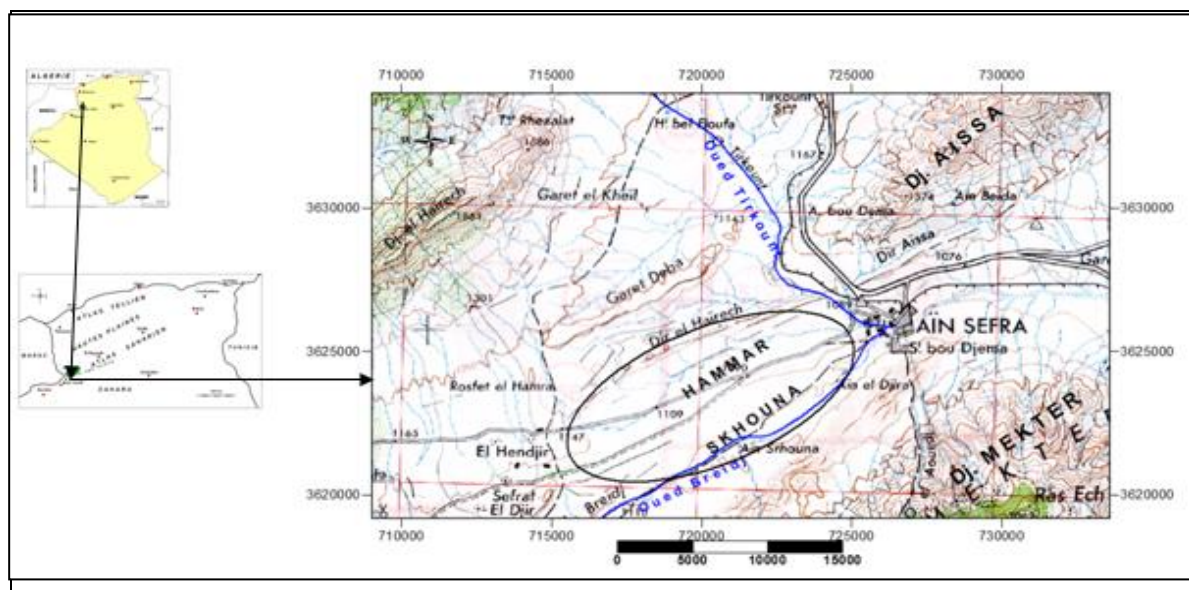


Fig. I. 02 : Situation géographique du secteur d'étude

II. Relief

La partie occidentale de l'Atlas saharien constitue une zone montagneuse à chaînes allongées de direction Sud- Ouest Nord –Est, séparée par de larges dépressions.

Morphologiquement, les Monts des Ksour correspondent à une région montagneuse assez élevée avec certains sommets qui culminent à plus de 2000m d'altitude. On peut citer le Djebel Aïssa (2236m), le Djebel M'Zi (2145m), le Mir El Djebel (2109m) le Djebel Mekther (2020m).

Le bassin hydrologique de la région d'étude s'étend sur une superficie de 1120 km², et s'organisent en un bassin versant « *Oued Breidj* ».

II. 1. Carte hypsométrique

La carte hypsométrique du bassin hydrologique (tableau I. 1) donnera une idée sur la proportion des tranches d'altitudes qui procure une importance capitale pour les études hydrologiques du fait que la plupart des facteurs météorologiques et hydrologiques sont influencés par l'altitude. On peut établir la carte (Fig. I. 03) à l'aide du tableau suivant.

Tableau. I. 1 :Répartition hypsométrique.

Tranches d'altitude	surface (Km2)	surfaces cumulée (Km2)	surface %	surface cumulée %	altitude cumulé %
2187-2000	5,07	5,07	0,45	0,45	100
2000-1800	18,5	23,57	1,65	2,1	84,25
1800-1600	43,84	67,41	3,91	6,02	67,4
1600-1400	138,68	206,03	12,38	18,39	50,55
1400-1200	673,9	879,93	60,17	78,57	30,7
1200-1000	240	1119,93	21,43	100	16,85

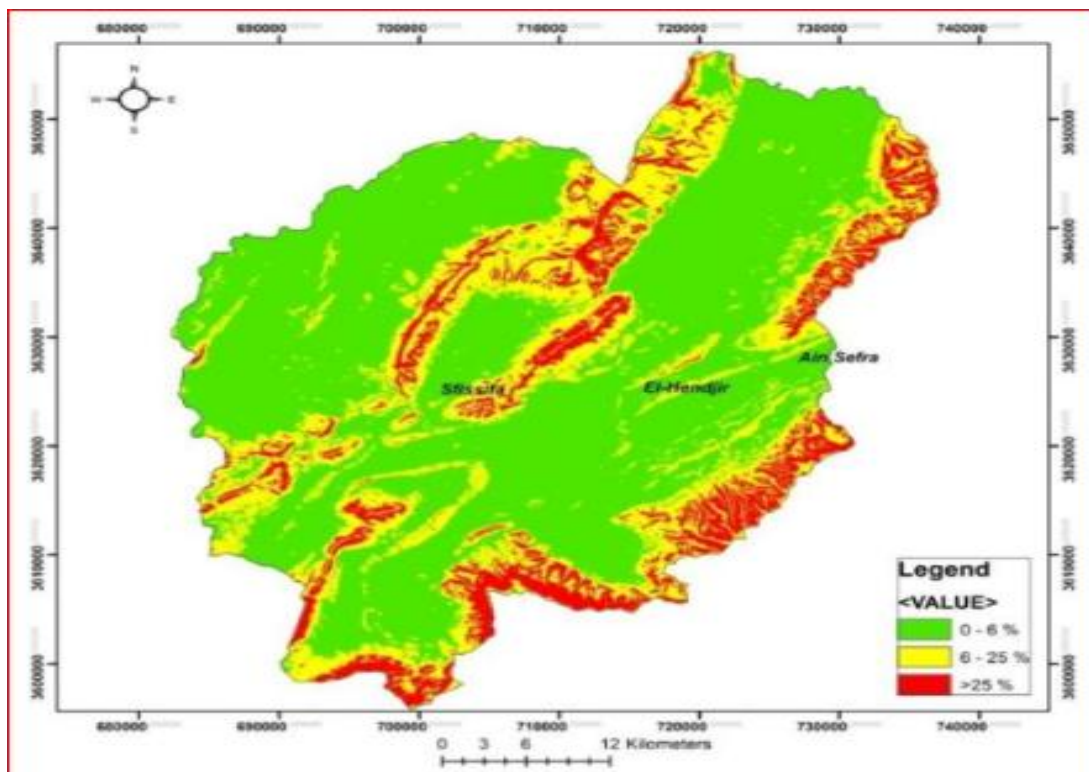


Fig. I. 03 :Carte des pentes (DERDOUR. A, *et al*, 2017)

La figure ci-dessus met en évidence la répartition différentielle des pentes donc on peut distinguer trois types de pentes :

- Une pente relativement faible entre 0 et 6%.
- Une pente moyennement forte entre 6 et 25%.
- Une pente très forte supérieure à 25%.

II.2. Courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude.

Le graphe porte en abscisses le pourcentage de surface du bassin qui se trouve au-dessus (ou au-dessous) de l'altitude représentée en ordonnées.

La courbe hypsométrique demeure un outil pratique pour comparer plusieurs bassins entre eux ou les diverses sections d'un seul bassin.

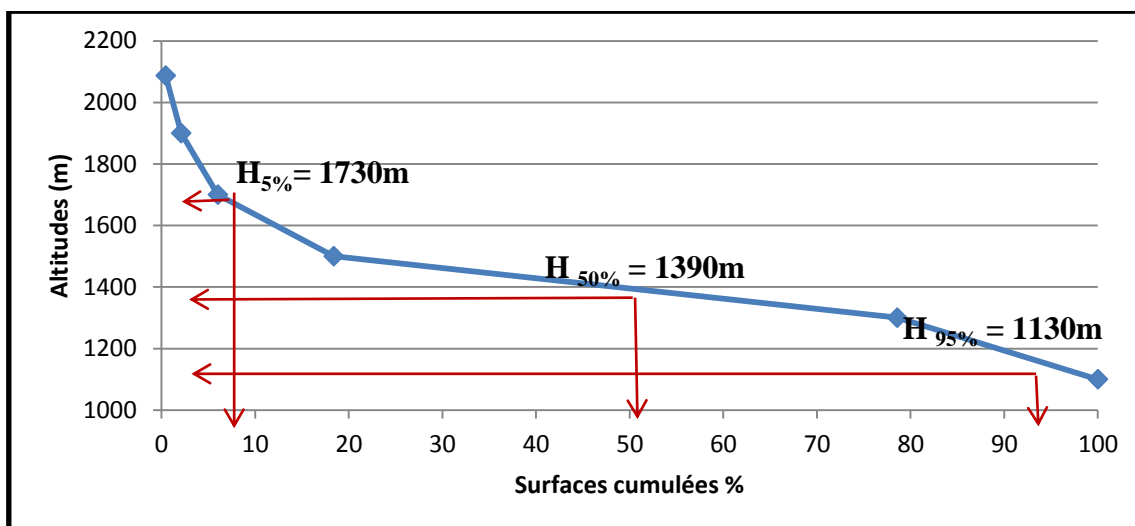


Fig. I. 04 : Courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique du bassin « Oued Breidj » (Fig. I. 04) montre une accentuation progressive des altitudes vers l'amont et vers le point culminant au fur et à mesure que les pourcentages des surfaces cumulées diminuent.

On peut constater les altitudes caractéristiques comme suit :

$$H_{5\%} = 1730\text{m.}$$

$$H_{50\%} = 1350\text{m.}$$

$$H_{95\%} = 1130\text{m.}$$

II. 3. Indice global de pente

Cet indice est déterminé à partir de la connaissance de la répartition hypsométrique du bassin. Sur la courbe hypsométrique déjà tracée (Fig. I. 04), on prend les points tels que la surface supérieure ou inférieure soit égale à 5 % de la surface totale. Il est donné par la formule :

$$I_G = \frac{D}{L}$$

D: Dénivelée (m), $D = H_{5\%} - H_{95\%}$

L: Longueur du rectangle équivalent (km) = 76 km.

D = 600 m, donc $I_G = 7.89 \text{ m/Km}$.

II. 4. Dénivelée spécifique " D_S " (Tableau I. 2)

La dénivelée spécifique donne une idée sur le relief d'un bassin versant d'après la classification de l'ORSTOM, elle est calculée par la formule suivante :

$$D_S = I_G \cdot \sqrt{A}$$

Avec :

I_G : Indice global de pente (m/km).

A: Superficie du bassin versant (km²).

$I_G = 7.89 \text{ m/km}$ et $A = 1120 \text{ km}^2$.

Donc: $D_S = 264.04 \text{ m}$.

À partir de la dénivelée spécifique ($D_S = 264.04 \text{ m}$) et en se référant au tableau 2, nous pouvons dire que ce bassin versant est d'un relief fort.

Tableau I. 2 : Classement du relief à partir de la dénivelée spécifique selon la classification de l'ORSTOM.

Relief	Valeur de D_S (m)
Relief très faible	$D_S < 10$
Relief faible	$10 < D_S < 25$
Relief assez faible	$25 < D_S < 50$
Relief modéré	$50 < D_S < 100$
Relief assez fort	$100 < D_S < 250$
Relief fort	$250 < D_S < 500$
Relief très fort	$D_S > 500$

III. Réseau Hydrographique (Oued Breidj)

Oued Breidj est l'affluent le plus important dans le bassin d'Ain Séfra. Il occupe une superficie de 1120 Km² et un périmètre de 179 Km.

Il prend naissance à Djebel Mzi puis continue son trajet jusqu' au centre d'Ain Séfra pour se rencontrer avec Oued Tirkount.

Le réseau hydrographique d'oued Breidj est assez ramifié et dense ce qui permet une collecte aisée des eaux de précipitations pour les conduire vers l'exutoire.

Oued Breidj est caractérisé par une pente très forte supérieure à 25% expliquant la présence de montagnes assez élevée, elle lui confère un caractère violent et torrentiel.

IV. Hydroclimatologie (Station d'Ain-Séfra)

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

L'étude climatique sera effectuée à partir des données météorologiques : températures et précipitations moyennes mensuelles de la station météorologique d'Ain Séfra, dont les caractéristiques sont représentées au tableau I. 3 suivant :

Tableau I. 3 : Caractéristique de la station météorologique d'Ain Séfra

Station	code	X m(UTM) 30S	Y m(UTM) 30 S	Altitude(Z)
Ain Séfra	605600	724838	3626956	1058 m

IV.1. Etude des températures

1.1. Températures moyennes annuels (Tableau I. 4)

Le tableau 4 et la figure I. 05, montrent que la température maximale durant cette période d'étude (33 années) a été observée en 2015/2016 avec une valeur de 20,38°C, par contre la plus faible est de 16.38°C enregistrée en 1991/1992. La moyenne de la série est de 18,2°C, donc notre série montre une variation régulière.

PREMIER CHAPITRE : GENERALITES

Tableau I. 4 : Variation interannuelle de la température (1982/1983-2015/2016).

Années	T Annuel (°C)	Années	T Annuel (°C)	Années	T Annuel (°C)
1982-1983	17,63	1994-1995	17,49	2006-2007	18,13
1983-1984	17,52	1995-1996	17,72	2007-2008	18,34
1984-1985	18	1996-1997	17,89	2008-2009	17,27
1985-1986	17,7	1997-1998	18,2	2009-2010	19,11
1986-1987	18,03	1998-1999	18,4	2010-2011	18,33
1987-1988	18,63	1999-2000	18,04	2011-2012	18,05
1988-1989	16,99	2000-2001	19	2012-2013	18,25
1989-1990	18,46	2001-2002	18,42	2013-2014	20,12
1990-1991	17,33	2002-2003	18,83	2014-2015	19,85
1991-1992	16,38	2003-2004	18,25	2015-2016	20,38
1992-1993	17,3	2004-2005	18,23	Température moyenne= 18.2°C	
1993-1994	18,07	2005-2006	18,71		

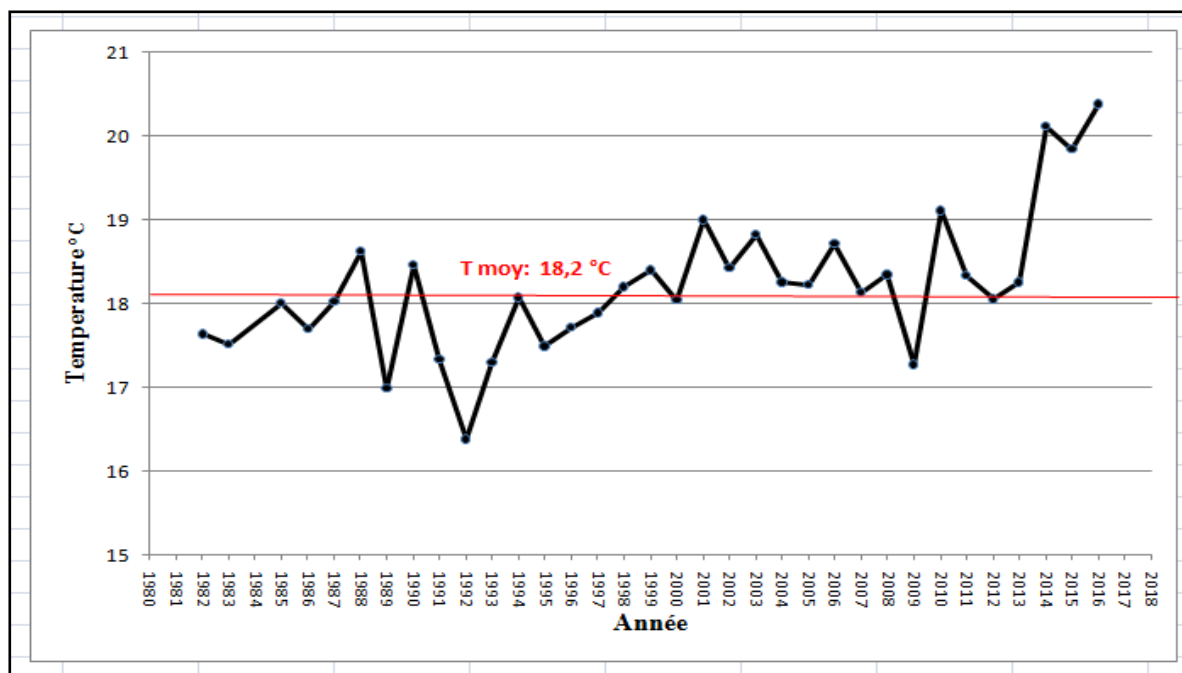


Fig. I. 05 :Variation interannuelle des températures à la station d’Ain Séfra (1982/1983-2015/2016).

1. 2. Températures mensuelles

Nous avons reporté dans le tableau.5 :

- Les moyennes mensuelles des maxima T_M en °C
- Les moyennes mensuelles des minima T_m en °C
- Les moyennes mensuelles des températures $(T_M + T_m)/2$ en °C

Tableau I. 5 : Valeurs moyennes mensuelles des températures à la station d'Ain Séfra durant la période (1982/1983-2015/2016)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T_M	31,2	26,87	18,9	13,95	14,47	15,25	19,05	25,22	29,45	32,87	36,07	35,95
T_m	18,97	14,32	7,17	3,27	3,22	4,85	6,25	12,45	15,9	19,5	24,1	24
T	25,09	20,595	13,035	8,61	8,845	10,05	12,65	18,835	22,675	26,19	30,09	29,975

Les variations des températures moyennes mensuelles à la station d'Ain Séfra sur une période de 33 ans (1982/1983-2015/2016) sont représentées sur la figure I. 6.

- Pour les moyennes des maxima, le maximum apparait au mois de Juillet ($36,07^\circ\text{C}$), puis les températures décroissent pour atteindre ($13,95^\circ\text{C}$) en Décembre.

- pour les moyennes des minima, la plus faible valeur se présente en Janvier ($3,22^\circ\text{C}$). Au-delà, on assiste à une augmentation de la température, le minimum le plus élevé se présente en Juillet ($24,1^\circ\text{C}$).

- Pour les températures moyennes, le minimum apparait au mois de Décembre ($8,61^\circ\text{C}$).le maximum se présente en Juillet ($30,09^\circ\text{C}$).

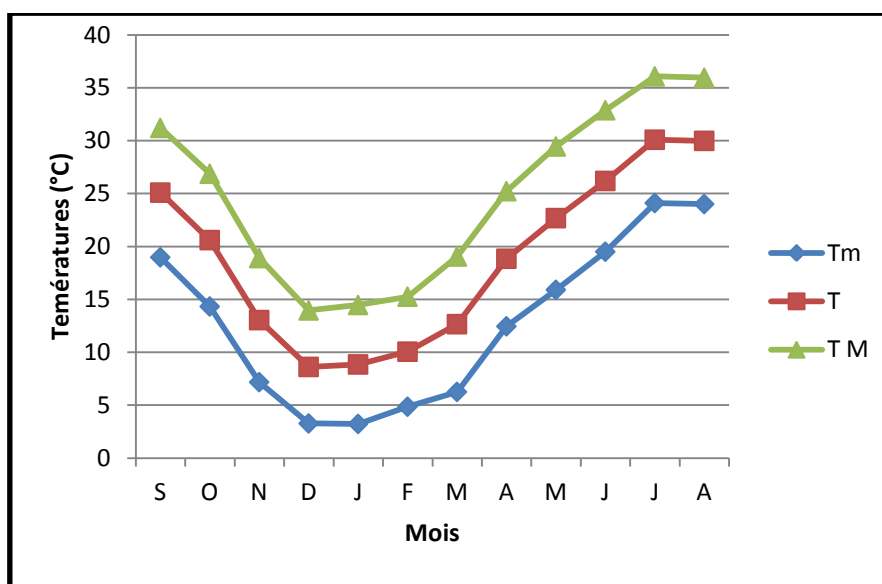


Fig. I. 06 : Variation des températures moyennes mensuelles à la station d'Ain Séfra

IV.2. Etude des précipitations

2.1. Précipitation annuelle

L'interprétation de la figure I. 07 et le tableau I. 6, montre que la plus faible valeur de précipitation en 1999-2000 avec 28,5mm, la valeur maximale en 2008-2009 avec 448,6mm et la moyenne enregistrée sur toute la série est d'environ 165,79mm.

