

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



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

Thème :

***Contribution à l'étude hydrogéologique du bassin versant de l'oued
Saïda. Ouest Algérie.***

Présenté par:

FELLAH Nawel

Soutenu le: 25 /06/2018 devant la commission d'examen:

BORSALI. T	Maitre assistant	Université d'Oran	Président
MANSOUR. H	Professeur	Université d'Oran	Rapporteur
ABLAOUI. H	Maitre assistante	Université d'Oran	Examinatrice

Oran 2018

SOMMAIRE :

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 1 : CONTEXTE GENERAL	
I. SITUATION GEOGRAPHIQUE	2
1. Situation géographique de la zone d'étude.....	2
2. Présentation du bassin versant de l'oued Saïda.....	4
II. CADRE MORPHOLOGIQUE ET HYDROGRAPHIQUE.....	5
1. Morphologie.....	5
2. Hydrographie	5
2.1. Classification du Réseau hydrographique.....	5
2.1.1. Hiérarchisation du réseau	6
2.1.2. Densité de drainage Dd	7
2.1.3. Fréquence des cours d'eau (F).....	7
2.1.4. Rapport de confluence (Rc).....	7
2.1.5. Rapport de longueur.....	7
III. CADRE CLIMATIQUE.....	8
1. Étude des Précipitations.....	8
1.1. Précipitations annuelles	8
1.2. Précipitations saisonnières.....	9
1.3. Précipitations mensuelles	9
2. Température.....	10
3. Le vent.....	11
4. Humidité de l'air.....	12
5. Etude du climat.....	13
5.1. Courbe pluviothermique (Gaussen et Bagnouls).....	13
5.2. Indices de De Martonne.....	14
5.2.1. Indice de d'aridité annuel.....	14
5.2.2. Indice d'aridité mensuelle.....	14
6. Déficit d'écoulement.....	15
6.1. Méthode de TURC.....	15
6.2. Méthode de COUTAGNE.....	16
6.3. Méthode de WUNDT.....	16
6.4. Méthode de THORNTHWAITE.....	17
6.4.1. Evapotranspiration potentielle.....	17
6.4.2. Evapotranspiration réelle (E.T.R.).....	18
7. conclusion	19

CHAPITRE II : GEOLOGIE

I. INTRODUCTION.....	20
II. CADRE GEOLOGIQUE	20
1. Géologie.....	20
2. Stratigraphie.....	22
2.1. Primaire.....	23
2.2. Secondaire.....	24
a. Le trias.....	24
b. Le jurassique.....	25
b.1. Le jurassique inférieur et moyen.....	24
b.2. Le Jurassique moyen (Dogger).....	25
b.3. Callovo-oxfordien et Lusitanien.....	25
b.4. Kimméridgien.....	25
2.3. Le tertiaire.....	25
2.4. Cénozoïque.....	25
- Le Néogène et le Quaternaire.....	25
III. CADRE STRUCTURAL	26
IV. CONCLUSION.....	28

CHAPITRE III: HYDROGEOLOGIE

I. INTRODUCTION.....	29
II. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE.....	29
1. Réservoirs potentiel.....	29
2. Description des aquifères.....	29
2.1. Aquifères du jurassique inferieur.....	30
2.2. Aquifères du Baja-Bathonien.....	31
2.3. Aquifères du Callovo-oxfordien.....	32
2.4. Aquifères du lusitanien.....	32
2.5. Aquifères du Kimméridgien.....	32
2.6. Aquifères du Crétacé.....	32
2.6.1. <i>Aquifères du Barrémien</i>	32
2.6.2. <i>Aquifères du Sénonien</i>	32
2.7. Aquifères du Tertiaire et du Plio-quaternaire.....	32
2.7.1. <i>Aquifères du Tertiaire continental</i>	32
2.7.2. <i>Aquifères du Plio-quaternaire</i>	33
3. Principales nappes.....	34
a. Nappe superficielle.....	34
b. La nappe karstique.....	34
4. Conditions aux limites.....	35
a. Limites latérales.....	35
b. Limites verticales.....	36
5. Etude de la fracturation.....	36
6. Interprétation de la carte piézométrique de la région d'étude.....	37
III. CONCLUSION.....	39

CHAPITRE IV: HYDROCHIMIE

Introduction.....	40
1. Analyse physico-chimiques.....	41
1.1. Paramètres physiques.....	41
1.1.1. <i>La température</i>	41
1.1.2. <i>Le PH</i>	41
1.1.3. <i>La conductivité</i>	41
1.2. Paramètres organoleptiques.....	42
1.2.1. <i>La Couleur</i>	42
1.2.2. <i>L'Odeur</i>	42
1.3. Paramètres chimiques.....	42
2. Application chimique sur les eaux souterraines de la région.....	43
2.1. Etude des ions contenus des éléments majeurs.....	43
2.2. Représentation graphique des éléments majeurs.....	43
2.2.1. <i>Diagramme de Shæller-Berkaloff</i>	43
2.2.2. <i>Diagramme de Piper</i>	46
2.3. Balance ionique.....	47
2.4. Etude des éléments majeurs.....	48
a. Étude statistique.....	48
3. Qualité chimique de l'eau.....	50
3.1. Classification des eaux selon la dureté.....	50
3.2. Norme de potabilité.....	51
4. Qualité des eaux d'irrigation.....	51
5. Etude des rapports caractéristiques.....	52
6. Interprétation des Cartes d'isoteneurs.....	53
a. Les cations.....	53
b. Les anions.....	56
Conclusion.....	61
CONCLUSION GENERALE.....	62
Références bibliographiques.....	64

Dédicace

Ce travaille est dédié

*à la femme qui m'a donné la force et m'a poussé et encouragé
pour être une étoile dans le ciel quand j'étais une pierre sur
le sol... à ma mère
que dieu la conserve ;*

*à mon père après tout les efforts qui a faits et qu'il fait encore
et*

*toujours pour le bien de notre famille,
je souhaite une longue et joyeuse vie ;
à mes frères;*

*Abdelkader, Abdelrazzek, Farouk
à ma sœur: Souad*

*à mes camarades de Master Hydrogéologie
Années promotion 2018.*

*A la fin je dédie très chaleureusement tous enseignants de
l'Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed*

REMERCIEMENTS

Tout d'abord je tiens à remercier le bon dieu pour m'avoir donné le courage, la force et la volonté pour réussir et de m'avoir éclairci le chemin tout au long de ma vie.

Tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense amour que je vous porte, ni la profonde gratitude que je vous témoigne pour tous les efforts et les sacrifices que vous n'avez jamais cessé de consentir pour mon instruction et mon bien-être.

Au terme de cette étude, je remercie chaleureusement mon directeur de recherche Monsieur MANSOUR HAMIDI pour sa confiance, d'avoir proposé le sujet et pour avoir encadré et suivi mon travail.

Je tiens à remercier Monsieur BORSALI TOUFIK maître assistant enseignant à l'université d'Oran, qui m'a fait l'honneur de présider

Je dois présenter mes remerciements à Melle : ABLAOUI HALIMA maître assistante enseignante à l'université d'Oran pour ses aides et conseils et encouragement sa présence dans le jury me fait très grands plaisir.

Je n'oublie pas non plus tous mes amis qui m'ont toujours encouragé. A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, à tous ceux qui m'ont encadré, à tous ceux qui m'ont encouragé, à tous ceux qui m'ont accordé leur confiance, à tous ceux qui m'ont montré leur intérêt, à vous tous MERCI

INTRODUCTION GÉNÉRALE

CHAPITRE I

CONTEXTE GENERALE

CHAPITRE II

CONTEXTE GÉOLOGIQUE

CHAPITRE III
HYDROGEOLOGIE

CHAPITRE IV
HYDROCHIMIE

CONCLUSION
GÉNÉRALE

ANNEXES

INTRODUCTION GENERALE.

L'eau est devenue, ces dernières années pour de nombreux pays dont l'Algérie, une problématique d'ordre stratégique. En effet, l'Algérie est confrontée aujourd'hui à un manque d'eau important dû à la semi-aridité de son territoire, aux faibles précipitations et à la sécheresse qui sévit d'année en année. L'érosion hydrique en Algérie, varie d'une région à l'autre. La partie ouest du pays est la plus érodée, où elle touche 47% de l'ensemble des terres, suivie du centre 27% et de l'est 26%.

En dépit de sa faible superficie, la région étudiée est parfaitement représentative de l'évolution observée dans les bassins versant en Algérie. Le sous bassin versant de l'oued Saïda est confronté à un grave problème de dégradation du sol, particulièrement à l'aval de bassin versant de l'oued Saïda.

Afin de mieux comprendre le contexte hydrogéologique de bassin versant de l'oued Saïda, nous avons jugé nécessaire à prendre en considération les axes qui répondent au mieux aux préoccupations et aux objectifs de cette étude. Ainsi notre travail sera scindé en 4 chapitres:

Le premier chapitre relatif aux généralités, expose la situation géographique et l'étude morphologique à travers l'identification et la quantification des paramètres liés au bassin versant (réseau hydrographique, relief et leurs influences sur l'écoulement). L'étude climatologique qui regroupe l'étude des différents paramètres climatiques vient clôturer le chapitre

Le deuxième chapitre « contexte géologique » ; expose les caractéristiques géologiques de la région ; qui permettront de distinguer les différents réservoirs aquifères.

Nous abordons le troisième chapitre « hydrogéologie » qui a été consacrée aux caractéristiques hydrogéologiques et à la cartographie piézométrique, montrant la dynamique des eaux souterraines.

Le quatrième chapitre traite le chimisme de la nappe d'eau ainsi que son degré de potabilité et sa servitude à l'irrigation.

I. SITUATION GEOGRAPHIQUE

1. Situation géographique de la zone d'étude :

La wilaya de Saïda occupe une position centrale dans l'Ouest de l'Algérie, elle est limitée (fig. 1):

- Au Nord, par la wilaya de Mascara,
- Au Sud, par la wilaya d'El Bayadh,
- A l'Ouest, par la wilaya de Sidi Bel Abbès,
- A l'Est, par la wilaya de Tiaret.

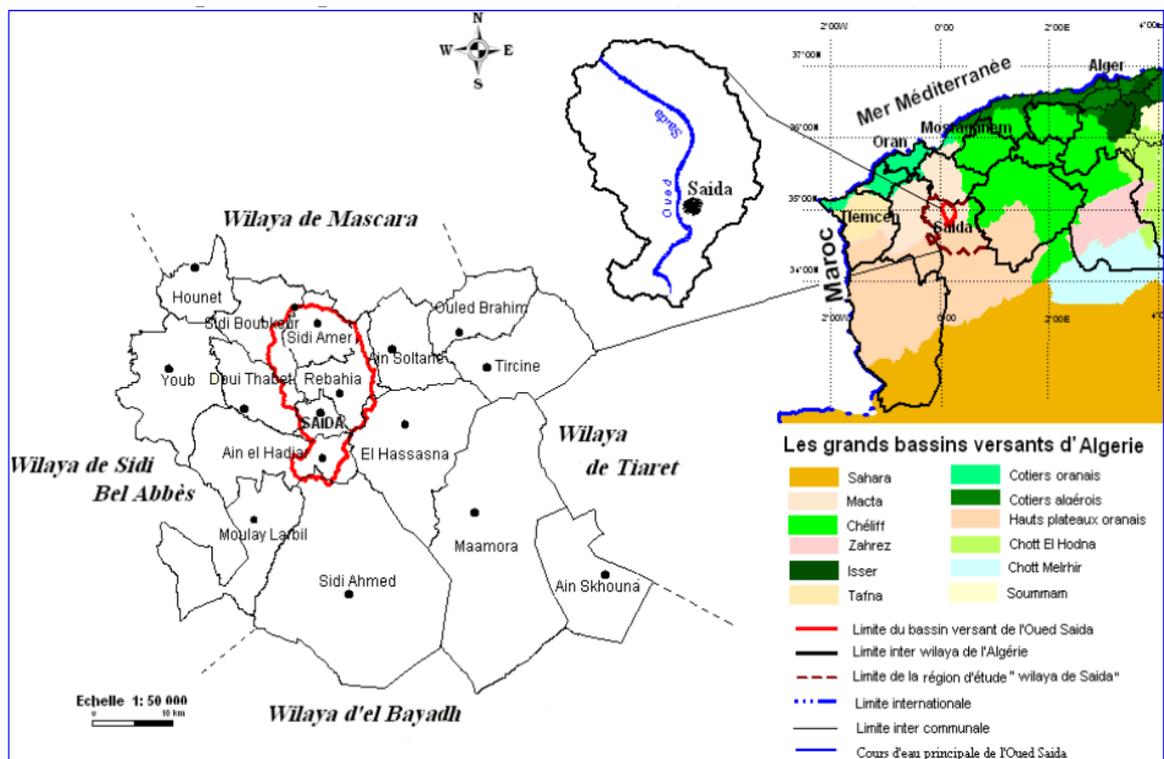


Fig. 1: Localisation de la wilaya de Saïda (DPAT Saïda, 2008).

Saïda est le chef-lieu d'une wilaya de 330 641 habitants (Recensement Général de la Population et de l'Habitat, RGPH 2008) composée de 16 communes regroupées en 06 daïras et d'une superficie de 6 631 Km². Elle est surnommée la ville des eaux, à cause de ses sources.

Le secteur d'étude est situé dans le sous-bassin du plateau de Saïda. Orienté Sud-Nord, en exceptant la partie la plus au Nord qui est de direction (SE-NW). Il constitue une limite naturelle entre les monts de Daïa et ceux de Saïda. C'est un domaine de hauts plateaux, formant l'avant-pays de la chaîne alpine d'Algérie.

D'une manière plus précise, la région étudiée est limitée (fig.2):

- au Nord, par l'oued Taria et la plaine de Ghriss,
- à l'Est, par les monts de Saïda et le djebel Sidi Youssef,
- à l'Ouest, par les monts de Daïa,
- au Sud, par la dépression de Chott Chergui.

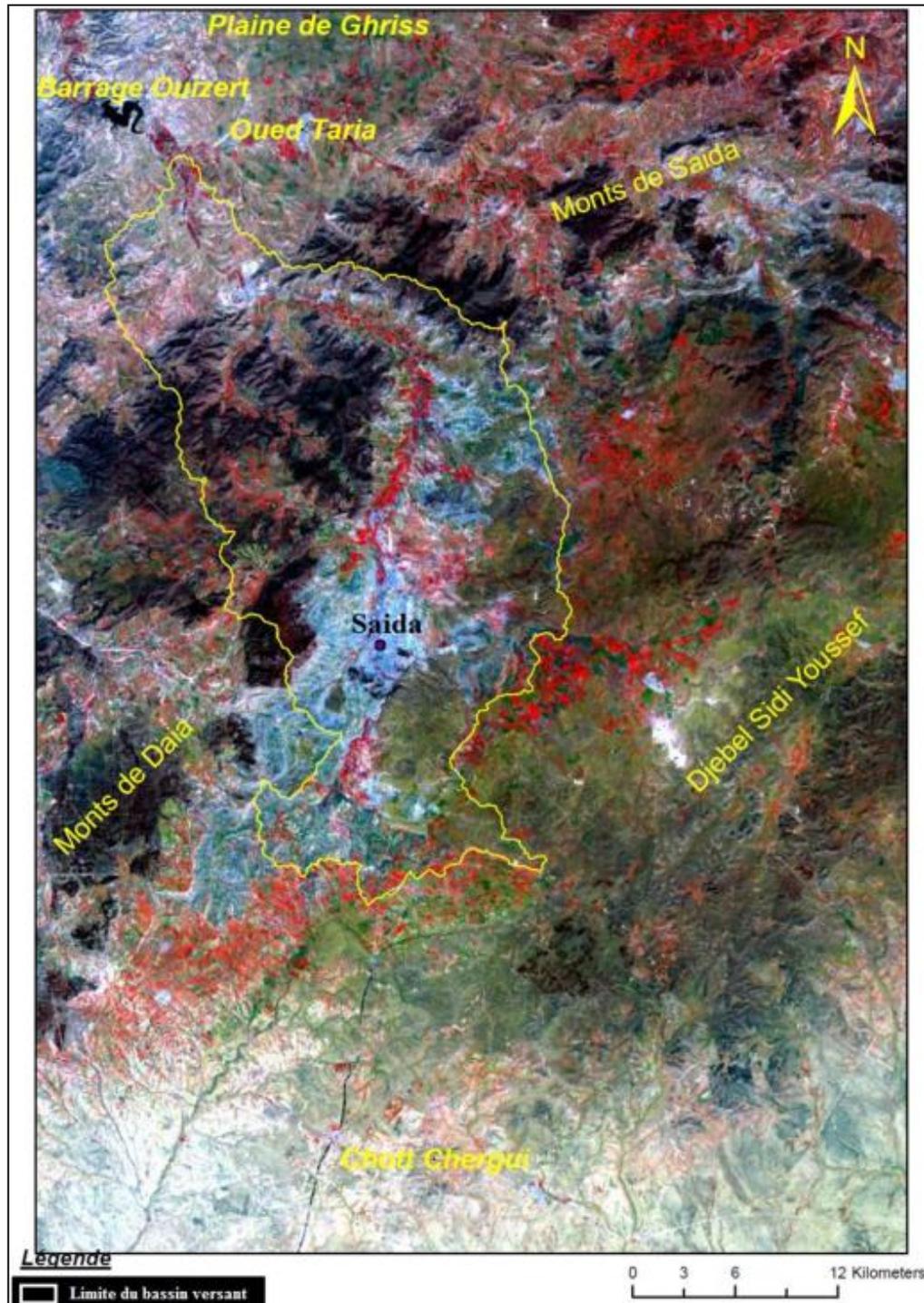


Fig. 2 : Localisation de la région d'étude
(Image LANDSAT, prise en 2012)

2. Présentation du bassin versant de l’oued Saida :

Le bassin versant de l’Oued Saida (codé 11-11) qui appartient au grand bassin versant de la Macta, se présente comme un bassin montagneux dominé, il couvre une superficie de 644 km² pour un périmètre de 164,5 km.

Les affluents du bassin de la Macta (Melrir, Sefioun, Sahouat) prennent naissance au niveau des massifs calcaires des monts des Daia et de Saida, confluent en amont du barrage de Bouhanifia. Ils forment ensuite l’oued El Hammam qui traverse les basses plaines de Habra-Sig avant de se déverser à la mer (fig. 3).

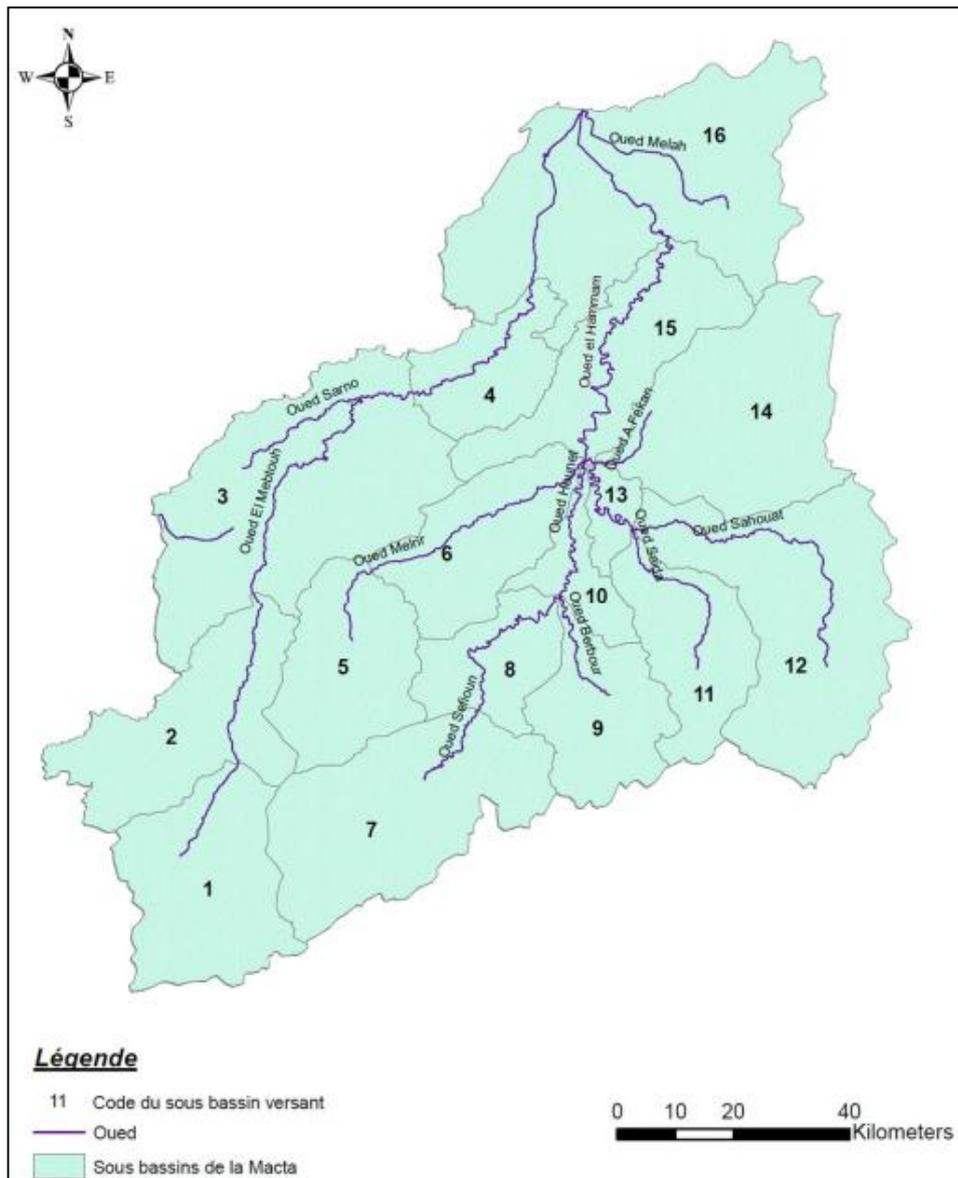


Fig. 3 : Carte des sous bassins de la Macta (Source ABH, année 2008).

II. CADRE MORPHOLOGIQUE ET HYDROGRAPHIQUE :

1. Morphologie

Le relief propose une diversité considérable. Il est à distinguer trois types de terrains d'après leur aspect géomorphologique.

a)- Zones montagneuses

Elles sont formées essentiellement par la chaîne de Djebel Sidi Youssef d'une altitude de 1338 m et d'orientation Sud-ouest/Nord-est, des versants gauches de la vallée de Saida (Djebel Abd El Krim, Djebel Kerroua), des versants droits de la même vallée (Djebel Hadjra El Baida, Djebel Kodjel) et du massif de Djebel Khenifer d'une altitude de 1246 m.

b)- Zone platoïde

Elle englobe les plateaux d'Ain Sultane, de Tidernatine, les plaines d'Oum-Djrane et de Tamesna.

c)- Une vallée (Oued Saida)

La vallée de l'Oued Saida est d'orientation Sud-Nord et d'une altitude de 800 m (hormis la partie la plus au Nord orientée Sud-est / Nord-Ouest).

2. Hydrographie :

2.1. Classification du Réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Le réseau hydrographique, est sans doute une des caractéristiques les plus importantes du bassin. Il peut donc prendre une multitude de formes. La différence du réseau hydrographique d'un bassin est due à quatre facteurs principaux.

- Géologie : La nature du substratum influence la forme du réseau hydrographique.
- Climat : Le réseau hydrographique est dense dans les régions montagneuses très humides et tend à disparaître dans les régions désertiques.
- Pente du terrain : Elle détermine si les cours d'eau sont en phase érosive ou sédimentaire.
- Cours d'eau : Dans les zones plus élevées, les cours d'eau participent souvent à l'érosion de la roche sur laquelle l'écoulement est présent. Contrairement, dans les plaines les cours d'eau s'écoulent sur un lit où la sédimentation prédomine.

2.1.1. Hiérarchisation du réseau :

La classification topologique du réseau hydrographique (fig.4) est basée sur une méthode proposée initialement par HORTON en 1945 puis modifiée par STRAHLER en 1947. Elle est la plus utilisée aujourd'hui, son principe est comme suit.

