

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers
Université d'Oran 2

Département De sciences de la terre

Mémoire Pour l'obtention du diplôme de Master2
Spécialité :Hydrosystèmes et ressources en
eau

**Étude hydrochimique de la nappe karstique _Bassin
versant oued Saida nord ouest algérien**

Présenté par :

M^{elle}AISSAOUI khaoula

dirigé par :

Mme belkhir Khadidja

Jury de soutenance :

Nom	prénom	Grade	Qualité	université
Mr Safa	Aissa	professeur	Président	Oran2
Mme Bakhti	Amel	MCB	Examineur	Oran 2
Mme Belkhir	Khadidja	MAA	Encadreur	Oran 2

Promotion : juin 2023

REMERCIEMENTS

Nous remercions avant tous, ALLAH qui nous a montrées le chemin du savoir et nous a inspirée le courage et la volonté d'achever ce modeste travail et notre premier éducateur notre prophète MOHAMMED que la salut soit sur lui.

Je tiens à exprimer mes remerciements et mon appréciation a mon encadreur Mme Belkhir Khadidja pour ses conseils, orientations et sa disponibilité le long de l'élaboration de ce travail.

je remercie aussi Les enseignants de science de terre et de l'univers

Et surtout Mme. bakriti , M. Safa , M Bergane pour leur soutien et leur aide.

Je tiens également à remercier le personnel de la Direction des Ressources en Eau de la Wilaya de Saïda pour son aide.

Enfin nous remercions avec gratitude tous ceux qui nous aident de près ou de loin à élaborer notre mémoire de fin d'étude.

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail à :

❖ Mes chères parents, Mes chères frères (Djamel, mohamed ,Mekki , Rayane , Alilo) et ma sœur (fatima)et mes amis (Hanane , Oum Elkhir) et a toute la Famille Aïssaoui.

❖ Mes collègues de la promotion de l'année Universitaire 2022-2023 spécialité : Hydro systèmes et ressources en eau et ainsi qu'a tous ceux que j'ai connu dans Ma vie.

Table des matières

Résumé

Introduction générale

CHAPITRE I : Présentation générale de la région d'étude.

1. Situation géographique de bassin versant Oued Saïda	1
2. Situation climatique	2
2.1 Le climat	2
2.2 La pluviométrie	2
2.3 La température	3
2.4 Humidité relative	5
2.5 L'indice d'aridité de Martonne	5
3. la morphologie du bassin versant de l'oued Saïda.....	6
3.1 Caractéristiques de formes	6
3.1.1 Coefficient de compacité de Gravelius.....	7
3.1.2 Rectangle équivalent	7
3.2 Réseau hydrographique	8
3.2.2 Densité de drainage Dd.....	9
3.2.3 Fréquence des cours d'eau (F).....	10
3.2.4 Coefficient d'allongement (E).....	10
3.2.5 Rapport de confluence (Rc).....	10
3.2.6 Rapport de longueur (Rl).....	10
Détermination de Rc et Rl graphiquement	11
3.2.7 Coefficient de torrentialité	11
3.2.8 Temps de concentration	12
4. Géologie	12
4.1 Introduction	12
4.2 Stratigraphie	12

• Primaire	12
• Secondaire	13
• Le jurassique	13
• Le jurassique inférieur et moyen	13
• Callovo-Oxfordien et lusitanien	13
• Le kimméridgien	13
• Le Palio-Quaternaire	13

CHAPITRE II : Cadre hydrogéologie de la région et de la nappe karstique de Saïda.

1. Contexte hydrogéologie	20
1.1 réservoirs potentiels	20
1.2 description des aquifères.....	20
1.2.1 Aquifère du jurassique inférieur	20
1.2.2 Aquifère du bajo-bathonien	21
1.2.3 Aquifère du callovo-oxfordien	21
1.2.4 Aquifère du lusitanien	21
1.2.5 Aquifère du kimméridgiens	21
1.2.6 Aquifère crétacé	21
a. Aquifère du barrémien	21
b. Aquifère du sénonien.....	21
1.2.7 Aquifère du tertiaire et du palio-quaternaire	21
A. Aquifère du tertiaire continental	21
B. Aquifère du palio-quaternaire	22
2. La nappe karstique	22
2.1 phénomène de fissuration et de karstification	24
2.1.1 la fissuration	24
2.1.2 la karstification	24
2.2 les sources	26
2.3 les forages et puits	26

CHAPITRE III : étude hydro chimique

1. Hydro-chimie	29
2. L'inventaire des points d'eau.....	29
3. Le protocole expérimental.....	30
4. résultats et discussion	31
5. analyses en composantes principales	31
5.1 présentation de résultat de l'analyse en composantes principales	32
5.2 projection des individus sur les facteurs de charge F1 ,F2.....	35
6. les méthodes d'interpolation	36
6.1 le krigeage	37
6.2 représentation graphique des résultats.....	37
6.2.1 les paramètres physiques	38
a- le potentiel d'hydrogène (pH).....	38
b-conductivité électrique (CE).....	39
6.2.2 les paramètres chimiques	39

a-les cations	40
a-1 le calcium.....	41
a-2 le magnésium.....	42
a-3 le sodium.....	42
a-4 le potassium.....	43
b- les anions	44
b-1 les bicarbonates	45
b-2 les sulfates	46
b-3 le chlore	47
b-4 les nitrates	48
7. les faciès chimiques	49
a- diagramme de piper	49
b- diagramme de Stiff.....	49
c- le diagramme de SCHOELER.....	50
d- diagramme de Wilcox.....	52
7.1 Interprétation des résultats des diagrammes	53
Conclusion générale	50
Référence bibliographie	52
Liste des figures	53
Liste des tableaux	55

Résumé

De nos jours, l'altération de l'environnement notamment le milieu aquifère, est devenu une préoccupation mondiale. En Algérie, les eaux souterraines constituent une part importante du patrimoine hydraulique du pays du fait de son accessibilité et de son exploitation relativement facile. Toutefois la croissance démographique, l'intensification des pratiques industrielles et agricoles engendre de grands problèmes de dégradation de la qualité de cette ressource hydrique, déjà en quantité limitée. Actuellement, les eaux souterraines de la nappe karstique du Saïda se détériorent continuellement en raison des pressions anthropiques qui affectent la nappe en quantité et qualité.

L'objectif principal de ce travail est de déterminer l'état de la qualité des eaux et l'élaboration des cartes de synthèse de l'état de la nappe karstique en se basant essentiellement sur une étude hydrochimique. Les méthodes utilisées à cette fin sont l'analyse en composantes principales (ACP) et l'interpolation des résultats par krigeage

Mots clés : région de Saïda, nappe karstique ,hydrochimique ,ACP, krigeage.

Abstract

Nowadays, the alteration of the environment, especially the aquifer, has become a global concern. In Algeria, groundwater constitutes an important part of the hydraulic heritage of the country because of its accessibility and its relatively easy exploitation. However, population growth and the intensification of industrial and agricultural practices are causing major problems of degradation of the quality of this water resource, which is already in limited quantity. Currently, the groundwater of the Saïda karst aquifer is continuously deteriorating due to anthropogenic pressures that affect the aquifer in quantity and quality.

The main objective of this work is to determine the state of water quality and the development of summary maps of the state of the karstic aquifer based mainly on a hydrochemical study. The methods used for this purpose are Principal Component Analysis (PCA) and Interpolation of results by kriging

Keywords: Saïda region, karstic aquifer, hydrochemical, ACP, kriging.

ملخص

في الوقت الحاضر، أصبح تغيير البيئة، وخاصة طبقة المياه الجوفية، مصدر قلق عالمي. في الجزائر، تشكل المياه الجوفية جزءاً مهماً من التراث المائي للبلاد بسبب سهولة الوصول إليها واستغلالها السهل نسبياً. ومع ذلك، فإن النمو السكاني وتكثيف الممارسات الصناعية والزراعية يتسببان في مشاكل كبيرة تتعلق بتدهور جودة هذا المورد المائي، والذي هو بالفعل بكميات محدودة. في الوقت الحالي، تتدهور المياه الجوفية في المكنم الكارستي لمنطقة سعيدة بشكل مستمر بسبب زيادة النشاط البشري الذي يؤثر على مياه الخزان الجوفي كما ونوعاً. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تحديد حالة جودة المياه و تطوير خرائط موجزة لحالة طبقة المياه الجوفية الكارستية على دراسة كيميائية الطريقة المستخدمة هي تحليل المكونات الرئيسية ACP و الاستيفاء النتائج عن طريق Krigeage

الكلمات المفتاحية: منطقة سعيدة، الخزان الكارستي ، الهيدروكيميائيات ، ACP, krigeage .

Introduction Générale

L'eau est une ressource naturelle stratégique qui est non seulement indispensable à l'entretien de la vie humaine, animale ou végétale, mais aussi d'une importance vitale pour tous les secteurs socio-économiques. Au cours des dernières décennies, les idées de l'approche de la protection et la préservation des ressources hydriques en Algérie ont bien évolué suite aux premières alertes de pénurie en eau.

Les eaux souterraines restent jusqu'à présent les meilleures ressources en eau potable. Elles sont souvent considérées comme des eaux naturellement pures ce qui est une erreur, cependant l'eau destinée à la consommation humaine doit être potable et de bonne qualité hygiénique, c'est l'une des préoccupations majeures de l'hygiène publique.

Au niveau de la wilaya de Saida, une bonne partie de la population utilise les forages et les sources comme un moyen d'approvisionnement en matière d'eau potable. Le but de notre travail est de déterminer la potabilité d'une eau provenant des sources et des forages, à partir d'une série d'analyses physico-chimiques.

Le thème proposé est structuré selon trois chapitres. Au cours du premier chapitre, on présente les principales données que nous avons recueillies et qui concernent le cadre physique de notre région d'étude, les principales caractéristiques climatiques, géologiques et hydrogéologiques de la région d'étude.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons le cadre hydrogéologique de la région et de la nappe karstique de Saïda

En fin le dernier chapitre consiste à l'étude hydrochimique est réservé à l'interprétation et la discussion des résultats obtenus pour chaque échantillon. Ainsi que les outils informatiques utilisés pour le traitement de nos résultats pour connaître la qualité de l'eau et sa conformité aux normes de consommation.

Chapitre I :
Présentation générale de la
région d'étude

1. Situation géographique de bassin versant Oued Saïda :

Le bassin versant de l'Oued Saida (codé 11-11) qui appartient au grand bassin versant de la Macta, présente une superficie¹ de 644 km² pour un périmètre de 164,5 km.

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. 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.1) :

- au Nord, par 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.01 : Localisation de Bassin versant de l'Oued Saida par calage sur image satellite.

2. Situation climatique :

2.1 Le climat :

Comparativement à l'ensemble du pays est caractérisé par un contraste entre le climat méditerranéen au littoral et désertique au sud, la wilaya de Saïda est affectée par des conditions intermédiaires chaudes et sèches en été, froides et pluvieuse en hiver.

Selon la méthode de classification d'Emberger (1955) la zone d'étude est caractérisée par un climat semi-aride.

2.2 La pluviométrie :

Les précipitations sont des données climatiques très variables dans l'espace et dans le temps ; cependant, ces variations observées dépendent du type de climat.

Ce qui caractérise le climat méditerranéen est la grande irrégularité interannuelle des précipitations, appelée parfois infidélité du climat méditerranéen.

Les précipitations sur la région sont très irrégulières, d'après les données pluviométriques mensuelles sur 30 ans d'observation de la période (1984-2013) sont comprises entre 170 et 420 mm. Ces précipitations tombent généralement sous forme de forte averse avec une durée courte. Les données pluviométriques mensuelles dans la période (1984- 2013) ont été procurées au niveau de la station météo Saïda (Rebahia), cette dernière a les coordonnées suivantes :

Tableau N°1 : Caractéristique de la station météorologique de Saïda.

Station	Code	Coordonnées		Latitude	Longitude	Altitude
Saïda	111104	268,4	173,3	34°55'00''Nord	00°09'00''Est	750 m

L'étude des variations inter-mensuelles des précipitations s'avère essentielle, voire déterminante sur l'écoulement fluvial saisonnier et le comportement hydrologique annuel d'un bassin versant. La pluviométrie dans le domaine méditerranéen en général et dans les pays d'Afrique du Nord en particulier, est le paramètre climatique dominant et beaucoup plus variable que la température.

Tableau N°2 : Les précipitations moyennes mensuelles (1984-2013)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	juin	juillet	Aout
Précipitation	24	41	46	35	41	37	40	39	32	11	06	12

D'après le tableau N°02 et la figure N°02, la distribution des pluies mensuelles montre générale que les précipitations maximales sont atteintes au mois de novembre (de 46 mm) alors que les minimales sont observées au mois de juillet (6 mm).

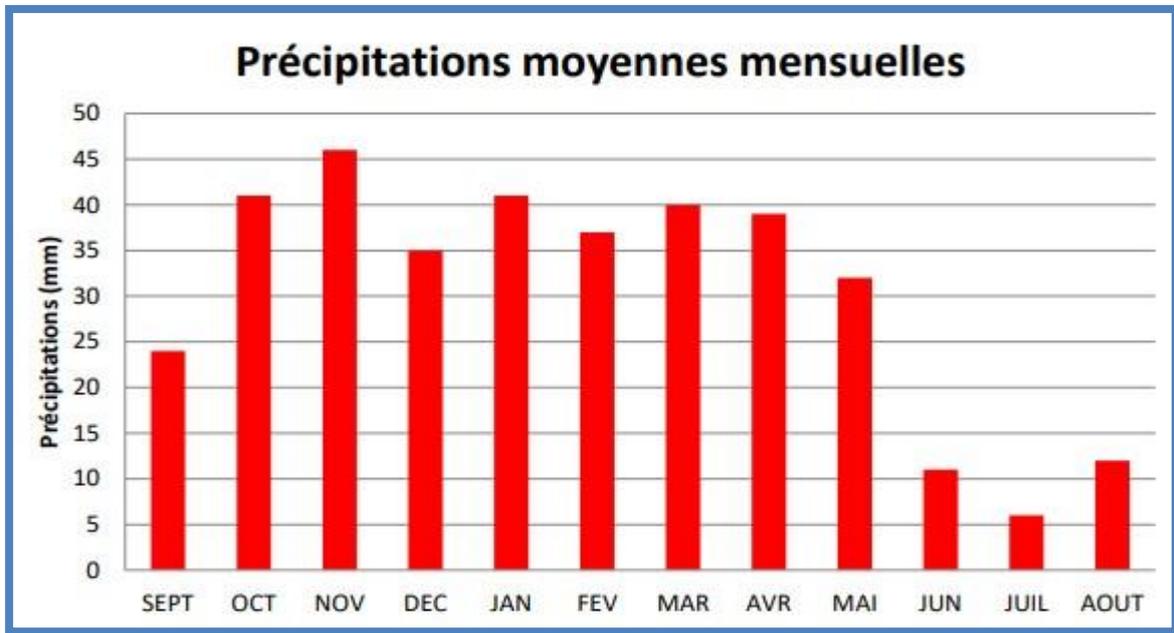


Fig.02 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station Météorologique de Saïda (1984-2013)

2.3 La Température :

La température est un facteur très important, qui conditionne les phénomènes et les paramètres du bilan hydrologique en particulier, l'étude des températures moyennes Déficit d'écoulement des bassins versants.

La température dépend de la position géographique et de l'élévation de ce dernier par rapport à la mer et la nature du sol.

D'après la figure N°03 et le tableau N°03, l'un des points essentiels qu'il faut retenir c'est la division de l'année en deux saisons thermiques :

- La saison chaude de mai à octobre, mais les quels les températures moyenne sont supérieures à la moyenne annuelle qui est de 16,83°C avec un maximum en juillet au aout, qui atteint la valeur de 36°C.
- La saison froide correspond à novembre à avril avec un minimum en janvier de 8,5°C.

Tableau N°03 : Température moyenne mensuelle enregistrée (1984-2013), Météo Saïda.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout
Tmin	15	12	07	04	03	03	05	07	10	15	18	19
OTmax	30	25	18	15	14	15	18	21	26	32	36	36
Tmoy	22,5	18,5	12,5	9,5	8,5	09	11,5	14	18	23,5	27	27,5

- **Tmin** : Température minimale moyenne °C
- **Tmax** : Température maximale moyenne en °C

- **Tmoy** : Température moyenne en °C

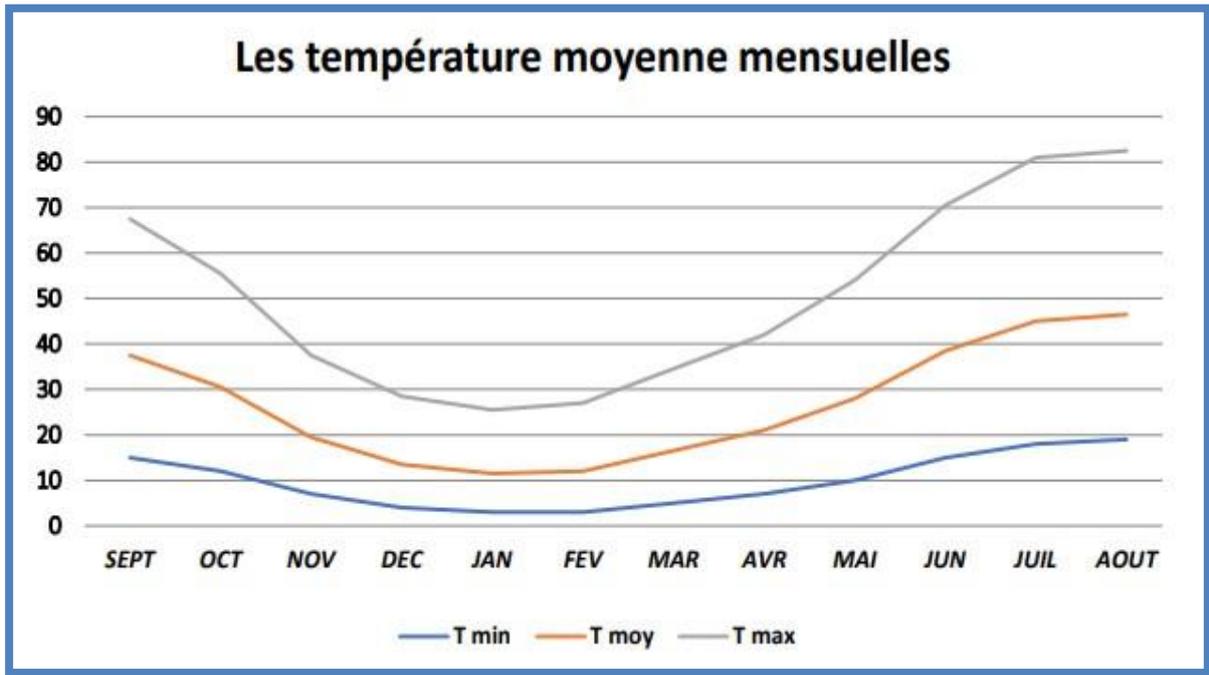


Fig. 03: Réparation des températures moyennes mensuelles maximales Et minimales à la station, Météo Saïda période de (1984-2013).

2.4 Humidité relative :

C'est le rapport de la tension de vapeur réelle (observée) « e » à la tension de vapeur saturante « e_s » à la même température, exprimé en pourcentage (%).

$$\epsilon = \frac{e}{e_s} \cdot 100$$

- e : la tension de vapeur réelle (observe).
- e_s : la tension de vapeur saturante a la même température en pourcentage.

Elle indique que l'état de l'atmosphère est plus ou moins proche de la condensation, l'humidité relative est à l'origine de toutes précipitations en outre elle régit l'évaporation de l'eau sur la végétation, le sol ou les nappes d'eau.

D'après la figure N°04 et le tableau N°04, le totale d'humidité maximale enregistré est de 71% (décembre), le totale d'humidité minimale enregistré est de 32% (avril).

Tableau N°04 : Réparation mensuelle de l'humidité relative –station de Saïda a (1984-2013).

mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	avril	Mai	Juin	juillet	Aout
H(%0)	54	61	67	71	70	67	35	32	58	47	40	41

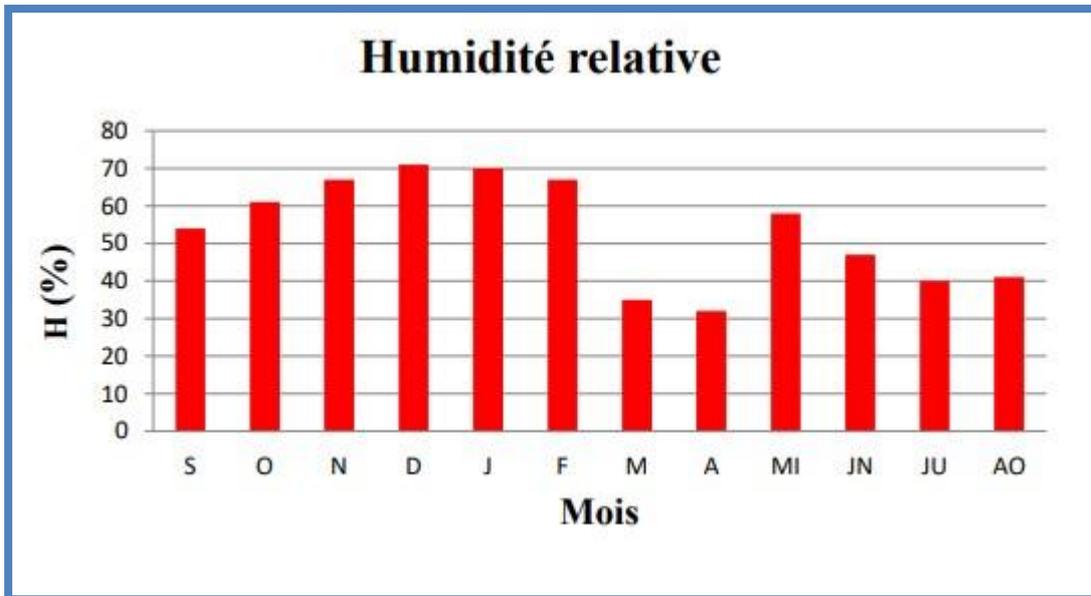


Fig.04 : Répartition mensuelle de l'humidité relative, station de Saïda (1984-2013).

2.5 L'indice d'aridité de Martonne :

L'indice d'aridité de Martonne, cet indice conçu en 1923 pour expliquer et délimiter les dégradations des réseaux hydrographiques, est le rapport de la pluie annuelle (en mm) à la température moyenne (en °C) augmentée de dix :

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

Où :

- **P** : précipitation annuelles, en millimètres
- **T** : Température moyenne annuelles en °C.

