

N° d'ordre

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



Université d'Oran2
Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers
Département de Géologie

Mémoire

Présenté pour l'obtention du grade
De Master en Hydrogéologie

Option : **Hydrogeologie & Environnement**

Thème :

*Caractérisation hydrochimique de la source d'Ain Skhouna
(Wilaya de Saïda)*

Présenté par :

Mostefaoui Fatima Zohra

&

Sellami Bouchra

Devant le jury composé de :

BORSALI Toufik

MEBROUK-ZAIDI Naima

ABLAOUI Halima

Maître-Assistant A

Professeure

Maître-Assistante A

Univ. Oran 2

Univ. Oran 2

Univ. Oran 2

Président

Rapporteur

Examinatrice

Oran 2019

Sommaire

Remerciements.
Dédicace
Introduction générale

CHAPITRE I : situation géographique générale

I .1. Présentation de la zone d'étude	04
I .1.1. Situation géographique générale	04
I.1.2. Situation géographique du secteur d'étude (source Ain Skhouna):.....	05
I.2. Cadre géologique de la région d'Ain skhouna.....	06
I.2.1. La lithostratigraphie	06
Le Primaire	07
Le Secondaire.....	07
L'Infra-lias	07
Le Lias	07
L'Aalénien-Bajo Bathonien	07
Le Callovo –Oxfordien	07
Le Kimméridgien et le Portlandien	07
Le Crétacé inférieur	07
Le Tertiaire continental.....	07
Le Quaternaire	07
I. 2.2. Cadre structural	09
I.2.3. Cadre Tectonique.....	09
Conclusion.....	11

CHAPITRE II : CLIMATOLOGIE

II.1 Introduction	12
II.2 Etude des précipitations	12
II.2.1. Les précipitations mensuelles et annuelles_	12
II.2.2. Les précipitations saisonnières	13
II.3. Températures.....	14
II.4. Etude du climat	15
Diagramme pluviothermique	15
II .4.1. Les indices climatiques généraux	16
II .4.1.1. l'indice d'aridité annuelle I	16
II .4.1.2. Indice d'aridité mensuelle.....	17
Conclusion.....	17

CHAPITRE III : HYDROGEOLOGIE

III.1. Introduction.....	18
III.2 Les principales formations aquifères d`Ain skhouna	19
III.2.1 L`Aaleno bathonien	19
III.2.2 Le sénonien	19
III.3. Le tertiaire continental	19
III.3.1. Horizon Aquifères	19
III.4. Conclusion	22

CHAPITRE IV : HYDROCHIMIE

IV. 1. Introduction	23
IV. 3. Interprétations des résultats	24
IV. 3. 1. Caractéristiques organoleptiques	24
IV. 3. 2. Caractéristiques physico-chimiques	24
IV. 3. 3. Représentations graphique des eaux	25
IV. 3. 3. 1. Diagramme de Piper	25
IV. 3. 3. 2. Diagramme de de Scholler Berkloff.....	26
IV. 3. 3. 3. Diagramme de Stiff.....	28
IV. 3. 4. Etude des rapports caractéristiques.....	28
IV. 4. Etude de l`évolution de la qualité de l`eau de la source d`Ain Skhouna	29
Conclusion	
Conclusion générale.....	31
Liste des figures	
Liste des tableaux	

Dédicaces

Ce travail n'aurait pu être réalisé sans les encouragements de mon père, de ma mère et toute ma petite famille, et ma réussite sera pour eux le plus grand des cadeaux

Sellami Bouchra

Je dédie ce travail:

A mes défunts parents, que Dieu ait leur âme

A mes chers sœurs et frère, pour m'avoir encouragée et assistée durant tout mon cursus

Mostefaoui Fatima Zohra

REMERCIEMENTS

Grâce à Dieu et l'immense effort que nous avons fait, nous espérons que le résultat soit satisfaisant.

Nous tenons à remercier tous les professeurs et leur générosité pour nous avoir accompagnées pendant cinq ans, par la transmission de leur savoir et leurs connaissances.

Nous remercions du fond du cœur *Madame Mebrouk* qui nous a encadrées et dirigées dans le bon sens, tout au long de ce travail.

Nos remerciements s'adressent également aux membres du jury qui ont bien voulu juger ce travail.

Sans oublier Madame Khalfaoui Houria , pour son aide.

Introduction générale :

De toutes substances nécessaires à la vie que nous connaissons sur cette terre, l'eau est la plus importante.

Les eaux souterraines restent jusqu'à présent les meilleures ressources en eau potables et de bonne qualité.

La wilaya de Saida est connue par ses ressources en eau et en particulier, les sources thermales. Ces dernières ont toujours intéressé les êtres humains pour leur effet thérapeutique.

Pour cela, notre projet d'étude concerne l'étude de la qualité des eaux de la source d'Ain Skhouna. Cette étude est basée sur quatre chapitres :

- Une présentation de la zone d'étude, suivie d'une étude géologique.
- Une étude climatique qui permet de déterminer le type de climat de la région.
- Une étude hydrogéologique pour déterminer la lithologie des formations, leur extension, et leur origine.
- Une étude hydrochimique dans laquelle on va étudier les caractéristiques physico-chimiques et les différents faciès des eaux, puis nous terminons avec une conclusion.

Durant la réalisation de ce travail, on a rencontré beaucoup de difficultés pour consulter les données au niveau de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) et de l'Agence des Bassins du Chott Chergui. Nous nous sommes donc basées sur le travail bibliographique, et nous avons pu faire un prélèvement et réaliser une analyse dans un laboratoire privé à El Karma (laboratoire AFAK).

Chapitre I : Situation géographique générale

I.1.Présentation de la zone d'étude :

I.1.1. Situation géographique générale :

Les monts de Saïda forment, à la limite nord des hautes plaines oranaises, le prolongement vers l'Est des monts de Tlemcen et des monts de Daïa, constituant une unité géologique et géographique assez précise (fig. 01). Ils sont limités :

- **Au Nord** : par les chaînes telliennes (Monts de Béni Chograne).
- **Au Nord-Est** : par les monts de Mina qui forment l'extrémité occidentale des monts de l'Ouarsenis.
- **Au Sud** : par la dépression du Chott Chergui.
- **À l'Ouest** : par les Monts de Tlemcen et Monts de Daïa.

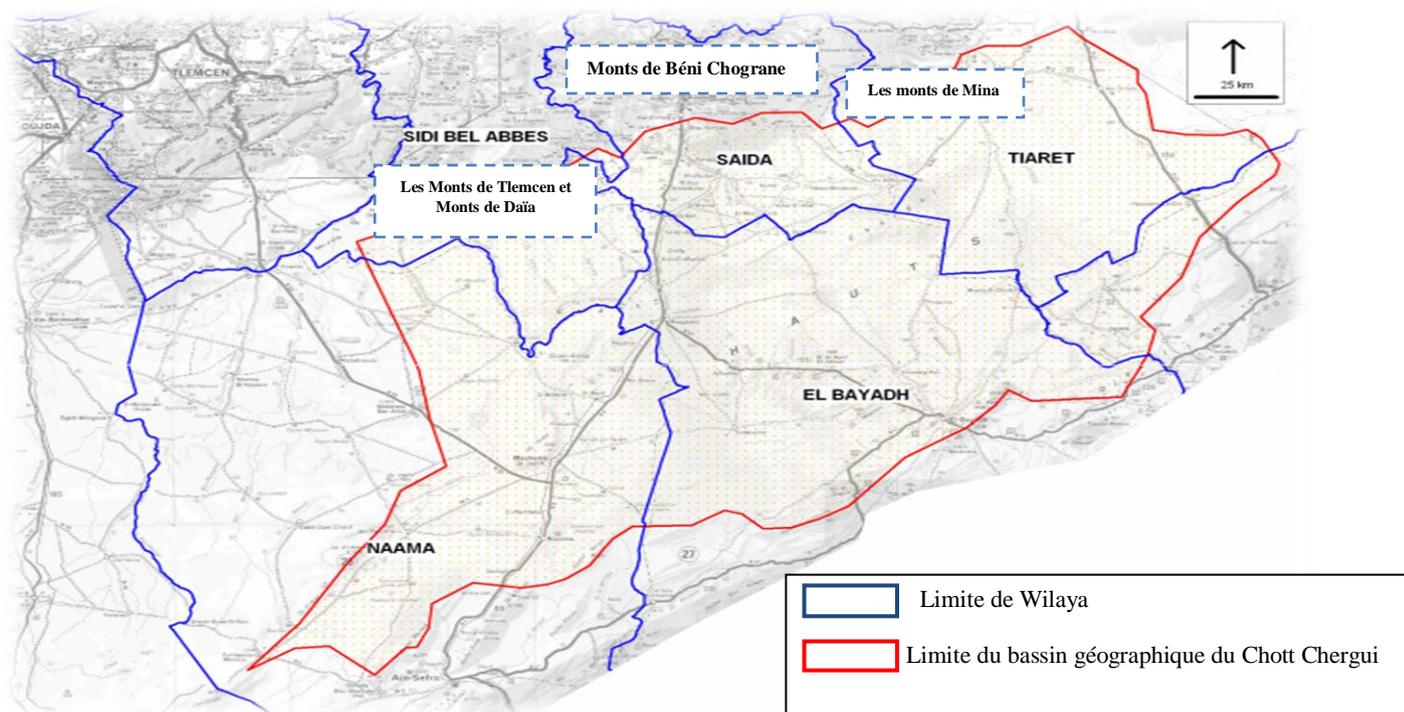


Fig. 01 : Localisation géographique de wilaya de Saïda

I.1.2. Situation géographique du secteur d'étude (source Ain Skhouna):

La région d'Ain Skhouna (wilaya de Saida), situé sur les hautes plaines steppiques de la région Ouest, fait partie du bassin versant du chott chergui (2700km²) a une superficie de 404,4km². Géographiquement, la source d'Ain Skhouna se trouve à une altitude de 900m, et de coordonnées 38° 33' 72" N et 01° 65 45'E (fig. 02).

