



**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE**

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Kasdi Merbah Ouargla



C:.....

R:.....

FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES

Département de : Génie Civil et Hydraulique

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de

Master, Filière: H ydraulique

Spécialité : Forage D'eau

Thème

Etude hydrochimique des eaux de forages destinés à l'irrigation dans la
région de Hassi Ben Abdellah-Ouargla

Présenté par :

- ❖ MAHDJOUBI Moatazz Bellah
- ❖ BOUTADJINE Talha Abdechakour

Soumis au jury composé de :

TOUIL Youcef	MCB	U.K.M Ouargla	Président
Gherairi Yamina	MAA	U.K.M Ouargla	Examineur
BOUZIANE Lamya	MCB	U.K.M Ouargla	Encadreur

Année Universitaire: 2021 / 2022

Remerciements

Nous exprimons toute notre gratitude et sincère dévouement à Dieu Le Tout puissant qui grâce à son aide nous avons terminé ce modeste travail.

Nous tenons à remercier avec gratitude notre encadreur BOUZIANE.L, de nous avoir guidé et suivi tout au long de ce travail, de nous avoir conseillé, encouragé et aussi, prodigué de précieux conseils et nous remercions aussi tous les membres de jury (Mme. GUERAIRI Yamina et Mr. TOUIL Youcef)

Sans oublier nos familles pour le soutien exemplaire moral et matériel continu tout au long de notre cycle universitaire.

Nous remercions vivement l'ensemble du personnel du département de Génie civile et Hydraulique

Sommaire

Sommaire

Liste de tableaux

I-Tableau 01 : Classification des climats en fonction de la valeur de l'indice de DEMARTONNE.....	13
I-Tableau 02 : Calcul l'indice d'aridité de DEMARTONNE.....	13
II-Tableau 03 : Les coordonnées des forages	15
II-Tableau 04 : Les paramètres physiques des puits dans la région de Hassi Ben Abdallah	14
II-Tableau 05 : Les paramètres chimiques de la région Hassi Ben Abdallah	18
II-Tableau 06 : Les résultats de la balance ionique de chaque forage.....	19
II-Tableau 07 : Classification des eaux selon le diagramme de Riverside.....	24
II-Tableau 08 : Classification de l'eau basée sur le pourcentage en Sodium	28
III-Tableau 09 : Les valeurs de température (T)	31
III-Tableau 10 : Les valeurs Débit (Q)	33
III-Tableau 11 : Les valeurs potentiel hydrogène (pH).....	35
III-Tableau 12 : Classification de la qualité de l'eau selon la conductivité électrique	36
III-Tableau 13 : Les valeurs de conductivité électrique (CE).....	36
III-Tableau 14 : Tableau de calcul de la minéralisation à partir de la conductivité.....	39
III-Tableau 15 : Les valeurs de calcium (Ca^{+2})	41
III-Tableau 16 : Les valeurs de magnésium (Mg^{+2})	42
III-Tableau 17 : Les valeurs de sodium (Na^{+})	43
III-Tableau 18 : Les valeurs de potassium (K^{+})	45
III-Tableau 19 : Les valeurs bicarbonate (HCO_3^{-})	46
III-Tableau 20 : Les valeurs chlorure (Cl^{-})	48

Sommaire

III-Tableau 21 : Les valeurs sulfate (SO_4^{2-})	49
III-Tableau 22 : Les valeurs Nitrate (NO_3^-)	50
III-Tableau 23 : Formule et faciès chimique des eaux de la nappe moi-pliocène d'après Diagramme de piper.....	53
III-Tableau 24 : Formule et faciès chimique des eaux de la nappe moi-pliocène d'après Diagramme de Stiff	55
III-Tableau 25 : Formule et faciès chimique des eaux de la nappe moi-pliocène d'après Diagramme de Stabler.....	57
III-Tableau 26 : Les indices d'irrigation de chaque échantillon.....	60
Liste de figures	
I-Figure01 : Carte de la situation géographique de la willaya de Ouargla.....	05
I-Figure 02 : Schématique d'un forage rotary à la boue.....	06
I-Figure 03 : Colonne stratigraphique synthétique de la zone d'Ouargla.....	07
I-Figure 04 : Coupe hydrogéologique transversale du "CT" (UNESCO, 1972).....	08
I-Figure 05 : La variation moyennes mensuelles interannuelle de la température (2007-2017)..	09
I-Figure 06 : La variation moyenne mensuelle interannuelle de la précipitation (2007-2017)...	10
I-Figure 07 : La variation Vitesse moyenne mensuelle interannuelle des vents (2007-2017)....	10
I-Figure 08 : Variation moyenne mensuelle interannuelle de l'évaporation (2007-2017).....	11
I-Figure 09 : La variation moyennes mensuelles interannuelle de l'humidité de l'air (2007-2017).....	11
I-Figure 10 : La variation moyennes mensuelles interannuelle de l'insolation(2007-2017)	12
I-Figure 11 : Courbe Ombro-thermique de Ouargla dans la période (2007-2017).....	12
II-Figure 12 : La carte de la répartition des points prélèvement dans la région Hassi Ben Abdallah.....	16

Sommaire

II-Figure 13 : Le logiciel Surfer.....	20
II-Figure 14 : Diagramme de Piper.....	22
II-Figure 15 : Diagramme de Riverside.....	23
II-Figure 16 : Diagramme de Wilcox.....	25
II-Figure 17 : Diagramme de Stiff.....	26
II-Figure 18 : Diagramme de stabler.....	27
III-Figure 19 : Carte iso-valeur de Température des eaux de la nappe Mio-pliocène de la cuvette de Hassi Ben Abdallah	32
III-Figure 20 : Carte iso-valeur de Débit des eaux de la nappe Mio-pliocène de la cuvette de Hassi Ben Abdallah	34
III-Figure 21 : Carte iso-valeur de potentiel Hydrogène des eaux de la nappe Mio-pliocène de la cuvette de Hassi Ben Abdallah	35
III-Figure 22 : Carte iso-valeur de conductivité électrique des eaux	37
III-Figure 23 : Carte iso-valeur de Salinité des eaux de la nappe Mio-pliocène de la cuvette de Hassi Ben Abdallah	38
III-Figure 24 : la relation entre la salinité et la conductivité électrique.....	40
III-Figure 25 : Carte iso-teneur de Calcium (Ca^{2+}).....	41
III-Figure26 : Carte iso-teneur de magnésium (Mg^{2+}).....	43
III-Figure 27 : Carte iso-teneur de Sodium (Na^+).....	44
III-Figure 28 : Carte iso-teneur de Potassium (K^+).....	45
III-Figure 29 : Carte iso-teneur de bicarbonate (HCO_3^-).....	47
III-Figure 30 : Carte iso-teneur de chlorure (Cl^-).....	48
III-Figure 31 : Carte iso-teneur de Sulfate (SO_4^{2-}).....	50
III-Figure32 : Carte iso-teneur de Nitrate (NO_3^-).....	51

Sommaire

III-Figure 33 : Représentation graphique des eaux souterraines de la région Hassi Ben Abdallah par le diagramme de Piper.....	52
III-Figure 34 : Diagramme de Stiff pour les eaux de la nappe moi-pliocène de la région de Hassi Ben Abdallah	54
III-Figure 35 : Diagramme de Stabler pour les eaux de la nappe moi-pliocène de la région de Hassi Ben Abdallah	56
III-Figure36 : Diagramme de Riverside des eaux de nappe moi-pliocène de la région de Hassi Ben Abdallah	58
III-Figure37 :Diagramme de Wilcox des eaux de nappe moi-pliocène de la région de Hassi Ben Abdallah	59

Sommaire

Introduction générale	2
-----------------------------	---

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

Introduction.....	4
I-1. géographique.....	5
I-2. Géologie des aquifères.....	5
I-3. Les paramètres météorologiques de la région.....	9
I-3.1. Température	9
I-3.2. Précipitations	9
I-3.3. Vitesse de vent	10
I- 3.4. Evaporation	10
I-3.5. Humidité relative de l'air	11
I-3.6. L'insolation	11
I- 4. classification climatique	12
I- 4.1. La courbe pluvio-thermique	12
I- 4.2. Indice d'aridité de DEMARTONNE.....	12
Conclusion	13

Chapitre II : Données d'étude

Introduction.....	15
II-1. Origine des données.....	15
II-2. Les données physico-chimiques.....	16
II- 3. Balance Ionique.....	18
II- 4. Les logiciels utilisés.....	19
II- 4.1. Le logiciel Surfer.....	19

Sommaire

II- 4.2. Le logiciel DIAGRAMME.....	20
a- Diagramme de Piper.....	21
b- Diagramme de Reverside	22
c- Diagramme de Wilcox.....	25
d- Diagramme de Stiff.....	26
e- Diagramme d Stabler	26
II-5 Indices de qualité des eaux d'irrigations.....	27
II-5.1. Pourcentage en sodium (Na%).....	27
II-5.2. Le Magnésium Ratio (Mg%).....	28
II-5.3. L'Indice de Kelly.....	28
II-5.4. Taux d'absorption du sodium(SAR).....	28

Chapitre III : Etude et Analyse des Résultats

Introduction	31
III-1. Les paramètres physico-chimiques	31
III-1.1. Les paramètres physiques	31
III-1.1.1. Température	31
III-1.1.2. Débit.....	32
III-1.1.3. Potentiel Hydrogène (pH)	34
III-1.1.4. Conductivité électrique.	36
III-1.1.5. Salinité et Conductivité électrique	38
III-1.2. Les paramètres chimiques	40
III-1.21. Les cations	40

Sommaire

A. Calcium (Ca^{+2})	40
B. Magnésium (Mg^{+2})	42
C. Sodium (Na^{+})	43
D. Potassium (K^{+}).....	44
III-1.2.2. Les anions	46
A. Bicarbonate (HCO_3^{-})	46
B. Chlorure (Cl^{-})	47
C. Sulfate (SO_4^{-2})	49
D. Nitrate (NO_3^{-}).....	50
III-2. Caractéristiques chimiques des eaux.....	51
III-2.1. Classification selon les formules chimiques des eaux de la nappe Mio-pliocé.....	51
III-2.1.1. Représentation graphique de faciès chimiques par Diagramme de PIPER	52
III-2.1.2. Représentation graphique de faciès chimiques par Diagramme de Stiff	54
III-2.1.3. Représentation graphique de faciès chimiques par Diagramme de Stabler	56
III-2.1.4. Représentation graphique de faciès chimiques par Diagramme de Riverside	58
III-2.1.5. Représentation graphique de faciès chimiques par Diagramme de Wilcox.....	59
III-2.2. Les indice d'irrigation	60
III-2.2.1. Pourcentage en Sodium (N%).....	60
III-2.2.2. L'indice de Kelly.....	60
III-2.2.3. Le Magnésium Ratio.....	60
III-3. Comparaison avec une autre étude	61
Conclusion	61
Conclusion générale	63

Introduction Générale

Introduction Générale

La qualité de l'eau et sa composition sont des facteurs qui peuvent affecter le développement de la plante, la structure du sol et le système d'irrigation. La qualité de l'eau d'irrigation se rapporte principalement à la composition physico-chimique de l'eau, ou plus précisément à la composition minérale de l'eau et à la présence de substances solides ou organiques dans l'eau [1].

Les critères de qualité pour l'eau d'irrigation sont complètement différents des critères pour l'eau potable ; en outre, les critères de qualité peuvent varier d'une culture à l'autre, car différentes cultures ont une sensibilité différente à certains minéraux ou à certaines propriétés de l'eau [1].

Une analyse chimique en laboratoire est nécessaire pour observer les caractéristiques de l'eau. Les paramètres ou les propriétés chimiques qui déterminent la qualité de l'eau pour l'irrigation sont la dureté de l'eau, le pH, l'alcalinité de l'eau et le rapport entre le sodium, le calcium et le magnésium et la salinité de l'eau [1].

La salinité est l'un des paramètres de l'eau que les agriculteurs connaissent le mieux et qui est lié à la qualité de l'eau d'irrigation. Un niveau de salinité trop élevé réduit la capacité de la plante à absorber l'eau. Cela pourrait entraîner une diminution des rendements, le flétrissement et la brûlure des feuilles et d'autres symptômes [1].

Pour les eaux souterraines, la salinité constitue l'un des grands problèmes dans plusieurs zones de monde vu son effet sur la détérioration de la qualité des eaux et l'abaissement des rendements agricoles des sols irrigués. Elle est souvent liée à la nature des formations géologiques, aux faibles précipitations météoriques et à l'effet de l'évaporation [2].

Ainsi, une étude hydrochimique des eaux souterraines a pour but d'évaluer la qualité physicochimique de ces eaux, origine de chaque élément chimique, son comportement par rapport aux autres, son évolution dans l'espace et expliquer les phénomènes à l'origine de la minéralisation de ces eaux [2].

Hassi Ben Abdellah est une commune du district de Sidi Khouiled, province de Ouargla, Algérie. Les terres de la région alternent entre dunes de sable et plaines rocheuses plates parsemées de petites zones d'oasis fertiles. La plupart des populations locales sont employées dans l'agriculture, y compris la culture de palmiers dattiers, d'olives et de grenades.

Les eaux souterraines de la nappe mio-pliocène est la ressource en eau utilisée en irrigation dans cette région.

Le but principal de cette étude hydrochimique est de faire une caractérisation physico-chimique (Les éléments chimiques, le sodium d'adsorption (SAR), Salinité, conductivité électrique, Na%, Mg%, ...) des eaux de la nappe mi-pliocène dans la région de Hassi Ben Abdallah et de vérifier leur aptitude à l'irrigation.

Pour cela, cette étude comporte trois chapitres : le premier chapitre représente la zone de Hassi Ben Abdallah -Ouargla, le deuxième représente les données expérimentales et le dernier chapitre étudie et analyse ces données et on termine avec une conclusion sur l'aptitude de eaux de la région à l'irrigation.

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

Introduction :

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

Dans ce chapitre, nous présentons un aperçu sur le cadre physique de la zone d'étude en particulier sa situation géographique, géologique et climatologique.

I-1. Géographique :

Hassi Ben Abdallah est une commune qui partage ses frontières géographiques avec N'Goussae et Ouargla du coté Nord, la commune d'Ain Al-Baida du coté Sud, la Commune Hassi Messoud et Hejira du coté Est, et Sidi khouiled de le coté Ouest, en plus de cela, il est à 20 km du siège de l'état et à 8 km du district de Sidi Khouiled. Une superficie de 3060 km²

X= 32° 01' 33" N

Y= 5° 28' 07" E

Z= 159 m

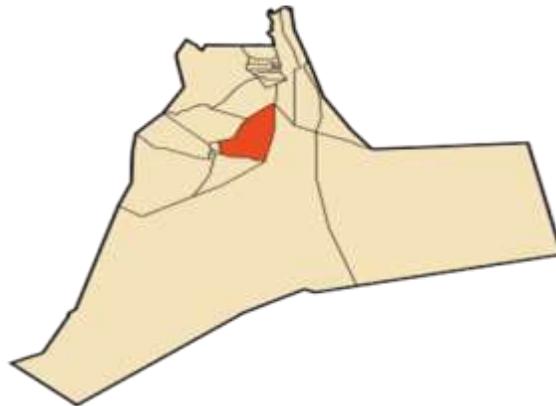


Figure 01 : Carte de la situation géographique de la wilaya de Ouargla.

I-2. Géologie des aquifères :

Le log stratigraphique établi (fig. 3) révèlent quatre niveaux de formations aquifères, à savoir :

- Les grès et les argiles sableuses de la nappe de l'Albien du Continental Intercalaire (CI) d'une épaisseur de 600 m environ, située à 1000 m de profondeur;
- Les calcaires, avec la nappe du Sénono-Eocène carbonatés, d'épaisseur de 300 m, sise à une profondeur de 200 m ;

- L'ensemble détritique (sables, argiles, et évaporites) des formations continentales, avec la nappe du Mio-Piocène, environ;
- Les sables du Quaternaire avec la nappe superficielle, située à une profondeur de 2 m en moyenne [3].

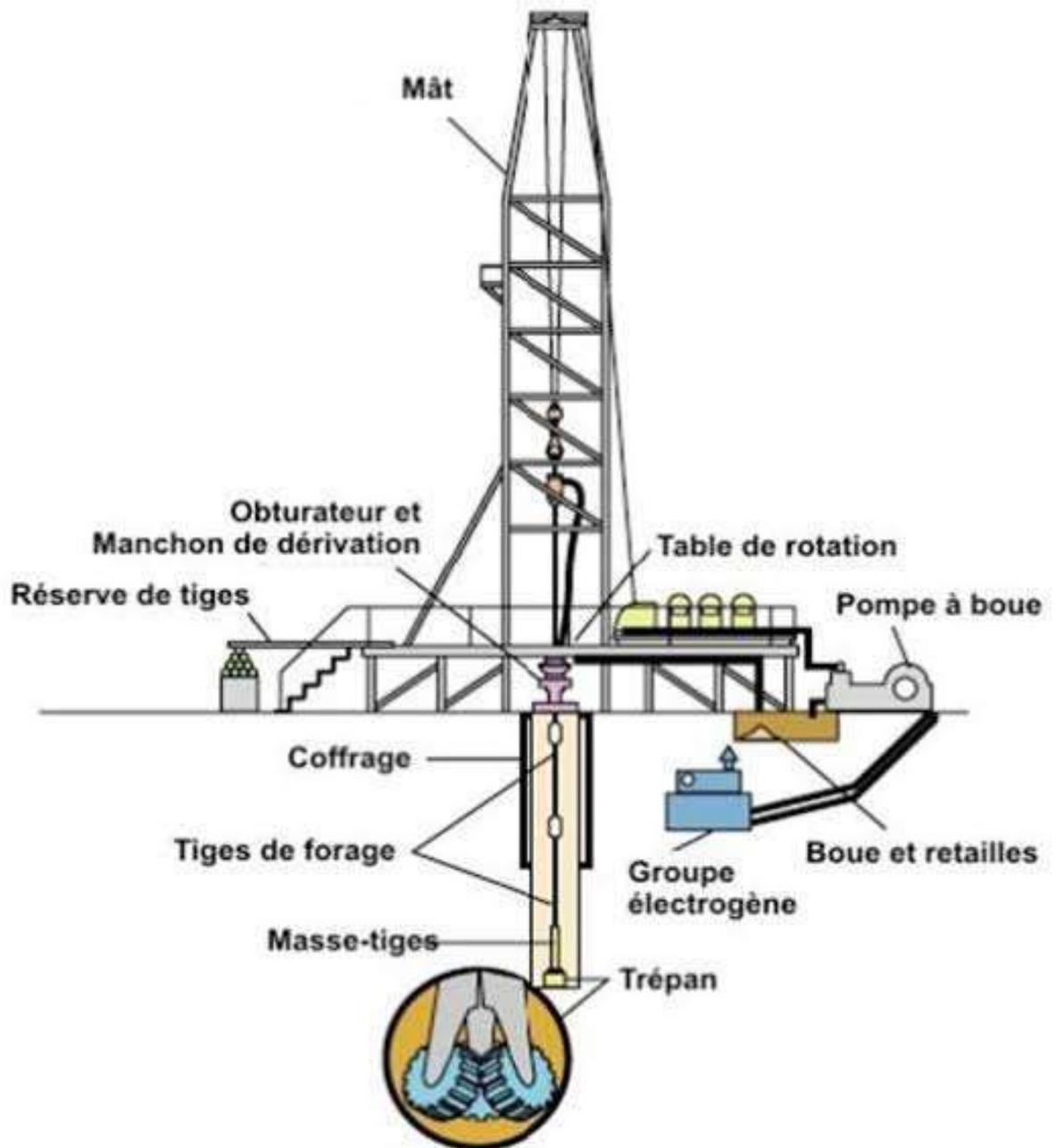


Figure 02: Schématique d'un forage rotary à la boue.

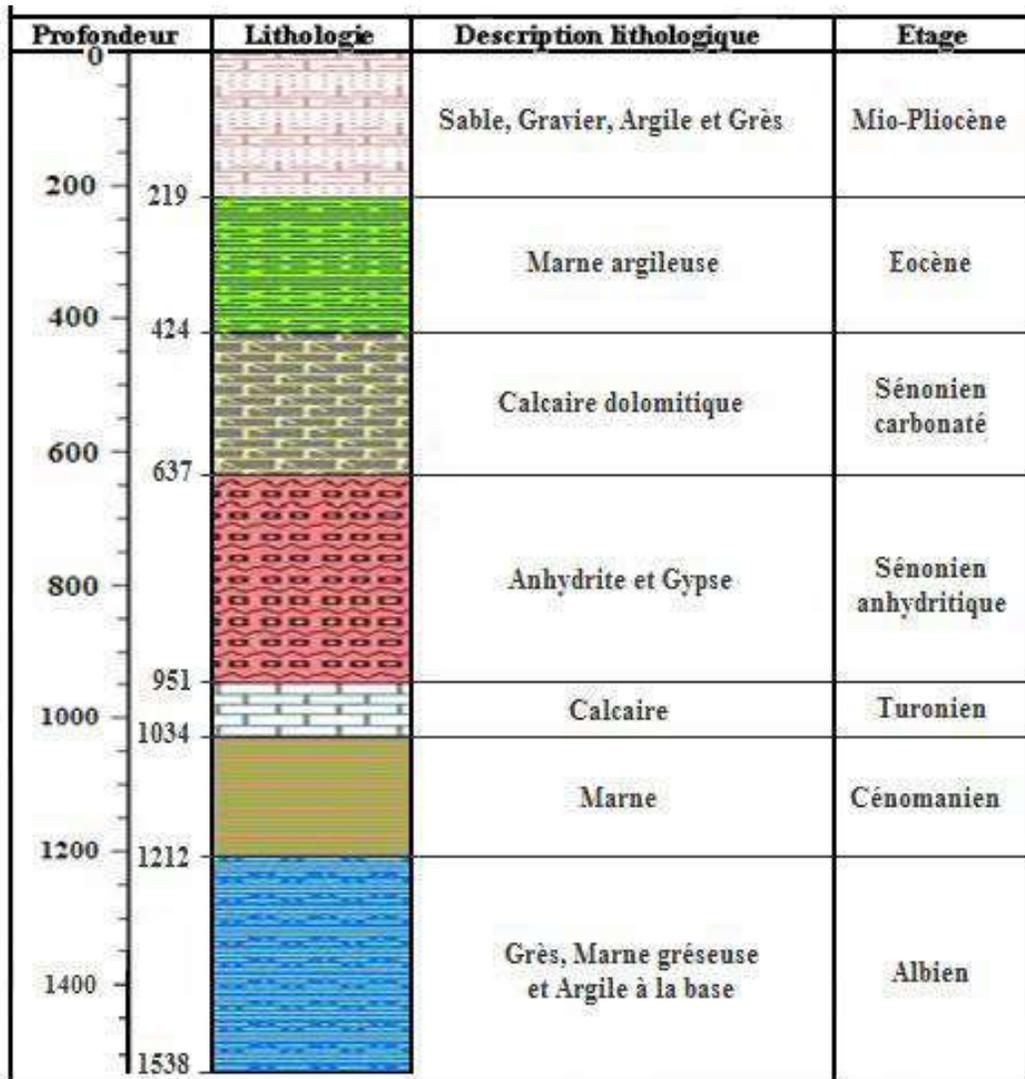


Figure 03: Colonne stratigraphique synthétique de la zone d'Ouargla [3].