- tout cours d'eau n'ayant pas d'affluent est dit d'ordre 1.
- au confluent de deux cours d'eau de même ordre n , le cours d'eau résultant est d'ordre $n + 1$.
- un cours d'eau recevant un affluent d'ordre inférieur garde son ordre.

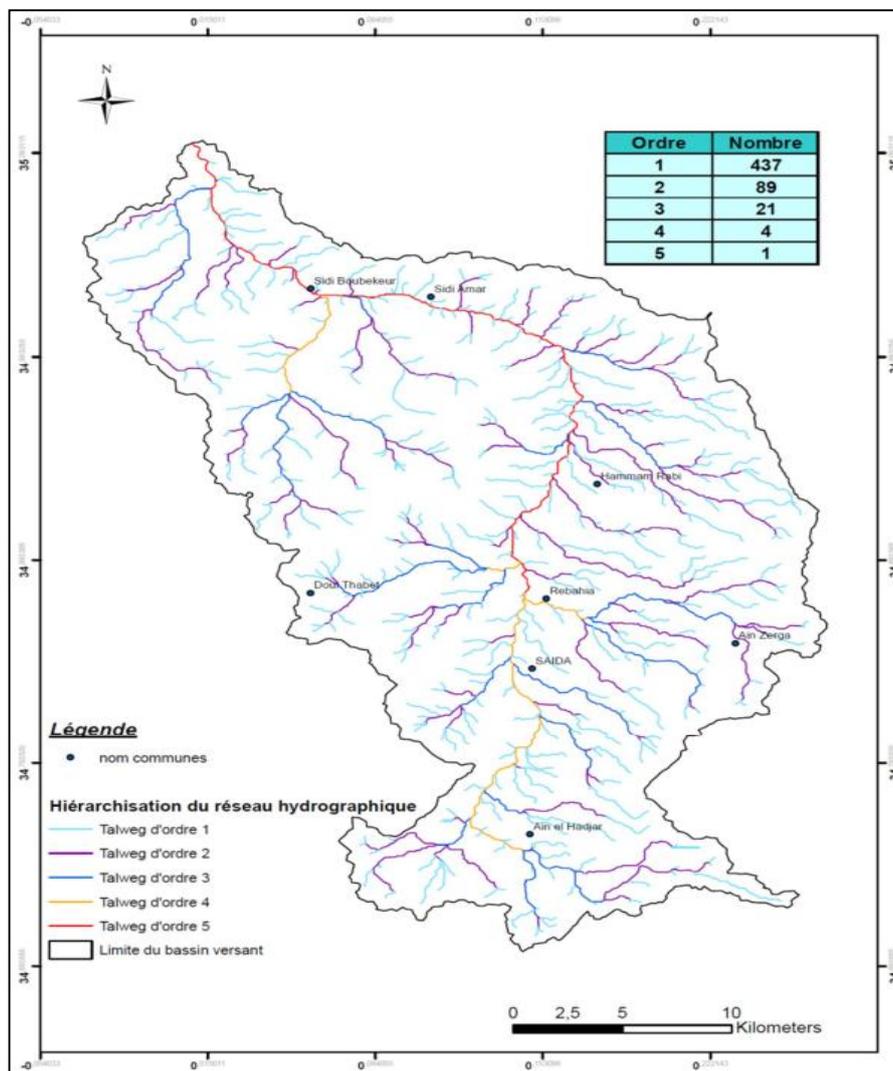


Fig. 4 : Classification du chevelu hydrographique du bassin versant de l'Oued Saïda.

2.1.2. Densité de drainage D_d :

C'est le paramètre le plus important qui caractérise le chevelu hydrographique, il correspond au rapport entre la longueur totale des cours d'eau à la surface du bassin.

$$D_d = \sum L_i / A \longrightarrow D_d = 1,19 \text{ Km /Km}^2$$

Avec : D_d : Densité de drainage (Km/Km²),

L_i : Longueur cumulée des thalwegs (Km),

A : Surface du bassin versant (Km²).

2.1.3. Fréquence des cours d'eau (F) :

Représente le nombre de cours d'eau par unité de surface.

$$F = \sum N_n / A \longrightarrow F = 0,85 \text{ Km}^{-2}$$

Avec : N_n : nombre des cours d'eau (552) ;

A : la surface (Km²).

2.1.4. Rapport de confluence (R_c) :

C'est un nombre sans dimension exprimant le développement du réseau de drainage. Il est défini comme étant le quotient du nombre de thalwegs d'ordre n par celui des thalwegs d'ordre supérieur $n+1$:

$$R_c = N_n / N_{n+1}$$

Tableau 1 : Rapport de confluence

Ordre (n)	1	2	3	4	5	Moyenne
R_c	4,91	4,24	5,25	4		4,6

Donc $R_c = 4,6$

2.1.5. Rapport de longueur :

Il est défini comme le rapport entre la longueur moyenne des thalwegs d'ordre $(n+1)$ par celui des thalwegs d'ordre (n) (Tableau 2).

$$R_l = L_{n+1} / L_n$$

Tableau 2 : Rapport de longueur

Ordre (n)	Nombre (Nn)	Longueur Ln (Km)	Longueur moy.(Ln / Nn)	Rapport de longueur Rl
1	437	397,88	0,91	2,5 2,02 1,58 5,26 Moy. = 2,84
2	89	203,65	2,28	
3	21	96,87	4,61	
4	4	29,20	7,3	
5	1	38,40	38,40	
	$\sum = 552$	$\sum = 766$		

Donc Rl= 2,84

III. CADRE CLIMATIQUE :

1. Etude des précipitations

1.1. Précipitations annuelles :

Le diagramme de la figure 5 illustre la distribution des précipitations moyennes annuelles aux différentes stations (période 1974/1975 – 2011/2012). On remarque sur les mêmes stations une grande irrégularité des moyennes annuelles en relation avec l'influence de plusieurs facteurs : Altitude, éloignement par rapport à la mer, pluviométrie exposée ou non aux vents humides.

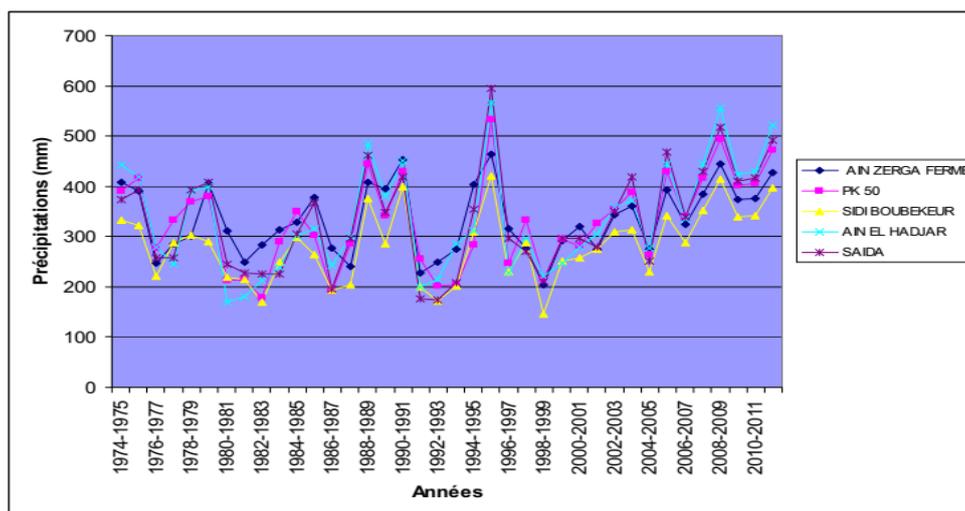


Fig. 5: Variations des précipitations moyennes annuelles (période 1974/1975 – 2011/2012).

1.2. Précipitations saisonnières :

Le report de la distribution des précipitations saisonnières (fig. 6) montre que, malgré la grande variabilité des précipitations, les pluies d’hiver sont toujours les plus importantes (tableau 3).

Tableau 3: Répartition saisonnière des précipitations.

Stations	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Année	Indice Saisonnier
	Automne(A)		Hiver (H)			Printemps (P)		Eté (E)						
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%						
SIDI BOUBEKEUR	84,2	31,4	92,4	34,5	78,7	29,4	12,5	4,7				267,9	H.A.P.E.	
AIN EL HADJAR	90,7	28,8	124,2	39,5	85,0	27,1	14,4	4,6				314,2	H.A.P.E.	
SAIDA	94,5	30,1	107,8	34,3	93,8	29,9	17,9	5,7				314,0	H.A.P.E.	

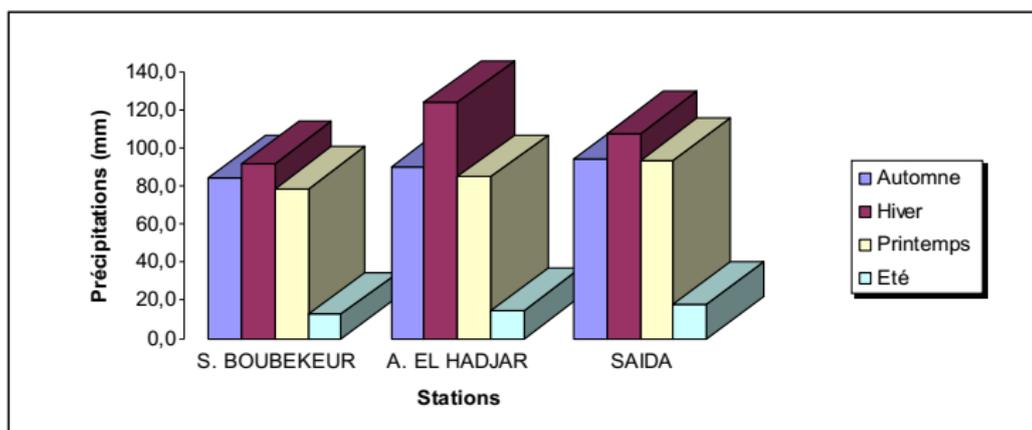


Fig. 6 : Variations saisonnières des précipitations pour la période 1974/75-2005/06 aux stations de Sidi Boubekeur, Ain El Hadjar et de Saïda.

1.3. Précipitations mensuelles :

Nous avons étudié la répartition des précipitations à l’échelle mensuelle sur une période allant de 1974/75 – 2005/06.

Cette étude s’intéressera uniquement aux stations de Sidi Boubekeur, Ain El Hadjar et Saïda.

Tableau 4 : Valeurs moyenne mensuelle des précipitations aux stations de Sidi Boubekeur, Ain El Hadjar et Saïda. (1974/1975 – 2005/2006).

Station	sep	Oct	Nov	Dec	jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jt	Aou	année
Sidi Boubekeur	14,0	27,4	42,8	28,4	31,7	32,3	29,3	26,0	23,3	5,8	3,3	3,5	267,9
Ain el Hajdar	17,2	31,3	42,2	40,3	46,8	37,0	28,6	31,2	25,2	8,3	2,4	3,7	314,2
Saïda	14,6	38,7	41,2	34,8	38,4	34,7	34,8	32,5	26,5	7,7	2,4	7,8	314,0

L'analyse de la variabilité moyenne mensuelle des précipitations (fig.7) pour la période 1974/75-2005/06 montre l'existence d'une saison froide et humide s'étalant d'Octobre à Mai avec un maximum en Novembre à l'exception de la station d'Ain El Hadjar où le maximum s'observe au mois de Janvier et une saison sèche entre Juin et Septembre où les plus faibles précipitations sont enregistrées au mois de Juillet.

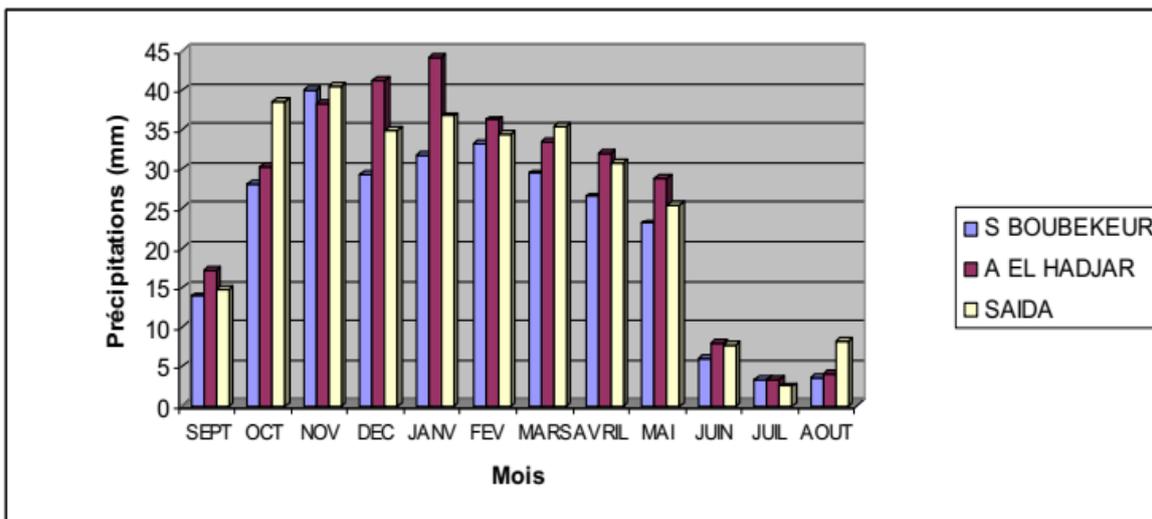


Fig. 7 : Histogramme des précipitations mensuelles pour la période 1974/75-2005/06 aux stations de Sidi Boubekeur, Ain El Hadjar et de Saïda.

2. Températures :

La région de Saida se caractérise principalement par deux périodes bien distinctes (tableau 5 - fig. 8) :

- Une période froide et humide durant laquelle la température moyenne est de 9 °C et une humidité relative moyenne de 69 %.
- Une seconde période chaude et sèche avec une température moyenne de 28 °C et une humidité relative moyenne de 41 %.

Tableau 5: Moyennes mensuelles et annuelles des températures

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jut	Aout	Année
Tmin (°C)	15	12	7	4	3	3	5	7	10	15	18	19	8,5
Tmax (°C)	30	25	18	15	14	15	18	21	26	32	36	36	27,5
Tmoy (°C)	22,5	18,5	12,5	9,5	8,5	9	11,5	14	18	23,5	27	27,5	16,83

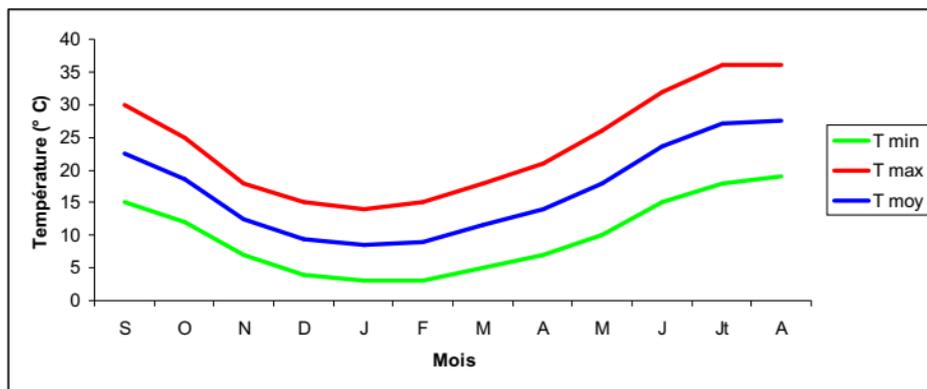


Fig. 8 : Variation des températures moyennes mensuelles à la station de Saida (1983-2012)

3. Le vent :

La région de Saida, est une région ventée surtout pendant la saison hivernale, durant laquelle les vents dominants sont ceux qui soufflent du Nord et Nord-Ouest (tableau 6).

Tableau 6: Fréquence du vent (%).

Direction	Nord	Nord Est	Est	Sud Est	Sud	Sud Ouest	Ouest	Nord Ouest
Fréquence (%)	14,7	2,2	1,4	2,9	10,6	3,2	7,2	8,9

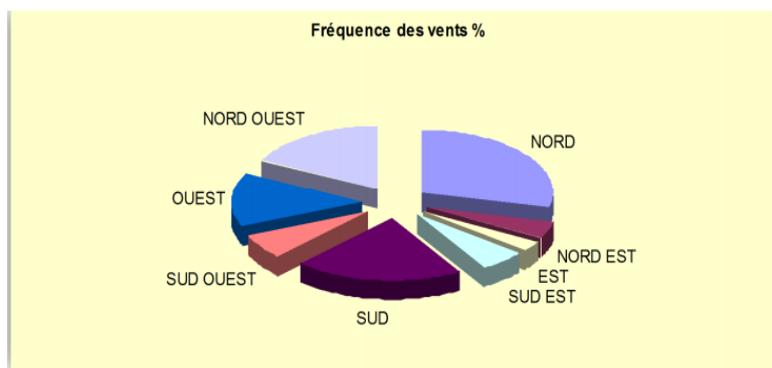


Fig. 9 : Fréquence des vents (%)

Tableau 7: Vitesse moyenne mensuelle du vent (m/s). Station de Saida (1983–2012)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jt	Aou
Vent moyen (m/s)	2,3	2,3	2,6	2,6	2,8	2,8	2,8	3,0	2,8	2,8	2,6	2,6

Ces données indiquent un maximum de la force du vent au mois de Janvier et Février et un minimum au mois de Septembre et Octobre. Selon la classification ci dessous, nous pouvons dire que les vents de Saïda sont des vents modérés.

- Vents faibles avec une douzaine de km/h ;
- Vents modérés pouvant atteindre une trentaine de km/h ;
- Vents assez forts frôlant au maximum une cinquantaine de km/h ;
- Vents forts pouvant atteindre une vitesse d'environ 75 km/h ;
- Vents violents avec plus 80 km/h.

4. Humidité de l'air:

L'humidité de l'air est rapport exprimé en % de la tension maximum correspondant à la température(C°).

Tableau 8: Humidité moyenne mensuelle en (%) Station de Saida. (1983–2012)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jt	Aou
Humidité moyenne [%]	53	60	67	71	69	67	64	61	58	47	39	41

La plus grande humidité relative de l'air pendant la période hivernale peut atteindre 71% au mois Décembre et la plus petite valeur est 39% en juillet (fig. 10).

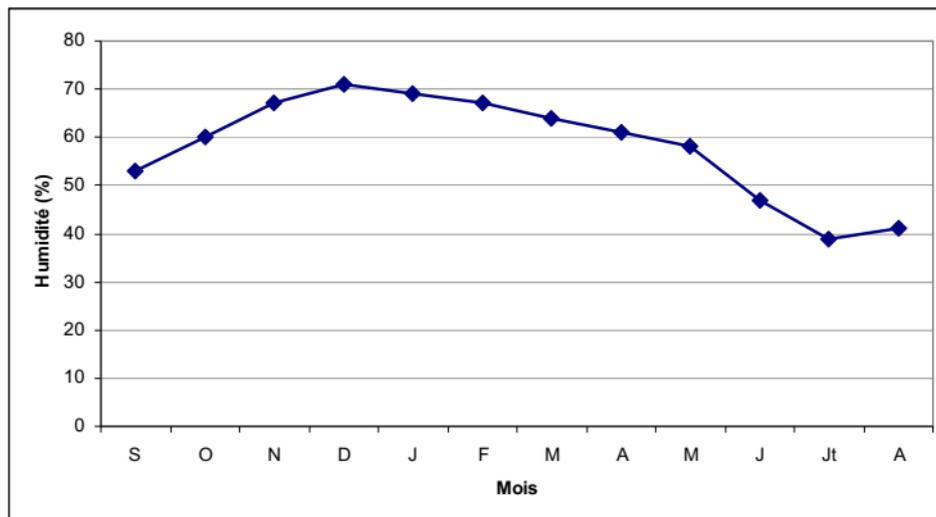


Fig. 10: Histogramme d'humidité relative mensuelle en %.

5. Etude de climat :

5.1. Courbe pluviothermique (Gausсен et Bagnouls) :

Pour GAUSSEN et BAGNOULS, un mois sec est celui pour lequel le totale moyen des précipitations exprimées en mm est inférieur ou égal au double de la température exprimées en degré Celsius ; c'est-à-dire $P < 2T$. Cette relation permet d'établir les diagrammes pluviométriques sur les quels la température est à une double échelle de celle des précipitations (fig. 11).

Tableau 9: Moyennes mensuelles des précipitations et des températures (1983-2012)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	jan	Fev	Mar	avr	mai	Jui	Jt	Aou
P (mm)	19,8	42,1	44,2	33,2	42,0	24,9	36,6	38,3	31,4	8,8	3,5	9,7
T (°C)	22,5	18,5	12,5	9,5	8,5	9	11,5	14,0	18,0	23,5	27	27,5

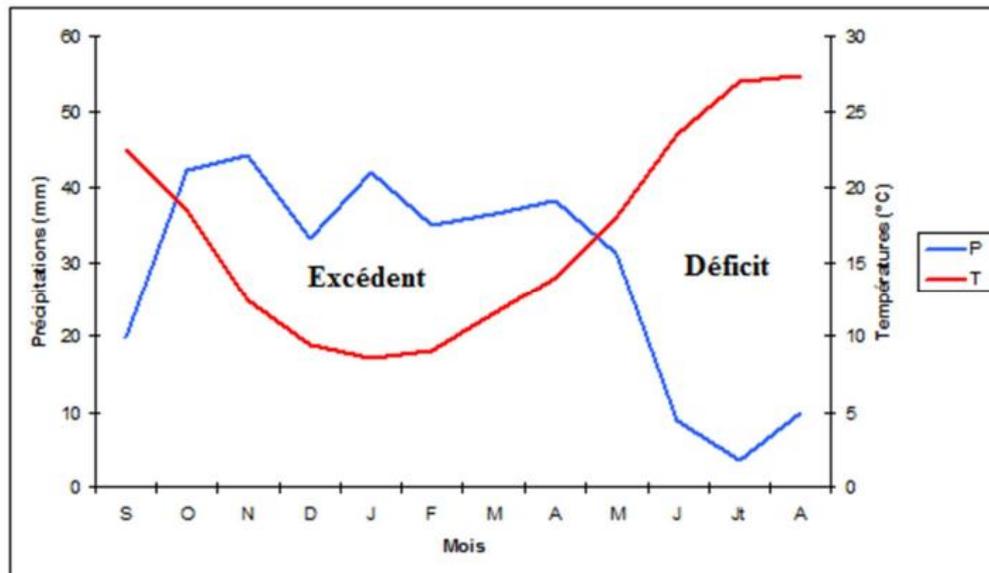


Fig. 11: Courbe pluviio-thermique de la station de Saida (1983-2012).

On observe que pour la station de Saida, la courbe des températures passe au-dessus de celle des précipitations de Mai à Septembre définissant ainsi la période sèche et déficitaire, tandis que la période humide et excédentaire s'étale d'Octobre à avril.

5.2. Indices de De Martonne :

5.2.1. Indice annuel :

De Martonne en 1953, a proposé pour la détermination d'un régime climatique un indice annuel basé sur la hauteur moyenne annuelle des précipitations et la température moyenne annuelle.

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

I : indice d'aridité annuel. (Si $10 < I < 20$: Climat semi-aride).

Pour Saida l'indice annuel est égal à $I = 12,84$.

« I » Etant compris entre 10 et 20, témoigne d'un climat semi-aride, avec un écoulement temporaire, formation herbacée.

5.2.2. Indice mensuel :

Pour préciser les conditions de semi aridité, les élèves de De Martonne devraient proposer l'utilisation d'un indice d'aridité mensuel qui a pour expression :

$$I = 12P / (T + 10)$$

P : les précipitations du mois considérées, multipliées par 12 pour rendre cet indice comparable à l'indice annuel.

T : température moyenne mensuelle en °C.