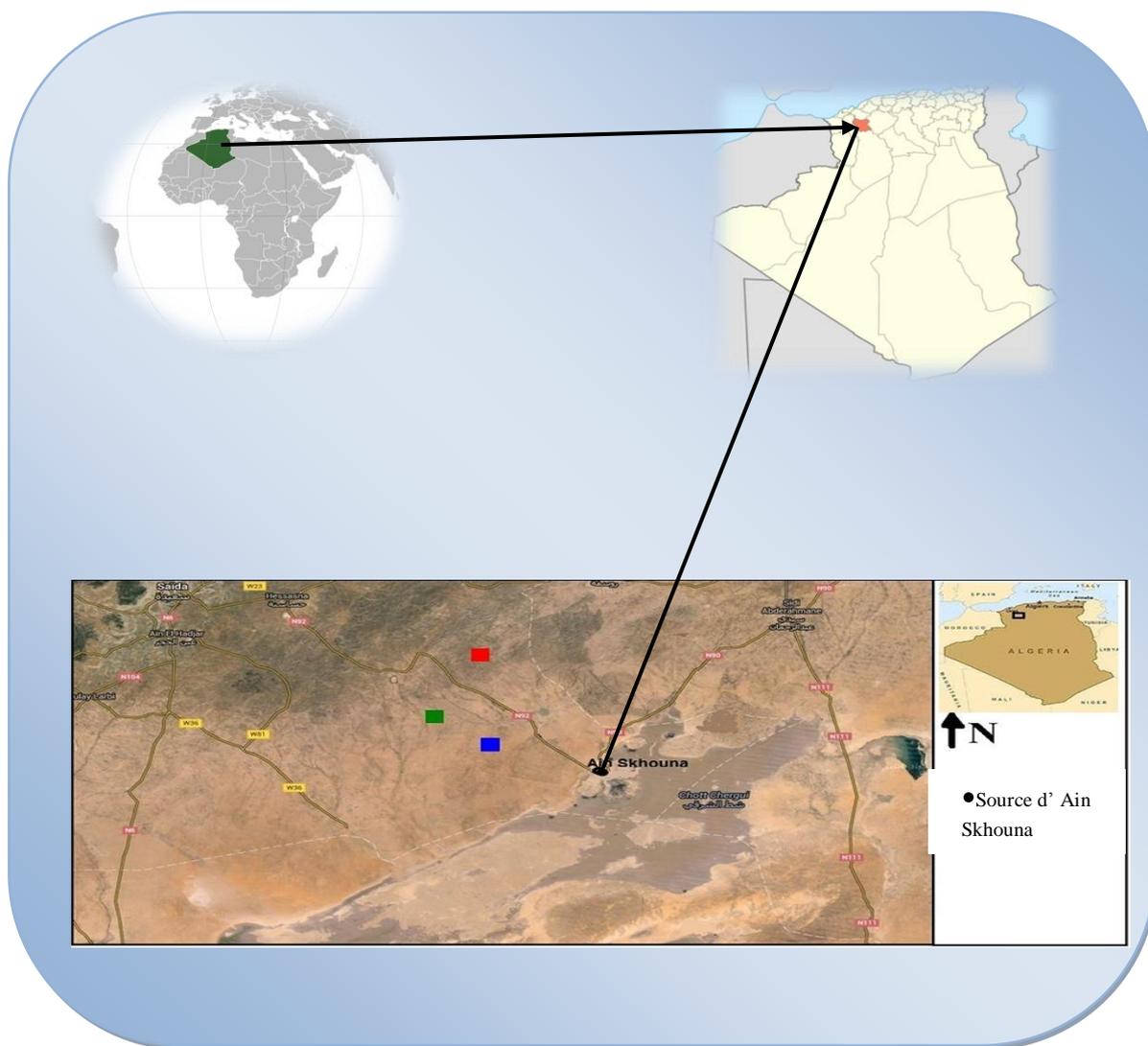


Fig. 02 : Localisation de la source thermique Ain skhouna

I.2. Cadre géologique de la région d’Ain skhouna :

La géologie a été décrite par les travaux de Cornet (1951), Clair (1956), Karpoffin (1960) et de la SOGREAH (1960). Les investigations géologiques ont été menées grâce à l’exécution de nombreux forages de reconnaissance répartis en 129 puits et sondages sur l’ensemble du bassin du Chott Chergui avec une assez grande densité aux environs d’Ain Skhouna.

I.2.1. La lithostratigraphie :

La lithostratigraphie de la région d’Ain Skhouna est formée au cours du temps par des cortèges d’accidents, principalement longitudinaux et de directions SW-NE, traduisant les déformations d’un socle hercynien.

Les formations rencontrées en affleurement dans la région d’Ain Skhouna sont :(fig. 03)

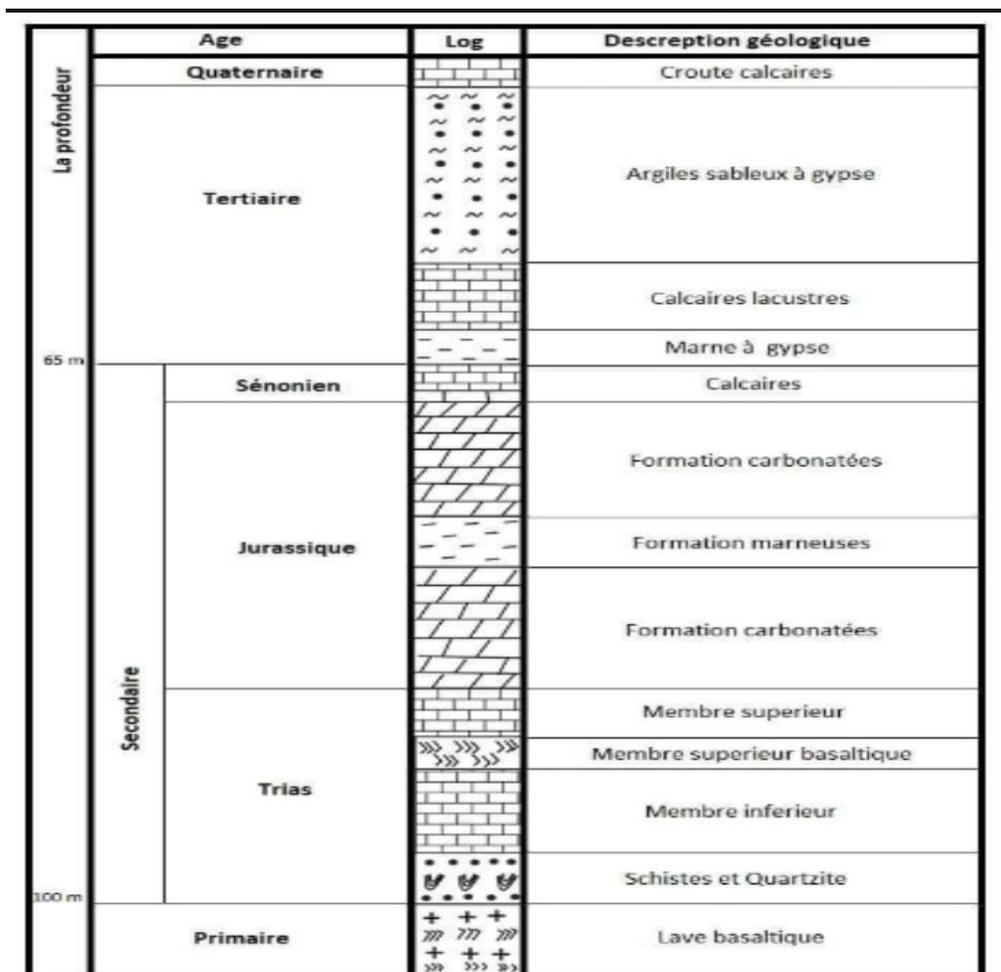


Figure 03 : Log lithostratigraphique de la région d’Ain Skhouna

❖ Le Primaire :

Il est constitué par des schistes et des quartzites dont l'épaisseur peut dépasser le millier de mètres.

❖ Le Secondaire :**• L'Infra-lias :**

Il est constitué par des poudingues noirs ou rouges à éléments de quartzite et de schiste. A la partie supérieure, on passe à des roches feldspathiques qui sont surmontées par des argiles jaunes ou grises, parfois par des calcaires.

• Le Lias :

Il est représenté par des dolomies et calcaires épaisses d'une trentaine de mètres.

• L'Aaléno-Bajo Bathonien :

Marqué par la présence des marno-calcaires du Toarcien

• Le Callovo –Oxfordien :

Il est constitué par une série argilo-gréseuse. Il est formé par des argiles grises, vertes ou jaunâtres et des grès verdâtres souvent en plaquettes ou en bancs plus épais.

• Le Kimméridgien et le Portlandien :

Marqué par la présence des séries dolomitiques et gréseuses du Lusitanien, il constitue un aquifère intéressant.

• Le Crétacé inférieur :

Il correspond à des assises gréseuses.

❖ Le Tertiaire continental :

Le substratum est constitué par des calcaires dolomitiques.

❖ Le Quaternaire :

Il forme des terrasses en bordure du Chott et recouvre parfois la carapace calcaire sous forme de limons plus sableux.

I. 2.2. Cadre structural :

Cette étude est établie à l'aide des coupes géologiques longitudinale et transversale. Le bassin du Chott Chergui, ou se trouve notre région est formé par un grand synclinal dissymétrique orienté WSW-ENE, dont l'axe est situé au Sud en bordure des derniers affleurements de l'atlas saharien (fig. 04).