- **La nappe phréatique**

Contenue de sable quaternaires, de faible profondeur 1 à 8 m, de la surface de sol et repose sur un niveau imperméable étanche, qui occupe tout le fond de la vallée qui occupe tout le fond et l'isole des nappes artésiennes sous-jacentes.

La nappe phréatique est inexploitable par les consommateurs à cause de sa contamination par l'infiltration des eaux usées et de sa forte salinité.

- **La nappe du complexe terminal (CT)**

D'une superficie de 350000 km² et d'une réserve de 1736.38 hm³/an. /an. Sa profondeur est inférieure de 400 m. Elle regroupe les nappes du mio-pliocène et la nappe du sénonien. Les eaux de cette nappe sont généralement plus chargées en sels, dont la température de 25°C à 30°C le pH est de l'ordre de 8,5.

La nappe mio-pliocène

L'exploitation de la nappe mio-pliocène est extrêmement ancienne, cette nappe se trouve à une profondeur de 60 à 200 m. sa salinité varie de 1,8 et 4,6 g/l, alors que sa température est de 25 °C. Elle s'écoule de Sud-Ouest vers le Nord-Est en direction du Chott Melrir.

On distingue quatre niveaux différents dans le Mio-pliocène à Ouargla,

- premier niveau : Basal, représenté par un dépôt argileux, peu épais, qui repose sur le Sénonien et l'Eocène dans la partie centrale de la cuvette suivant une bande Nord-Sud.
- Deuxième niveau : C'est un dépôt grésos-sableux devenant argileux vers le sommet, c'est le niveau le plus épais et forme le principal horizon aquifère du Mio-Pliocène.
- Troisième niveau : n'apparaissant que dans certains endroits, ce niveau est caractérisé par des sédiments argilo-sableux.
- Quatrième niveau : C'est le deuxième niveau sableux du Mio-Pliocène. Il est très épais dans la zone des chotts où il affleure sur de grandes surfaces. Il est reconnu par une croûte de calcaire gréseux (croûte des hamadas).
- **La nappe sénonien**

Cette seconde nappe artésienne de la vallée de Oued- Mya est connue par sa salinité variant de 1.8 à 4.4 g/l, et sa température de l'ordre de 30°C. Cette nappe se trouve à des profondeurs variant de 180 à 350 m.

La nappe du continentale intercalaire

D'une superficie de 800000 Km² et d'une réserve de 627.30.il s'agit de la nappe albienne. Les eaux de cette nappe sont de type sulfato-sodique dont la température variant de 51 à 60°C, le pH est de 7.7 à 8.8. En rencontre cette aquifère a des profondeurs allant de 1000 à 1500 m.

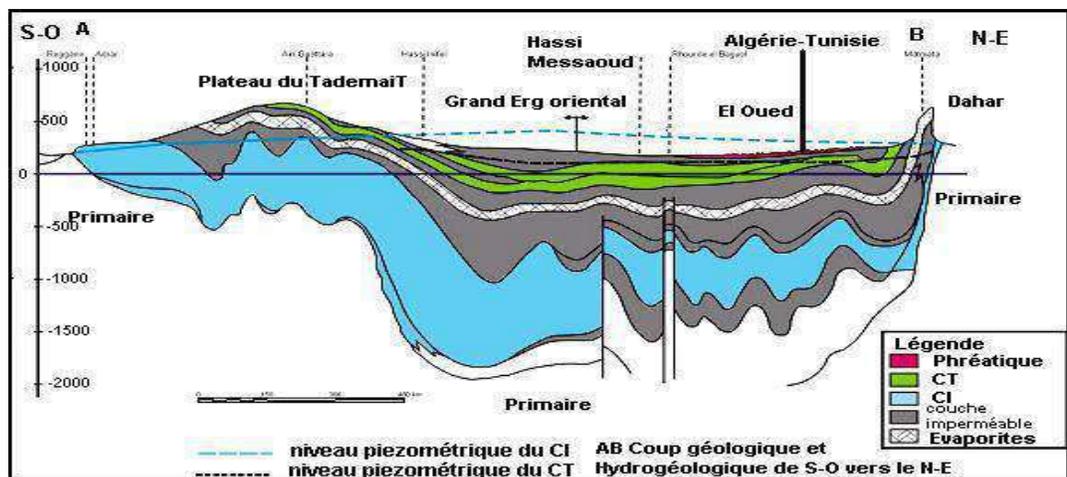


Figure 04: Coupe hydrogéologique transversale du "CT" (UNESCO,1972).

I-3. Les paramètres météorologiques de la région :

I-3.1. Température :

La température est la sensation de froid et chaud de l'air mesurée grâce à un thermomètre. Les températures sont influencées par des facteurs comme la latitude, l'altitude, la saison etc. On dispose des données de températures moyennes mensuelles de la station d'Ouargla de la période de (2007-2017).

Pour évaluer la variation des températures moyennes mensuelles, nous avons établi le tableau et l'histogramme relatif à cette situation.

La température moyenne mensuelle : Le tableau (Voir l'annexe n°01) donne les valeurs de température moyennes mensuelles observées dans cette période (2007-2017).

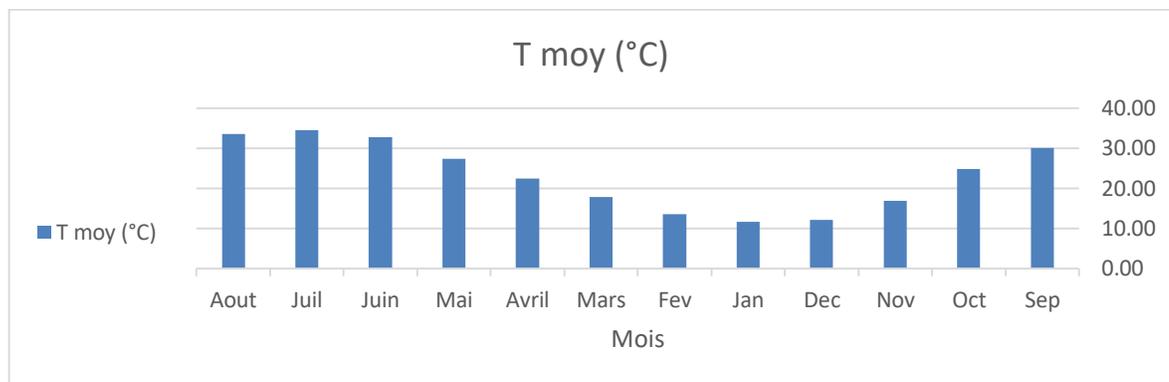


Figure 05 : La variation moyennes mensuelles interannuelle de la température (2007-2017).

D'après les données climatiques de la station d'Ouargla, la région est caractérisée par un climat chaud et sec, on constate dans cette période, la température décroît du mois de juillet (maximum : 34.48°C) jusqu'au mois de janvier (minimum : 11.64 °C). Les mois les plus chauds sont Aout et Juillet.

I-3.2. Les précipitations :

Les précipitations ont pratiquement toujours lieu sous forme de pluies. Ces dernières sont caractérisées par leur faible importance quantitative et les pluies torrentielles sont rares.

La précipitation est la chute de l'eau contenue dans l'atmosphère au sol. Les variations moyennes mensuelles interannuelles des précipitations d'une durée d'observation de 10 ans entre 2007-2017 sont de l'ordre de 56.3 mm, La pluviométrie maximale est de l'ordre de 12.58 mm enregistré pendant le mois de October, et le minimum est de l'ordre de 0,13 mm enregistré pendant le mois de Juin. (Voir l'annexe n°01)

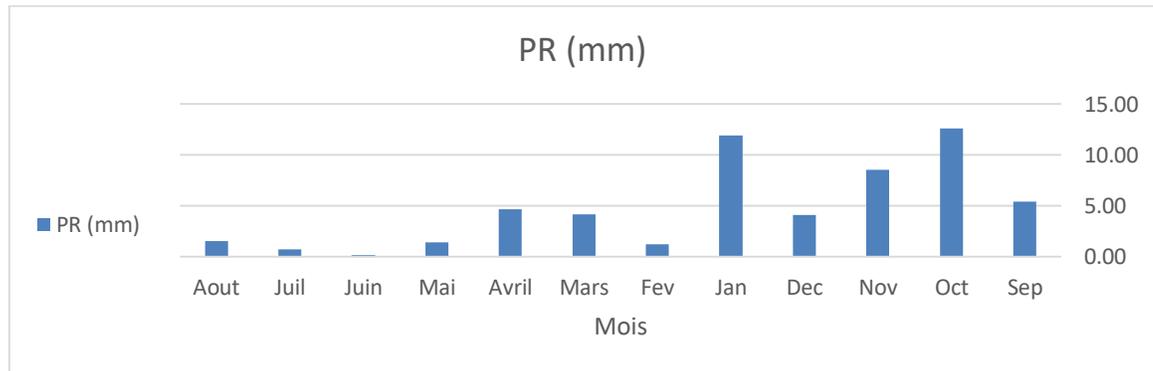


Figure 06 : La variation moyenne mensuelle interannuelle de la précipitation (2007-2017).

I-3.3. Vitesse du vent :

Dans les régions d'étude, les vents soufflent pendant toute l'année avec une vitesse variable allant de 2,73 m/s en décembre à 4,65 m/s au mois de mai dans la région de Ouargla. Les vitesses de vent sont forte sur toute la période estivale (Mai) avec un maximum entre le mois d'Avril et Mai. (Voir l'annexe n°1)

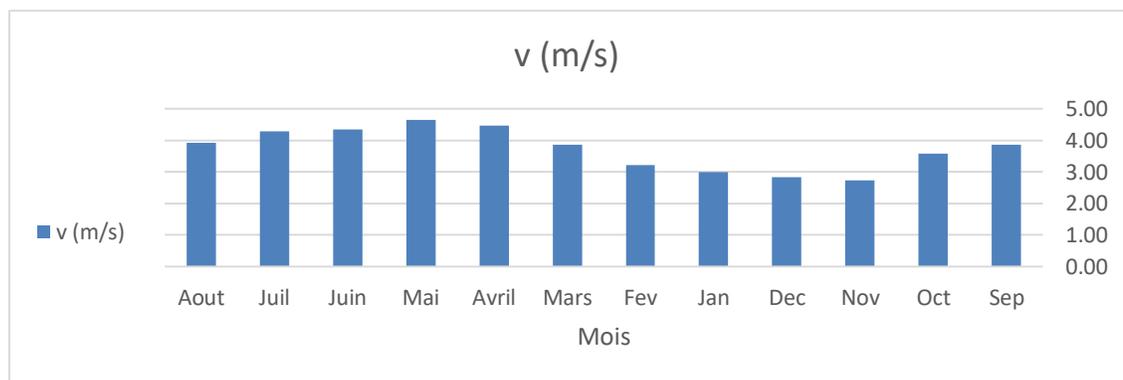


Figure 07 : La variation Vitesse moyenne mensuelle interannuelle des vents (2007-2017).

I-3.4. Evaporations :

Dans la région de Ouargla, l'évaporation est d'une moyenne de l'ordre de 266.39 mm/an avec un minimum de 92.35 mm en décembre et un maximum de 475.45 mm en juillet. (Voir l'annexe n°1)

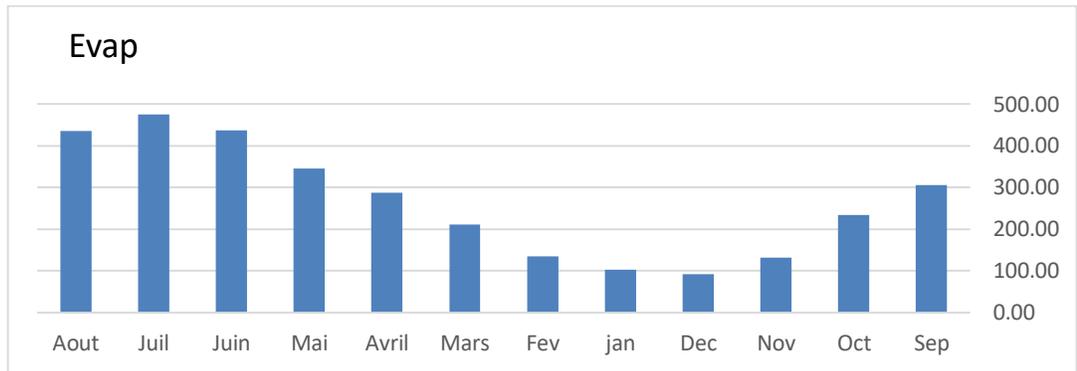


Figure 08 : Variation moyenne mensuelle interannuelle de l'évaporation (2007-2017).

I-3.5. Humidité de l'air :

L'humidité relative de l'air est faible, elle varie sensiblement en fonction des saisons. En effet pendant l'été, elle chute jusqu'à 25,73 % au mois de juillet dans la région de Ouargla. Sous l'action de l'évaporation, elle s'élève en hiver et atteint 61,27 % au mois de décembre. (Voir l'annexe n°1)

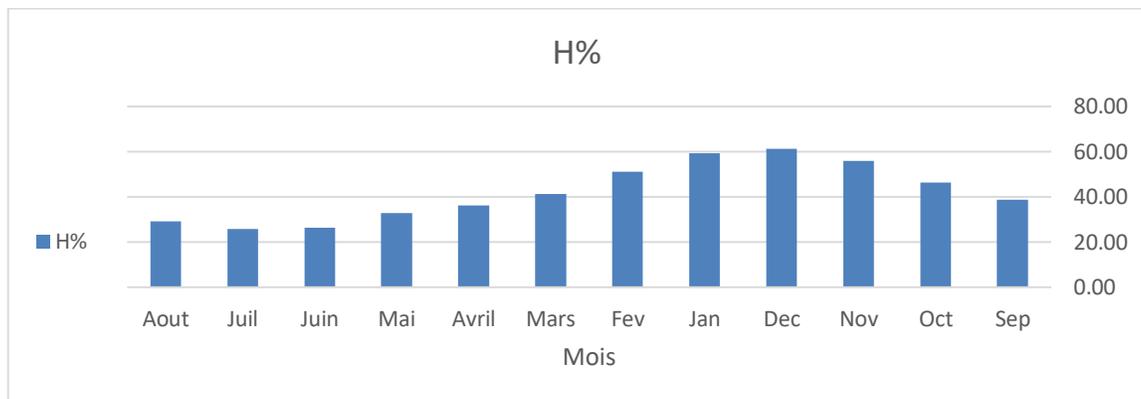


Figure 09 : La variation moyennes mensuelles interannuelle de l'humidité de l'air (2007-2017).

I-3.6. Insolation :

L'insolation est la mesure du rayonnement solaire que reçoit une surface au cours d'une période donnée. La durée d'ensoleillement est généralement exprimée en une moyenne d'heures par mois. (Voir l'annexe n°1)

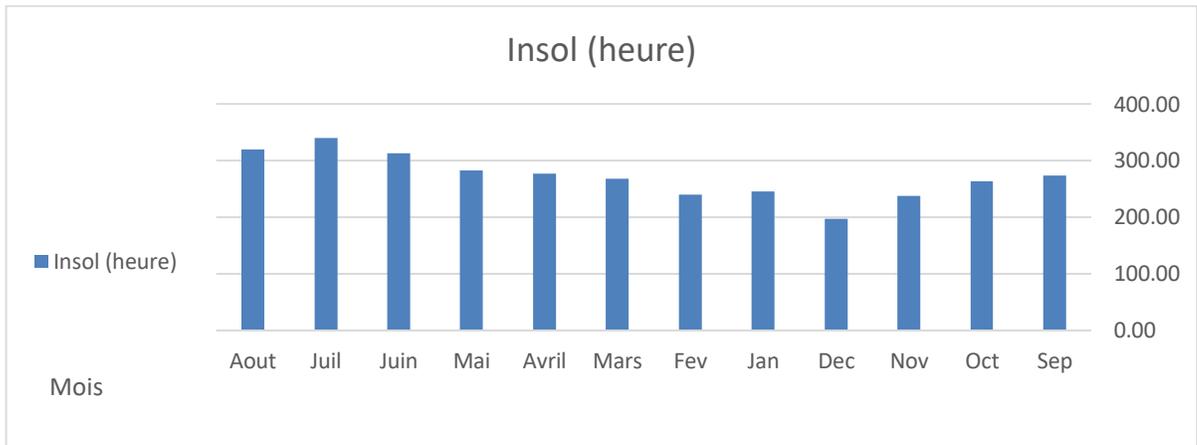


Figure 10 : La variation moyennes mensuelles interannuelle de l'insolation (2007-2017).

I-4. Classification climatique :

I-4.1. La courbe pluvio-thermique :

Ce diagramme est établi par Gaussen et Bagnoul dans le but de déterminer les périodes sèches et humides à partir de deux paramètres climatiques : la température et la précipitation.

Si les précipitations moyennes mensuelles d'un mois sont inférieures ou égales au double de températures mensuelles de même mois ($P \leq 2T$), la période est dite sèche.

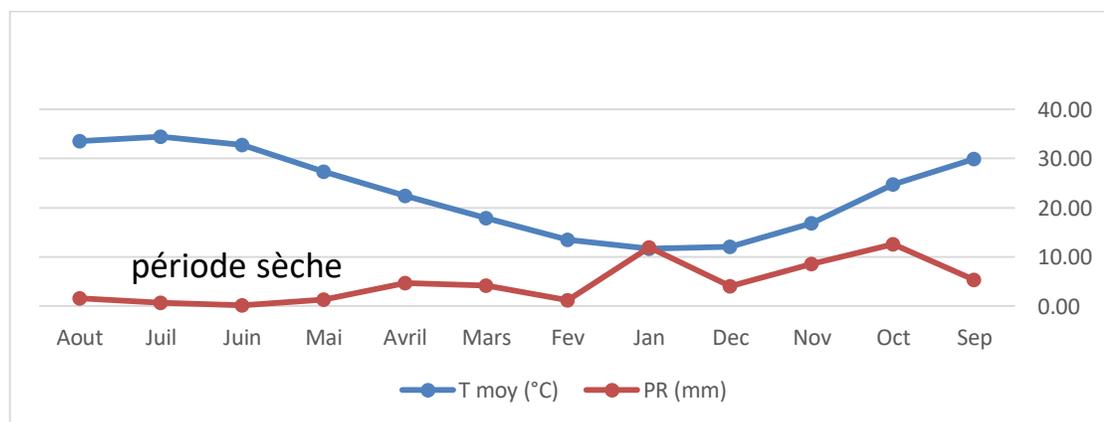


Figure 11 : Courbe Ombro-thermique de Ouargla dans la période (2007-2017).

A partir de (la figure 11) en peut dire que le climat de la région étudiée est caractérisé par une seule saison sèche s'étalant sur toute l'année.

I- 4.2. Indice d'aridité de DEMARTONNE :

Pour confirmer le type de climat en doit être étudié La notion Indice d'aridité de DEMARTONNE. D'après DEMARTONNE l'indice est exprimé comme suit [4] :

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

- P : la précipitation moyenne annuelle (mm) ;
- T : la température moyenne annuelle (C°) ;
- I : l'indice d'aridité.

Tableau 01 : Classification des climats en fonction de la valeur de l'indice de DEMARTONNE.

Valeur 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
$30 < I < 55$	Humide

Tableau 02 : Calcul l'indice d'aridité de DEMARTONNE.

Précipitations (mm)	56.20
Température (C°)	23.11
Indice d'aridité de DEMARTONNE	1.7

D'après les résultats obtenu dans les tableaux ci dessus et les résultats des calculs montre que $I = 1.7$ donc $0 < I < 5$.

- Le type de climat : Hyper- aride.

Conclusion

Après traitement des données climatique, nous avons constaté que :

De raretés précipitations au mois de Octobre avec un maximum (12.58 mm), et un minimum (0,13 mm) au mois de juin, alors dans notre région on remarque une augmentation de température qui varie avec un maximum au mois de juillet (34.48°C), et un minimum (11.64 °C) dans le mois de janvier. Cette étude est complétée par les facteurs climatiques tels que ; évaporation, Humidité relative de l'air, Vitesse de vent, L'insolation; et pour confirmer ce type de climat, on à étudié l'Indice d'aridité de DEMARTONNE qui donne une valeur de (1.7). D'après ces données notre région est marquée par un climat hyper-aride.