Le calcul des indices d'aridité mensuels de De Martonne montre :

Tableau 10: Indice d'aridité mensuel à la station de Saida.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jt	Aou
I	7,31	17,73	23,57	20,43	27,24	22,04	20,43	19,15	13,46	3,15	1,14	3,10

D'apres .DE MARTONNE-RV-1983

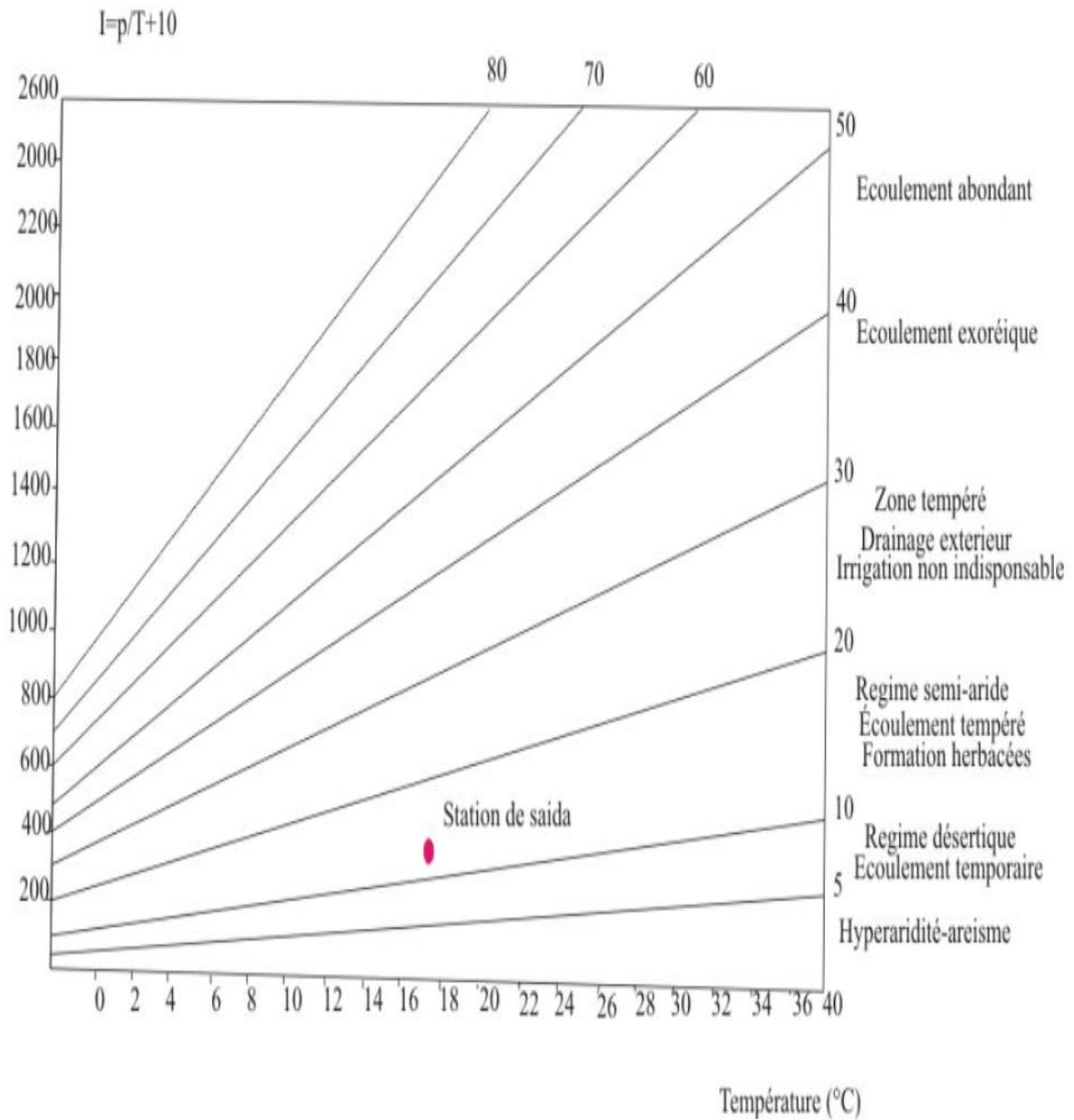


Fig. 12: Abaque d'indice d'aridité de DE MARTONNE.

6. Déficit d'écoulement :

Le déficit d'écoulement que l'on peut assimiler à l'évapotranspiration est un phénomène qui fait intervenir l'évaporation physique et la transpiration par les végétaux. Plusieurs méthodes fondées sur des relations empiriques ou directes ont été mises au point pour estimer ce phénomène, ces méthodes prennent en compte les précipitations et les températures.

6.1. Méthode de TURC :

Elle basée sur le calcul de l'évapotranspiration réelle et donnée par la relation :

$$ETR = P / (0,9 + P^2/L^2)$$

Avec : ETR : évapotranspiration réelle.

P : précipitations moyennes annuelles.

L : pouvoir évaporant ($L = 300 + 25T + 0,05T^3$).

T : température moyenne annuelle.

Les valeurs suivantes :

$$L = 344,5 + 25 \times (16,83) + 0,05(16,83)^3$$

$$L = 943,7$$

$$\text{Donc : } ETR = P / (0,9 + P^2/L^2)$$

$$ETR \text{ TURC} = 339,40$$

6.2. Méthode de COUTAGNE :

D'après COUTAGNE, Le déficit d'écoulement est calculé à partir de la relation :

$$ETR = P - (\lambda \times P^2) ;$$

D : déficit d'écoulement (m/an).

P : précipitations moyennes annuelles (m/an).

T : température moyenne annuelle (°C).

Le paramètre λ a pour expression : $\lambda = 1 (0,8 + 0,14T)$

Cette application est applicable si le P comprise entre $1/8 \lambda$ et $1/2 \lambda$

$$\text{On a : } \lambda = 0,317$$

$$1/8 \lambda = 0,394 \quad 1/2 \lambda = 1,577$$

La méthode n'est pas applicable parce que $P < 1/8 \lambda$ donc le déficit d'écoulement est égal aux précipitations.

6.3. Méthode de WUNDT :

L'abaque de Wundt permettant d'obtenir une valeur du déficit d'écoulement en fonction de la température moyenne annuelle et des précipitations (fig. 13).

Le déficit d'écoulement à Saida est : $D = 330 \text{ mm/an}$

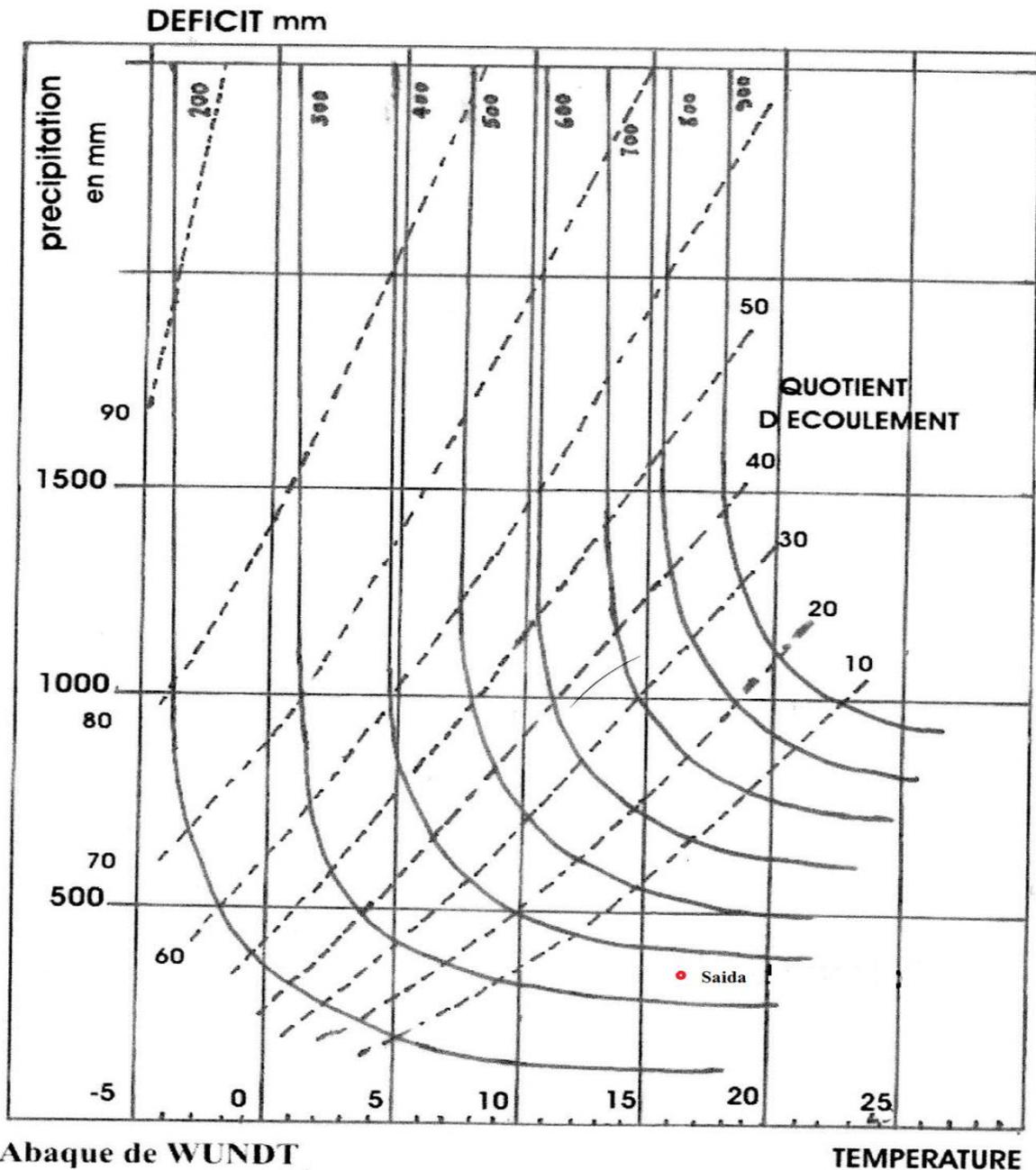


Fig. 13: Abaque de WUNDT modifiée par COUTAGNE.

6.4. Méthode de THORNTHWAITE :

6.4.1. Evapotranspiration potentielle :

Cette méthode consiste à calculer pour chaque mois une évapotranspiration potentielle a partir de la relation suivante :

$$ETP = 1,6 \times (10 \times T / I)^a$$

Avec: ETP : évapotranspiration potentielle.

T : température moyenne mensuels en (C°) du mois considéré.

I : somme de tous les indice mensuelle i, avec $i = (T/5)^{1,514}$.

$a = (6,75 \cdot 10^{-9} \cdot I - 771 \cdot 10^{-7} \cdot I + 1792 \cdot 10^{-5} \cdot I + 0,49239)$

Tableau 11: Valeurs de l'ETP à la station de Saida (1983/2012)

	T (°C)	I	E.T.P. non corrigées (cm)	coefficient de correction	E.T.P. corrigées (cm)
Septembre	22,5	9,75	10,02	1,03	10,32
Octobre	18,5	7,25	7,08	0,97	6,87
Novembre	12,5	4,00	3,53	0,87	3,07
Décembre	9,5	2,64	2,17	0,86	1,87
Janvier	8,5	2,23	1,78	0,88	1,57
Février	9	2,43	1,97	0,85	1,68
Mars	11,5	3,53	3,05	1,03	3,14
Avril	14	4,75	4,32	1,09	4,71
Mai	18	6,95	6,74	1,2	8,09
Juin	23,5	10,41	10,82	1,2	12,99
Juillet	27	12,85	13,85	1,22	16,89
Aout	27,5	13,21	14,31	1,16	16,59
Annuel	16,83	80,02			87,79

L'évapotranspiration potentielle, calculée et corrigée par la formule de Thornthwaite donne une valeur de 87,79 mm, Elle montre un maximum en Juillet et un minimum en Janvier.

A partir des valeurs d'ETP nous aidons à évaluer le bilan hydrologie par la méthode de Thornthwaite, et de déterminer ainsi ETR réelle.

6.4.2. Evapotranspiration réelle (E.T.R) :

Pour le calcul de l'E.T.R, deux cas sont considérés :

- Si les précipitations du mois sont supérieurs à l'ETP, l'ETR sera égale a l'ETP l'excédent sera emmagasiné dans le sol sous forme d'humidité, et servira à l'augmentation des réserves jusqu'à saturation. Au delà, l'eau disponible alimentera soit l'infiltration vers les nappes profondes, soit l'écoulement de la surface.

- Si les précipitations sont inférieures à L'ETR, L'ETR sera encore égale a L'ETP aussi longtemps que les réserves seront en mesure de fournir la quantité d'eau complémentaire.

Lorsque la réserve deviendra insuffisante, il y aura un déficit et ETR sera inférieure à l'ETP.

Tableau 12: Bilan de THORNTHWAITE (Station de Saida).

	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jt	Aou	Sep	Oct	Annuel
P (mm)	44,2	33,2	42	34,9	36,6	38,3	31,4	8,8	3,5	9,7	19,8	42,1	344,5
ETP (mm)	30,7	18,7	15,7	16,8	31,4	47,1	80,9	129,9	168,9	165,9	103,2	68,7	877,9
RFU (mm)	13,5	28	54,3	72,4	77,6	68,8	19,3	0	0	0	0	0	
ETR (mm)	30,7	18,7	15,7	16,8	31,4	47,1	80,9	28,1	3,5	9,7	19,8	42,1	344,5
Déficit agricole (mm)	0	0	0	0	0	0	0	101,8	165,4	156,2	83,4	26,6	533,4
Excédent (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

RFU = 100 mm

l'E.T.R. annuelle est de 344,5mm.

Le déficit agricole est de 533,4 mm allant de Juin à Octobre avec un maximum en Juillet.

7. Conclusion :

D'après les résultats climatiques, on peut dire que le bassin versant de l'oued Saïda est caractérisé par un climat semi-aride qui se traduit par un hiver relativement froid et pluvieux et un été très chaud et sec, la saison humide s'étale depuis le mois d'octobre jusqu'à Avril et la saison sèche s'étend sur le restant de l'année. Les températures moyennes mensuelles présentent une valeur minimale en janvier (9°C) et une valeur maximale en Août (28°C) et ce pour la période 1983-2012.

I. Introduction.

Entre l'Atlas Tellien au Nord, d'âge tertiaire et les Hauts Plateaux oranais au Sud, d'âge également tertiaire, se dessine une unité géologique d'âge secondaire, orientée sensiblement Est-Ouest et constituant, les Monts de Saida, les Monts de Frenda et les Monts du Djebel Nador,

Les Monts de Saida forment à la limite Nord des hautes plaines oranaises le prolongement vers l'Est des Monts de Daïa, constituant une unité géologique et géographique assez précise. Ils sont limités au Nord par les chaînes telliennes et les Monts des Béni Chougrane, au Nord-est par les monts de la Mina.

C'est à la faveur d'un bombement à très grand rayon de courbure que le substratum enfoui sous les terrains des hauts plateaux se relève pour constituer cette région et redisparaître à nouveau au Nord sous l'Atlas tellien.

Ce vaste anticlinal d'âge secondaire est essentiellement constitué de terrains du Jurassique inférieur et moyen dolomitique reposant en biseau sur le Trias au niveau du môle primaire de Tiffrit-Ain Soltane.

II. CADRE GEOLOGIQUE.

1. Géologie :

La zone d'étude est caractérisée par une géologie complexe et diversifiée, représentée par des terrains allant du Primaire au PlioQuaternaire.

Les formations géologiques (principalement des dolomies et des calcaires) sont très karstifiées (Decamps, 1973).

Elles sont recouvertes par l'épaisse formation « argilo gréseuse » du Callovo-Oxfordien au niveau de la vallée de l'Oued Saïda, par endroits, et par des formations non consolidées plus récentes (Quaternaire et PlioQuaternaire).

Elle est constituée principalement de formations du Jurassique (dolomies, argiles gréseuses, marnes, calcaires ...) avec quelques roches éruptives et des formations d'âge primaire. Les dépressions sont constituées par des alluvions du Quaternaire (fig. 14).

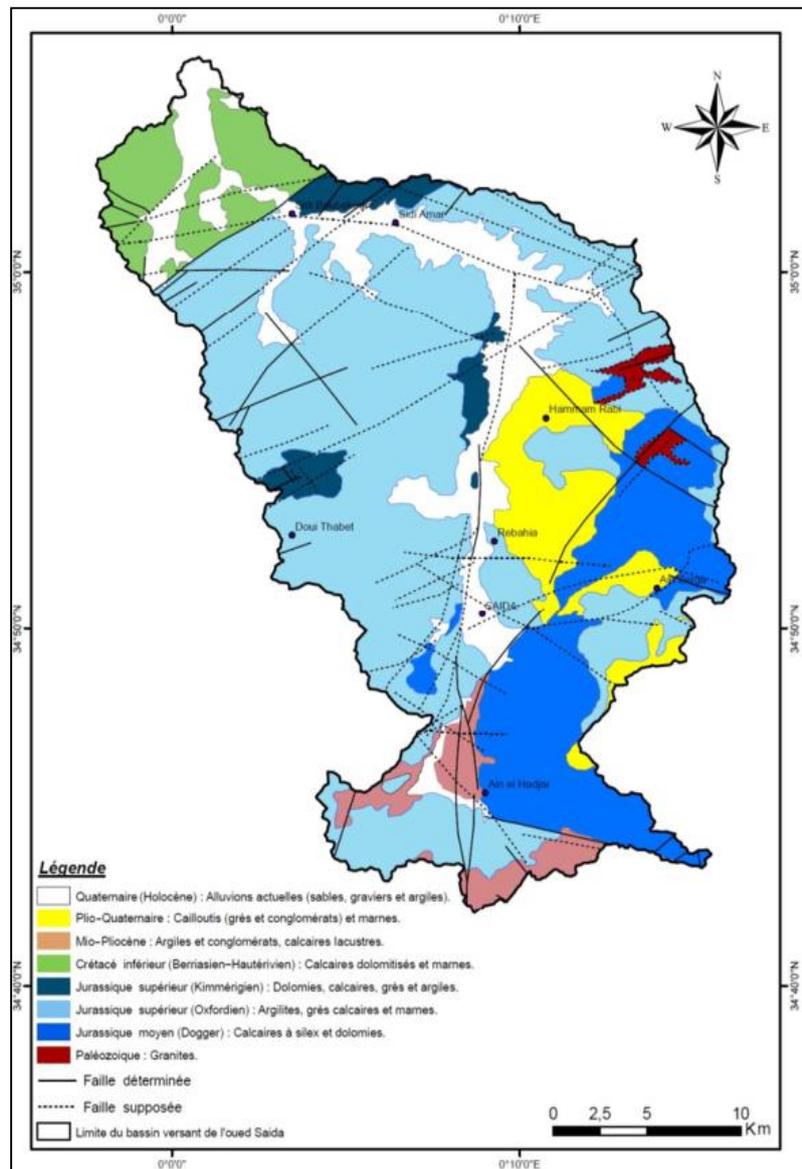


Fig. 14: Carte Géologique du bassin versant de l'oued Saida (ANRH, 2008).

2. Stratigraphie :

Le plateau de Saida-Oum Djerane qui fait partie des Monts Saida, est constitué essentiellement de terrains jurassiques. Quelques terrains primaires ainsi que des terrains éruptifs qui apparaissent seulement dans la région de Tifrit–Balloul.

Les monts de Saida constituent un vaste plateau structural, où les formations carbonatées du Bajo-Bathonien forment l’armature supérieure (cause de Tidernatine au sud). Les formations géologiques (principalement des dolomies et des calcaires) sont très karstifiées. Elles sont recouvertes par l’épaisse formation argilo gréseuse du Callovo-oxfordien au niveau de la vallée de l’oued Saida, et par endroits, par des formations non consolidées plus récentes (quaternaire, Plio-Quaternaire et néogène).

- Le karst de surface est représenté surtout par des dolomies pertes et des reculées (plateau de Tidernatine). Les dolomies sont nombreuses sur ce plateau et donnent naissance à des entonnoirs qui sont pénétrables et spectaculaires (Ghar Ouled Amira, Ghar Slouguia, ...). Au fond des dolomies en entonnoir se sont formés des avens qui évoluent par effondrement du vide karstique sous adjacent (puits de Bir Hamama).

- Le karst profond la région la plus connue par les spéléologues est celle qui est drainée par le système karstique d’Ain Zarga, la rivière souterraine de Bir Hamama et la célèbre perte de Ghar Ouled Amira. Cette rivière pourrait constituer le collecteur principal du Système karstique du cause de Tidernatine. Les pertes explorées pourraient alimenter la rivière souterraine de Bir Hamama et la résurgence d’Ain Zarga qui alimente la ville de Saida.

Enfin, dans les dépressions ainsi que les vallées et lits d’Oueds, on trouve des terrains d’origine continentale (fluviatiles et éoliens) d’âge tertiaire souvent indifférencié : MioPliocène et Quaternaire. La continentale est également caractérisée par la présence de tufs et travertins calcaires plus ou moins récents et correspondants à d’anciens griffons de sources.

La lithostratigraphie de la région de Saida se présente comme le montre la figure 15.

Épaisseur en mètre	Âge	Log	Descriptions géologiques
20	Quaternaire		Limons plus ou moins sableux et travertins.
75	Tertiaire		Argile brique sableuse ou gypseuse à intercalation de calcaire et de graviers, galets.
100	Sénonien		Calcaires gris clairs à pâte fine très altérés à la partie supérieure.
300	Barrémien		Grès de Youb (anciennement appelé Berthelot).
310	Kimméridgien		Dolomies de sidi Boubekeur (anciennement appelé Charrier), marno-calcaire de Raouraf, calcaire de Stah, antérieurement appelé dolomies de Tlemcen, enfin calcaires de Zarifet.
180	Lusitanien		Grès de sidi Amar anciennement appelé Franchetti, avec rares passées carbonatées et argiles sableuses. Les grès présentent une stratification entrecroisée.
250	Callovo-Oxfordien		Argiles de Safda: (puissante série argilo gréseuse).
150	Aaléno-Bajo-Bathonien		Dolomies cristallines et calcaires fissurées.
25	Toarcien		Marne d'Essafah (marno-calcaire et marnes).
30	Domérien		Dolomies cristallines bréchiques avec argile.
90	Trias		Argiles saline, grès argileux, basalte.
30	Primaire		Schistes, granites, rhyolites, diorites.

Fig. 15: Coupe lithostratigraphique de la région de Saida (Clair, 1952 et Pitaud, 1973).

2.1 Primaire :

Il est représenté par des schistes et quartzites avec la présence d'intrusions granitiques et granulitiques et de coulées de laves basaltiques. Les schistes et quartzites de Tifrit sont divisés en 3 groupes :

- quartzites multicolores, noires, rouges en bancs de 10 à 20 cm d'épaisseur surtout développés vers la base de la formation schisteuse de Tifrit ainsi que Ain Soltane.

- schistes plus au moins siliceuse se développant particulièrement dans les zones concentriques des massifs granitiques qui affleurent dans la vallée de Oued Tifrit et dans les grandes vallées.

- schistes noirs, en contact souvent avec les jurassiques.

2.2. Secondaire :

Les formations du Secondaire sont représentées par un complexe de roches volcaniques et sédimentaires.

a. Trias :

Il repose en discordance sur les terrains primaires, la série du Trias est recouverte par différents niveaux du Jurassique et des dépôts du PlioQuaternaire. Il dessine le môle de Tiffrit. Le Trias est formé de trois membres ; dont deux sont sédimentaires et le troisième qui est le plus important est basaltique.

1- Membre inférieur (faciès carbonaté).

2- Membre basaltique (supérieur).

3- Membre supérieur.

Le Trias n'apparaît pas dans notre bassin versant.

b. Le Jurassique :

La couverture jurassique subdivisée en trois membres de formation (G.pitaud.1973);

1- Membre carbonaté inférieur constitué du Jurassique inférieur et moyen dolomitique.

2- Membre détritique intermédiaire constitué du Callovo-oxfordien argileux gréseux et du Lusitanien gréseux.