Tableau I. 6 : Valeurs des précipitations moyennes annuelles à la station d'Ain Séfra (1982/1983-2015/2016).

Années	précipitation	Années	précipitation	Années	précipitation
1982-1983	51,1	1994-1995	222	2006-2007	155
1983-1984	43,2	1995-1996	172,8	2007-2008	302,1
1984-1985	36,3	1996-1997	124,8	2008-2009	448,6
1985-1986	111	1997-1998	115,9	2009-2010	216,9
1986-1987	175	1998-1999	34,1	2010-2011	212,4
1987-1988	110,4	1999-2000	28,5	2011-2012	230,9
1988-1989	165,3	2000-2001	236,8	2012-2013	220,2
1989-1990	258,3	2001-2002	134,7	2013-2014	142,26
1990-1991	351,3	2002-2003	160,1	2014-2015	205,75
1991-1992	119,2	2003-2004	203,5	2015-2016	137,5
1992-1993	124,3	2004-2005	91,7	Précipitation moyenne	
1993-1994	133,7	2005-2006	161,3	=165.79mm	

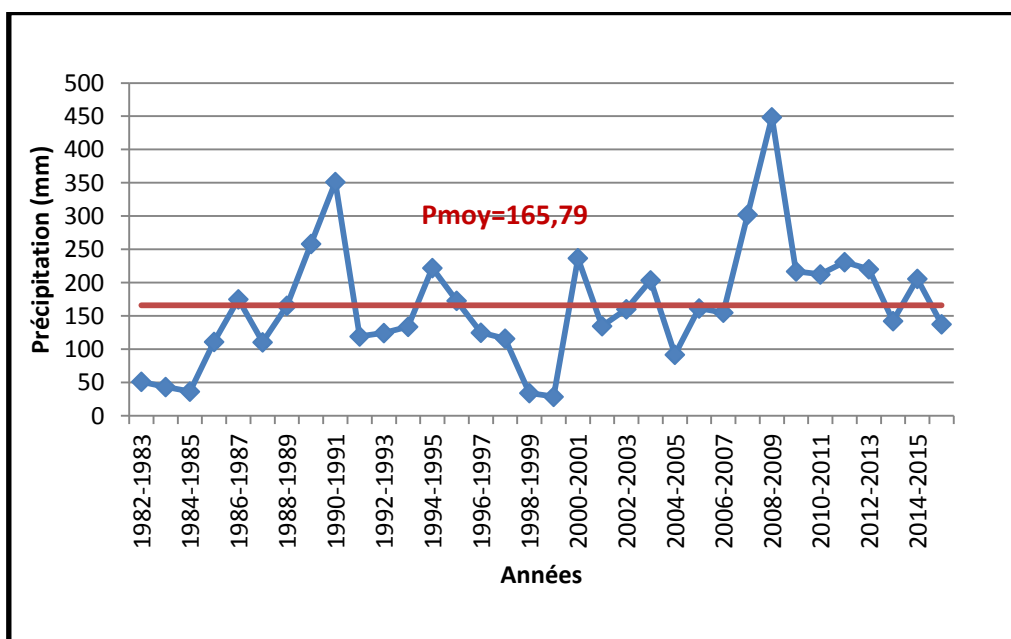


Figure I. 07: Variation des précipitations moyennes annuelles à la station d'Ain Séfra (1982/1983 – 2015/2016).

2. 2. Précipitation mensuelle

Tableau. I. 7 : Valeurs des précipitations moyennes mensuelles à la station d'Ain Séfra
(1982/1983-2015/2016).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Précipitation (mm)	14,5	21,29	32,91	13,57	9,87	13,84	9,28	5,07	16,58	4,77	4,02	14,88

A partir de l'histogramme qui représente l'évolution mensuelle des précipitations pendant la période: 1982/1983– 2015/2016, on observe une alternance entre des mois secs et des mois humides :

Les mois Secs : correspondent aux mois de Juin, Juillet et avril, sont marqués par une diminution importante des précipitations.

Les mois Humides : correspondent aux autres mois de l'année, où il y'a une alternance de mois humides avec certains mois peu secs (fig. I. 08),

Donc nous pouvons conclure que la pluviométrie est irrégulière dans le bassin étudié.

D'autre part, les mois les plus pluvieux sont Novembre (32.91mm), Octobre (21.29mm) et Mai (16.58 mm).

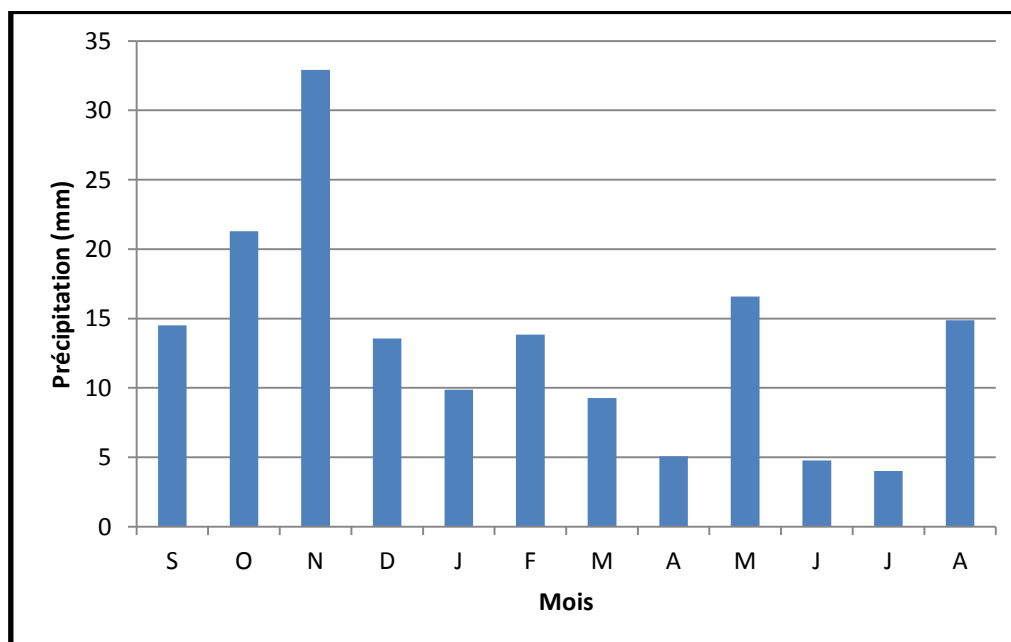


Fig. I. 08 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles à la station d'Ain Séfra
(1982/1983– 2015/2016).

V. Etude climatique

L'étude du climat nous a permis de caractériser le type de climat de la région étudiée grâce à des calculs et l'interprétation des indices climatiques (Tableau I. 8).

Tableau I. 8 : Valeurs des précipitations et des températures moyennes mensuelles (1982/1983-2015/2016).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P (mm)	14,5	21,29	32,91	13,57	9,87	13,84	9,28	5,07	16,58	4,77	4,02	14,88
T (°C)	25,09	20,6	13,04	8,61	8,845	10,05	12,65	18,84	22,68	26,19	30,09	29,98

V.1. Diagramme pluvio-thermique de Bagnouls et Gausse (Fig. I. 09)

Les diagrammes pluviométriques de Bagnouls et Gausse sont établis selon la relation $P=2T$, les précipitations sont reportées à l'échelle double des températures. Cette relation permet d'établir le diagramme pluviométrique sur la période (1982/1983 – 2015/2016).

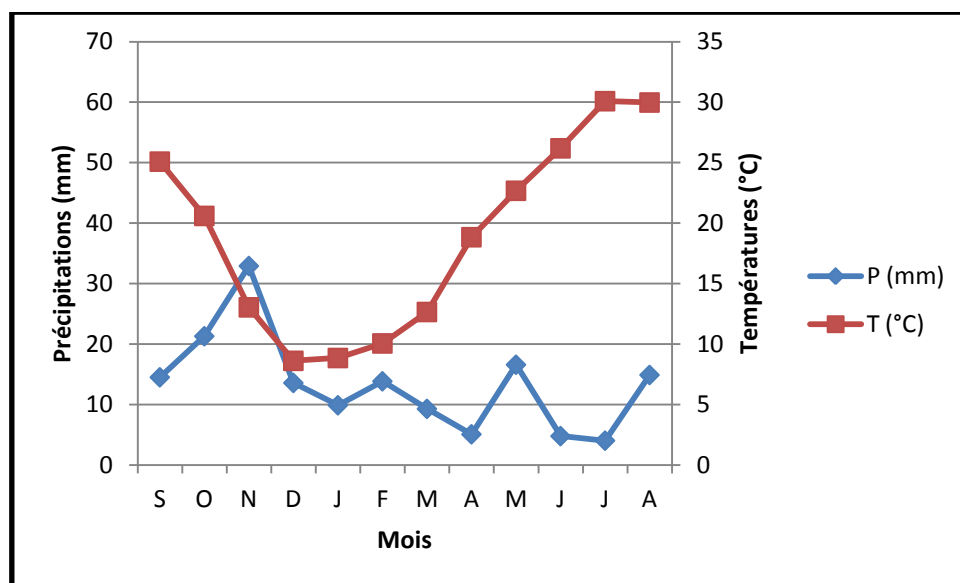


Fig. I. 09 : Diagramme pluvio-thermique de la station d'Ain Sefra (1982/1983– 2015/2016).

D'après le diagramme pluviométrique (fig. I. 09), nous remarquons que la courbe des températures se situe au-dessus de la courbe des précipitations ce qui indique une période sèche (déficitaire), et une période humide correspondante au mois de Novembre.

V.2. L'indice d'aridité de De. Martonne

2.1. L'indice d'aridité de De Martonne annuel (Tableau I. 9)

L'indice d'aridité annuel de De Martonne : défini par :

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

Où:

P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

T : Température moyenne annuelle (°C).

Tableau I. 9 : Indice d'aridité de De. Martonne (1982/1983-2015/2016).

P (mm)	T (°C)	I
165,79	18,2	5.87

Pour: $20 < I < 30$: climat tempéré

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

$7.5 < I < 10$: climat steppique

$5 < I < 7.5$: climat désertique

$I < 5$: climat hyper aride

L'indice I est égal à 5.87, donc la région présente un climat désertique (Fig. I. 10).

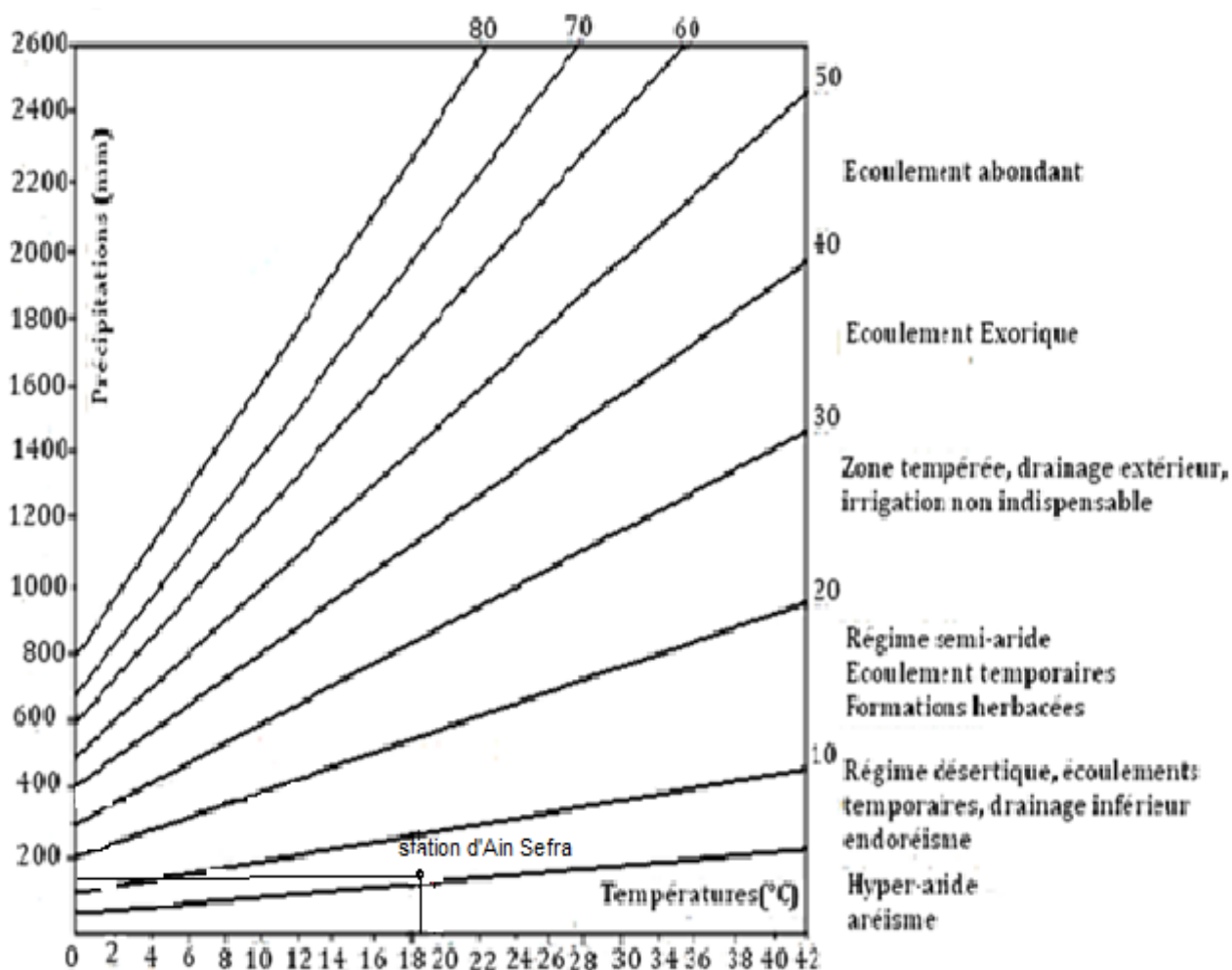


Fig. I. 10 : Abaque de l'indice d'aridité de De. Martonne, station d'Ain Séfra (1982/1983-2015/2016).

2. 2. Indice d'aridité mensuel (i) (tableau I. 10) : donné par la relation :

$$i=12p/(t+10)$$

Où p et t représentent respectivement les précipitations et la température moyennes du mois considéré.

Tableau I.10 : indice d'aridité mensuel

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T (°C)	25,09	20,60	13,04	8,61	8,85	10,05	12,65	18,84	22,68	26,19	30,09	29,98
P (mm)	14,50	21,29	32,91	13,57	9,87	13,84	9,28	5,07	16,58	4,77	4,02	14,88
i	4,96	8,35	17,14	8,75	6,28	8,28	4,92	2,11	6,09	1,58	1,20	4,47
type de climat	HA	S	SA	S	D	S	HA	HA	D	HA	HA	HA

D : désertique, SA : semi-aride, S : steppique, HA : hyper aride.

V.3. Indice de Moral(tableau I. 11)

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

$$I_M = P / (T^2 - 10T + 200)$$

Où:

P: Précipitations moyennes annuelles (mm).

T: Température moyenne annuelle (°C).

Tableau I. 11 : Indice annuel de Moral

P (mm)	T (°C)	IM
165.79	18,2	0.47

Si, $I_M < 1$ => climat sec, et si $I_M > 1$ => climat humide, dans ce cas $I_M = 0.47 < 1$, donc le climat dans la région d'Ain Séfra est sec.

**DEUXIEME CHAPITRE :
ETUDE GEOLOGIQUE**

DEUXIEME CHAPITRE : ETUDE GEOLOGIQUE

I. ETUDE GEOLOGIQUE

II. I. 1. GENERALITES

L'Algérie est subdivisée en deux domaines qui s'opposent par leur histoire et leur structure géologique :

- Un domaine septentrional ou l'Algérie du Nord : qui fait partie de la chaîne alpine, édifée au cours du Tertiaire et qui demeure encore instable aujourd'hui.
- L'Algérie saharienne : domaine relativement stable depuis la fin du Précambrien, constitué d'un socle déformé par les orogènes éburnéenne et panafricaine, d'une couverture paléozoïque affectée localement de plis hercyniens et d'une couverture méso-cénozoïque tabulaire.

La frontière entre ces deux domaines est délimitée par l'accident sud atlasique qui suit le revers sud de l'Atlas saharien.

Les Monts des Ksour appartiennent au premier domaine et font partie de l'Atlas Saharien.

La chaîne atlasique est formée d'un ensemble de reliefs alignés sur plus de 1000 km, depuis la terminaison orientale du Haut Atlas marocain jusqu'à la bordure occidentale des Aurès. Elle constitue une barrière topographique et climatique entre l'Algérie du Nord et le Sahara.

L'Atlas Saharien est limité au Sud par l'Accident Sud Atlasique allant d'Agadir au Maroc jusqu'à Gabès en Tunisie. Au Nord, par l'Accident Nord Atlasique, qui constitue une discontinuité tectonique.

Ritter (1902) a subdivisé l'Atlas Saharien en trois faisceaux de plis (fig. II.1):

- les Monts d'Ouled Nail à l'Est (Atlas Saharien Oriental)
- le Djebel Amour (Atlas Saharien Central)
- les Monts des Ksour à l'Ouest (Atlas Saharien Occidental).

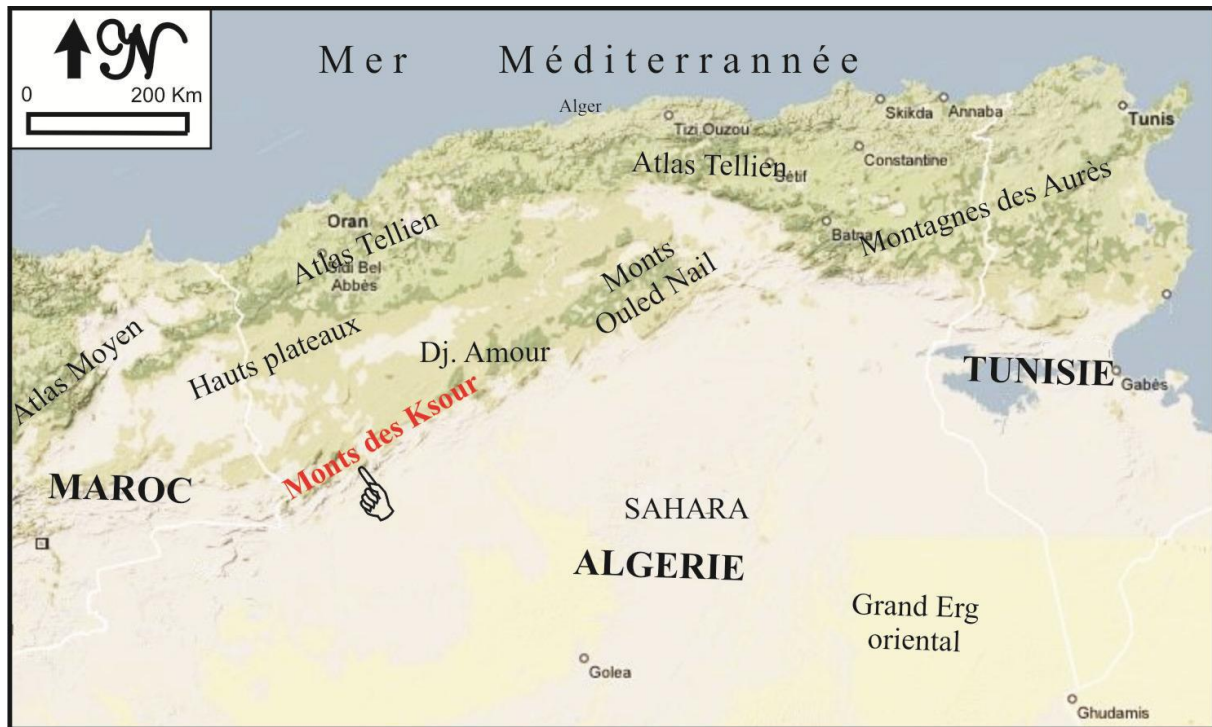


Fig. II.1 : Situation géographique des Monts des Ksour, dans l'Atlas Saharien Occidental

I.2. Cadre géologique des Mont des Ksour

L'Atlas saharien occidental, chaîne intracratonique plissée, lors de l'orogénèse atlasique, est séparé des hautes plaines oranaises au Nord par l'accident nord atlasique, de la plate forme 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.