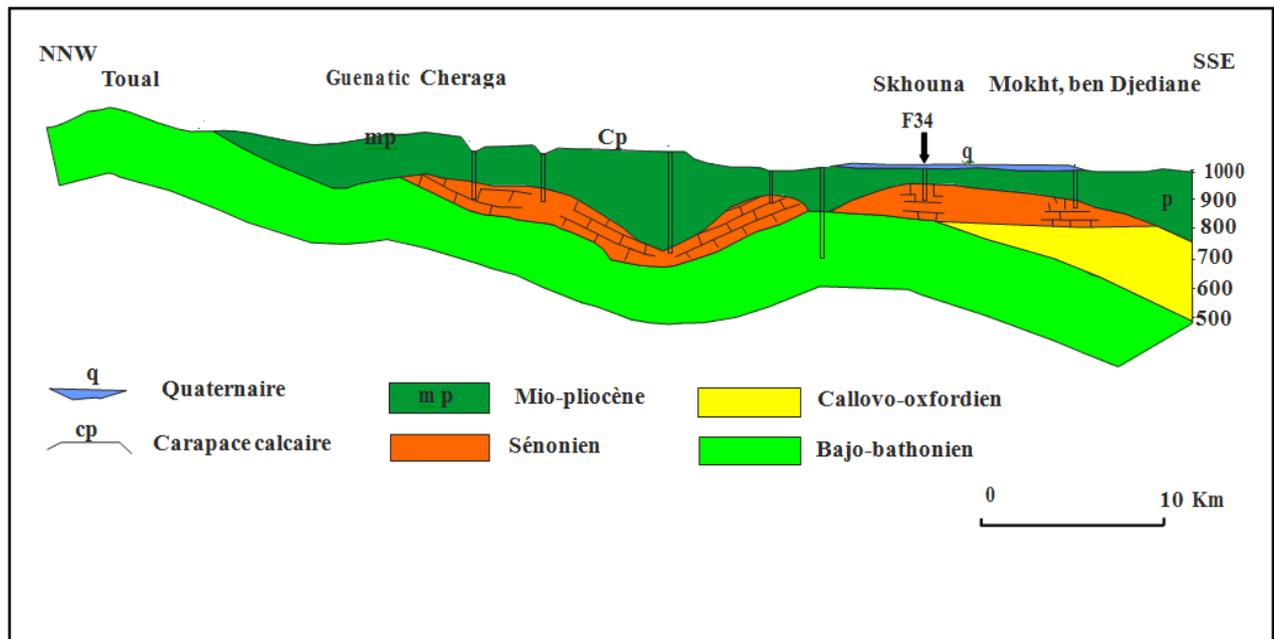


Fig. 04 : Coupe SSE-NNW passant par la région d 'Aïn Skhouna (*in* Bendouda 2013)

La coupe transversale SSE-NNW de la figure 04 montre que le flanc Nord du grand synclinal dissymétrique se prolonge en pente douce, tandis que le flanc Sud de l'anticlinal est surbaissé dans les monts de Saïda. C'est dans ce dernier qu'on retrouve de nombreuses petites failles dont le rejet ne dépasse d'ailleurs pas 100 à 150 m (Cornet, 1951 *in* Clair, 1956). Ces accidents semblent devenir de plus en plus rares sur le flanc sud de cet anticlinal ou quelques failles ont pu être relevées sur les affleurements de bordure de la dépression ; par contre, elles sont masquées par les atterrissements en bordure du Chott (fig.05).

Selon Clair (1956), rien n'autoriserait à tracer une grande faille passant par El Kheiter, Ain Skhouna et Ain Saous souvent invoquée pour expliquer facilement l'alignement des plus grosses résurgences de la bordure Nord du chott.

Au Nord-Est du chott sur le flanc nord du synclinal apparaissent des petites rides anticlinales de direction parallèle à l'ensemble de la dépression. Ces dernières sont soulignées par des affleurements jurassiques et sénoniens. Sous les atterrissements, ces rides sont souvent recouvertes par des lambeaux de calcaires sénoniens épargnés par l'érosion, les plus importantes de ces rides sont l'anticlinal qui borde au sud la dépression de la Daïet El Zrageut et le "haut fond" de la région d'Ain Skhouna recouvert par les calcaires sénoniens transgressifs. Ces rides jouent un rôle hydrogéologique important.

Le flanc sud du synclinal au contraire se relève brusquement et est recoupé par une série de failles dont la plus importante peut avoir un rejet supérieure à 1000 m (Cornel, 1951 *in* Clair, 1956). Elle constitue le grand accident Nord-Ouest, s'atténuant vers le Sud-Est et qui limite la structure typique de l'atlas saharien.

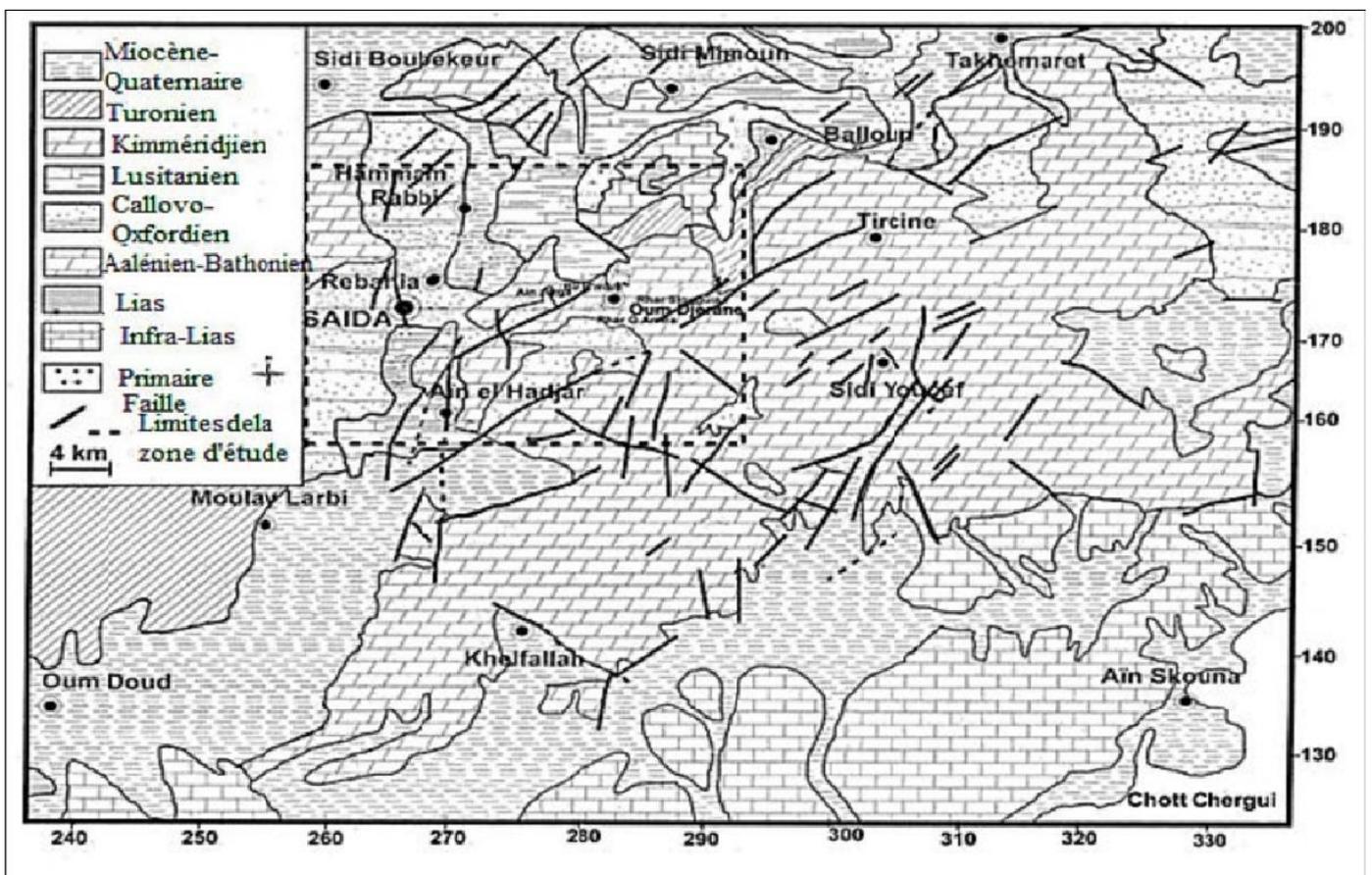


Fig. 05 : Tectonique de la zone d'étude (D. kaddour, 2015)

Le synclinal du chott chergui se présente comme un grand synclinorium très dissymétrique ou même comme un monoclinal se prolongeant vers le sud des monts de Saïda, affecté de mouvement secondaires et bordé au sud par un accident qui limite la structure typique de l'atlas saharien. La dépression du chott chergui représentant le chott proprement dit se situe dans la partie moyenne du flanc Nord de ce synclinal.

Au Nord de la dépression affleurent le Jurassique des Monts de Saïda et les différents termes du Crétacé. A l'Ouest, en bordure des monts de Daïa, on retrouve le Jurassique supérieur. Le sénonien transgressif est observé à l'Est en bordure des Monts de Frenda.

La partie centrale de la dépression est fermée par le remplissage tertiaire continental qui, du Nord au Sud, recouvre successivement les différents termes du Jurassique moyen et supérieur puis du Crétacé inférieur, moyen et supérieur, qui, du Callovien au Turonien, viennent se terminer sous forme de biseau. Le Sénonien transgressif se trouve seulement à la partie Nord et Nord-Est de la dépression où il repose sur le Jurassique moyen et supérieur.

L'ensemble des atterrissements, recouvert par la carapace calcaire où les terrasses récentes en bordure du chott, a une pente douce vers le centre de la dépression occupée par le chott où au Nord vers daïa Zrageut qui, topographiquement, semble former un petit bassin indépendant de celui de Chott chergui.