3-Membre carbonaté supérieur constitué du Kimméridgien dolomitique. (G.pitaud.1973).

b.1. Le Jurassique inférieur et moyen :

Il est largement répandu et constitue l'aquifère le plus important. Cette formation est mieux connue sous le nom de "dolomies de Tiffrit". Plusieurs membres peuvent être distingués (G. Pitaud, 1973) :

- ◆ Formation carbonatée de BOU LOUAL (Hétangien - Plienbachien)
- ◆ Formation des marnes d'ES SAFEH (Toarcien)
- ◆ Formation carbonatée d'AIN DEZ (Aalénien-Bajocien)
- ◆ Formation des argiles bigarrées de SIDI YOUSSEF (Bajocien)
- ◆ Formation carbonatée de ZERZOUR (Bathonien)
- ◆ Formation des marnes de MODZBAB (Bajo-Bathonien) qui se substituent progressivement par variation latérale de faciès aux deux dernières formations vers le Nord-Ouest.

b.2. Le Jurassique moyen (Dogger) :

Il affleure dans la partie orientale de la région d'étude, où il couvre des superficies considérables aux environs des localités d'Ain Al Hadjar, Ain Zerga et Nazareg.

b.3. Le Callovo- Oxfordien et Lusitanien :

Le Callovo-Oxfordien est constitué par les "argiles de Saida" qui comportent quelques bancs gréseux. Elle est très répandue dans les vallées et principalement dans celle de l'Oued Saïda. En outre, cette formation apparaît en reliefs mous plus ou moins isolés sur le plateau et les flancs des vallées.

Le Lusitanien est une formation de grès et d'argiles sableuses. Désignée sous le nom de «Franchetti» ou de «Sidi Amar», cette formation se présente en stratifications entrecroisées. Elle est considérée comme étant équivalente aux grès de Boumediene dans la région de Tlemcen (BENCHERKI. A, 2008).

b.4. Le Kimméridgien :

Il est très peu représenté dans la région, il affleure sous forme d'escarpements rocheux sur les versants des monts de Daïa.

La série est aussi appelée «dolomies de Sidi Boubekeur», elle est équivalente aux dolomies de Tlemcen (Ouest d'Algérie) (BENCHERKI. A, 2008).

2.3. Le Tertiaire :

Il est constitué d'argile brique sableuse ou gypseuse où s'intercalent des niveaux de calcaires lacustres et des niveaux à graviers ou galets plus ou moins lenticulaires. Il comble la dépression de chott chergui (épaisseur 75m). Le Miocène apparaît au sud et au sud-est de Saida, dans la plaine des Maalif.

2.4. Cénozoïque :

2.4.1. Le Néogène et le Quaternaire :

Les dépôts du Néogène et du Quaternaire sont représentés par des conglomérats, d'argiles, de limons de croûtes calcaires remplissant les vallées des oueds de la région. Les dépôts quaternaires continentaux apparaissent le long de l'oued Saida constitués d'éléments grossiers ou limoneux.

III. CADRE STRUCTURAL.

Sur le plan structural, l'observation de la carte géologique de la région de Saïda révèle un nombre important de failles, dont les rejets peuvent atteindre parfois 150 m, mettant ainsi en évidence la tectonique cassante des terrains carbonatés avec constitution de blocs dolomitiques (fig. 16).

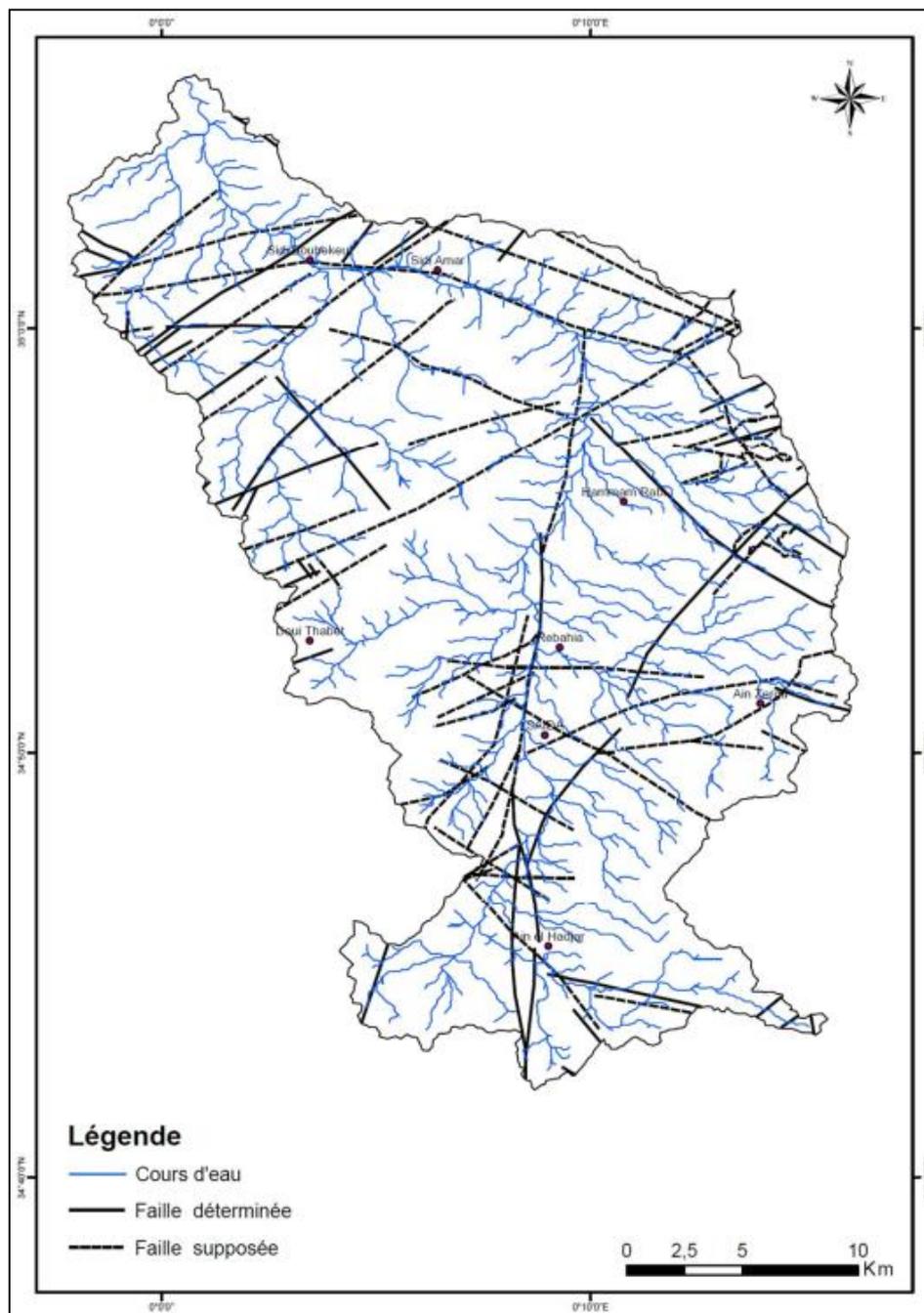


Fig. 16: Carte structurale du bassin versant de l'oued Saïda (ANRH, 2008).

D'après Elmi et Benest (1978), les plissements de la chaîne tellienne qui forment le socle de la région de Saïda ont résulté de mouvements verticaux du socle, ce qui a provoqué d'importantes fractures. Ces mouvements tectoniques sont aussi responsables de la formation des dômes (Tifrit) et des différents fossés d'effondrement. La surrection de môle a aussi provoqué la déformation de la couverture dolomitique du Jurassique alors qu'un fossé d'effondrement d'axe N-S s'est développé dans la vallée de Saïda. Ces différents mouvements de surrection ont engendré une tectonique cassante à la région. Les directions privilégiées sont approximativement SW-NE à NNE-SSW. Les accidents tectoniques sont subverticaux pour la plupart (BENCHERKI. A, 2008).

Les formations anciennes sont affectées par une tectonique de type alpine caractérisée par de grands plis donnant naissance aux Monts de Saïda, et de grandes failles de direction générale Sud-ouest et Nord-est dont les plus importantes limitant la ville de Saïda vers le côté Nord-Ouest (failles de Zeboudj) et le côté Sud-est. On trouve successivement du Nord au Sud une chaîne alpine (Tell Occidental), une zone tabulaire (Haute plaine Oranaise), une chaîne tertiaire (Atlas Saharien) limitée au Sud par l'accident atlasique qui la sépare du bouclier Saharien.

Cette tectonique paraît traduire les mouvements du support en profondeur et l'effet ultérieur du plissement Tellien contre le horst de Tifrit : Les formations du Jurassique inférieur et moyen de nature carbonaté constituent un ensemble rigide qui n'a réagi aux mouvements sous-jacents et aux pressions latérales que par cassures et ondulations à très grand rayon de courbure. La masse dolomitique du plateau de Saïda paraît donc subir en son milieu la poussée profonde du support qui constitue plus au Nord le horst de Tifrit. Ce horst retient en provenance du Nord la poussée des plissements Telliens.

Cette poussée sub-verticale du support avec une faible inclinaison vers le Sud provoque la surélévation de la « dalle » dolomitique avec un effondrement d'axe Nord-Sud au niveau de la vallée de l'Oued Saïda et apparition de deux axes principaux tectoniques plus ou moins perpendiculaires orientés Sud – Ouest - Nord – Est et de façon moins nette - Nord – Ouest – Sud – Est. Ces deux axes se croisent au Sud du horst de Tifrit dans la région d'Oum Djerane et s'appuient vers le Nord sur les bords Est et Ouest de ce horst.

L'ensemble de la région est donc formée d'un plateau pourvu de deux axes principaux tectoniques riches en failles formant un plexus au centre. L'inclinaison générale des formations est orientée vers le Nord et vers le Sud à partir de l'axe du Djebel Sidi

Youssef. Le système de faille du plateau est en communication avec le réseau de faille de la zone effondrée de la vallée de Saida au niveau de la région de Nazereg (Rebahia).

IV. Conclusion :

Du point de vue géologique il ressort clairement de la description Lithostratigraphique et de l'analyse tectonique la subdivision des unités hydrogéologiques suivantes :

- Formation calcaro-dolomitique du jurassique inférieur et moyen qui alimente de nombreuses sources telles que Ain Zerga et Ain Ben Sultane. Cette formation est affectée par un réseau de failles orientées principalement N 20° à N50°E et N120 à N 150.
- Formation Mio-Plio-Quaternaire caractérisée par des limons, des sables argileux, des conglomérats et des calcaires lacustes. Ces niveaux constituent l'aquifère superficiel.

Le bassin des Monts de Saida est caractérisé par l'échelle stratigraphique suivante :

- Le paléozoïque : qui constitue le socle (schiste, granite);
- Le Jurassique moyen : une formation carbonatée du Bajo-bathonien ;
- Le Callovo-oxfordien : formation détritique (argile, grès) ;
- Le Kimméridjien : formation carbonatée à dolomies calcaires ;
- Le quaternaire : dépôts continentaux.

I. INTRODUCTION.

Les dolomies Bajo-Bathonniennes forment au Sud-est de Saida un grand plateau s'élevant vers l'Est à 1100m et vers l'Ouest jusqu'à la côte 950m, limité à l'Ouest et au Nord par la grande faille de Saida qui atteint près de Saida 150 m ainsi en contact de la base des dolomies Bajo-Bathonniennes avec la série argilo-gréseuse du Callovo-Oxfordien vers l'Ouest. Il se prolonge par le plateau dolomitique de la partie Nord de Hassasna.

Les Marno-calcaires du Toarcien constituent l'assise de retenue d'une nappe très importante situées à un côté supérieur à 1000 au Sud-est et voisine de 900m au Nord-Ouest. Donnant naissance à des belles résurgences.

Les sources d'Ain el Hadjar et Ain Bent el soltane, alimentant Saida, sont toutes deux situées au contact faillé des dolomies Bajo-Bathonniennes et des argiles Callovo-Oxfordienne, les sources du vieux Saida dans les gorges de l'oued Saida, sourdent à la base des dolomies. Les dolomies de Tidernatine ont été le siège de circulations importantes du réseau très complexe de fissure qui drainent ce plateau.

II. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE.

1. Réservoirs potentiels :

D'après les études de Clair (1952) et de Pitaud (1973), huit réservoirs ont été mis en évidence, se trouvent le plus souvent dans des formations lithostratigraphiques homogènes (les grés du Lusitanien) où s'intercalant dans une formation lithologie différente (les bancs gréseux du Callovo-Oxfordien).

Mis à part la partie nord-ouest de la région étudiée, où la nature des réservoirs est gréseuse, l'ensemble du territoire est caractérisé par un réservoir généralement artésien.

Les nappes souterraines sont à l'origine de plusieurs résurgences, dont les plus importantes sont Ain El Hadjar, Ain Sultane, Ain El Hallouf et Poirier.

2. Description des aquifères :

A partir de la nature et de l'âge des roches composantes, il est possible de définir les aquifères suivants (fig. 17):

Epaisseur en mètre	Age	Log	Formations géologiques	Caractéristique aquifère
75	Tertiaire et plio Quaternaire		Alluvions	Perméabilité d'interstices et/ou de fissures
100	Sénonien		Calcaires	Perméabilité de fissures et cavitaires(karst)
300	Barrémien		Gres	Perméabilité d'interstices
310	Kimmeridgien		Dolomies et calcaires	Perméabilité de fissures
180	Lusitanien		Gères à passages argileux	Perméabilité d'interstices
250	Callovo-oxfordien		Alternances d'argiles et de gères	Perméabilité d'interstices et parfois de fissures (en zones faillées)
150	Aaléno-bajo-Bathonien		Dolomies supérieures	Perméabilité de fissures et cavitaires(karst)
25	Toarcien		Marnes	Imperméable
30	Domérien		Dolomie inférieur	
90	Trias		Argile, gères, basalte	Imperméable
30	Primaire		Terrains métamorphiques	Imperméable

Fig. 17 : Coupe des caractéristiques hydrogéologiques de la région du Saïda.
Source: Clair, (1952) et Pitaud, (1973).

2.1 .Aquifère du Jurassique inférieur:

Cet aquifère est un réservoir dolomitique très perméable. Le substratum Schisteux subhorizontal constitue l'assise d'une nappe importante alimentant plusieurs sources telles: Ain Tiffrit (qui dessert les centres d'Oum Djerane), Djida, ainsi que Ain Manaa et Ain Sultane. Une partie de l'eau qui s'infiltre à travers les fissures réapparaît à Hammam Rabi. Le toit de ce réservoir souterrain est constitué par les marnes d'Essafah qui datent du Toarcien.

2.2 .Aquifère du Bajo-Bathonien:

Fortement karstique, il constitue le réservoir essentiel pour l'A. E. P de la ville de Saida. Cet aquifère qui est libre dans les régions où les dolomies et calcaires affleurent (plateau d'Oum Djrane et de Tidernatine, à l'est de la ville), devient captif lorsqu'il est surmonté par le CallovoOxfordien, argilo-gréseux, qui constitue le toit. Le mur est représenté par les marno-calcaires du Toarcien, formant l'assise d'une nappe importante qui donne naissance à de nombreuses résurgences.

Selon G. Pitaud (1973), la source de Hammam Rabbi est alimentée par l'aquifère dolomitique du Hettangien-Pliensbachien. Au niveau de Hammam Rabbi, l'aquifère présente une émergence naturelle unique. Une partie des eaux de cet aquifère qui s'infiltrent cheminent à travers la zone fracturée de l'Ouest, et venant buter contre une faille, à l'Est du fossé d'effondrement de Saïda, réapparaissent à 7 km au Nord de Rebahia. Ces eaux chaudes remontent par l'intermédiaire d'une faille (fig.18) à travers le Jurassique moyen et sourdent dans les alluvions tertiaires et quaternaires.

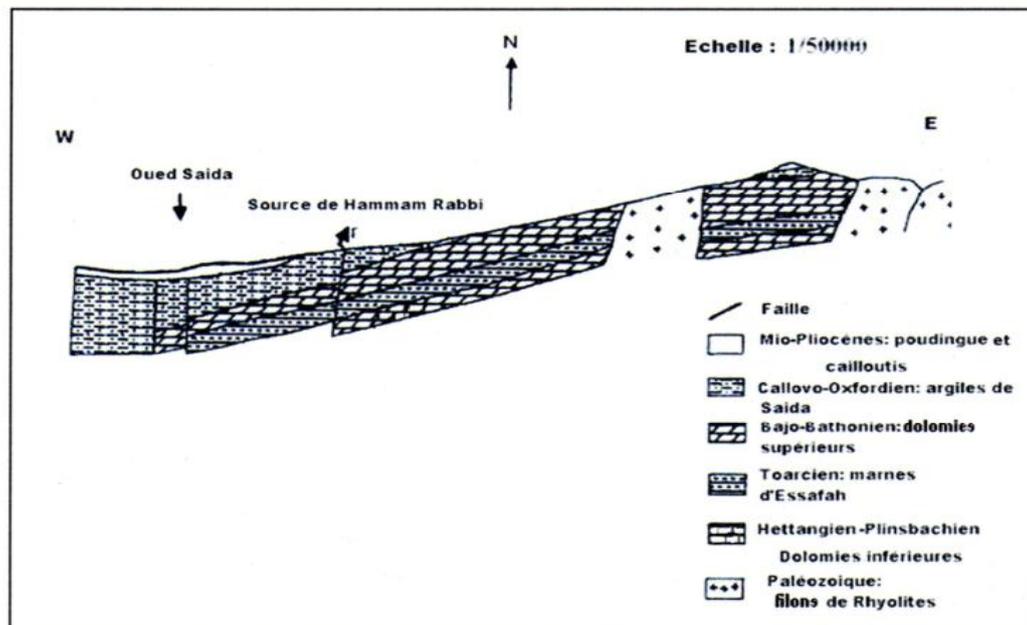


Fig. 18: Coupe lithostratigraphique de la région de Hammam Rabi
(G. pitaud, 1973).

2.3. Aquifère du Callovo-Oxfordien:

Les bancs de grés formant ce réservoir peu aquifères où les débits mobilisés n'excèdent pas 2 l/s, seuls les bancs en contact avec le Bajo-Bathonien qui sont près de la zone faillée offrent des débits intéressants.

2.4. Aquifère du Lusitanien:

Ce réservoir est représenté par des grés qui sont peu aquifères. La nappe est libre alors que les murs sont constitués par les argiles de Saida datant du Callovo-Oxfordien.

2.5. Aquifère du Kimméridgien:

Cet aquifère est dolomitique. On le retrouve à Sidi Boubekeur.

2.6. Aquifère du Crétacé:

2.6.1. Aquifère du Barrémien:

Le réservoir de cet aquifère est gréseux. Tous les forages qui y ont été réalisés au nord-ouest de la ville de Saida ont offerts des débits excédant 30 l/s. (BENCHERKI, A, 2008).

2.6.2. Aquifère du Sénonien:

Le réservoir de cet aquifère est calcaire. On le trouve en trois lambeaux:

- Le niveau d'Ain Skhouna: ce lambeau important est capté par forage sur une puissance de 100 mètres. Il est alimenté par l'aquifère de l'Aaléno-Bathonien.
- Le niveau de la bande étroite: ce lambeau stérile longe l'axe des Guenatis Cheraga.
- Le prolongement de Rem El Haïfa: il affleure au Nord-est et renferme des réserves saisonnières.

2.7. Aquifères du Tertiaire et du Plio-Quaternaire:

2.7.1. Aquifère du Tertiaire continental:

Il couvre la partie médiane de Chott Chergui. On trouve les formations suivantes: Le niveau grossier de base constitue d'un aquifère important dans la zone d'Ain Skhouna. Il est parfois difficile de le distinguer de la partie supérieure très altérée des calcaires sénoniens.

Des calcaires lacustres très altérés et perméables, le plus souvent lenticulaires. Ces calcaires ne communiquent que très difficilement entre eux. Par ailleurs, ils affleurent au dessus de la carapace calcaire recouvrant le Tertiaire continental et alimentant les points bas des résurgences, comme c'est notamment le cas de la source d'Ain Soltane.

Les niveaux sableux ou conglomératiques, intercales dans les argiles du remplissage du Tertiaire, peuvent être très perméables, s'ils ne sont pas isolés dans les argiles ou colmatés par un ciment marneux.

La carapace calcaire qui recouvre presque toute la surface de remplissage Tertiaire sauf dans la partie centrale de la dépression où sa surface est recouverte de petite daïas.

2.7.2. *Aquifères du Plio-Quaternaire:*

Les atterrissements du Tertiaire et du Quaternaire qui comblent les dépressions, bien que d'origine très diverses, forment une seule unité hydrologique. Cet aquifère alimenté, par leur impluvium propre, des nappes importantes, en drainant parfois les eaux des massifs qui les bordent.

Le substratum constitué par le Paléozoïque métamorphique et igné plus ou moins plissé et altéré et par le trias Volcano-Détritique constitue un ensemble imperméable sur lequel repose le membre carbonaté inférieur ou «Dolomies de Tifrit» dont la Karstification est assez avancée et qui est à l'origine de toutes les sources importantes.

Le Paléozoïque lorsqu'il affleure dans les vallées, Guernida et Tifrit est plus ou moins altéré mais sur une très faible épaisseur de l'ordre du mètre. Il ne peut être un aquifère exploitable (G. pitaud, 1973).

Sur le membre carbonaté dolomitique apparaît le membre détritique Callovo-Oxfordien Lusitanien. Le Lusitanien qui est gréseux et perméable est placé en altitude au-dessus des vallées ; il est drainé complètement. Quand il constitue des reliefs isolés de quelques kilomètres carrés sur la masse dolomitique, il ne donne aucune source pérenne et ne fait que contribuer à l'alimentation des dolomies alentour par ruissellement superficiel au cours de très fortes pluies.

Dans les plaines, le Callovo -Oxfordien est lui-même partiellement recouvert par des formations du Plio-Quaternaire argilo - conglomératiques. L'ensemble est très peu perméable mais on distingue localement des bancs de grès Callovo-Oxfordien plus ou moins en relation avec les dolomies sous-jacentes, à la faveur des failles et de la réparation des blocs entre eux, cela peut faire office de drains. Dans la vallée de Saida apparaissent ainsi quelques sources d'un débit total moyen annuel de 20 l/s environ. (G. pitaud.1973).

Le membre carbonaté supérieur du Kimméridgien ou « Dolomies de Tlemcen » forme des dalles posées sur les hauteurs des djebels constitués de Callvo-Oxfordien et Lusitanien. Ces dalles complètement drainées dominant à l'Est et l'Ouest et le Nord du bassin versant de l'Oued Saida au niveau de Franchetti.

3. Principales nappes :

La vallée de Saida est caractérisée par la présence de deux (2) grands types de nappes aquifères : la nappe superficielle et la nappe karstique.

a. Nappe superficielle

C'est une nappe localisée exclusivement dans la vallée du l'oued Saida dont l'aquifère est formé par les couches supérieures de la formation de Saida et leur couverture plio-quaternaire, avec altération de la partie supérieure (argilo-gréseuse) de cette formation constituant avec les dépôts récents du Plio-Quaternaire un réservoir commun, peu profond drainé par plusieurs exutoires sous forme de sources (Ain Bourached, Ain Sidi Ali, Abid Belabane). Elle est alimentée exclusivement par les précipitations sur toute sa surface découverte, certaines failles (celle de Hammam Rabi par exemple) la mettent en communication avec la nappe karstique, ce qui rend possible un déversement des eaux karstiques au réservoir superficiel.

La vidange quant à elle, s'effectue par de nombreuses sources telles que : Ain Tebouda, Ain Bourached et Ain Sidi Ali.

b. La nappe karstique

C'est la nappe la plus importante et la plus intéressante pour l'alimentation des agglomérations, de l'industrie et de l'agriculture. Elle est localisée dans les sédiments carbonatés du Jurassique inférieur et moyen (formation carbonatée de Nador principalement). Elle comporte une partie captive dans la vallée de Saida et une partie libre dans le reste de l'aquifère (fig. 19). Elle présente aussi une discontinuité et une hétérogénéité dans son comportement géologique suite aux perturbations locales provoquées par la présence de couches argileuses et les nombreuses failles tectoniques, qui jouent un rôle important dans :

- Les effondrements profonds qui marquent les limites imperméables de la nappe à l'Ouest, Nord-Ouest et au Nord-est,
- la création de lignes de partage des eaux souterraines à l'intérieur de l'aquifère,
- présence de lignes de décharge de la nappe auxquelles sont rattachées la plupart des sources.