Chapitre II : Données d'étude

Introduction :

L'eau l'élément vital le plus précieux sur toutes les différentes nappes dans la région de Hassi Ben Abdallah et vue leur surexploitation, il devient menacé sur le plan chimique (qualité) c'est pour cela l'état a confié la gestion quantitative et qualitative.

II-1. Origine des données :

La source des données utilisées dans notre étude est L'Agence National Des Ressources Hydriques (ANRH) de Ouargla.

Nous avons sélectionné les données de douze (12) forages pour la région de Hassi Ben Abdallah (Tableau 03).

Tableau 03 : les coordonnées des forages.

Forage	Nom	Nappe	Longit	Latitu	Altitu (m)
01	DIF DIF	Mio-Pliocène	05°32'42"	32°00'36"	135
02	EL AFRAH	Mio-Pliocène	05°36'40"	31°54'03"	142
03	ESSAFAA	Mio-Pliocène	05°31'57"	32°00'06"	146
04	GARET CHOUF	Mio-Pliocène	05°32'46"	32°01'47"	146
05	CHERAK ALI	Mio-Pliocène	05°34'20"	32°01'29"	
06	El Ahram	Mio-Pliocène	05°28'34"	31°56'49"	148
07	Rabha	Mio-Pliocène	05°31'46"	32°00'49"	156
08	Talbi	Mio-Pliocène	05°27'05"	31°59'40"	
09	HASSI SAYEH	Mio-Pliocène	05°34'02"	31°54'57"	143
10	Perimtre El Astikama Babziz	Mio-Pliocène	05°28'16"	31°59'33"	152
11	ESSAFA	Mio-Pliocène	05°32'12"	31°59'32"	146
12	KURBA1	Mio-Pliocène	05°30'26"	31°58'58"	144

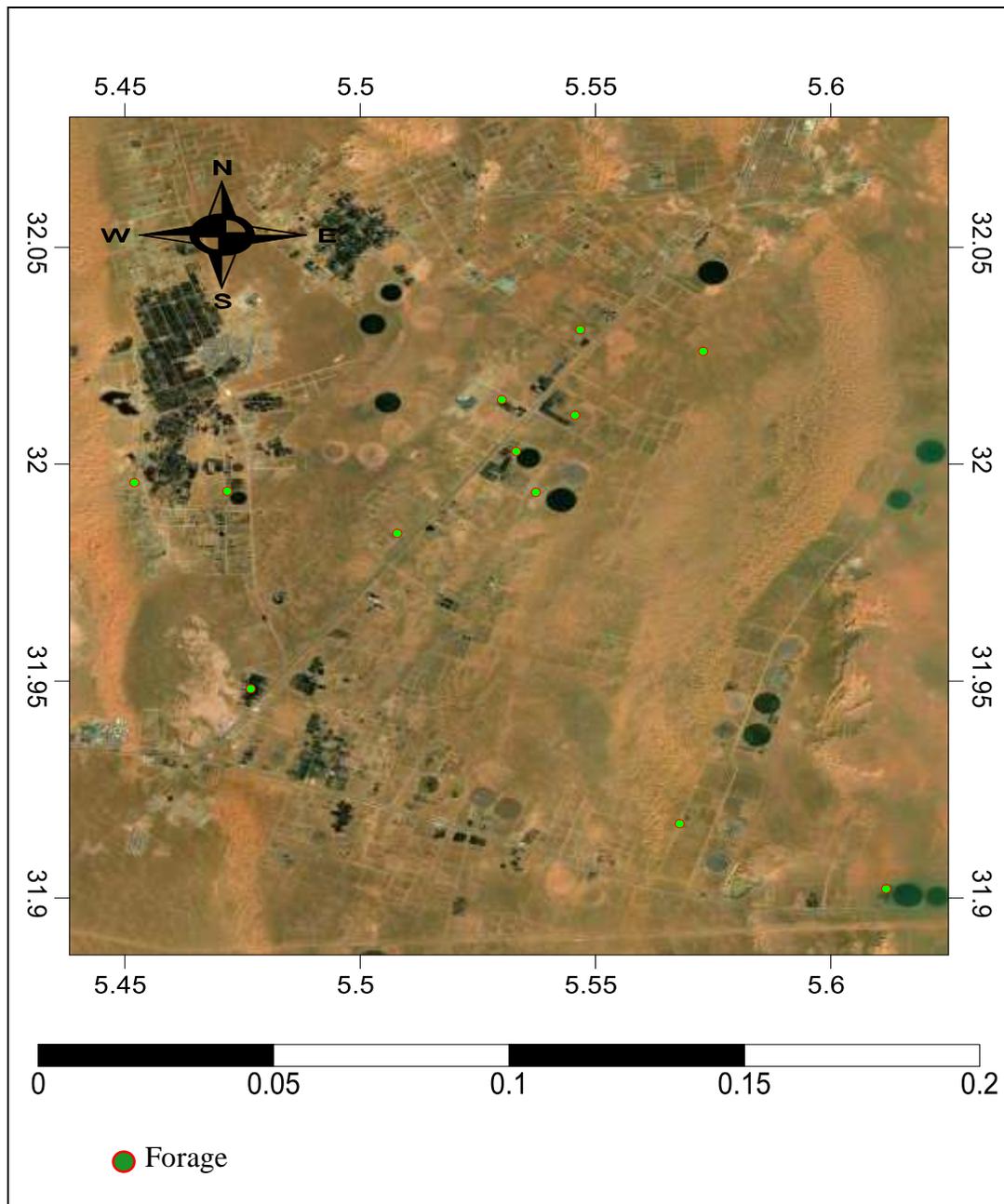


Figure 12 : La carte de la répartition des points prélèvement dans la région Hassi Ben Abdallah.

II-2. Les données physico-chimiques :

Afin de connaître la qualité des eaux, nous avons exploité les données relatives aux analyses physico-chimiques correspondant aux points d'eau sélectionnés.

Les résultats qui nous intéressent ce sont les paramètres physiques : potentiel Hydrogène (pH), Salinité, température, conductivité électrique, ainsi que les paramètres chimiques qui sont les

concentrations du calcium, magnésium, sodium, chlorure, potassium, nitrate, sulfate et les bicarbonates.

Les données des analyses physiques et chimiques des eaux de la région Hassi Ben Abdallah sont regroupées dans les deux tableaux suivants :

Tableau 04 : les paramètres physiques des puits dans la région de Hassi Ben Abdallah .

N°	Nom	T(°C)	CE (µs/cm)	Ph	Salinité (mg/l)
01	DIF DIF	23	5080	7.8	4774
02	EL AFRAH	24	5400	8	4188
03	ESSAFAA	23	5990	7.7	4550
04	GARET CHOUF	20	5500	8.2	4228
05	CHERAK ALID	25	5200	7.7	3996
06	El Ahram	25.6	3560	7.9	4716
07	Rabha	23	5600	7.8	3762
08	Talbi	23	5970	8	4354
09	HASSI SAYEH	25.6	6000	7.9	4598
10	Perimètre El Astikama Babziz	23.7	4750	8.1	3558
11	ESSAFA	25.6	6200	8	4664
12	KURBA	20.7	6230	8.3	4756

Tableau 05 : les paramètres chimiques de la région Hassi Ben Abdallah

N°	Forage	Ca ⁺² (mg/l)	Mg ⁺² (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻² (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)
01	DIF DIF	170	274	680	27	1350	1200	92	100
02	EL AFRAH	155	262	680	25	1212	1040	101	36
03	ESSAFAA	168	289	706	28	1500	625	113	40
04	GARET CHOUF	150	276	550	24	875	1165	113	27
05	CHERAK ALI	160	291	650	22	1425	1000	189	31
06	El Ahram	158	306	726	24	1625	1040	95	34
07	Rabha	148	271	500	20	1250	565	92	26
08	Talbi	155	316	540	21	1175	1265	88	26
09	HASSI SAYEH	166	262	760	26	1350	1100	116	37
10	Perimtre El Astikama Babziz	155	350	680	28	1763	400	104	26
11	ESSAFA	320	286.7	875	21	1425	1500	149.45	5.75
12	KURBA	154	274	550	23	1140	1000	125	26

II-3. Balance Ionique :

$$BI = \frac{\sum(cations) - \sum(anions)}{\sum(cations) + \sum(anions)} \times 100$$

Le calcul de la balance ionique permet généralement de vérifier la fiabilité des résultats des analyses chimiques. Cependant, les incertitudes sur les résultats, variables selon les techniques d'analyse, peuvent expliquer les erreurs parfois élevées sur les balances ioniques, à cause de la présence éventuelle d'anions organiques non pris en compte dans les calculs.

D'une manière générale, les analyses chimiques sont considérées :

- Bonne lorsque $BI < 5\%$;
- Acceptable lorsque $5\% < BI < 10\%$;
- Douteuse lorsque $BI > 10\%$.

Ainsi, le contrôle de la qualité des données par la méthode suscitée est appliqué à toutes les analyses. Les résultats de la région de Hassi Ben Abdallah sont exprimés dans le tableau qui va suivre :

Tableau 06 : les résultats de la balance ionique de chaque forage.

Forage	Nom	Longitude	Latitude	BI
01	DIF DIF	05°32'42"	32°00'36"	-4%
02	EL AFRAH	05°36'40"	31°54'03"	+1%
03	ESSAFAA	05°31'57"	32°00'06"	+5%
04	GARET CHOUF	05°32'46"	32°01'47"	+3%
05	CHERAK ALI	05°34'20"	32°01'29"	-3%
06	El Ahram	05°28'34"	31°56'49"	-3%
07	Rabha	05°31'46"	32°00'49"	+3%
08	Talbi	05°27'05"	31°59'40"	-3%
09	HASSI SAYEH	05°34'02"	31°54'57"	+0%
10	Perimtre El Astikama Babziz	05°28'16"	31°59'33"	+5%
11	ESSAFA	05°32'12"	31°59'32"	+3%
12	KURBA	05°30'26"	31°58'58"	+1%

Selon le contrôle de fiabilité certains résultats sont de qualité acceptable à bonne.

II- 4. Les logiciels utilisés :

II- 4.1. Le logiciel Surfer :

Conçu par Golden Software, nous permet de réaliser des Modèles Numériques de Terrain (MNT) issus des données quand aura récoltées sur le Terrain via De GPS ou bien en ce basant sur une carte déjà préétablie.

Le principe De Surfer est le suivant : le logiciel permet de créer des Grilles qui vont interpoler les données irrégulières de nos points x, y, z afin de les ordonnées.

C'est à partir de ces grilles que l'on pourra créer plusieurs types de cartes :

- Base map
- contour map,
- 3D surface,
- vector et bien d'autres.

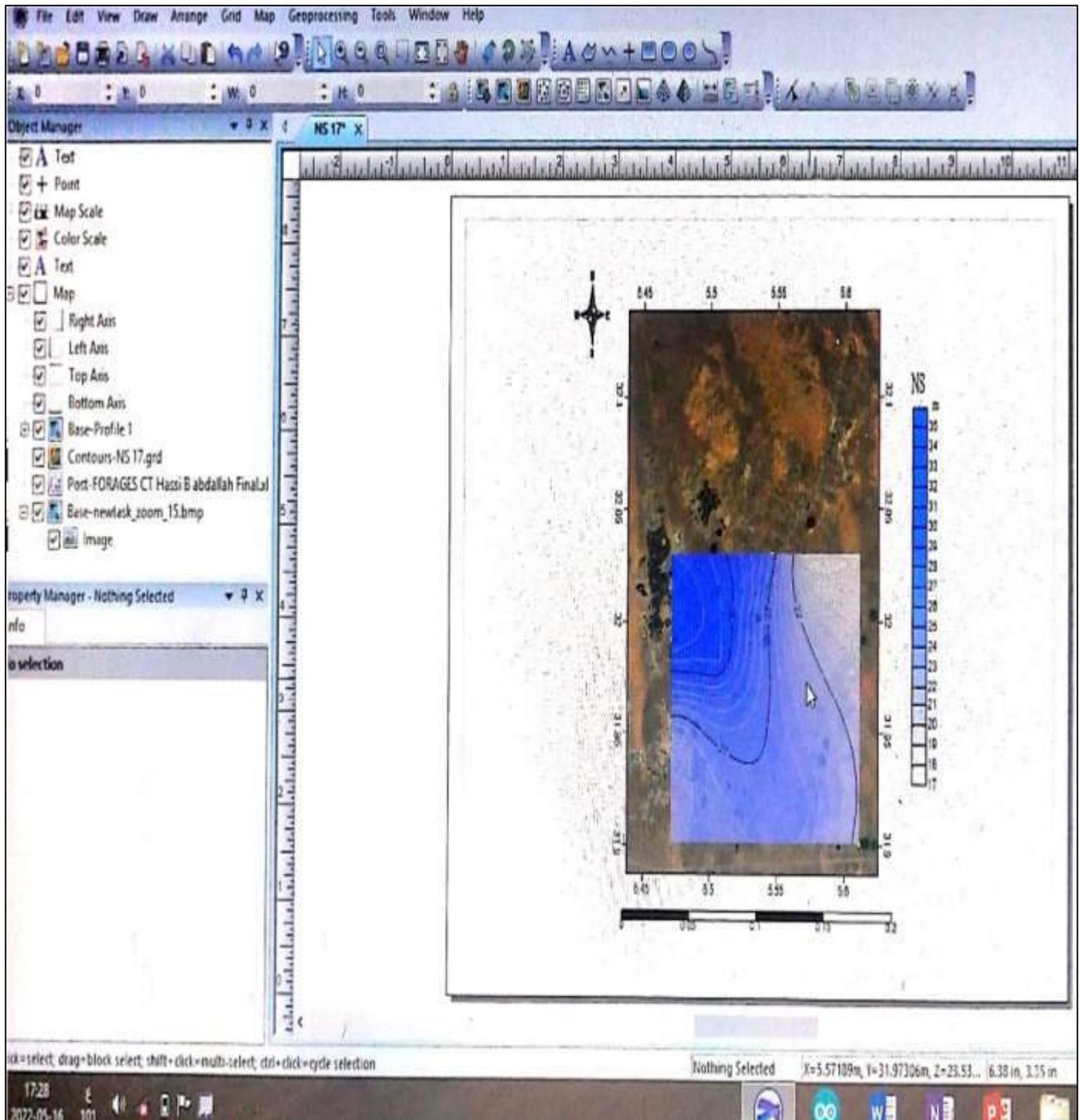


Figure 13 : Interface du logiciel Surfer

II- 4.2. Le logiciel DIAGRAMME :

Pour faire la description de la composition des eaux naturelles on doit analyser les Faciès chimiques. La nécessité d'une comparaison aisée voire une classification des eaux naturelles nécessite l'utilisation des représentations graphiques.

De ce fait, plusieurs représentations sont utilisées parmi lesquelles on peut citer :

- le diagramme de Piper,
- le diagramme de Stiff,
- diagramme d Riverside,
- diagramme de wilcox,
- et autres.

a- Diagramme de Piper :

Le Diagramme de Piper est l'une des représentations les plus classiques pour comparer les compositions chimiques des eaux naturelles. Il permet une représentation des cations et anions sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives de chacun des ions majeurs par rapport au total des ions. La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces triangles permet de préciser en premier lieu la dominance cationique et anionique. A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point d'intersection représente l'analyse globale de l'échantillon. Cette position permet de préciser le faciès de l'eau naturelle concernée.

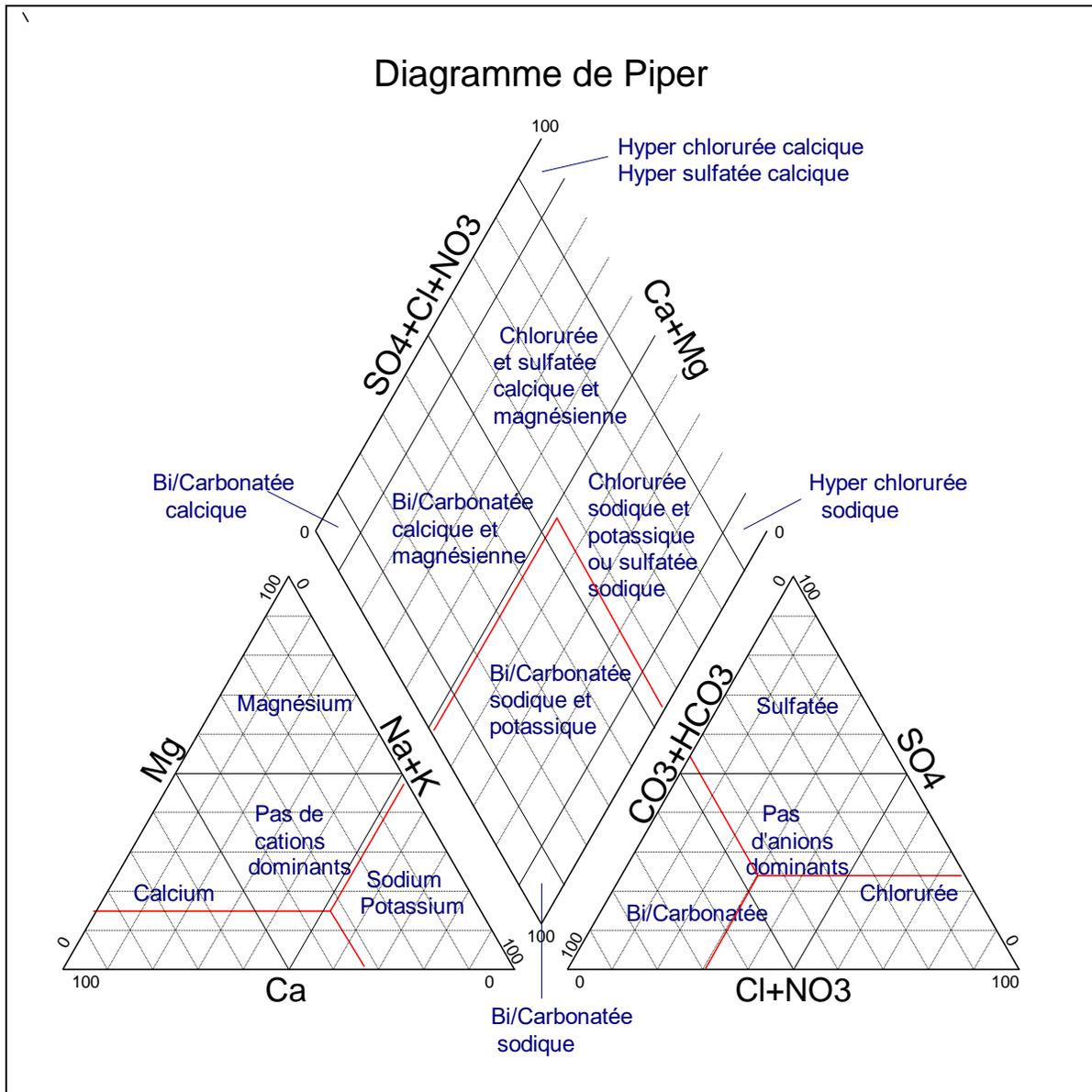


Figure 14 : Diagramme de Piper

b- Diagramme de Riverside :

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) aussi appelé (pouvoir alcalisant) qui est une mesure du risque de la sodisation du sol du fait de l'irrigation. Le diagramme est découpé en quatre classes de salinité (axe des abscisses) et quatre classes de risques de sodisation (axe des ordonnées).

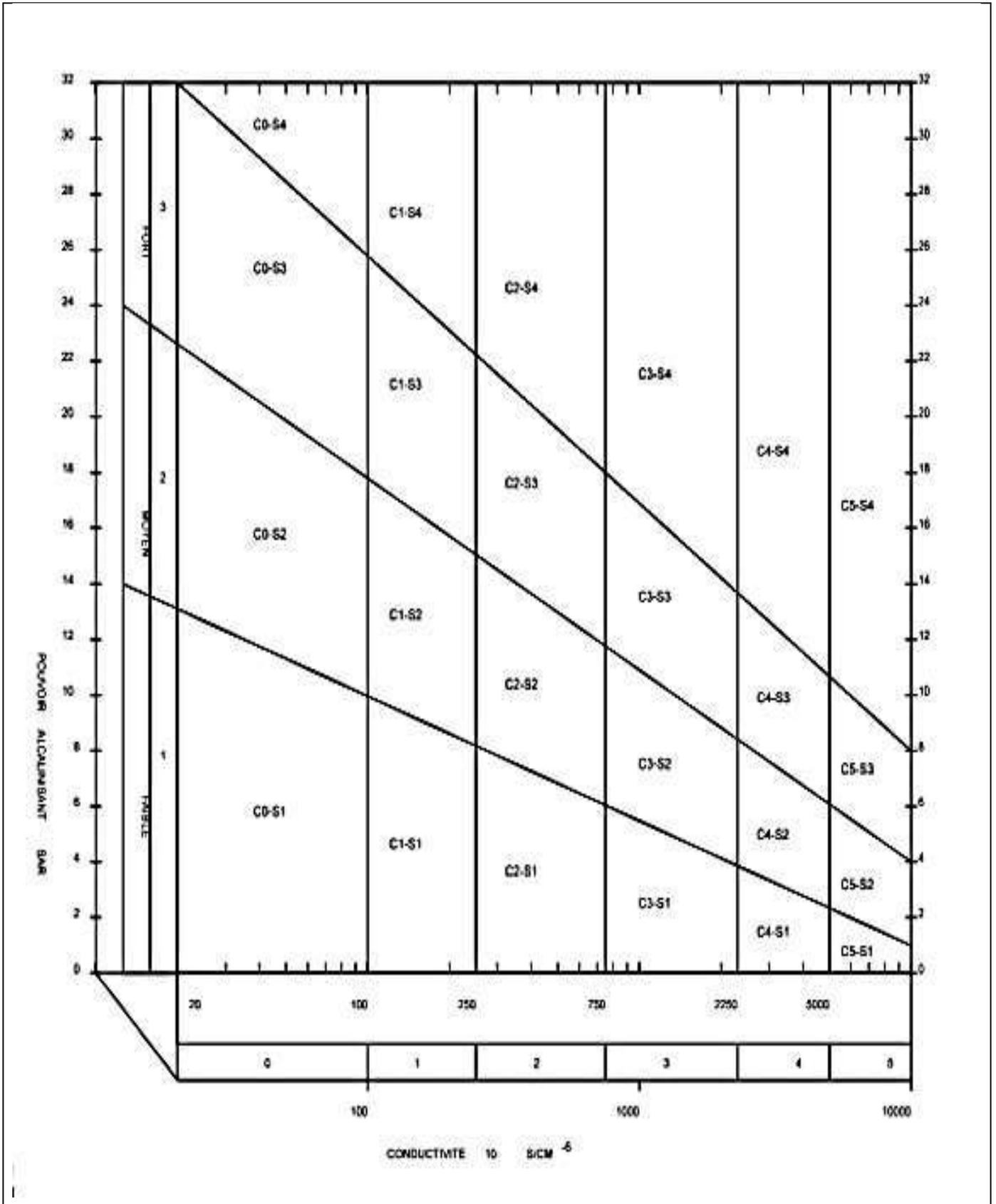


Figure 15 : diagramme de Riverside

L'aptitude des eaux à l'irrigation selon le diagramme de Riverside est interprétée à partir le tableau suivant :

Tableau 07 : Classification des eaux selon le diagramme de Riverside.