Conclusion :

La lithostatigraphie nous a montré que la région est caractérisée par une importante variété de formations géologiques, les terrains les plus répandus dans la région sont des terrains jurassiques.

La source thermale émerge dans les dolomies inférieures de l'Hettangien-Pliensbachien et les dolomies supérieures de l'Aaleno-bathonien.

Chapitre II :

Climatologie

II .1. Introduction :

L'étude climatologique est basée essentiellement sur l'analyse de deux paramètres : des températures et des précipitations. Ces derniers permettent d'estimer les volumes susceptibles de transiter par les nappes profondes (l'étude des infiltrations permet d'estimer les volumes des apports qui viennent des précipitations).

Cette partie est tirée des travaux du BNEIDER (2012). La période d'observation est comprise entre 1960 et 1998.

II .2. Etude des précipitations :

Globalement, la région d'Aïn Skhouna a des précipitations moyennes annuelles assez régulières avec une moyenne de 358 mm (Tab.01)

II .2.1. Les précipitations mensuelles et annuelles :

Tableau 01: Moyennes mensuelles des précipitations (BNEIDER, 2012)

mois	J	F	M	AV	M	J	JT	AT	S	O	NOV	DEC	moy annuelle
p (mm)	38,6	34,8	40,5	37,4	33	10,4	6,7	12,1	24,2	46,8	36,8	36,8	358,1

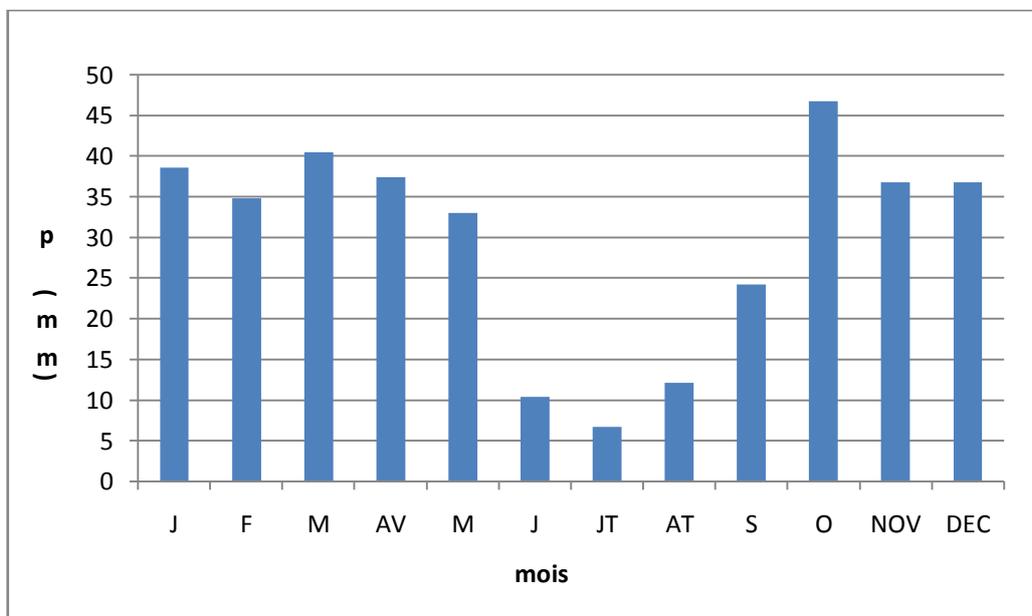


Fig. 06: Histogramme des précipitations mensuelles

L'histogramme de précipitation mensuelle montre que le mois d'Octobre est le plus humide et que le mois de Juillet est le plus sec.

II .2.2. Les précipitations saisonnières :

Les variabilités saisonnières se caractérisent à travers les fluctuations des précipitations durant les différentes saisons de l'année (Tab.02).

Tableau 02 : des précipitations saisonnières

saisons	Hiver	Printemps	Eté	Automne
p (mm)	110	111	29,2	109

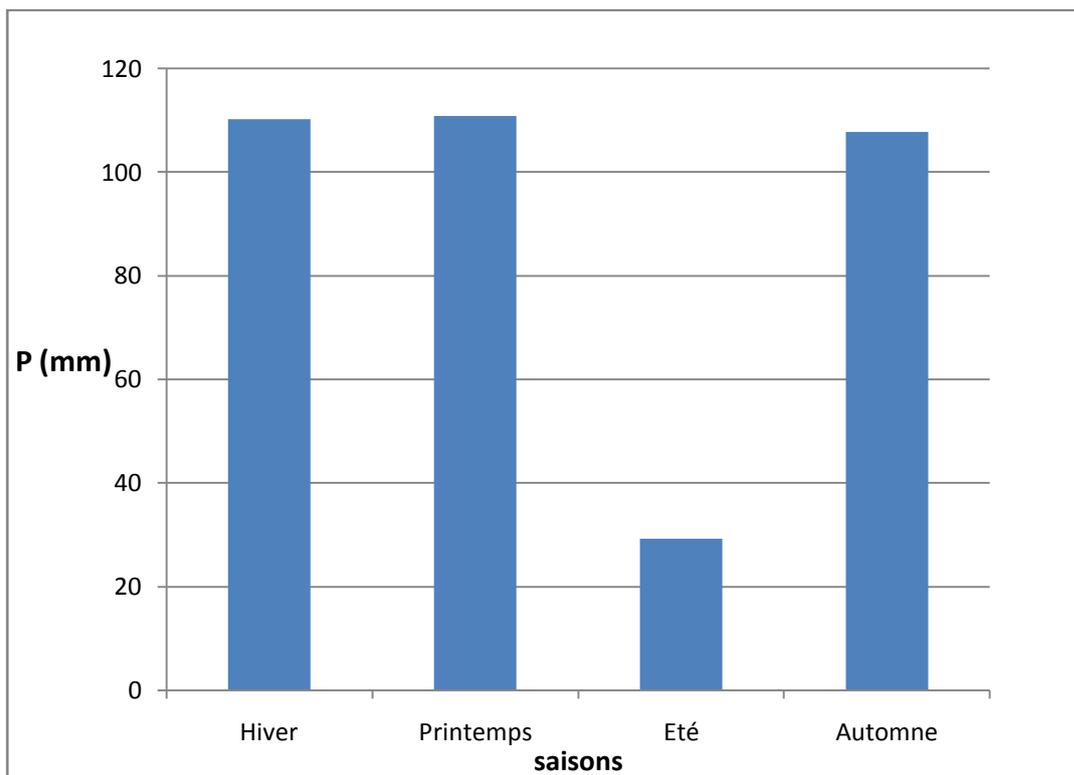


Fig.07 : Histogramme des précipitations saisonnières

La distribution des précipitations saisonnière montre que le printemps est la saison la plus humide, et l'Eté la saison la plus sèche.

II .3. La température :

Les températures représentent un facteur important dans la détermination du type de climat d'une région. Ces températures sont caractérisées par des observations moyennes, minimales et maximales (Tab. 03).

Tab.03 : Les températures mensuelles moyennes, minimales et maximales (BNEIDER 2012)

Mois	J	F	M	AV	M	J	Jt	A	S	O	N	D	moy
T (max)	13,8	15,5	18,6	21	25,9	31,9	36,4	35,8	30,2	24,6	18,5	14,9	23,92
T (min)	3,1	3,4	5,6	6,7	10,5	15	18,5	18,8	14,5	11,7	7	4,3	9,92
T (moy) (c°)	8	9,2	11,9	13,7	18,1	23,5	27,4	27,2	22,3	17,8	12,4	9	16,7

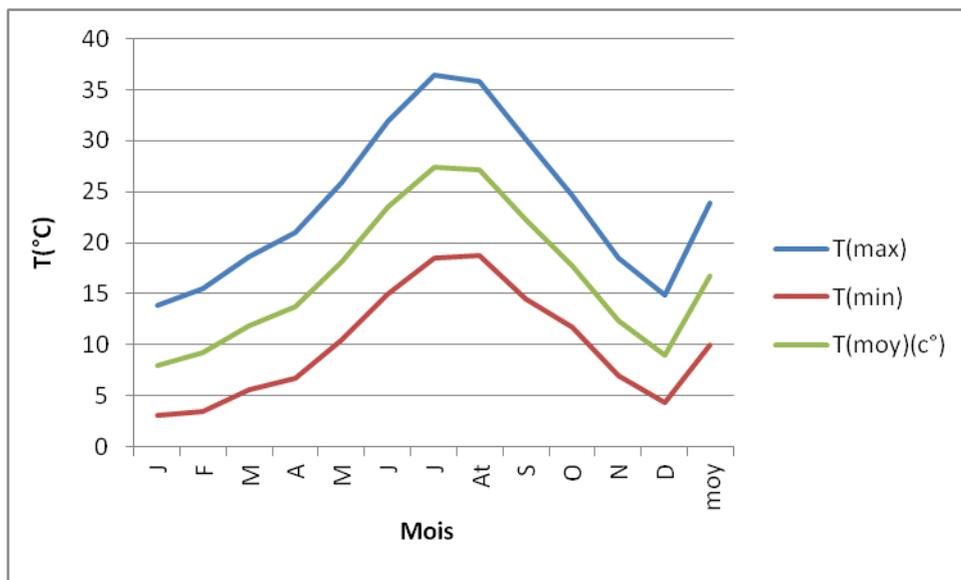


Figure 08 : Courbe des températures mensuelles

Les courbes des températures mensuelles montre que :

Le mois le plus froid est celui de Janvier avec $T = 8.3^{\circ}\text{C}$ ($T_{\text{min}} + T_{\text{max}} / 2$). Et Le mois le plus chaud est celui de Juillet avec $T = 27.4^{\circ}\text{C}$.