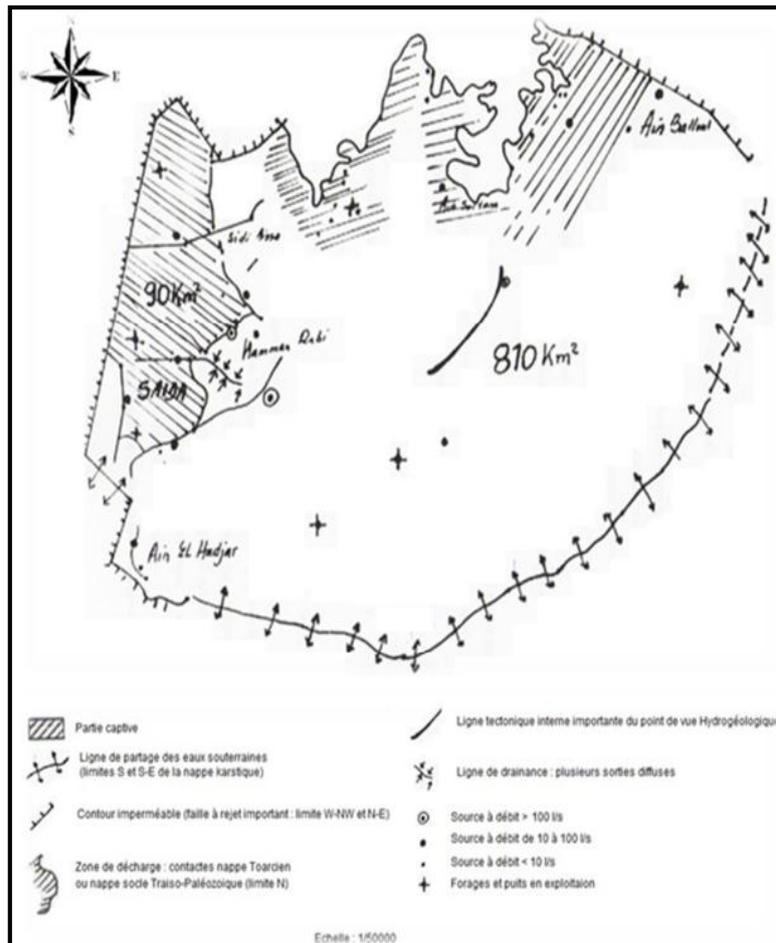


Fig. 19: Synthèse hydrogéologique de la nappe karstique des monts de Saida (DHW).

4. Conditions aux limites :

L'identification du comportement d'une nappe aquifère repose essentiellement sur une définition rigoureuse des conditions aux limites, les limites de la nappe karstique des Monts de Saida peuvent être définies comme suit :

a. Limites latérales

La nappe de Saida (karstique) est limitée, au Sud-ouest par un contour imperméable engendré par deux failles perpendiculaires, à l'Ouest des failles à rejets importants forment une limite imperméable provoquée par une série de failles qui limite la nappe à sa partie Nord-Ouest.

Au Nord, la nappe est limitée par une ligne de décharge le long du contact nappe socle trias paléozoïque et la bordure des plateaux d'Ain Soltane et d'Ain Balloul, et un contour imperméable dans la zone de Djebel Mozdbab avec une coupure de la nappe dans le secteur Nord du horst de Mozdbab par une faille. Au Nord-est, la faille diagonale du flanc Est du môle de Tiffrit est une limite imperméable.

b. Limites verticales

Sauf la vallée de l'Oued Saida constituée géologiquement au Sud par les marnes du Callovo-Oxfordien et au Nord par celle du Bathonien (Mozdbab) et du Callovo-Oxfordien (Saida) où la nappe est captive, la nappe est libre dans toute sa surface et ne comportant pas de véritable toit.

Les marnes du Toarcien (Es Safeh) dans la partie sud et centrale du réservoir et le socle triasopaléozoïque dans la partie nord forment le substratum de la nappe.

La recharge du système est assurée par la pluie dans la partie libre de l'aquifère. Par contre, dans la vallée et le plateau, les terrains de recouvrement imperméables constituent un obstacle à la percolation des eaux de pluies. Localement, cette alimentation est aussi assurée par les pertes. Les eaux thermales contribuent aussi à cette recharge. (K.DJIDI, 2015).

5. Etude de la fracturation :

La fracturation des terrains compacts représente une donnée importante dans l'étude hydrogéologique de ces milieux.

La vallée de l'oued Saïda correspond à un vaste anticlinal faillé de direction atlasique (E-W à WSW-ENE) se noyant au Nord et au Sud. Un réseau de failles découpe la région en de nombreux panneaux parallélépipédiques, à la faveur d'accidents subparallèles orientés NNE-SSW. En effet, la circulation des eaux souterraines se fait essentiellement à la faveur des discontinuités tectoniques.

Vu la nature lithologique des terrains rencontrés (Dolomies, Calcaires et Grés) et afin de mieux cerner les conditions hydrogéologiques et l'importance de la fracturation qui a une relation avec l'hydrodynamisme, des mesures de directions ont été effectuée sur six stations réparties sur le Bassin de l'Oued Saida.

- Station (1) : Gorges du « Vieux-Saida» au Sud-est immédiat de la ville de Saida. 57 mesures.

- Station (2) : Au lieu-dit Hadjar El Hamra au Sud-ouest de la ville de Saida. 78 mesures.

- Station (3) : Au Djebel Mkimene (entre Saida et Rebahia) vers l'Est. 111 mesures.

- Station (4) : Au lieu-dit Matarguet El Ainine au Nord-Ouest de Saida. 36 mesures.

▪ Station (5) : Au Sud-Sud-est de Rebahia, aux environs du cimetière d'Oued Aicha. 147 mesures.

▪ Station (6) : Au Sud-est de Hammam Rabi. 58 mesures.

Il ressort de cette étude les directions prédominantes suivantes (fig. 20) :

- Station (1) : Direction 120° à 150° Hercynienne.
- Station (2) : Direction 40° à 60° Atlasique.
- Station (3) : Direction 20° à 40° Quaternaire.
- Station (4) : Direction 120° à 150° Atlasique.
- Station (5) : Direction 120° à 150° Quaternaire.
- Station (6) : Direction 40° à 60° Hercynienne et Atlasique.

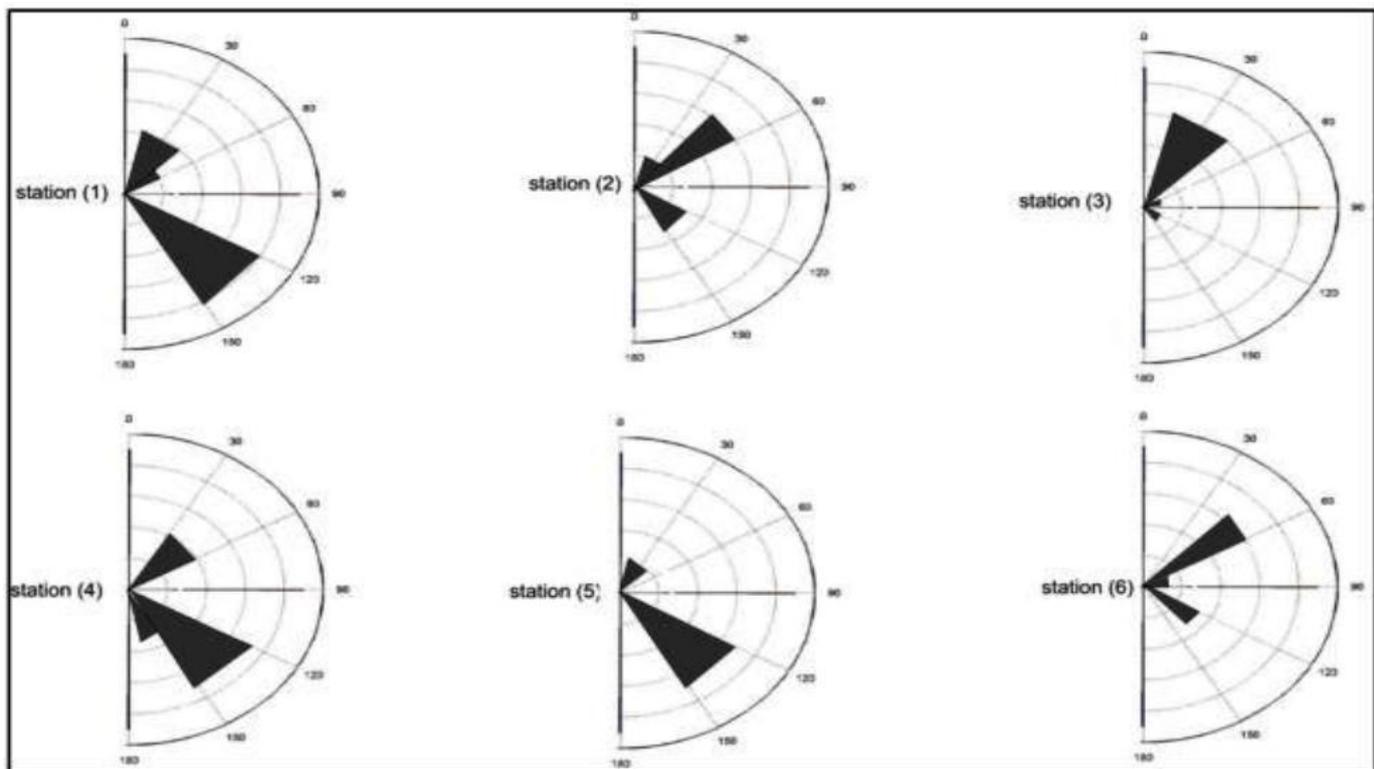


Fig. 20: Histogramme polaires de distribution des failles et diaclases.

6. Interprétation de la carte piézométrique de la région d'étude:

Sur le plan piézométrique, on peut relever un sens général d'écoulement, allant de l'Est-Sud vers le nord-ouest. Les aquifères descendent de 1 100 a 550 mètres (fig. 21). Vers le centre il y'a une anomalie, Les lignes de courant les plus importantes convergent en général vers les sources. Dans la partie sud une action nappe-oued (la nappe alimente l'oued).

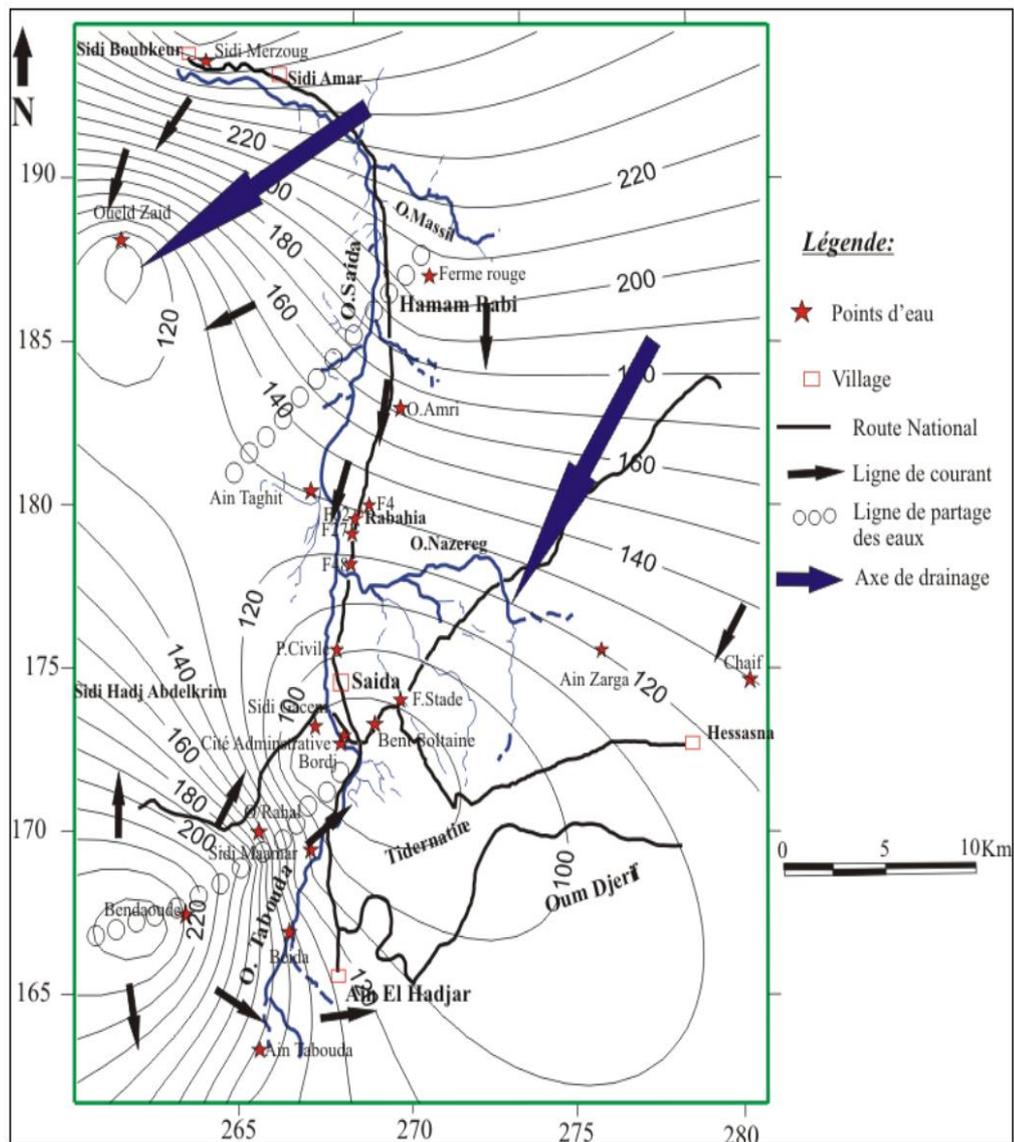


Fig. 21 : Carte piézométrique du Bassin versant de la région Saida (ANRH, Mars 2012).

III. CONCLUSION

Hydrogéologiquement, la région des Monts de Saida est caractérisée par la présence de deux types de nappes :

- une nappe superficielle localisée exclusivement dans la vallée de l'Oued Saida, constituée par les formations Mio-Plio-quadernaires limitée au Sud et Sud-est par les affleurements des terrains carbonatés du Jurassique moyen et au Nord-Ouest par les affleurements du Jurassique supérieur.

- une nappe Karstique captive dans la majeure partie du secteur d'étude sous la formation argileuse de Saïda et libre à l'Est où les dolomies forment en grand plateau connu sous le nom de "Causse de Tidernatine".

Introduction.

L'étude hydrochimique est indispensable de toute étude hydrogéologique, elle vient compléter l'étude géologique qui met en évidence les principales formations aquifères et l'étude hydrodynamique qui permet de quantifier les potentialités de ces aquifères.

Le but de ce chapitre est de définir les faciès chimiques des eaux souterraines, de les comparer et de suivre leur évolution dans l'espace et dans le temps. Il sera également étudié la qualité des eaux souterraines vis-à-vis la potabilité et leur aptitude à l'irrigation. Le degré de pollution de ces eaux par les nutriments et par les métaux lourds. Pour cela, un certain nombre de cartes et de diagrammes ont été élaborés et qui serviront de base pour l'interprétation générale des résultats d'analyses chimiques.

Notre étude hydro chimique est portée sur les échantillons prélevés aux niveaux des puits et des forages répartis sur toute la région. Les prélèvements ont été effectués au mois de novembre 2012, sauf quelques forages (fig. 22). L'analyse de ces échantillons a été faite au niveau de laboratoire de l'ANRH d'Oran.

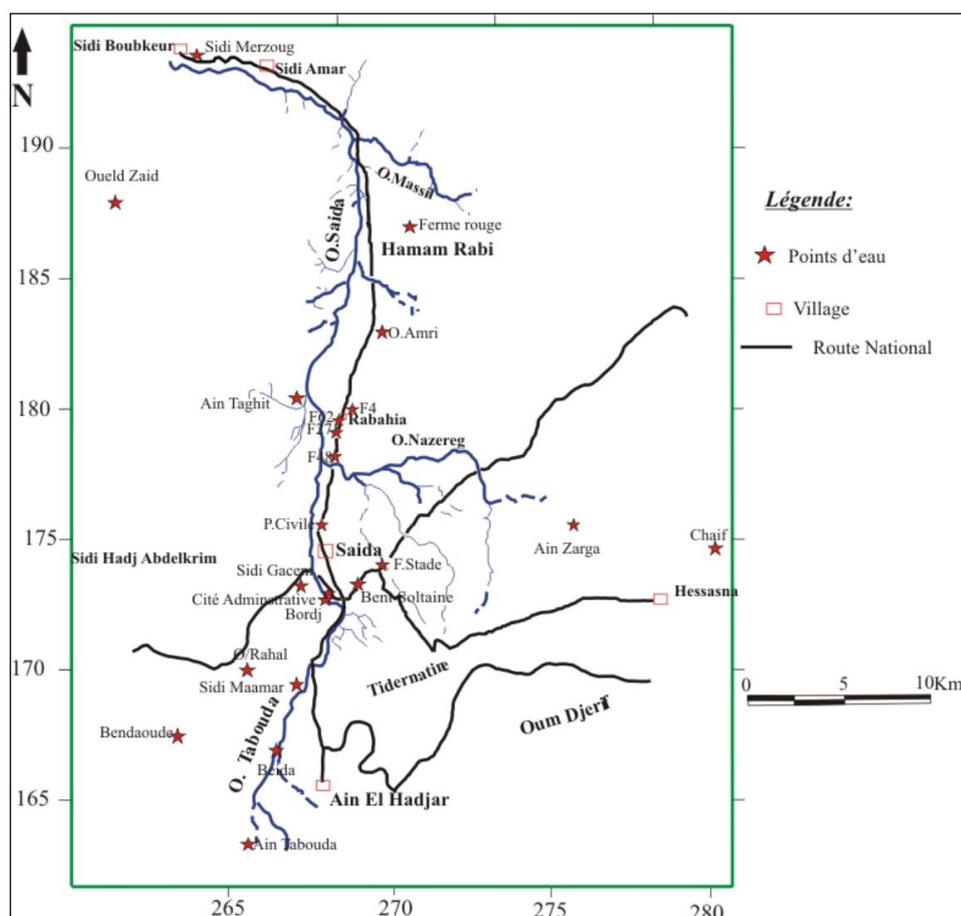


Fig. 22: Carte de localisation des points de prélèvements (Mekabret, 2013).

1. Analyses physico-chimiques :

1.1. Paramètres physiques:

Parmi les paramètres mesurés, on a :

1.1.1. La température :

La température a été mesurée sur le terrain à l'aide du thermomètre, les températures des eaux sont comprises entre 15,8°C et 23,5°C.

1.1.2. Le PH :

C'est le cologarithme de la concentration en ions H⁺, a été mesuré à l'aide d'un PH-mètre sur le terrain et au laboratoire.

PH=Log (H³O⁺), Le PH de l'eau représente son acidité ou son alcalinité, sa valeur est souvent liée à la minéralisation totale.

Pour notre secteur d'étude, le pH varie de 7,1 et 8. Ces eaux sont neutres ou à peine basique.

1.1.3. La conductivité :

La conductivité d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau prise entre d'eau électrodes métalliques de 1cm² de surface, distance de 1cm.

La conductivité d'une eau mesurée en μ siemens/cm ou le μ mhos/cm augmente avec sa teneur en sels dissous. Elle permet donc l'estimation de la minéralisation.

Il existe une relation entre la conductivité et la teneur en sel dissous (la minéralisation):

Tableau 13: représentation de la relation entre la conductivité et la minéralisation

Conductivité en μ mhos/cm	La minéralisation
100μmhos/cm < Conductivité < 200μmhos/cm	Faible
200μmhos/cm < Conductivité < 333μmhos/cm	Moyenne accentuée
333μmhos/cm < Conductivité < 666μmhos/cm	Moyenne
666μmhos/cm < Conductivité < 1000μmhos/cm	Importante
Conductivité 1000μmhos/cm	Excessive

Dans le cas de notre étude, les minéralisations correspondantes sont de l'ordre de 394 à 3803 Mg/l. (Tableau 14).

Tableau 14: Les conductivités et les minéralisations correspondantes région de Saïda.

Points d'eaux	Conductivité (ms/cm)	Minéralisation (Mg/l)
Sidi Merzoug	1417	1076
Ferme rouge	3350	2543
Ouled Zaid	5010	3803
Sidi Gacem	460	390
El Bordj	654	468
F48	935	710
F Stade	1740	1079
O/Rahal	2770	2120
Cité Administrative	1017	772
Protection Civile	500	394
F 27	834	633
F 62	853	647
F4	718	514
Ouled Amri	4250	3226
Chaif	920	865
Ain Zarga	294	226
Ain Bent Soltane	708	507
Ain Beida	520	433
Benadoune	605	433
Sidi Maamar	577	413
Ain Tebouda	1100	835

1. 2. Paramètres organoleptiques :

1.2.1. La Couleur :

La coloration d'une eau peut être soit d'origine naturelle (micro-organisme), soit associée à sa pollution.

D'après l'observation, nos échantillons ont été incolores.

1.1.2. L'Odeur :

Toute odeur est un signe de pollution ou de la présence de matière organique décomposition. Nos échantillons sont inodores qui indiquent l'absence de pollution.

1.3. Paramètres chimiques :

Les analyses chimiques ont porté sur les dosages qui concernent les ions suivants:

Les anions: Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ et K^+ .

Les cations: Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- , NO_3^- et NO_2^-

Ca^{++} ; une eau potable contient entre 100 et 140 mg/l de calcium.

Mg^{++} et SO_4^{--} : quand la teneur en magnésium dépasse une certaine limite, elle donne à l'eau un goût amer. L'interprétation du taux du Mg^{++} dans l'eau doit se faire en liaison avec les sulfures, la teneur en magnésium est de 200 mg/l.

Na^{++} et Cl^- : il n'existe pas des dangers dans l'absorption de quantités relativement importantes de Na Cl sauf certaines maladies (exemple : les accidents vasculaires, cérébraux, la thrombose coronaire).

NO^3 : son origine est l'azote organique, les engrais chimiques ou les eaux résiduaires de certaines industries, des levages, et des collectivités. Les normes internationales indiquent seulement qu'une eau contenant plus de 45 mg/l de nitrates peut provoquer des méthémoglobinémies infantiles.

2. Application chimique sur les eaux souterraines de la région :

2.1. Etude des ions contenus dans l'eau (les paramètres chimiques) :

a. les cations :

Teneur en Ca^{++} : les eaux du Saida ont des teneurs en Ca^{++2} qui varient de 31 mg /l à 509mg/l.

Teneur en Mg^{++} : les teneurs en magnésium sont beaucoup plus faibles que celle en Ca^{++} , elles varient de 16 mg/l à 500mg/l.

Teneur en Na^{++} : les eaux du bassin versant de Saida sont chargées en sodium et les teneurs varient de 21 mg/l à 580mg/l.

Teneur en k^+ : le potassium est toujours présent, des teneurs très faibles peuvent dépasser 14 mg/l.

b. les anions :

Teneur en Cl^- : les eaux du bassin versant de Saida sont assez chargées en chlorures, certains puits présentent des teneurs importantes.

Teneurs en SO_4 : les teneurs en sulfates des eaux varient considérablement d'un puits a une autre peut atteindre 2500mg/l.

Teneur en NO_3 : les teneurs en nitrates sont beaucoup plus faible que les autres sels minéraux, elles varient entre 1 à 174mg/l.

2.2. Représentation Graphique des éléments majeurs:

Plusieurs méthodes de classification des eaux naturelles ont été proposées par divers auteurs. Dans le cadre de cette étude, seulement la classification de Piper, et la classification de Schoeller-Berkaloff ont été prises en considération.

2.2.1. Diagramme de Shoeller-Berkaloff : (fig. 23, 24).

Le diagramme a été établi par H. SCHOELLER en 1932, et révisé par BERKALOFF en 1952, il est composé de sept échelles logarithmiques verticales correspondant aux principaux ions analysés dans l'eau.