Indice Croisé SAR/Conductivité	Indication
C1-S1	- eau utilisable pour la plupart des espèces cultivées et des sols
C1-S2	- eau utilisable pour la plupart des espèces cultivées - le sols doit être bien drainé et lessivé
C1-S3	- le sol doit être bien préparé, bien drainé et lessivé, ajout de matières organiques - la teneur relative en Na peut être améliorée par l'adjonction de Gypse
C1-S4	- eau difficilement utilisable dans les sols peu perméables - le sol doit être bien préparé, très bien drainé et lessivé, ajout de matières organiques - La teneur relative en Na peut être améliorée par l'adjonction de Gypse
C2-S1	- eau convenant aux plantes qui présentent une légère tolérance au sel
C2-S2	- eau convenant aux plantes qui présentent une légère tolérance au sel - sol grossier ou organique à bonne perméabilité
C2-S3	- eau convenant aux plantes qui présentent une certaine tolérance au sel - sol grossier et bien préparé (bon drainage, bon lessivage, addition de matières organiques) - l'adjonction périodique de Gypse peut être bénéfique
C2-S4	- eau ne convient généralement pas pour l'irrigation
C3-S1	- eau convenant aux plantes qui présentent une bonne tolérance au sel - sol bien aménagé (bon drainage) - contrôle périodique de l'évolution de la salinité
C3-S2	- eau convenant aux plantes qui présentent une bonne tolérance au sel - sol grossier ou organique à bonne perméabilité, bon drainage - contrôle périodique de l'évolution de la salinité - l'adjonction périodique de Gypse peut être bénéfique
C3-S3	- espèces tolérantes au sel - sol très perméable et bien drainé

Tableau 2 : Bis

C3-S4	- eau ne convient pas à l'irrigation
C4-S1	- eau ne convient pas à l'irrigation dans les conditions normales - peut être utilisée si les espèces ont une bonne tolérance à la salinité et le sol est particulièrement bien drainé
C4-S2	- eau ne convient pas à l'irrigation dans des conditions normales - peut être utilisée si les espèces ont une très bonne tolérance à la salinité et le sol est particulièrement bien drainé
C4-S3	- eau ne convient pas à l'irrigation
C4-S4	- eau ne convient pas à l'irrigation
C5-S3	- eau ne convient pas à l'irrigation

c- Diagramme de wilcox

D'après WILCOX qui classe les eaux à partir de leur proportion en sodium en fonction de la conductivité électrique.

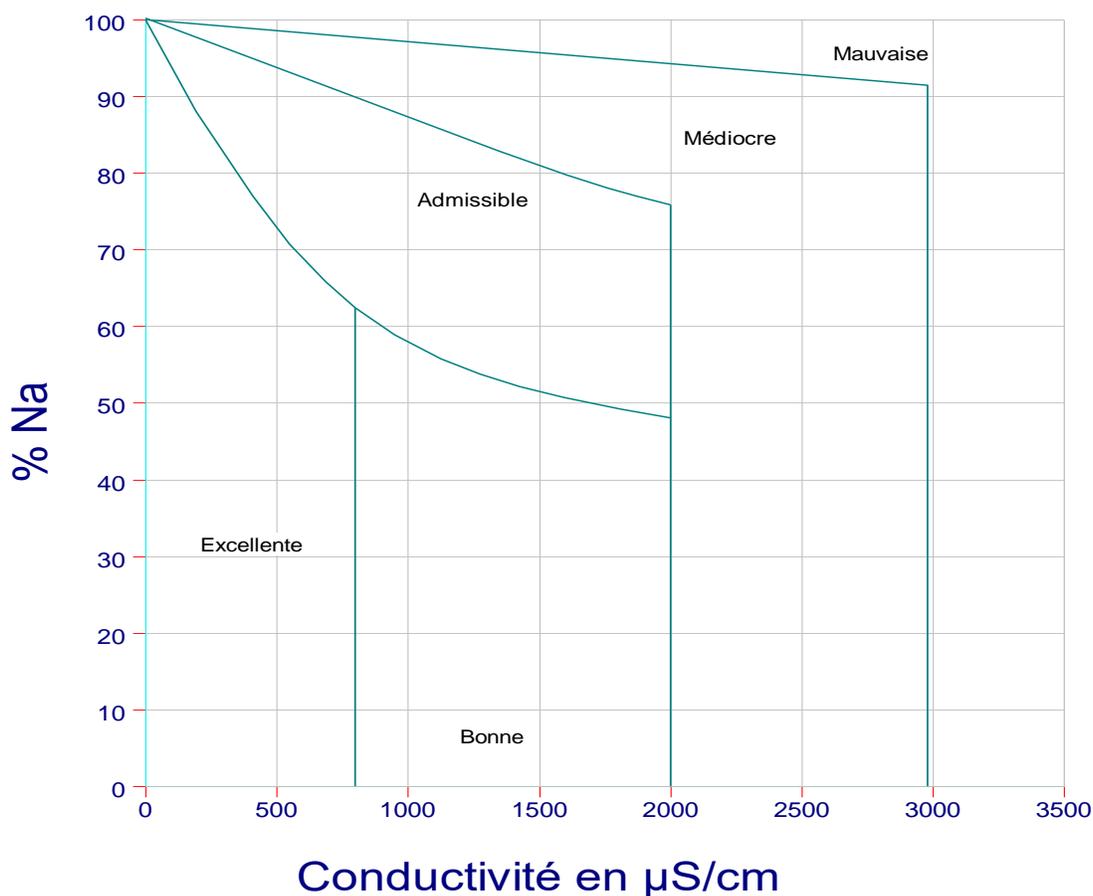


Figure 16 : Diagramme de Wilcox

d- Diagramme de Stiff :

Ce diagramme permet de configurer les analyses. Il présente trois axes horizontaux gradués exprimant les concentrations en meq/l et un axe vertical à l'origine, dont les cations sont présentés à gauche de l'axe verticale, il s'agit des cations : Calcium, Magnésium, sodium et potassium. Les anions représentés à droite de l'axe sont : Chlorure, Bicarbonate et Sulfate.

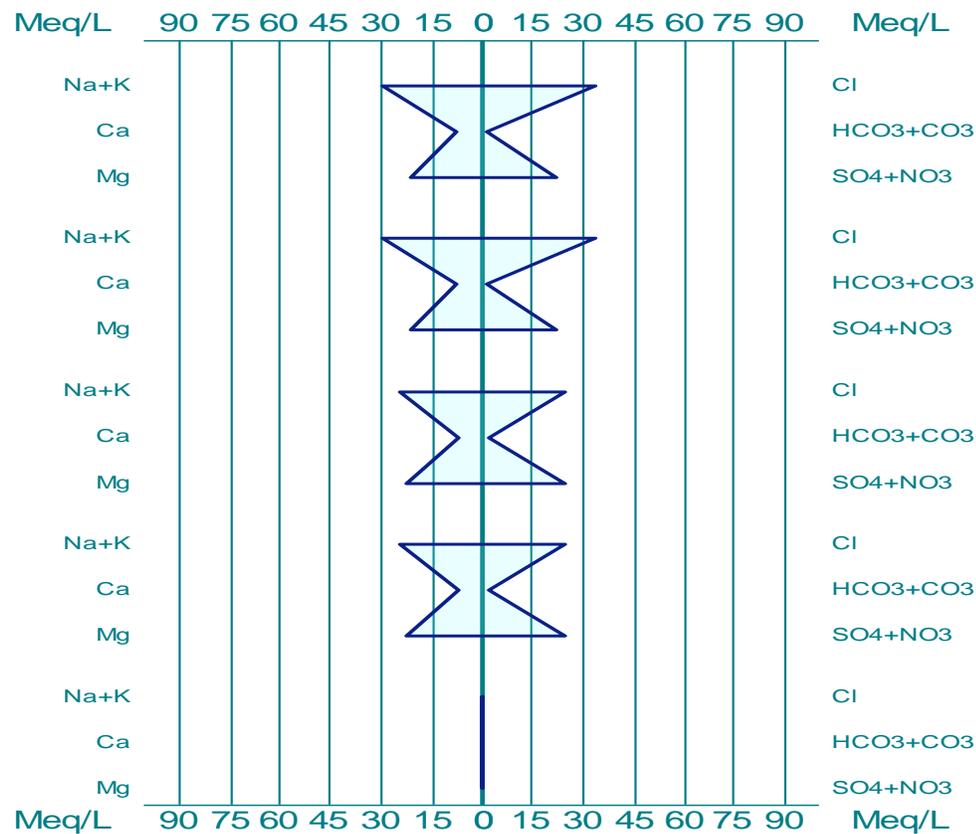


Figure 17 : diagramme de Stiff

e- Diagramme de Stabler :

Ce diagramme est très utile pour l'étude des équilibres carbonatés. Il permet de représenter très rapidement l'alcalinité, l'alcalinité résiduelle calcite et les alcalinités résiduelles généralisées. On classe séparément les anions et les cations par ordre décroissant.

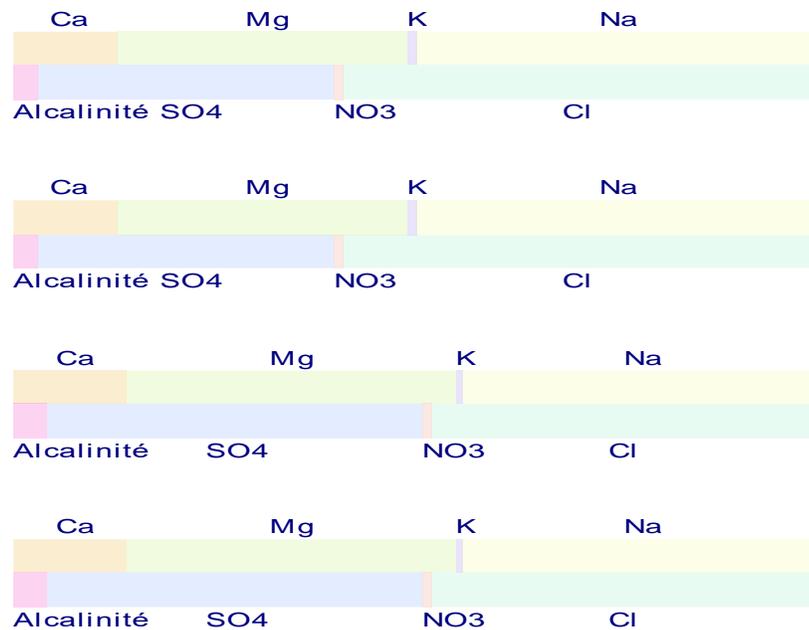


Figure 18 : Diagramme de stabler

II-5. Indices de qualité des eaux d'irrigations

II-5.1. Pourcentage en sodium (Na%):

$$\text{Na}(\%) = 100(\text{Na}^+ + \text{K}^+ / \text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{Na}^+ + \text{K}^+)$$

Où Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} sont exprimés en méq/l.

Le pourcentage en Sodium (Na%) est un paramètre important pour classer les échantillons d'une eau souterraine à des fins d'irrigation. Il est calculé par la formule proposée par Doneen (1962) ;

La présence du sodium avec les carbonates forme un sol alcalin ; tandis que le sodium avec les chlorures forme un sol salin ; les deux cas ne tolèrent pas la croissance des plantes.

Tableau 08 : Classification de l'eau basée sur le pourcentage en Sodium.

Na %	Classe
20	Excellente
20-40	Bonne
40-60	Utilisable
60-80	Médicore
>80	Mauvaise

II-5.2. Le Magnésium Ratio :

En général, le calcium et le magnésium sont à l'état d'équilibre dans l'eau, le taux élevé de magnésium dans l'eau influe sur sa qualité, d'où le danger alcalin, Il est calculé par l'équation suivante:

$$\text{Mg ratio} = 100 \times [(\text{Mg}^{+2}) / (\text{Mg}^{+2} + \text{Ca}^{+2})]$$

Toutes les valeurs sont exprimées en méq /l.

II-5.3. L'Indice de Kelly :

Le ratio de Kelley (KR) (Kelley ,1963) est décrit comme suit :

$$\text{KR} = \text{Na}^+ / \text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$$

Toutes les valeurs sont en méq/l ;

Si KR est inférieur à 1, cela signifie que les eaux sont aptes à l'irrigation et si KR >3, les eaux sont inaptes a l'irrigation.

II-5.4. Taux d'absorption du sodium(SAR) :

Le risque d'alcalinité est généralement exprimé par le taux d'adsorption du sodium (SAR). Cette paramètre quantifié la proportion des ions sodium, calcium et magnésium dans un échantillon d'eau. Quand un sol est riche en Na⁺ et que son anion dominant est CO₃²⁻, le sol est dit sol alcalin. Si un sol est riche en Na⁺ et So₄⁻², ou en Cl⁻, on parle de sol salé. Cependant, dans les deux cas, les végétaux supporteront moins un tell sol. Pour déterminer ce risque, Riverside a crié une classification qui considère le rapport du sodium absorbé par la minéralisation totale.

Il se calcule par la formule suivante :

$$\text{S. A. R} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})/2}}$$

Dans cette formule du S.A.R, les concentrations en Na^+ , Ca^{+2} et Mg^{+2} sont Exprimées en méq/l.

S.A.R<10 : eaux utilisées avec peu de danger d'alcalinisation des sols.

10<S.A.R<18 : eaux utilisées avec un danger appréciable d'alcalinisation.

18<S.A.R<26 : eaux pouvant provoquer un danger d'alcalinisation.

S.A.R>26 : eaux présentant un danger d'alcalinisation très fort.

CHAPITRE III : Étude et Analyse des Résultats

Introduction :

L'analyse physico-chimique fait connaître les emplois auxquels convient une eau donnée, besoins industriels (eau de réfrigération ou de fabrication...), besoin dans l'agriculture (irrigation), besoins ménagers (eau de cuisson ou de lavage...) elle décèle les eaux risquant d'exercer une action chimique sur les canalisations, elle facilite la mise au point des traitements qui supprimeront les inconvénients révélés.

III-1. Les paramètres physico-chimiques :

III-1.1. Les paramètres physiques :

Les données sont recueillies d'ANRH pour la région Hassi Ben Abdallah qui sont : température, potentiel Hydrogène (pH), Salinité, conductivité électrique le tableau N°04 représente les valeurs de ces paramètres.

III-1.1.1. Température :

Le tableau relatif à la région de Hassi Ben Abdallah, montre que les températures mesurées sur les eaux de la nappe moi-pliocène. En remarque que la valeur maximale de Température 25.6 °C observé au forage, F09, F11 ; et la valeur minimale 20 °C est observé au forage F04.

Tableau 09 : les valeurs de température (T).

N°	Nom	Commune	T (°C)
01	DIF DIF	HASSI BEN ABDELLAH	23
02	EL AFRAH	HASSI BEN ABDELLAH	24
03	ESSAFAA	HASSI BEN ABDELLAH	23
04	GARET CHOUF	HASSI BEN ABDELLAH	20
05	CHERAK ALI	HASSI BEN ABDELLAH	25
06	El Ahram	HASSI BEN ABDELLAH	25.6
07	Rabha	HASSI BEN ABDELLAH	23
08	Talbi	HASSI BEN ABDELLAH	23
09	HASSI SAYEH	HASSI BEN ABDELLAH	25.6
10	Perimètre El Astikama Babziz	HASSI BEN ABDELLAH	23.7
11	ESSAFA	HASSI BEN ABDELLAH	25.6
12	KURBA1	HASSI BEN ABDELLAH	20.7

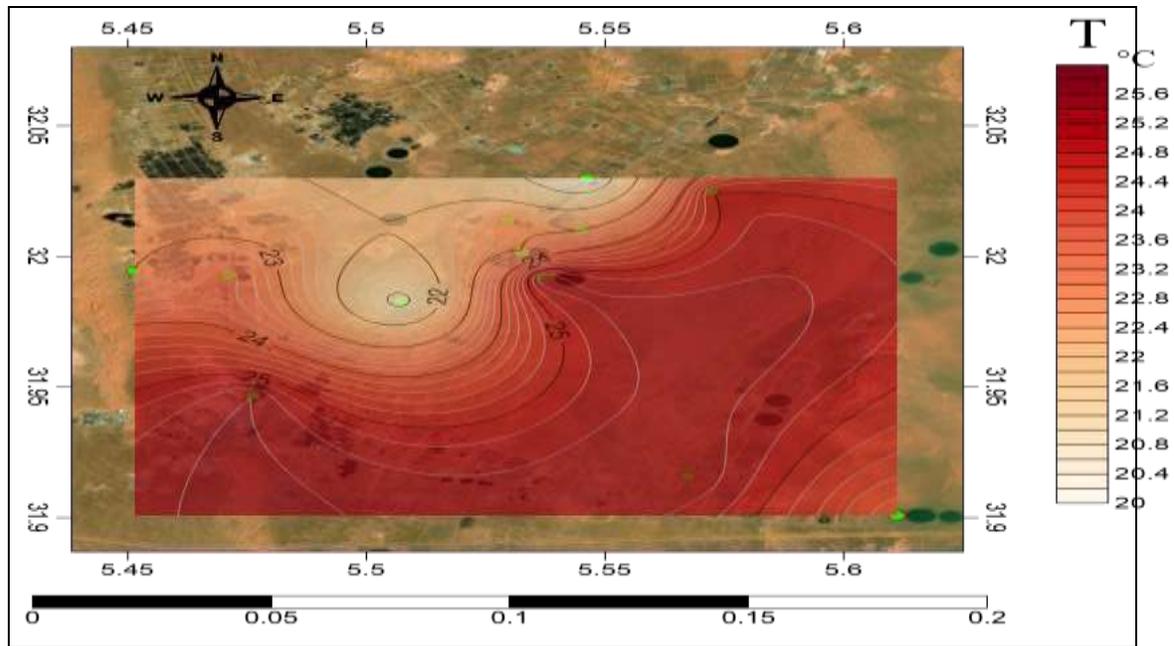


Figure 19 : Carte iso-valeur de Température des eaux de la nappe Mio-pliocène de la cuvette de Hassi Ben Abdallah

D'après la carte de Température les fortes valeurs sont situées au Sud et Est de la cuvette varient entre (25–25.6°C) du côté du forages F05, F06, F09 et F11, et les faibles valeur varient entre (20–20.7°C) au Nord du côté du forage F04 et F12 ; et les moyennes valeur varient entre (23–24°C) au Nord-ouest du côté du forage F02 , F03, F07,F08 et F10.

III-1.1.2. Débit :

Principaux types d'essais de pompage Il existe de nombreux types d'essais parmi lesquels il faut choisir. Les essais les mieux adaptés aux situations dans lesquelles travaillent les ingénieurs sont les suivants :

- Essai par paliers : conçu pour déterminer le rapport à court terme entre le rendement et le rabattement du forage testé. Il consiste à effectuer des pompages dans le forage, avec une série de paliers à débit différent, le débit augmentant habituellement à chaque palier. Le dernier palier devrait se rapprocher du rendement maximal estimé pour le forage.
- Essai à débit constant : effectué en pompant à un débit constant beaucoup plus longtemps que dans l'essai par paliers, il est conçu avant tout pour fournir des informations sur les caractéristiques hydrauliques de l'aquifère. Il n'est possible de déduire des informations relatives au coefficient d'emménagement de l'aquifère que si les données proviennent de forages d'observation appropriés.

- Essai de remontée : consiste à observer la remontée des niveaux d'eau après l'arrêt du pompage à la fin d'un essai à débit constant (et parfois après un essai par paliers). Il est utile pour vérifier les caractéristiques de l'aquifère déduites des autres essais, mais n'est valide que si une valve anti-retour (clapet de pied) est placée sur la colonne de refoulement, sinon l'eau est refoulée dans le forage.

Selon les résultats des analyses, la valeur maximale 32 l/s dans le forage F08 ; et la valeur minimale de l'ordre de 5 l/s est observé dans la forage F10.