Martonne a proposé ainsi la classification des climats en fonctions des climats en fonction des valeurs de cet indice cette classification du climat est donne dans le tableau N°05.

Tableau N°05 : Classification des climats selon la valeur de l'indice d'aridité.

Valeurs de l'indice	Types de climat
0<I<5	Hyper-aride
5<I<10	Aride
10<I<20	Semi-aride
20<I <30	Semi -humide
30<I<15	Humide

Le tableau N°06 montre la température moyenne annuelle, la précipitation moyenne annuelle, et l'indice d'aridité calculés pour la station de Station de Saïda (1984-2013). Nous remarquons à travers les valeurs obtenues de l'indice d'aridité que la région appartient au climat Semi-aride, ce qui est conforme à ce qui est connu pour la zone.

Tableau N°06 : Résultats du calcul de l'indice d'aridité pour la zone d'étude.

	Température °C	Précipitation (mm)	Indice d'aridité(I)	Type du climat
Station Saïda (1984-2013)	16,83	364	13,56	Semi-aride

3. La morphologie du bassin versant de l'oued Saïda :

Le bassin versant de l'oued Saïda (codé 11-11) qui appartient au grand bassin versant de Macta, présente une superficie de 644 km² pour un périmètre de 164,5km. Les affluents du bassin de la Macta (Melrir, Sefioun, Sahouat) prennent naissance au niveau Bouhanifia. Ils forment ensuite l'oued El Hammam qui traverse les basses plaines de Habra- Sig avant de se déverser à la mer (**Fig.5**)

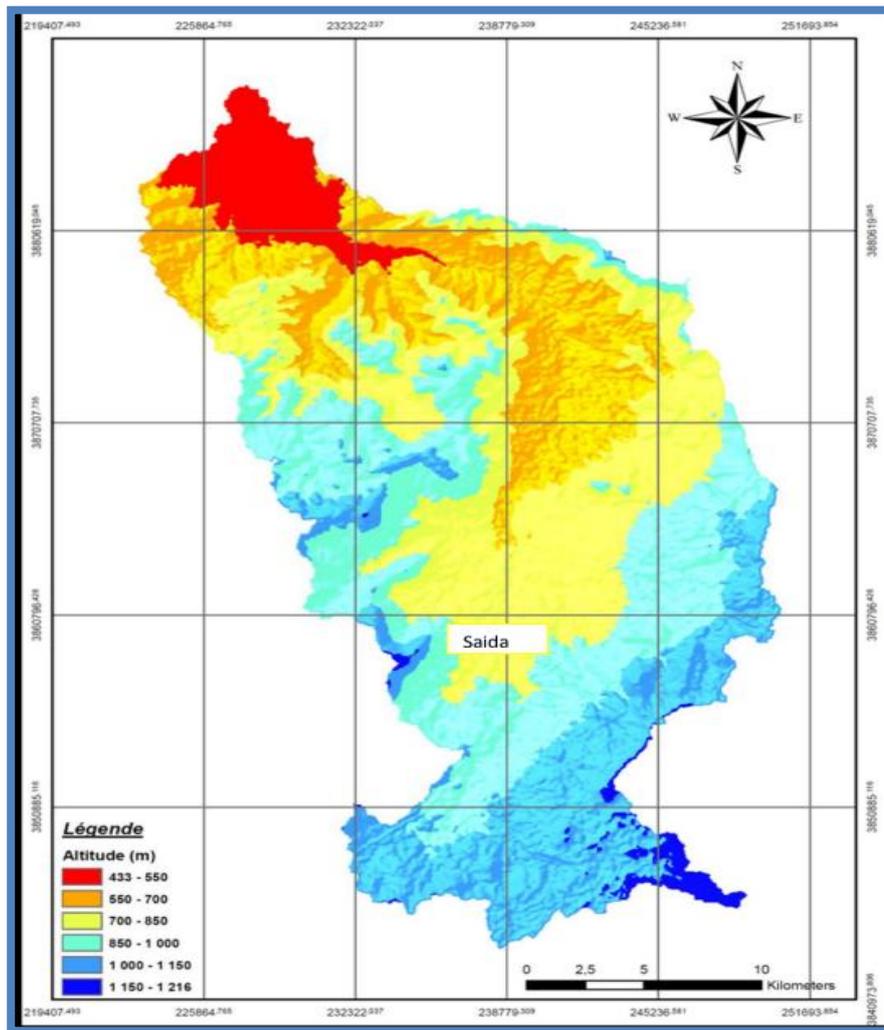


Fig.05 : Modèle numérique du terrain (M.N.T) du bassin versant de l'Oued Saïda (in Dahmani M., 2016).

3.1 Caractéristiques de formes :

Ce sont les caractères purement géométriques des bassins que l'on peut atteindre par le seul concours des relevés topographique. Leurs utilisations ont pour but, la quantification des facteurs caractéristiques du milieu physique d'un bassin versant.

3.1.1 Coefficient de compacité de Gravelius :

La forme du bassin versant a une grande influence sur l'écoulement global et surtout sur l'allure de l'hydrogramme résultant d'une pluie donnée, cette caractéristique est donnée par l'indice de Gravelius (1914) appelé aussi le coefficient de compacité, il est défini par le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface :

$$k_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec :

- **P** : périmètre du bassin versant = 164,5 km.
- **A** : surface du bassin versant = 644km².

On obtient : **KG = 1,81** (KG > 1)

D'après cette valeur de **KG**, on peut dire que notre bassin est de forme allongée, ce qui favorise les faibles débits de pointe de crue, ceci en raison des temps d'acheminement de l'eau vers l'exutoire sur une distance plus importante.

3.1.2 Rectangle équivalent :

Le rectangle équivalent permet de comparer l'influence de la forme sur l'écoulement dans les différents bassins versants. (DAHMANI..2016)

$$L = K_G \frac{\sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_G}\right)^2} \right] \Rightarrow L = 73,33 \text{ km}$$

$$l = K_G \frac{\sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_G}\right)^2} \right] \Rightarrow l = 8,79 \text{ km}$$

Avec :

- **L** : longueur du rectangle (km),
- **l** : largeur du rectangle (km),
- **KG** : Coefficient de Gravelius,
- **A** : aire du bassin versant (km²).

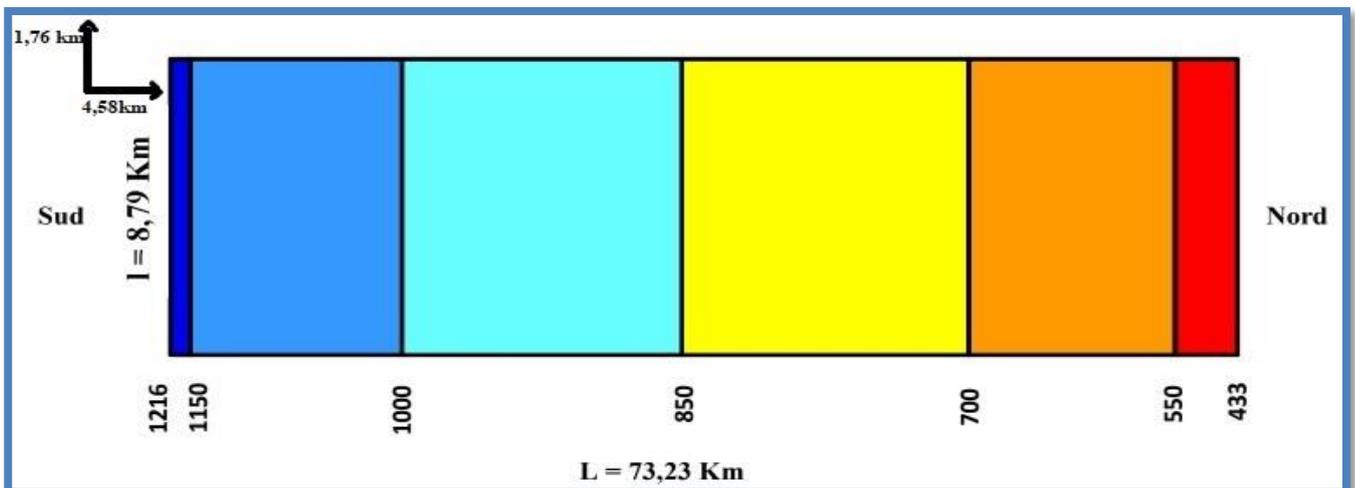


Fig.06 : Rectangle équivalent du bassin versant de l'Oued Saïda. (DAHMANI .2016)

3.2 Réseau hydrographique :

Une forte densité du réseau hydrographique (**fig.7**) qui se justifie par l'existence des pentes plus fortes et une formation superficielles moins perméables, accroissant les grandes exportations des terres qui sont liées aux ruissellements.

Les grandes exportations sont liées aux ruissellements exceptionnels qui sont enregistrés en automne ou les conditions optimales du ruissellement sont réunis (pluies abondantes et relativement intenses, sol nu, croute de battance). Ces ruissellements qui gènèrent beaucoup de griffes et de rigoles surtout les sols argileux sont à l'origine de dégradations spectaculaires qui marquent souvent le paysage pour plusieurs années. Cette présentation des différents facteurs physico-géographiques permet d'émettre les conclusions suivantes:

Les facteurs morphométriques sont très favorables à l'écoulement superficiel, les facteurs lithologiques sont favorables à l'infiltration des eaux, la végétation est favorable au ruissellement et par conséquent à l'érosion et au transport solide(Dahmani M.2016)

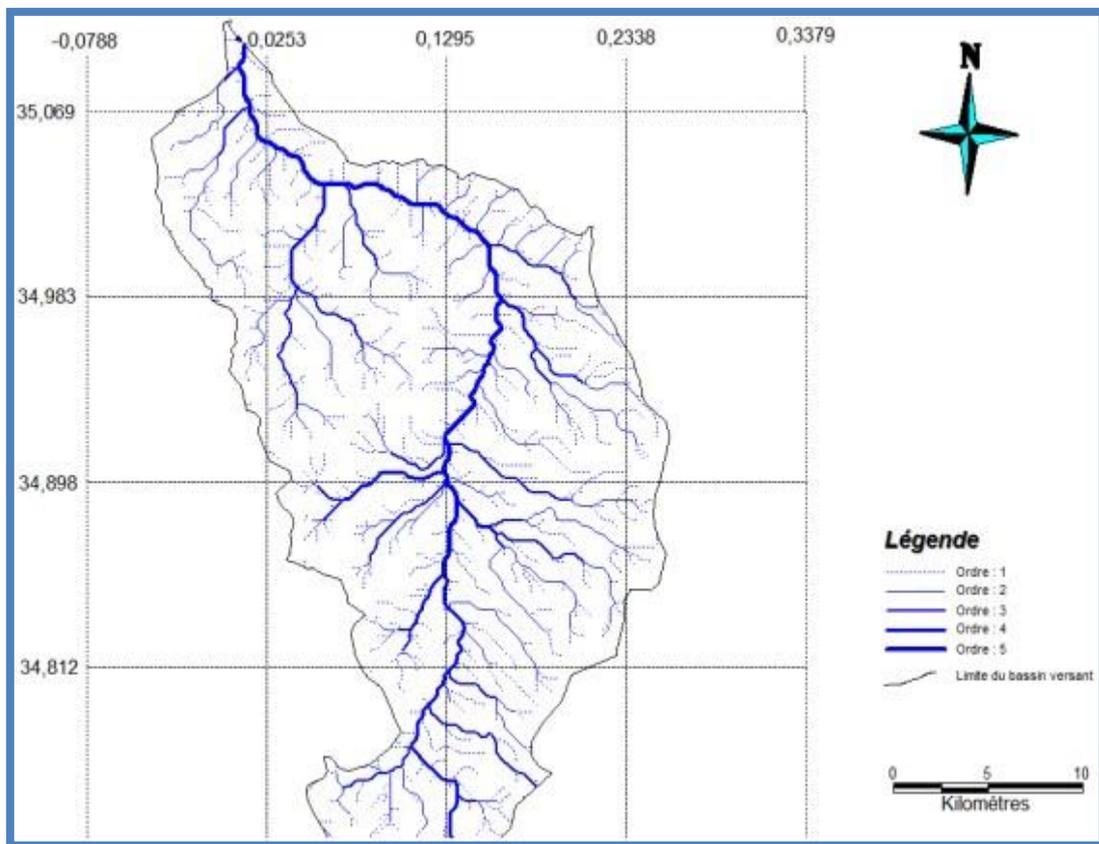


Fig.07 : Réseau hydrographique du sous bassin versant de l'oued de Saïda.

3.2.1 Hiérarchisation du réseau :

La classification topologique du réseau hydrographique (**fig.08**) 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.

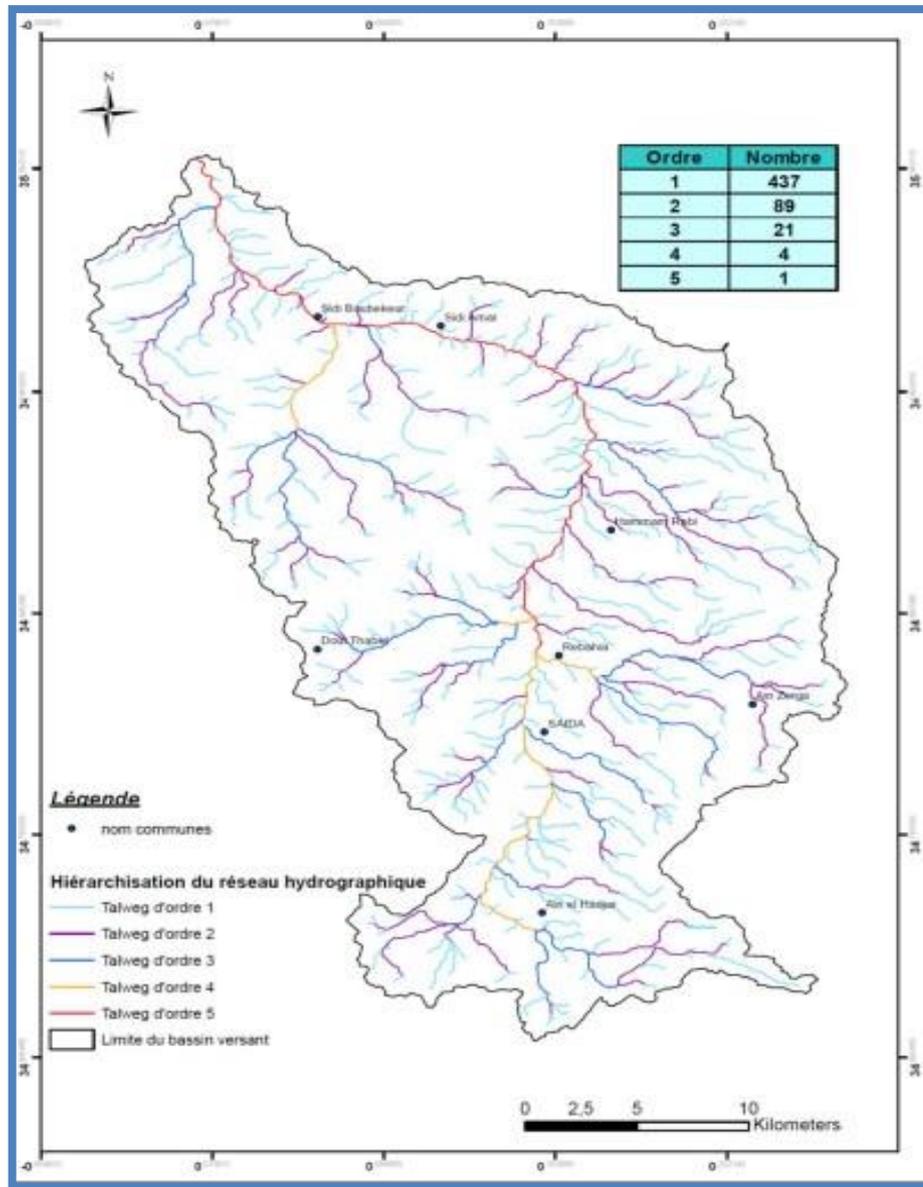


Fig.08 : Classification du chevelu hydrographique du bassin versant de l'Oued Saïda.

3.2.2 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.

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A} \Rightarrow D_d = 1,19 \text{ km/km}^2$$

Avec :

- D_d : Densité de drainage (Km/km^2),

- L_i : Longueur cumulée des thalwegs (Km),
- A : Surface du bassin versant (km^2).

3.2.3 Fréquence des cours d'eau (F) :

Elle est donnée par la formule suivante :

$$F = \frac{\sum N_n}{A} \Rightarrow F = 0.85 km^{-2}$$

Avec :

- N_n : Nombre des cours d'eau (552) ;
- A : la surface (km^2).

3.2.4 Coefficient d'allongement (E) :

Il est donné par la relation suivante :

$$E = \frac{2\sqrt{A/\pi}}{L_0} \text{ et } L_0 = \frac{\sum l}{n}$$

Avec :

- A : Surface totale du bassin versant (km^2),
- L_0 : Longueur axiale du bassin(Km),
- n : Nombre d'ordre supérieur ($n=5$),
- l : Longueur moyenne des thalwegs (Km).

$$\Rightarrow E = 2,67$$

3.2.5 Rapport de confluence (Rc) :

Il est défini comme étant le quotient du nombre de thalwegs d'ordre n par celui des thalwegs d'ordre supérieur ($n + 1$) :

$$Rc = \frac{N_n}{N_{n+1}} \Rightarrow Rc = 4,6$$

Tableau N° 7 : Rapport de confluence.

Ordre	1	2	3	4	5	moyenne
Rc		4,91	4,24	5,25	4	4,6

3.2.6 Rapport de longueur (R_l) :

Il est défini comme le rapport entre la longueur moyenne des thalwegs d'ordre ($n + 1$) par celui des thalwegs d'ordre (n) (Tableau 8).

$$R_l = L_{n+1}/L_n \Rightarrow R_l = 2,84$$

Tableau N°8 : Rapport de longueur

Ordre (n)	Nombre (N_n)	Longueur L_n (km)	Longueur moy (L_n/N_n)	Rapport de longueur (R_l)
1	437	397,88	0,91	2,50
2	89	203,65	2,28	

3	21	96,87	4,61	2,02
4	4	29,20	7,3	1,85
5	1	38,40	38,40	5,26
$\Sigma = 552$		$\Sigma = 766$		Moy = 2,84

$$\Rightarrow R_l = 2,84$$

Détermination de RC et de RL graphiquement :

La détermination graphiquement de RC et de RL se fait en portant l'ordre des cours d'eau en fonction du nombre de cours d'eau et de leurs longueurs moyennes sur un graphique semi-logarithmique. La pente moyenne de la droite, permet de déterminer la raison de la progression géométrique.

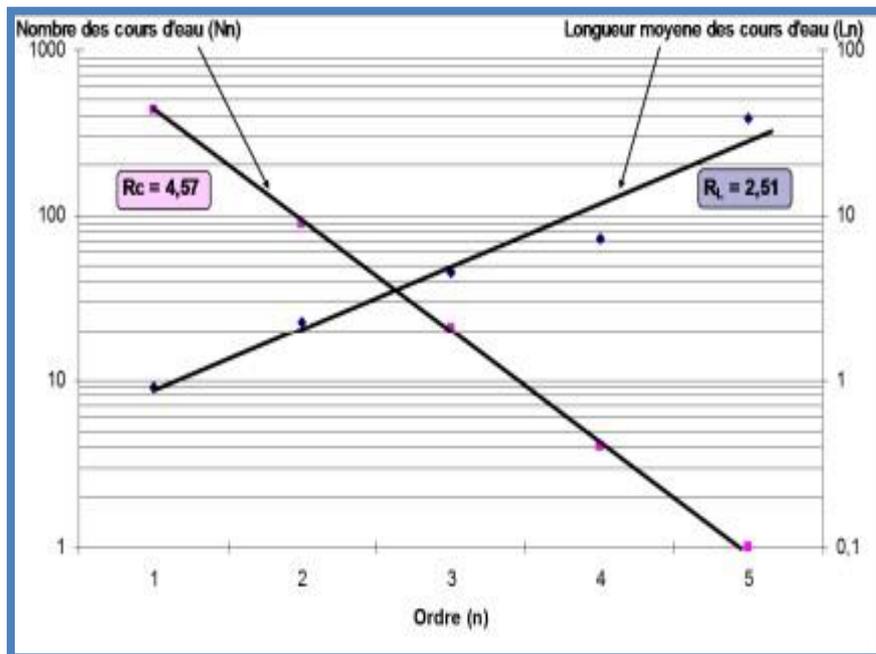


Fig.09 : Droite d'ajustement de RC et de RL

3.2.7 Coefficient de torrentialité :

C'est un coefficient qui tient compte à la fois de la densité de drainage et celle des thalwegs élémentaires d'ordre 1 :

$$CT = F_1 \times D_d \Rightarrow CT = 0,81$$

Avec :

- D_d : Densité de drainage ;
- F_1 : La fréquence des thalwegs d'ordre 1 ($F_1 = N_1/A = 437/644 = 0,68$)

Ce paramètre permet l'estimation de la grandeur de l'énergie érosive du cours d'eau.

3.2.8 Temps de concentration :

C'est le temps que met la particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée pour arriver à l'exutoire, il se calcule par la formule de GIONDOTTI.

$$Tc = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{H_{moy} + H_{min}}} \Rightarrow TC = 12,35 \text{ heure}$$

Avec :

- Tc : temps de concentration (heure),
- A : superficie du bassin (km^2),
- L : longueur du talweg principal (km),
- H_{moy} : Altitude moyenne (m),
- H_{min} : Altitude minimale (m).

4. Géologie :

4.1 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 Saïda, les Monts de Frenda et les Monts du Djebel Nador. Dans toute cette zone, le substratum secondaire profondément enfoui sous la dépression des Chotts, se relève progressivement avant de disparaître de nouveau, brusquement cette fois au Nord, contre l'Atlas Tellien.

4.2 Stratigraphie :

Le plateau de Saida–Oum Djerane qui fait partie des Monts Saïda, est constitué essentiellement de terrains jurassiques. Quelques terrains primaires ainsi que des terrains éruptifs qui apparaissent seulement dans la région de Tiffrit–Balloul. Enfin, dans les dépressions ainsi que les vallées et lits d'Oueds, on trouve des terrains d'origine continentale (fluviales et éoliens) d'âge tertiaire souvent indifférencié : Mio-Pliocène 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.