La série stratigraphique de la région d'Ain Séfra s'étale de terrains allant du Trias au Quaternaire. L'allure en échelon, la configuration des anticlinaux allongés, coffrés à flancs redressés, déversés, d'axe sensiblement parallèle à la direction de la chaîne et les synclinaux perchés à fond large représentent 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 (DOUIHASNI, 1976). Cette phase atlasique est datée fin Lutétien-Priabonien (COIFFAIT et al, 1984).

I.3. Lithostratigraphie des Monts des Ksour

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

- Des argiles versicolores à gypse, surmontés par du sel d'épaisseur importante à Ain Ouarka, recoupés par des roches vertes à texture ophitique.
- Un ensemble carbonaté où apparaissent des marnes en alternance avec des calcaires au sommet (Lias – Aalénien).
- Un ensemble détritique argilo-gréseux, avec des niveaux carbonatés plus ou moins importants en intercalation dans les argiles (Bajocien inférieur à Bathonien inférieur).
- Un ensemble détritique argilo-gréseux, à la base surmonté par des grès massifs (Bathonien-Callovien à Albien).
- Des argiles à bancs gréseux et dolomitiques puis à gypses surmontés de calcaires et de marnes (Vraconien, Cénomaniens à Turonien).

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

3.1. Trias

Le Trias diapirique se compose d'argile bariolé versicolore, d'évaporite et de carbonates noirâtres. Il affleure à Ain Ouarka, Djenien Bourezg, El Hendjir, NW d'El Rhoundjaïa, Koudiat Tiourtalt, Djebel Mélah, 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 diapirique d'Ain Ouarka se compose de:

- un ensemble évaporitique gypso salin,
- argiles bariolées versicolores (violette, rouge, vertes),
- argiles violettes à barres gréseuses et traînées de sels,
- carbonates noirâtres déformés à traînées de sel,

DEUXIEME CHAPITRE : ETUDE GEOLOGIQUE

Les basaltes à texture ophitiques (Meddah, 1998 ; Mekki et Bendine, 2014), 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.

Les principaux affleurements sont observés en extrusion, généralement le long des failles, favorisant ainsi sa remontée au niveau des anticlinaux.

3.2. Lias

D'une épaisseur moyenne de 800 m, il est formé par des calcaires et des marnes. Il occupe la majeure partie de l'Atlas Saharien Occidental. Cette série a été décrite à Djebel Chémariikh par J.P Bassoulet (1973), M.Douihassni (1973), R.Ait Ouali (1990), L.Mekahli(1995), A. Kacemi (2013).

3.3. Le Dogger :

Il se présente sous des faciès variés, de sillon et de plateforme. Il est formé de marnes, de calcaires récifaux, de dolomies et de grès. Il regroupe les formations de Teniet Klakh, Tikhrit et celle de Djara.

3.4. Jurassique supérieur-Crétacé inférieur

Constitué d'un ensemble détritico-évaporitique puissant d'une épaisseur de 2500 m. J.P Bassoulet (1973) l'a subdivisé en 03 grandes unités lithostratigraphiques

3.4.1. La formation d'Aïssa :

Formée d'une alternance de grès massifs rosâtres à stratifications obliques et d'argiles pélitiques violettes, avec une abondance des argiles à la base de la formation.

Cette formation a été localisée essentiellement à Djebel Aïssa et Mekther.

3.4.2. La « Formation de Tiloula » :

Définie par J.P Bassoulet (1973) localisée généralement à Tiloula en aval de Djebel Aïssa et à l'ouest de Tiourtalt

Subdivisée en 02 ensembles, un inférieur et un supérieur, elle est constituée d'argiles pélitiques versicolores, de grès de couleur claire, de petits bancs de dolomies et de rares lits gypseux.

DEUXIEME CHAPITRE : ETUDE GEOLOGIQUE

3.4.3. La « Formation de Tiout » :

Cette formation à sédimentation détritique, a été définie au nom du village de Tiout par J.P Bassoulet (1973), et est attribuée au Barrémo-Albo-Aptien, et appelée aussi « groupe de grès à dragées » par Douihasni (1976).

D'une épaisseur moyenne de 1065m (A. Kacemi, 2005), cette masse principale de grès présente un faciès assez caractéristique, toujours bien différencié des autres formations gréseuses (fig. II. 2).

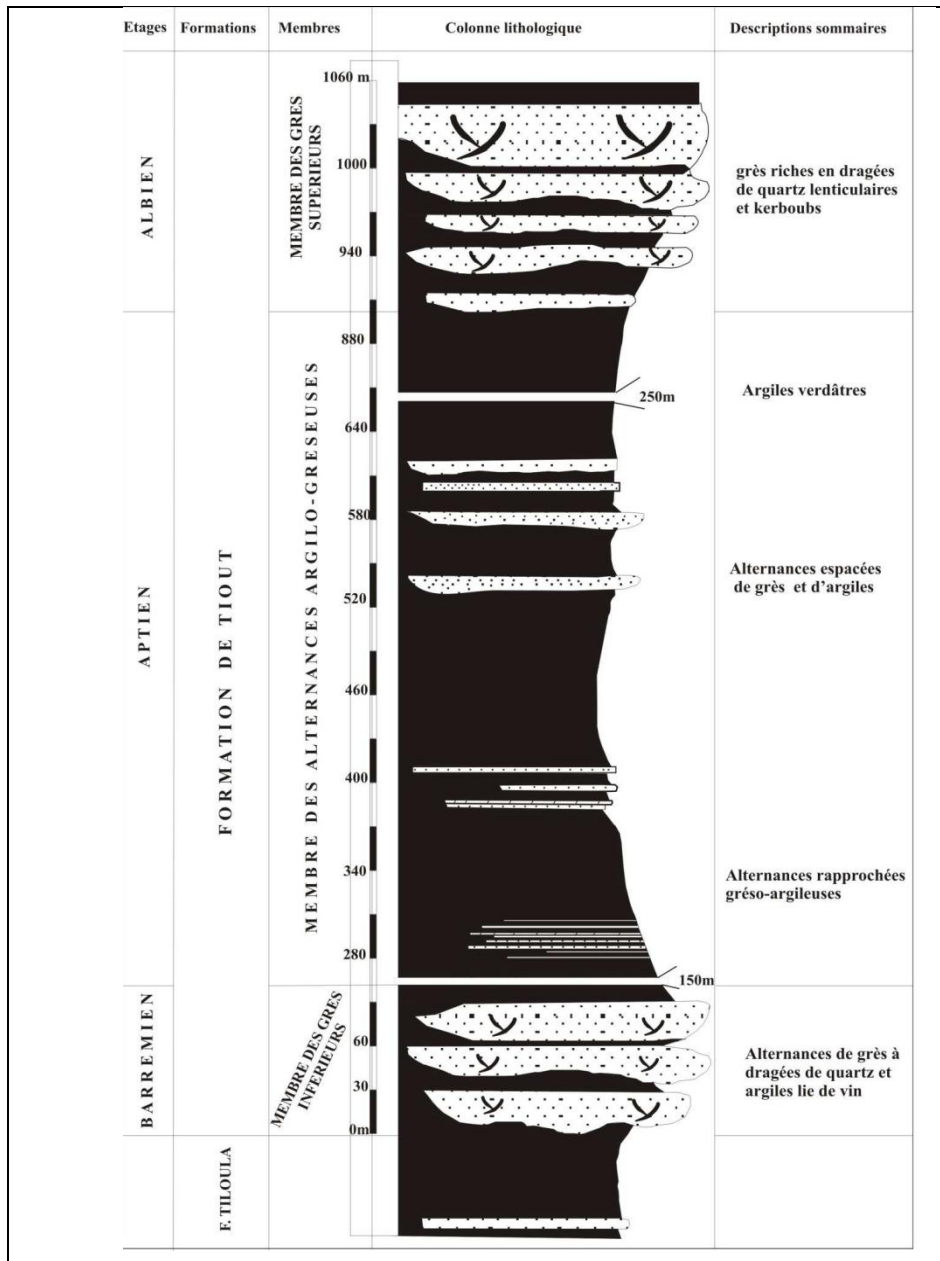


Fig. II. 2 : Coupe de la « Formation de Tiout » (Kacemi 2013)

DEUXIEME CHAPITRE : ETUDE GEOLOGIQUE

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

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

Cette formation se divise en trois membres (inférieur - médian – supérieur).

Constituant l'ensemble des affleurements des synclinaux de Garet Kheil–Skhouna–Slih–Maader. Cette formation fait l'objet de notre étude (Fig. II. 2).

3.5. Vracono - Cénomano -Turonien (Formations de Rhelida, Medaouar et Rhoundjaïa)

Il est formé par :

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

Ces trois ensembles forment les affleurements de tous les synclinaux perchés des Monts des Ksour ; en particulier le Djebel Rhoundjaïa (Ain Ouarka), Safret El Djir à proximité d'El Hendjir et Djebel Medaouar au SE d'Aïn Ouarka.

3.6. Formations continentales post Turoniennes

Il est constitué par des dépôts continentaux ou lagunaires attribués au Tertiaire et au Quaternaire, JP. Bassoulet, (1973) et M. Douihasni (1976).

Cette formation comporte :

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

- une formation épaisse rapportée au Pliocène formée de conglomérats hétérométriques appelés « poudingues de Ksour ».

Une croûte horizontale de 1 à 2m d'épaisseur constituée de calcaires blanchâtres.

3.7. Quaternaire

Les formations quaternaires sont constituées par plusieurs types de dépôts :

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

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

- **Colluvions de piémonts** : constitués de cailloutis formant les brèches de pente.

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

- **Alluvions récentes** : Sont constituées de sables, et jalonnent les lits des Oueds.

- **Formations éoliennes** : Elles sont assez répandues dans la région d'Ain Séfra. Ces accumulations sableuses constituent les dunes qui jalonnent la partie Nord et Nord-Est du Djebel Mekther.

II. Aperçu structural

L'Atlas saharien fait partie du domaine atlasique, c'est une chaîne intracratonique de direction SW-NE formée par un relief plissé, il s'agit d'une ancienne zone de subsidence qui a subi une longue période tectonique complexe. Il s'étend du Maroc à l'Ouest jusqu'en Tunisie à l'Est. Il est situé entre deux domaines stables ; les Hautes plaines au nord et la plate-forme saharienne au sud.

Les Monts des Ksour sont limités par deux accidents (fig. II. 3)

➤ L'Accident nord atlasique :

D'après Galmier (1951-1976) c'est la limite qui sépare le domaine atlasique et les hautes plaines oranaises, cet accident correspond à un tracé tectonique discontinu et à un changement rapide de la direction N 45 qui affecte l'Atlas saharien depuis Djebel Dough à la frontière Algéro-marocaine au SW de Forthassa Gharbia jusqu'à Djebel Antar à Mécheria au NE Djebel Dough.

Cet accident est défini par (Kazi Tani, 1986) comme l'accident sud mésétien.

Plus au NE, cet accident se trouve ramener sur le flanc Ouest de Djebel Antar ou une autre ligne tectonique EW semble le déplacer vers l'Est, linéament Ouest-Est. (Fig. II.3).

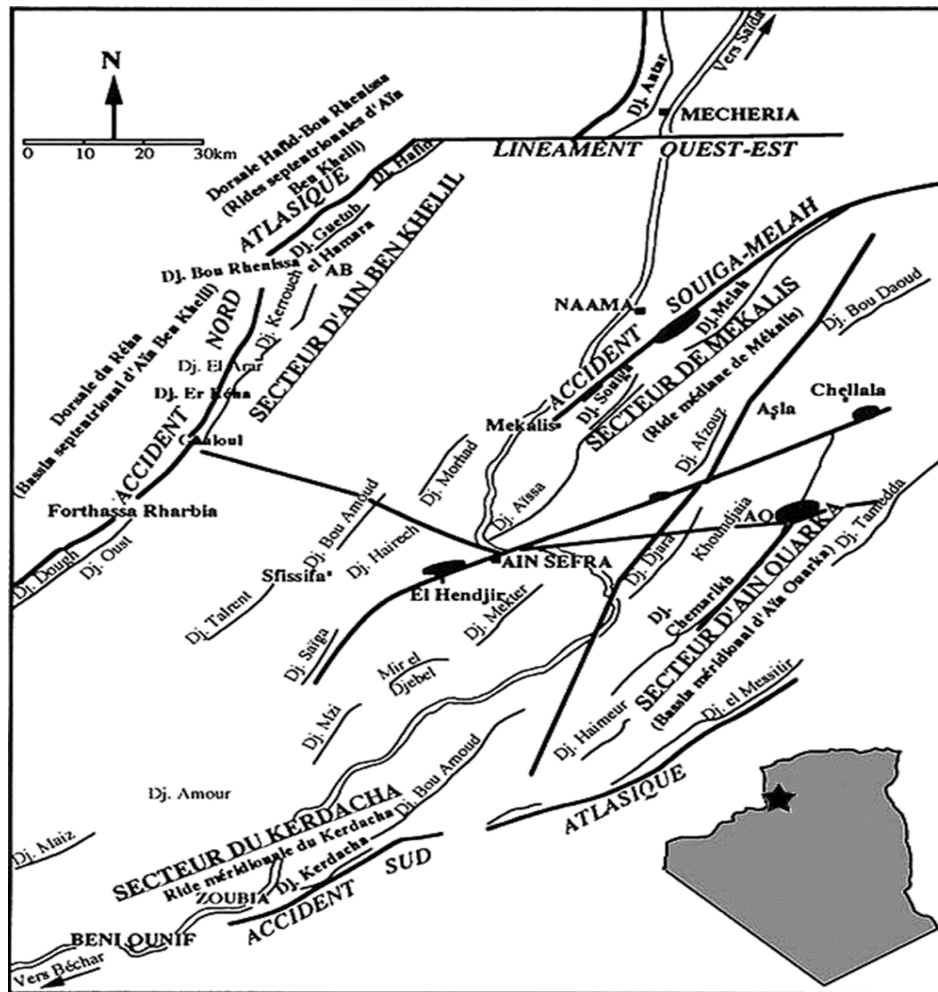


Fig. II. 3 : Les grandes coupures tectoniques des Monts des Ksour
(D'après L. MEKAHLI, 1998).

➤ L'Accident sud atlasique

D'après (Laffitte, 1939), c'est la « flexure saharienne », c'est une limite qui sépare l'Atlas saharien et de la plate-forme saharienne, elle est bien marquée dans la nature sous forme d'une ligne qui présente des séries d'accidents.

Au terme de Galmier, 1970, c'est l'accident Nord saharien allant d'Agadir au Maroc jusqu'à Gabes en Tunisie.

A l'encontre, comme on a vu dans les généralités, dans les travaux d'une étude de Ritter en 1902, une subdivision de l'Atlas saharien a distingué trois faisceaux de plis, le plus à l'ouest c'est l'Atlas saharien occidental ou Monts des Ksour (Aïn Séfra) :

DEUXIEME CHAPITRE : ETUDE GEOLOGIQUE

L'Atlas saharien occidental (ou Monts des Ksour) présente une structure typiquement jurassienne ou atlasique, avec des plis orientés généralement SW-NE. Il s'agit de plis droits, cylindriques, coffrés (Djebel Boulerhfad) ou étroits (Dj. Djara), parfois coniques (Djebel Mekther). Ces structures sont constituées d'anticlinaux pincés à flancs parfois redressés ou déversés en quelques endroits (Dj. Djara ou Dj. Boulerhfad), alternant avec des synclinaux à fond plat (synclinal de Tiout, synclinal de Skhouna). Cette région est recoupée par d'importants accidents cassants, d'orientation multidirectionnelles SW-NE à SE-NW qui ont joué en décrochement dextres ou senestres ou en failles inverses ou normales.

Notre région d'étude est constituée d'un style tectonique plus cassant relativement au secteur oriental (région d'Aïn Ouarka). Les accidents sont de direction E-W, NE-SW et NW-SE. Leurs jeux simultanés en décrochements et en failles normales entraînent la naissance puis l'approfondissement des bassins en « mégafentes » (Kazi Tani, 1986), ou en « pull apart » (Ait Ouali 1990) ; (Mekahli 1995) (Kacemi, 2013) au Jurassique inférieur et moyen. Les failles inverses et les décrochements témoignent d'une tectonique inverse créant des synclinaux et des anticlinaux jalonnées parfois par des pointements diapiriques qui apparaissent aux cœurs de ces derniers (Djebel Djara, Boulerhfad) (Douihasni, 1976 ; Meddah, 1998) (Kacemi, 2013) (fig. II. 3).

La configuration des anticlinaux allongés, coffrés ou étroits et de synclinaux à fonds plats et larges représente le style atlasique caractérisé par le niveau structural moyen ; c'est le domaine des plis isopaques (Douihasni, 1976). Le style se reconnaît aussi par la discontinuité des anticlinaux donnant une disposition en « chenilles processionnaires » (in Kacemi, Ritter 1902).

Les plis ont tendance à être légèrement déjetés vers le SE et sont à axes horizontaux, parfois plongeants soit vers le sud-ouest ou vers le nord-est Ardallah & Belhadj, 2008 ; Ouahib et Smahi, 2008 ; Abdellali & Benkerrache, 2011 ; Kacemi et al, 2013.

III. Géologie du synclinal de Skhouna–Hammar

1. Etude géologique du secteur « Skhouna - Hammar »

La région d'étude est située dans l'un des synclinaux de la région d'Aïn Séfra, d'une structure orientée SW – NE, qui s'étale de Benhandjir à Aïn Séfra (voir carte géologique fig. II. 4), où les couches sont majoritairement représentées par les grès du Crétacé inférieur. Le flanc Sud-Est étant fortement masqué par les dunes. La limite Sud-Ouest est bien marquée. Il

DEUXIEME CHAPITRE : ETUDE GEOLOGIQUE

s'agit de la zone disloquée Nord-Sud renfermant des basaltes à textures ophitiques du Trias d'El Hendjir (Meddah, 1998 ; Mekki&Bendine, 2014).

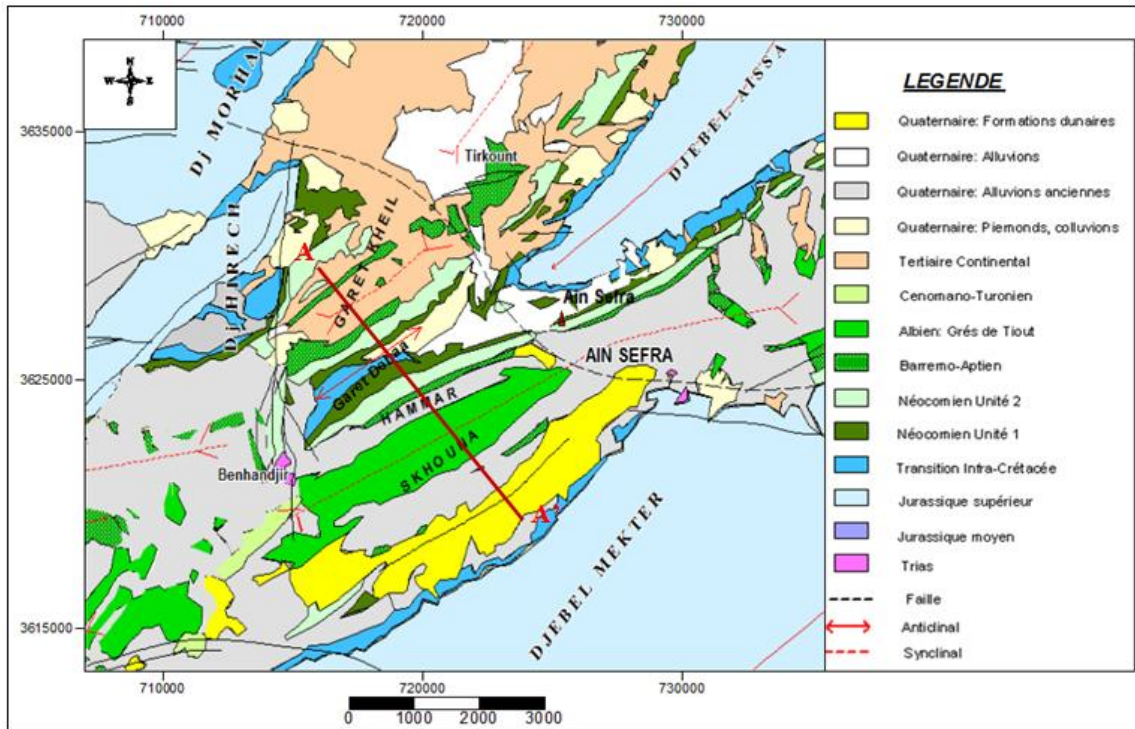


Fig. II. 4 : Carte géologique de la région d'Aïn Séfra (Galmier 1972 –digitalisée)

Deux anticlinaux l'un au Nord (Garet Debaa) et l'autre au Sud (Djebel Mekther) encadrent le synclinal.