La raison de la différence de débit entre ces forages est la date d'utilisation de chaque forage.

Tableau 10 : Les valeurs Débit (Q).

N°	Nom	Commune	Débit (l/s)
01	DIF DIF	HASSI BEN ABDELLAH	20
02	EL AFRAH	HASSI BEN ABDELLAH	20
03	ESSAFAA	HASSI BEN ABDELLAH	18
04	GARET CHOUF	HASSI BEN ABDELLAH	15
05	CHERAK ALI	HASSI BEN ABDELLAH	16
06	El Ahram	HASSI BEN ABDELLAH	20
07	Rabha	HASSI BEN ABDELLAH	18
08	Talbi	HASSI BEN ABDELLAH	32
09	HASSI SAYEH	HASSI BEN ABDELLAH	7
10	Perimètre El Astikama Babziz	HASSI BEN ABDELLAH	5
11	ESSAFA	HASSI BEN ABDELLAH	15
12	KURBA	HASSI BEN ABDELLAH	20

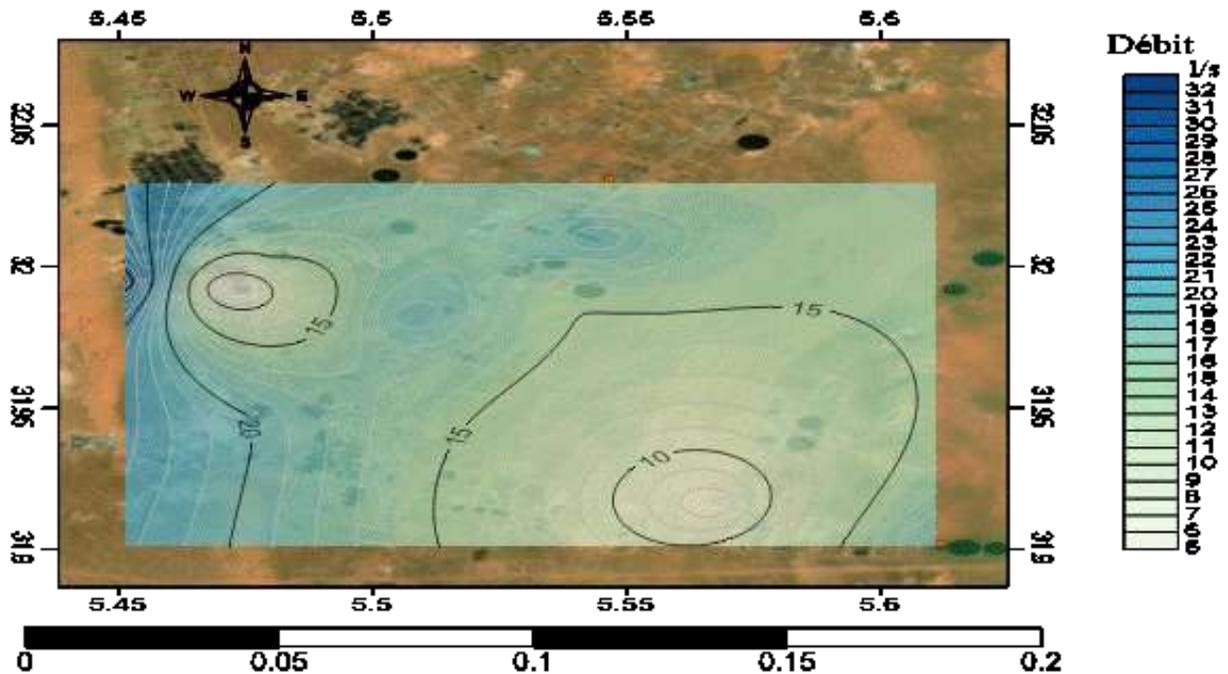


Figure 20 : Carte iso-valeur de Débit des eaux de la nappe Mio-pliocène de la cuvette de Hassi Ben Abdallah

Cette carte montre les valeurs du débit d'eau de pompage montre que les plus grandes valeurs varient entre (26-32 l/s) observées au Ouest de la cuvette de Hassi Ben Abdallah , les faibles valeurs oscillent entre (5-10 l/s) observé au Sud et Nord-ouest ; et les moyennes valeurs varient entre (15-20 mg/l) observé au Nord et milieu.

III-1.1.3. Potentiel Hydrogène (pH) :

Le pH est la mesure de la concentration en ions hydrogène de la solution (H^+). Il est représenté par une expression logarithmique : $pH = -\log (H^+)$

L'échelle du pH varie de 0 à 14 en fonction de la force ionique si :

- $[H^+] < [OH^-]$ $pH > 7$: l'eau est basique ;
- $[H^+] > [OH^-]$ $pH < 7$: l'eau est acide ;
- $[H^+] = [OH^-]$ $pH = 7$: l'eau est neutre.

En remarque que la valeur maximale de pH 8.87 observé au forage F12 ; et la valeur minimale 7.7 est observé au forage F05.

Tableau 11 : Les valeurs potentiel hydrogène (pH).

N°	Nom	Commune	pH
01	DIF DIF	HASSI BEN ABDELLAH	7.8
02	EL AFRAH	HASSI BEN ABDELLAH	8
03	ESSAFAA	HASSI BEN ABDELLAH	7.7
04	GARET CHOUF	HASSI BEN ABDELLAH	8.2
05	CHERAK ALI	HASSI BEN ABDELLAH	7.7
06	El Ahram	HASSI BEN ABDELLAH	7.9
07	Rabha	HASSI BEN ABDELLAH	7.8
08	Talbi	HASSI BEN ABDELLAH	8
09	HASSI SAYEH	HASSI BEN ABDELLAH	7.9
10	Perimètre El Astikama Babziz	HASSI BEN ABDELLAH	8.1
11	ESSAFA	HASSI BEN ABDELLAH	8
12	KURBA	HASSI BEN ABDELLAH	8.3

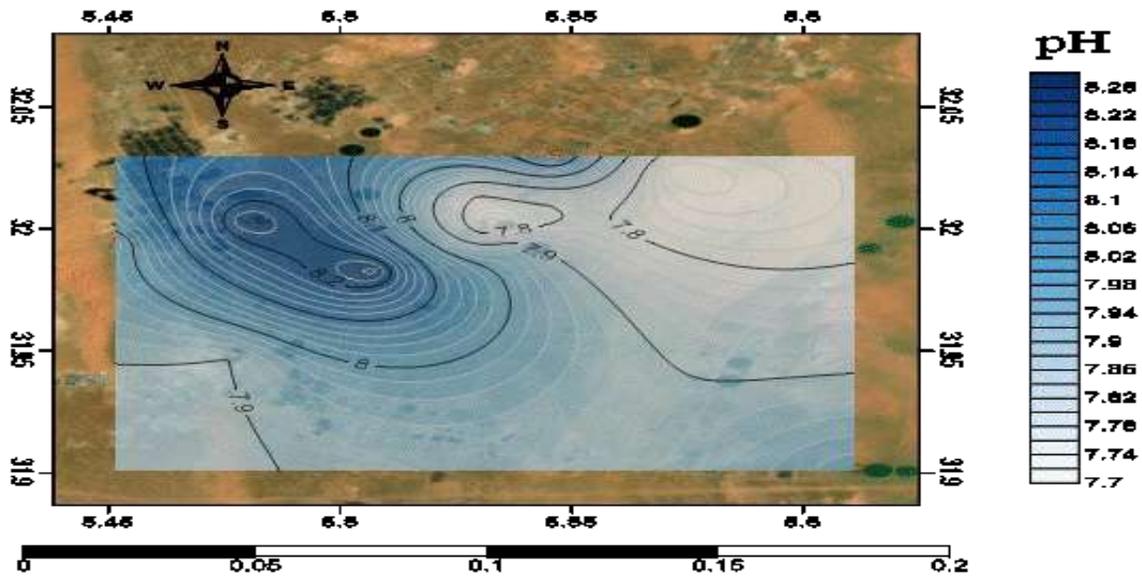


Figure 21 : Carte iso-valeur de potentiel Hydrogène des eaux de la nappe Mio-pliocène de la cuvette de Hassi Ben Abdallah

D'après la figure de pH on constate que les fortes valeurs varient entre (8.22-8.3) enregistrées au niveau de forage F12, et les moyennes varient entre (8- 8.14) observé au nord-ouest; Les faibles valeurs varient entre (7.7-7.8) observé au nord-est.

Donc on remarque que : les eaux d'irrigation de notre zone d'étude de potentiel hydrogène (pH) de type basique.

III-1.1.4. Conductivité électrique :

La conductivité électrique d'une eau caractérise sa capacité de laisser passer le courant électrique. Elle augmente avec la concentration des ions en solution et la température, elle exprimée en $\mu\text{S/cm}$, on sait qu'une eau salée est très conductrice par rapport une eau pure est très résistante.

Tableau 12 : Classification de la qualité de l'eau selon la minéralisation et la conductivité électrique.

Conductivité électrique ($\mu\text{S/cm}$)	Degré de Minéralisation	Qualité de l'eau
CE<100	Très faible	Excellente
100<CE<200	Faible	Excellente
200<CE<400	Peu accentue	Excellente
400<CE<600	Moyenne	Bonne
600<CE<1000	Importante	Utilisable
CE>1000	Excessive	Non Utilisable

Selon les résultats des analyses, la valeur maximale 6230 ($\mu\text{S/cm}$) dans la Forage N°12 (KURBA) ; et la valeur minimale de l'ordre de 3560 ($\mu\text{S/cm}$) est observé dans la forage N° 06 (El Ahram).

Tableau 13 : Les valeurs de conductivité électrique (CE).

N°	Nom	Commune	CE ($\mu\text{S/cm}$)
01	DIF DIF	HASSI BEN ABDELLAH	5080
02	EL AFRAH	HASSI BEN ABDELLAH	5400
03	ESSAFAA	HASSI BEN ABDELLAH	5990
04	GARET CHOUF	HASSI BEN ABDELLAH	5500
05	CHERAK ALID	HASSI BEN ABDELLAH	5200
06	El Ahram	HASSI BEN ABDELLAH	3560

Tableau 2: Bis

07	Rabha	HASSI BEN ABDELLAH	5600
08	Talbi	HASSI BEN ABDELLAH	5970
09	HASSI SAYEH	HASSI BEN ABDELLAH	6000
10	Perimètre El Astikama Babziz	HASSI BEN ABDELLAH	4750
11	ESSAFA	HASSI BEN ABDELLAH	6200
12	KURBA	HASSI BEN ABDELLAH	6230

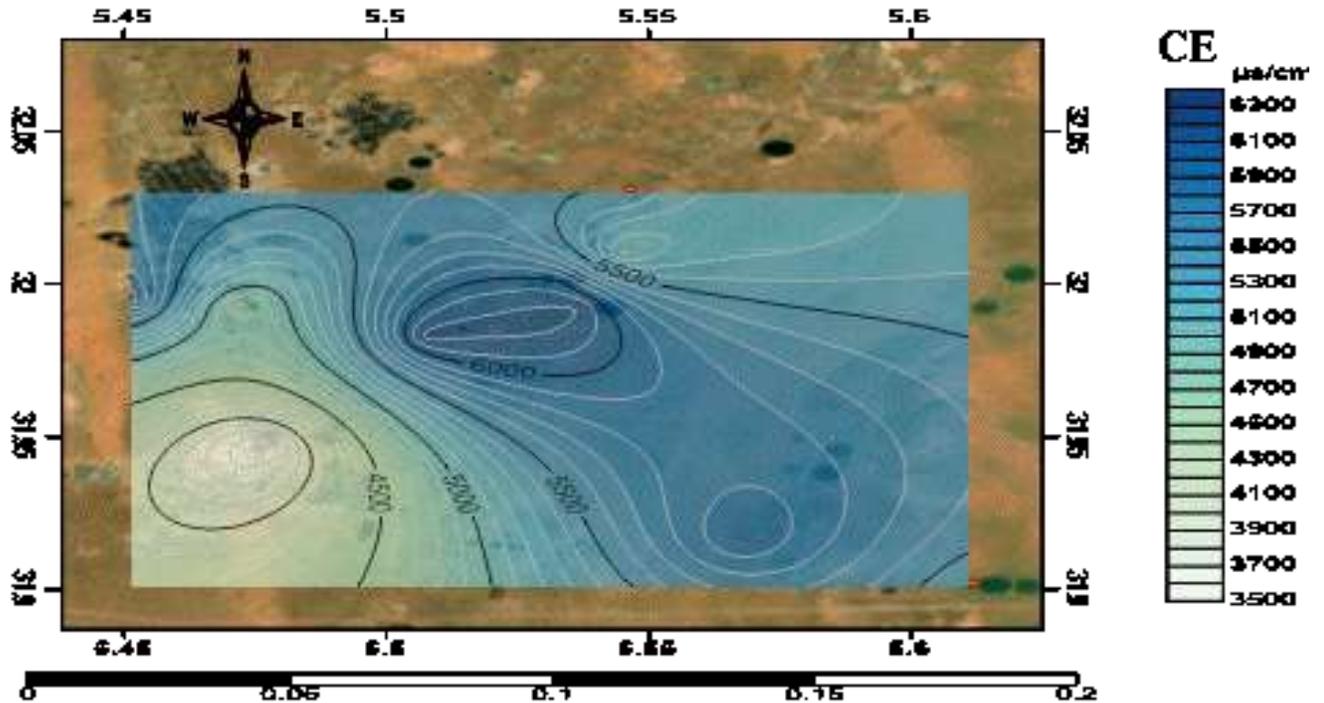


Figure 22 : Carte iso-valeur de conductivité électrique des eaux

D'après la carte de conductivité électrique les fortes valeurs sont situées au milieu de la cuvette varient entre (6000-6230 $\mu\text{s}/\text{cm}$) du côté du forages F09, F11 et F12, et les faibles valeurs varient entre (3500-4500 $\mu\text{s}/\text{cm}$) au Sud-ouest du côté du forage F06 et F10 ; et les moyennes valeurs varient entre (5000-5900 $\mu\text{s}/\text{cm}$) au Sud-est du côté du forage F03 et F05.

En effet, cette conductivité ne représente pas forcément la salinité du forage car il y a le phénomène de lessivage qui augmente la salinité du même forage avec le temps.

III-1.1.5. Salinité et Conductivité électrique:

D'après les résultats des analyses (Tableau14 et figure23), la valeur minimale de la salinité (3558 mg/l) se trouve au forage F10, et la valeur maximale marquée à valeur 4774 mg/l au forage F01.

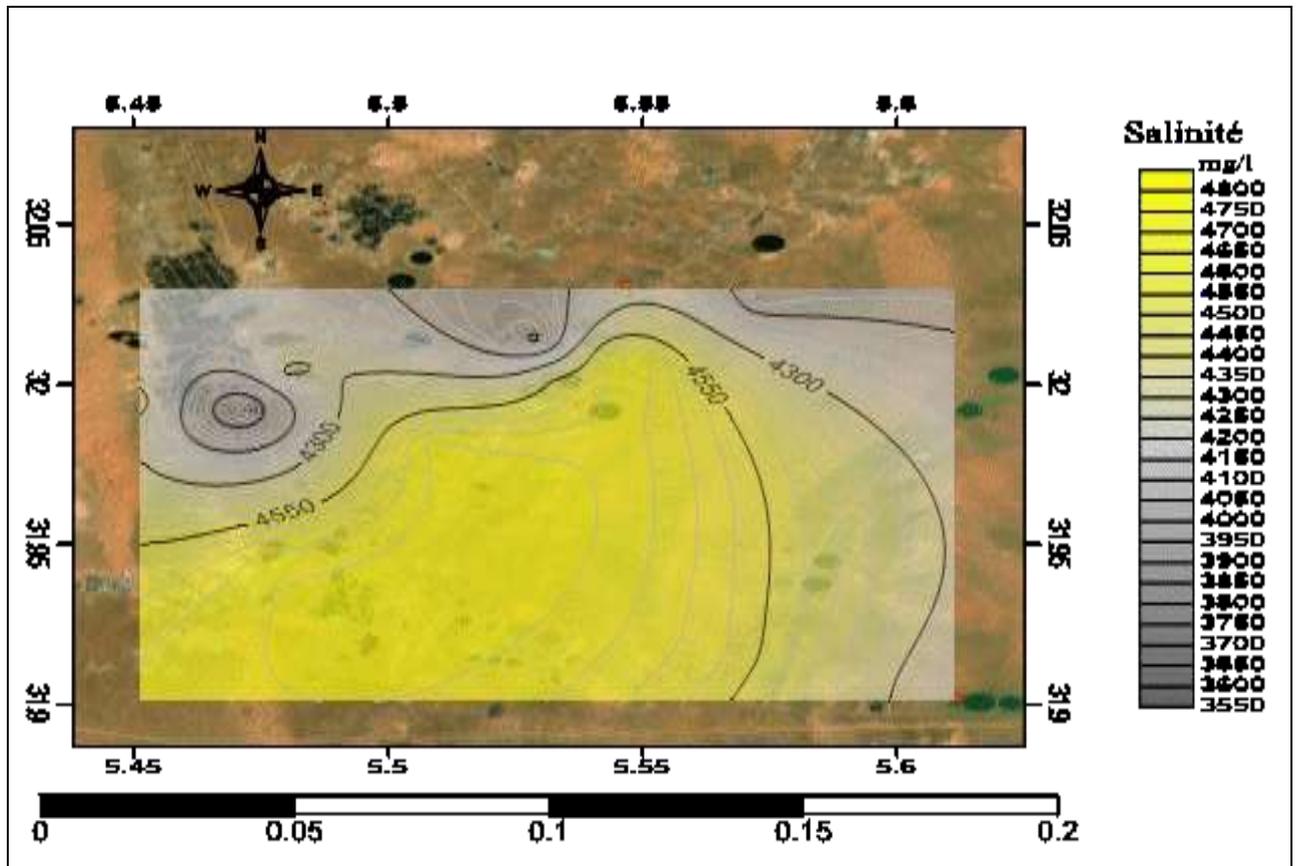


Figure 23 : Carte iso-valeur de Salinité des eaux de la nappe Mio-pliocène de la cuvette de Hassi Ben Abdallah

Les concentrations de la salinité montrent que les plus grandes concentrations varient entre (4500-4800 mg/l) sont observées au milieu et Sud-ouest, les faibles concentrations varient entre (3550-3900mg/l) marquées au Nord et milieu de Nord-ouest de la carte, et les moyennes valeurs varient entre (4000-4400 mg/l) observé au Est de la carte.

III-1.1.5.1. Minéralisation globale de l'eau :

Il existe une relation entre la teneur en sels dissous d'une eau et sa conductivité.

Toutefois, la minéralisation déterminée par pesée de l'extrait sec n'est pas rigoureusement identique à celle calculée à partir de la conductivité, étant donné les erreurs inhérentes à la détermination de chacune de ces deux mesures. En effet, l'évaporation peut entraîner des transformations de la structure de certains sels : hydrogénocarbonates dissociés et donnant des carbonates, cristallisation des sulfates avec un certain nombre de molécules d'eau, si bien que le poids de l'extrait sec ne représente pas avec exactitude celui des sels dissous. D'autre part la mesure de la conductivité est influencée par le pH de la solution, la valence des ions et le degré d'ionisation.

En fait, le calcul de la minéralisation à partir de la conductivité ne permet pas d'avoir une valeur exacte. Les différences entre les résidus secs et la minéralisation obtenue par cette méthode sont très fréquentes. La possibilité ainsi offerte a surtout un intérêt dans le cas de vérifications de concordance ou dans l'étude de l'évolution d'une perturbation [7].

Tableau 14 : Tableau de calcul de la minéralisation à partir de la conductivité [7].

Conductivité (μS/cm)	Minéralisation (mg/L)
Conductivité inférieure à 50 μS/cm	$1,365\ 079 \times \text{conductivité } (*) (\mu\text{S/cm}) \text{ à } 20\ ^\circ\text{C}$
Conductivité comprise entre 50 et 166 μS/cm	$0,947\ 658 \times \text{conductivité } (*) (\mu\text{S/cm}) \text{ à } 20\ ^\circ\text{C}$
Conductivité comprise entre 166 et 333 μS/cm	$0,769\ 574 \times \text{conductivité } (*) (\mu\text{S/cm}) \text{ à } 20\ ^\circ\text{C}$
Conductivité comprise entre 333 et 833 μS/cm	$0,715\ 920 \times \text{conductivité } (*) (\mu\text{S/cm}) \text{ à } 20\ ^\circ\text{C}$
Conductivité comprise entre 833 et 10 000 μS/cm	$0,758\ 544 \times \text{conductivité } (*) (\mu\text{S/cm}) \text{ à } 20\ ^\circ\text{C}$
Conductivité supérieure à 10 000 μS/cm	$0,850\ 432 \times \text{conductivité } (*) (\mu\text{S/cm}) \text{ à } 20\ ^\circ\text{C}$

On trouve la même équation en utilisant les données du terrain où le coefficient dans la référence selon les valeurs de la conductivité électrique est de 0.758544 c'est le même qu'on a obtenu à travers la courbe de salinité en fonction de la conductivité électrique et qui est 0.7588 avec un coefficient de corrélation de 0.9997.