- **Primaire :**

Il est constitué essentiellement de schistes et quartzites et affleure dans les vallées de l'oued Tiffrit, Sidi Mimoun et ses affluents, dans la vallée d'Oued Guernida ainsi que dans la région du Djebel Modzbab à proximité des « Eaux Chaudes ». Cet ensemble ancien (Silurien), très plissé, affleure dans la vallée de l'Oued Tiffrit et les vallées affluentes. Il dépasse certainement 100 m d'épaisseur et l'on ne connaît pas son substratum c'est à l'intérieur de cet ensemble que l'on peut noter la présence d'intrusions granitiques, ainsi que des coulées de laves basaltiques. Les schistes et quartzites de Tiffrit constituent un substratum imperméable.

- **Secondaire :**

Le Trias II repose en discordance sur les terrains primaires et affleure en constituant une frange qui suit le bord sinueux des vallées creusées dans les terrains paléozoïque. L'ensemble de Trias est formé de trois membres :

1. Membre inférieur (faciès carbonaté).
2. Membre basaltique (supérieur).
3. Membre supérieur.

Dont deux sont sédimentaire et le troisième qui est le plus important est basaltique, les formations à gypse sont relativement peu important est basaltique, les formations à gypse sont relativement peu importantes, l'ensemble de nature volcano détritique est imperméable et a une épaisseur d'environ 100 m.

- **Le Jurassique :**

La couverture jurassique peut être subdivisée en un certain membre de formation agencée au sein des trois grands groupes sédimentaires superposés bien distincts.

1. Membre carbonaté inférieur constitué du jurassique inférieur et moyen dolomitique.
2. Membre détritique intermédiaire constitué du Callovo-Oxfordien gréseux et du lusitanien.
3. Membre carbonaté supérieur constitué du kimméridgien dolomitique.

4. 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 :

- ✚ La formation carbonatée de Bouloual (Hétangien - Plienbachien).
- ✚ La formation des marnes d'Es Safeh (Toarcien).
- ✚ La formation carbonatée d'Ain Dez (Aaléno- Bajocien).
- ✚ La formation des argiles bigarrées de Sidi Youssef (Bajocien).
- ✚ La formation carbonatée de Zerzour (Bathonien).
- ✚ La formation des marnes de Modebab (Bajo-Bathonien).

L'épaisseur de cet ensemble est très variable. Elle atteint 400 m(G.pitaud.1973) au sud de la région pour s'annuler vers le Nord au contact du Trias.

Callovo-Oxfordien et Lusitanien : Cette formation est constituée 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 non plus ou moins isolés sur le plateau et les flancs des vallées. Son épaisseur totale est de 250 m environ. Le Lusitanien est représenté par les « Grés de Franchetti » qui dominent les vallées au Nord de Guernida et Sidi Mimoun et sur le flanc Ouest de la vallée de l'Oued Saida jusqu'à la latitude de cette ville. Cette formation est perméable.

Le Kimméridgien : Il est très peu représenté dans la région et constitué par les « Dolomies de Tlemcen » qui dominent toutes les autres formations, seulement au Nord Ouest où cette formation, comme le Lusitanien, est complètement drainée.

Le Plio-Quaternaire : Ces sédiments apparaît par faibles épaisseurs dans les creux des vallées et dans les dépressions du plateau. Ils sont constitués de conglomérats, d'argiles, de limons de croûtes calcaires.

Des massifs de travertins apparaissent au bord de certaines falaises dolomitiques (Tiffrit, Saida) et constituent des témoins produits par l'ancien ruissellement superficiel sur les terrains carbonatés avant la karstification. L'ensemble de ces formations est argileux et vraisemblablement peu

perméable. Cette stratigraphie est reconstituée par les coupes géologiques construites, sur la base de tous les renseignements apportés par la géologie de surface, la géophysique et les forages.

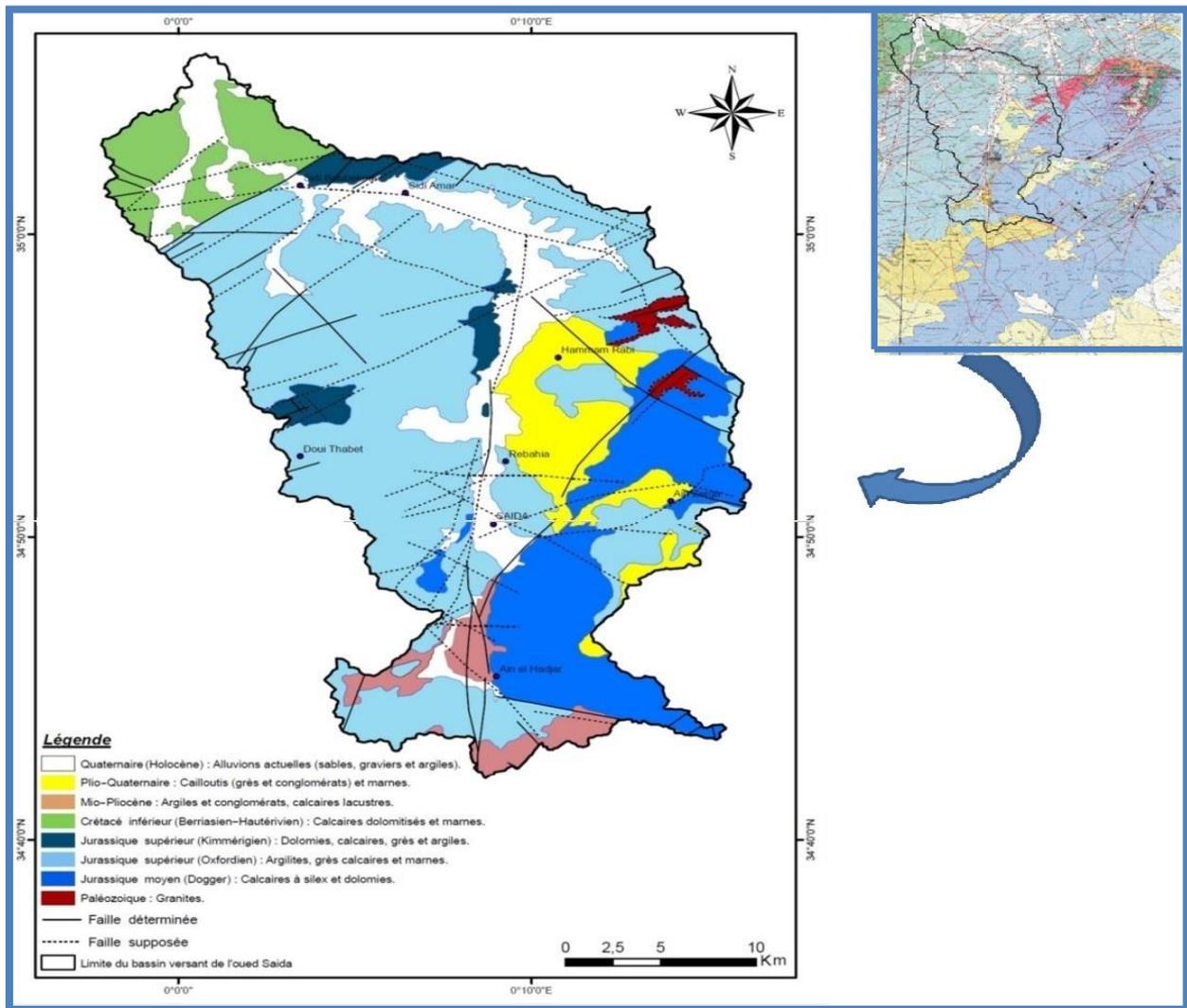


Fig.10: Carte Géologique du bassin versant de l'oued Saïda (d'après la carte géologique de l'Algérie au 1/200 000 établie par l'ANRH, 2008).

La litho-stratigraphie de la région de Saïda se présente comme le montre la figure N°11.

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 Raouraï, 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 Saïda: (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.11 : Coupe lithostratigraphique de la région de Saïda (D'après Clair, 1952 et Pitaud, 1973).

Chapitre II :
Cadre hydrogéologique de la
région et de la nappe karstique
de Saïda

1. Contexte hydrogéologique :

1.1 Réservoirs potentiels :

Huit réservoirs ont été mis en évidence, se présentant le plus souvent soit en formation litho stratigraphique homogène (les grès du lusitanien) ou s'intercalent dans une formation à lithologie différente (les bancs gréseux du callovo-oxfordien). Mis à part le nord ouest ou la nature des réservoirs est gréseuse, ailleurs, ce sont les réservoirs karstiques du bajo-bathonien et du sénonien qui offrent des débits importants. Ils sont généralement artésiens.

Les nappes du bajo-bathonien et du jurassique inférieur sont à l'origine de plusieurs résurgences dont les plus importantes sont : Ain El Hadjar, Ain Bent Soltane, Ain Hallouf, Ain Zerga, poirier, Balloul et Tiffrit.

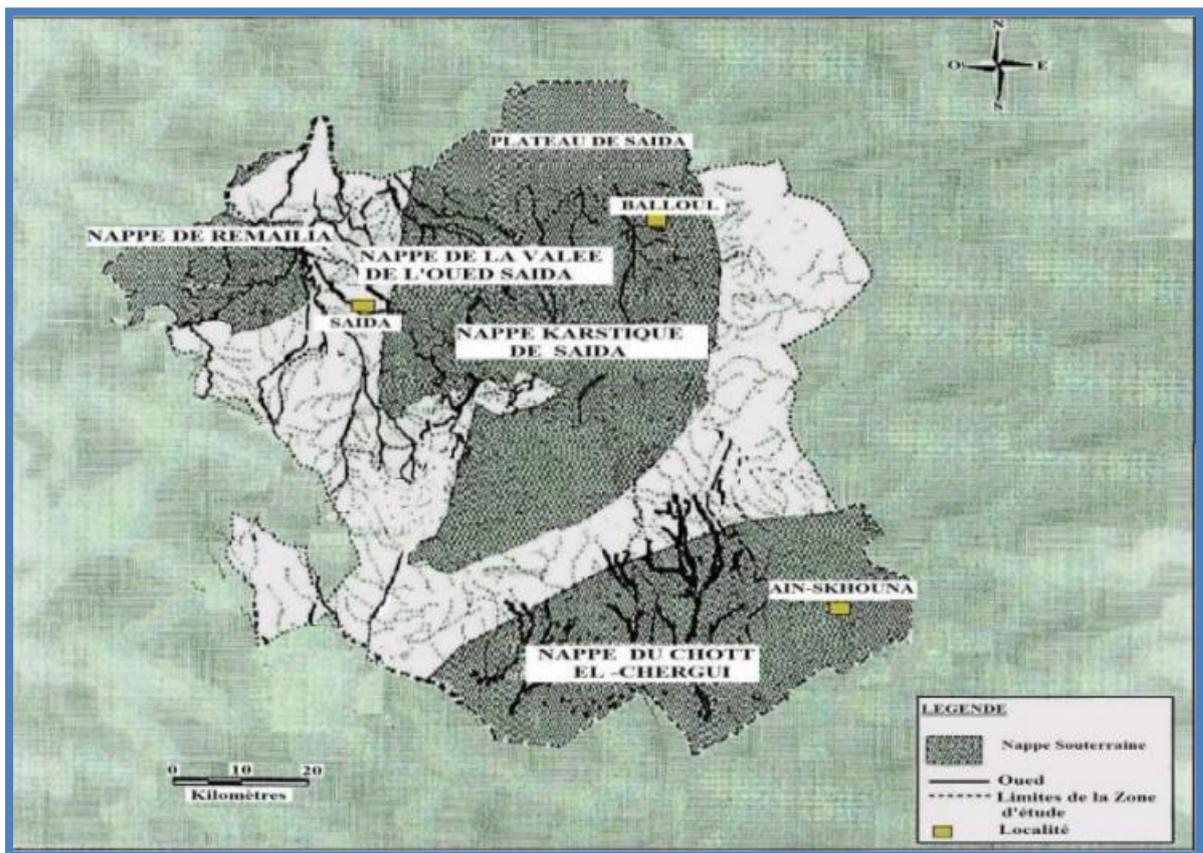


Fig.12: Répartition des nappes aquifères dans la wilaya de Saida
(A.B.H, Oran).

1.2 Description des aquifères :

1.2.1 Aquifère du Jurassique inférieur :

Le réservoir est dolomitique et est très perméable. Le substratum schisteux, sub horizontal, constitue l'assise d'une nappe importante qui alimente de nombreuses sources telle Ain Tiffrit qui dessert les centres d'Oum Djrane et Djida. Une partie de l'eau qui s'infiltré à travers les fissures réapparaît à Hammam Rabi. Le toit est constitué par les marnes d'Essafaah du toarcien (Abbas Y .2016).

a. 1. Aquifère du sénonien :

2.2 Aquifère du Bajo- Bathonien :

Il est karstique et constituait le réservoir essentiel pour l'A.E.P de la ville de Saïda. Cet aquifère qui est libre dans les régions où les dolomies et calcaires affleurent (plateau d'Oum Djrane et de Tridentine, à l'est de la ville) devient captif lorsqu'il est surmonté par le callovo oxfordien, argilo-gréseux, qui constitue le toit.

Le mur est représenté par les marna-calcaires du toarcien qui constitue l'assise d'une nappe importante donnant naissance à de nombreuses résurgences.

1.2.3 Aquifère du Callovo-Oxfordien :

Les bancs de grès sont peu aquifères. Les débits mobilisés n'excèdent pas 21/s. Seuls les bancs en contact avec le bajo-bathonien, dans la zone faillée, offrent des débits intéressants.

1.2.4 Aquifère du Lusitanien :

Il est représenté par des grès qui sont peu aquifères. La nappe est libre, le mur est constitué par les argiles de Saïda, du callovo-oxfordien.

1.2.5 Aquifère du kimméridgiens :

Le réservoir est dolomitique. On le retrouve à Sidi Boubekeur.

1.2.6 Aquifères du Crétacé :

b. Aquifère du barrémien :

Le réservoir est gréseux. Tous les forages qui y ont été réalisés ont offert des débits excédant 301/s (au Nord-Ouest de la ville de Saïda).

Le réservoir est calcaire. On le retrouve en trois lambeaux :

- Au niveau d'Ain Skhoua, le lambeau le plus important est capté par forage sur une puissance de 100m. il est alimenté par l'aquifère aéléo-bathonien.
- Au niveau de la bande étroite longeant l'axe des Guernatis cheraga, il est stérile.
- Il affleure au Nord-Est dans le prolongement de Rejm El Halfa. Il renferme des réserves saisonnières.

1.2.7 Aquifères du tertiaire et du Plio-quaternaire :

A. Aquifère du tertiaire continental :

La tertiaire continental couvre la partie médiane du chott chergui, on retrouve :

- Le niveau grossier de base : il constitue un aquifère important dans la zone d'Ain Skhoua. Il est parfois difficile de le distinguer de la partie supérieure très altérée des calcaires sénoniens.
- Les calcaires lacustres : ils sont parfois très altérés et perméables. Ils sont le plus souvent lenticulaires et ne communiquent que difficilement entre eux. Ils affleurent au dessus de la carapace calcaire recouvrant le tertiaire continental et alimentant en leurs points bas des résurgences telles que la source Ain Souaane.
- Les niveaux sableux ou conglomératique : ils sont intercalés dans les argiles de remplissage tertiaire. Ils peuvent être très perméables s'ils ne sont pas isolés dans les argiles ou colmatés par un ciment marneux.
- La carapace calcaire : elle recouvre sur presque toute sa surface le remplissage tertiaire, sauf dans la partie centrale de la dépression. Sa surface est recouverte de petites daïas.

B. Aquifère du Plio-quaternaire :

Les atterrissements du tertiaire et du quaternaire qui comblent les dépressions, bien que d'origine très diverses, forment une seule unité hydrogéologique et alimentent souvent par leur impluvium propre des nappes importantes, mais drainent en outre parfois les eaux des massifs qui les bordent.

2. La nappe karstique :

La nappe karstique de Saida contenue dans les sédiments carbonatés du jurassique inférieur et moyen. Ce réservoir karstique, constitué souvent de dolomies, renferme un potentiel en eau de l'ordre de 38,50 à 50 hm^3 /an couvrant une superficie de 1253 km^2 . La nappe karstique est libre, alors que dans les compartiments effondrés de la vallée de Saïda, elle est captive.

Cette nappe karstique étudiée est localisée dans les formations Calcaro-Dolomitiques du Bajocien-Bathonien du secondaire dont l'épaisseur totale atteint 150 m. Le substratum imperméable est représenté par les marnes, les argiles et les calcaires du Toarcien.

La zone d'alimentation est constituée par le plateau des Hassasnas à l'Est et le causse de Tidernatine au Sud –Est, elle est compartimentée, le compartiment le plus important en termes de débits est celui correspondant au fossé d'effondrement de Saïda. La nappe en général est en surcharge mais elle comporte une partie libre là où les dolomies affleurent. (Djidi K .2015)

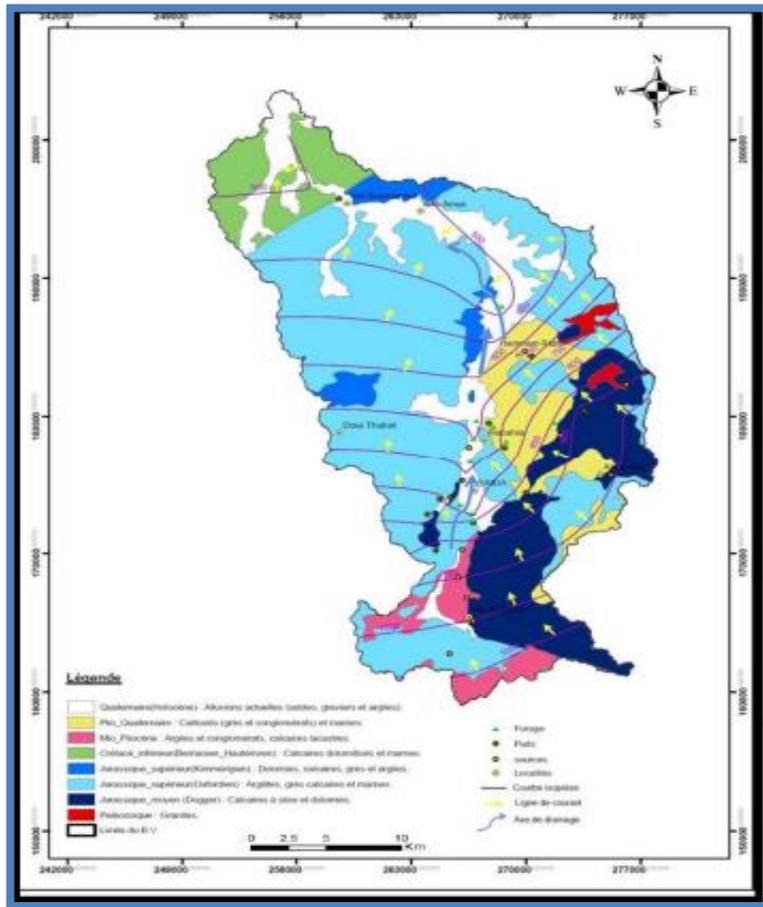


Fig.13 : Carte piézométrique de la zone d'étude (Campagne Mars, 2001)

Plusieurs sources drainent cette nappe. Les plus importantes sont :

- Ain - Zerga qui est une source de trop-plein dont le débit d'été dans les années 1950 et même 1970 avoisinait les 100 l/s et plus ; actuellement il est de 45-50 l/s,
- Ain- Bent Soltane (**fig.14**) dont le débit était de 40 l/s actuellement il est à 18 l/s,
- la source du Poirier 120 l/s nous ne disposons pas du débit actuel, mais celui-ci a certainement diminué.



Fig.14: Source Ain Bent Soltane, (Saïda).

Cette aquifère comporte une partie libre sur le Plateau au nord-est, et une partie captive dans la région de la vallée de l'oued Saida sous les terrains plus récents du Collovo-Oxfordien et du Plio-Quaternaire. Le jeu combiné des failles à rejet et de la puissance de l'aquifère peut avoir un rôle important.

C'est la nappe la plus importante, dont les ressources en eau sont vraiment intéressantes pour l'alimentation des agglomérations, de l'industrie, ainsi que pour l'agriculture.

Cette nappe fait l'objet de la présente étude.

2.1 Phénomène de fissuration et de karstification :

De nombreuses campagnes de mesure et d'observations des fissurations dans les affleurements des dolomies et des calcaires des formations de Bouloual et de Nador ont montré une fissuration très intensive de 60-70 à 250-300 fissures par m^2 (Medjber et Berkan,2016).

2.1.1 La fissuration :

Cette fissuration accompagnée de l'activité géologique des eaux souterraines a conduit à l'apparition du phénomène caractéristique des Monts de Saïda : la karstification des calcaires et des dolomies qui se présente souvent sous forme de chenaux, cavernes...

Ce qui cause d'énormes pertes d'eau dans certains endroits tel que celui de Ghar Amira.

2.1.2 La karstification :

La karstification est un processus dynamique en perpétuelle évolution, conditionné par deux facteurs:

- le potentiel de karstification il est fixé par des paramètres climatiques (quantité d'eau et de CO₂ disponible), par la géométrie externe du massif (différence de charge hydraulique entre les points hauts et le niveau de base) et par la structure géologique du massif carbonaté.
- l'état du massif: structure interne (fracturation, porosité, lithologie) et son degré de karstification.