2. Etude lithostratigraphique du synclinal (secteur d'étude)

La structure de la région se présente comme suit coupe A-A' (fig. II. 5)

On distingue du Nord-Ouest au Sud-Est deux synclinaux séparés par un anticlinal échancré « Garet Deba - DirHirech » :

- le synclinal à fond plat de Garet Kheil
- L'anticlinal de Garet Debaa- DirHirech, qui est un prolongement vers l'Ouest de Djebel Aïssa (Ardallah & Belhadj, 2008).
- le synclinal Skhoua au SE

DEUXIEME CHAPITRE : ETUDE GEOLOGIQUE

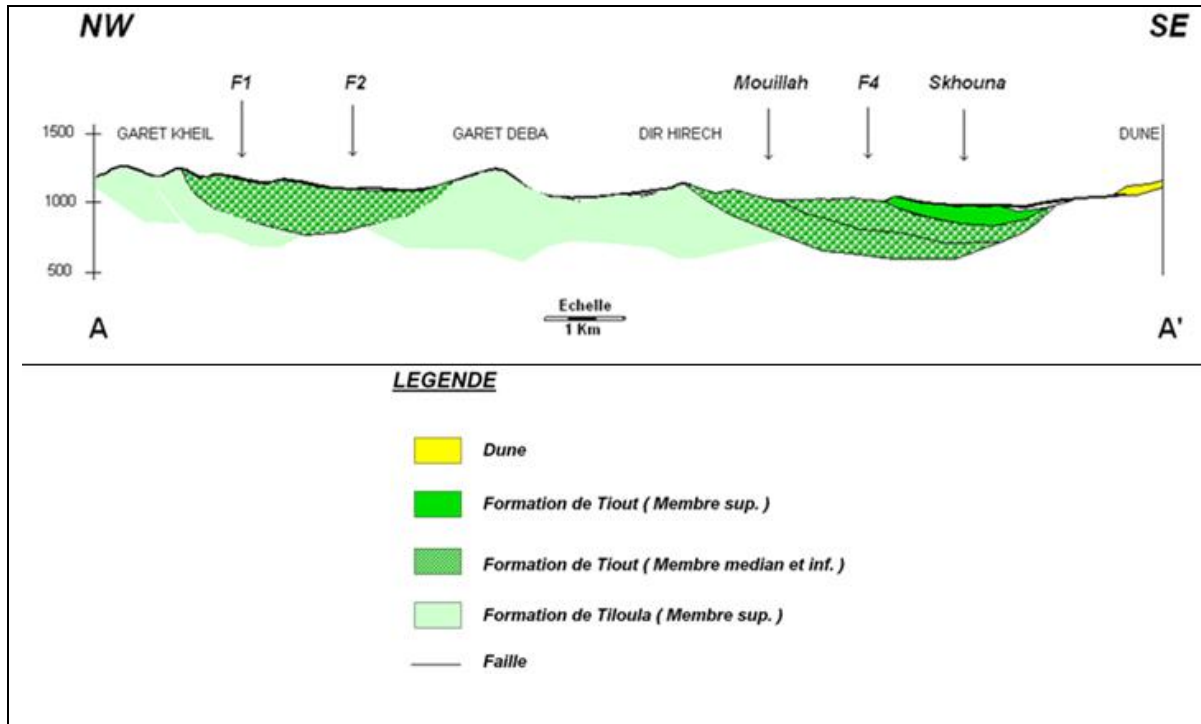


Fig. II. 5 : Coupe géologique Gareit Kheil – Skhouana (RAHMANI, 2010).

Le secteur d'étude est d'âge « Infra Crétacé - Crétacé inférieur ». Il regroupe les formations de Tiloula et de Tiout sur plus de 2000 m de sédiments, caractérisé par des dépôts généralement continentaux.

3.1. Le passage Jurassique – Crétacé

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

2- Le Crétacé inférieur

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

D'une épaisseur moyenne de 1065m (Kacemi 2005, 2013), cette masse principale de grès présente un faciès très caractéristique, toujours différenciable des autres étages gréseux.

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

DEUXIEME CHAPITRE : ETUDE GEOLOGIQUE

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

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

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

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

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

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

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

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

Cette formation occupe le cœur du synclinal de Skhouna.

3. Le Quaternaire :

Formé d'alluvions récentes constituées de sables, et jalonnent les lits des Oueds (Breidj et Tirkount), et de *formations éoliennes* assez répandues dans la région d'Ain Séfra. Ces accumulations sableuses constituent la principale dune qui jalonne la partie Nord et Nord-Est du Djebel Mekther.

TROISIEME CHAPITRE :
GEOPHYSIQUE & HYDROGEOLOGIE

I. Etude géophysique

Dans les années précédentes, l'intervention de la prospection géophysique en hydrogéologie se limitait généralement à la détermination des meilleurs emplacements de forage dans des zones assez limitées, voisines des centres d'utilisation (villes, usines). Le rapide accroissement des besoins et industriels et le développement de l'irrigation ont entraîné une exploitation intensive de certaines nappes.

La géophysique appliquée à l'hydrogéologie occupe aujourd'hui une place plus grande au détriment de la technologie classique :

Prospection géologique, enquête de points d'eau, forages de reconnaissance et d'exploration, essai de débit, analyses chimique, etc..., assurant à la fois un gain de temps et d'argent car l'hydrogéologie s'est toujours vu accusée de recherches trop logues et onéreuses et il en a longtemps fait un complexe vis à des tenants et maîtres de l'eau de surface.

L'objet de la prospection géophysique est de connaître l'emplacement du substratum imperméable, l'épaisseur de l'aquifère ainsi que de chercher le meilleur endroit pour réaliser un ouvrage d'exploitation d'eau.

La méthode utilisée est celle de la prospection électrique.

1. Sondage électrique

Les sondages électriques mis en œuvre sont généralement de type Schlumberger ; on effectue une succession de mesures avec un dispositif d'émission AB de longueur croissante. A et B sont écartés progressivement de part et d'autre des électrodes de potentiel M et N du point central O. La profondeur d'investigation est non seulement liée à la longueur AB mais aussi à la configuration du sous-sol (structures et contrastes de résistivité entre les différentes unités). En reportant sur un diagramme bi logarithmique les résistivités apparentes calculées en fonction de la largeur AB/2. On obtient une courbe caractéristique du sondage électrique réalisé.

2. Principe

La méthode de prospection électrique a pour objet de déterminer les propriétés des sols par la mesure de leurs résistivités, « ρ », qui s'exprime en Ohmmètre ($\Omega.m$). La résistivité des formations varie de quelques $\Omega.m$ pour les vases ou les argiles vaseuses, à quelques dizaines

TROISIEME CHAPITRE : GEOPHYSIQUE & HYDROGEOLOGIE

d' Ω .m pour les argiles et les marnes, et à plusieurs centaines d' Ω .m pour les calcaires et les granites.

En injectant un courant continu dans le sol à l'aide de deux électrodes A et B (électrodes de courant ou d'émission), on mesure la différence de potentiel V par 2 autres électrodes M et N (électrodes de potentiel).

Le dispositif utilisé est le quadripôle de Schlumberger (les 4 électrodes sont disposées sur un même alignement. La distance MN est petite par rapport à la distance AB. En général.

L'opération permet de déduire la résistivité apparente du terrain ρ_a obtenue par la relation $\rho_a = K \cdot V/I$, ou K est un coefficient du dispositif adopté.

Le sondage électrique qui a été inventé en 1912 par Conrad Schlumberger, permet de mesurer la résistivité apparente en écartant progressivement les électrodes A et B au centre, donc en augmentant la profondeur d'investigation à la verticale de la station de mesure. En reportant sur un diagramme bi logarithmique les résistivités apparentes calculées en fonction de la largeur AB/2. On obtient une courbe caractéristique du sondage électrique réalisé.

Des interprétations générales peuvent parfois conduire à une bonne amélioration de la connaissance géométrique des formations par corrélation avec les levés géologique et les résultats du sondage.

3. Les travaux réalisés

Pour cela une étude géophysique a été réalisée en 1974 dans la région d'Aïn Séfra par la Compagnie Générale de la Géophysique (C.G.G).

Elle consistait à l'étude de l'importance et l'extension des niveaux grossiers, sables, grès et conglomérats des terrains susceptibles d'être aquifères. La longueur de ligne a été choisie en AB = 4000 m, de façon à atteindre dans la mesure du possible les formations jurassiques dans le cœur des bassins.

La carte du toit du jurassique (Fig. III.1.) met en évidence la faille de «**Ras Touil–Aïn Séfra**» et l'anticlinal médian celui de (Garet Deba - Dir Haïrech) au Sud qui est le prolongement de Djebel Aïssa vers le SW.

L'interprétation des résultats du sondage électrique devait préciser :

- La nature et la géométrie des formations argileux-gréseuses du Barremo-Albo-Aptien.

- La continuité et l'allure des niveaux argileux-gréseux.

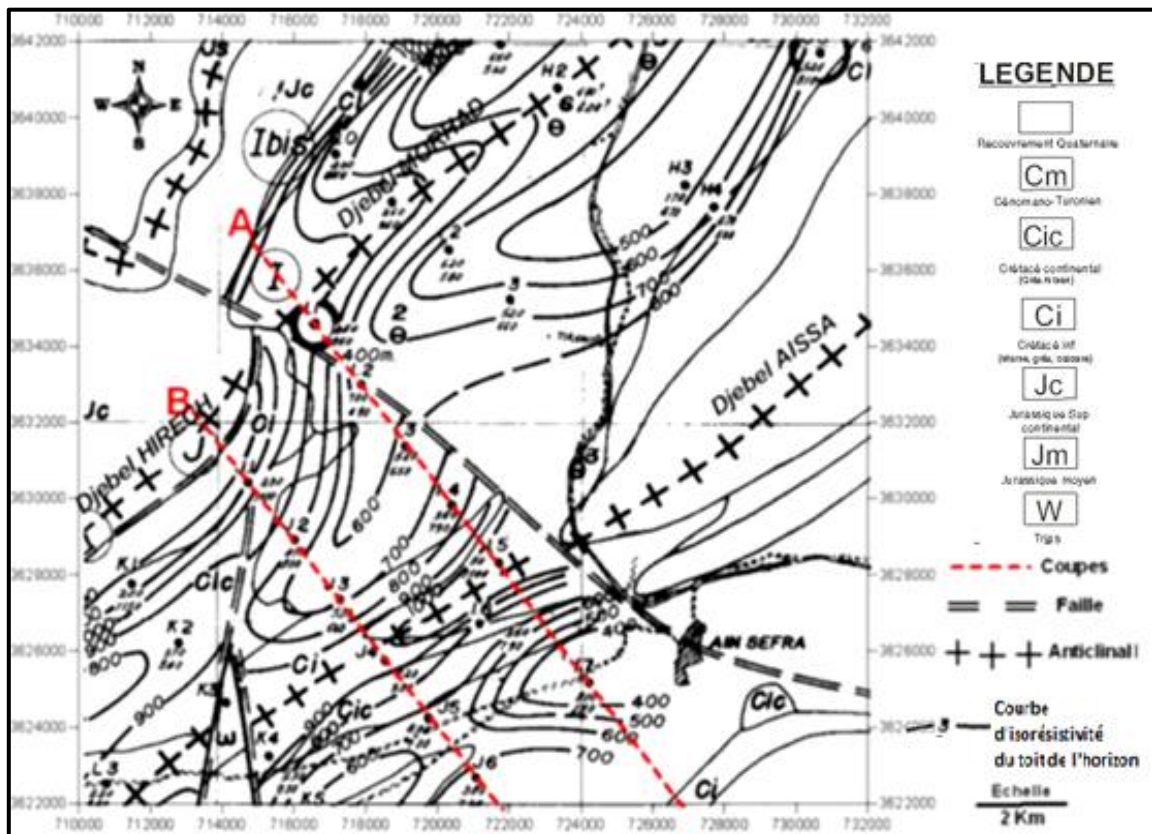


Fig. III. 1 : Carte géophysique du toit du Jurassique (CGG, 1974).

D'après les coupes géoelectriques (Fig. III.2), l'épaisseur du crétacé inférieur dans la région atteint 800m. Les coupes (A et B) montrent la structure générale de notre secteur d'étude

A la base (hachures verticales) c'est le toit du Jurassique, il est constitué par le membre supérieure de la «formation de Aïssa». Il est essentiellement gréseux (grès supérieurs de Aïssa) (A. Kacemi, 2005) d'une résistivité de 200 à 300 $\Omega.m$, surmonté par le membre inférieur et le membre supérieur de la formation de Tiloula (la résistivité est inférieure à 50 $\Omega.m$). Les deux formations (celle d'Aïssa et de Tiloula) sont surmontées par le membre inférieur, le membre médian et le membre supérieur de la « formation de Tiout » dont la résistivité est comprise entre 100 et 200 $\Omega.m$. Le membre médian de la Formation de Tiout est argileux.

La faille présentée dans les deux coupes est une faille normale de direction moyenne N150E (Ardallah et Belhadj, 2008). Elle recoupe transversalement deux grandes structures anticlinales, orientées SW-NE, celle de Djebel Haïrech – Morghad à l'Ouest et celle de Dir Haïrech-Garet Deba – Dj. Aïssa à l'Est. Ces deux grands anticlinaux à sédimentation

TROISIEME CHAPITRE : GEOPHYSIQUE & HYDROGEOLOGIE

détritique et terrigène d'âge jurassique supérieur sont séparés par un grand et large synclinal à sédimentation aussi détritique et terrigène mais d'âge crétacé inférieur celui de Tirkount-Garet El Kheïl (M. Kacemi, 2014).

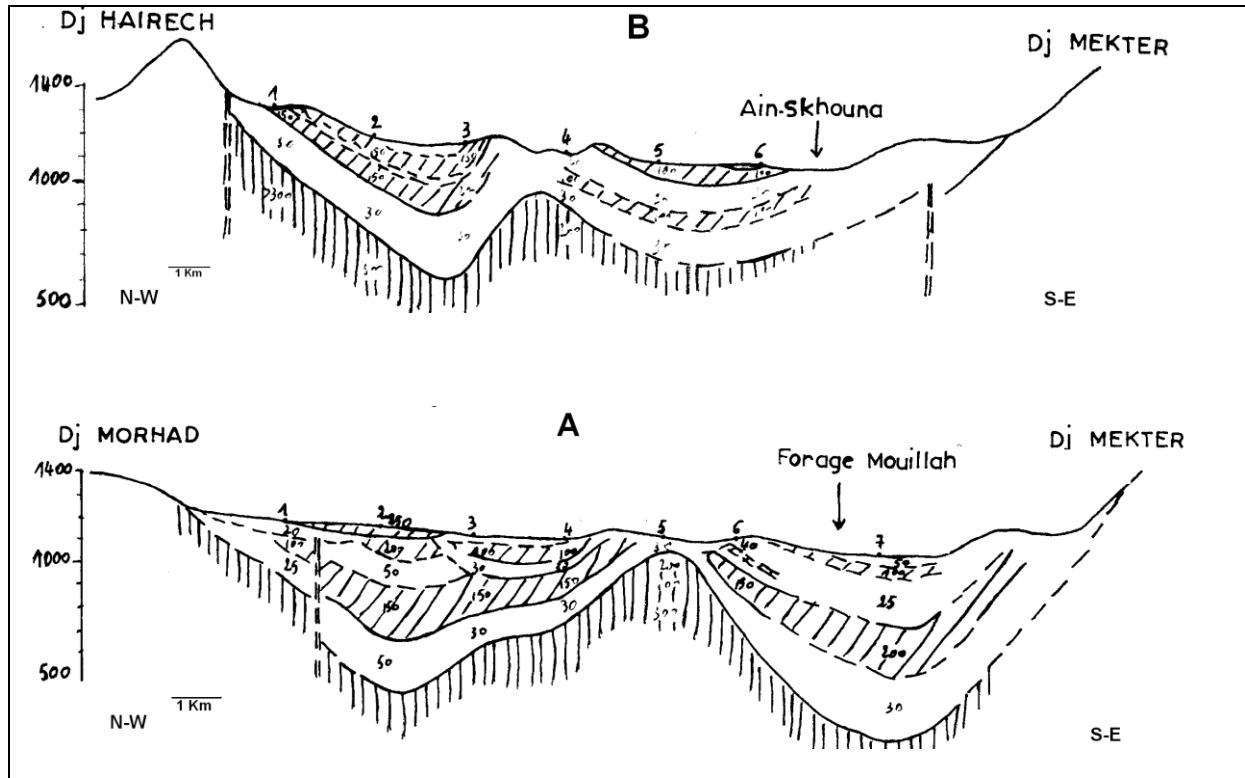


Fig. III. 2 : Coupes géoelectriques (CGG 1974)

II. Etude hydrogéologique

II.1. Aperçu sur l'hydrogéologie régionale

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

L'étude sur les propriétés hydrodynamiques 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 hydrodynamique de la nappe.

La région est caractérisée par une série de synclinaux plus ou moins parallèles de direction générale Sud Ouest – Nord Est. Ils contiennent des formations à lithologie gréseuse dominante et sont souvent entrecoupées de bancs marneux ou quartzeux compacts. Leur perméabilité reste importante dans l'ensemble.

On peut distinguer les niveaux aquifères suivants :

TROISIEME CHAPITRE : GEOPHYSIQUE & HYDROGEOLOGIE

1.1. Nappe du Jurassique

Cette unité hydrogéologique, à porosité d'interstice et de fissure été mise en évidence dans les régions de Sfisifa et Moghrar par des forages d'exploitation captant les grès du Jurassique supérieur, donnant des débits importants et une qualité physico-chimique très bonne.

1.2. Nappe du Barrémien-Aptien-Albien

Cette formation se présente comme un réservoir assez important d'eaux souterraines exploité par un grand nombre de points d'eau.

Occupant généralement les dépressions topographiques, facteur qui favorise l'alimentation de la nappe par les eaux de pluie et de ruissellement. Il y a aussi l'alimentation par drainance, du fait que le système aquifère repose directement sur les formations gréseuses du Jurassique supérieur affleurant sur les piémonts des Djebels, Aïssa, Morghad, Haïrech , Mekther, Bouamoud etc...(A. Rahmani, 2010).

À porosité d'interstices et de fissures, intercalés par des passées argileuses rougeâtres, lui conférant une semi captivité de la nappe.

Les grosses sources de la région constituent les exutoires naturels de cette nappe :

- Aïn Tirkount : pour Garet El Kheil
- Aïn Skhouna et D'Zira : pour El Hammar et Skhouna
- Aïn Chaïb et Tiout : pour El Matlag et El Maâder.

Elles émergent d'un niveau aquifère contenu dans la masse des grès, qui structurellement forment un synclinal d'une direction SW-NE (synclinal de Skhouna et celui d'El Maâder).

Les émergences apparaissent dans les couches de base sur les flancs des synclinaux, et se présentent comme une multitude d'écoulements le long des oueds Tirkount, El Braidj et Tiout.

1.3. Nappe du Quaternaire

Les dépôts alluvionnaires : des principaux oueds constituent de bons réservoirs lorsque leur étendue et leur puissance sont importantes.

Les dépôts dunaires : la dune d'Ain Séfra contient elle aussi une nappe aquifère qui se manifeste par quelques sources pérennes au bord de la ville (source de la dune). La nappe

dunaire est en communication avec celle des terrasses, qu'elle doit suralimenter en certaines périodes (A. RAHMANI, 2018).

II. 2 Cadre hydrogéologique du secteur d'étude

Les faciès qui prédominent largement dans cette région, sont les formations gréseuses souvent intercalées par des bancs argileux.

La coupe hydrogéologique schématique établie sur la base de l'étude géophysique (CGG 1974), montre l'existence de 02 systèmes aquifères. (Fig. III.2) :

2.1. Les grès du Jurassique supérieur

Cet aquifère n'a pas pu être mis en évidence dans le secteur d'étude, par manque de forage de reconnaissance, du fait que sa profondeur au cœur des cuvettes synclinales se trouve à plus de 400 m (Coupe B, FIG. III.2).