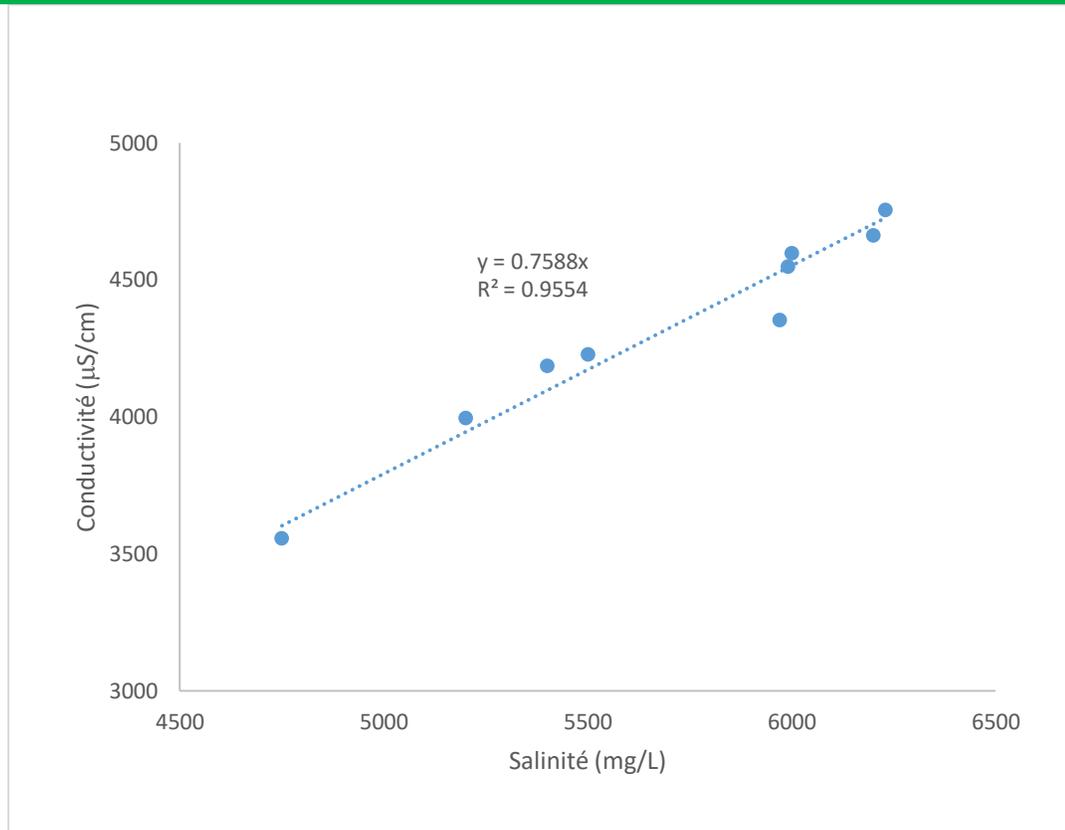


Figure 24 : la relation entre la salinité et la conductivité électrique

Cette constante varie pour les trois échantillons restants ce qu'il peut être due aux erreurs instrumentales de mesure.

III-1.2. Les paramètres chimiques :

Les données sont recueillies d'ANRH pour les six communes qui sont : les cations (calcium, magnésium, sodium), les anions (chlorure, sulfate et les bicarbonates).

III-1.2.1. Les cations :

A. Calcium (Ca^{2+}) :

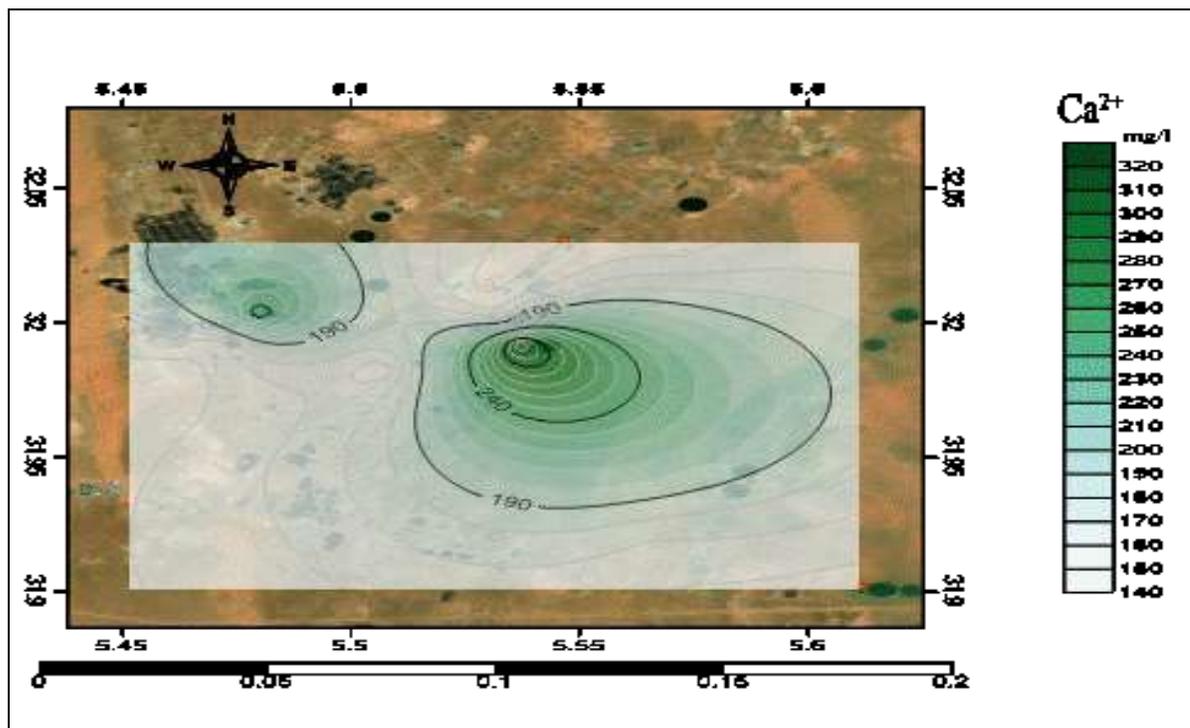
Le calcium provient de deux origines naturelles :

- La dissolution des roches gypseuses ;
- La dissolution des roches carbonatées.

Selon les résultats des analyses, la concentration de calcium à une valeur minimale de 148 mg/l au forage F07, et une valeur maximale de 320 mg/l au niveau de forage F11.

Tableau 15 : Les valeurs de calcium (Ca^{2+}).

N°	Forage	Commune	Ca^{2+} (mg/l)
01	DIF DIF 2 D8F21	HASSI BEN ABDELLAH	170
02	EL AFRAH D8F17	HASSI BEN ABDELLAH	155
03	ESSAFAA D8 F32	HASSI BEN ABDELLAH	168
04	GARET CHOUF D8F46	HASSI BEN ABDELLAH	150
05	CHERAK ALI D8F43	HASSI BEN ABDELLAH	160
06	El Ahram D8 F38	HASSI BEN ABDELLAH	158
07	Rabha D8 F29	HASSI BEN ABDELLAH	148
08	Talbi D8 F63	HASSI BEN ABDELLAH	155
09	HASSI SAYEH F03/CDARS	HASSI BEN ABDELLAH	166
10	Perimètre El Astikama Babziz 1	HASSI BEN ABDELLAH	155
11	ESSAFA 3	HASSI BEN ABDELLAH	320
12	KURBA1 APFA	HASSI BEN ABDELLAH	154

Figure 25 : Carte iso-teneur de Calcium (Ca^{2+})

D'après la carte de calcium, les faibles concentrations varient entre (140-170 mg/l) se trouvent a différents endroits de la région par exemple au Sud, Ouest et Nord-est, les moyennes concentrations varient entre (180-240 mg/l) observé au milieu de Est et au Nord-ouest ; alors que les fortes valeurs sont localisés au milieu.

B. Magnésium (Mg²⁺) :

Les principales sources du Magnésium c'est :

Sont en en générale issues de l'altération des roches et de l'hydrolyse acide des minéraux silicates[4].

D'après les résultats des analyses, la valeur maximale enregistré dans la forage F10 à valeur 350 mg/l, et la valeur minimale se trouvent au forage F02 et F09 à valeur de 262 mg/l.

Tableau 16 : Les valeurs de magnésium (Mg²⁺)

N°	Forage	Commune	Mg ²⁺ (mg/l)
01	DIF DIF	HASSI BEN ABDELLAH	274
02	EL AFRAH	HASSI BEN ABDELLAH	262
03	ESSAFAA	HASSI BEN ABDELLAH	289
04	GARET CHOUF	HASSI BEN ABDELLAH	276
05	CHERAK ALI	HASSI BEN ABDELLAH	291
06	El Ahram	HASSI BEN ABDELLAH	306
07	Rabha	HASSI BEN ABDELLAH	271
08	Talbi	HASSI BEN ABDELLAH	316
09	HASSI SAYEH	HASSI BEN ABDELLAH	262
10	Perimètre El Astikama Babziz	HASSI BEN ABDELLAH	350
11	ESSAFA	HASSI BEN ABDELLAH	286.7
12	KURBA	HASSI BEN ABDELLAH	274

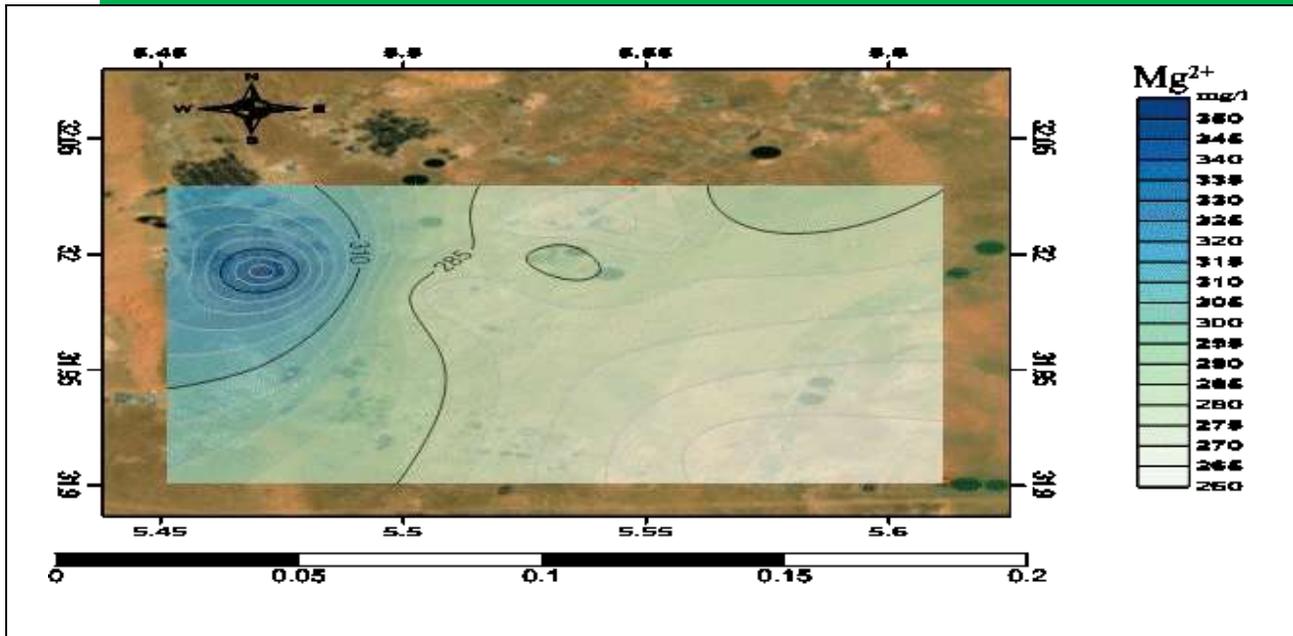


Figure 26 : Carte iso-teneur de magnésium (Mg^{2+})

L'examen de la carte de magnésium montre que les plus grandes concentrations varient entre (320-350 mg/l) se trouvent au Nord-ouest de cuvette dans la commune de Hassi Ben Abdallah , les concentrations minimales sont comprises entre (260-275 mg/l) observé au Sud-est ; et les moyenne concentrations sont de l'ordre de (280-315 mg/l) se trouvent au Ouest et Nord-ouest.

C. Sodium (Na^+) :

La présence de cet ion de (Na^+) dans l'eau est due au lessivage des formations riches en Na et cl (Argile-Marne) et des eaux à usage agricole ou domestique.

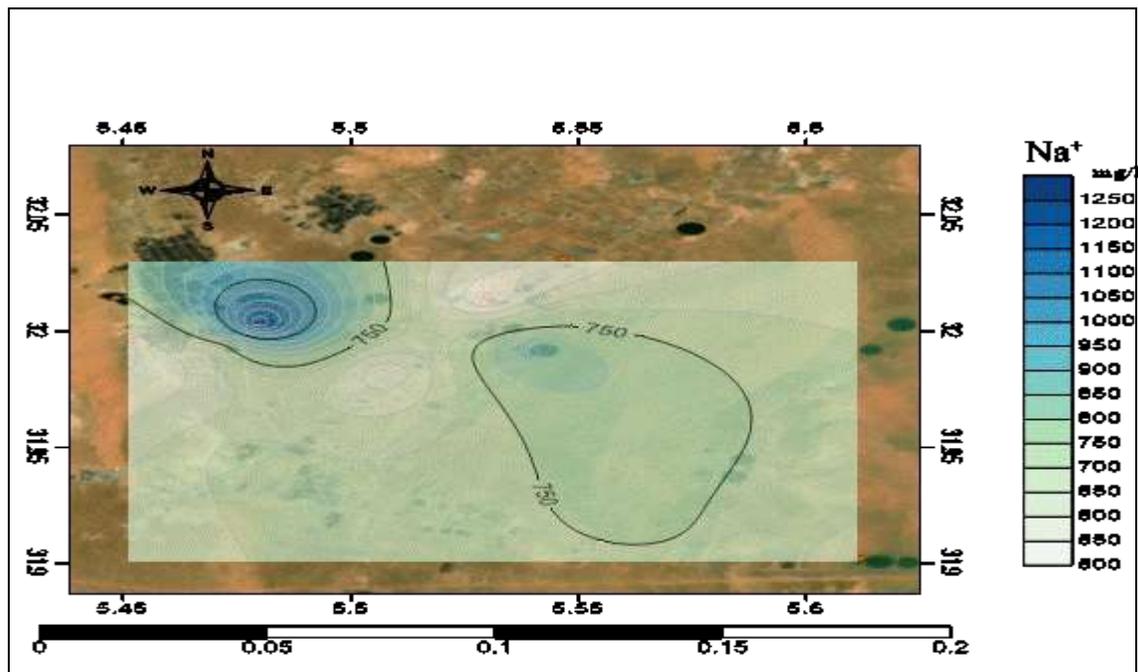
Selon les résultats des analyses, la concentration minimale 500 mg/l au niveau de forage F07, et la concentration maximale 875 mg/l enregistré au niveau de forage F11.

Tableau 17 : Les valeurs de sodium (Na^+).

N°	Forage	Commune	Na^+ (mg/l)
01	DIF DIF	HASSI BEN ABDELLAH	680
02	EL AFRAH	HASSI BEN ABDELLAH	680
03	ESSAFAA	HASSI BEN ABDELLAH	706
04	GARET CHOUF	HASSI BEN ABDELLAH	550
05	CHERAK ALI	HASSI BEN ABDELLAH	650

Tableau 2 : Bis

06	El Ahram	HASSI BEN ABDELLAH	726
07	Rabha	HASSI BEN ABDELLAH	500
08	Talbi	HASSI BEN ABDELLAH	540
09	HASSI SAYEH	HASSI BEN ABDELLAH	760
10	Perimètre El Astikama Babziz	HASSI BEN ABDELLAH	680
11	ESSAFA	HASSI BEN ABDELLAH	875
12	KURBA	HASSI BEN ABDELLAH	550

Figure 27 : Carte iso-teneur de Sodium (Na^+)

D'après la carte, les faibles concentrations obtenues oscillent entre (500- 700 mg/l) marquées à différents endroits de la région par exemple au Ouest, milieu et Nord, et les moyennes valeurs varient entre (750-950 mg/l) enregistrées au milieu et Nord-ouest, les fortes concentrations oscillent entre (1000-1250 mg/l) au Nord-ouest.

D. Potassium (K^+) :

Le potassium provient de l'altération des formations argileuses des alluvions quaternaires et de la dissolution des engrais chimiques.

Selon les résultats des analyses, la concentration minimale 20 mg/l au niveau de forage F07, et la concentration maximale 28 mg/l enregistré au niveau de forage F03 et F10.

Tableau 18 : Les valeurs de potassium (K⁺).

N°	Forage	Commune	K ⁺ (mg/l)
01	DIF DIF	HASSI BEN ABDELLAH	27
02	EL AFRAH	HASSI BEN ABDELLAH	25
03	ESSAFAA	HASSI BEN ABDELLAH	28
04	GARET CHOUF	HASSI BEN ABDELLAH	24
05	CHERAK ALI	HASSI BEN ABDELLAH	22
06	El Ahram	HASSI BEN ABDELLAH	24
07	Rabha	HASSI BEN ABDELLAH	20
08	Talbi	HASSI BEN ABDELLAH	21
09	HASSI SAYEH	HASSI BEN ABDELLAH	26
10	Perimètre El Astikama Babziz	HASSI BEN ABDELLAH	28
11	ESSAFA	HASSI BEN ABDELLAH	21
12	KURBA	HASSI BEN ABDELLAH	23

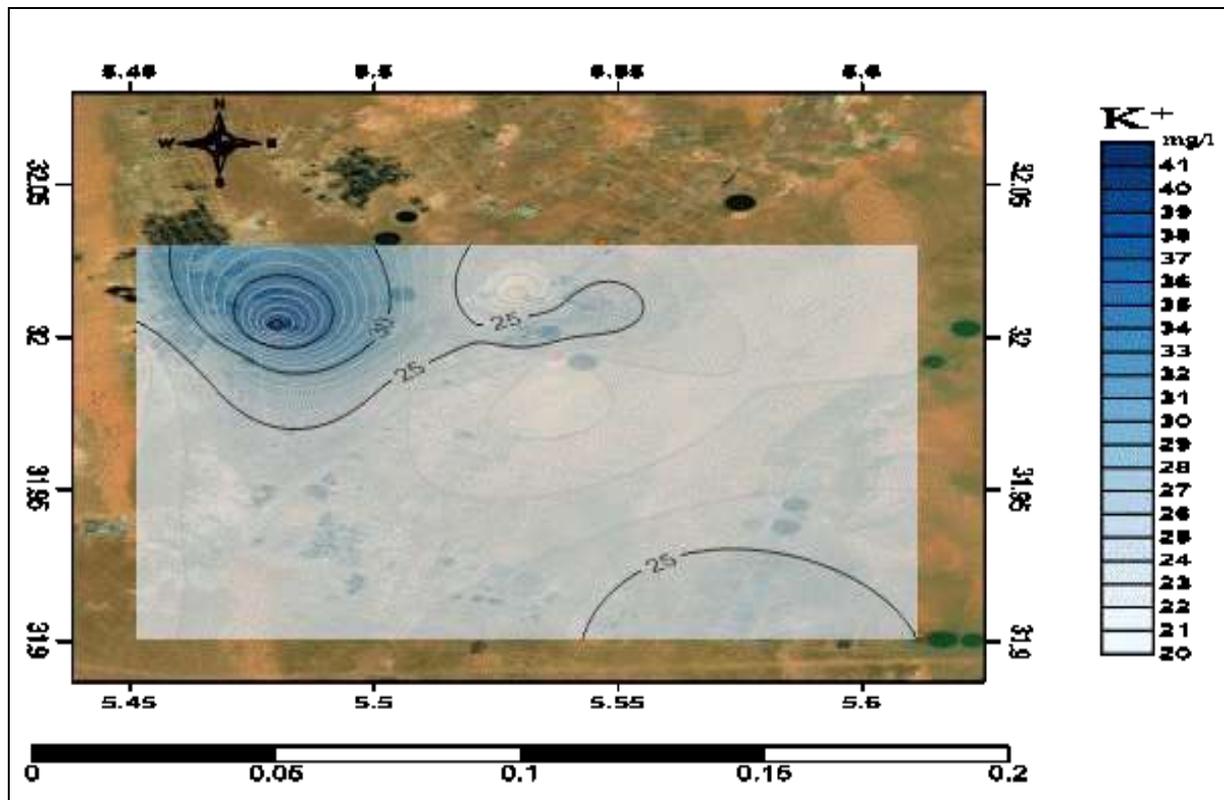


Figure 28 : Carte iso-teneur de Potassium (K⁺)

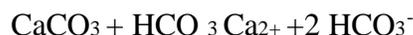
D'après la carte de potassium les fortes valeurs varient entre (38-41 mg/l) se trouvent au Nord-ouest et les moyennes valeurs varient entre (26-236 mg/l) se trouvent à Nord-Ouest.

les valeurs faibles varient entre (20-25 mg/l) dans toutes de la région à l'exception de la région du Nord-ouest.

III-1.2.2. Les anions :

A. Bicarbonate (HCO₃⁻) :

Se forment à partir de changement des roches carbonatées et en présence d'acide carbonique, la calcite peut se dissoudre pour donner du bicarbonate de calcium :



En remarque que la valeur maximale 189 mg/l observée au forage F05 ; et la valeur minimale 88mg/l est observé au niveau de forage F08.

Tableau 19 : Les valeurs bicarbonate (HCO₃⁻).