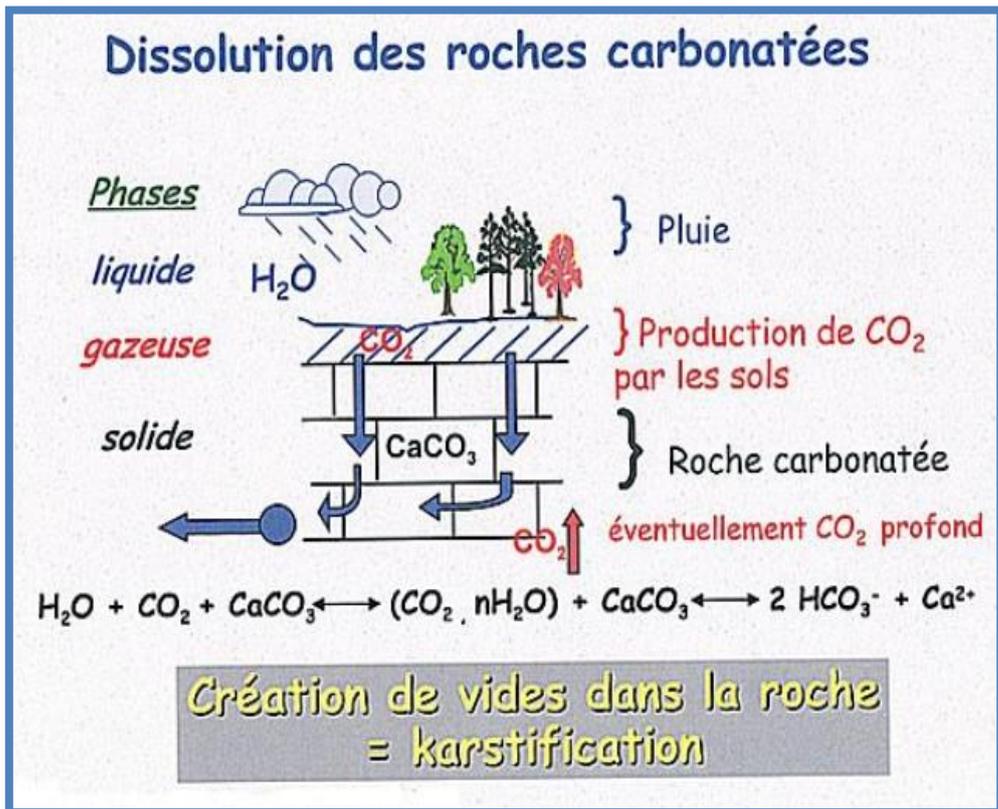


Fig.15 : Processus de karstification (Bakalowicz, 2002).

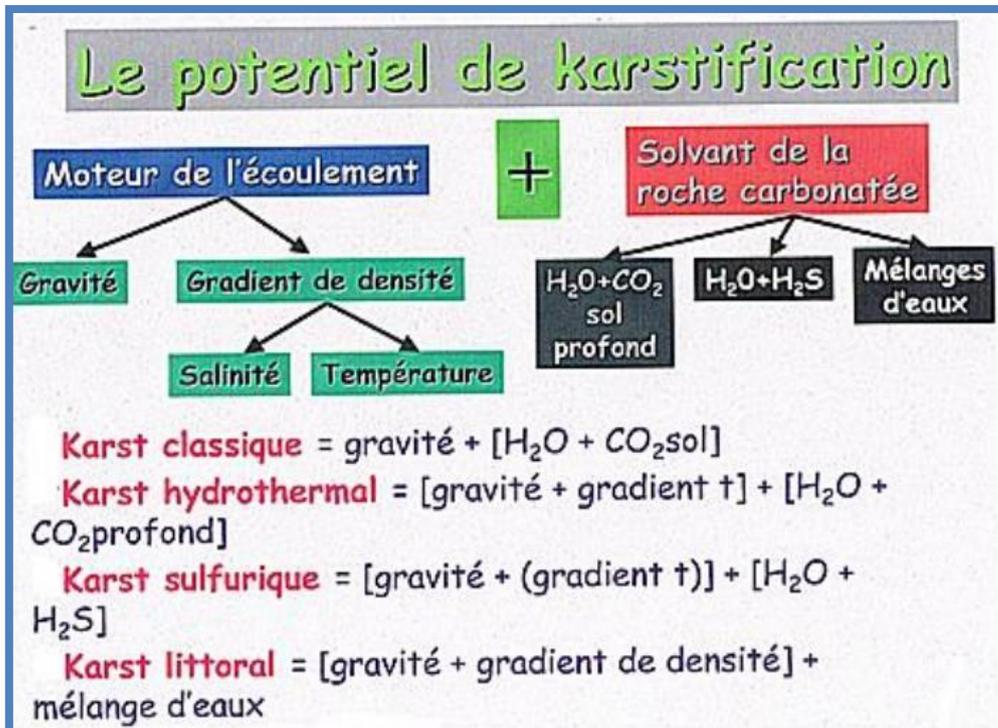


Fig.16 : Potentiel de karstification (Bakalowicz, 2002).

2.2 Les sources :

La vidange de la nappe karstique se réalise exclusivement par les sources. Deux zones de décharge se distinguent :

- Zone Ouest drainant le bassin hydrogéologique de Saïda.

- Zone Nord drainant les trois autres bassins hydrogéologiques de Tiffrit, d'Ain Soltane et de Balloul d'après Boudjemaïa (2006).

Outre les sources se trouvant dans les zones citées, il existe encore des lignes de décharge diffuses (suintement) dont le débit est mesurable uniquement à la base des jaugeages différentiels sur le tronçon correspondant. Dans le tableau 2 nous présentons la liste des sources karstiques de la région.

Tableau N°09 : Liste des sources karstiques au niveau de la région.

BASSIN HYDROGEOLOGIQUE	SOURCES
Bassin Hydrogéologique de Saïda	Ain -Zerga, Source de Poirier, Ain - Moussouluf, Ain -Ben Soltane, Source Ronde, Ain -Fakhroun, Source Tiède, Source de la Tranchée, Ain -Hadjar, Ain Tagourarelt, Ain -Tameshoum, Ain -beida, Ain- Said Fatah, Ain -Touta, Ain -Es Srrirat, Ain -Mathnia, Ain Messaoud, Ain -Karma, Ain - Fakroun et autres petites sources (noms inconnus)
Bassin Hydrogéologique de Tiffrit	Tiffrit, Toufout, autres petites sources (noms inconnus).
Bassin Hydrogéologique du Plateau d'Ain -Soltane	Ain -Yahia, Ain -Sultane, Ain- M'Nir, Ain - Fertas, AinKerma et petites sources voisines, Station Sidi Yahia.
Bassin Hydrogéologique du Plateau d'Ain Balloul	Ain- Bou Amar, Ain- Balloul, Ain- Seridj, Ain Souig, Ain- Ras Guersif, Ain -Mizraf, Ain- Tefaha, Ain El - Hadjel et d'autres sources et suintements.

La plupart de ces sources ont un débit moyen compris entre 1 à 10 l/s. cependant, il existe quelques unes dont le débit est très important telles que les sources de Ain - El Zerga, Ain -Soltane, Source du Poirier, Ain - Fakroun et Ain - Tiffrit.

2.3 Forages et puits :

Pour les prélèvements de ses ressources en eau souterraines locales, la région de Saïda est passée de 675 points d'eau exploités en 2003 à 1166 points d'eau en 2004 comprenant : 67 forages et 3 sources pour l'alimentation en eau potable, 455 forages, 343 puits et 301 points de prélèvements pour l'irrigation (Source Direction des ressources en eau de Saïda).

L'Aquifère du Bajocien-Bathonien est karstique et constituait le réservoir essentiel pour l'alimentation en eau potable de la ville de Saïda. Cet aquifère qui est libre dans les régions où les dolomies et calcaires affleurent (plateau d'Oum- Djerane et Tidernatine, à l'Est de la ville) devient captif lorsqu'il est surmonté par le Collovo-Oxfordien, argilo-gréseux, qui constitue le toit de cette nappe.

Parmi les forages existants, il n'y a que 30 forages en exploitation permanente pour notre période d'étude.

Tableau N°10 : Valeurs des débits d'exploitation des forages de la nappe karstique.

N°	Nom du forage	Débit d'exploitation (l/s)	Date de réalisation	Utilisation des Eaux AEP/IND./IRR
1	F.48	10	1968	IND
2	Benadouane	5	1983	AEP
3	F.27	37	1972	AEP/IND
4	F.62	52	1972	AEP/IND
5	F.4	26	1973	AEP
6	Tamesna 1	4	1964	AEP
7	Oued Chikh (SidiGacem)	12	1971	AEP
8	Tagouraya	3	1989	AEP
9	SNMC	5	1980	IND
10	F. 112	2	1975	AEP
11	Benaouali I (SidiGhiat)	11	1968	AEP
12	Lakraa	12	1967	AEP
13	I.T.G.C.	24	1993	AEP
14	F1. Ain-El-Hadjjar	25	1980	AEP/IND
15	C.S.D.	10	1980	IND
16	Sidi Khalfallah	3	1988	AEP
17	Morghad	15	1969	AEP
18	Timetlas	10	1991	AEP
19	El-kefia	2	1969	AEP
20	Ferme Aissani	4	1985	AEP/IRR
21	F63	10	1970	AEP
22	Oum - Doude	12	1987	AEP
23	Oued Falette	12	1988	AEP

24	Ouled Djelloul	5	1990	AEP
25	Khourichfa 1	5	1984	AEP
26	Aioun- Branis 1	4	1985	AEP
27	Bouamar	11	1985	AEP
28	Touahria	5	1986	AEP
29	Taourouit	8	1993	AEP
30	Ain- Soltane 1	3	1995	AEP
Total débits		347		

Source : Direction des ressources en eaux de Saïda. (AEP: Alimentation en eau potable ; IND : Industrielle ; IRR : Irrigation)

Comme les forages sont mis en exploitation en des dates différentes, le calcul de la moyenne des débits d'exploitation s'impose. Cette moyenne sur la période 1975 -2000 est égale à 279 l/s.

Chapitre III :
Etude hydro chimique.

1. Hydro- chimie :

L'hydrochimie étudie les processus chimiques qui affectent la distribution et la circulation des composés chimiques des eaux. Pour cela l'hydrochimie se sert essentiellement de la chimie (thermodynamique), acides-bases, précipitations-dissolutions, oxydation réduction, interactions entre différentes phases, etc.

L'étude hydro chimique des eaux souterraines implique la collecte et l'analyse de données sur la qualité de l'eau à partir de puits et de sources souterraines, les paramètres mesurés comprennent les niveaux de pH, la conductivité électrique, les concentrations en ions majeurs tels que le sodium, le calcium, le magnésium et le chlorure, ainsi que les concentrations en métaux lourds et en polluants organiques.

2. L'inventaire des points d'eau :

Pour mieux étudier les eaux de la nappe karstique de Saida, on a tracé un plan des mesures des points d'eaux de la zone d'étude. Dont la dispersion des points de prélèvement est prise en considération pour couvrir au maximum la région. Ce plan a pour but d'étudier la variation des éléments chimiques. Dans notre travail, on a choisi onze (11) forages et deux sources (Poiret et Ain Zerga) (figure N°17). Dont les échantillons ont été prélevés dans la période des hautes eaux (mai 2022).

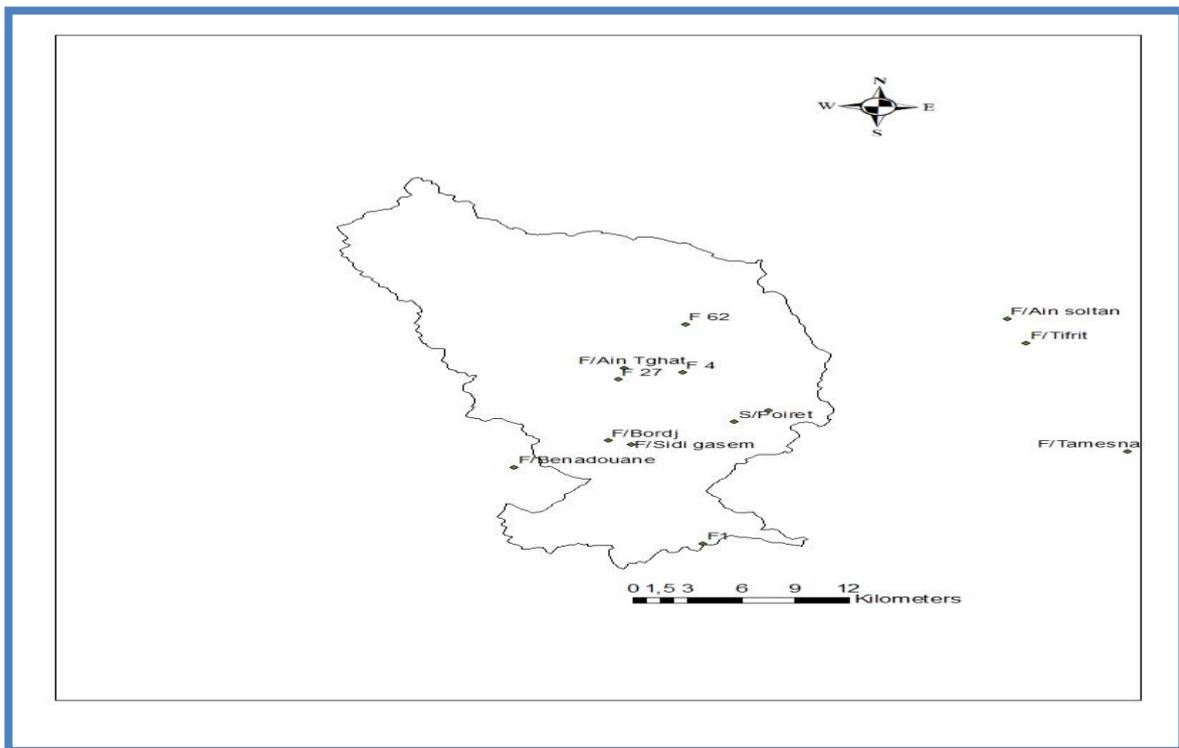


Fig.17 : carte d'inventaire des points de prélèvements.

3. Le protocole expérimental :

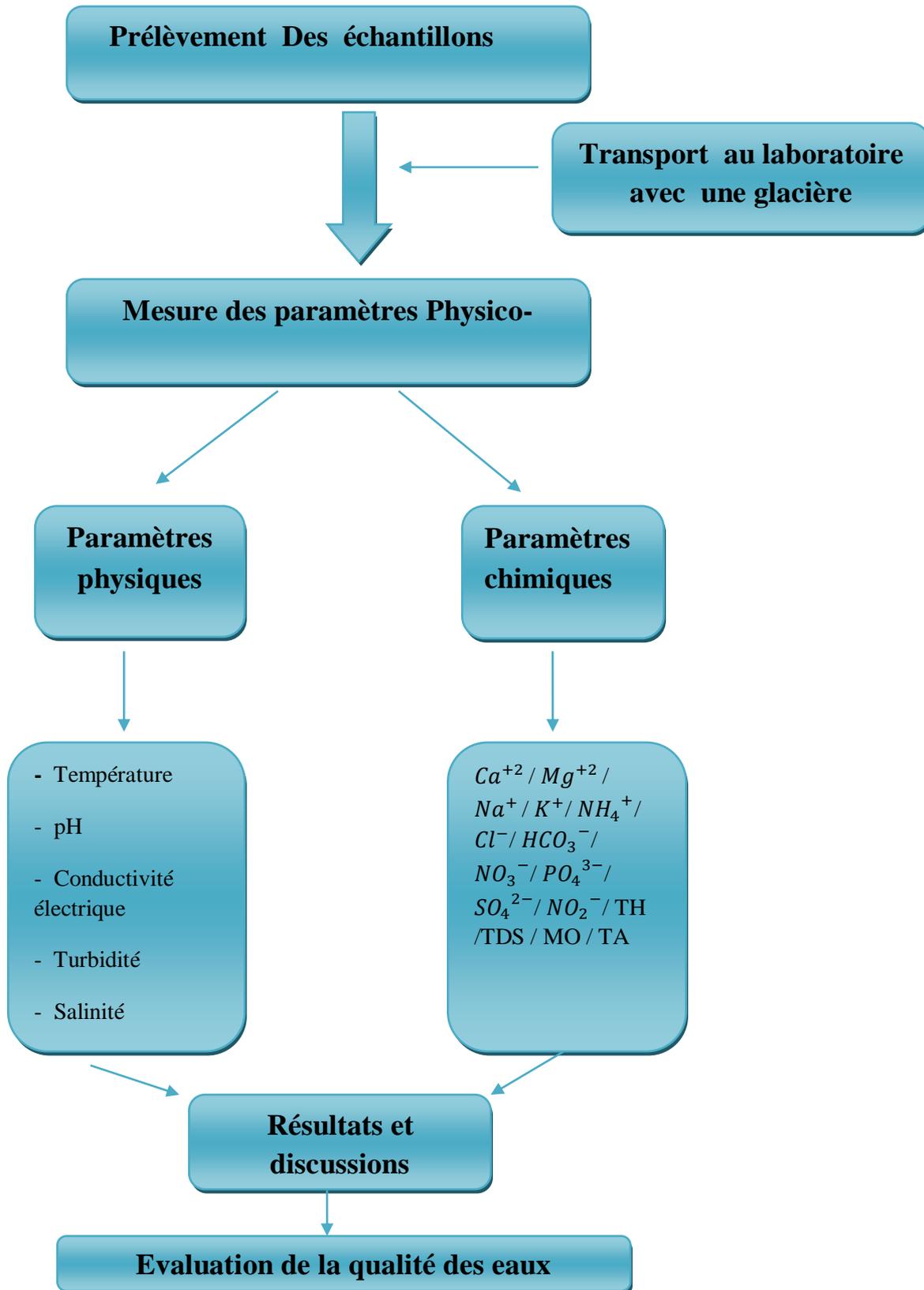


Fig.18: Schéma du protocole expérimental.

4. Résultats et discussion :

Tableau N°11 : Résultats des analyses physico-chimiques des forages et sources de la zone étudiée.

Les noms des forages et sources	X	Y	Z	pH	Cond	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃
F/Ain soltane	281,7	188,1	988	7,16	802	54,11	59,18	16,09	1,564	352,1	48,57	61	32,86
F 27	266,8	179,4	747	7,02	2235	175,4	67,45	202,3	10,95	327,7	312,7	464,9	12,4
F 62	267	179,4	727	7,17	897	41,88	81,3	18,39	1,173	389,3	48,57	87,89	30,38
F 4	267,6	180	750	7,21	961	63,33	61,37	45,98 8	2,346	389,3	76,22	79,25	13,64
F/Sidi gasem	277,8	166,9	1140	7,38	643	64,12	46,17	41	3	359,9	40,41	41,5	13,73
F/Tamesna	294,8	174,8	1100	7,1	806	58,32	66,23	11,49	1,173	389,3	34,74	48,99	34,72
F/Tiffrit	290,8	182,6		7,07	962	75,35	61,37	27,59	1,955	396	69,49	89,81	28,52
F/Bordj	266,7	172,8	813	7,14	806	79,36	44,36	13,79	1,955	286,8	48,57	92,7	44,64
F/Benadouane	262,3	168,6	945	7,08	784	79,36	44,36	13,79	2,346	355,1	41,48	64,84	21,7
F/Ain Tghat	266,6	181,7	703	6,98	1638	104,2	90,41	94,26	5,083	375,9	285	144,1	24,8
F/Hassi El Abd	225,7	190,7	640	7,29	1234	71,34	61,37	80,46	7,038	348,4	166,6	133	3,72
F/Djidah	298	180,25	1100	10,9	1,75	20	22	354	11	466	226	280	
S/Ain Zerga	275,15	175,65	1000	8,01	575	51	41	25	2	43	64	218	
S/Poiret	272,1	178,65	878	7,9	576	51	51	18	1	28	62	273	30

L'objectif principal de ce travail est de déterminer l'état de la qualité des eaux et l'élaboration des cartes de synthèse de l'état de la nappe karstique de Saida en se basant essentiellement sur une étude hydrochimique. Les méthodes utilisées à cette fin sont l'analyse en composantes principales (ACP) et l'interpolation des résultats par krigeage, les logiciels utilisés Arc Gis et XLSTAT.

5. Analyse en composantes principales:

L'analyse en composante principale (A.C.P.) est une méthode statistique ancienne, selon Philipeau (1986), c'est K. Pearson en 1901 qui trouve les idées essentielles et à H. Hotteling en 1933 que revient la première publication sur ce sujet, et c'est seulement depuis 1980 avec l'apparition des micro informatiques que l'A.C.P. est de plus en plus fréquemment utilisée.

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode d'analyse multi-variée permettant l'étude simultanée d'un grand nombre de variables dont l'information totale ne peut pas être visualisée à cause d'un espace à plus de trois dimensions. Cette méthode permettrait de

préciser les relations entre les variables et les phénomènes à l'origine de ces relations. L'objectif est d'avoir une information concentrée sur un minimum d'axe. Cette méthode est largement utilisée pour interpréter les données hydrochimiques, L'ACP est donc un outil qui offre la possibilité de simplifier l'étude des écosystèmes aquatiques et d'en alléger les coûts par la réduction du nombre de variables à prendre en comptes, Le logiciel statistique XLSTAT a été utilisé pour le traitement des données (Mouissi H. 2016)

5.1 Présentation de résultats de l'Analyse en Composantes Principales:

Le logiciel produit différents tableaux et graphes : les graphes des variables et des individus sont des nuages de points représentés dans un cercle de corrélation, dont les points les plus proches du cercle sont les plus importants.

L'ACP a été effectué sur une matrice de donnée constituée de 14 prélèvements. Pour le traitement des données par l'analyse en composantes principales, nous avons utilisé 10 variables : le pH, la conductivité électrique, Ca^{++} , Mg^{++} , Na^{++} , K^+ , Cl^- , SO_4^- , HCO_3^- , ... et NO_3^-

Tableau N°12 : Analyse statistique des paramètres physico-chimiques des eaux de la nappe karstique.

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
PH	6,980	10,900	7,529	1,019
Cond	1,750	2235,000	922,911	523,515
Ca	20,000	175,400	70,626	36,119
Mg	22,000	90,410	56,969	17,358
Na	11,490	354,000	68,725	96,911
K	1,000	11,000	3,756	3,471
HCO ₃	28,000	466,000	321,914	127,819
Cl	34,740	312,700	108,882	96,906
SO ₄	41,500	464,900	148,499	120,584
NO ₃	3,720	44,640	25,488	11,119

Tableau N°13 : Matrice de corrélation entre les éléments physico-chimiques des eaux de la nappe karstique du Saida (Pearson).

Variables	PH	Cond	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃
PH	1									
Cond	- 0,622	1								
Ca	- 0,510	0,918	1							
Mg	- 0,684	0,707	0,419	1						
Na	0,760	0,001	0,099	-0,326	1					
K	0,499	0,315	0,395	-0,168	0,918	1				
HCO ₃	0,045	0,117	0,045	0,198	0,350	0,327	1			
Cl	0,241	0,585	0,576	0,225	0,753	0,869	0,228	1		
SO ₄	0,369	0,348	0,471	-0,132	0,646	0,701	-0,315	0,701	1	
NO ₃	0,219	-0,479	-0,399	-0,216	-0,143	-0,399	-0,198	-0,355	-0,142	1

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0,05$

La matrice de corrélation (tableau 13) permet d'obtenir les coefficients de corrélations entre les différents paramètres, deux à deux. Ces derniers ne sont pas tous corrélés positivement donc, ils ne varient pas dans le même sens.