2. Les grès massifs du Crétacé inférieur (Fig. III. 3, 4 et 5)

C'est dans ces grès aquifères que les ressources en eau sont les plus importantes. Ce sont les grès massifs de la « Formation de Tiout » à porosité d'interstices et de fissures, intercalés par des passées argileuses rougeâtres, lui conférant une semi captivité de la nappe.

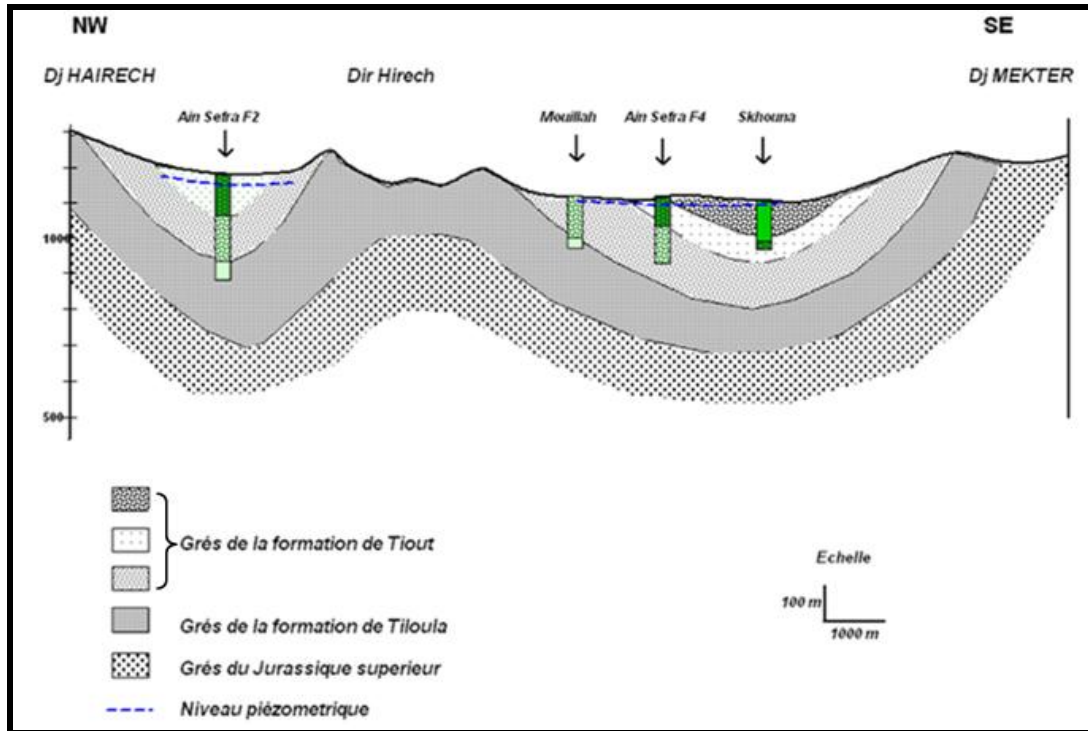


Fig. III. 3 : Coupe hydrogéologique schématique Djebel Haïrech – Dir Haïrech – Djebel Mekther (A. RAHMANI 2010).

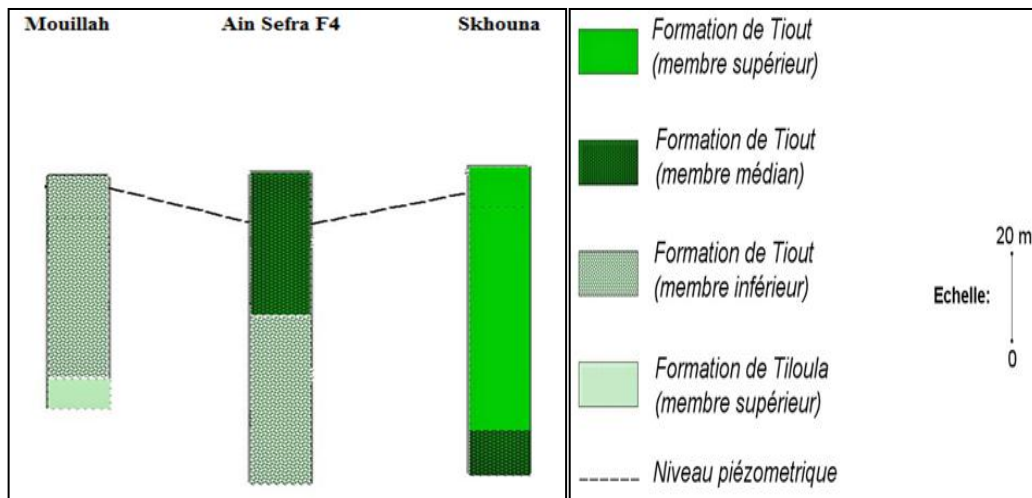


Fig. III. 4 :Corrélation des coupes de forages de la région d'étude (Rahmani 2010).

Les conditions d'émergence des sources dans la région sont liées à la fissuration affectant les formations du Jurassique et du Crétacé.

C'est dans les grès de la « formation de Tiout » (Albien-Aptien-Barrémien), que l'on trouve les sources de la région constituant les exutoires naturels de cette nappe

- Ain Skhouana et Dzira: pour Hammar et Skhouana.

Elles émergent d'un niveau aquifère contenu dans la masse des grès, qui structurellement forment des synclinaux d'une direction SW-NE.

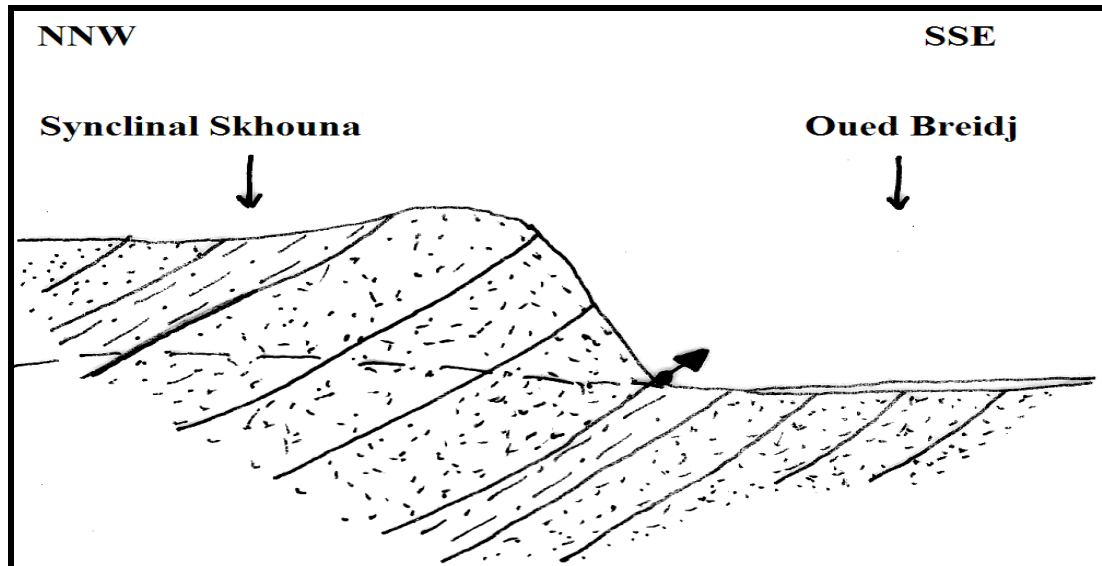


Fig.3 III. 5 : Coupe schématique montrant les conditions d'émergences de la source Skhouna (A. RAHMANI 1994).

III. Hydrodynamique

1. Généralités sur les pompages d'essais

Les expérimentations, par pompage à débit constant sur les puits et sondages sont exécutées par des essais. Elles consistent à mesurer l'accroissement des rabattements du niveau piézométrique en relation avec le temps de pompage et leur remontée après arrêt de pompage.

Ces expérimentations sur le terrain, par puits et sondages, sont des tests portant sur les modifications du comportement hydrodynamique du complexe aquifère/ouvrage de captage.

Les essais par pompage poursuivent quatre buts dans l'ordre croissant de complexité :

- Détermination des caractéristiques du complexe aquifère/ouvrage de captage.
- mesure sur le terrain des paramètres hydrodynamique de l'aquifère (Transmissivité et coefficient d'emménagement).
- étude quantitative des caractéristiques particulières de l'aquifère test des conditions aux limites, structure, hétérogénéité, drainance,... etc.

TROISIEME CHAPITRE : GEOPHYSIQUE & HYDROGEOLOGIE

- observation direct, en «vraie grandeur», de l'effet de l'exploitation sur l'aquifère. Prévion de l'évolution des rabattements en fonctions des débits pompés. Evaluation de la ressource en eau souterraine exploitable.

1.1. Essai de courte durée

L'essai de puits par paliers de débit de courtes durée évalue les caractéristiques du complexe aquifère/ouvrage de captage. Ce sont : le débit critique, le débit spécifique relatif, les pertes de charge dans l'ouvrage et son environnement immédiat et le débit maximum d'exploitation ou productivité.il permet d'établir le programme d'équipement technique de l'ouvrage : tubage, crépine et massif filtrant, puissance de la pompe, etc.

Cet essai est effectué en réalisant des paliers de débit, à débit constant pendant une courte durée déterminée, chaque palier de débit est suivi d'un arrêt de pompage d'une durée égale permettant la remontée du niveau d'eau et la mesure du rabattement résiduel.

1.2. Essai de longue durée

Les pompages d'essai de longue durée sont exécutés par un seul palier de débit, à débit constant, prolongé durant au moins 24 heures, avec un optimum de 72 heures. La remontée des niveaux doit être observée pendant une durée égale.

Le pompage d'essai permet de mesurer les paramètres hydrodynamiques transmissivité (T) et coefficient d'emménagement (S) particuliers de l'aquifère, d'observer directement les variations du niveau d'eau en fonction du pompage et par conséquent l'évaluation des ressources en eau souterraine exploitable.

Dans cette partie de l'étude, nous procéderons à l'interprétation d'un pompage d'essai de courte et longue durée exécuté dans 02 forages Mouilah et Skhouna2 par le service technique de la Direction des Ressources en Eau de la Wilaya de Naâma.

2. Forage de Mouilah

2.1. Essai de puits

L'essai de pompage a été effectué avec cinq paliers à débit enchainés (tableau.1) pour fixer le débit d'exploitation, un essai de courte durée (22h) a été exécuté par la suite avec un débit de 52 L/s et le niveau statique 10 m. Les résultats de l'essai de pompage sont représentés au tableau III. 1 :

Tableau III.1 les résultats de l'essai de pompage par paliers

Palier	01	02	03	04	05
Débit (l/s)	35	45	55	65	75
Rabattement (m)	7,85	10,15	15,25	24,30	32,60

Courbe caractéristique du « Forage Mouilah »

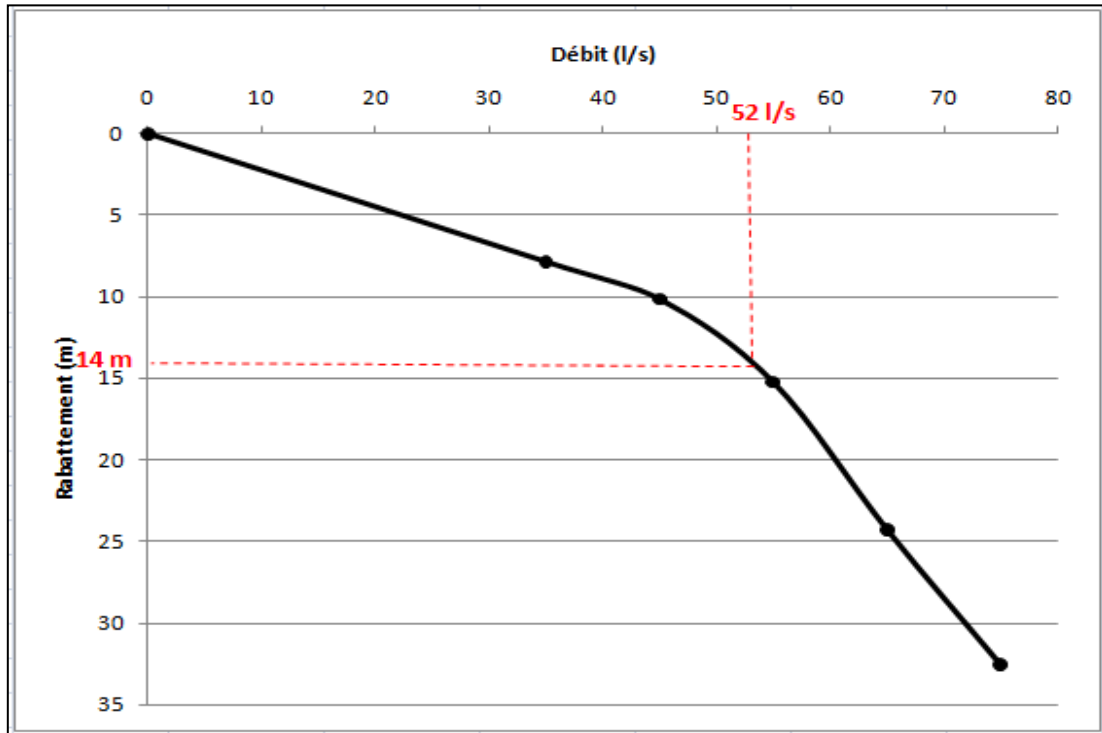


Fig. III. 6 : Courbe caractéristique $S=f(Q)$.

Le débit critique déduit à partir de la courbe caractéristique est de 52 l/s (Fig. III. 6) pour un rabattement de 14 m. La courbe caractéristique permet aussi la détermination du débit d'exploitation qui est fonction d'un rabattement maximum admissible.

- Le débit d'exploitation $Q_e = Q_c - 5\% Q_c \approx 49,4$ L/s.

2.2. Essai de nappe

Un pompage de longue durée à débit constant (52 L/S) a été exécuté avec un seul palier de débit, prolongé durant 22 heures, suivies d'un arrêt, cet essai permet de déterminer les paramètres T, S. Les résultats sont représentés au tableau -I- en annexe. Pour l'interprétation de cet essai, nous avons utilisé la méthode de JACOB qui consiste à reporter sur un graphique semi logarithmique le rabattement (s) en fonction du temps : $s = f(\log(t))$ pour la descente.

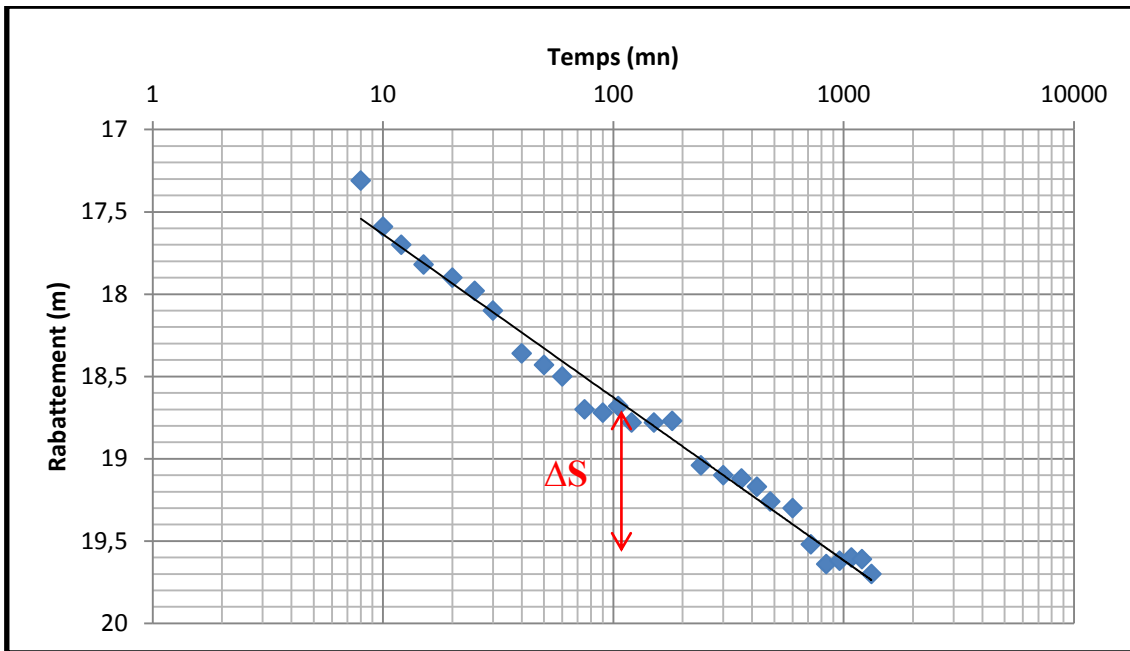


Fig. III. 7 : Droite de descente forage Mouilah

La pente sera est égale aussi à :

$$a = \frac{S_2 - S_1}{\log t_2 - \log t_1}$$

D'après le graphe on déduit :

$$S_2 = 19,6 \text{ m} \quad S_1 = 18,65 \text{ m}$$

$$t_2 = 1000 \text{ mn} \quad t_1 = 100 \text{ mn.}$$

$$a = \frac{19,6 - 18,65}{\log 1000 - \log 100} a = 0,95 \text{ m.}$$

2.3. Interprétation d'essai

La Transmissivité :

Un essai de pompage de longue durée (22 h) à débit constant a été effectué.

A partir de la courbe de descente, nous avons calculé la transmissivité par l'expression de la pente de la droite représentative ΔS , déterminée par l'accroissement des rabattements, au cours d'un cycle logarithmique, à partir de la formule de Jacob :

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

$$Q = 52 \text{ l/s} = 0,052 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$\Delta S = 0,95 \text{ m}$$

$$T = \frac{0,183 \times 0,052}{0,95}$$

$$T = 10^{-2} \text{ m}^2 / \text{s} = 864 \text{ m}^2 / \text{J}.$$

On estime un aquifère est intéressant à exploiter avec une transmissivité supérieur à 150 m²/J.

Le coefficient d'emménagement n'a pu être calculé vu l'inexistence de piézomètres.

3. Forage de Skhouna2

3.1. Essai de nappe

Le même travail a été réalisé pour le forage « **Skhouna 2** » pour une durée de pompage de 68 heures avec un débit de 20 l/s.

Les résultats sont représentés au tableau **-II-** en annexe. Pour l'interprétation de cet essai, nous avons utilisé la méthode de JACOB qui consiste à reporter sur un graphique semi logarithmique le rabattement (s) en fonction du temps (Fig.III. 8) :

$S = f(\log(t))$ pour la descente.

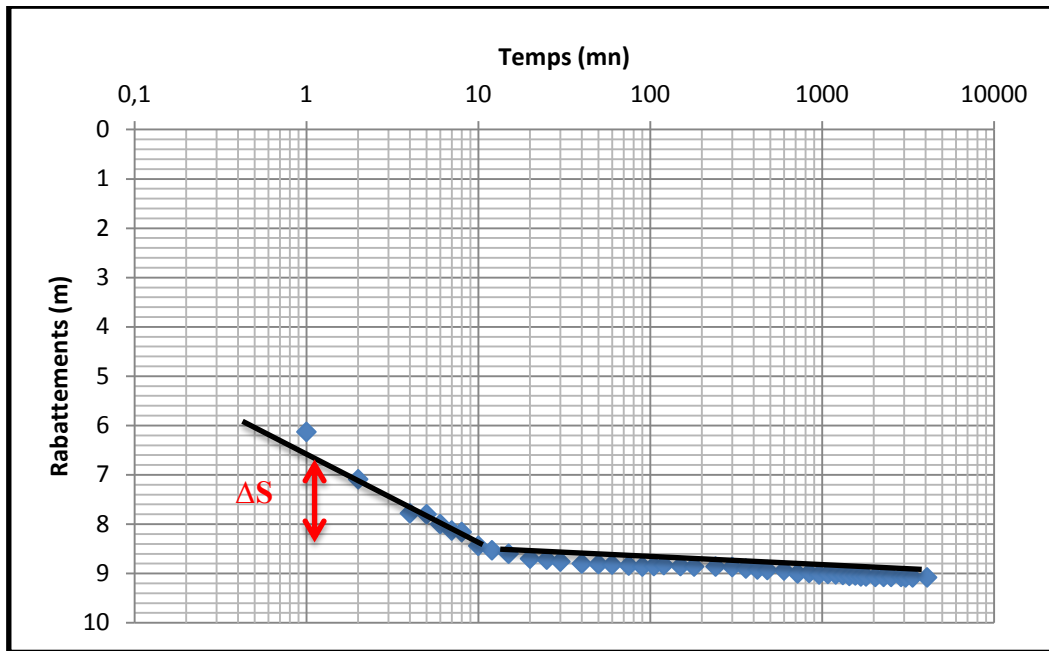


Fig. III. 8 : Droite de descente du forage Skhouna

3.2. Interprétation d'essai

La pente sera est égale aussi à :

$$a = \frac{S_2 - S_1}{\log t_2 - \log t_1}$$

D'après le graphe on déduit :

$$S_2 = 8,4\text{m} \quad S_1 = 6,6$$

$$t_2 = 10 \text{ mn} \quad t_1 = 1 \text{ mn.}$$

$$a = \frac{8,4 - 6,6}{\log 10 - \log 1} a = 1,8\text{m}$$

$$T = \frac{0,183 \cdot Q}{\Delta S}$$

Transmissivité:

$$Q = 20 \text{ l/s} = 0,02 \text{ m}^3/\text{s.}$$

$$\Delta S = 1,8 \text{ m}$$

$$T = \frac{0,183 \times 0,02}{1,8}$$

$$T = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s} = 175 \text{ m}^2 / \text{J.}$$

TROISIEME CHAPITRE : GEOPHYSIQUE & HYDROGEOLOGIE

On estime un aquifère intéressant à exploiter avec une transmissivité supérieur à 150 m²/J.