Les diagrammes logarithmiques ont permis d'identifier les grandes familles chimiques qui sont mentionnées dans le tableau. (Tableau 15)

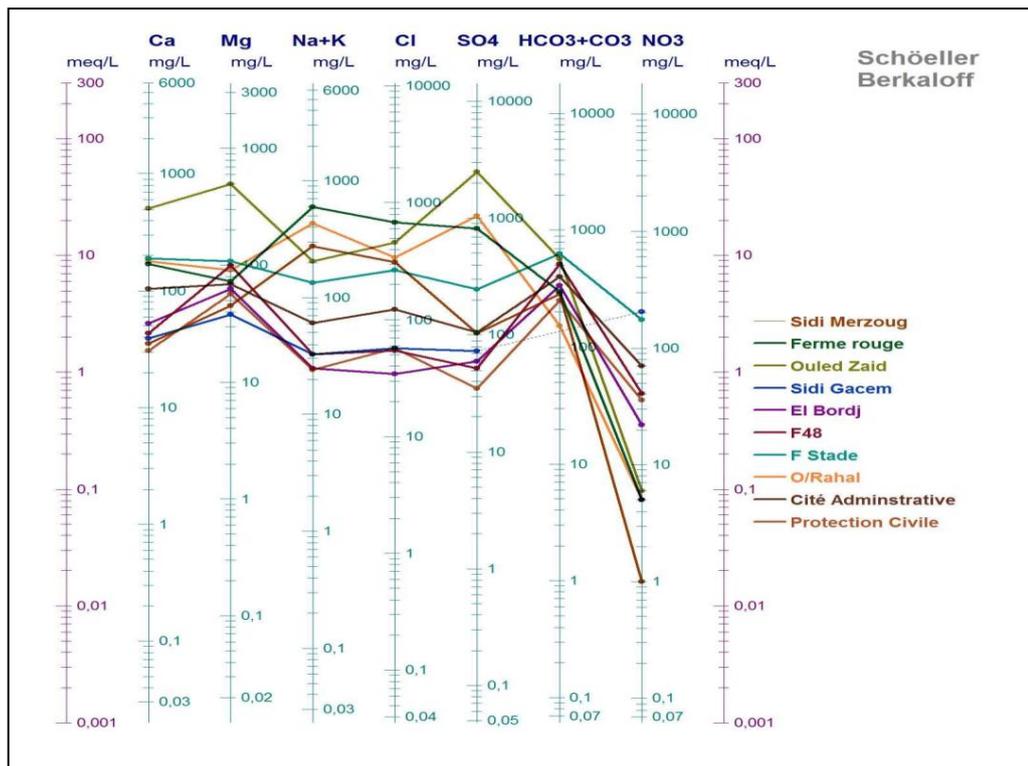


Fig. 23: Diagramme de Schoeller Berkaloff pour 1ère compagne les eaux de Saida.

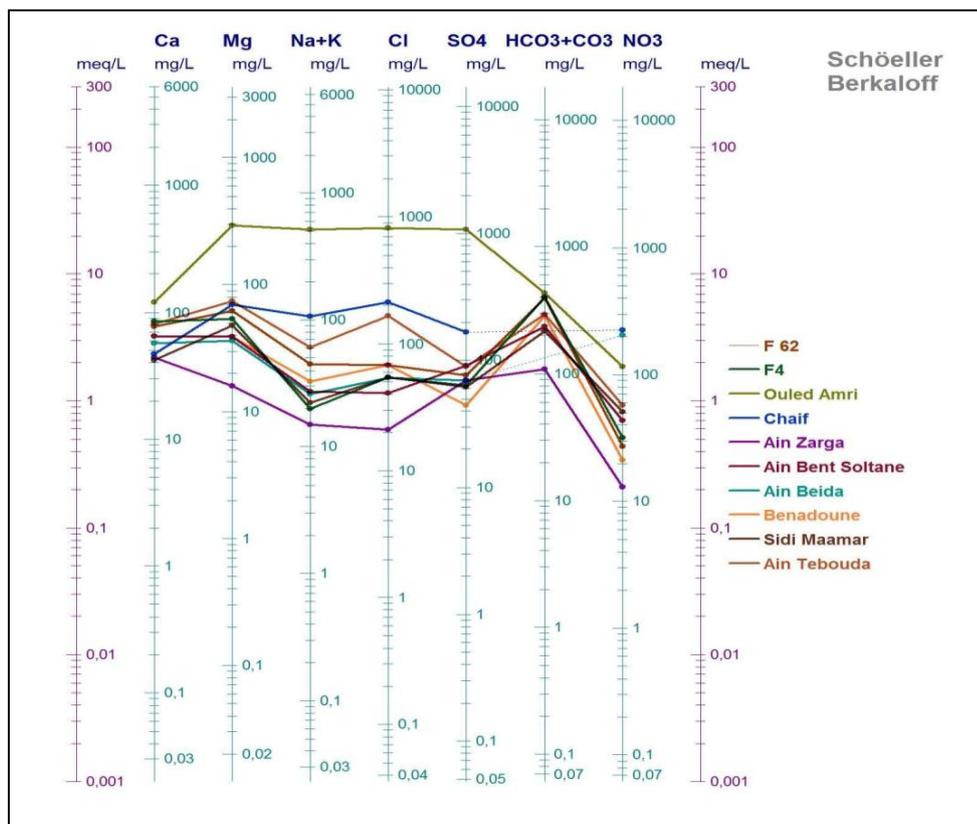


Fig. 24: Diagramme de Schoeller Berkaloff pour 2ème compagne les eaux de Saida.

Tableau 15 : Résumé des formules caractéristiques et des faciès chimiques.

Nom	Formule caractéristique	faciès chimique
Sidi Merzoug	r HCO ₃ ⁻ > r Cl ⁻ > r SO ₄ ⁻⁻ > r NO ₃ ⁻ r Mg ⁺⁺ > r Na ⁺ > r Ca ⁺⁺ > r K ⁺	Bicarbonatée Magnésienne
Ferme rouge	r Cl ⁻ > r SO ₄ ⁻⁻ > r HCO ₃ ⁻ > r NO ₃ ⁻ r Na ⁺ > r Ca ⁺⁺ > r Mg ⁺⁺ > r K ⁺	Chloruré sodique
Ouled Zaid	r SO ₄ ⁻⁻ > r Cl ⁻ > r HCO ₃ ⁻ > r NO ₃ ⁻ r Na ⁺ > r Ca ⁺⁺ > r Mg ⁺⁺ > r K ⁺	Sulfaté sodique
Sidi Gacem	r Cl ⁻ > r SO ₄ ⁻⁻ > r HCO ₃ ⁻ > r NO ₃ ⁻ r Mg ⁺⁺ > r Ca ⁺⁺ > r Na ⁺ > r K ⁺	Chloruré magnésien
El Bordj	r HCO ₃ ⁻ > r SO ₄ ⁻⁻ > r Cl ⁻ > r NO ₃ ⁻ r Mg ⁺⁺ > r Ca ⁺⁺ > r Na ⁺ > r K ⁺	Bicarbonaté Magnésienne
F48	r HCO ₃ ⁻ > r Cl ⁻ > r SO ₄ ⁻⁻ > r NO ₃ ⁻ r Ca ⁺⁺ > r Mg ⁺⁺ > r Na ⁺ > r K ⁺	Bicarbonaté calcique
F Stade	r HCO ₃ ⁻ > r Cl ⁻ > r SO ₄ ⁻⁻ > r NO ₃ ⁻ r Ca ⁺⁺ > r Mg ⁺⁺ > r Na ⁺ > r K ⁺	Bicarbonaté calcique
O/Rahal	r SO ₄ ⁻⁻ > r Cl ⁻ > r HCO ₃ ⁻ > r NO ₃ ⁻ r Na ⁺ > r Ca ⁺⁺ > r Mg ⁺⁺ > r K ⁺	Sulfaté sodique
Cité Adminstrative	r HCO ₃ ⁻ > r Cl ⁻ > r SO ₄ ⁻⁻ > r NO ₃ ⁻ r Mg ⁺⁺ > r Ca ⁺⁺ > r Na ⁺ > r K ⁺	Bicarbonaté Magnésienne
Protection Civile	r HCO ₃ ⁻ > r Cl ⁻ > r SO ₄ ⁻⁻ > r NO ₃ ⁻ r Mg ⁺⁺ > r Ca ⁺⁺ > r Na ⁺ > r K ⁺	Bicarbonaté Magnésienne
F 27	r HCO ₃ ⁻ > r Cl ⁻ > r SO ₄ ⁻⁻ > r NO ₃ ⁻ r Mg ⁺⁺ > r Ca ⁺⁺ > r Na ⁺ > r K ⁺	Bicarbonaté Magnésienne
F 62	r HCO ₃ ⁻ > r Cl ⁻ > r SO ₄ ⁻⁻ > r NO ₃ ⁻ r Mg ⁺⁺ > r Ca ⁺⁺ > r Na ⁺ > r K ⁺	Bicarbonaté Magnésienne
F4	r HCO ₃ ⁻ > r Cl ⁻ > r SO ₄ ⁻⁻ > r NO ₃ ⁻ r Mg ⁺⁺ > r Ca ⁺⁺ > r Na ⁺ > r K ⁺	Bicarbonaté Magnésienne
Ouled Amri	r HCO ₃ ⁻ > r Cl ⁻ > r SO ₄ ⁻⁻ > r NO ₃ ⁻ r Mg ⁺⁺ > r Na ⁺ > r Ca ⁺⁺ > r K ⁺	Bicarbonaté Magnésienne
Chaif	r HCO ₃ ⁻ > r Cl ⁻ > r SO ₄ ⁻⁻ > r NO ₃ ⁻ r Mg ⁺⁺ > r Na ⁺ > r Ca ⁺⁺ > r K ⁺	Bicarbonaté Magnésienne
Ain Zarga	r HCO ₃ ⁻ > r SO ₄ ⁻⁻ > r Cl ⁻ > r NO ₃ ⁻ r Mg ⁺⁺ > r Ca ⁺⁺ > r Na ⁺ > r K ⁺	Bicarbonaté Magnésienne
Ain Bent Soltane	r HCO ₃ ⁻ > r SO ₄ ⁻⁻ > r Cl ⁻ > r NO ₃ ⁻ r Ca ⁺⁺ > r Mg ⁺⁺ > r Na ⁺ > r K ⁺	Bicarbonaté calcique
Ain Beida	r Cl ⁻ > r SO ₄ ⁻⁻ > r HCO ₃ ⁻ > r NO ₃ ⁻ r Ca ⁺⁺ > r Mg ⁺⁺ > r Na ⁺ > r K ⁺	Chloruré calcique
Benadouane	r HCO ₃ ⁻ > r Cl ⁻ > r SO ₄ ⁻⁻ > r NO ₃ ⁻ r Ca ⁺⁺ > r Mg ⁺⁺ > r Na ⁺ > r K ⁺	Bicarbonaté calcique
Sidi Maamar	r HCO ₃ ⁻ > r SO ₄ ⁻⁻ > r Cl ⁻ > r NO ₃ ⁻ r Mg ⁺⁺ > r Ca ⁺⁺ > r Na ⁺ > r K ⁺	Bicarbonaté Magnésienne
Ain Tebouda	r HCO ₃ ⁻ > r Cl ⁻ > r SO ₄ ⁻⁻ > r NO ₃ ⁻ r Mg ⁺⁺ > r Na ⁺ > r Ca ⁺⁺ > r K ⁺	Bicarbonaté Magnésienne

2.2.2. *Diagramme de Piper* : (fig. 25, 26).

La présentation des analyses chimiques des différentes campagnes sur ce type de diagramme. Le diagramme de Piper permet d'avoir une approche globale de la composition chimique des eaux souterraines.

Pour les deux campagnes présentent deux familles dominantes qui sont :

Bicarbonatée Magnésienne.

Bicarbonatés Calcique.

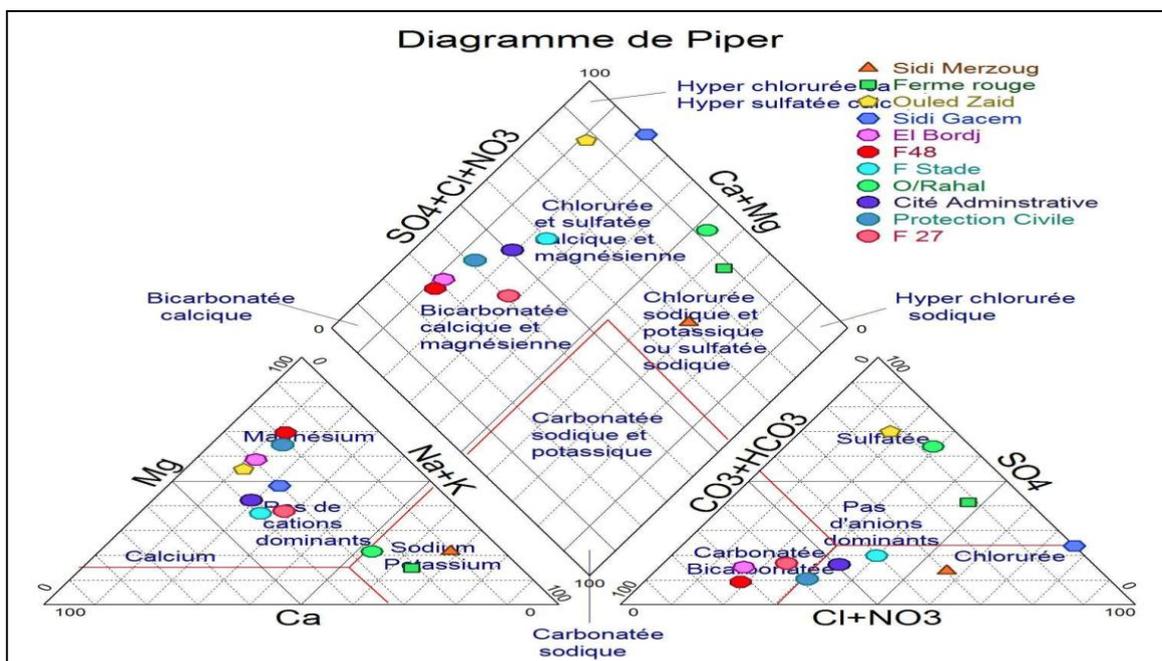


Fig. 25: Diagramme de Piper pour la 1ère campagne des eaux de Saida.

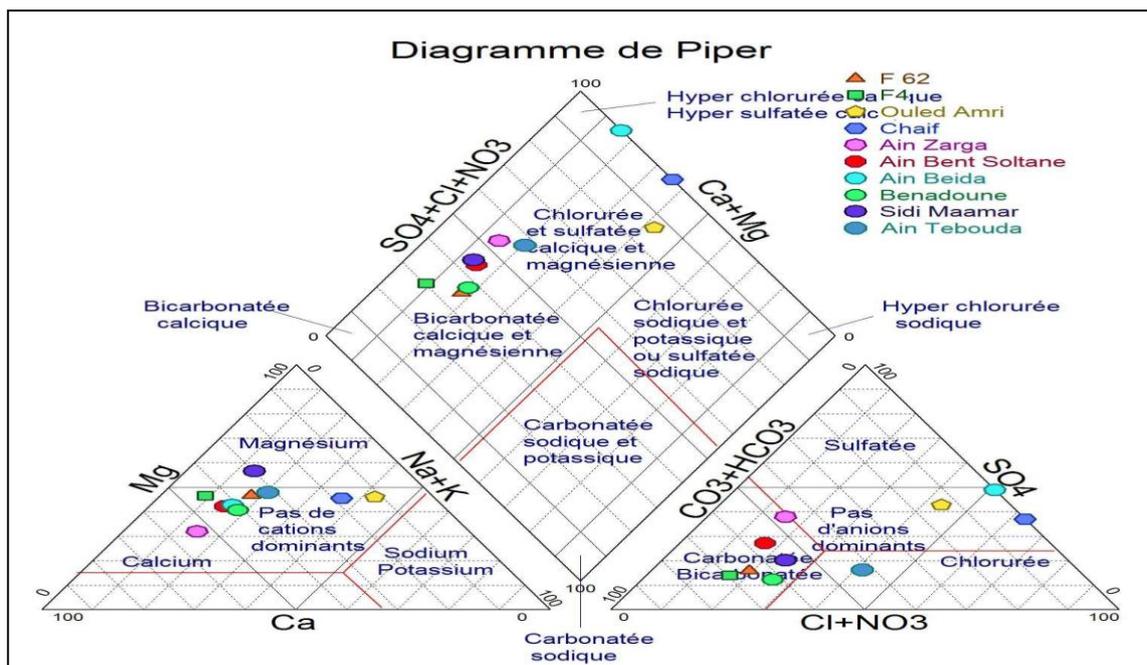


Fig. 26 : Diagramme de Piper pour la 2ème campagne des eaux de Saida.

2.3. Balance ionique (pourcentage d'erreur des analyses d'eaux) :

La balance ionique Permet de vérifier la qualité des analyses chimiques, et de déterminer le pourcentage d'erreur à partir de la relation suivante :

$$e\% = \left\{ \frac{\sum r \text{ cations} - \sum r \text{ anions}}{\sum r \text{ cations} + \sum r \text{ anions}} \right\} * 100.$$

Ou : r cation : somme des cations en meq/l.

r anions : sommes des anions en meq/l.

Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau.

Si $e < 2\%$: nous avons une très bonne analyse.

Si $2 < e < 5\%$: analyse acceptable.

Si $e > 5\%$: c'est une mauvaise analyse et à refaire.

Tableau 16: Pourcentage d'erreur des analyses d'eaux de Saida.

Points d'eau	Σr cations	Σr anions	e%	L'analyse
Sidi Merzoug	17,11	16,4	2,11	Acceptable
Ferme rouge	39,98	41,25	1,56	Bonne
Ouled Zaid	75,32	74,38	0,63	Très bonne
Sidi Gacem	6,49	6,41	0,62	Très bonne
El Bordj	8,83	8,54	1,67	Très bonne
F48	11,73	11,72	0,04	Très bonne
F Stade	24,12	25,7	3,17	Acceptable
O/Rahal	34,93	33,86	1,55	Bonne
C.Adminstrative	13,47	13,35	0,44	Très bonne
P. Civile	7,26	7,02	1,68	Bonne
F 27	10,69	10,67	1,36	Bonne
F 62	10,93	10,36	2,68	Acceptable
F4	9,53	10	2,4	Acceptable
Ouled Amri	52,52	54,55	1,87	Bonne
Chaif	12,68	13,11	1,66	Bonne
Ain Zarga	4,1	4,04	0,73	Très bonne
Ain Bent Soltane	7,59	7,61	0,13	Très bonne
Ain Beida	6,91	6,25	4,08	Acceptable
Benadoune	7,87	7,82	0,31	Très bonne
Sidi Maamar	6,98	7,01	0,21	Très bonne
Ain Tebouda	12,73	12,32	0,16	Très bonne

Le tableau ci-dessus montre que la majorité des résultats des analyses sont bonnes à très bonnes et le reste représente résultats acceptables qui sont F62, F4, Ain Beida.

2.4.Étude des éléments majeurs :

a. Etude statique :

Le calcul des paramètres statistiques permet de présenter les données pour chaque variable la moyenne et l'écart type, le résultat est représenté dans le tableau suivant. (Tableau 17). Nous avons entrepris une étude statistique statique sur 21 échantillons, dans cette étude nous avons pris en considération 11 variable comme suit :

- Les éléments chimiques majeurs
- PH.
- Minéralisation.
- RS.

L'interprétation de l'analyse se fera selon l'ordre des informations données par logiciel (XLSTAT).

Tableau 17 : Statistique descriptive des variables étudiées.

Variabes	Max	Min	Moyenne	Écart-type
Ca	509	31	100,43	104,95
Mg	500	16	91,62	108,88
Na	580	12	126,76	170,86
K	14	1	4,381	4,7
Cl	818	21	191,76	221,61
SO ₄	2500	35	330,29	594,02
HCO ₃	631	0	295,09	176,91
NO ₃	223	1	64,90	72,77
PH	6,93	8,15	7,43	0,35
Minéralisation	266	3803	1051,76	0,347
RS	220	5640	1289,52	1345,15

Parmi les cations, c'est d'abord le sodium qui a la valeur moyenne la plus élevée (509 mg/l) devant le calcium (100,43) le magnésium étant faible (91,62mg/l).

Parmi les anions, ce sont les sulfates qui prédominent avec une valeur moyenne de (330,29mg/l) devant les bicarbonates (295,09 mg/l) après les chlorures (191,76mg/l), les nitrates présentent la valeur moyenne plus faible (64,9mg/l).

3. Qualité chimique de l'eau souterraine :

3.1. Classification des eaux selon la dureté :

On détermine la potabilité chimique d'une eau en calculant la dureté, ou titre hydrométrique, dû à la présence des sels de Calcium et de Magnésium que renferme cette eau. Où: $TH = Ca^{2+} + Mg^{2+}$ (meq/l).

$$TH = (Ca^{2+} + Mg^{2+}) * 5 (\text{degré Français}).$$

La dureté acceptable pour une eau de bonne qualité chimique selon l'OMS est comprise entre 15°F et 50°F.

Tableau 19: Potabilité en fonction de la dureté.

TH °F	0-7	7-22	22-32	32-54	54<
Dureté de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure

Tableau 20 : Les duretés et leurs interprétations.

Points d'eau	TH (°F)	Type d'eau
Sidi Merzoug	32	Dure
Ferme rouge	72	Très dure
Ouled Zaid	328	Très dure
Sidi Gacem	25,4	Assez douce
El Bordj	38,9	Dure
F48	51,5	Dure
F Stade	92	Très dure
O/Rahal	82,2	Très dure
C. Administrative	54,4	Dure
Protection Civile	31,2	Assez douce
F 27	38	Dure
F 62	45	Dure
F4	43,4	Dure
Ouled Amri	151,2	Très dure
Chaif	40,5	Dure
Ain Zarga	17,5	Modérément douce
Ain Bent Soltane	32,3	Assez dure
Ain Beida	29	Assez douce
Benadoune	32,3	Assez dure
Sidi Maamar	50,7	Dure
Ain Tebouda	30,2	Assez douce

D'après les valeurs calculées, 25% des échantillons prélevés présentent une dureté supérieure 50° F donc se sont des eaux très dures, ce qui rend l'usage des ces eaux très difficile, 45% représentent des échantillons dure (**TH=32, 51.5**) et le reste sont des eaux assez douce.

3.2. Norme de potabilité :

L'organisation mondiale de la santé (O.M.S) a défini pour les eaux destinées à la consommation humaine, un ensemble des normes, on examine la qualité chimique des eaux prélevées en comparant ces dernières aux normes internationales retenues par l'O.M.S. Pour les eaux de consommation, les normes algériennes indiquent comme bonne qualité une eau dont la dureté est entre 20 °F et 50 °F. (NA752 Séminaire sur la qualité de l'eau, 1996).

4. Qualité des eaux d'irrigation :

Les eaux superficielles et souterraines peuvent être utilisées aussi bien pour l'irrigation que pour l'alimentation en eau potable (AEP) ou l'industrie.

Pour l'irrigation, en raison de l'effet de leurs éléments minéraux sur les végétaux, on devra tenir compte de ce que l'on dénomme le taux d'absorption du sodium par le sol que l'on appelle S.A.R (Risque d'alcalinisation et de salinisation).

Avec :

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

Si le :

S.A.R < 10 : eaux excellentes.

10 ≤ S.A.R ≤ 18 : eaux bonnes.

18 ≤ S.A.R ≤ 26 : eaux convenables.

S.A.R > 26 : eaux médiocres.

Le tableau 21 englobe les résultats de SAR pour notre secteur d'étude, où nous remarquons que la plus part des forages présente une qualité d'eau d'irrigation bonne à excellente.

Tableau 21 : Classification de qualité des eaux en fonction des valeurs du S.A.R.

Points d'eau	% Na+	S.A.R	Qualité d'eau
Sidi Merzoug	77,40	41,11	Médiocre
Ferme rouge	71,40	52,84	Médiocre
Ouled Zaid	16,95	8,59	Excellente
Sidi Gacem	30	5,16	Excellente
El Bordj	17,86	3,03	Excellente
F48	18,86	3,8	Excellente
F Stade	31,18	10,40	Bonne
O/Rahal	61,43	36,06	Médiocre
C. Administrative	26,07	6,23	Excellente
P. Civile	21,43	3,47	Excellente
F 27	35,94	8,54	Excellente
F 62	24,32	5,26	Excellente
F4	12,59	2,28	Excellente
Ouled Amri	55,38	35,26	Médiocre
Chaif	47,53	13,6	Bonne
Ain Zarga	20	2,19	Excellente
Ain Bent Soltane	20,61	3,46	Excellente
Ain Beida	21,85	3,67	Excellente
Benadoune	24,09	4,44	Excellente
Sidi Maamar	19,64	3,13	Excellente
Ain Tebouda	28,24	6,56	Excellente

5. Etude des rapports caractéristiques :

Tableau 22: Calcul les rapports caractéristiques.