II .4. Etude du climat :

Après avoir défini tous les facteurs climatiques caractérisant la région d'Aïn Skhoua, principalement la pluviométrie et la température, on doit déterminer le type de climat régnant.

Dans ce contexte, plusieurs méthodes peuvent être employées :

Diagramme pluviothermique :

Ce diagramme est régi par des règles strictes :

- Les mois sont figurés en colonnes regroupées selon les quantités saisonnières de précipitations.
- La saison sèche ou pluvieuse débute rarement en janvier. La pluviométrie mensuelle et les températures moyennes sont représentées de telle façon que le rapport ($P/T=2$).

Tableau 04 : moyennes mensuelles de la température et des précipitations

Moi	J	F	M	AV	M	J	Jt	A	S	O	N	D
pp (mm)	38,6	34,8	40,5	37,4	33	10,4	6,7	12,1	24,2	46,8	36,8	36,8
T (moy) c°	8	9,2	11,9	13,7	18,1	23,5	27,4	27,2	22,3	17,8	12,4	9

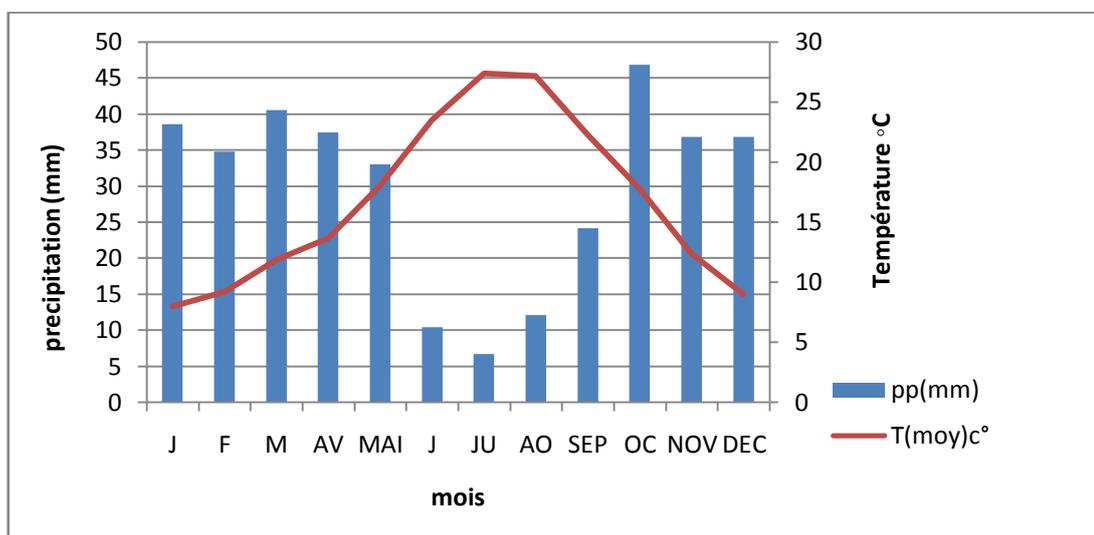


Fig. 09 : Diagramme pluviothermique

- L'histogramme passe sous la courbe thermique lorsque le mois est "sec", ainsi ($P < 2T$) (M. TABEAUD, 1998), ce qui est apparait dans notre diagramme pour les mois de juin, juillet, Aout, septembre (fig.09).

II .4.1. Les indices climatiques généraux :

Les indices climatiques permettent de mieux cerner le type du climat de la région d'étude.

II .4.1.1. Indice d'aridité annuelle I :

- $I=p /T+10$ (D'après la de définition de DEMARTONNE)

Où :

- ✓ I : indice d'aridité annuelle.
- ✓ P : précipitations annuelle (mm).
- ✓ T : température annuelle C°.

D'après les calculs numériques on obtient **I=13.40**.

Selon l'abaque de DeMartonne, la région d'Ain Skhoua est située dans une zone semi aride avec un écoulement temporaire (fig.10).

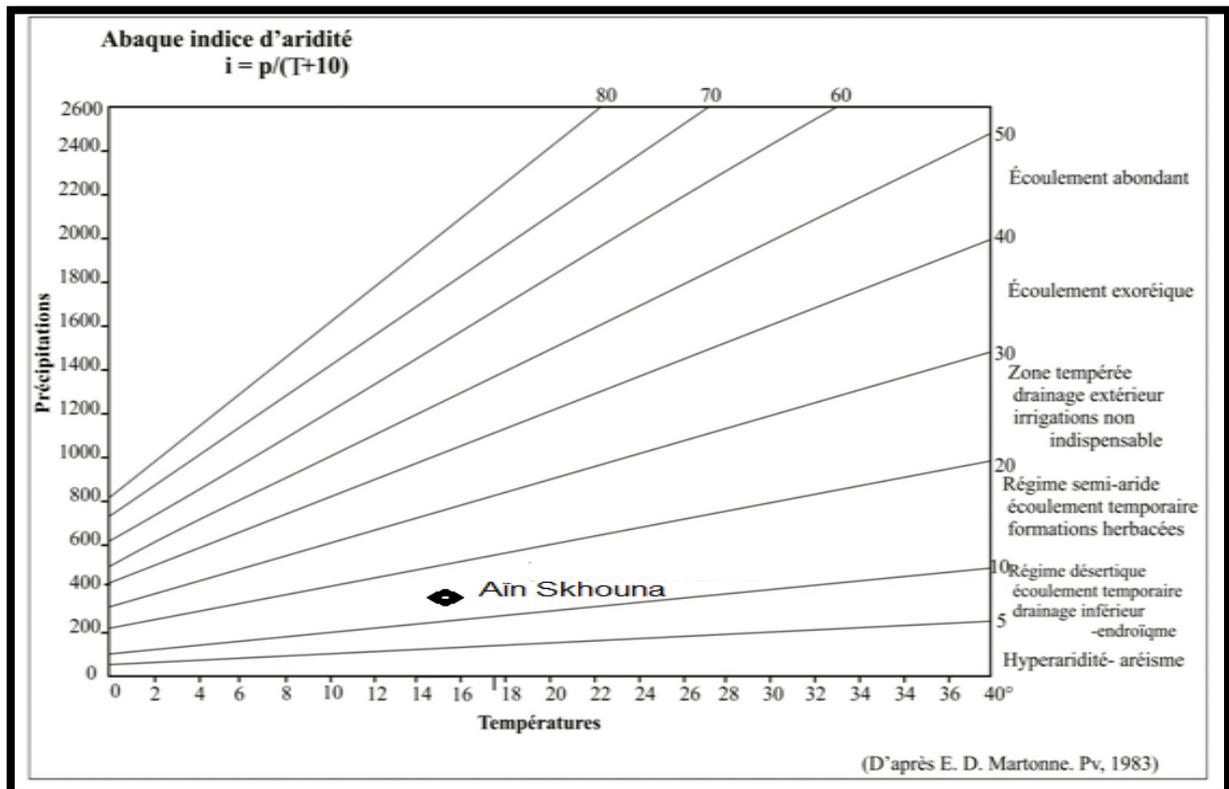


Fig. 10 : Abaque d'indice d'aridité de DE MARTONNE

II .4.1.2. Indice d'aridité mensuelle (i) :

L'indice de DeMartone nous permet de représenté une tendance globale de la source d'étude, Il est intéressant d'étudier ces variations mensuelle (tab.05).

On utilisant la relation suivante :

- **$I=12p /t+10$**

Où :

- ✓ P : précipitation moyenne mensuelle (mm).
- ✓ T : température moyenne mensuelle(C°).

Tableau 05 : les indices d'aridités mensuelles

mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
I	25,73	21,75	22,19	18,93	14,09	3,58	2,14	3,9	8,99	20,2	19,71	23,24

Après le calcul numérique, on obtient : **I=10,7** pour la région d'Ain Skhouna.

Conclusion:

D'après l'étude climatique, nous pouvons conclure que la région d'Ain Skhouna est caractérisée par un climat semi aride, avec un hiver tempéré et un été chaud et sec.

Les précipitations étaient marquées par une régularité dans le temps. Cela est dû essentiellement au nombre important d'observations enregistrés, la moyenne annuelle de précipitation est de **358 mm** et la moyenne annuelle de température est de **16.70°C**.

Le mois de janvier est le plus froid avec une moyenne de **8°C**, tandis que le mois de juillet est le plus chaud avec une moyenne de **27°C**.

L'association de deux paramètres (précipitation et température) a donné un diagramme pluviothermique où on remarque que la période humide s'étale du mois de septembre au mois de Mai.

Nous pouvons toutefois signaler que ce type de climat n'est pas toujours stable et peut subir des variations cycliques mouvementées par le phénomène des changements climatiques engendrés ces dernières années.

Chapitre III :

Hydrogéologie

III.1. Introduction :

Une eau thermale est une eau souterraine dont la température est supérieure à celle moyenne des eaux de nappe de la région.

On appelle une eau thermale toute eau minérale chaude, dotée de propriétés thérapeutiques et utilisée au sein d'un établissement thermal.

Les eaux de pluie et les fontes de neige sont les principales sources d'alimentation des eaux souterraines, par infiltration dans le sol et le sous-sol, c'est à dire les eaux thermales sont globalement d'origine météorologique.

Le fonctionnement de tous les systèmes thermaux est marqué par trois étapes :

- Infiltration des eaux météoriques vers la profondeur.
- Réchauffement des eaux.
- Remontée rapide à la surface.

Les sources thermales se différencient alors en fonction de deux critères : Le mode de réchauffement (gradient géothermique des eaux) et le mode de remontée vers la surface.

On constate que la température des eaux thermales dans la région d'Ain Skhouna est supérieure à **30°C**. Cette dernière montre que l'origine de l'eau est assez profonde.