Le coefficient d'emménagement n'a pu être calculé vu l'inexistence de piézomètres

4. Discussion des résultats

L'interprétation des données de pompage d'essai de puits a permis de déterminer que la nappe exploitant le forage Mouillah peut être exploité avec un débit de 50 l/s.

L'allure des droites montre que l'effet de capacité des forages est marqué en début d'essai par un alignement non linéaire des points.

Pour le forage Mouillah on remarque que les rabattements s'accroissent pour s'aligner suivant une droite, et après 22 heures de pompage la stabilisation n'a pas été atteinte, on est en présence d'un aquifère illimité.

Pour le forage Skhouna 2, les points alignés correctement jusqu'à un temps de pompage de 12 mn permettant de tracer une droite représentative de pente $a = 1,8m$, ensuite nous remarquons que la progression est très lente après les 12 mn parce que la nappe est en état de stabilisation.

Ce palier de stabilisation montre qu'on est en présence d'un aquifère à limite d'alimentation ou avec drainance.

IV. La piézométrie

En plus des données de la Direction des Ressources en Eau de la Wilaya de Naâma, un inventaire des points d'eau captant les grès du Crétacé inférieur de la zone d'étude a été effectué.

TROISIEME CHAPITRE : GEOPHYSIQUE & HYDROGEOLOGIE

Tableau. III. 2 : Inventaire de points d'eau « Skhouna - Hammar »

N°	points d'eau	X	Y	Z	NS	N piezo	Prof	Debit (l/s)
1	Skhouna2	721072	3622234	1118	18,32	1099,68	188	15
2	Skhouna 1	721013	3622105	1113	13,30	1099,70	103	15
3	Skhouna source	721645	3622072	1099	0,00	1099,00	0	1
4	Mouillah	723319	3626542	1094	8,30	1085,70	150	20
5	Hammar	721249	3625662	1095	14,50	1080,50	220	6
6	breidj	718339	3619702	1107	0,00	1107,00	0	5
7	forage breidj	716654	3620010	1143	10,80	1132,20	65	5
8	forage breidj 2	717010	3620176	1141	9,10	1131,90	60	5
9	puits hammar	721297	3623798	1119	16,00	1103,00	60	5
10	hammar bouhafs	721380	3624893	1104	20,00	1084,00	65	5
11	Ain-Sefra F4	723613	3625340	1104	29,80	1074,20	200	25
12	Source Dzira	724744	3624028	1070	0,00	1070,00	0	2
13	Skhouna 3	720685	3621734	1113	30,00	1083,00	150	10

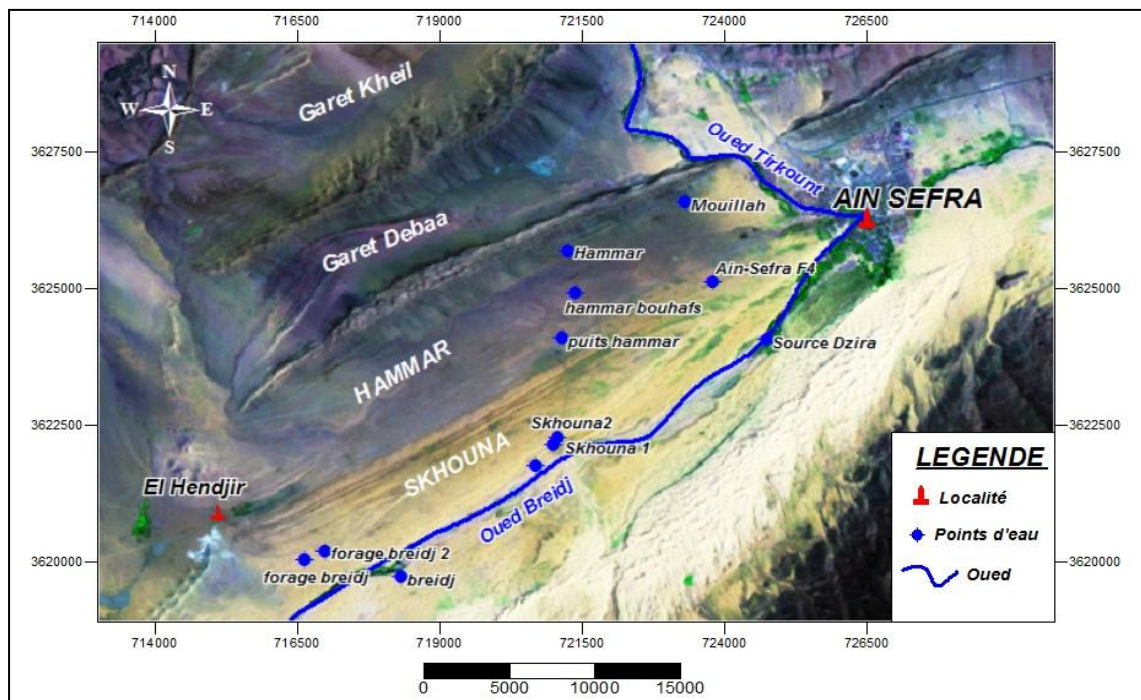


Fig. III. 9. Localisation des points d'eau du secteur étudié sur image satellitale géoréférencée.

1. Piézométrie du secteur d'étude (Fig. III. 10)

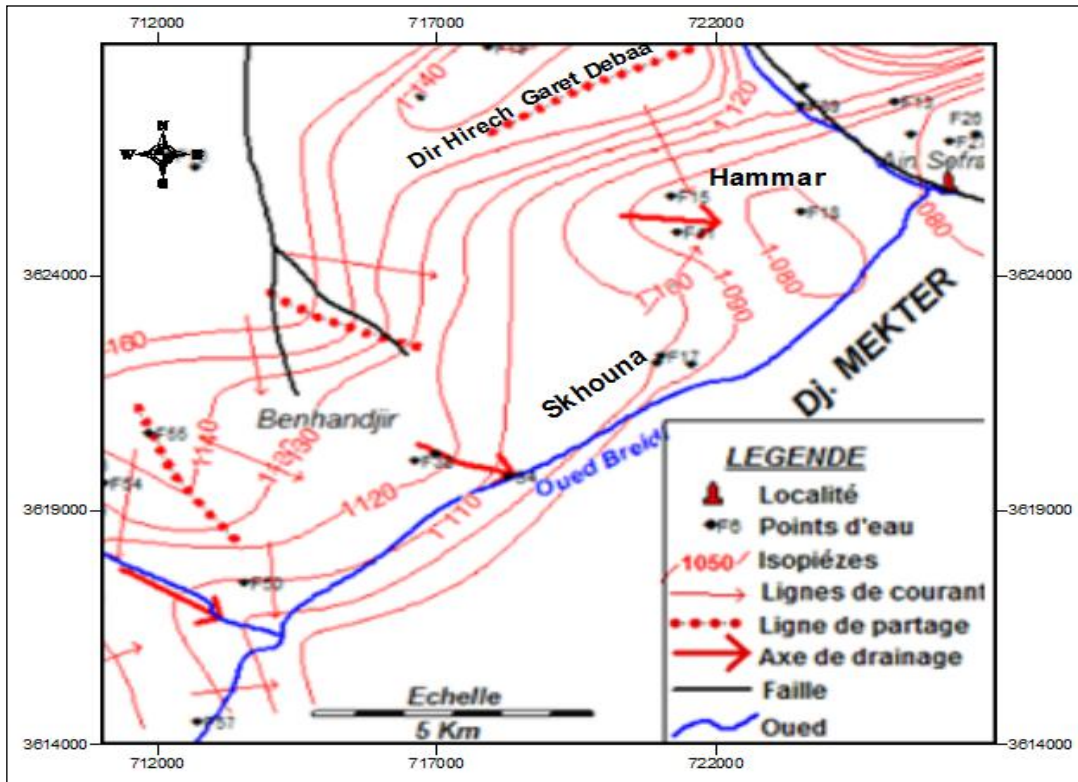


Fig. III. 10. Carte piézométrique système aquifère Crétacé inférieur « Skhouna – Hammar » (A. RAHMANI, Octobre 2012).

1. Interprétation de la carte piézométrie

Les lignes de courant montrent que les eaux drainées proviennent des flancs sud de Dir Hirech et de la zone de Benhandjir.

L'écoulement souterrain global se fait de l'Est vers l'Ouest, avec une dépression piézométrique au niveau de Skhouna-Hammar qui correspond à une zone de captage.

Au niveau de Skhouna, Oued Breidj draine la nappe, qui est enrichie par les eaux provenant du bassin de Sfisifa-Benhandjir.

On a une ligne de partage « structurale » des eaux correspondante à l'anticlinal Dir Hirech-Gareh Debaa et au pointement triasique d'El Hendjir.

Le gradient hydraulique varie en général de 4‰, au centre des bassins, à 13‰ au niveau des piedmonts de la partie Sud de Dir Hirech-Gareh Debaa. Cette variation du gradient peut être expliquée par des variations latérales des perméabilités et aussi par le dénivelé topographique qui conditionne la dénivellation de la nappe (A. RAHMANI 2018).

QUATRIEME CHAPITRE :
HYDROCHIMIE

I. Introduction

La compréhension des propriétés hydrauliques des couches aquifères et la caractérisation hydrochimique de l'eau qu'elles contiennent sont nécessaires pour la planification et la gestion des ressources en eau souterraines dans le secteur d'étude.

Généralement, la circulation des eaux souterraines dans les vides des formations aquifères augmente sa concentration en éléments chimiques. Par conséquent, le faciès chimique des eaux souterraines donne des informations pertinentes sur la lithologie des formations aquifères et sur leur comportement hydrogéologique, ainsi que le type d'usage auxquels les eaux souterraines peuvent servir. L'étude hydrochimique des eaux a pour but d'identifier les faciès chimiques des eaux, et permet d'apporter de nombreuses informations sur le milieu aquifère, la nature de l'encaissant, les zones d'alimentation et de circulation. Elle permet de suivre aussi l'évolution spatiale des paramètres physico-chimiques et d'estimer leur origine en les corrélant avec les faciès lithologiques.

L'étude hydrochimique est basée sur l'interprétation des analyses physico-chimiques des échantillons prélevés par la Direction des Ressources en Eau de la wilaya de Naâma au niveau de 06 points d'eau.

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

- Les cations: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+ .
- Les anions : HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- et NO_3^-

Ainsi que le PH, la conductivité et la minéralisation.

Interprétation des données de mesures et de résultats d'analyses

II. Interprétation des analyses par balance ionique

Avant de traiter et d'interpréter les résultats d'analyses des eaux prélevées, il faut analyser leur fiabilité. La méthode utilisée est la Balance Ionique (B.I.). Il faut rappeler qu'en théorie, une eau naturelle a une électro-neutralité. De ce fait, la somme (en équivalents chimiques) des cations devrait être égale à celle des anions (en équivalents-chimiques).

En réalité, cette égalité est rarement obtenue. De façon générale, la différence est attribuée aux incertitudes, à la présence de certains ions non dosés ou à d'éventuelles erreurs

QUATRIEME CHAPITRE : HYDROCHIMIE

d'analyse. Ainsi, une certaine marge de déséquilibre entre anions et cations est admise. Elle est exprimée sous forme d'un écart relatif par la formule :

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

Avec :

$\sum r^+$: somme des concentrations des cations en meq/L,

$\sum r^-$: somme des concentrations des anions en meq/L.

Cette relation permet de définir trois classes comme suit :

B.I. < 2 : Bonne analyse.

2 < B.I. < 5 : Analyse acceptable.

5 < B.I. : Mauvaise analyse.

Tableau IV.1 : Résultats des analyses chimiques balance ionique.

Points d'eau	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Σ cations (méq/L)	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Σ Anions (méq/L)	BI	Remarque
Hammar	8,60	8,08	10,87	0,23	27,78	11,89	9,79	3,93	0,27	25,89	3,54	Analyse acceptable
Mouillah	8,40	6,92	10,00	0,28	25,60	10,99	10,90	3,74	0,37	25,99	- 0,75	Bonne analyse
Skhouna 2	4,50	6,33	4,74	0,15	15,73	5,18	5,21	3,72	0,35	14,47	4,19	Analyse acceptable
Source Dzira	7,30	5,92	6,00	0,23	19,45	4,79	8,60	4,21	0,23	17,83	4,34	Analyse acceptable
Ain Skhouna	4,40	3,83	4,52	0,08	12,83	4,54	4,21	3,72	0,00	12,46	1,45	Bonne analyse
Ain-Sefra F4	5,40	6,67	10,61	0,21	22,88	9,61	8,31	4,07	0,31	22,29	1,32	Bonne analyse

Nous remarquons, que dans l'ensemble les analyses des échantillons sont bonnes et acceptables, et peuvent être retenues pour l'interprétation.

II.1. Caractéristiques physico-chimiques

1.1. Le pH (Tableau IV. 2)

Le pH est en relation avec la concentration des ions hydrogène $[H^+]$ présent dans l'eau ou les solutions. Ce paramètre donne le degré d'acidité ou d'alcalinité d'une eau. Le pH (potentiel hydrogène), est le reflet de la concentration d'une eau en ions (H^+) comme le montre la relation suivante : $pH = - \log [H^+]$.

Le pH mesure l'activité en ions HO_3^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de facteurs multiples dont la température et l'origine de l'eau.

L'eau des cours d'eaux avoisine en général la neutralité représentée par un pH de 7 (Fig. IV.1).

Tableau IV. 2 : Classification des eaux selon le pH (Rodier, 2009)

pH	Correspondance
$pH < 5$	Acidité forte
$pH = 7$	Neutralité (eau pure)
$7 < pH < 8$	Neutralité rapprochée (eau de surface)
$5.5 < pH < 8$	Majorité des eaux souterraines
$pH > 8$	Alcalinité, évaporation intense

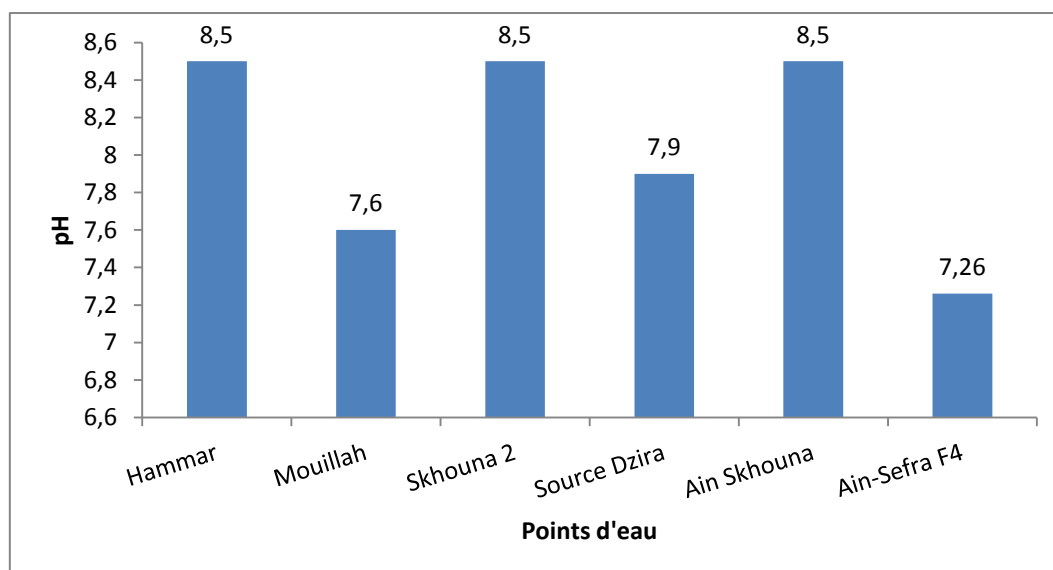


Fig. IV. 1 : Variation du pH des différents points d'eau.

QUATRIEME CHAPITRE : HYDROCHIMIE

La plage des valeurs de pH (Fig. IV.1) est comprise entre 7,26 et 8,5 avec une moyenne de 8,04. Les variations de pH sont assez homogènes. Donc les eaux de la nappe du synclinal « *Skhouna - Hammar* » sont rangées dans la gamme correspondante aux eaux souterraines.

1.2. La dureté totale (Tableau IV.3)

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Dans la plupart des cas la dureté est surtout due aux ions calcium et magnésium auxquels s'ajoutent quelquefois les ions : fer, aluminium, manganèse, strontium. Elle s'exprime en milliéquivalents de concentration en CaCO₃.

Elle est mesurée par le titre hydrotimétrique TH et s'exprime en degré français °F. (1 °F correspond à 10 mg de carbonate de Ca⁺⁺ dans 1 litre d'eau) (Tableau IV. 4).

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

Tableau IV.3 : Valeurs de la dureté suivant l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé)

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

Pour les normes de potabilité appliquées en Algérie, la valeur admissible de la dureté est de 500 mg/L de CaCO₃, soit 50 °F.

Tableau IV. 4 : Valeurs de la dureté

Points d'eau	Hamma r	Mouilla h	Skhouna 2	Source Dzira	Ain Skhouna	Ain Sefra F4
°F	83	77	54	66	41	60
CaCO ₃ (mg/L)	830	770	540	660	410	600

On peut classer les eaux en fonction de leur dureté:

Dans la région de « *Skhouna – Hammar* », la dureté des eaux varie entre 41 °F et 83 °F, caractérisant une eau dure à très dure.

QUATRIEME CHAPITRE : HYDROCHIMIE

1.3. La minéralisation. (Tableau IV.5)

Au cours de son cheminement souterrain, l'eau se charge d'un certain nombre d'éléments minéraux en liaison avec les terrains traversés.

La minéralisation c'est la quantité des sels minéraux dans l'eau.

Il existe une relation entre la conductivité et la minéralisation qui peut être utilisée pour le calcul de la minéralisation globale.

Tableau IV.5 : Valeurs de la conductivité et de la minéralisation

Points d'eau	Hamm ar	Mouillah	Skhouna2	Source Dzira	Ain Skhouna	Ain Séfra F4
Cond. (mhos/cm)	2,2	2,2	1	1,60	0,9	1,75
Minéralisation (mg/L)	1584	1584	720	1152	648	1260

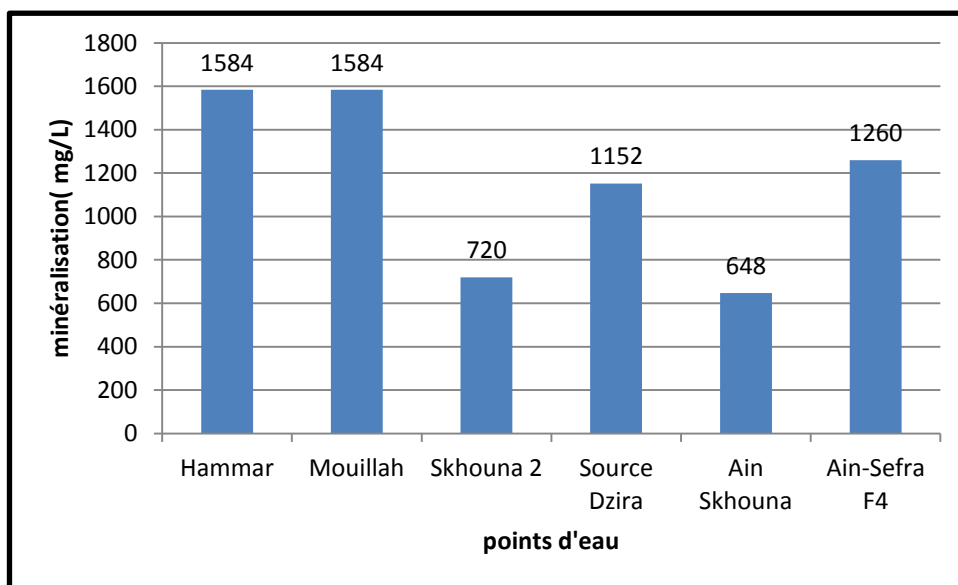


Fig. IV. 2 : Variation de la minéralisation des points d'eau.