Points d'eau	$r \text{ SO}_4^{2-} / r \text{ Cl}^-$	$r \text{ Na}^+ / r \text{ Cl}^-$	$r \text{ Mg}^{2+} / r \text{ Ca}^{2+}$
Sidi Merzoug	0,22	1,18	2,11
Ferme rouge	0,89	1,31	0,71
Ouled Zaid	4,05	0,65	1,62
Sidi Gacem	0,96	0,87	1,6
El Bordj	1,28	1,04	1,99
F48	0,7	0,91	3,79
F Stade	0,69	0,74	0,94
O/Rahal	2,45	1,89	0,84
C.Adminstrative	0,63	0,73	1,09
P. Civile	0,46	0,62	3,02
F 27	0,77	1,26	1,09
F 62	0,83	1	1,3
F4	0,86	0,53	1,04
Ouled Amri	0,98	0,96	4
Chaif	0,59	0,75	2,45
Ain Zarga	2,47	0,88	0,59
Ain Bent Soltane	1,64	0,94	0,99
Ain Beida	0,96	0,71	0
Benadouane	0,48	0,73	0,99
Sidi Maamar	0,83	0,59	1,88
Ain Tebouda	0,39	0,57	1,5

- Rapport $r \text{ SO}_4^{2-} / r \text{ Cl}^-$:

76,19% sont inférieurs à l'unité ce qui montre que les chlorures dominent par rapport aux sulfates, s'expliquant par le lessivage des roches salifères.

- 23,8% des valeurs sont supérieures à l'unité ce qui prouve que les sulfates dominent aux chlorures. Cela est lié au lessivage des terrains gypsifères.

- Rapport $r \text{ Na}^+ / r \text{ Cl}^-$:

Pour ce rapport 66,66% des points d'eau présentent un rapport $\text{Na}^+ / \text{Cl}^-$ supérieur à l'unité, caractérisé par la prédominance du sodium expliquant le lessivage des alluvions riches en argile. Et pour le reste des points d'eau ou inférieur de l'unité, les eaux étudiées ont un faciès plus chloruré que sodique.

- Rapport $r \text{ Mg}^{2+} / r \text{ Ca}^{2+}$:

La plupart des points d'eau, présente des valeurs supérieures à l'unité, ce qui montre l'importance de Magnésium par rapport aux calciums, la prédominance de magnésium est liée à la dissolution des formations dolomitiques.

6. Interprétation des cartes d'isoteneurs :

a. Les Cations :

▪ Calcium (fig. 27) :

Cet élément est fréquent dans les roches sédimentaires, il provient essentiellement de la dissolution des roches carbonatées suite à la présence du gaz carbonique. Le calcium peut provenir également des formations gypsifères ($\text{Ca SO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$), qui sont facilement solubles selon l'équation :



Les isoteneurs en calcium présentent des valeurs élevées à l'extrême Nord Ouest du l'oued Saida une valeur de 509mg/l au forage d'Ouled Zaid, les valeurs minimales sont observées au Sud Est du bassin au point d'eau protection civile, Sidi Merzoug, Ain Zarga.

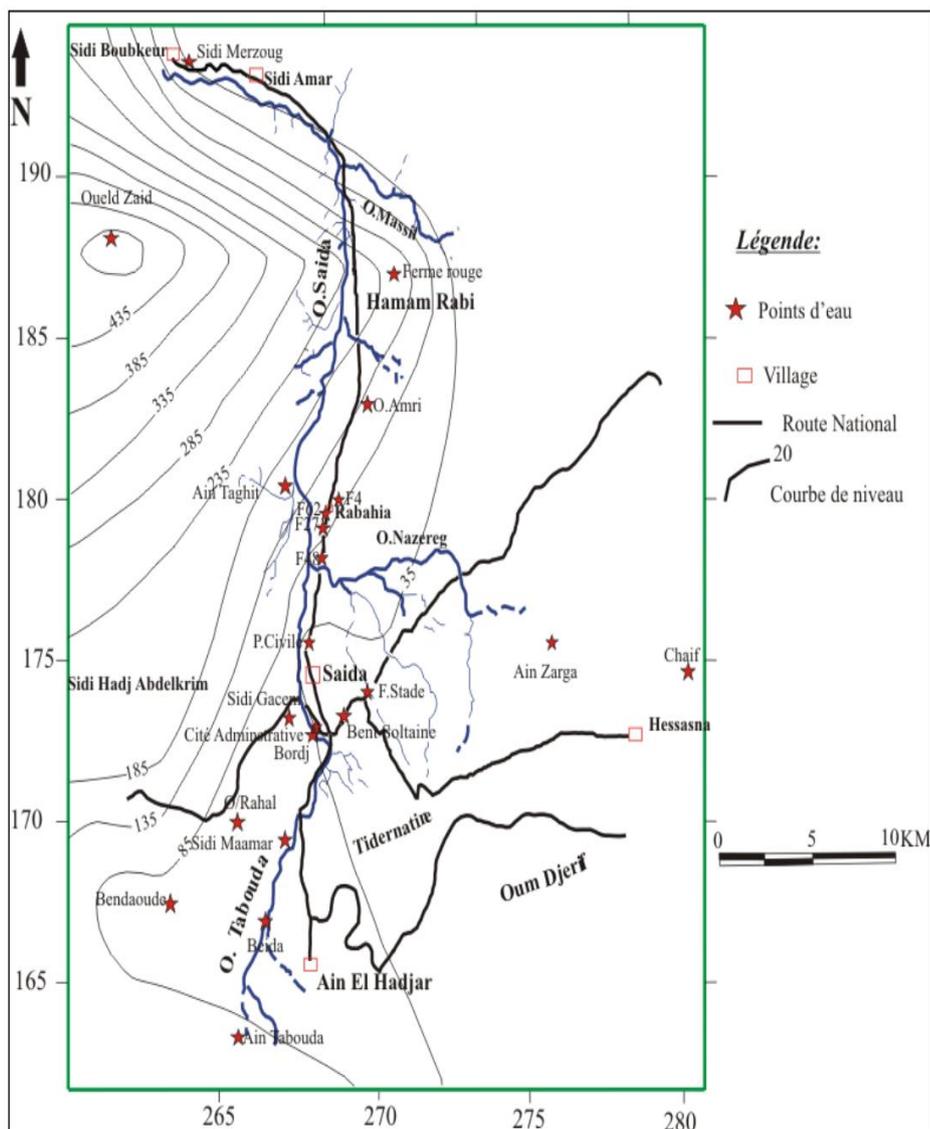


Fig. 27 : Carte en courbe isoteneur du Calcium Ca⁺⁺ (Mekabbret, 2013).

▪ **Magnésium** (fig. 28) :

Le Mg^{2+} vient des roches dolomitiques, il est en concentration variables dans les eaux naturelles, nos valeurs varient entre 16 Mg/l à l'Est et 500 Mg/l au Nord-Ouest (Ouled Zaid).

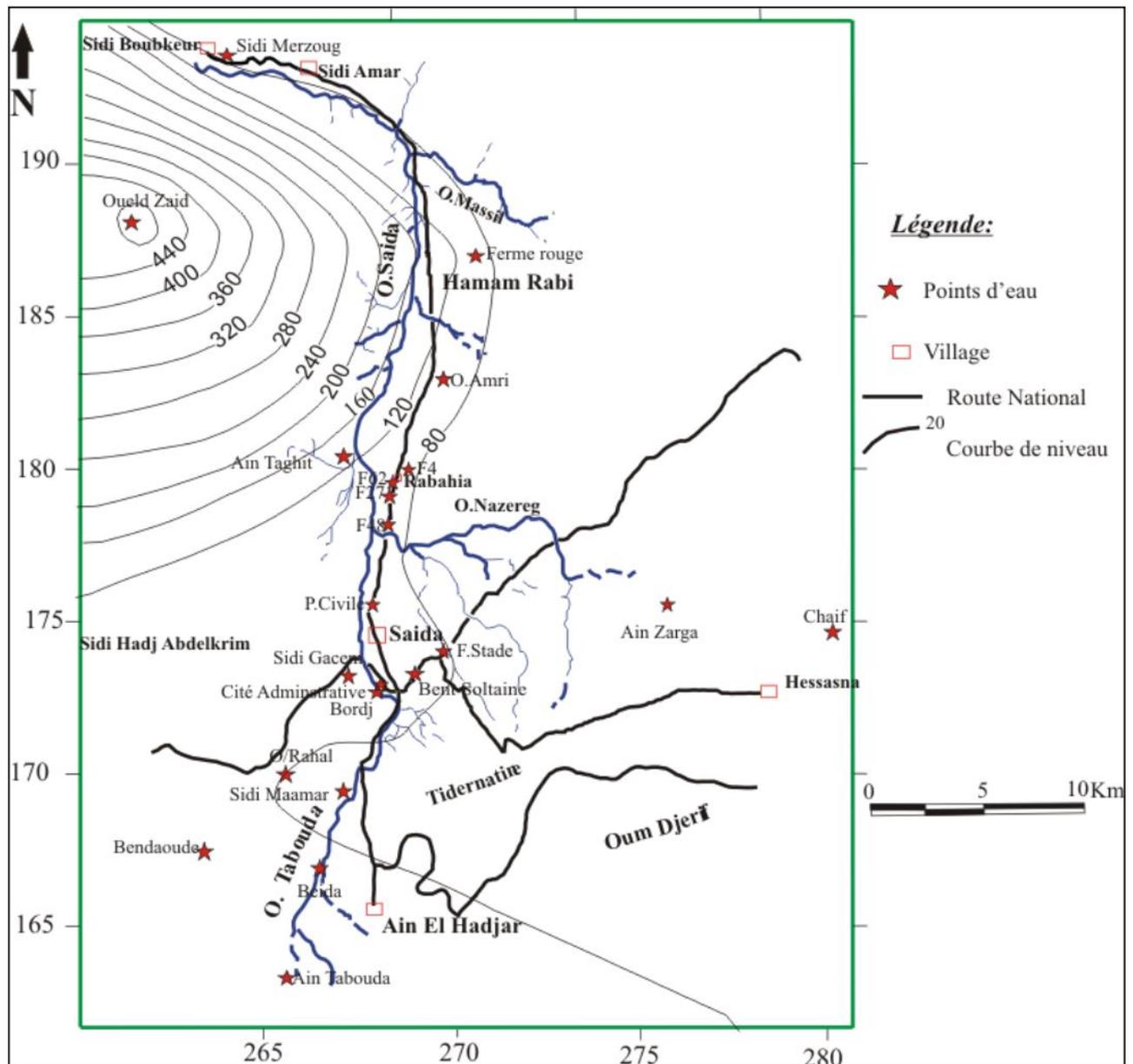


Fig. 28: Carte en courbe isoteneur en Magnésium Mg^{2+} (Mekabret, 2013).

▪ **Sodium :**

Le sodium et le potassium sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportion Variable. L'origine du sodium dans les eaux est liée principalement au lessivage des dépôts évaporitiques et ceci par des phénomènes de lessivage, d'évaporation et par échange de base. La dissolution des minéraux salifères se fait selon la relation suivante :
$$\text{Na Cl} = \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$$

La concentration de l'élément sodium dans les eaux du Saida est entre; 580mg/l Ferme rouge, et 21mg/l a Sidi Maamar.

Le potassium est l'élément le moins réparti dans les eaux souterraines. Il provient de l'altération des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimique.

Les valeurs observées montrent que ces concentrations balancent entre 1 et 14 mg/l, avec une moyenne de 27 mg/l. plus de 95 % des points ont des concentrations inférieures à la limite de potabilité (10 mg/l) d'après l'O.M.S.

b. Les Anions

▪ **Chlorure:**

Les chlorures peuvent avoir une origine multiple. Ainsi, ils peuvent provenir d'une intrusion d'eau marine, ou suite à l'action humaine à partir du soulage des routes, ou par contamination par les eaux usées. Ils peuvent provenir également de la dissolution des sels par lessivage des terrains salifères. La dissolution de ces sels étant très facile d'où leurs présences en fortes concentrations dans les eaux ayant traversées les formations argilo sableuses ou argileuses. Les chlorures donnent un goût désagréable et posent le problème de corrosion des canalisations et des réservoirs à partir de 50 mg/l (norme de l'O.M.S).

D'après la carte d'isoteneur en Chlorures (fig. 29), la concentration maximale était observée au niveau de forage Ouled Amri avec 818mg/l et pour la concentration minimale au niveau de forage Ain Zarga avec 21 mg/l.

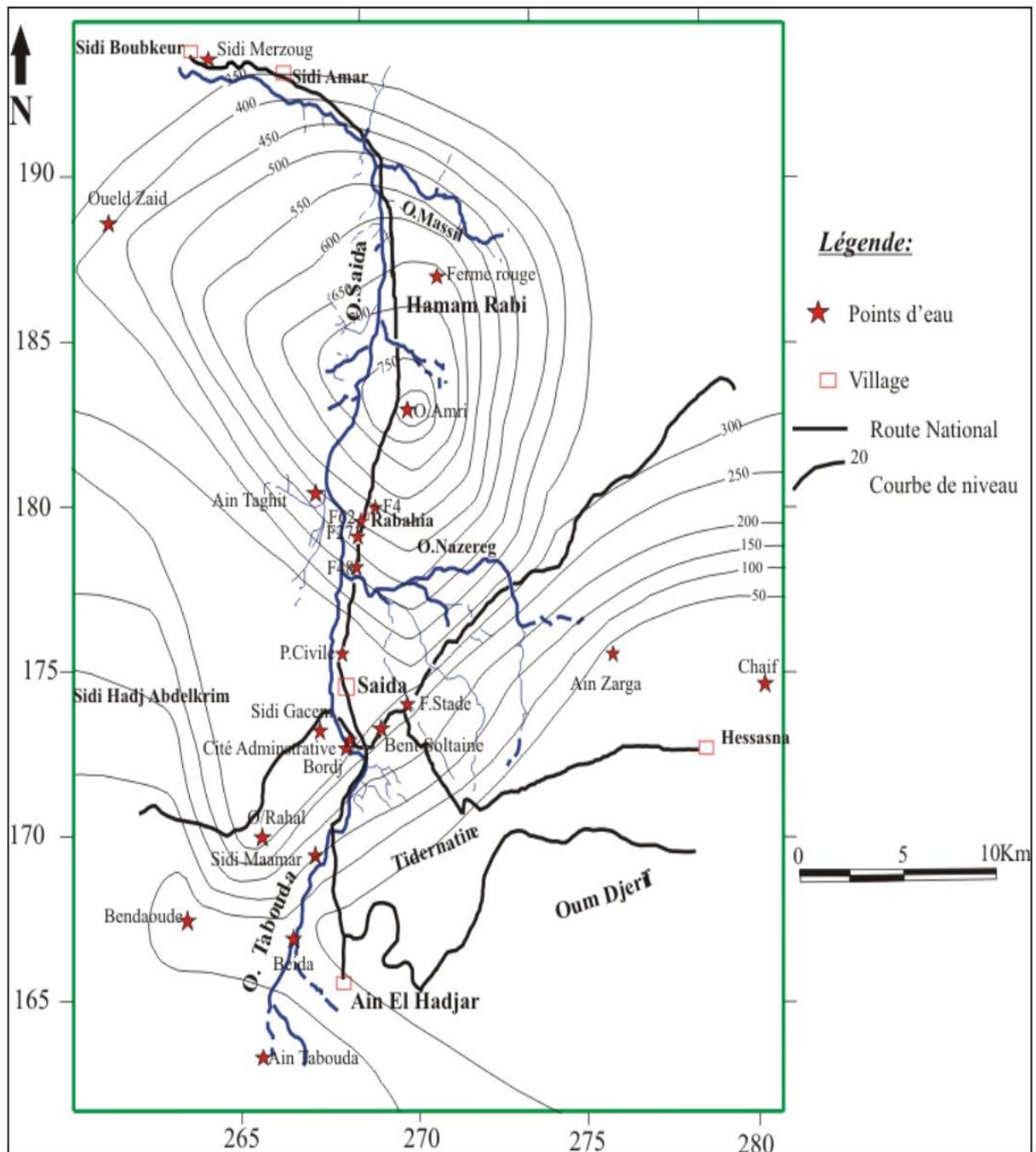


Fig. 29: Carte en courbe isoteur des Chlorures Cl (Mekabret, 2013).

▪ **Bicarbonate :**

Les bicarbonates proviennent de la dissolution des roches carbonatées ou de CO₂ de l'air l'eau, sous forme d'acide carbonaté



Le taux des bicarbonates dans les eaux de Saida atteint un maximum de 570mg/l et un minimum 109mg/l. Les teneurs élevées sont observées vers le Nord –Ouest de l'oued.

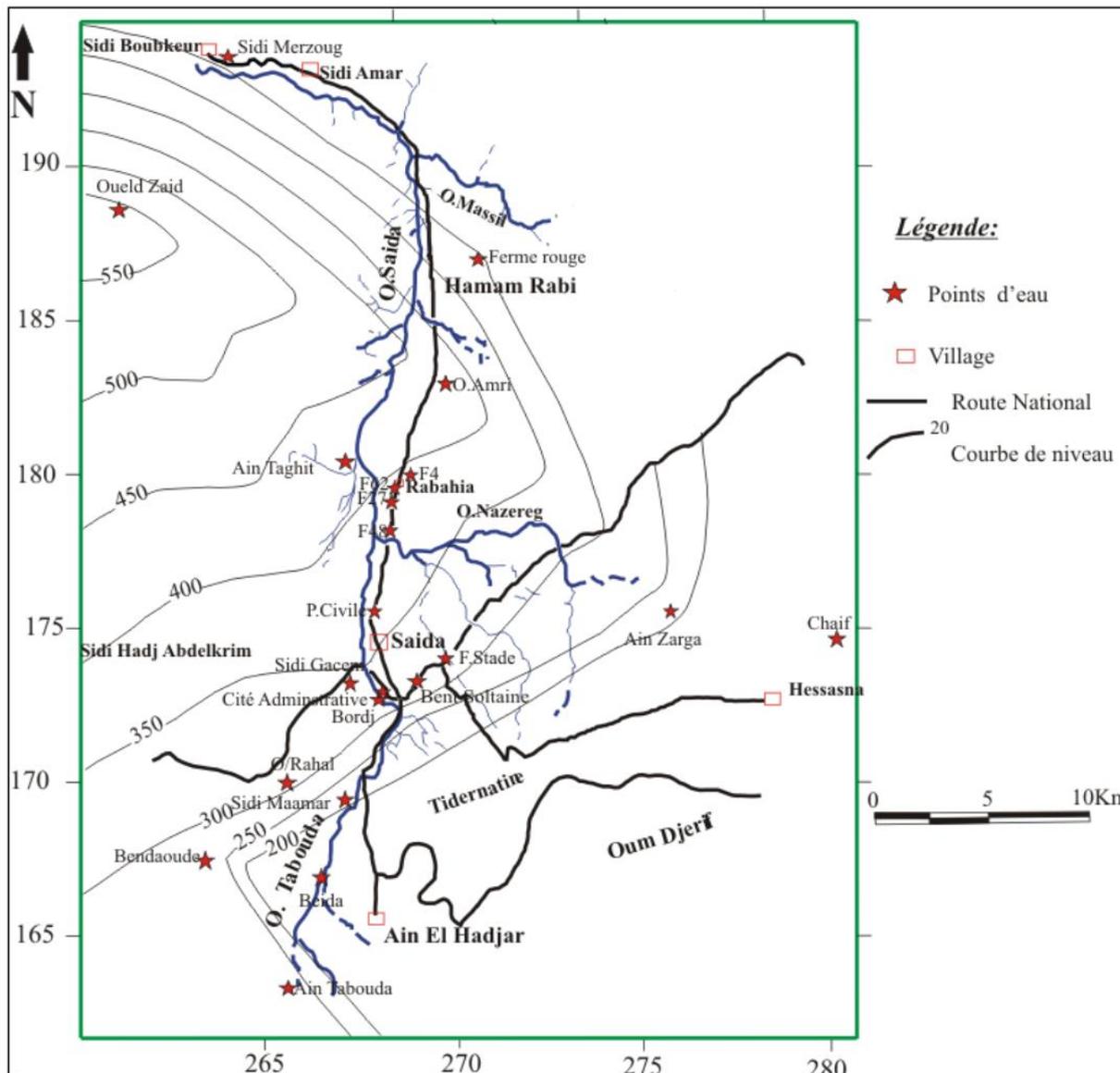


Fig. 30: Carte en courbe isoteneur des bicarbonates HCO₃⁻ (Mekabret, 2013).

▪ **Sulfate :**

L'origine de sulfates est liée à la nature lithologique des terrains voisins de la nappe, les teneurs importantes en sulfates sont issues en contact des eaux souterraines avec les gypses et les marne gypseuses, en outre les rejets des eaux usées industrielle ainsi que le secteur agricole contribuent à l'augmentation des sulfates.

Pour la carte isoteneur en sulfates (fig. 31), les teneurs en sulfates varient entre un minimum de 40mg/l et un maximum de 2500mg/l .La teneur la plus élevée caractérisée le forage (Ouled Zaid), elle diminue inversement vers le Sud et Sud-est.

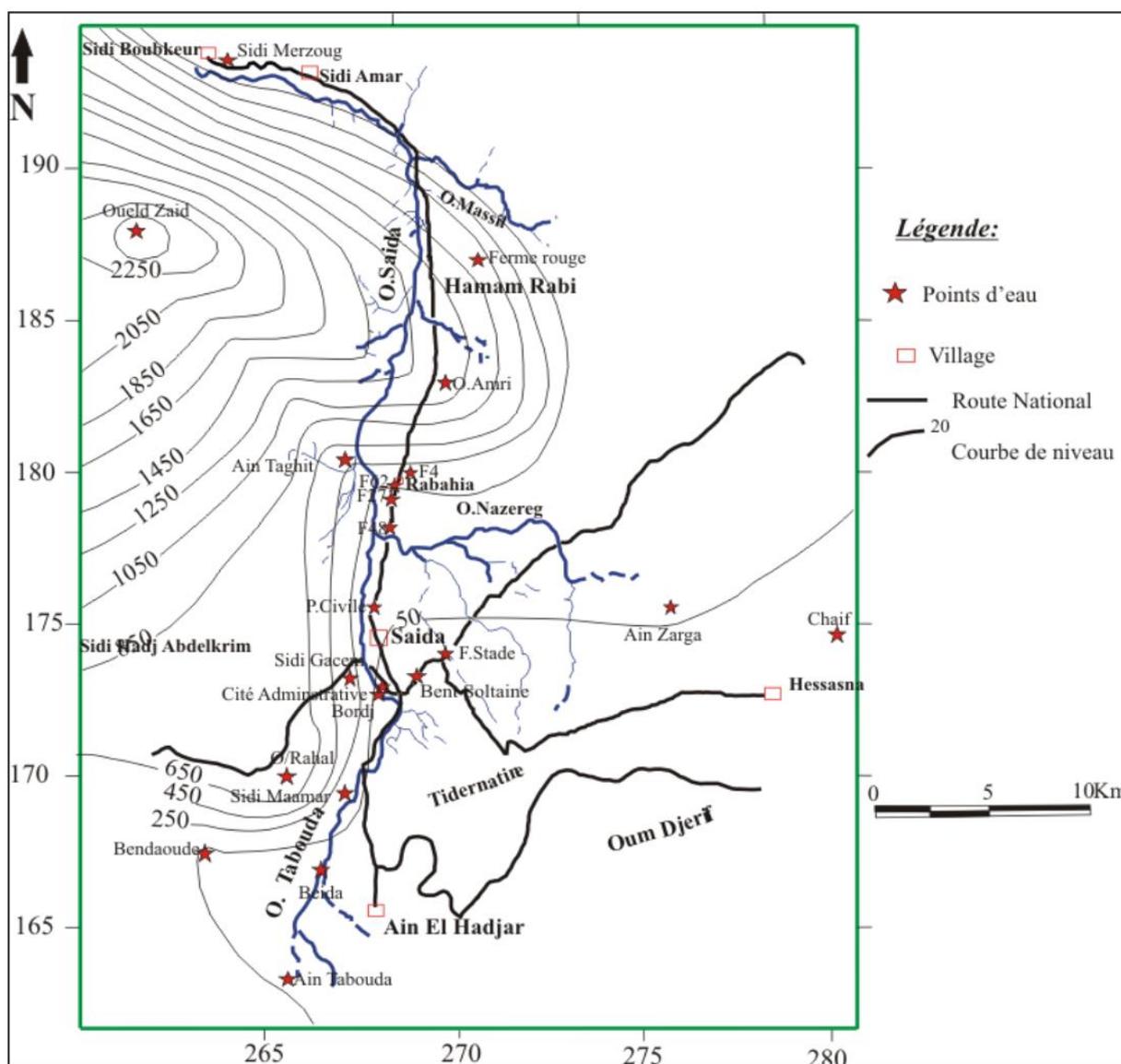


Fig. 31: Carte en courbe isoteneur des sulfates SO_4^{-2} (Mekabret, 2013).