Selon les études géologiques sur la région, il existe trois grandes formations pouvant jouer un grand rôle hydrogéologique :

- Les dolomies supérieures de l'Aaléno-Bathonien.
- Les calcaires du Sénonien.
- Les différents niveaux du Tertiaire continental.

III .2. Les principales formations aquifères d`Ain Skhouna : (Fig. 11), (fig 12)

- **L`Aaléno-Bathonien :**

Cet aquifère se situe dans les dolomies et calcaires du Jurassique moyen souvent très altérés et qui constituent une assise d`une perméabilité importante, il constitue le réservoir principal de la région.

Le toit est constitué par la série saline du Tertiaire et par les calcaires du Sénonien. Le substratum est constitué par des marnes attribuées au Toarcien. Elles affleurent sur une large surface au Nord-Ouest d`Ain Skhouna sur le flanc Nord des monts de Saïda.

Les exutoires de la nappe Aaléno-Bathonienne sont principalement la source d`Ain Skhouna.

- **Le Sénonien :**

Les calcaires du Sénonien constituent une assise d`une perméabilité importante, et un drain important de cette formation.

- **Le Tertiaire continental :**

Il couvre la majeure partie du bassin géographique du Chott el Chergui, son épaisseur varie de 0.50 à 3.80m.

Les deux horizons aquifères de l`Aaleno Bathonien et du Sénonien ont été considéré comme étant un seul horizon aquifère malgré que l`on ait des eaux avec des caractéristiques hydrochimiques nettement différentes car ces deux aquifères sont intimement liés: le Sénonien participe à l`alimentation de l`Aaléno-Bathonien (fig. 11).

Echelle: 1/5000

X:327,25

Y:431,05

ETAGE	Profondeur et Cotes(m)	COUPE	DESCRIPTION GE O L OGIQUE	
TERTIAIRE continental et QUATERNAIRE	997.33m		Marno-calcaire et argile brique claire Argile brique	
SENONIEN	100		Galets calcaire et ragnons silicieux colmatés à leur partie supérieur	
			Calcaire blanc a pate fine parfois crayeux détritique ou pseudo-oolitique altéré à sa partie supérieur	
AALENO.BAJONIEN.BATHONIEN	200		Niveau de brèche calcaire à ciment argileux	
			Marne gris vert au lit de vin et calcaire argileux rose souvent rubéfiés	
			Argile gris verte et calcaire argileux gris à gypse en filon nets, en tache au massif	
			Dolomie et calcaire dolomitique gris rose	
AALENO.BAJONIEN.BATHONIEN	300		Calcaire gris claire parfois argileux au détritique a joint stylolithiques et niveau argileux gris bleu	
			400	Dolomie cristallines grises ou rosées fracturé
				500
JURASSIQUE inférieur et TRIAS inférieur	600	Chlorure de sodium souvent bien cristallisé et argile détritique ou grés argileux rouge vif		
		sulfo-carbonate gris		
		Chlorure de sodium massif et petit niveau gypseux		
		Basalte avec nodule de NaCl		
JURASSIQUE inférieur et TRIAS inférieur	700	Gypse massif et argile finement lité		
		Chlorure de sodium gris massif		
Soacle	800	Argile brique foncé		
		+++++	Granite	

Fig. 12 : Coupe de forage de la région d`Ain Skhouna

Conclusion :

La source d`Ain Skhoua est la source la plus importante de la région. Elle draine la nappe des dolomies de l`Aaléno-Bathonien (Jurassique moyen) ,qui sont surmontées par les calcaires du Sénonien. Ces derniers jouent un rôle hydrogéologique extrêmement important en servant de drain collecteur aux eaux de la bordure septentrionale de Chott el Chergui.

Chapitre IV :

Hydrochimie

IV. 1. Introduction :

L'étude hydrochimique nous permet d'étudier les caractéristiques et la qualité des eaux souterraines.

Le point d'eau concerne par notre étude présente les coordonnées suivantes :

Point d'eau	Coordonnées		
	X (Km)	Y (Km)	Z (m)
Aïn Skhouna	327,1	126,0	984,0

Pour réaliser cette étude, nous sommes passées par trois étapes :

- 1- Campagne de prélèvement sur le terrain : nous nous sommes déplacées sur le terrain le 31 mars 2019 pour réaliser un prélèvement de l'eau de la source, conformément au protocole d'échantillonnage.
- 2- Analyse au laboratoire : nous avons réalisées une analyse fondamentale des anions et cations majeurs de l'eau de la source au laboratoire AFAK à El Karma (Oran).
- 3- Traitement et interprétation des résultats.

IV.2. Matériel et Méthodes :

En plus des résultats d'analyse de l'échantillon que nous avons réalisés en mars 2019, nous avons considérées les résultats d'analyse réalisés par l'ANRH de 1997 à 2015.

Les analyses des échantillons ont portées sur :

- Les caractéristiques organoleptiques.
- Le pH et les températures T (C°).
- La conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$).
- La minéralisation (mg /L).
- Le titre alcalimétrique (TA), et le titre alcalimétrique complet TAC (F°).

Sur la base de ces données, nous avons abordé l'étude de la qualité des eaux de la source d'Ain Skhouna, par les différentes méthodes hydrochimiques.

IV. 3. Interprétations des résultats :

Afin de suivre une éventuelle évolution du chimisme de l'eau de source, nous avons considères les résultats d'analyses réalisées en 1997, 2012, 2014, 2015et 2019 (Tab. 06, 07).

IV. 3. 1. Caractéristiques organoleptiques :

- La couleur : l'eau est limpide c'est à dire incolore.
- L'odeur : inodore.
- Gout et saveur : douce

IV. 3. 2. Caractéristiques physico-chimiques :

Nous avons présenté les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau pour les différentes périodes considérées, dans les tableaux 06 et 07 ci-dessous :

Tableau 06: Résultats de l'analyse chimique de l'eau d'Ain Skhouna, exprimée en mg/l

Années	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Na ⁺ + K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻²
1997	195,46	123,98	262	9	271	408,25	316	229,36	/
2012	163,42	46	248	8,58	256,58	440,2	304	244	16,74
2014	165,41	63,78	/	/	596,16	418,9	480	30,5	/
2015	199	62	176	6	182	381	410	214	0.1
2019	174	57,1	121,37	3,41	124,78	390,5	404,96	/	1,32

Tableau 07 : Résultats de l'analyse chimique de l'eau d'Ain Skhouna, exprimée en meq/l

Années	rCa ⁺²	rMg ⁺²	rNa ⁺	rk ⁺	rNa ⁺ + K ⁺	rCl ⁻	rSO ₄ ²⁻	rHCO ₃ ⁻	rNO ₃ ⁻²
1997	9,75	10,20	11,39	0,23	21,84	11,5	00007	3,76	/
2012	8,15	3,79	10,78	0,22	11,00	12,4	6,33	4	/
2014	8,25	5,25	/	/	9,6	11,8	10	0,5	0.006
2015	9,93	0,82	0,43	0,15	0,58	10,73	8,54	3,51	/
2019	8,68	4,70	5,28	0,09	5,36	11	8,44	/	/

Tableau 08: Résultats des calculs

Paramètres	T (C)	Minéralisation (mg/l)	pH	Cond. (µs/cm)	RS (mg/L)
1997	/	1505	/	1985	/
2012	31	1607	7,25	2120	/
2014	35	1743	7.1	2300	/
2015	48	1743	7,2	2300	1520
2019	/	1402	7,16	1850	1403,3

IV. 3. 3. Représentations graphique des eaux

Les résultats des analyses chimique peuvent être portés sur les diagrammes permettant de visualiser les caractéristiques chimiques de l'eau de la source au cours des différentes périodes considérées (1997, 2012, 2014, 2015,2019), en donnant sa classifications chimiques ainsi que son facies.

IV. 3. 3. 1. Diagramme de Piper

Ce diagramme nous permet d'avoir une approche de la composition chimique de l'eau.

L'examen du diagramme de la figure 14 permet de constater une évolution du facies chimique de l'eau de la source dans le temps. Cette évolution ne semble pas normale pour une eau thermale d'origine profonde. Les points représentant la source pour l'année 2014 et l'année 2019 ont une position anormale sur le diagramme de Piper (fig. 13). Ceci s'explique par le non dosage du sodium et potassium et la valeur anormalement faible des bicarbonates pour l'année 2014, et le non dosage de la teneur en bicarbonates pour l'année 2019.(fig14).