L'examen du tableau de la matrice de corrélation permet de voir qu'il existe une forte corrélation entre :

Cond / Ca ²⁺	0,918
Na ⁺ / k ⁺	0,918
K ⁺ / Cl ⁻	0,869
PH / Na ⁺	0,760
Na ⁺ / Cl ⁻	0,753

C'est une corrélation qui fait ressortir l'influence des roches évaporitiques : gypse et halite sur le chimisme de l'eau.

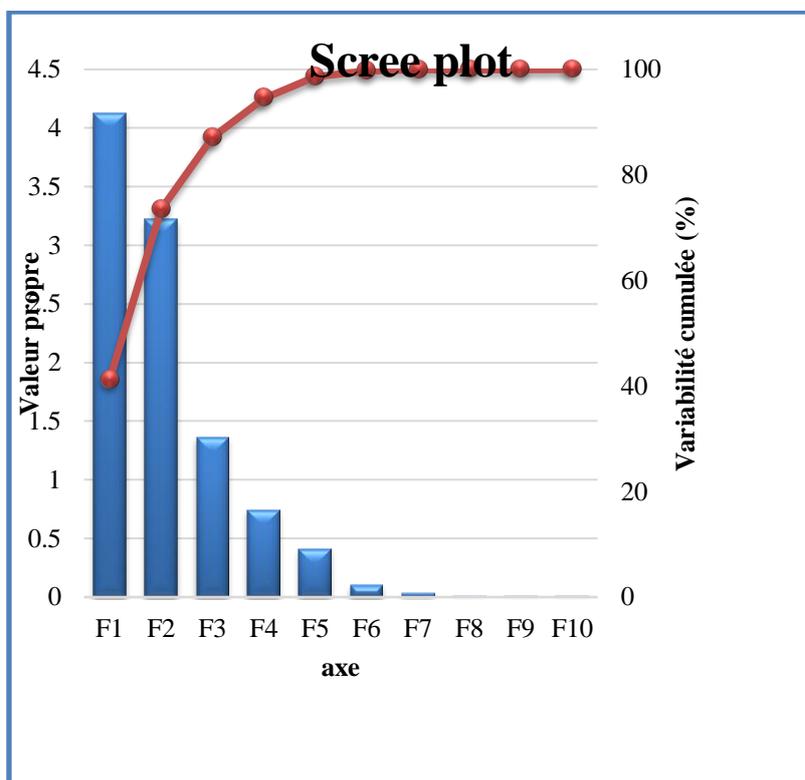


Fig.19 : Contribution des variables.

Corrélations entre les variables et les facteurs :

	F1	F2	F3	F4	F5
PH	0,199	0,967	0,036	0,039	0,142
Cond	0,630	-0,764	-0,081	0,074	-0,045
Ca	0,669	-0,609	-0,218	0,028	-0,356
Mg	0,146	-0,818	0,177	0,318	0,415
Na	0,762	0,616	0,166	0,090	0,013
K	0,920	0,339	0,118	-0,064	-0,056
HCO ₃	0,251	-0,020	0,932	0,158	-0,182
Cl	0,952	0,023	0,011	0,169	0,152
SO ₄	0,763	0,236	-0,561	0,050	0,048
NO ₃	-0,489	0,332	-0,231	0,753	-0,170

On peut tracer les cercles de corrélations dans les trois plans factoriels (F1, F2), (F2, F3) et (F1, F3). Dans le cadre de ce travail le plan factoriel (F1, F2) reste le plus adéquat et suffit à lui seul.

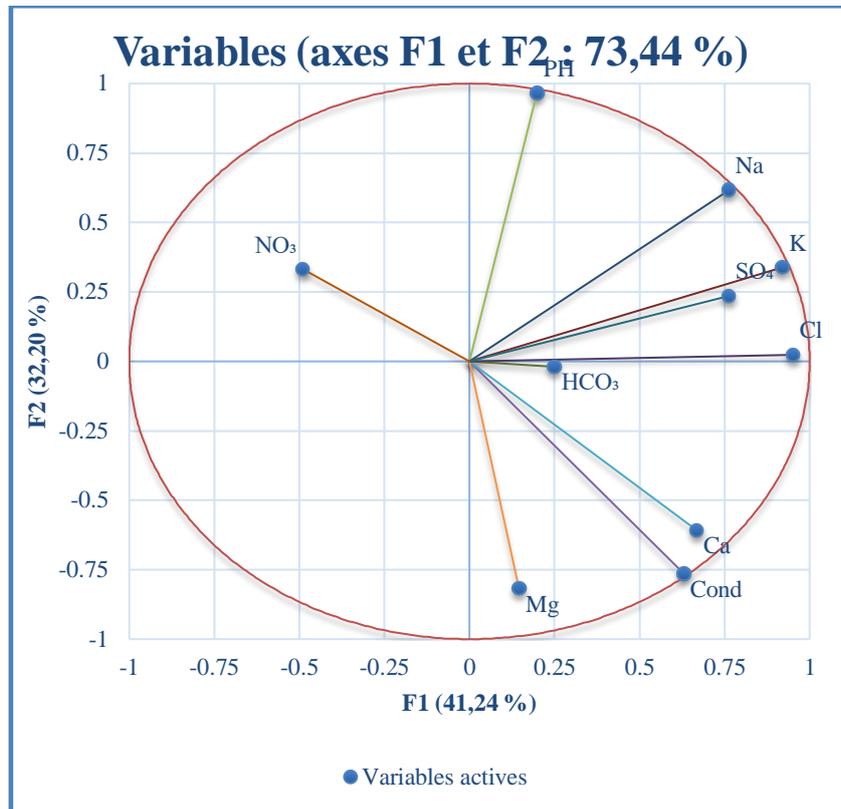


Fig.20: Cercle de corrélation des paramètres des eaux souterraines de la nappe karstique du Saida (F1, F2)

L'analyse du Le plan factoriel (F1-F2) -figure 22- représente 73.44% de la variance totale du nuage de points exprimée. Le facteur F1 est le plus dominant, il exprime à lui seul 41.24 % de la variance. Il est défini par la conductivité, les cations et anions le PH, ces d paramètres sont situés du côté positif de la composante ; sauf le nitrate (NO_3^-) qui est corrélés négativement avec l'axe factoriel F1. Cet axe pourrait donc correspondre à la minéralisation des eaux et au temps de séjour de l'eau dans la roche aquifère.

Le facteur F2 (32.20%) est bien représenté par les nitrates, C'est un axe lié aux activités anthropiques qui affectent la nappe, tel que l'utilisation démesurée des engrais chimiques .Ce plan met aussi en avant la corrélation négative qui existe entre le pH et le magnésium, le calcium et la conductivité.

5.2 Projection des individus sur les facteurs de charges F1,F2 :

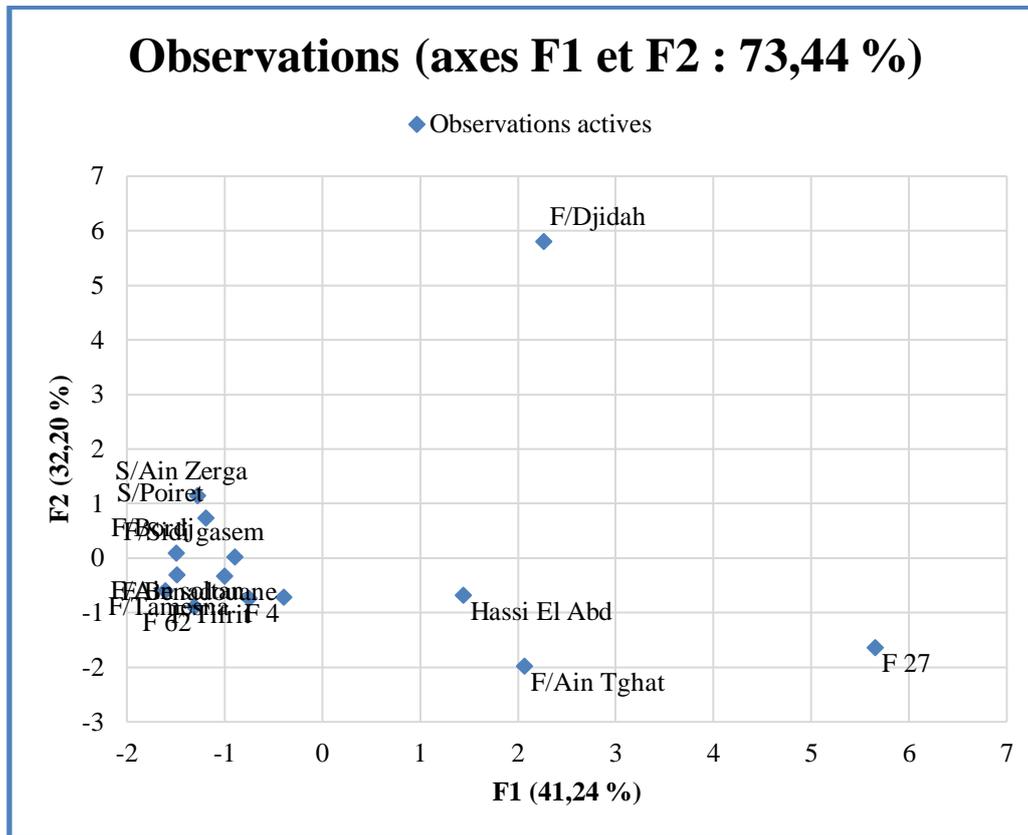


Fig. 21 : Projection des individus (forage) dans le plan F1 F2 de la nappe karstique de Saida.

La projection des individus (forage) sur le plan de facteur F1F2 (Fig. 21) montre globalement deux (2) associations d'individus :

- La première association est constituée des individus (FAin zerga,Sidi gassem..). Cette association est corrélée positivement avec le facteur F2. Elle représente les puits ayant la même réponse parmi les quels la lithologie qui est rattachée à l'étage Sénonien-Eocène
- La deuxième association est constituée des individus (F Hassi El abd ; F Ain tghat ; F27). Cette association est corrélée positivement avec le facteur F1.et négativement avec le facteur F2 Elle représente les puits la même lithologie.

6. Les méthodes d'interpolation :

L'interpolation spatiale en géostatistique consiste à prédire les valeurs sur un domaine à partir d'un nombre limité de points d'échantillonnage. Elle permet de prédire les valeurs inconnues pour n'importe quel type de données de points géographiques, comme l'altitude, les précipitations, les concentrations chimiques, les pentes, etc.

6.1 Le krigeage :

Le Krigeage est la méthode optimale, au sens statistique du terme, garantissant le minimum de variance. On peut l'utiliser autant pour l'interpolation que l'extrapolation. Le terme Krigeage vient du nom du son précurseur, l'ingénieur minier sud-africain D.G. Krige. Dans les années 50, Krige a développé une série de méthodes statistiques empiriques afin de déterminer la distribution spatiale de minerais à partir d'un ensemble de forages. C'est cependant le français Matheron qui a formalisé l'approche en utilisant les corrélations entre les forages pour en estimer la répartition spatiale. C'est lui qui a baptisé la méthode « Krigeage ». Il a aussi été le premier à utiliser le terme « géostatistiques » pour désigner la modélisation statistique de données spatiales [Y grtton]. L'outil Krigeage présuppose que la distance ou la direction liant les points d'échantillonnage reflète une corrélation spatiale pouvant expliquer les variations de la surface. L'outil Krigeage applique une fonction mathématique à tous les points, ou certains points déterminés, situés dans un rayon précis. Il détermine la valeur en sortie de chaque emplacement. Le krigeage est un processus multiple ; il comprend l'analyse statistique exploratoire des données, la modélisation des variogrammes, la création de la surface et éventuellement l'exploration de la surface de variance. L'outil Krigeage est particulièrement adapté aux cas où l'on sait qu'il existe dans les données une corrélation spatiale de distance ou une déviation directionnelle. Elle est souvent utilisée en science géologique et minière.

6-2 Représentation graphique des résultats :

L'interpolation des résultats par krigeage sur le logiciel ArcGis le long de la nappe karstique du Saida nous donne les cartes de la répartition de différents paramètres physico-chimiques de l'eau :

6.2.1 LES PARAMETRES PHYSIQUES :

a- Le potentiel d'hydrogène (pH) :

Le pH de l'eau mesure la concentration des protons H^+ contenus dans l'eau. Il résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique et il est lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates (Ezzaouaq, 1991 ; El Blidi et al, 2003 ; Himmi et al, 2003) . La mesure a été effectuée sur terrain et confirmée au laboratoire à l'aide d'un pH-mètre il varie entre 6,98 et 10,9.

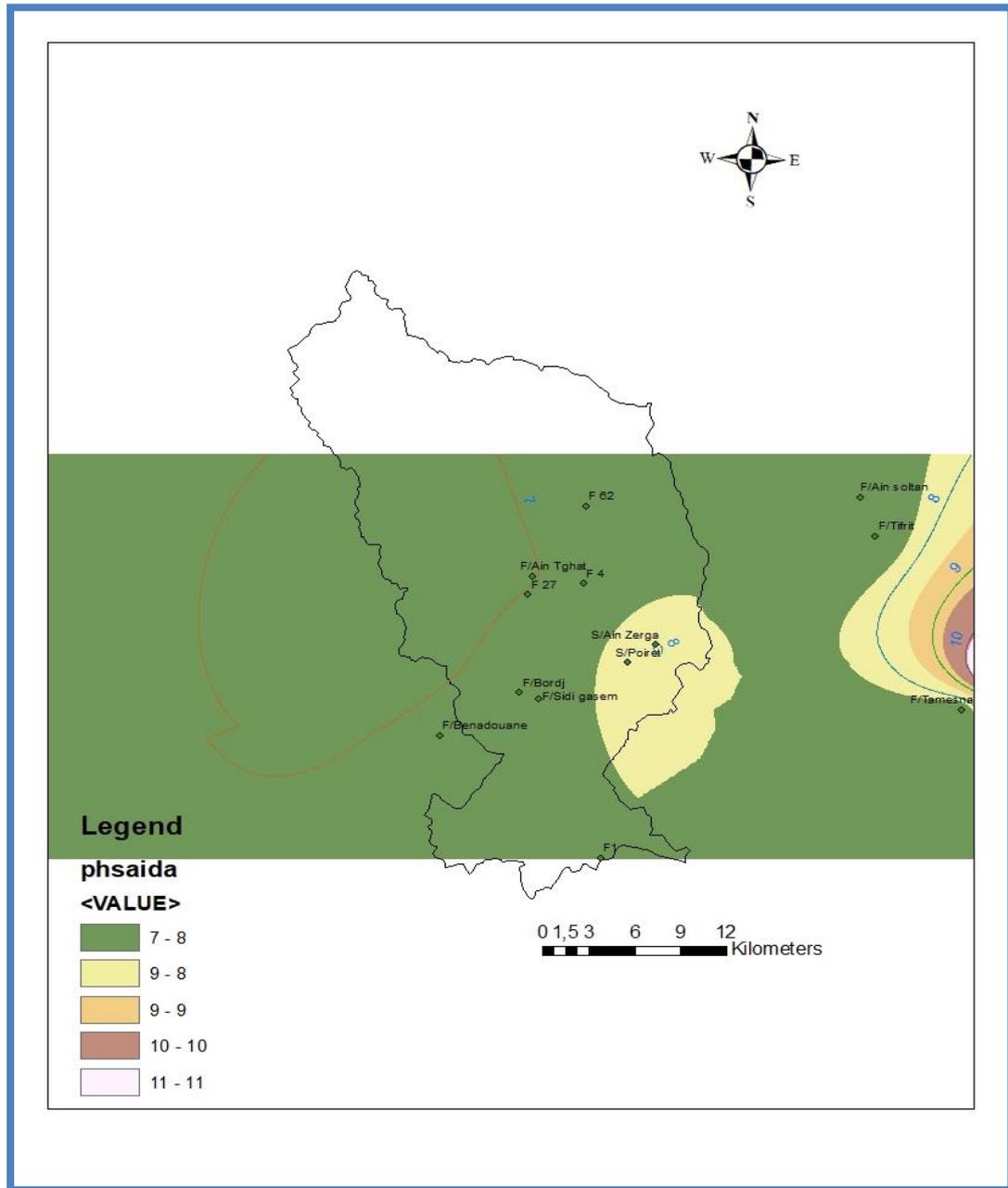


Fig.22 : Carte d'évolution de PH.

La valeur de PH la plus élevée est située au nord-est de la région avec une valeur qui dépasse 10, mais d'une façon générale on note une diminution vers le nord-ouest du secteur.

b- Conductivité électrique (CE) :

La conductivité électrique est un excellent indicateur de la minéralisation qui reflète la concentration de l'ensemble des minéraux dissous. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau et par la suite donner une idée sur la minéralisation totale d'une eau (Abbas Y et all, 2017).

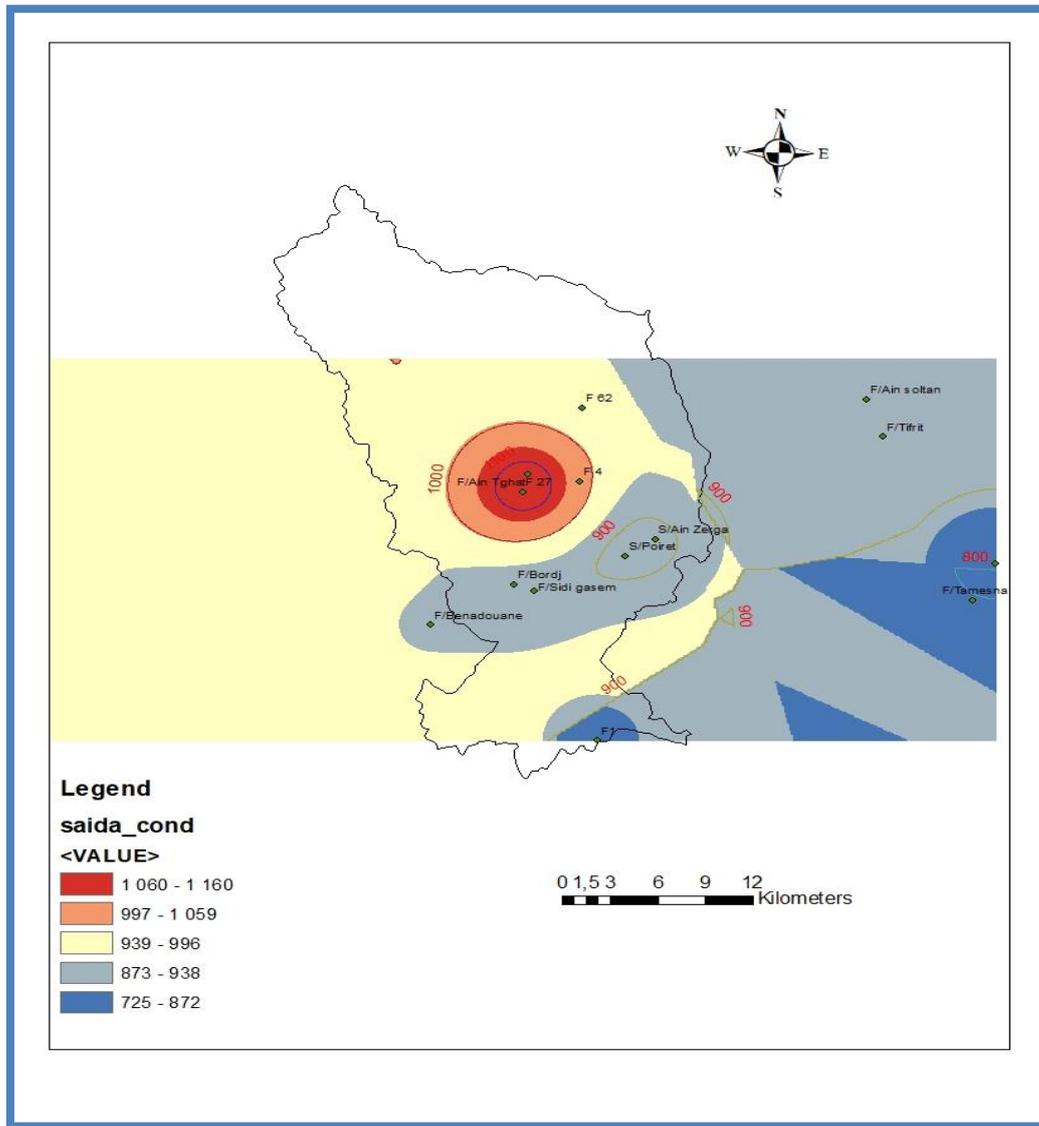


Fig.23 : Carte d'évolution de la conductivité électrique

On peut classer les concentrations de la conductivité électrique au niveau des points d'eau, en trois classes (figure N° 24). Une première rassemble les 10% des points d'eaux, à des valeurs de conductivité faibles, où les teneurs varient entre (175 μ s/cm et 586 μ s/cm) les sources Poiret et Ain Zerga.

La deuxième classe représente la majorité (60%) des points d'eaux qui ne dépassent pas les normes de l'OMS 2017 (1000 μ s/cm) ou les teneurs varient entre (586 μ s/cm (S) et 998 μ s/cm. La dernière classe représente (30%) des points d'eau à des valeurs de conductivité très élevées, variées entre (1410 μ s/cm (F.AinTghat) et 2235 μ s/cm (F27). Cet excès en concentration est dû aux rejets domestiques de la ville de Saida et l'à proximité de ces forages de l'aval de L'Oued Saida.