▪ **Nitrate** (fig. 32) :

La teneur en nitrate varie entre 1mg/l et 223mg/l. Les courbes d'isoteneurs se condensent et deviennent concentriques au sud du bassin.

Cette force de concentration est due à une utilisation extensive de fertilisant et engrais chimique en agriculture, ce qui favorise l'infiltration des produits azotés utilisés en ce domaine.

La carte d'isoteneur en nitrates montre que la valeur maximale est atteinte au point d'Ain Beida avec 223mg/l, et 1 mg/l pour la valeur minimale au niveau de puits Sidi Merzoug. L'évolution de ses teneurs de fait du Nord-Ouest vers Sud-est.

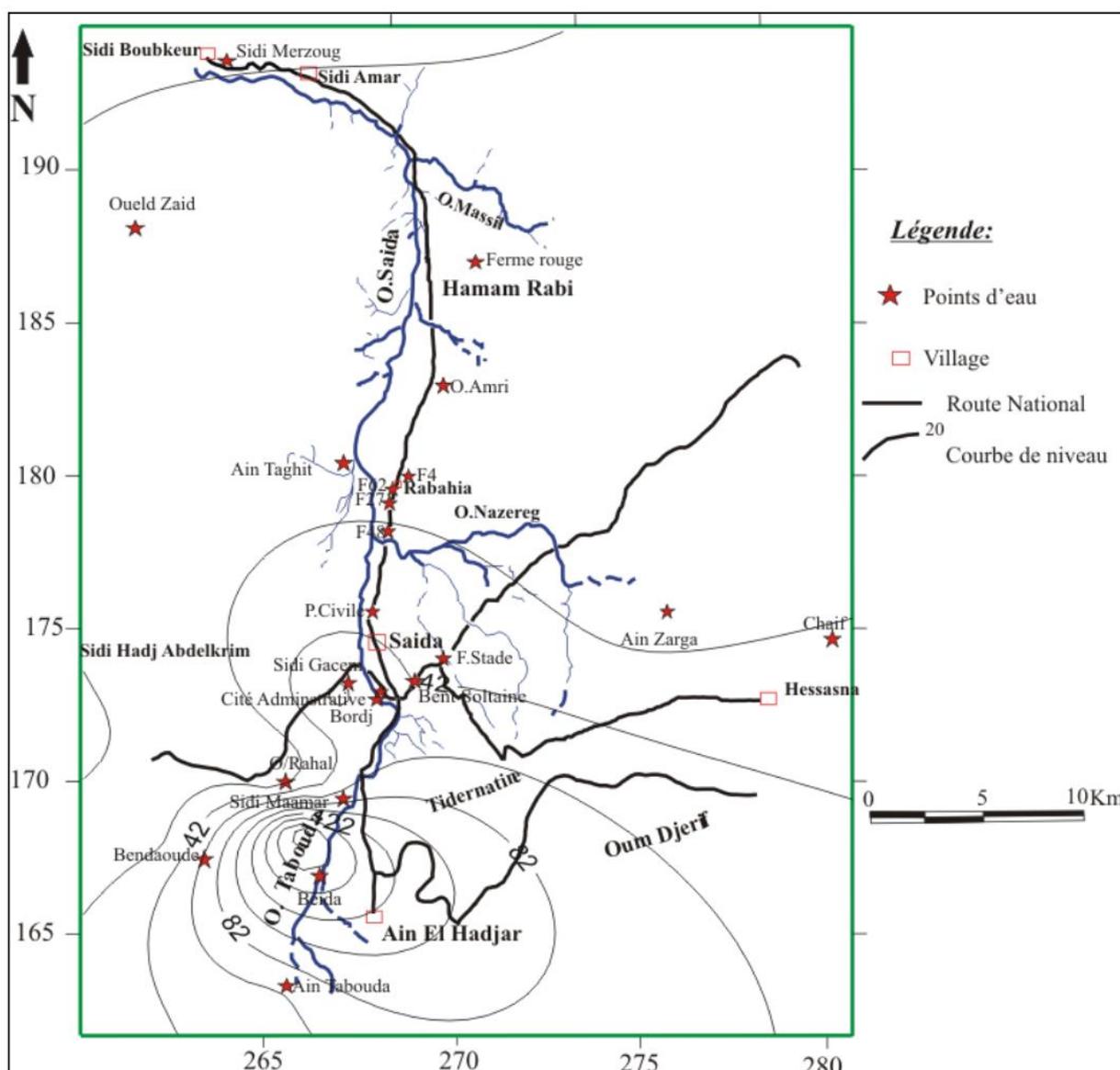


Fig. 32: Carte en courbe isoteneurs des Nitrates (Mekabret, 2013).

Conclusion :

Après l'étude hydrochimique, nous pouvons dire que les eaux de la région Saida sont des eaux neutres à pH moyen à peine basique. La majorité des eaux de la plaine sont bicarbonatées à magnésiennes à calciques.

L'étude des cartes d'isoteneur des éléments chimiques nous a permis de préciser la répartition quantitative des divers éléments dissous et de suivre leur évolution dans l'espace.

À partir du SAR, la totalité des eaux étudiées sont bonnes ou excellente à l'irrigation.

CONCLUSION.

La vallée de l'oued Saida est une région intérieure du Nord-Ouest Algérien et qui forme la limite entre les monts de Saïda et les monts de Daïa. Le bassin versant de l'oued Saida appartient en effet, aux hautes plaines Oranaise et couvre une superficie de 517,59 km² avec un périmètre de 104 km.

Le bassin versant de l'Oued Saida est soumis à un régime climatique semi-aride avec un écoulement temporaire. Par ailleurs, les précipitations pour la période de 1980 à 2009, sont évaluées à 337 mm.

La zone d'étude est formée de trois types de formations lithologiques attribuées au Jurassique il s'agit :

- Des dolomies et calcaires du Dogger (Aalénien-Bajocien) localisés essentiellement en rive droite de l'Oued Saïda. Ces faciès favorisent l'infiltration du fait de leur forte karstification.
- Des argiles, des marnes, des grès calcaires et des calcaires attribués au Dogger Malm (Callovien-Oxfordien), localisés en rive gauche et droite de l'Oued Saïda. Ces formations faiblement perméables favorisent l'écoulement des eaux superficielles par rapport à leur infiltration. Ces faciès auront un comportement différent des dolomies et calcaires et seront plus sensibles aux phénomènes d'érosion et de transport en suspension.
- Des grès carbonatés, dolomies gréseuses, dolomies, grès quartzeux et calcaires du Malm (Kimméridgien), qui favorisent également l'infiltration de surface plutôt que l'écoulement souterrain.

De point de vue hydrogéologique, la région des Monts de Saida est caractérisée par la présence de deux types de nappes, une nappe superficielle localisée exclusivement dans la vallée de l'Oued Saida, et une autre, plus importante et plus intéressante située dans les sédiments carbonatés du Jurassique inférieur et moyen (formation des carbonates de Nador : l'Aaléno-Bathonien). Cette nappe comportant une partie captive dans la vallée de Saida et une autre libre dans le reste du réservoir est très influencée par le phénomène de fissuration et de karstification.

L'hydrochimie détermine les faciès prédominants sur notre région qui sont bicarbonatées magnésiennes et bicarbonatées calciques. Ceci est confirmé par les analyses en composante principale qui établit une très bonne corrélation des éléments majeurs. Les eaux sont de très bonne qualité pour l'irrigation.

Références bibliographiques :

ANTEUR DJ., LABANI A., KHALLADI M. ET GLIZ M. (2014). Contribution à l'évaluation et à la cartographie de la sensibilité à l'érosion hydrique des sols du sous bassin versant de l'oued de Saida (ouest de l'Algérie).

ANTEUR DJ., REMMAS H., LABANI A., REGAGBA Z. (2015). Contribution a l'étude hydrologique dans les monts de Saida.

BAKALOWICZ M., (1979). Contribution de la géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère karstique et de la karstification. Doctorat ès sciences naturelles, université P.et M. Curie, Paris.

BENCHERKI A. (2008). Réalisation d'une carte de vulnérabilité des nappes Phréatiques de la région de Saida, en Algérie, avec l'aide des Systèmes d'information géographique. Thèse de Maitrise en études de l'environnement (MEE), Université de Moncton. 84 p.

CLAIR A. (1952). Etude hydrogéologique des monts de Saida. Rapport de synthèse, Agence Nationale des Ressources en Eau, Alger.

DAHMANI M. N. (2016). Etude hydrologique et hydrogéologique du bassin versant de l'oued Saida.

DECAMPS P. (1973). Etude hydrogéologique de la région de Saida Tagrémaret. État des connaissances et des études en cours. Rapport S.E.S .Saida .

DJIDI K. (2015). Contribution à l'étude de l'aquifère karstique de Saida. Thèse de Doctorat, Université d'Oran 2, 282 p.

GRANDAROVSKI G. (1963). Etude hydrogéologique de la région de Saida. Rapport d'étude, Direction des ressources en eau, Saida.

KHALDI A. (2005). Impact de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien, Monts de Tlemcen-Saida. Thèse de doctorat d'état. Université d'ORAN, 239 p.

KHELIFA H. (1991). Contribution à l'étude hydrogéologique des bassins d'alimentation des eaux minérales et la source thermale de Hammam Rabi. Rapport interne. (ANRH d'Alger).

MEDJBER A., BERKANE F. (2016). Quantification Et Evolution Du Bilan De La Nappe Karstique De Saida (Nord-Ouest De l'Algérie).

MEKABRET I. (2013). Contribution à l'étude hydrogéologique du bassin versant de l'oued Saïda. Wilaya de Saïda.

PITAUD G. (1973). Etude hydrogéologique pour la mise en valeur de la vallée d'Oued Saida. Rapport de synthèse. (ANRH d'Alger).

SAID RAMDANE ET ZOUZOU H. (1993). Contribution a l'étude hydrogéologique de cause des monts de Saida, aspects hydrologique et hydrodynamique de l'aquifère karstique. Mémoire d'ingénieur. (U.S.T.H.B).

YLES. (2010) : Quantification et modélisation du transport solide dans le bassin-versant de l'oued Saïda (hauts plateaux algériens), Science et changements planétaires / Sécheresse. Volume 23, Numéro 4, 289-96, édition John Libby, Octobre-Novembre-Décembre 2012.

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Rapport de confluence.....	7
Tableau 2 : Rapport de longueur.....	8
Tableau 3 : Répartition saisonnière des précipitations.....	9
Tableau 4 : Valeurs moyenne mensuelle des précipitations.....	9
Tableau 5 : Moyennes mensuelles et annuelles des températures.....	10
Tableau 6 : Fréquence du vent (%)......	11
Tableau 7 : Vitesse moyenne mensuelle du vent.....	11
Tableau 8 : Humidité moyenne mensuelle en (%)......	12
Tableau 9 : Moyennes mensuelles des précipitations et des températures.....	13
Tableau 10 : Indice d'aridité mensuel à la station de Saida	14
Tableau 11 : Valeurs de l'ETP à la station de Saida.....	18
Tableau 12 : Bilan de THORNTHWAITE.....	19
Tableau 13 : représentation de la relation entre la conductivité et la minéralisation	41
Tableau 14 : Les conductivités et les minéralisations correspondantes région de Saida	42
Tableau 15 : Résumé des formules caractéristiques et des faciès chimiques....	45
Tableau 16 : Pourcentage d'erreur des analyses d'eaux de Saida.....	48
Tableau 17 : Statistique descriptive des variables étudiées.....	49
Tableau 18 : Matrice corrélative des paramètres physiques et chimiques.....	49
Tableau 19 : Potabilité en fonction de la dureté.....	50
Tableau 20 : Les duretés et leurs interprétations.....	50
Tableau 21 : Classification de qualité des eaux en fonction des valeurs du S.A.R.....	52
Tableau 22 : Calcul les rapports caractéristiques.....	52

Tableau 23 : Méthode utilisée pour le calcul d'ETP (en annexe)

Tableau 24 : Table du coefficient de correction (en annexe)

Tableau 25 : les valeurs des balances ioniques (en annexe)

Liste des figures :

Figure 1 : Localisation de la wilaya de Saïda.....	2
Figure 2 : Localisation de la région d'étude.....	3
Figure 3 : Carte des sous bassins de la Macta	4
Figure 4 : Classification du chevelu hydrographique du bassin versant de l'Oued Saïda.....	6
Figure 5 : Variations des précipitations moyennes annuelles (période 1974/1975 – 2011/2012).....	8
Figure 6 : Variations saisonnières des précipitations (période 1974/75-2005/06).....	9
Figure 7 : Histogramme des précipitations mensuelles (période 1974/75-2005/06).....	10
Figure 8 : Variation des températures moyennes mensuelles (1983-2012).....	11
Figure 9 : Fréquence des vents (%).....	11
Figure 10 : Histogramme d'humidité relative mensuelle en %.....	12
Figure 11 : Courbe pluvio-thermique de la station de Saida (1983-2012).....	13
Figure 12 : Abaque d'indice d'aridité de DE MARTONNE.....	15
Figure 13 : Abaque de WUNDT modifiée par COUTAGNE.....	17
Figure 14 : Carte Géologique du bassin versant de l'oued Saida.....	21
Figure 15 : Coupe lithostratigraphique de la région de Saida.....	23
Figure 16 : Carte structurale du bassin versant de l'oued Saida.....	26
Figure 17 : Coupe des caractéristiques hydrogéologiques de la région du Saida.....	30
Figure 18 : Coupe lithostratigraphique de la région de Hammam Rabi.....	31
Figure 19 : Synthèse hydrogéologique de la nappe karstique des monts de Saida.....	35
Figure 20 : Histogramme polaires de distribution des failles et diaclases.....	37
Figure 21 : Carte piézométrique du Bassin versant de la région Saida.....	38
Figure 22 : Carte de localisation des points de prélèvements.....	40
Figure 23 : Diagramme de Schoeller- Berkaloff pour 1ère compagne les eaux de Saida.....	44
Figure 24 : Diagramme de Schoeller -Berkaloff pour 2ème compagne les eaux de Saida.....	44
Figure 25 : Diagramme de Piper pour la 1ère compagne des eaux de Saida.....	46
Figure 26 : Diagramme de Piper pour la 2ème compagne des eaux de Saida.....	47
Figure 27 : Carte en courbe isoteneur du Calcium Ca ⁺⁺	54
Figure 28 : Carte en courbe isoteneur en Magnésium Mg ²⁺	55

Figure 29 : Carte en courbe isoteneur des Chlorures Cl.....	55
Figure 30 : Carte en courbe isoteneur des bicarbonates HCO ₃ ⁻	58
Figure 31 : Carte en courbe isoteneur des sulfates SO ₄ ⁻²	59
Figure 32 : Carte en courbe isoteneurs des Nitrates.....	60

Annexe

Tableau 23 : Méthode utilisée pour le calcul d'ETP

Méthodes	Formules	Définitions
THORNTHWAITE	$ETP = 1,6 \left(\frac{10t}{I} \right)^a * K$ $a = 0,016 I + 0,5 = 1,78$	<p>ETP : évapotranspiration potentielle mensuelle corrigée en cm.</p> <p>t : Température moyenne mensuelle en °C.</p> <p>k : coefficient de correction mensuel dépendant de la latitude et donné par la table (tableau 35).</p> <p>I : indice thermique annuel, défini comme la somme des indices thermiques mensuels i avec</p> $i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514} \text{ (voir tableau 36)}$ <p>$1,6 \left(\frac{10t}{I} \right)^a$: évapotranspiration potentielle mensuelle non corrigée en cm.</p>

Annexe

Tableau 24 : Table du coefficient de correction

Lat. N.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	1.04	.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
5	1.02	.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	.99	1.02
10	1.00	.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	.98	.99
15	.97	.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	.95	.97
20	.95	.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	.93	.94
25	.93	.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	.99	.91	.91
26	.92	.88	1.03	1.06	1.15	1.15	1.17	1.12	1.02	.99	.91	.91
27	.92	.88	1.03	1.07	1.16	1.15	1.18	1.13	1.02	.99	.90	.90
28	.91	.88	1.03	1.07	1.16	1.16	1.18	1.13	1.02	.98	.90	.90
29	.91	.87	1.03	1.07	1.17	1.16	1.19	1.13	1.03	.98	.90	.89
30	.90	.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	.98	.89	.88
31	.90	.87	1.03	1.08	1.18	1.18	1.20	1.14	1.03	.98	.89	.88
32	.89	.86	1.03	1.08	1.19	1.19	1.21	1.15	1.03	.98	.88	.87
33	.88	.86	1.03	1.09	1.19	1.20	1.22	1.15	1.03	.97	.88	.86
34	.88	.85	1.03	1.09	1.20	1.20	1.22	1.16	1.03	.97	.87	.86
35	.87	.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	.97	.86	.85
36	.87	.86	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	1.03	.97	.86	.84
37	.86	.84	1.03	1.10	1.22	1.23	1.25	1.17	1.03	.97	.85	.83
38	.85	.84	1.03	1.10	1.23	1.24	1.25	1.17	1.04	.96	.84	.83
39	.85	.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	.96	.84	.82
40	.84	.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	.96	.83	.81
41	.83	.83	1.03	1.11	1.25	1.26	1.27	1.19	1.04	.96	.82	.80
42	.82	.83	1.03	1.12	1.26	1.27	1.28	1.19	1.04	.95	.82	.79
43	.81	.82	1.02	1.12	1.26	1.28	1.29	1.20	1.04	.95	.81	.77
44	.81	.82	1.02	1.13	1.27	1.29	1.30	1.20	1.04	.95	.80	.76
45	.80	.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	.94	.79	.75
46	.79	.81	1.02	1.13	1.29	1.31	1.32	1.22	1.04	.94	.79	.74
47	.77	.80	1.02	1.14	1.30	1.32	1.33	1.22	1.04	.93	.78	.73
48	.76	.80	1.02	1.14	1.31	1.33	1.34	1.23	1.05	.93	.77	.72
49	.75	.79	1.02	1.14	1.32	1.34	1.35	1.24	1.05	.93	.76	.71
50	.74	.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	.92	.76	.70
Lat. S.												
5	1.06	.95	1.04	1.00	1.02	.99	1.02	1.03	1.00	1.05	1.03	1.06
10	1.08	.97	1.05	.99	1.01	.96	1.00	1.01	1.00	1.06	1.05	1.10
15	1.12	.98	1.05	.98	.98	.94	.97	1.00	1.00	1.07	1.07	1.12
20	1.14	1.00	1.05	.97	.96	.91	.95	1.99	1.00	1.08	1.09	1.15
25	1.17	1.01	1.05	.96	.94	.88	.93	.98	1.00	1.10	1.11	1.18
30	1.20	1.03	1.06	.95	.92	.85	.90	.96	1.00	1.12	1.14	1.21
35	1.23	1.04	1.06	.94	.89	.82	.87	.94	1.00	1.13	1.17	1.25
40	1.27	1.06	1.07	.93	.86	.78	.84	.92	1.00	1.15	1.20	1.29
42	1.28	1.07	1.07	.92	.85	.76	.82	.92	1.00	1.16	1.22	1.31
44	1.30	1.08	1.07	.92	.83	.74	.81	.91	.99	1.17	1.23	1.33
46	1.32	1.10	1.07	.91	.82	.72	.79	.90	.99	1.17	1.25	1.35
48	1.34	1.11	1.08	.90	.80	.70	.76	.89	.99	1.18	1.27	1.37
50	1.37	1.12	1.08	.89	.77	.67	.74	.88	.99	1.19	1.29	1.41

Annexe

Tableau 25 : les valeurs des balances ioniques

N°	Commune	Dénomination	r Ca ⁺⁺ (meq/l)	r Mg ⁺⁺ (meq/l)	r Na ⁺⁺ (meq/l)	r K ⁺ (meq/l)	r Cations	r Cl ⁻ (meq/l)	r SO ₄ ⁻² (meq/l)	rHCO ₃ ⁻ (meq/l)	r NO ₃ ⁻ (meq/l)	r Anions
01	<i>Sidi Amar</i>	Sidi Merzoug	1,75	3,70	11,30	0,36	16,86	8,84	2,14	4,65	0,01	15,64
02	Sidi Amar	Ferme rouge	8,4	6	25,22	0,36	39,98	19,21	17,04	4,92	0,08	41,25
03	Sidi Amar	Ouled Zaid	25,45	41,15	8,39	0,33	75,32	12,87	52,08	9,34	0,09	74,38
04	<i>Saida</i>	<i>Sidi Gacem</i>	1,95	3,13	1,39	0,02	6,47	1,60	1,54	0	3,27	6,41
05	<i>Saida</i>	<i>El Bordj</i>	2,6	5,18	1	0,05	8,83	0,96	1,23	5,51	0,35	8,05
06	<i>Saida</i>	<i>F48</i>	2,15	8,15	1,39	0,02	11,71	1,55	1,08	8,44	0,66	11,73
07	<i>Saida</i>	<i>F Stade</i>	9,5	8,9	5,52	0,20	16,02	7,44	5,12	10,34	2,80	23,7
08	<i>Saida</i>	<i>O/Rahal</i>	8,95	7,49	18,21	0,28	34,93	9,63	21,66	2,49	0,08	33,86
09	<i>Saida</i>	<i>Cité Administrative</i>	5,2	5,68	2,52	0,07	13,47	3,46	2,19	6,57	1,13	13,35
10	<i>Saida</i>	<i>Protection Civile</i>	1,55	4,69	1	0,02	7,26	1,60	0,73	4,11	0,58	7,02
11	<i>O/Khaled</i>	<i>F 27</i>	3,7	4,03	2,91	0,05	9,2	2,31	1,79	6,33	0,24	10,67
12	<i>O/ Khaled</i>	<i>F 62</i>	3,9	5,10	1,91	0,02	10,93	1,91	1,58	6,44	0,43	10,36
13	<i>O/ Khaled</i>	<i>F4</i>	4,25	4,44	0,82	0,02	9,53	1,55	1,33	6,61	0,51	9,99
14	<i>O/Khaled</i>	<i>Ouled Amri</i>	6,05	24,19	22,1	0,18	52,52	23,04	22,58	7,08	1,85	54,55
15	<i>Hassasna</i>	<i>Chaif</i>	2,35	5,76	4,52	0,05	12,68	6	3,52	0	0,59	9,79
16	<i>Hassasna</i>	<i>Ain Zarga</i>	2,2	1,31	0,52	0,07	4,1	0,59	1,46	1,78	0,21	4,04
17	<i>Saida</i>	<i>Ain Bent Soltane</i>	3,25	3,21	1,08	0,05	7,59	1,15	1,89	3,88	0,69	7,61
18	<i>D.THABET</i>	Ain Beida	2,85	2,96	1,08	0,02	6,91	1,52	1,46	0	0	2,98
19	<i>DOUI THABET</i>	Benadoune	3,25	3,21	1,39	0,02	7,87	1,91	0,92	4,65	0,34	7,82
20	<i>DOUI THABET</i>	Sidi Maamar	4,05	6,09	2,52	0,07	12,73	4,7	1,85	4,85	0,92	12,32
21	<i>Sidi Ahmed</i>	Ain Tebouda	2,1	3,95	0,91	0,02	6,98	1,55	1,29	3,35	0,82	7,01