QUATRIEME CHAPITRE : HYDROCHIMIE

A partir de ces données, une carte de minéralisation des eaux de la région (Fig. IV. 3) a été établie montrant des teneurs allant de :

- 500 mg/L à 1000 mg/L au cœur du synclinal de Skhouna captant le membre supérieur de la formation de Tiout.
- 1000 mg/L à 1500 mg/L dans la région de Hammar et Dzira, captant le membre médian et inférieur de la formation de Tiout.

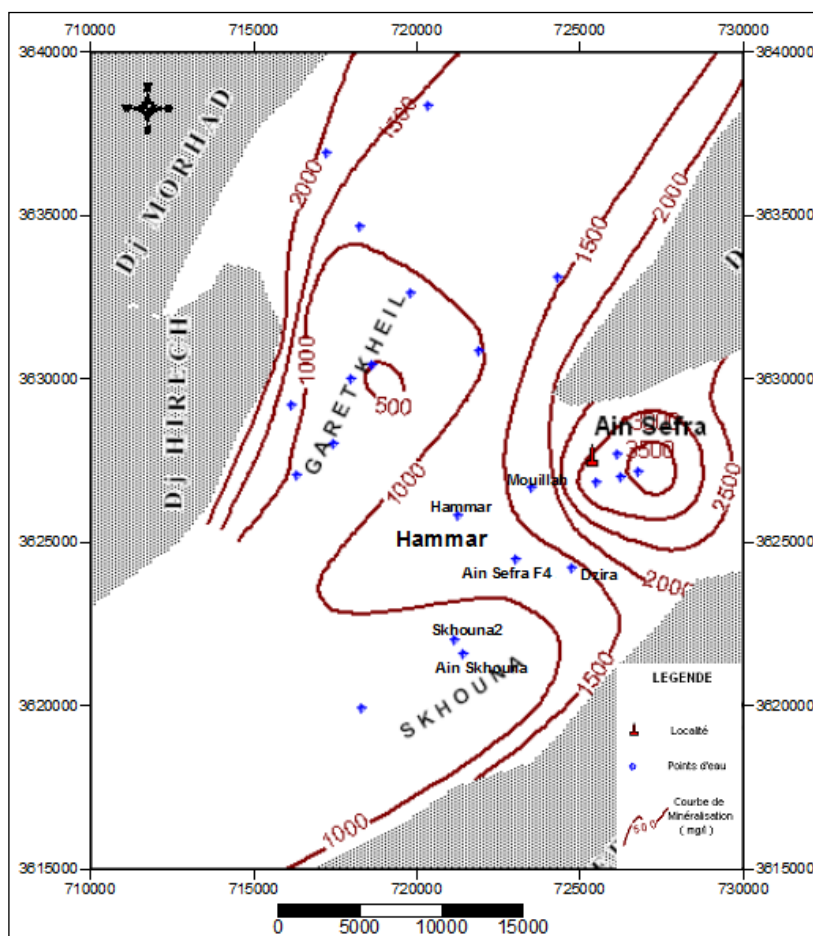


Fig. IV. 3. : Carte d'iso minéralisation

II.2. Les formules caractéristiques des faciès chimiques

Les nombreuses données physico-chimiques, utiles à la caractérisation d'une eau induisent l'utilisation des représentations graphiques.

L'objectif principal d'une représentation graphique est de permettre une approche rapide des résultats analytiques en vue de caractériser facilement une eau, de suivre son évolution et de

QUATRIEME CHAPITRE : HYDROCHIMIE

la comparer à d'autres eaux de compositions physico-chimiques différentes, et appartenant à un même contexte géologique.

On détermine les faciès chimiques par le calcul des quantités en réaction, qui sont exprimées par la formule caractéristique ou la formule ionique obtenue de la manière suivante :

On classe de gauche à droite par ordre croissant les quantités en réaction des anions ensuite des cations en se basant sur la prédominance de tel ou tel ion.

Les principaux faciès hydrochimiques rencontrés dans les eaux d'Ain Séfra sont illustrés sur le tableau : IV.6

Tableau IV.6 : Classification des eaux d'Ain Séfra selon leurs faciès.

Points d'eau	Formule caractéristique	Faciès chimique
Hammar	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	Chloruré sodique et potassique
Mouilah	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	Chloruré sodique et potassique
Skhouna 2	$\text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+}$ $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	Sulfaté magnésienne
Source D'zira	$\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	Sulfaté calcique
Aïn Skhouna	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	Chloruré sodique et potassique
Ain Séfra F4	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	Chloruré sodique et potassique

II. 3. Représentation graphique des analyses

Les Diagrammes de (SCHOELLER-BERKALOFF et PIPER)

La représentation graphique des résultats d'analyses s'avère un outil inévitable. Pour bien identifier les faciès hydrochimiques et d'avoir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux, on a eu recours au diagramme de Schöeller-Berkaloff et à celui de Piper. La réalisation de ces diagrammes a été faite à l'aide du logiciel "**Diagrammes**".

3. 1. Diagramme Schorller-Berkaloff

C'est un diagramme semi logarithmique utilisé pour la représentation graphique des analyses chimiques des eaux, la classification tient compte de l'importance des principaux anions et cations et détermine le type de faciès des eaux.

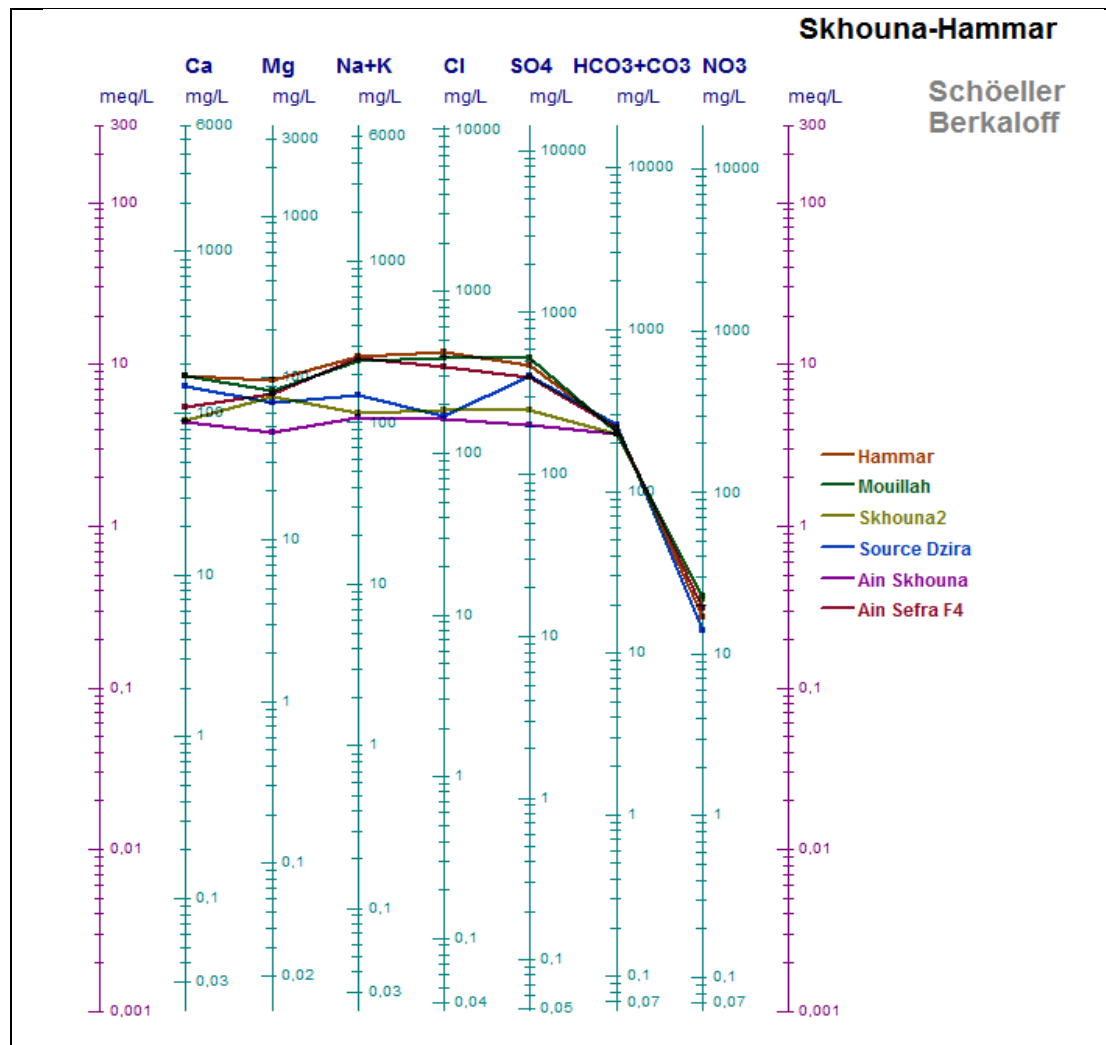


Fig. IV.4 : Représentation des eaux d'Ain Séfra sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff.

Les représentations graphiques par les diagrammes de SCHOELLER-BERKALOFF, qui sont les représentations des concentrations en ions majeurs les plus courantes, ont permis de représenter les différents résultats des analyses physico-chimiques, et d'en déterminer les principaux faciès chimiques des eaux de la région qui sont au nombre de 03:

Chloruré Sodique et potassique : pour les points d'eau Hammar, Mouillah, Ain Skhouna et Ain Séfra F4.

Sulfaté Calcique : pour la source D'zira.

Sulfaté Magnésien : pour Skhouna 2

3.2. Diagramme de Piper

Ce diagramme permet de représenter plusieurs échantillons d'eau simultanément. Il est composé de deux triangles permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique et d'un losange synthétisant le faciès global, les nuages de points concentrés dans un pôle représentent pour les différents échantillons la combinaison des éléments cationiques et anioniques. Le diagramme de Piper est particulièrement adapté à l'étude de l'évolution des faciès des eaux lorsque la minéralisation augmente, ou bien pour comparer des groupes d'échantillons entre eux et indiquer les types de cations et anions dominants.

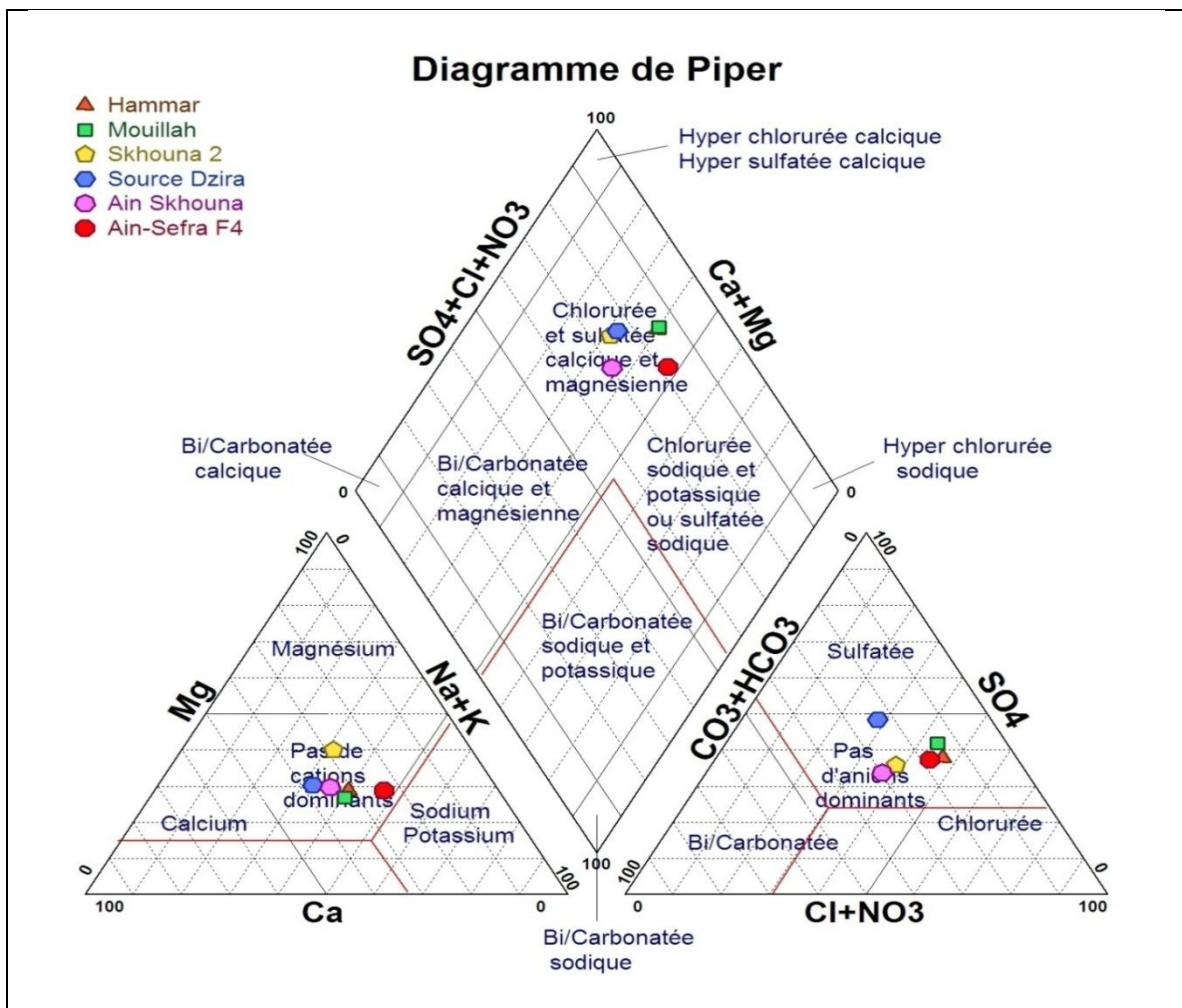


Fig. IV.5 : Classification des eaux d'Ain Séfra selon le diagramme de Piper.

Les eaux d'Ain Séfra appartiennent au groupe "Eau Chlorurée et Sulfatée Calcique et Magnésienne ». Notant l'absence de cations et d'anions dominants pour tous les points d'eau. (Fig. IV. 5).

II.4. Les rapports caractéristiques : (SO₄²⁻/Ca²⁺) (Na⁺/Cl⁻) : Tableau IV.7

On appelle rapport caractéristique, le rapport de certains éléments chimiques exprimés en méq/L. Les rapports étudiés dans notre cas sont:(SO₄²⁻/Ca²⁺) et (Na⁺/Cl⁻).

Tableau IV.7 : Résultats des rapports caractéristiques.

Points d'eau	SO ₄ ²⁻ /Ca ²⁺	Na ⁺ /Cl ⁻
Hammar	1,14	0,91
Mouillah	1,30	0,91
Skhouna 2	1,16	0,92
Source D'zira	1,18	1,25
Ain Skhouna	0,96	1,00
Ain Séfra F4	1,54	1,10

Le rapport SO₄²⁻/Ca²⁺ est supérieur à 1 pour la majorité des points d'eau ce qui traduit la dominance des Sulfates. Il est inférieur à 1 pour le point Ain Skhouna traduisant la dominance du calcium, due à la solubilité des calcaires riches en calcium.

Le rapport Na⁺/Cl⁻ est supérieur à 1 pour les points d'eau source D'zira, Ain Skhouna, et Ain Séfra F4 ce qui traduit une dominance du sodium, mais pour les points Hammar, Mouillah, et Skhouna 2 le rapport est inférieur à 1 donc il y'a une dominance du chlorures.

II. 5.la qualité des eaux à l'irrigation

Les critères d'eau d'irrigation dépendent du type de sol, des plantes, des conditions climatiques et de la qualité chimique de l'eau. Le degré de salinité de l'eau d'irrigation est généralement exprimé par des classes de convenance relative: une eau très minéralisée peut présenter un danger de salinisation et d'alcalinisation des sols par remplacement des ions de calcium et de magnésium par l'ion de sodium.

5.1. Sodium adsorption ratio (S.A.R), (Tableau. IV. 8)

La méthode du taux d'absorption de sodium mis au point en 1969 par : Geological Survey Institute a été appliquée. Le S.A.R est donné par la formule :

QUATRIEME CHAPITRE : HYDROCHIMIE

$$S.A.R. = \frac{rNa^+}{\sqrt{(rCa^{2+} + rMg^{2+})/2}}$$

rNa^+ : Concentration du Sodium (meq/L).

rCa^{2+} : Concentration du Calcium (meq/L).

rMg^{2+} : Concentration du Magnésium (meq/L).

SAR < 10 : Eaux excellentes (eaux utilisées avec peu de danger d'alcalinisation des sols).

10 < SAR < 18 : Eaux bonnes (eaux utilisées avec un danger appréciable d'alcalinisation).

SAR < 26 : Eaux convenables (eaux pouvant provoquer un danger d'alcalinisation)

SAR > 26 : Eaux médiocres (eaux présentant un danger d'alcalinisation très fort).

Tableau IV. 8 : Valeurs du S.A.R. et la conductivité pour les différents points d'eau

points d'eau	S.A.R	Cond. mhos/cm	Remarques
Hammar	3,74	2,2	Excellentes
Mouilah	3,62	2,2	Excellentes
Skhouna 2	2,03	1	Excellentes
Source D'zira	2,33	1,6	Excellentes
Ain Skhouna	2,23	0,9	Excellentes
Ain-Sefra F4	4,31	1,75	Excellentes

La présentation des valeurs calculées du S.A.R en fonction de celles de la conductivité sur le diagramme de classification des eaux d'irrigation qui comporte des classes de différentes qualités d'eau (fig. IV. 6).

D'après le tableau IV.8, nous constatons dans tous les points d'eau ainsi que présentent un faible danger d'alcalinisation des sols (SAR<10).