6.2.2.LES PARAMETRES CHIMIQUES :

a- Les cations :

a-1 Le Calcium (Ca^{+2}) :

Le calcium est l'élément présent en quantité appréciable dans la quasi-totalité des eaux superficielles, c'est un élément alcalino-terreux et un composant majeur de la dureté des eaux, sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés. Il provient essentiellement de la dissolution des roches carbonatées suite à la présence du gaz carbonique, selon l'équation suivante : $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$ Il provient également des formations gypseuses $(\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O})_2$ qui sont facilement soluble (Boudia et al, 2016)

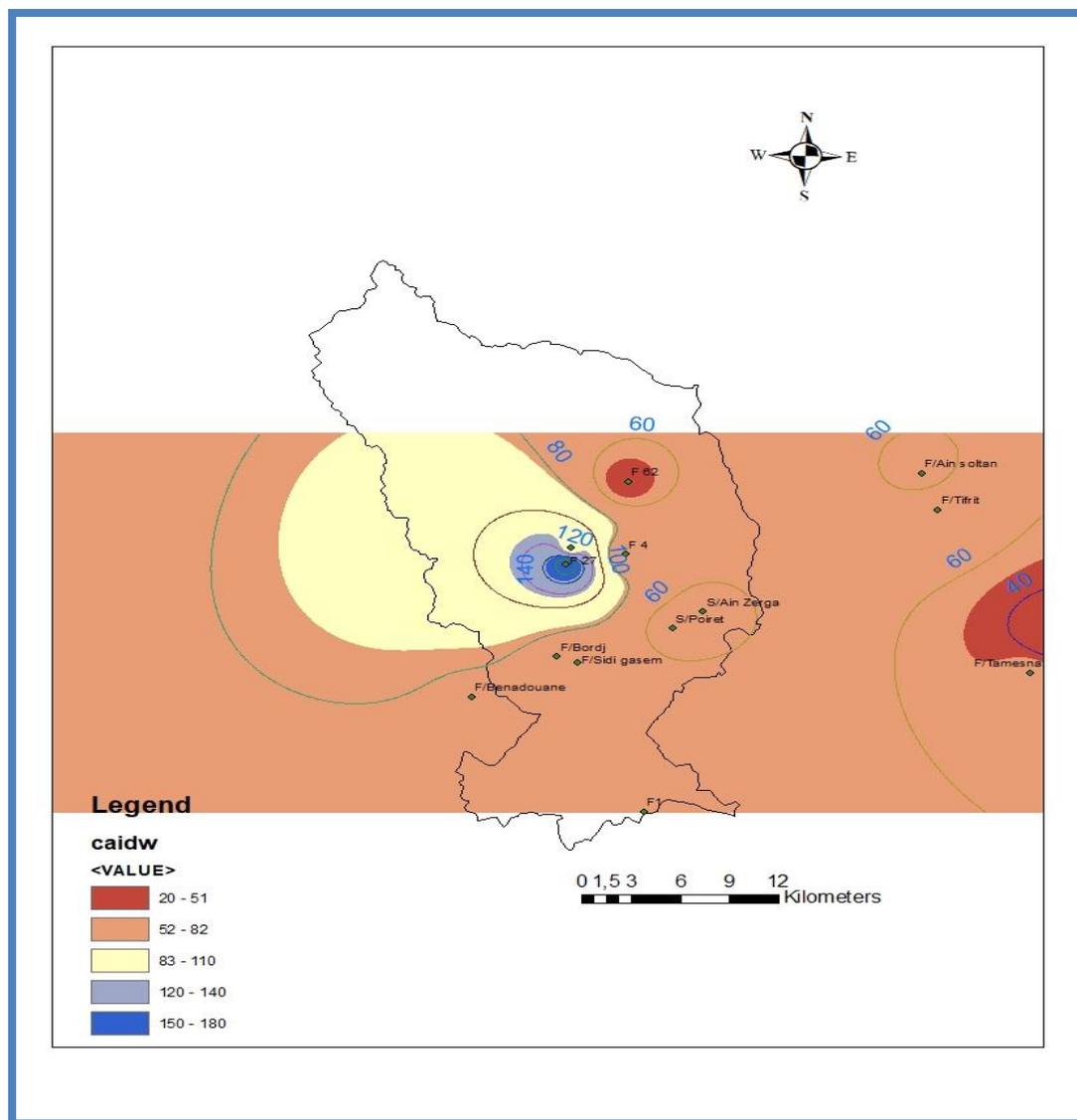


Fig.24 : Carte de la variation des concentrations en calcium le long de la nappe karstique du Saida.

La valeur la plus élevée est située au nord du secteur avec des concentrations supérieures à 175mg/l (Fig.25) (forage Ain Tghat et forage F27 104 et 175 mg/l), mais de façon générale la progression de la concentration est élevée sur les bordures nord du secteur et diminue au fur et à mesure en allant vers le centre. L'origine des teneurs élevées de Ca^{+2} , est probablement dû aux intercalations d'évaporites (les formations gypseuses).

a-2 Le Magnésium (Mg^{+2}) :

Toutes les eaux naturelles contiennent le magnésium, qui est un élément significatif de la dureté des eaux, la présence du magnésium dans les eaux souterraines est liée à la nature lithologique de l'encaissant. Il doit sa présence à la dissolution des formations carbonatées (les dolomies) ainsi que les formations salifères qui sont riches en Mg^{+2} .

Les teneurs en Mg^{+2} dans les différents points d'eau de ce secteur oscillent autour de 22mg/l comme valeur minimale enregistrée au forage Djidah et 90.41mg/l comme valeur maximale enregistrée au forage Ain Tghat), par rapport aux normes de potabilité des eaux recommandées par l'OMS (30mg/l) et l'UE (50mg/l) seulement six(6) points sont dans les normes (inférieures à 50mg/l).

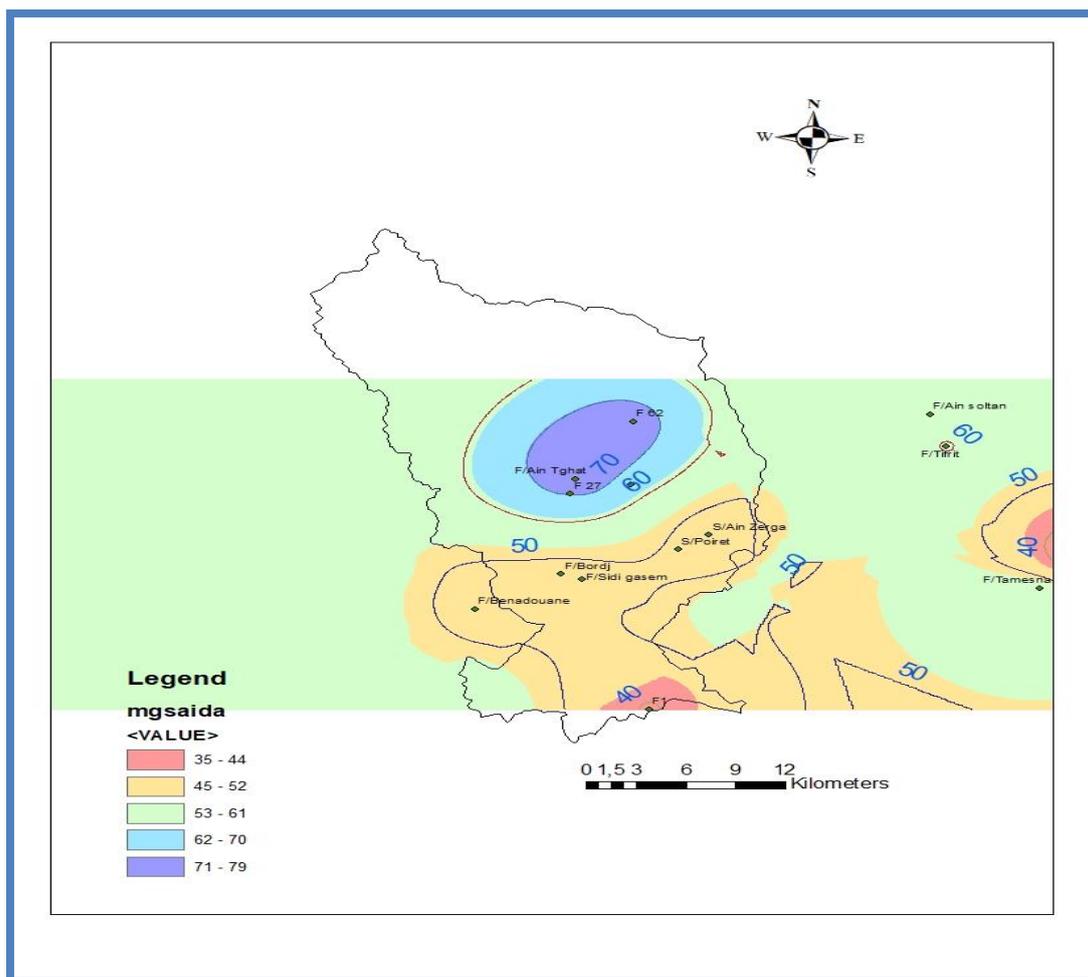


Fig.25 : Carte de la répartition de magnésium dans la nappe karstique du Saida

On remarque presque le même comportement que le calcium et la conductivité, la concentration se diminue en se dirigeant vers le centre et au nord-est du la région de Saida.

a-3 Le Sodium (Na^+) :

La présence du Sodium dans les eaux souterraines est très variables, dû à la dissolution des évaporites qui sont fréquent dans la région d'étude sous forme de Halite ou Sylvine. Les concentrations du sodium (Na^+), sont variées d'un point à un autre, on marque 11.49mg/l comme valeur minimale mesurée au forage Tamesna avec 354vmg/l comme anomalie au forage Djidah, donc une anomalie extrême qui a une relation directe avec la nature lithologique marquée par la présence d'évaporites englobant à la fois des niveaux gypsifères (CaSO_4) et des intercalations salifères (NaCl et KCl).

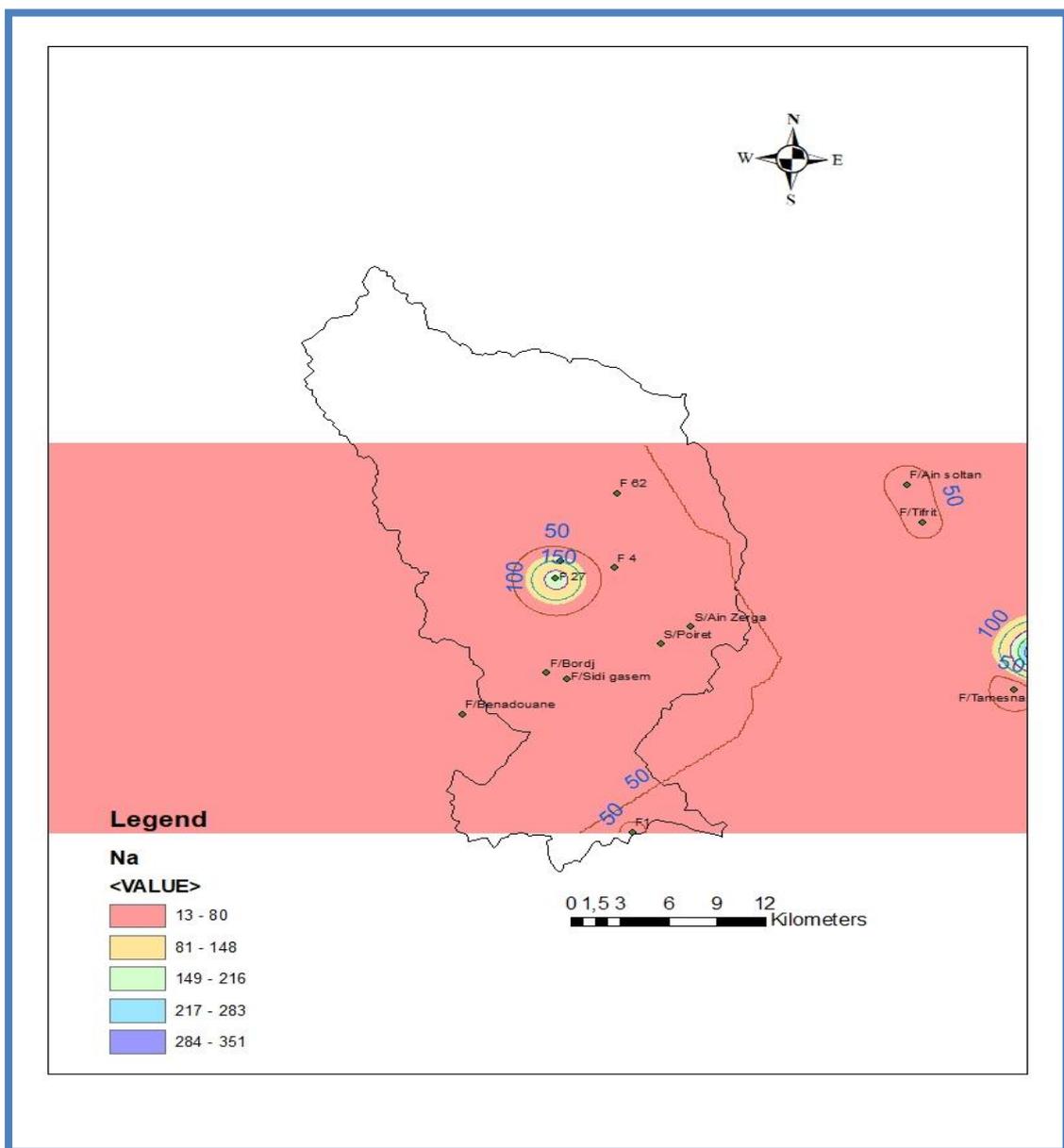


Fig.26 : Carte de la répartition de sodium dans la nappe karstique du Saida.

D'après la carte d'iso-teneur du sodium les forages (F27, Djidah, Ain Tghat) présentent des teneurs élevées, liées à la dissolution des sels naturels par lessivage des évaporites, on remarque une diminution en s'éloignant de ces formations.

a-4 Le potassium (K⁺) :

La présence du potassium dans les eaux est liée principalement à l'altération des argiles potassiques et au lessivage des évaporites, en l'occurrence la Sylvine (KCl). Au niveau des eaux du bassin versant, la teneur en potassium varie de 1mg/l pour les forages Tamesna et Source Poiret à 10mg/l pour les F27 et Djidah sont inférieures aux normes admises par l'OMS et l'UE (12mg/l).

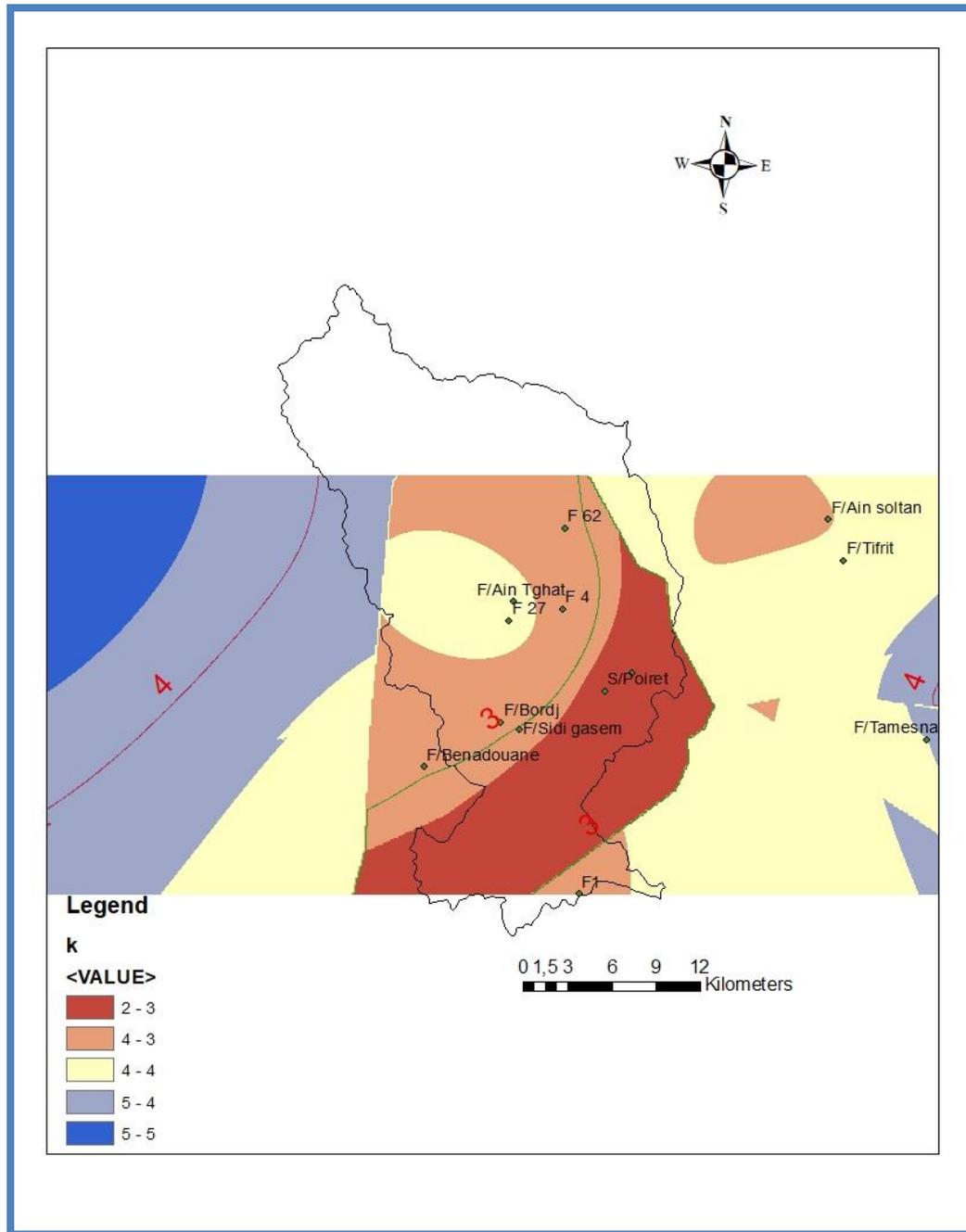


Fig.27 : Carte de la répartition de potassium dans la nappe karstique du Saida.

b-Les anions :

b-1 Les Bicarbonates (HCO₃ ou hydrogénocarbonates) :

La présence des bicarbonates dans les eaux souterraines est suite à l'équation suivante $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = 2\text{HCO}_3 + \text{Ca}^{+2}$ qui montre la dissolution des formations carbonatées (Calcaire, dolomie) donc les bicarbonates sont le résultat d'un équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique». La solubilité des carbonates est principalement influencée par PCO_2 , la température, la force ionique, la pression totale et le pH (Hoefs, 1969).

Dans les eaux de la nappe karstique, les bicarbonates varient de 28 mg/l (source Poiret) à 396 mg/l (forage Tiffrit, Tamesna, F62. F4), elles sont supérieures aux seuils de 30mg/l fixé par les normes de potabilité des eaux.

L'origine des teneurs élevées de bicarbonates, est probablement dû à la dissolution des formations carbonatées (Calcaire, dolomie).

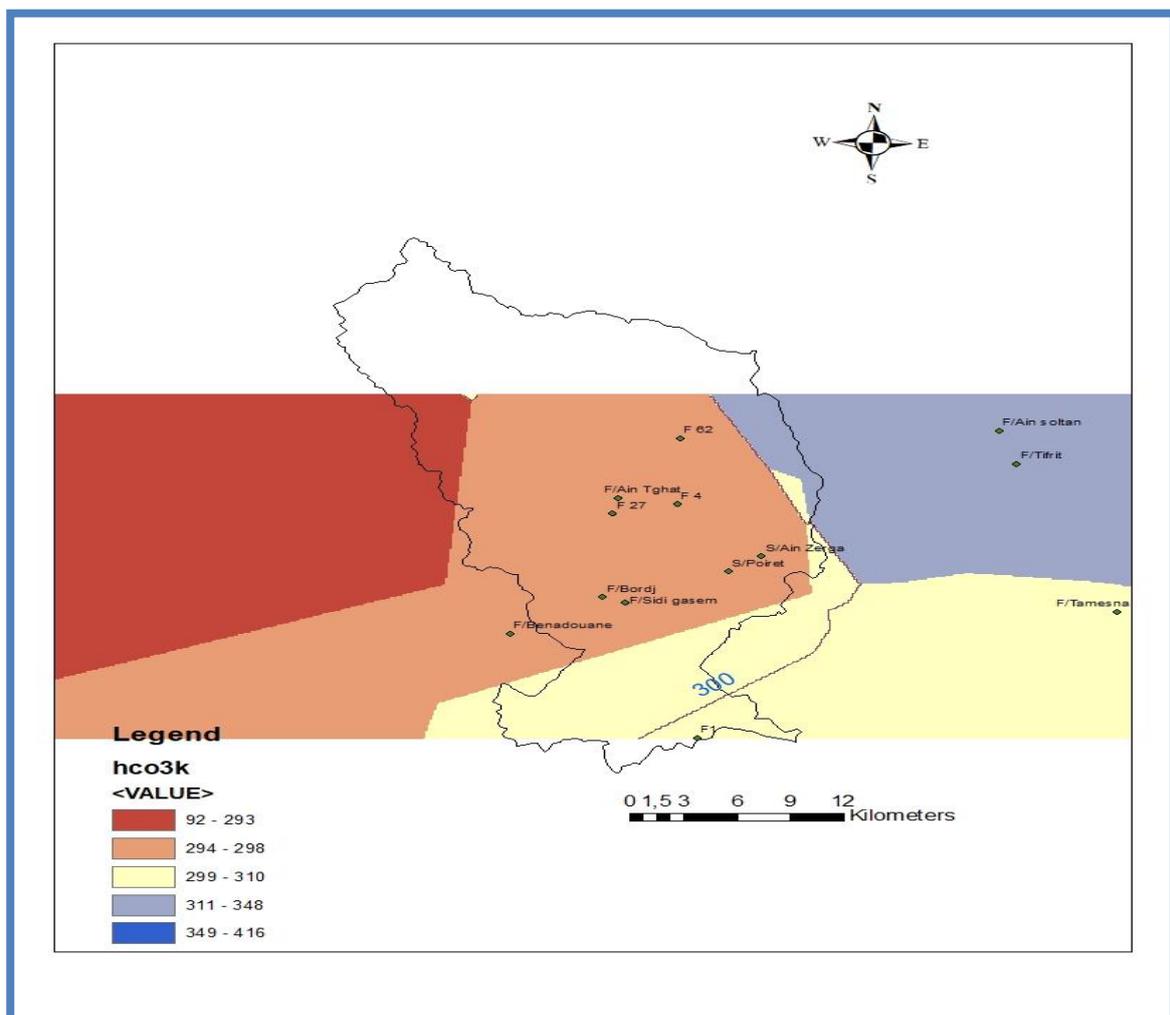


Fig.28: Carte de la répartition de bicarbonates dans la nappe karstique du Saida.

On remarque que les concentrations minimales sont signalées au sud-ouest, au centre et au nord-est de la zone étude.

b-2 Les sulfates (SO₄⁻²) :

Son origine est liée principalement à la dissolution des formations gypseuses, selon la relation suivante : $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \text{Ca}^{+2} + \text{SO}_4^{-2} + 2\text{H}_2\text{O}$, l'OMS et l'UE, exigent des concentrations en sulfates inférieure à 250mg/l pour une eau potable.