N°	Forage	Commune	HCO ₃ ⁻ (mg/l)
01	DIF DIF	HASSI BEN ABDELLAH	92
02	EL AFRAH	HASSI BEN ABDELLAH	101
03	ESSAFAA	HASSI BEN ABDELLAH	113
04	GARET CHOUF	HASSI BEN ABDELLAH	113
05	CHERAK ALI	HASSI BEN ABDELLAH	189
06	El Ahram	HASSI BEN ABDELLAH	95
07	Rabha	HASSI BEN ABDELLAH	92
08	Talbi	HASSI BEN ABDELLAH	88
09	HASSI SAYEH	HASSI BEN ABDELLAH	116
10	Perimètre El Astikama Babziz	HASSI BEN ABDELLAH	104
11	ESSAFA	HASSI BEN ABDELLAH	149.45
12	KURBA	HASSI BEN ABDELLAH	125

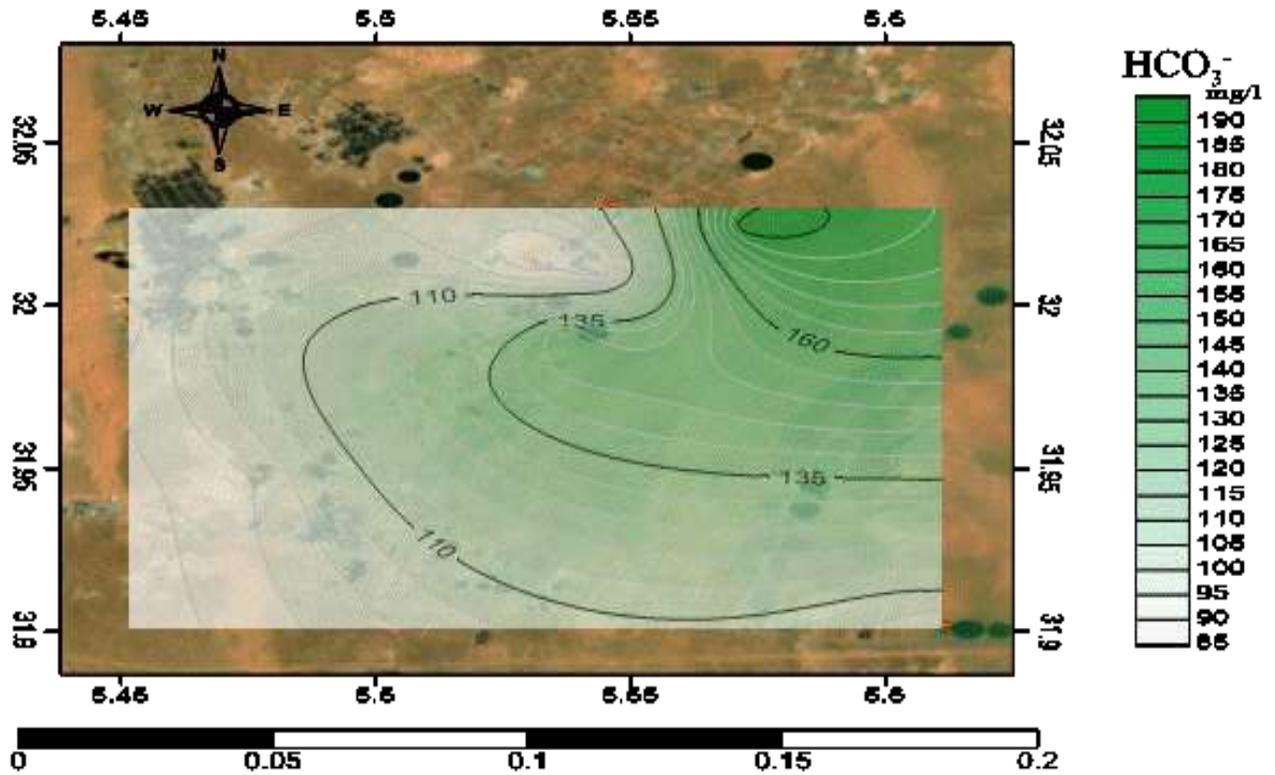


Figure 29 : Carte iso-teneur de bicarbonate (HCO_3^-)

La distribution spatiale des concentrations du bicarbonate montre que les plus grandes valeurs varient entre (160-190 mg/l) observées au Nord-est de la cuvette de Hassi Ben Abdallah , les faibles valeurs oscillent entre (85-105 mg/l) observé au Ouest ; et les moyennes valeurs varient entre (110-155 mg/l) observé au milieu.

B. Chlorure (Cl^-) :

Les origines des chlorures dans les eaux :

- Les interactions eau/roche, de nombreuses roches ignées et volcaniques des minéraux riches en chlore;
- Une origine anthropique, (les engrais et les pesticides).

D'après les résultats des analyses, la valeur minimale 875mg/l se trouve au forage 04, et la valeur maximale marquée à valeur 1763 mg/l au forage F10.

Tableau 20 : Les valeurs chlorure (Cl⁻).

N°	Forage	Commune	Cl ⁻ (mg/l)
01	DIF DIF	HASSI BEN ABDELLAH	1350
02	EL AFRAH	HASSI BEN ABDELLAH	1212
03	ESSAFAA	HASSI BEN ABDELLAH	1500
04	GARET CHOUF	HASSI BEN ABDELLAH	875
05	CHERAK ALI	HASSI BEN ABDELLAH	1425
06	El Ahram	HASSI BEN ABDELLAH	1625
07	Rabha	HASSI BEN ABDELLAH	1250
08	Talbi	HASSI BEN ABDELLAH	1175
09	HASSI SAYEH	HASSI BEN ABDELLAH	1350
10	Perimètre El Astikama Babziz	HASSI BEN ABDELLAH	1763
11	ESSAFA	HASSI BEN ABDELLAH	1425
12	KURBA	HASSI BEN ABDELLAH	1140

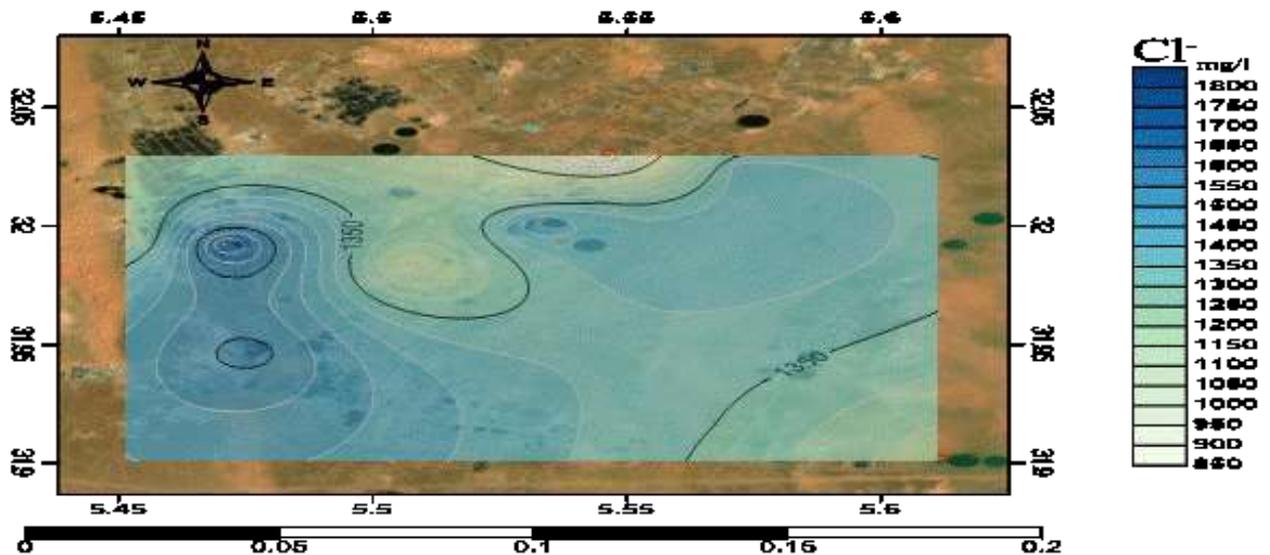


Figure 30 : Carte iso-teneur de chlorure (Cl⁻)

Les concentrations du chlorure montre que les plus grandes concentrations varient entre (1650-1800 mg/l) sont observées au Ouest , les faibles concentrations varient entre

(850-950mg/l) marquées au Nord de la carte ,et les moyennes valeurs varient entre (1000-1550 mg/l) observé au milieu et Sud-est de la carte.

C. Sulfate (So₄²⁻) :

Les principales sources du sulfate dans les eaux souterraines :

- Utilisation des engrais sulfatés en agriculture[6].
- L'oxydation des minéraux riche en soufre ;
- Le lessivage de formations évaporitiques comme l'gypes.
- L'oxydation de sulfures dans les précipitations atmosphériques (phénomène des pluies acides);

La remarque observée montre que : la valeur maximale 1500 mg/l observée au forage F11 ; et la valeur minimale 400 mg/l est observé au niveau de forage F10.

Tableau 21 : Les valeurs sulfate (SO₄²⁻).

N°	Forage	Commune	SO ₄ ²⁻ (mg/l)
01	DIF DIF	HASSI BEN ABDELLAH	1200
02	EL AFRAH	HASSI BEN ABDELLAH	1040
03	ESSAFAA	HASSI BEN ABDELLAH	625
04	GARET CHOUF	HASSI BEN ABDELLAH	1165
05	CHERAK ALI	HASSI BEN ABDELLAH	1000
06	El Ahram	HASSI BEN ABDELLAH	1040
07	Rabha	HASSI BEN ABDELLAH	565
08	Talbi	HASSI BEN ABDELLAH	1265
09	HASSI SAYEH	HASSI BEN ABDELLAH	1100
10	Perimtre El Astikama Babziz	HASSI BEN ABDELLAH	400
11	ESSAFA	HASSI BEN ABDELLAH	1500
12	KURBA	HASSI BEN ABDELLAH	1000

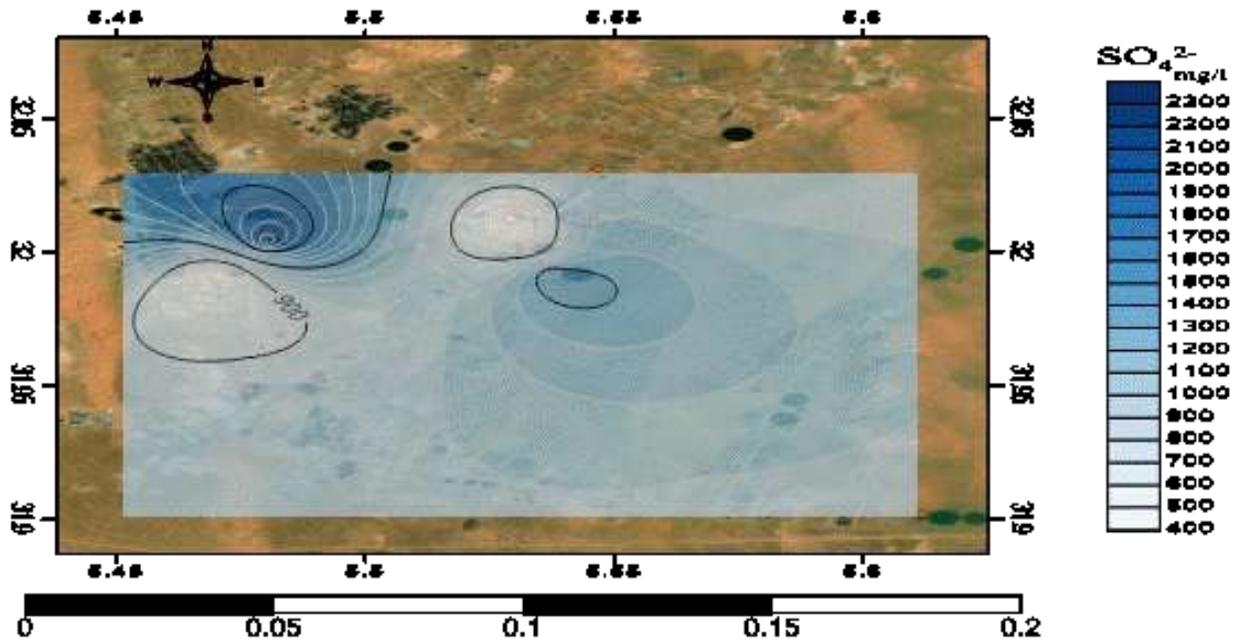


Figure 31 : Carte iso-teneur de Sulfate (SO_4^{2-})

D'après la carte de répartition du sulfate, les valeurs élevées varient entre (2100-2300mg/l) se situées au Nord-ouest , et les valeurs les plus faibles varient entre (400-600mg/l) observé au Nord et Est, les valeurs moyennes varient entre (600-1900 mg/l) enregistrées au milieu de carte.

D. Nitrate (NO_3^-) :

Sa présence dans les eaux souterraines est liée à causée par les pesticides est relativement récent[5].

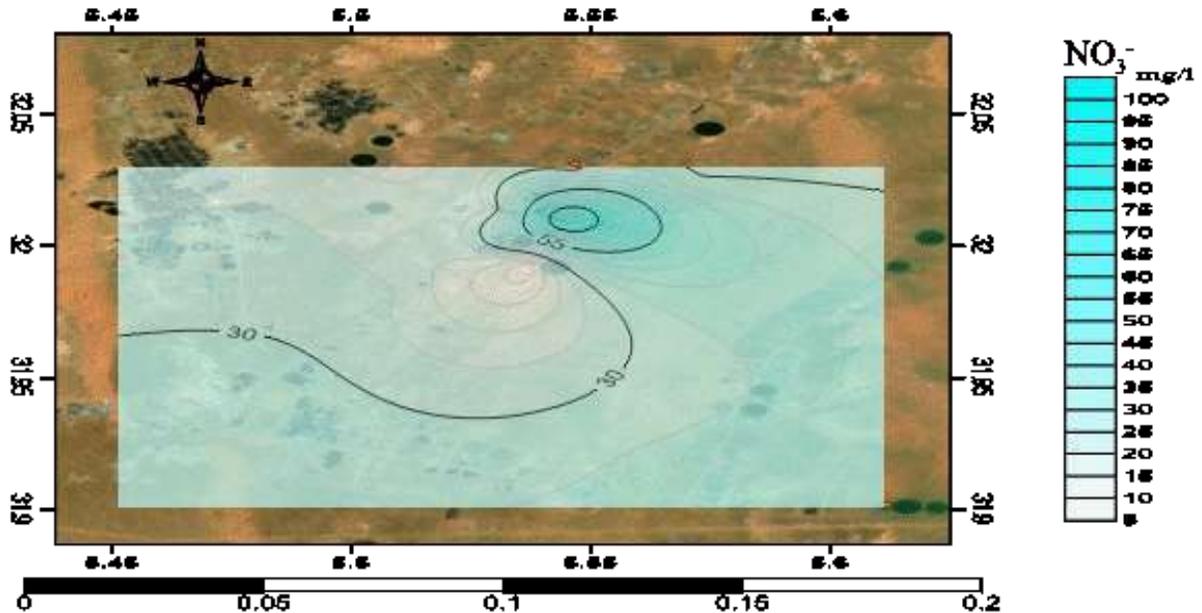
D'après les résultats des analyses, la valeur minimale 5.75mg/l se trouve au forage F04, et la valeur maximale marque à valeur 100 mg/l au forage F01.

Tableau 22 : Les valeurs Nitrate (NO_3^-).

N°	Forage	Commune	NO_3^- (mg/l)
01	DIF DIF	HASSI BEN ABDELLAH	100
02	EL AFRAH	HASSI BEN ABDELLAH	36
03	ESSAFAA	HASSI BEN ABDELLAH	40
04	GARET CHOUF	HASSI BEN ABDELLAH	27
05	CHERAK ALI	HASSI BEN ABDELLAH	31
06	El Ahram	HASSI BEN ABDELLAH	34
07	Rabha	HASSI BEN ABDELLAH	26

Tableau 2 : Bis

08	Talbi	HASSI BEN ABDELLAH	26
09	HASSI SAYEH	HASSI BEN ABDELLAH	37
10	Perimètre El Astikama Babziz	HASSI BEN ABDELLAH	26
11	ESSAFA	HASSI BEN ABDELLAH	5.75
12	KURBA	HASSI BEN ABDELLAH	26

Figure 32 : Carte iso-teneur de Nitrate (NO_3^-)

La distribution spatiale des concentrations du Nitrate montre que les plus grandes valeurs varient entre (80-100 mg/l) observées au Nord de la cuvette de Hassi Ben Abdallah, les faibles valeurs oscillent entre (5-30 mg/l) observé au Nord-ouest et milieu ; et les moyennes valeurs varient entre (30-80 mg/l) observé au Sud et Est.

III-2. Caractéristiques chimiques des eaux :

III-2.1. Classification selon les formules chimiques des eaux de la nappe Mio-pliocène :

La détermination des faciès chimique sera faite par la conformation des méthodes suivantes :

La formule ionique, les faciès chimiques le diagramme de Piper.

La formule ionique et les faciès chimiques:

La formule à pour but de classes ordre décroissant les quantités en réaction en (még/l) des groupes des anions et des cations cette formule permet de donner les faciès chimiques de chaque analyse.

III-2.1.1. Représentation graphique de faciès chimiques par Diagramme de PIPER :

A partir du diagramme de Piper obtenu on remarque que : les eaux souterraines se trouvant dans notre zone d'étude (Hassi ben abdallah) sont caractérisées par les concentrations des éléments suivantes :

- Pas des cations dominants dans les douze (12) forages.
- Le chlorure est l'anion domine dans les douze (12) forages.

D'après les calculs faits, on conclut que les eaux souterraines d'irrigations de notre zone se caractérisent par un faciès chimique dit : « Chlorurée sodique ».

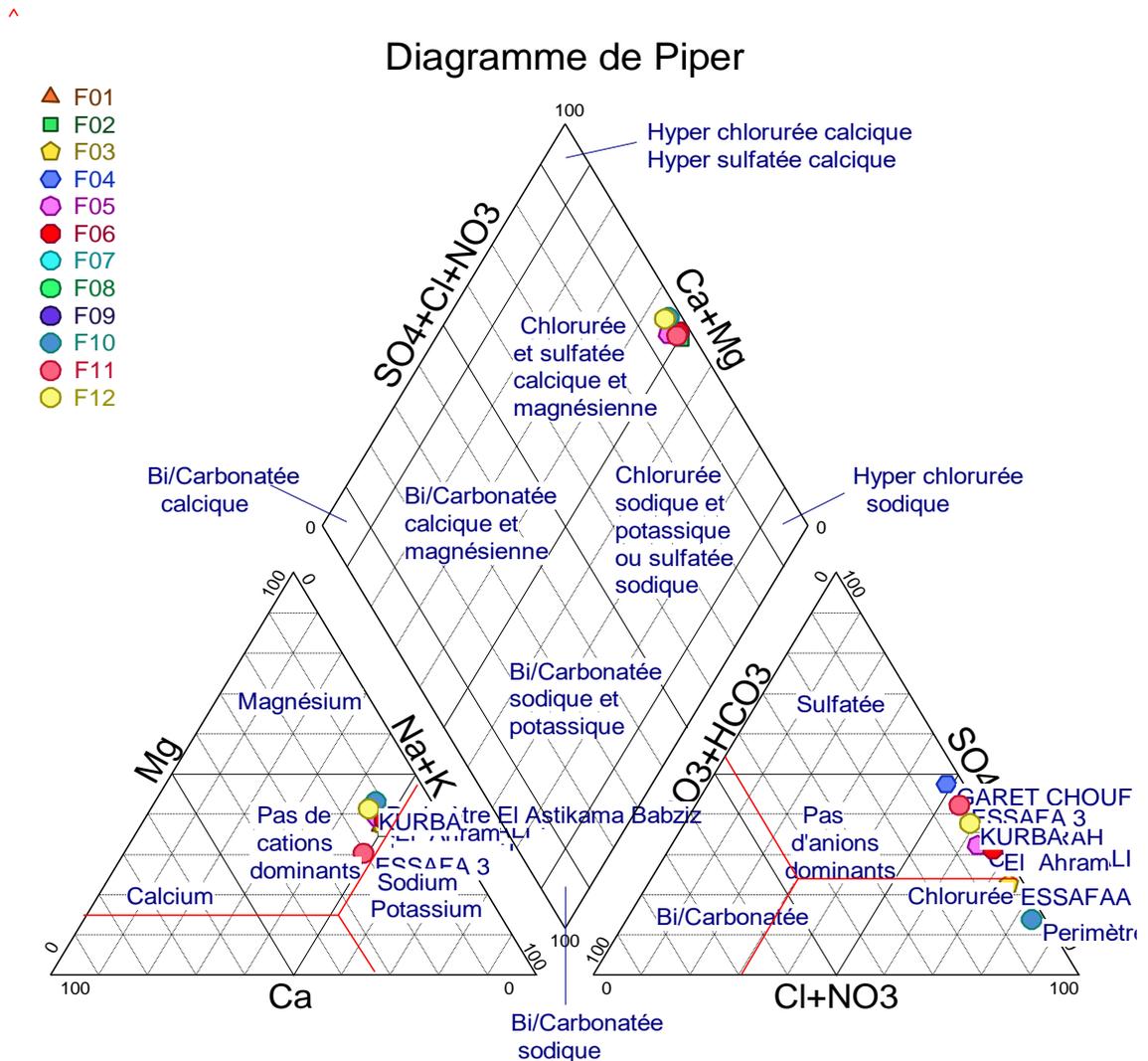


Figure 33 : Représentation graphique des eaux souterraines de la région Hassi Ben Abdallah par le diagramme de Piper.

Tableau 23 : Formule et faciès chimique des eaux de la nappe moi-pliocène d'après Diagramme de piper.