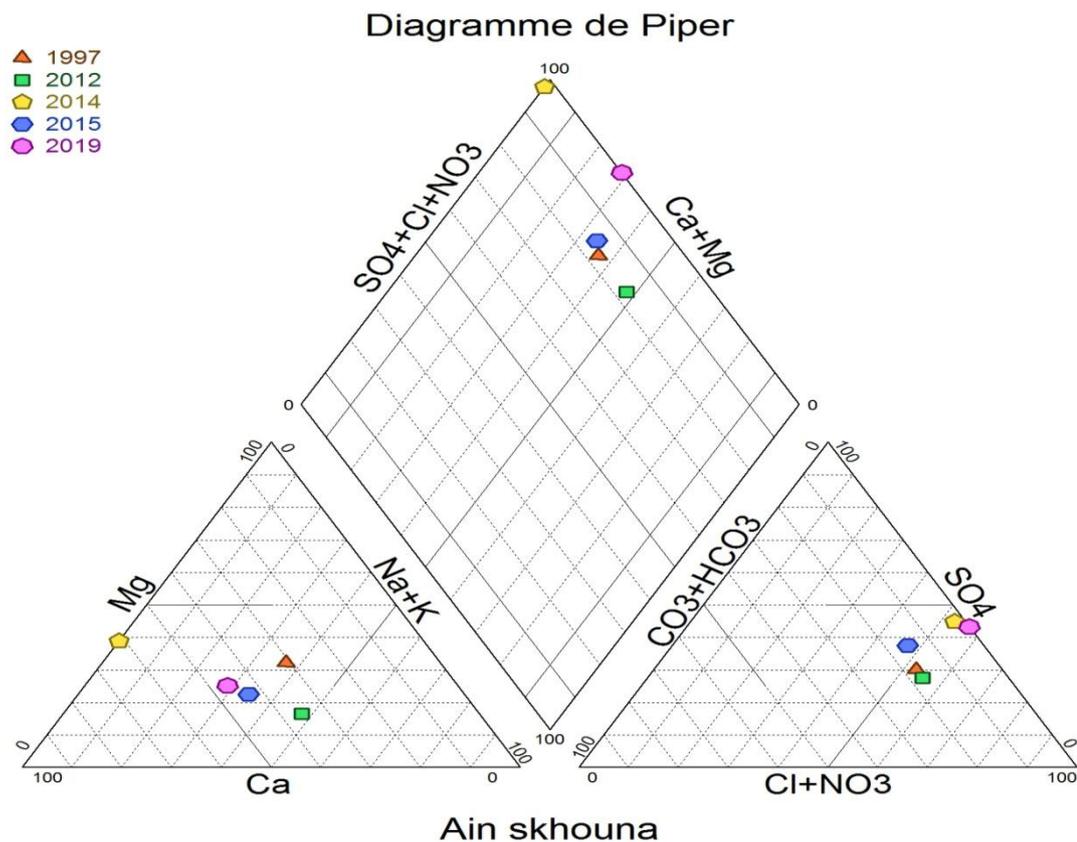


Fig. 13 : Représentation graphique d'après le diagramme Piper

Malgré ce problème d'analyse, nous constatons une évolution du faciès chimique de l'eau de chloruré sodique a chloruré calcique (tab. 09). Cette conclusion doit être vérifiée par des analyses complémentaires de l'eau de la source à différentes périodes.

Tableau09 : faciès caractéristique de l'échantillon prélevé

Années	formule	Faciès chimique
1997	$rCl > rSO_4 > rHCO_3$ et $rNa > rMg > rCa$	chlorure sodique
2012	$rCl > rSO_4 > rHCO_3$ et $rNa > rCa > rMg$	chlorure sodique
2014	$rCl^- > rSO_4 > rHCO_3 > rNH_3$ et $r(Na^+ + K^+) > rCa > rMg$	chlorure sodique
2015	$rCl > rSO_4 > rHCO_3$ et $rCa > rNa > rMg > rK$	Chloruré calcique
2019	$rCl > rSO_4$ et $rCa > rNa > rMg$	Chloruré calcique

IV. 3. 3. 2. Diagramme de de Scholler Berkaloff:

Ce diagramme permet de déterminer les faciès des eaux et leur évolution.

Le même problème d'analyse est soulevé pour les années 2014 et 2019. Hormis les résultats de ces deux dernières, les analyses chimiques effectuées sur les autres périodes permettent également de constater une évolution du faciès de chloruré sodique a chloruré calcique (entre 1997, 2012 et 2015) (fig. 14).

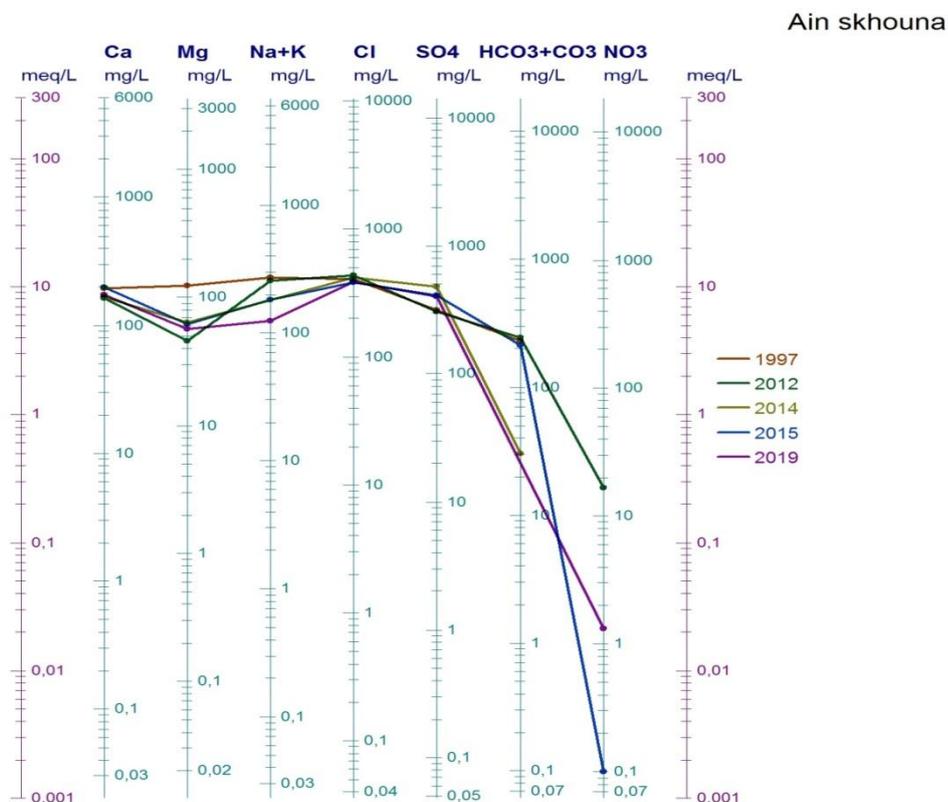


Fig.14 : Représentation graphique d'après le diagramme de Schoeller-Berkaloff

IV. 3. 3. 3. Diagramme de Stiff:

On reporte sur ce diagramme les quantités en réaction (r%), d'un cote les cations, et de l'autre cote les anions. Les mêmes résultats que précédemment sont confirmés par le diagramme Stiff (fig.16) :

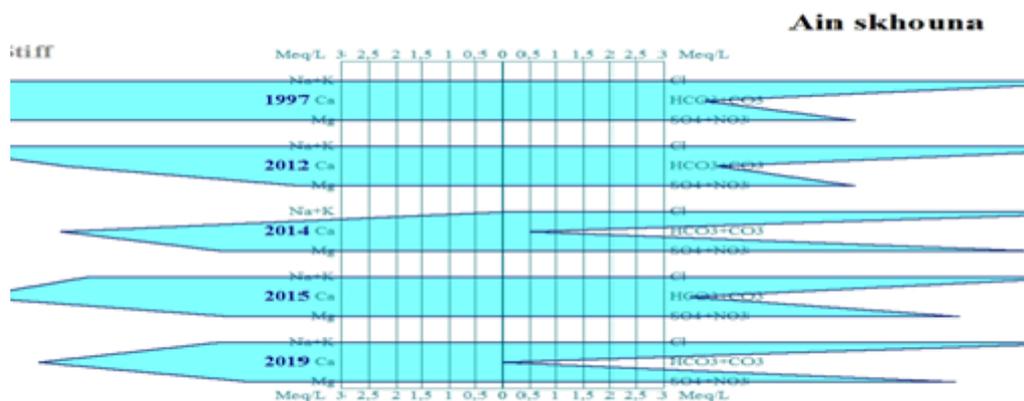


Fig. 15 : Représentation graphique d'après le diagramme de stiff

IV. 3. 4. Etude des rapports caractéristiques:

L'étude des rapports caractéristiques permet de préciser la prédominance des éléments chimiques (tab. 10).

Tableau 10 : Calcul des rapports caractéristiques.

Années	r (SO4/Cl)	r (Mg/Ca)	r (Na/Cl)
1997	0,61	1,05	0,99
mai-12	0,51	0,47	0,87
2014	0,84	0,64	/
2015	0,80	0,08	0,04
2019	0,77	0,54	0,48

Rapport SO_4/Cl : Ce rapport généralement varie entre **0,51** et **0,84**, ce qui détermine une dominance des chlorures sur les sulfates.

Rapport Na/Cl : On remarque une dominance du chlorure sur le sodium.

Rapport Mg/Ca : On remarque une dominance du calcium sur le magnésium , par contre en 1997 r Mg /Ca présente une dominance du magnésium sur le calcium.

IV. 4. Etude de l'évolution de la qualité de l'eau de la source d'Ain Skhouna :

Pour suivre l'évolution du chimisme de l'eau de la source d'Ain Skhouna de la période allant de 1997 à 2019, on a représenté les teneurs des différents cations et anions pour les années considérées (fig. 16et 17).