Les concentrations des sulfates obtenues des eaux étudiées sont très variables et oscillent entre 41.5 au forage Sidi Gasem et 464.9mg/l au forage F27.

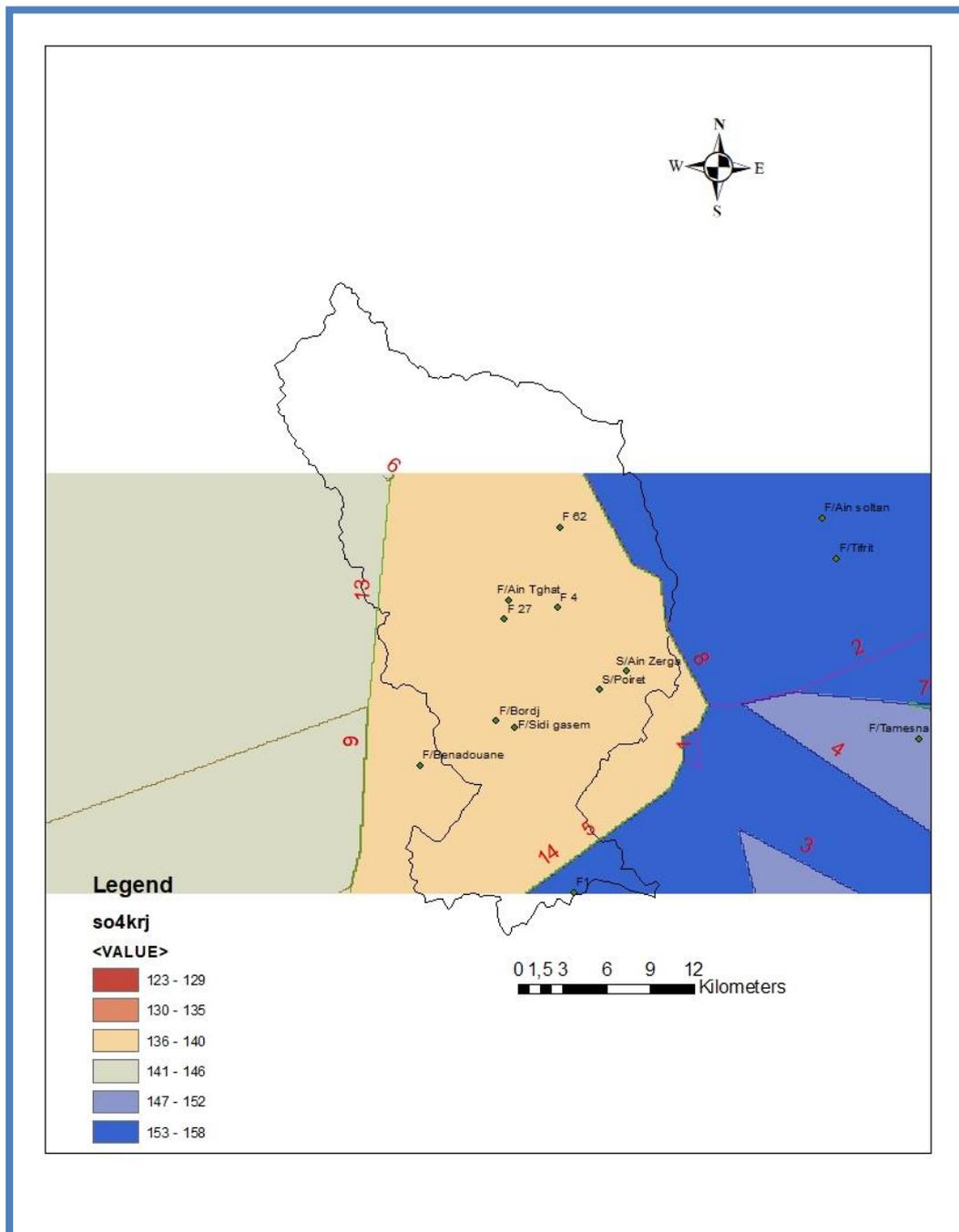


Fig.29 : Carte de la répartition de sulfates dans la nappe karstique du Saida

La concentration faible sont situ e au sud et nord-est du secteur d'étude ; les plus forte sont concentr e au centre. L'origine est les argiles du callovoxfordien.

b-3 Le Chlore (Cl⁻) :

Le chlore, est presque toujours présente dans l'eau avec des proportions variables, son origine est li e principalement à la dissolution de l'halite (Na Cl) et des évaporites qui sont présent particulièrement dans les intercalations marneuses ou peut être à l'utilisation des engrais agricoles.

Dans les eaux de la nappe karstique de Saida les teneurs en Chlore enregistr es, sont extrêmement vari es. Le minimum de Cl⁻ est de 34.74mg/l au Forage Tamesna, un maximum de 312.7 mg/l au Forage F 27). Les normes internationales des valeurs maximales admissibles (250 mg/l pour l'OMS et l'UE.). Dans les eaux  chantillonn es, une moyenne de 108,882 mg/l, le diagramme de répartition spatiale fait ressortir.

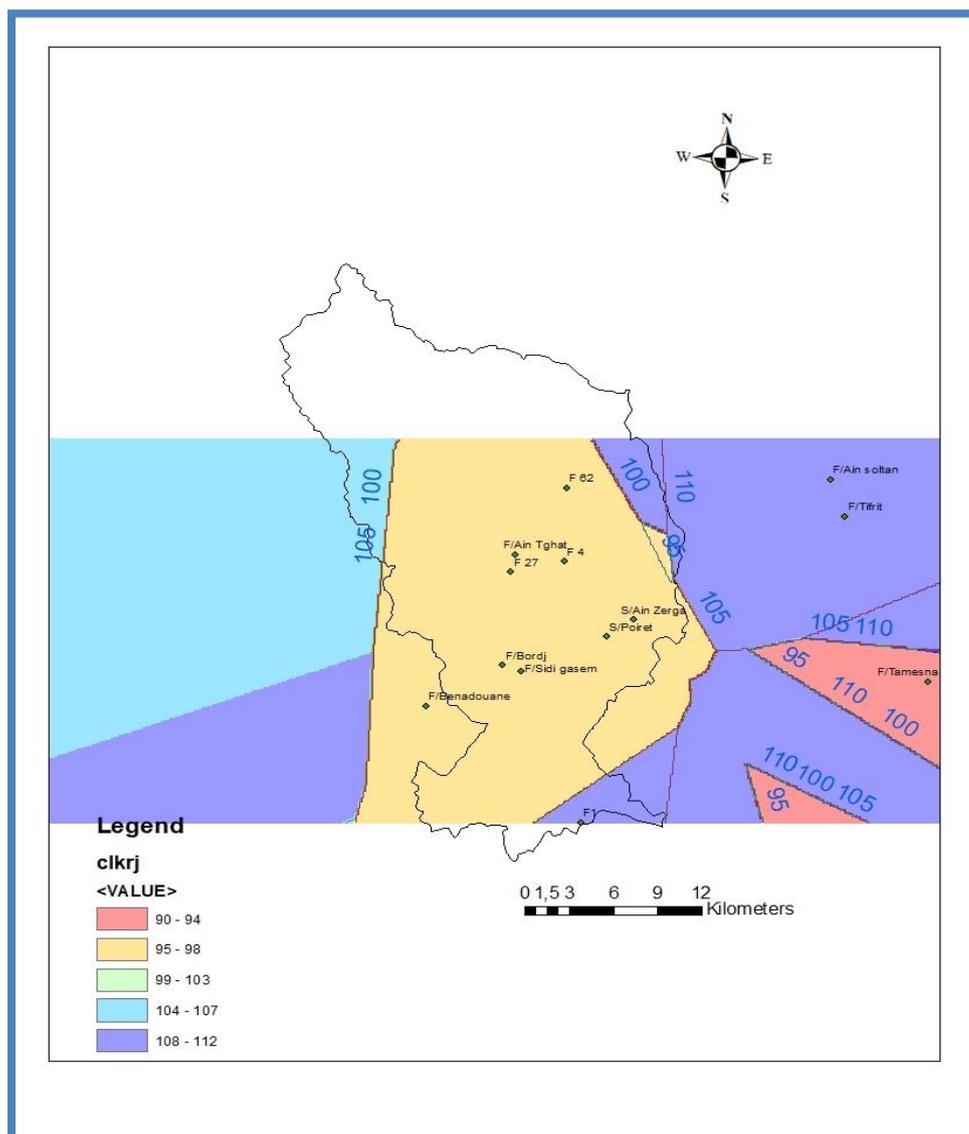


Fig.30 : Carte de la répartition de Chlore dans la nappe karstique du Saida

Les concentrations élevés, sont attribuées à l'influence des formations gypsifères et sont localisées au centre du secteur, la majorité des points d'eaux analysés montrent des valeurs inférieures à 145mg/l.

b-4 Les nitrates (NO⁻³) :

Les nitrates représentent la forme d'azote au degré d'oxydation le plus élevé présent dans l'eau, ils proviennent naturellement des formations marno – gypseuses ou par effet humain en utilisant les engrais pour l'agriculture.

La moyenne est de 25,488mg/l avec des extrêmes de 3.72 et 44.64mg/l ont été enregistrés respectivement aux forages (Hassi El abd, El Bordj) les teneurs élevée peuvent être due au lessivage des fertilisants utilisés dans les sols agricoles de ces régions, Les teneurs en nitrates enregistrées dans les eaux du secteur d'étude sont généralement inférieur à la teneur suggérée par les normes internationales (50mg/l).

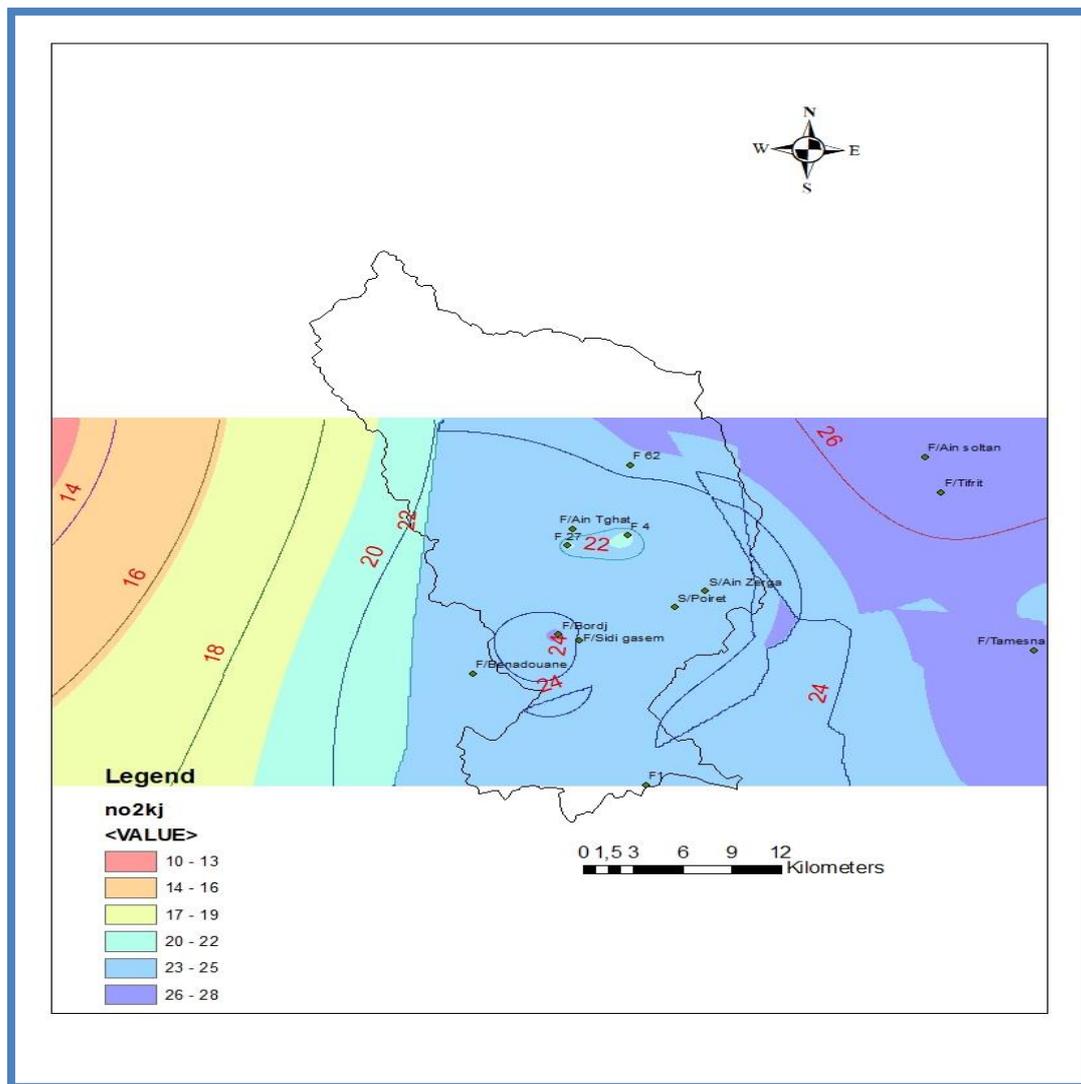


Fig.31: Carte de la répartition de Nitrates dans la nappe karstique du Saïda.

La concentration les plus élevées se localisent à l'est, et au nord et les plus faibles à l'ouest de la zone d'étude.

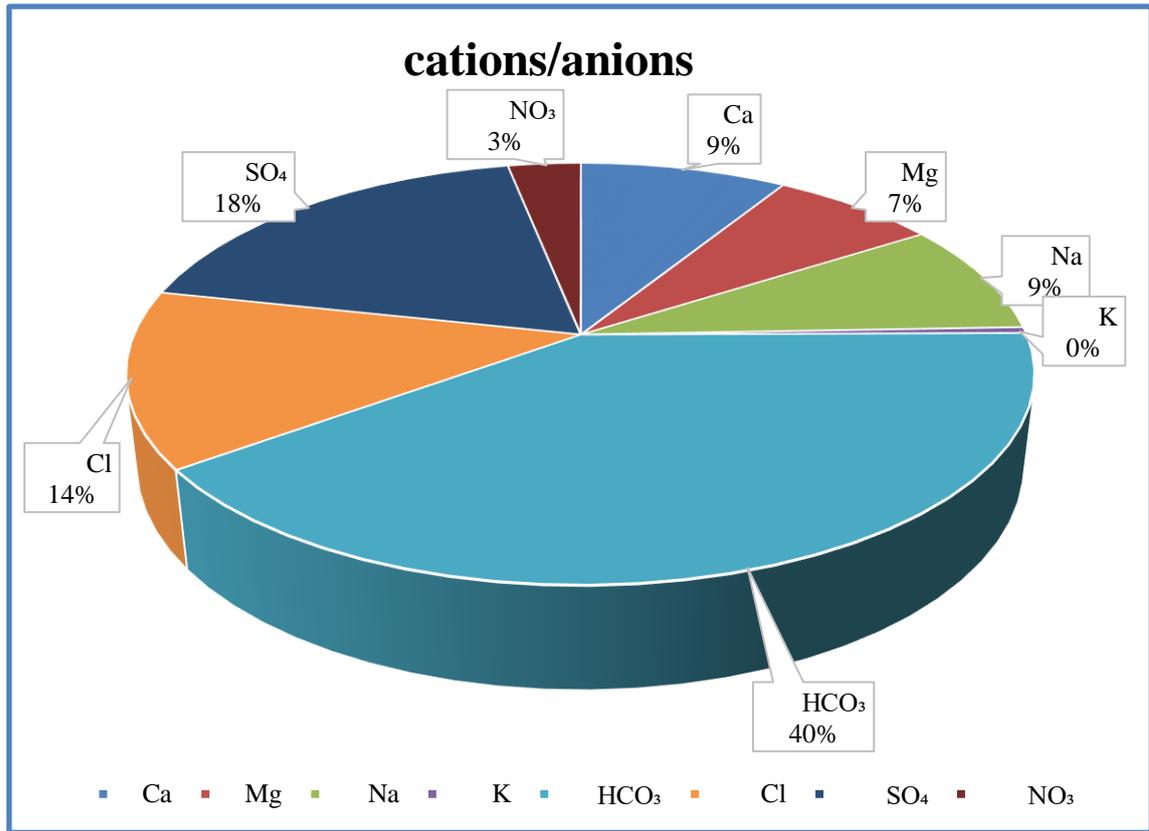


Fig.32 : Contribution des différents éléments chimiques.

7. Les faciès chimiques :

Parmi les méthodes de classification des eaux naturelles on va élaborer la méthode de Schöeller-Berkaloff et ; la classification de Piper, Stiff, Wilcox.

a- Diagramme de Piper :

Pour effectuer cette classification, on va représenter les résultats des analyses chimiques sur le diagramme de Piper qui est formé par un losange ABCD et deux triangles équilatéraux dont les côtés sont divisés en cent (100) parties égales correspondant à des quantités en réaction pour cent (calculé par rapport à des ions de même signe). Ainsi dans chaque triangle, on obtient un point représentatif. Les deux parallèles supportant ces deux points s'entrecroisent en un seul point dans le losange ABCD, indiquant la nature du faciès chimique des eaux qui vont nous permettre de classer et comparer les eaux naturelles du bassin.

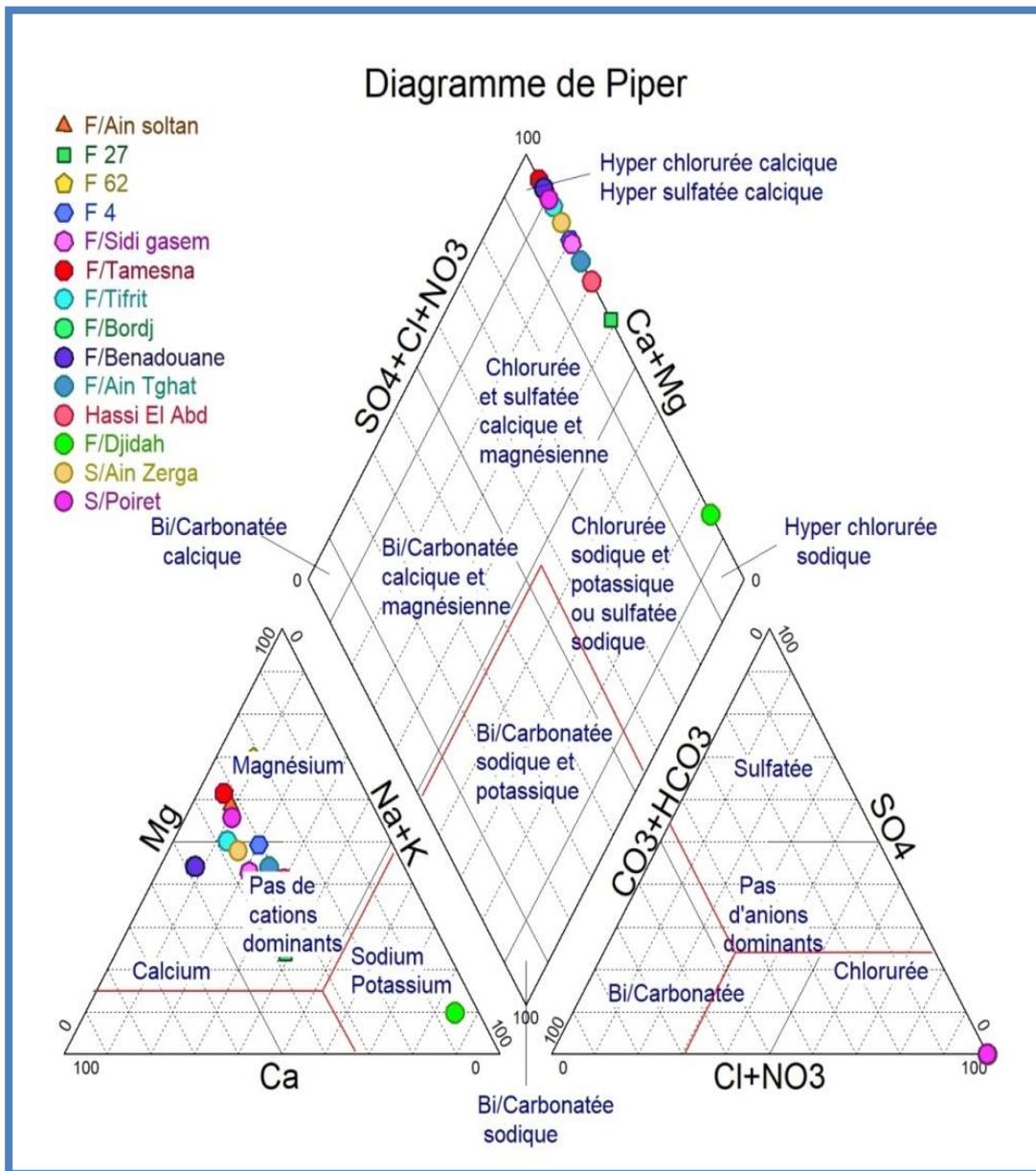


Fig.33 : Diagramme de Piper des points de prélèvement de la nappe karstique.

b- Diagramme de Stiff:

Le diagramme de Stiff présente les analyses de façon différente. Les cations présentés à gauche de l'axe vertical sont les ions sodium et potassium, le calcium et le magnésium. Les anions, présentés à droite de l'axe, sont les chlorures, les bicarbonates, les carbonates et les sulfates. L'axe horizontal exprime les concentrations en méq/L. Un polygone est dessiné en reliant les points correspondant aux différentes concentrations. Pour une eau équilibrée, l'aire de la partie droite (anions) devrait égaler celle de la partie gauche (cations) (Bali .K et all 2016).