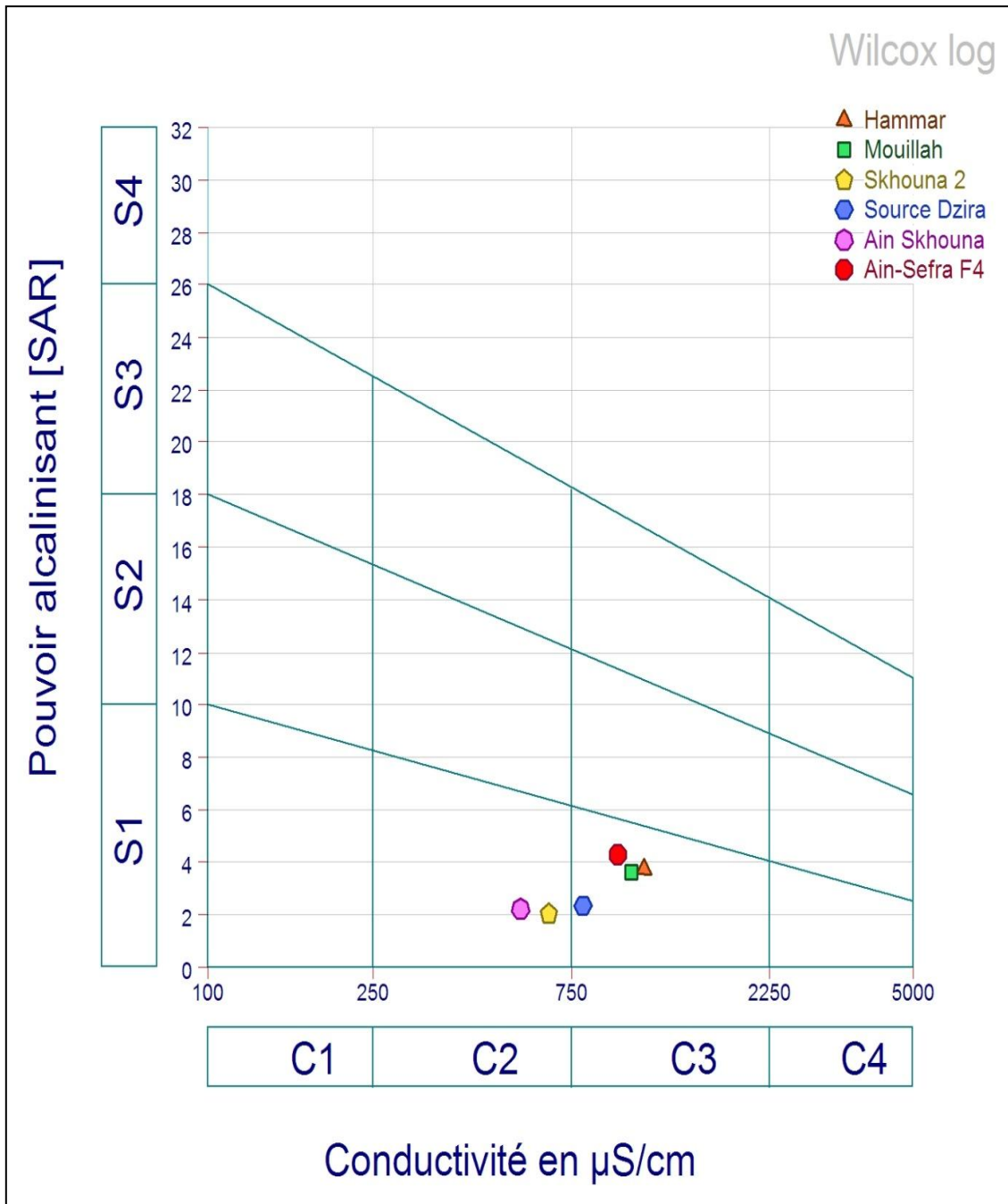


Fig. IV. 6: Qualité des eaux d'irrigation d'après le S.A.R

QUATRIEME CHAPITRE : HYDROCHIMIE

Tableau IV. 9 :Classification des eaux d'irrigation d'après J. Servant, 1975
(U.S. Salinity LAB)

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 tolérant les sels, sur sols ayant une bonne perméabilité. Principaux problèmes dus aux plantes trop sensibles, au sodium et aux sols à forte capacité d'échange d'ions (sols argileux)
3	Admissible	C3-S1	En général, eau convenant à l'irrigation des cultures tolérant les 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 tolérant bien les sels et sur des sols bien drainés et lessivés
5	Mauvaise	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation, mais pouvant être utilisée sous certaines conditions : sols très perméables, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel.

D'après la figure IV. 6 et le tableau de Classification des eaux d'irrigation d'après J. Servant, 1975 (U.S. Salinity LAB) on a deux classes :

Classe 1 : C₂S₁ pour Les points d'eaux Skhouna2 et Ain Skhouna, donc en général ; eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérant les sels, sur sols ayant une bonne perméabilité.

QUATRIEME CHAPITRE : HYDROCHIMIE

Principaux problèmes dus aux plantes trop sensibles, au sodium et aux sols à forte capacité d'échange d'ions (sols argileux)

Classe 2 :C₃S₁ pour les points d'eaux Hammar, Mouilah, Ain D'zira et Ain Séfra 4 donc en général, eau convenant à l'irrigation des cultures tolérant les 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.

III. Conclusion

L'étude hydrochimique du synclinal « *Skhouna-Hammar* » a permis de mettre en évidence, des faciès hydrochimiques complexes sur la base de la dominance respective des cations et anions.

Trois faciès hydrochimiques sont prédominants, à savoir : Chloruré Sodique et Potassique, Sulfaté Calcique et Sulfaté Magnésien, pour des minéralisations comprises entre 600 et 1500 mg/L et des valeurs de dureté comprises entre 40 et 83°F.

On constate une prédominance des ions sodium et des chlorures pour la plupart des points d'eau. La dissolution de l'halite et le gypse contribuerait à la minéralisation des eaux de l'aquifère. Les eaux sont généralement de bonne qualité et excellente pour l'irrigation étudié.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

La région d'étude « Skhouna - Hammar » située à l'Ouest de la ville d'Aïn Séfra appartient au domaine atlasique occidental et possède de bonnes possibilités de ressources en eau, grâce à la grande surface des terrains du Crétacé Inférieur.

C'est une zone aride à semi-aride, avec une température moyenne annuelle de 18,2°C et avec une précipitation moyenne annuelle de 165 mm sur une période de 33 années (1982/1983 à 2015/2016). Elle appartient au bassin hydrologique d'Oued Breidj à relief très fort, qui s'étend sur une superficie de 1120 km².

Le secteur d'étude est un synclinal à fond plat d'âge Crétacé inférieur caractérisé par des dépôts généralement continentaux, constitué de grès massifs intercalés avec des lentilles argileuses. Il est compris entre les anticlinaux, qui font apparaître les formations jurassiques gréseuses.

Du point de vue hydrogéologique, l'étude géophysique ainsi que l'interprétation des logs lithostratigraphiques de quelques forages, ont mis en évidence, en plus de la nappe alluvionnaire, 02 systèmes aquifères à porosités d'interstices et de fissures: les grès du Jurassique sup. et ceux des grès du Crétacé inférieur dans lesquelles s'intercalent des lentilles argileuses.

L'interprétation des données de pompage d'essai de puits a permis de déterminer que la nappe peut être exploitée avec des débits variant entre 20 et 50 l/s.

Les valeurs de transmissivité varient de 10⁻² m²/s pour le forage de Mouilah à 2.10⁻³ m²/s pour le forage Skhouna 2, confirmant l'importance de cet aquifère du point de vue quantitatif.

L'analyse de la carte piézométrique montre un écoulement souterrain global qui se fait de l'Est vers l'Ouest, avec une dépression piézométrique au niveau de Skhouna-Hammar qui correspond à une zone de captage.

Les lignes de courant montrent que les eaux drainées proviennent des flancs : Sud de Dir Hirech et de la zone de Benhandjir.

CONCLUSION GENERALE

L'étude hydrochimique a permis de mettre en évidence, d'une part, les processus d'acquisition de la minéralisation des eaux suivant les principales directions d'écoulement, et d'autre part, des faciès hydrochimiques complexes sur la base de la dominance respective des cations et anions.

Trois faciès hydrochimiques sont prédominants, à savoir : Chloruré Sodique et Potassique, Sulfaté Calcique et Sulfaté Magnésien, pour des minéralisations comprises entre 600 et 1500 mg/L et des valeurs de dureté comprises entre 40 et 83°F. La dissolution de l'halite et le gypse contribuerait à la minéralisation des eaux de l'aquifère étudié.

A partir de l'interprétation des différents paramètres physico-chimiques, on peut dire que les eaux de la région sont bonnes à passables pour l'alimentation en eau potable et, de bonne qualité pour l'irrigation.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

1. **ABDELLALI A. & BENKERACHE M. (2011)** : Étude Lithostratigraphique et structurologique du secteur Nord Est de Djebel Djara, Atlas Saharien Occidental. *Dipl. Ingénieur univ. Tlemcen*, 80 p., 23 fig. 19 Tabl.
2. **AIT OUALI R. (1991)** : Le rifting des Monts des Ksour au Lias. Organisation du bassin, diagénèse des assises carbonatées. Place dans les ouvertures mésozoïques du Maghreb. *Thèse de Doctorat-ès-Sciences, Alger*, 297 p., 147 fig., 16 tabl. et 6 pl. Algérie.
3. **ARDALLAH A. & BELHADJ L. (2008)** : Lithostratigraphie sédimentologie et structurologie de la région de Belafloufa (Aïn Séfra), Atlas saharien occidental. *Dipl. Ingénieur univ. Tlemcen*, 68 p., 27 fig., 3 pl., 14 tab..
4. **BASSOULET J.P (1973)** : Contribution à l'étude stratigraphique du Mésozoïque de l'Atlas saharien occidental (Algérie). *Thèse. Sci. Nat., Paris VI*, 497p., 50fig., 32pl
5. **CASTANY G. (1982)**: Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Edition Dunod Paris.
6. **Compagnie Générale de Géophysique (CGG) (1974)** : Etudes géophysiques dans la région d'El Bayadh –Zone Mékalis –Tirkount-El Hendjir.
7. **DERDOUR A., BOUANANI A., BABA HAMAED K (Mars2017)** : Typologie des crues en milieu semi aride cas du B.V d'Ain sefra (Monts des ksour, Atlas saharien, sud ouest Algérien). Pub.
8. **DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE NAAMA**: Données des analyses physicochimique et les essais de pompage des forages.
9. **DOUIHASNI M. (1976)** : Etude géologique de la région d'Aïn Ouarka – Bousseghoun (Partie centrale des Monts des Ksour). Stratigraphie et Analyse structurale. *Thèse 3^{ème} cyc., Univ. Oran*, 2t. 272p. 52fig. 4 pl. (inédit).
10. **GALMIER D. (1970)**: Photogéologie de la région d'Aïn Séfra (Algérie).Thèse Doctorat d'Etat. Faculté Sc. Paris.
11. **GALMIER D. (1972)**: Photogéologie de la région d'Aïn Séfra (Algérie).Thèse Doctorat d'Etat. Faculté Sc. Paris.320 p., 9 cartes.
12. **KACEMI A. (2005)**: Cartographie et dynamique sédimentaire de la série fin Dogger début Crétacé (Djara - Rhoundjaïa) des Monts des Ksour (Atlas saharien, Algérie). *Dipl. Mag. Univ. Oran* 194 p. 47 fig., 15 pl.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

13. **KACEMI A. (2013)**-Evolution lithostructurale des Monts des Ksour (Atlas saharien, Algérie) au cours du Trias et du Jurassique : Géodynamique, Typologie du bassin et Télédétection. Thèse Doct.Sci. , Tlemcen, 229 p. , 88 fig., 5 tab. 18 pl.
14. **KACEMI A. TALBI D. & BENSALAH M. (2013)** : Structure synsédimentaire transverse en compression au passage Lias-Dogger (secteur de Zerga-Monts des Ksour, Atlas Saharien, Algérie). *Bull. Serv. Géol. Nat. Vol. 24, n° 1, pp.27-39, 4 fig. 1pl.*
15. **KAZI TANI N. (1986)** : Evolution géodynamique de la bordure nord-africaine : le domaine intraplaque nord-algérien. Approche mégaséquentielle. *Thèse Doctorat d'Etat, Pau*, 2 tomes, 784 p., 361 fig.
16. **MEDDAH A. (1998)** : Etude géologique des appareils diapiriques de l'Atlas saharien occidental (Monts des Ksour). Essai de synthèse sur les diapirs atlasiques. *Thèse Magister, USTHB, Alger*. 174 p, 52fig.
17. **MEKAHLI L. (1995)** : Hettangien, Bajocien supérieur des Monts des Ksour. Biostratigraphie, évolution paléogéographique et stratigraphie séquentielle. *Thèse Doctorat d'Etat, Univ. Oran*, 358 p., 67 fig., 49pl. h.t.
18. **MEKKI & BENDDINE (2014)**-Etude de la série triasique et du passage Trias-Lias des Monts des Ksour (Exemple Djebel Melah) et comparaison avec Djenien Bou-Rezg, Tiout et Ain Ouarka. (Atlas saharien occidental, Algérie). *Mém. Ingénieur d'état, Univ. Tlemcen*, 69p. ,21 fig., 8 pl.
19. **MOUSSAOUI & ZATLA (2016)**-Cartographie géologique du secteur de Tiout, Atlas saharien occidental. *Mém. Mast. Univ. Tlemcen*, 58p. , 28 fig., 17 ph. , 2 tab.
20. **OUAHIB K., SMAHI M. (2008)** : Etude lithostratigraphique et structurologique de la région de Zerga de Sfisifa (Atlas Saharien Occidental) Algérie. *Mémoire d'ingénieur d'état, Université de Tlemcen*, 78p. 28 fig., 12 tab. et 3 pl.
21. **RAHMANI A. (1994)**: Contribution à l'étude hydrogéologique du synclinal « El Hendjir -Aïn Séfra-Tiout » Monts des Ksour (Atlas Saharien Occidental) Algérie. *Mém. Ing. Etat. Univ. Oran*. 100p., 55 fig.
22. **RAHMANI A. (2010)**: Apport des S.I.G dans la caractérisation hydrodynamique et hydrochimique de la nappe du Crétacé inférieur de la région d'Aïn Séfra (Atlas saharien occidental).*Mém. Magister. Univ. Tlemcen.*
23. **RITTER. (1902)**:Le Djebel Amour et Monts des Ouleds Nail. *Bull.Serv.Carte Géol.*
24. **www.tutiempo.org**

Annexe

Annexe

Annexe I : les donnée essai de pompage Skhouna

Temps (mn)	ND (m)	S (m)
1	24,45	6,13
2	25,41	7,09
4	26,1	7,78
5	26,12	7,8
6	26,32	8
7	26,45	8,13
8	26,48	8,16
10	26,76	8,44
12	26,85	8,53
15	26,92	8,6
20	27,02	8,7
25	27,04	8,72
30	27,08	8,76
40	27,12	8,8
50	27,13	8,81
60	27,14	8,82
75	27,16	8,84
90	27,18	8,86
105	27,17	8,85
120	27,15	8,83
150	27,17	8,85
180	27,18	8,86
240	27,18	8,86
300	27,19	8,87
360	27,22	8,9
420	27,24	8,92
480	27,25	8,93
600	27,26	8,94
720	27,32	9
840	27,31	8,99
960	27,34	9,02
1080	27,33	9,01
1200	27,34	9,02
1320	27,35	9,03
1440	27,37	9,05
1560	27,36	9,04
1680	27,38	9,06
1800	27,38	9,06
2040	27,39	9,07
2280	27,39	9,07
2520	27,39	9,07
2880	27,39	9,07

Annexe

3060	27,4	9,08
3360	27,4	9,08
4080	27,4	9,08

Annexe II : les données essai de pompage Muillah

Temps (mn)	ND (m)	S(m)
8	27,31	17,31
10	27,59	17,59
12	27,7	17,7
15	27,82	17,82
20	27,9	17,9
25	27,98	17,98
30	28,1	18,1
40	28,36	18,36
50	28,43	18,43
60	28,5	18,5
75	28,7	18,7
90	28,72	18,72
105	28,68	18,68
120	28,78	18,78
150	28,78	18,78
180	28,77	18,77
240	29,04	19,04
300	29,1	19,1
360	29,12	19,12
420	29,17	19,17
480	29,26	19,26
600	29,3	19,3
720	29,52	19,52
840	29,64	19,64
960	29,62	19,62
1080	29,6	19,6
1200	29,61	19,61
1320	29,7	19,7

ملخص

تتنمي منطقة الدراسة إلى أطلس الصحراء الغربية (جبال قصور) يتعلق الأمر بمزامنة "السخونة - الحمار ، الواقعة غرب مدينة عين الصفراء . الهدف الرئيسي من هذا العمل هو المساهمة في الدراسة الهيدروجيولوجية والكيميائية سفلى "السخونة - الحمار" وتحديد ما إذا كانت الطاقة المائية لهذا التزامن توفر الاحتياجات المختلفة لمدينة عين الصفراء باعتبارها النوعية من الكمية تتمتع المنطقة بمناخ شبه جاف إلى جاف تتميز بمتوسط درجة الحرارة السنوي 18.2 درجة مئوية ومتوسط هطول الأمطار السنوي من 166.9 ملم.

في العصر التيثوني - العصر الطباشيري السفلي تشتمل منطقة الدراسة على تشكيلين من تيلولا وتيوت يزيد سمكهما عن 2000 م. تتميز هذه التكوينات بترسبات قارية بشكل عام ظهرت الدراسة الهيدروجيولوجية لأبارين تمت دراستهما (مويلة وسخونة) أنهما ينتميان إلى طبقة المياه الجوفية بيريميان-أبتيان - ألبيان. أتاحت الدراسة الهيدروكيميائية لمياه طبقة المياه الجوفية هذه من خلال ست حفر (الحمار , الميالح , منبع سخونة 2, دزيرة , عين السخونة , عين الصفراء 4 ,) من نفس الغشاء المتزامن هذا , أن من الممكن التمييز بين ثلاث اتجاهات هيدروكيميائية سائدة ، وهي : كلوريد الصوديوم والبوتاسيوم وكبريتات الكالسيوم وكبريتات المغنسيوم ، للتمعدن بين 600 و 1500 ملغم / لتر وقيم الصلابة بين 40 و 83 درجة فهرنهايت هذه المياه عادة ما تكون ذات نوعية جيدة وممتازة للري.

كلمات المفتاحية: سفلى " السخونة - الحمار " -- تكوين تيلولا - تكوين تيوت - جبال قصور - جيولوجيا المياه- الهيدروكيمياء- تيثونيان- العصر الطباشيري السفلي-- باريميان-أبتيان-ألبيان.

Résumé :

La région d'étude appartient à l'Atlas Saharien occidental (Monts des Ksour). Elle concerne synclinal de « Skhouna - Hammar », situé à l'Ouest de la ville d'Aïn Séfra.

L'objectif principal de ce travail est une contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique du synclinal « Skhouna - Hammar » et de déterminer si la capacité de l'eau de ce synclinal offre les différents besoins de la ville d'Aïn Séfra tant qualitatif que quantitatif.

La région jouit d'un climat semi-aride à aride. Elle est caractérisée par une température moyenne annuelle de 18,2°C et de précipitations moyennes annuelle de 166,9mm.

D'âge Tithonien - Crétacé inférieur, le secteur d'étude englobe deux formations celle de Tiloula et celle de Tiout sur une épaisseur de plus de 2000 m. Ces formations sont caractérisées par une sédimentation généralement continentale.

L'étude hydrogéologique de deux forages étudiés (Mouilah et Skhouna) montre qu'ils appartiennent à la nappe du Barrémien-Aptien-Albien.

L'étude hydrochimique des eaux de cette nappe par le biais de six forages (Hammar, Mouilah, Skhouna 2, Source Dzira, Aïn Skhouna, et Aïn-Séfra F4) de ce même synclinal a permis de distinguer trois faciès hydrochimiques prédominants, à savoir : Chloruré Sodique et Potassique, Sulfaté Calcique et Sulfaté Magnésien, pour des minéralisations comprises entre 600 et 1500 mg/L et des valeurs de dureté comprises entre 40 et 83°F. Ces eaux sont généralement de bonne qualité et excellente pour l'irrigation.

Mots clés :

Synclinal « Skhouna-Hammar » – Formation de Tiloula - Formation de Tiout - Monts des Ksour – hydrogéologie - hydrochimie - Tithonien – Crétacé inférieur – nappe du Barrémien-Aptien-Albien.

Absract

The study area belongs to the Western Saharan Atlas (Ksour Mountains). It concerns syncline of "Skhouna - Hammar", located west of the city of Aïn Séfra.

The main objective of this work is a contribution to the hydrogeological and hydrochemical study of the syncline "Skhouna - Hammar" and to determine if the water capacity of this syncline offers the different needs of the city of AinSefra as qualitative than quantitative.

The region enjoys a semi-arid to arid climate. It is characterized by an average annual temperature of 18.2 ° C and average annual rainfall of 166.9mm. Of Tithonian age - lower Cretaceous, the study area includes two formations that of Tiloula and that of Tiout over a thickness of more than 2000 m. These formations are characterized by generally continental sedimentation.

The hydrogeological study of two wells studied (Mouilah and Skhouna) shows that they belong to the Barremian-Aptian-Albian aquifer.

The hydrochemical study of the waters of this aquifer by means of six drillings (Hammar, Mouilah, Skhouna 2, Dzira Source, Ain Skhouna, and Ain-Sefra F4) of this same syncline made it possible to distinguish three predominant hydrochemicalfacies, namely : Sodium and Potassium Chloride, Calcium Sulfate and Magnesium Sulphate, for mineralization between 600 and 1500 mg / L and hardness values between 40 and 83 ° F. These waters are generally of good quality and excellent for irrigation.

Keywords

Synclinal "Skhouna-Hammar"- Formation of Tiloula - Tiout Formation- - Ksour Mountains- Hydrogeology - Hydrochemistry - Tithonian - Lower Cretaceous - Barremian- Aptian-Albiannappe.