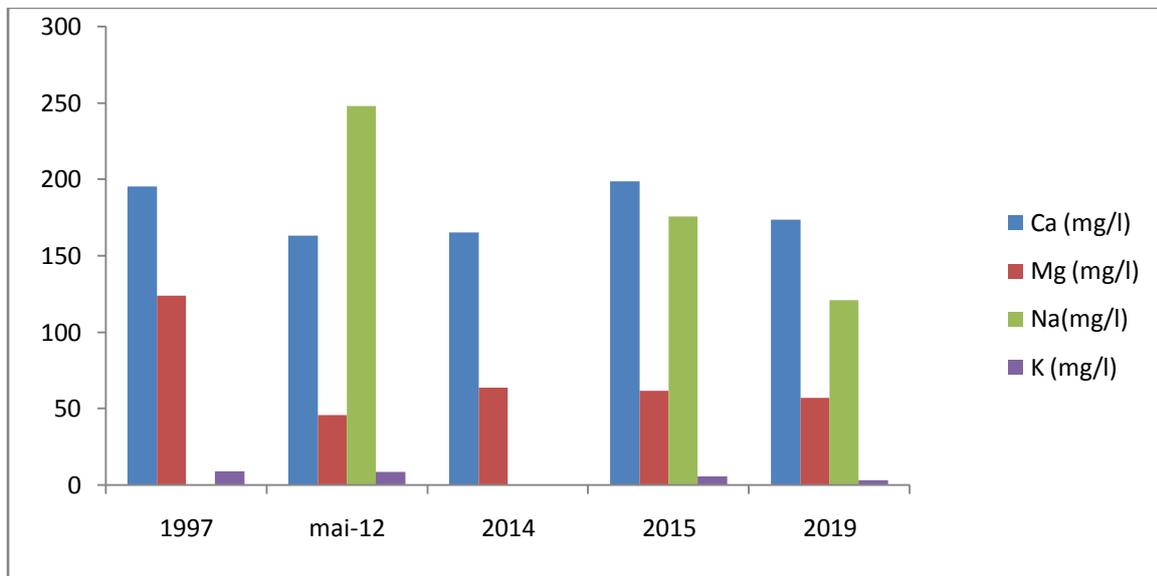


Fig. 16 : Evolutions des teneurs en Ca, Mg, Na et K à Ain Skhouna

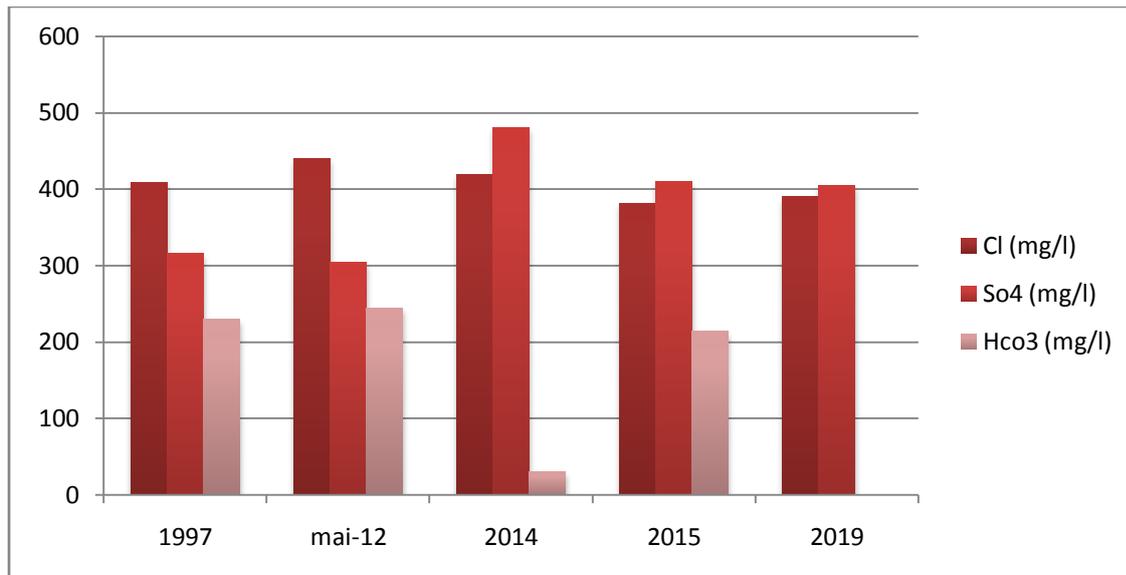


Fig.17 : Evolutions des teneurs en Cl, SO₄ et HCO₃ à Ain Skhouna

L'examen des histogrammes montre une variation assez marquée des différentes teneurs en cations et anions d'une année à l'autre, sauf pour le potassium ou cette variabilité est assez faible.

Conclusion :

L'eau de la source d'Ain Skhouna présente une conductivité relativement élevée, variant entre 1985 et 2300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, et donc une minéralisation relativement importante, comprises entre 1505 et 1743 mg/l.

Les pH sont neutres avec une valeur entre 7.10 et 7.25.

L'interprétation des résultats d'analyse sur différentes périodes a montré une évolution du faciès chimique de l'eau de chloruré sodique à chloruré calcique. Cette évolution serait due à une variabilité assez marquée des teneurs en certains cations et anions d'une année à l'autre.

Conclusion générale :

D'après les travaux réalisés dans ce mémoire (études géologique, climatique, hydrogéologique, et hydrochimique), on peut tirer les conclusions suivantes :

Le secteur d'étude est caractérisé par un climat semi aride, avec une moyenne de précipitation annuelle de 358 mm.

La lithostratigraphie est constituée par une diversité de formations géologiques, les terrains les plus récents étant d'âge jurassique.

D'un point de vue hydrogéologique, les différents horizons aquifères ont été étudiés ainsi que la relation entre ces derniers.

D'un point de vue hydrochimique, l'eau de la source d'Ain Skhouna est très dure, avec une minéralisation assez importante.

L'étude de l'évolution de la composition chimique de la source sur un certain nombre d'années a montré une instabilité de cette dernière, illustrée par une évolution de son faciès chimique.

Références bibliographiques:

- ACHARD J., (1952). L'exploitation des ressources du Chott Chergui. Université d'Alger.
- AIMER II., (2005). Impact des changements climatiques dans la contribution à l'étude du système aquifère du Chott Chergui, 2^{ème} séminaire national sur les ressources en eaux et l'environnement. C. U. Saïda.
- BOUDJEMAA M. & BELHAD B., (2008), Évolution de la qualité physico-chimique des Eaux de la nappe du Chott Chergui sur l'axe : Aïn Skhouna (W. Saïda) - El Kheïter (W. El- Bayadh).
- CLAIR A., (1956), Étude hydrogéologique du Chott Chergui (extrait du supplément au Numéro 27 de la revue terres et eaux) (4 trim. 1955- 1 trim.1956).
- CLAIR A., (1952). Etude hydrogéologique des Monts de Saïda, XIX^e Congrè international de Géologie - Alger. La géologie et les problèmes de l'eau en Algérie - Tome II - Données sur L'hydrogéologie algérienne.
- CORNET A., (1951). Le problème géologique du Chott Chergui, 70e Congrè de l'A.F.A.S-Tunis.
- C. T. H. Tlemcen, (2003), Etude Géotechnique du Site des 30Ha Aïn Skhouna - Saïda.
- FELLAH F. & KHELIL N. (2008), Le suivi des profils de dessèchement des sols steppiques (zone d'Aïn Skhouna), mémoire d'ingéniorat, université de Saïda
- GAUTIER M., (1952). La ressource aquifère du bassin du Chott Chergui (Oranie), XIXe Congrès international de Géologie - Alger. L'hydrogéologie des régions arides et subarides.
- GRANDAROVSKY G., (1965). Hydrogéologie du bassin du Chott chergui, département de Saïda.
- NEYRPIC, (1949). Etude hydrogéologique du Chott Chergui.
- CASTANY.G (1998) : Hydrogéologie principes et méthodes. Contribution à l'étude hydrologique dans les monts de Saida. Ateur Dj, Remmas H, Labani.A, Regagba Z.
- Actualisation d'une étude hydrogéologique et hydro chimique des eaux Thermales – Saida.
- CHIBANI.M & KADDOURI A. (2014).Actualisation d'étude Hydrogeologique et hydrochimique des eaux thermales-Saida
- SOGREAH (Algérie), (2008). Etude de Modélisation de 5 Systèmes d'Aquifères- Bassin de Chott Chergui
- Site web : Google Earth.

Liste des abréviations

A. N. R. H. : Agence National des Ressources Hydrauliques.

C. T. H. Tlemcen : Contrôle Technique de la Construction Hydraulique — Tlemcen.

SOGREAH : Société Grenobloise d'étude et d'applications Hydrauliques Algérie

BNEDER : Bureau national D'étude pour le Développement Rural

Liste des figures:

Figure 01: Localisation géographique de wilaya de Saïda.

Figure 02 : Localisation de la source thermale Ain skhouna.

Figure 03 : Log lithostratigraphique de la région d'Aïn Skhouna

Figure 04 : Carte géologique de la région d'Aïn Skhouna (C.T.H.Tlemcen, 2003).

Figure 05 : Coupe SSE-NNW passant par la région d 'Aïn Skhouna (*in* Bendouda 2013)

Figure 06 : Tectonique de la zone d'étude (D. kaddour, 2015)

Figure 07 : Histogramme des précipitations mensuelles

Figure 08 : Histogramme des précipitations saisonnières.

Figure 09 : Courbe des températures mensuelles.

Figure 10 : Diagramme pluviothermique

Figure 11 : Abaque d'indice d'aridité de DE MARTONNE

Figure 12 : Coupe de forage de la région d` Ain Skhouna

Figure 13 : Coupe schématique montrant les liaisons hydrologiques possibles entre les divers Horizons aquifères (Clair, 1956)

Figure 14 : Représentation graphique d'après le diagramme de piper

Figure 15 : Représentation graphique d'après le diagramme de Schoeller-Berkaloff

Figure 16 : Représentation graphique d'après le diagramme de stiff

Figure 17 : Evolutions des teneurs en Ca, Mg, Na et K à Ain Skhouna

Figure18 : Evolutions des teneurs en Cl, SO₄ et HCO₃ à Ain Skhouna

Liste des tableaux:

Tableau 01: Moyennes mensuelles des précipitations (BNEDER, 2012)

Tableau 02 : Des précipitations saisonnières.

Tableau03 : Les températures mensuelles moyennes, minimales et maximale (BNEDER 2012)

Tableau 04 : moyennes mensuelles de la température et des précipitations

Tableau 05 : les indices d'aridités mensuelles

Tableau 06: Résultats de l'analyse chimique de l'eau d'Ain Skhouna, exprimée en mg/l

Tableau 07: Résultats de l'analyse chimique de l'eau d'Ain Skhouna, exprimée en meq/l

Tableau 08: Résultats des calculs

Tableau 09: Faciès caractéristiques des échantillons prélevés

Tableau 10 : Calcul des rapports caractéristiques.