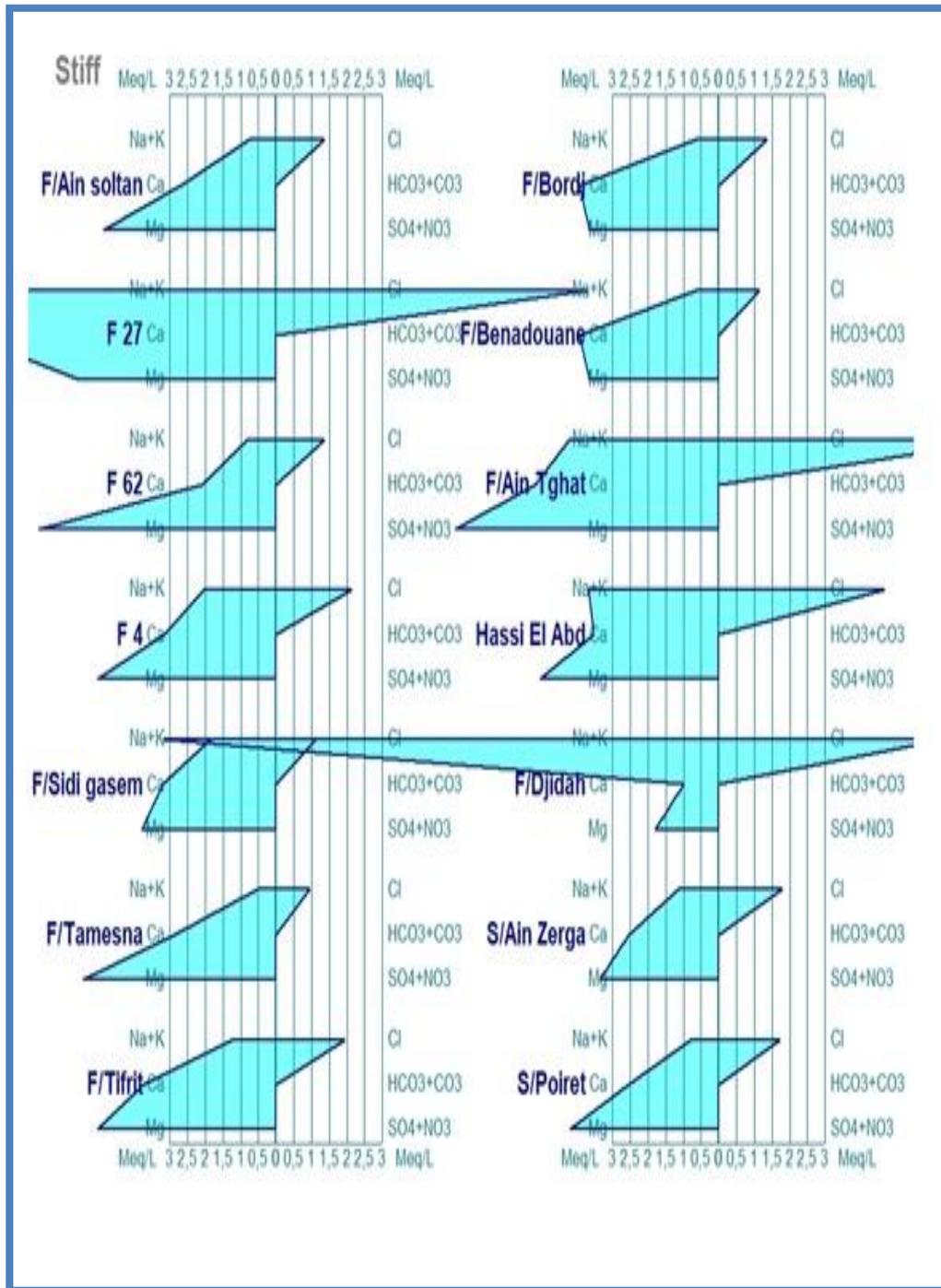


Fig.34 : Représentation des résultats d’analyses selon le diagramme Stiff

c- Le diagramme de SCHOELER :

Le diagramme de Schoeller Berkalov permet de représenter le faciès chimique de plusieurs eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points figurant les différents éléments chimiques. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence.

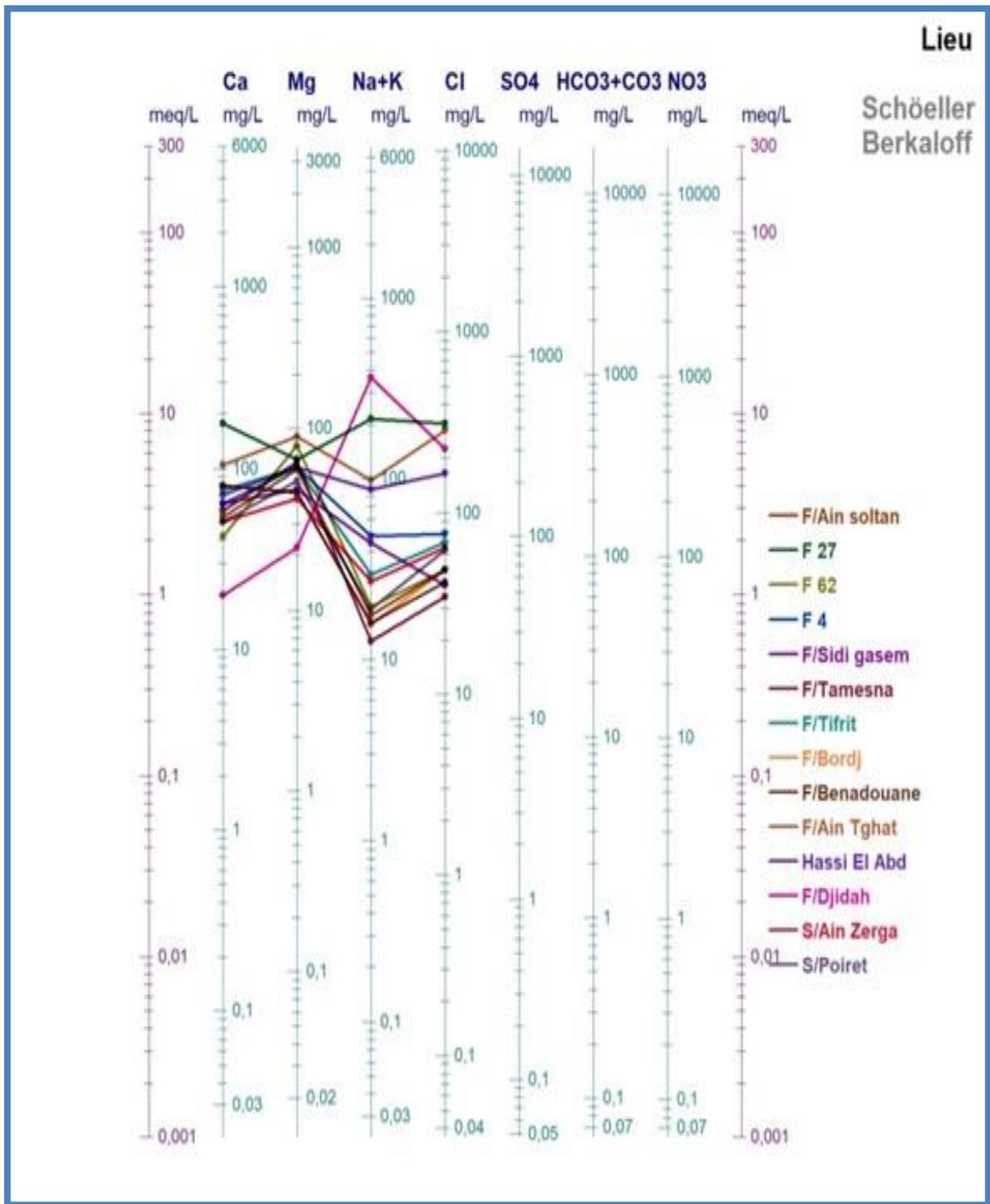


Fig.35 : Représentation des résultats d’analyses selon le diagramme de Schoeller-Berkaloff.

d- Diagramme de Wilcox :

Ce diagramme est essentiellement utilisé pour évaluer le risque de salinisation des sols. Il utilise pour cela la conductivité électrique (CE) ou la charge totale dissoute, toutes deux relatives à la salinité de l'eau, et l'indice d'adsorption du sodium (SAR en anglais).

Les valeurs élevées de la conductivité et de sodium dans les eaux des forages montrent des grandes proportions de salinité dans l'eau, ce qui réduit son aptitude à l'irrigation et conduit à des problèmes lorsqu'ils sont utilisés.

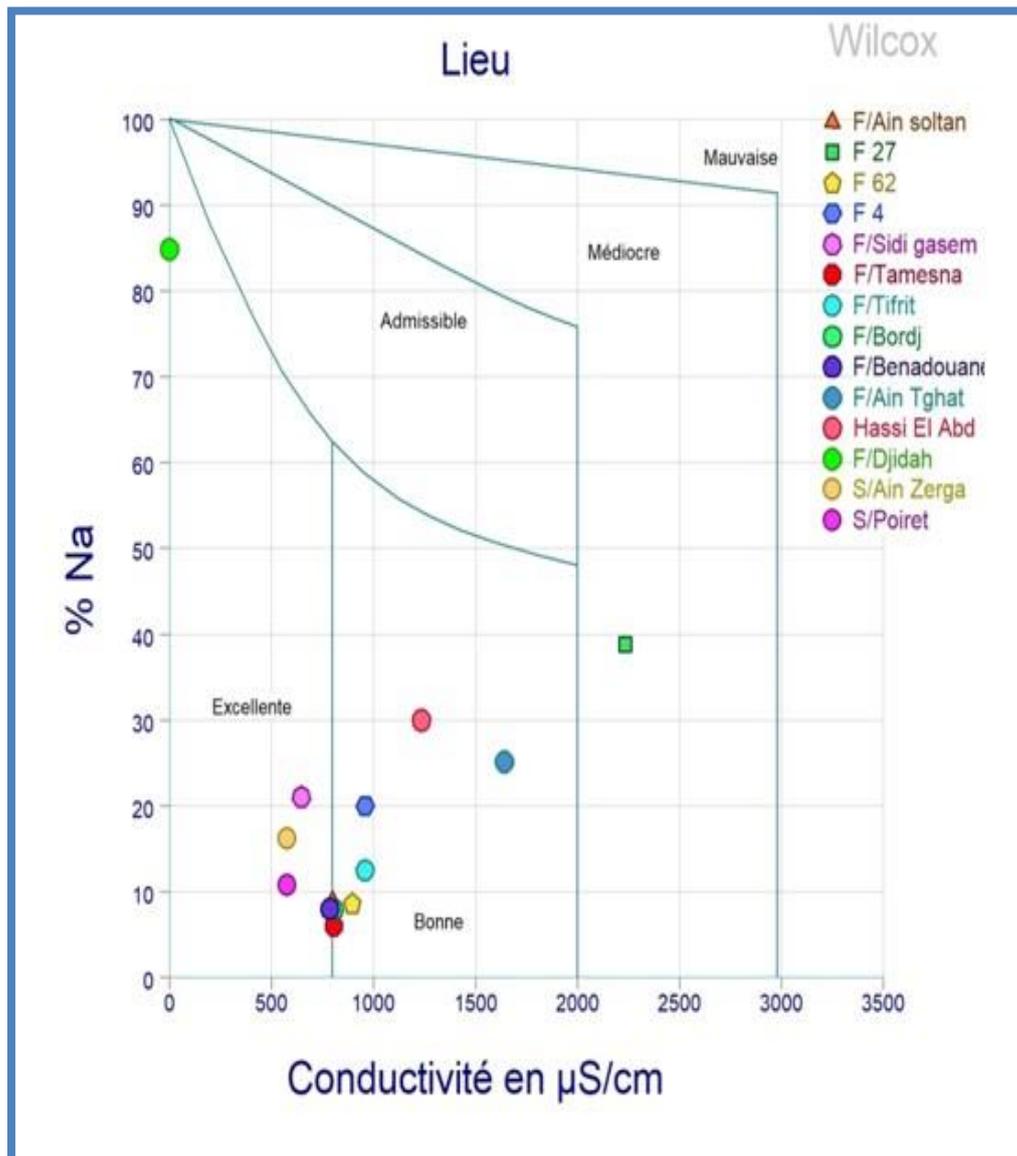


Fig.37 : Classification des eaux de la nappe karstique de Saïda dans le diagramme de Wilcox.

Les eaux de la nappe karstique de Saïda appartiennent aux classes « bonne » et « excellent » de la classification de WILCOX, sauf le forage (F27) qui contient d'eau « médiocre ».

7.1 Interprétation des résultats des diagrammes:

Nous avons obtenu des résultats à partir des diagrammes de (Piper- SCHOELER et Stiff).

Tableau N°14 : Résultat de la représentation des échantillons dans les diagrammes de (Piper- SCHOELER - et Stiff).

Les points d'eaux	faciès chimique
F/Ain soltane	Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne
F 27	Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne
F 62	Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne
F 4	Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne
F/Sidi gasem	Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne
F/Tamesna	Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne
F/Tiffrit	Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne
F/Bordj	Chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique
F/Benadouane	Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne
F/Ain Tghat	Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne
Hassi El Abd	Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne
F/Djidah	Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne
S/Ain Zerga	Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne
S/Poiret	Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne

La représentation des échantillons dans les diagrammes de Piper, Berkalof, Et Stiff

permet de conclure que ces eaux sont majoritairement d'une eau à dominante un faciès Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne.

Sauf pour F/ Bordj cette eau essentiellement Chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique.

Ce faciès qui caractérise les eaux souterraines de la région d'étude, il est à l'origine des formations géologiques surtout les calcaires et dolomies.

Conclusion générale :

Ce travail nous a permis d'avoir une vue sur l'hydrogéologie de la région de Saida ou est située la nappe karstique qui présente une grande importance pour la région car elle alimente en eau la population et les unités économiques.

Cette initiation à l'étude nous a permis d'analyser les données climatiques et géologique et hydrogéologique qui ont peut-être collectées, rehaussée par une étude hydro chimique.

Wilaya de Saida située à l'Ouest de l'Algérie, caractérisée par un climat semi-aride, avec une précipitation moyenne 327.11 mm environ.

La géologie de secteur, est caractérisée par une géologie complexe et diversifiée, représentée par des terrains allant du Primaire au Plio-Quaternaire.

L'étude morphométrique du bassin versant de l'oued Saida nous a permis de voir certaines caractéristiques de la région, qui avec une superficie totale de 644 km^2 et un périmètre du bassin de 164,5 km .

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 qui fait l'objet de notre étude 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.

Les analyses physico-chimiques sont effectuées par laboratoire d'analyse de la qualité pour conduire cette étude, les analyses ont été effectuée sur la nappe karstique de Saida, elles portent sur les éléments majeurs suivants : Ca^{++} , Mg^{++} , Na^{++} , K^+ , Cl^- , SO_4^- , HCO_3^- , ... et NO_3^-

L'objectif principal de ce travail est : de déterminer l'état de la qualité des eaux et l'élaboration des cartes de synthèse de l'état de la nappe karstique de Saida en se basant essentiellement sur une étude hydrochimique Les méthodes utilisées à cette fin sont l'analyse en composantes principales (ACP) et L'interpolation des résultats par krigeage

- Déterminer les faciès chimiques des eaux du bassin ;
- Donner une idée sur l'aptitude de ces eaux à l'irrigation selon les normes

L'analyse en composantes principales **ACP** a permis de faire ressortir les liens existant entre plusieurs paramètres qui décrivaient la minéralisation et le temps de séjour des eaux souterraines, tout en donnant des indications sur la nature, la force et la pertinence des relations existant entre eux. L'interpolation des résultats, issus de la combinaison des valeurs mesurées à ceux de l'ACP, par krigeage a démontré que la minéralisation des eaux est assez élevée au centre et nord de la région de Saida (F27, forage Ain Tghat) en raison des concentrations élevées en sels. Ce résultat démontre encore une fois que les eaux souterraines de la nappe karstique du Saida se détériorent

continuellement en raison des pressions anthropiques qui affectent la nappe.

A l'issue de cette étude qui a porté essentiellement sur l'évaluation de la qualité des eaux de source et de forage, il ressort que la quasi-totalité des paramètres analysés sont conformes à la réglementation nationale et internationale en matière de potabilité de l'eau. Sauf pour certains, la présence de l'affleurement des dolomies et des calcaires dans la région Saïda a aussi de l'influence sur la teneur en Magnésium. Ces eaux sont caractérisées par le taux élevé de la dureté mais sans risque sur la santé du consommateur, leurs teneurs en calcium et en chlorures qui sont normales et surtout leur teneur en nitrates qui sont connus par leurs effets néfastes sur la santé, est très faible par rapport à la valeur maximale admissible.

Concernant les faciès chimiques, l'analyse chimique des prélèvements de l'eau des sources et des forages a révélé un faciès chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne pour l'ensemble des eaux avec une légère tendance de migration vers le faciès chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique (F/Bordj). Cette évolution atteste d'une origine commune vraisemblablement par dissolution du calcaire.

Référence Bibliographique :

- **Direction des ressources en Eau de la wilaya de Saïda.**
- **DAHMANI M (2016)** ; étude hydrologique et hydrogéologique du bassin versant de l'oued de Saïda ; Mémoire de magister en hydrogéologie ; Université d'Oran 2.
- **Aridité de DEMARTONE** ;(1923).
- **BRIZINI Z et BEDDANE Y (2018)** ; Etude des ressources hydriques dans la région de Saïda ; Mémoire de Master en hydraulique ; Université Saïda Dr Tahar Moulay.
- **BOUDIA A et BOUAMEUR A (2016)** ; Caractérisation hydrochimique et Qualité des eaux souterraines de la Nappe karstique de Saïda ; Mémoire de Master en hydraulique ; Université Saïda Dr Tahar Moulay.
- **ABBAS Y, BRAHIM A et OGUIBA M (2017)** ; Approche hydrogéologique hydrochimique des eaux souterraines dans une zone semi aride : Cas de la Nappe de Saïda ; Mémoire de Master en hydrogéologie et environnement ; université Ibn khaldoun –Tiaret.
- **DJIDI K (2015)** ; Contribution à l'étude de l'aquifère Karstique de Saïda ; Mémoire de doctorat en hydrogéologie ; Université d'Oran 2
- **MEDJBER A et BERKANE F (2016)** ; Quantification et évolution du Bilan de la Nappe Karstique de Saïda (Nord-Ouest de l'Algérie)
- <https://fr.wikipedia.org/wiki/Hydrochimie>
- **BALI K et BENHEDHOUD F (2018)** ; Etude hydrochimique des eaux souterraines de la région de Azzaba –w. skikda –NE Algérien ; Mémoire de Master en hydrogéologie ; Université de Jijel.
- **MOUISSI H (2016)** ; Utilisation de l'analyse en composante (ACP) pur la caractérisation physico-chimique des eaux d'un écosystème aquatique.

Liste des figures

Figure 01 : plan de situation de la willaya de Saïda.....	1
Figure 02 : histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station météorologique de Saïda (1984-2013).....	3
Figure 03 : réparation des températures moyennes mensuelles maximales et minimales à la station, Météo Saïda période de (1984-2013).....	4
Figure 04 : réparation mensuelle de l'humidité relative, station de Saïda (1984,2013).....	5
Figure 05 : Modèle numérique du terrain (M.N.T) du bassin versant de l'Oued Saïda.....	6
Figure 06 : rectangle équivalent du bassin versant de l'oued Saïda	7
Figure 07 : réseau hydrographique du sous bassin versant de l'oued de Saïda	8
Figure 08 : classification du chevelu hydrographique du bassin versant l'oued Saïda.....	9
Figure 09 : droite d'ajustement de Rc et Rl	11
Figure 10 : carte géologique du bassin versant de l'oued Saïda	14
Figure 11 : coupe lithostratigraphie de la région de Saïda.....	15
Figure 12 : répartition des nappes aquifères dans la willaya de Saïda	20
Figure 13 : Carte piézométrique de la zone d'étude (Campagne Mars, 2001).....	23
Figure 14 : source ain bent soltane	24
Figure 15 : processus de la karstification (bakalowicz,2002).....	25
Figure 16 : potentiel de karstification (bakalowicz,2002).....	26
Figure 17 : carte d'inventaire des points de prélèvements.....	29
Figure 18 : schéma du protocole expérimental.....	30
Figure 19 : contribution des variables	34
Figure 20 : cercle de corrélation des paramètres des eaux souterraines de la nappe karstique du Saïda (F1,F2).....	35
Figure 21 : carte d'évolution de Ph.....	36

Figure 22 : carte d'évolution de la conductivité électrique	38
Figure 23 : carte de la variation des concentrations en calcium le long de la nappe karstique du Saïda	39
Figure 24 : carte de la répartition de magnésium dans la nappe karstique du Saïda.....	40
Figure 25 : carte de la répartition de potassium dans la nappe karstique du Saïda.....	41
Figure 26 : Carte de la répartition de sodium dans la nappe karstique du Saïda.	42
Figure 27 : Carte de la répartition de potassium dans la nappe karstique du Saïda.....	43
Figure 28 : carte de répartition de bicarbonates dans la nappe karstique de Saïda.....	44
Figure 29 : carte de la répartition de sulfates dans la nappe karstique du Saïda.....	45
Figure 30 : carte de la répartition de Chlore dans la nappe karstique du Saïda	46
Figure 31 : carte de la répartition de nitrates dans la nappe karstique du Saïda	47
Figure 32 : contribution des différents éléments chimiques	48
Figure 33 : diagramme de piper des points de prélèvement de la nappe karstique	49
Figure 34 : représentation des résultats d'analyses selon le diagramme Stiff.....	50
Figure 35 : représentation des résultats d'analyses selon le diagramme schoeller-Berkalof.....	51
Figure 36 : classification des eaux de la nappe karstique de Saïda dans le diagramme de wilcox	52

Liste des tableaux

Tableau 01 : caractéristique de la station météorologique de Saïda	2
Tableau 02 : les précipitations moyennes mensuelles (1984-2013).....	2
Tableau 03 : température moyenne mensuelle enregistrée (1984-2013),météo Saïda	3
Tableau 04 : répartition mensuelle de l'humidité relative –station de Saïda a (1984-2013).....	4
Tableau 05 : classification des climats selon la valeur de l'indice d'aridité.....	5
Tableau 06 : résultats du calcul l'indice d'aridité pour la zone d'étude.....	6
Tableau 07 : rapport de confluence.....	10
Tableau 08 : rapport de longueur	10
Tableau 09 : liste des sources karstiques au niveau de la région	26
Tableau 10 : valeurs des débits d'exploitation des forages de la nappe karstique	28
Tableau 11 : résultats des analyses physico-chimiques des forages et sources de la zone étudiée.....	31
Tableau 12 : analyse statistique des paramètres physico-chimiques des eaux de la nappe karstique	32
Tableau 13 : matrice de corrélation entre les éléments physico-chimiques des eaux de la nappe karstique du Saïda (Pearson)	33
Tableau 14 : résultat de la représentation des échantillons dans les diagrammes de (piper, Schoeller et Stiff).....	50