Forage	Nom	Formule	Faciès
1	DIF DIF	$Cl > SO_4^{-2} > HCO_3^{-}$ $Na^{+} > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique
2	EL AFRAH	$Cl > SO_4^{-2} > HCO_3^{-}$ $Na^{+} > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique
3	ESSAFAA	$Cl > SO_4^{-2} > HCO_3^{-}$ $Na^{+} > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique
4	GARET CHOUF	$Cl \geq SO_4^{-2} > HCO_3^{-}$ $Na^{+} > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré et Sulfaté Sodique
5	CHERAK ALI	$Cl > SO_4^{-2} > HCO_3^{-}$ $Na^{+} > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique
6	El Ahram	$Cl > SO_4^{-2} > HCO_3^{-}$ $Na^{+} > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique
7	Rabha	$Cl > SO_4^{-2} > HCO_3^{-}$ $Na^{+} > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique
8	Talbi	$Cl > SO_4^{-2} > HCO_3^{-}$ $Na^{+} > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique
9	HASSI SAYEH	$Cl > SO_4^{-2} > HCO_3^{-}$ $Na^{+} > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique
10	Perimètre El Astikama Babziz	$Cl > SO_4^{-2} > HCO_3^{-}$ $Na^{+} > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique
11	ESSAFA	$Cl > SO_4^{-2} > HCO_3^{-}$ $Na^{+} > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique
12	KURBA	$Cl > SO_4^{-2} > HCO_3^{-}$ $Na^{+} > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique

III-2.1.2. Représentation graphique de faciès chimiques par Diagramme de

Stiff :

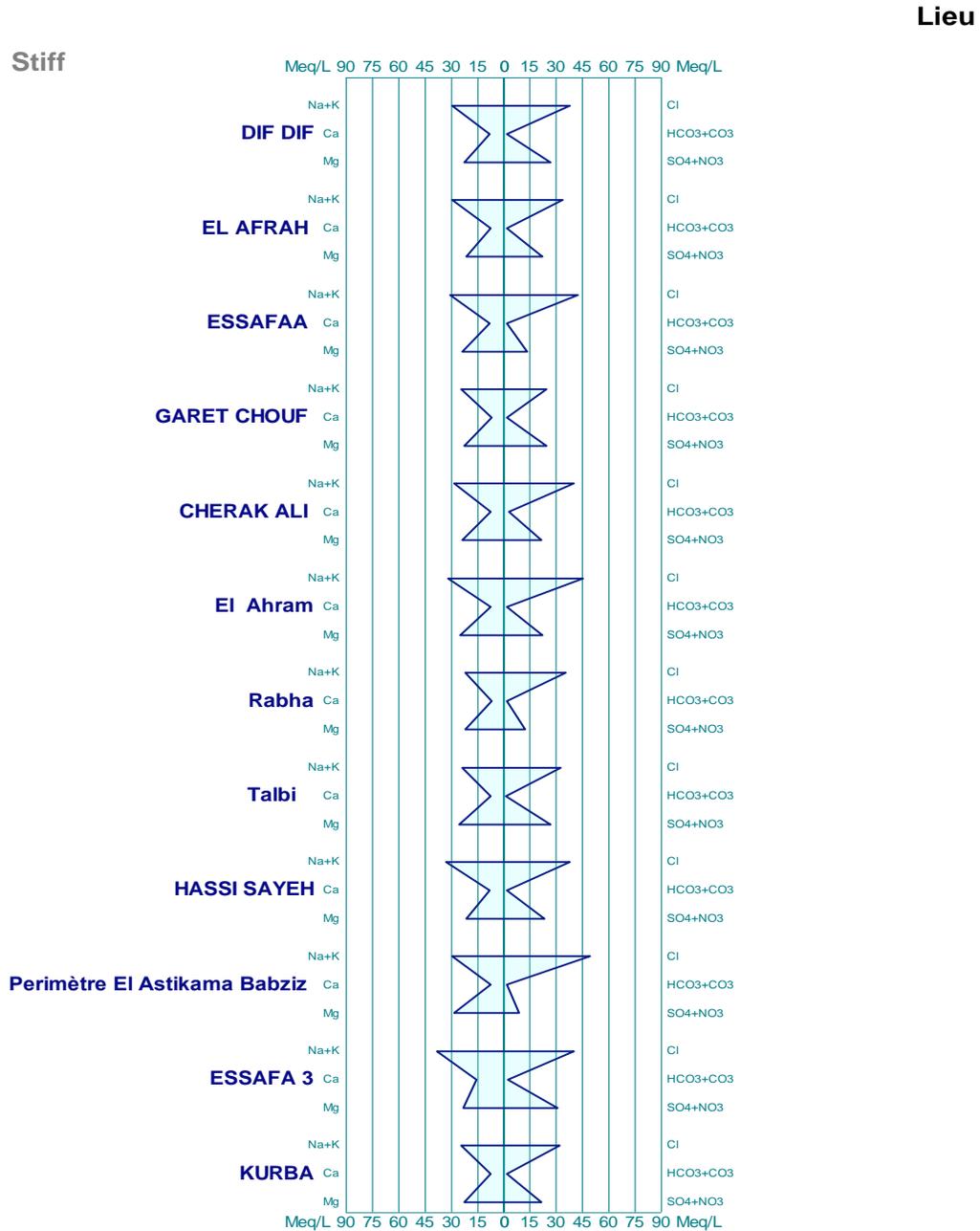


Figure 34 : Diagramme de Stiff pour les eaux de la nappe moi-pliocène de la région de Hassi Ben Abdallah .

D'après le diagramme de Stiff, le faciès chimique est le même pour tous les échantillons des échantillons (chlorurée sodique) sauf Garet Chouf qui représente une composition équilibrée

entre sodique et magnésienne pour le faciès cationique et entre sulfatée chlorurée pour le faciès anionique.

La surface bleue presque identique pour tous les échantillons, ce qui indique que la minéralisation est la même dans tous les forages étudiés.

Tableau 24 : Formule et faciès chimique des eaux de la nappe moi-pliocène d'après Diagramme de Stiff.

Forage	Nom	Formule	Faciès
01	DIF DIF	$Cl > SO_4^{2-} > HCO_3^-$ $Na^+ > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chlorurée Sodique
02	EL AFRAH	$Cl > SO_4^{2-} > HCO_3^-$ $Na^+ > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique
03	ESSAFAA	$Cl > SO_4^{2-} > HCO_3^-$ $Na^+ > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique
04	GARET CHOUF	$Cl \geq SO_4^{2-} > HCO_3^-$ $Na^+ > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chlorurée et Sulfatée Sodique et Magnésienne
05	CHERAK ALI	$Cl > SO_4^{2-} > HCO_3^-$ $Na^+ > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique
06	El Ahram	$Cl > SO_4^{2-} > HCO_3^-$ $Na^+ > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique
07	Rabha	$Cl > SO_4^{2-} > HCO_3^-$ $Na^+ > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique fortement Magnésienne
08	Talbi	$Cl > SO_4^{2-} > HCO_3^-$ $Na^+ > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique fortement Magnésienne
09	HASSI SAYEH	$Cl > SO_4^{2-} > HCO_3^-$ $Na^+ > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique
10	Perimètre El Astikama Babziz	$Cl > SO_4^{2-} > HCO_3^-$ $Na^+ > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique fortement Magnésienne
11	ESSAFA	$Cl > SO_4^{2-} > HCO_3^-$ $Na^+ > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique
12	KURBA	$Cl > SO_4^{2-} > HCO_3^-$ $Na^+ > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique fortement Magnésienne

III-2.1.3. Représentation graphique de faciès chimiques par Diagramme de

Stabler:

Stabler

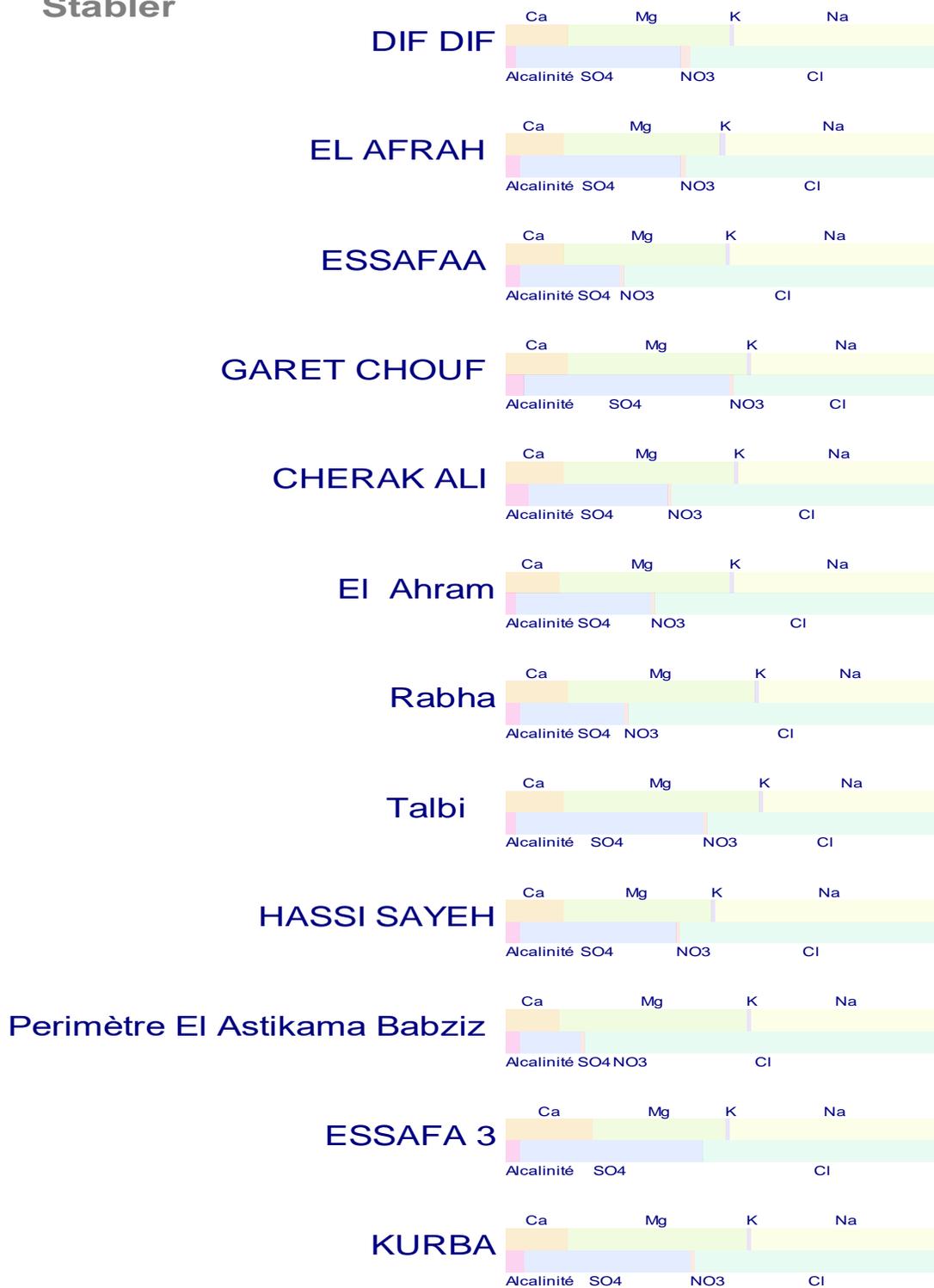


Figure 35 : Diagramme de Stabler pour les eaux de la nappe moi-pliocène de la région de Hassi Ben Abdallah .

Le diagramme de Stabler a permis d'identifier le faciès chimique de chaque échantillon qui est le même trouvé avec Stiff. En comparant les barres de chaque échantillon entre eux, on trouve que les pourcentages des cations et anions sont presque les mêmes sauf pour l'échantillon Garet Chouf qui représente un équilibre entre la quantité de sulfate et la quantité de chlorure.

La dureté carbonatée dans tous les échantillons est très petite par rapport de la dureté non carbonatée ce qui rend l'essai de l'adoucissement par la chaux moins efficace dans nos cas.

Tableau 25 : Formule et faciès chimique des eaux de la nappe moi-pliocène d'après Diagramme de Stabler.

Forage	Nom	Formule	Faciès
01	DIF DIF	$Cl > SO_4^{-2} > HCO_3^- \quad Na^+ > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chlorurée Sodique
02	EL AFRAH	$Cl > SO_4^{-2} > HCO_3^- \quad Na^+ > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique
03	ESSAFAA	$Cl > SO_4^{-2} > HCO_3^- \quad Na^+ > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique
04	GARET CHOUF	$Cl \geq SO_4^{-2} > HCO_3^- \quad Na^+ > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chlorurée et Sulfatée Sodique et Magnésienne
05	CHERAK ALI	$Cl > SO_4^{-2} > HCO_3^- \quad Na^+ > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique
06	El Ahram	$Cl > SO_4^{-2} > HCO_3^- \quad Na^+ > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique
07	Rabha	$Cl > SO_4^{-2} > HCO_3^- \quad Na^+ > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique fortement Magnésienne
08	Talbi	$Cl > SO_4^{-2} > HCO_3^- \quad Na^+ > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique fortement Magnésienne
09	HASSI SAYEH	$Cl > SO_4^{-2} > HCO_3^- \quad Na^+ > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique
10	Perimètre El Astikama Babziz	$Cl > SO_4^{-2} > HCO_3^- \quad Na^+ > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique fortement Magnésienne
11	ESSAFA	$Cl > SO_4^{-2} > HCO_3^- \quad Na^+ > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique
12	KURBA	$Cl > SO_4^{-2} > HCO_3^- \quad Na^+ > Mg^{+2} > Ca^{+2}$	Chloruré Sodique fortement Magnésienne

III-2.1-4. Représentation graphique de faciès chimiques par Diagramme de

Riverside :

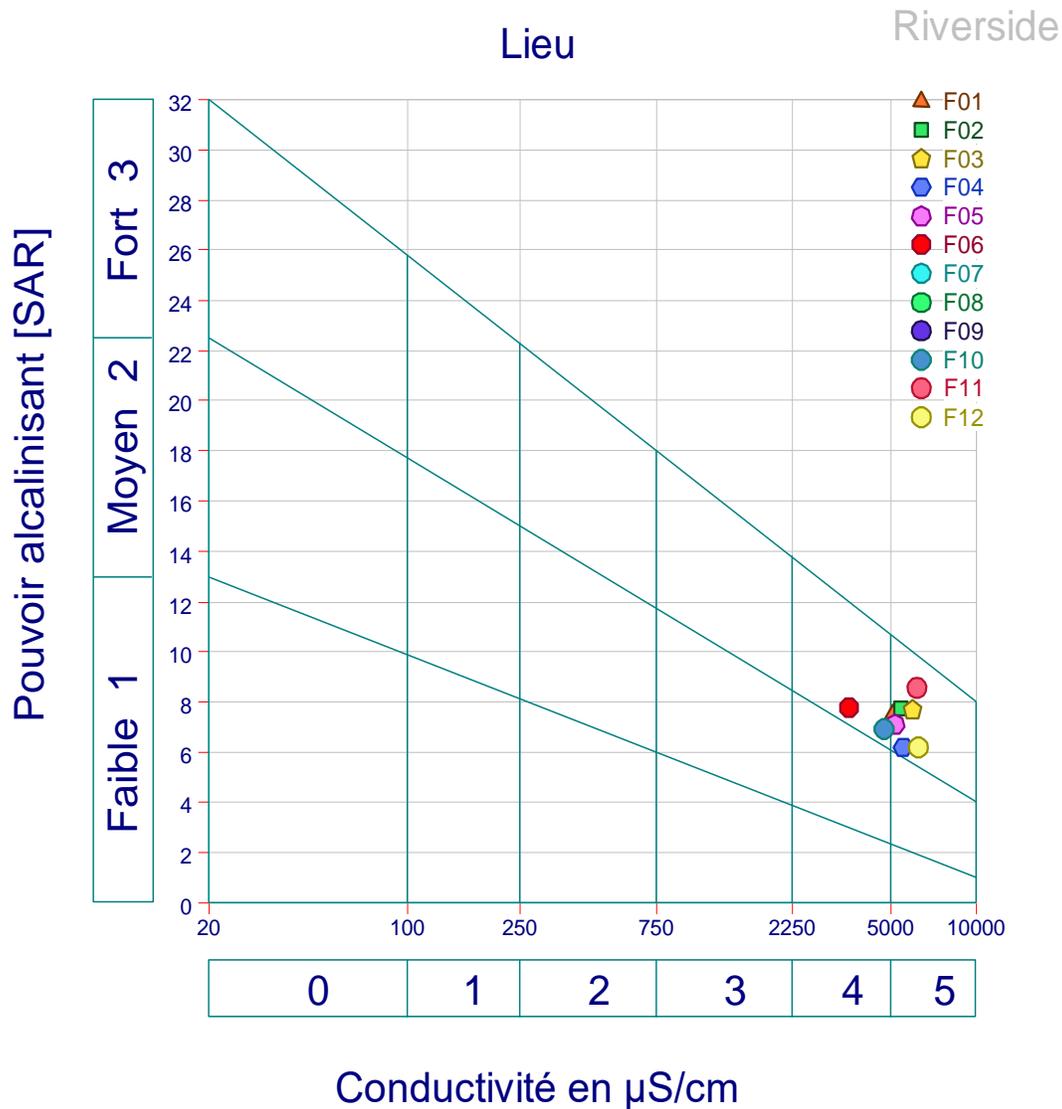


Figure 36 : Diagramme de Riverside des eaux de nappe moi-pliocène de la région de Hassi Ben Abdallah

Théoriquement, les échantillons sont classés dans la case C4S3 et C5S3 (tableau 07) ce qui implique que les eaux étudiées ne conviennent pas à l'irrigation.

Malgré leur salinité élevée, les eaux de forage étudiées sont utilisées actuellement en irrigation. Afin de minimiser les effets néfastes de la salinité, des mesures correctives peuvent être efficaces telles que : un drainage interne adéquate ; le choix des espèces tolérantes à la

salinité élevée ; l'ajout d calcium soluble tel que le gypse pour diminuer le SAR à une valeur sûre , ...etc.

III-2.1.5. Représentation graphique de faciès chimiques par Diagramme de Wilcox:

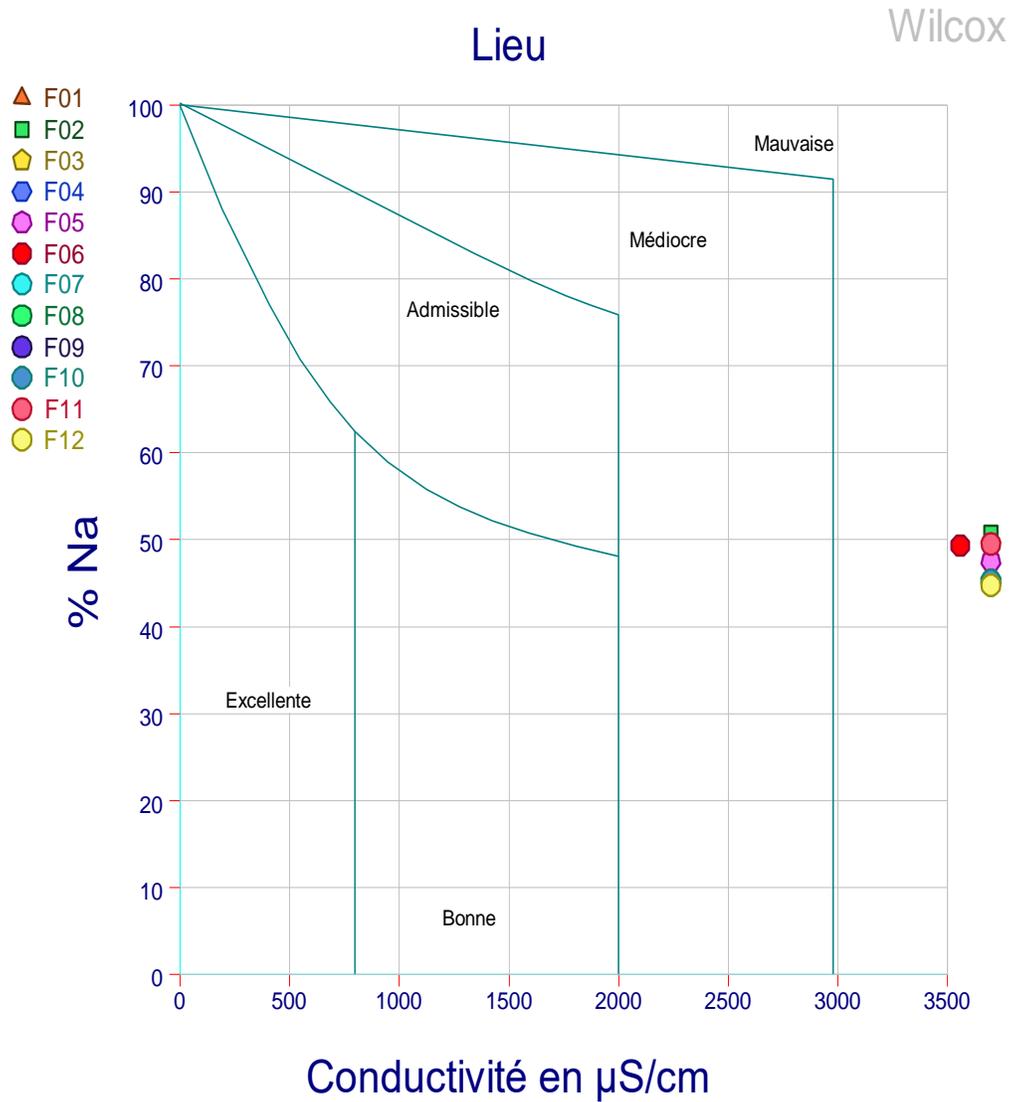


Figure 37 : Diagramme de Wilcox des eaux de nappe moi-pliocène de la région de Hassi Ben Abdallah

La figure indique que tous les échantillons sont de mauvaise qualité et irriguer certains champs agricoles dans les conditions normales.

III-2.2. Les indice d'irrigation :**Tableau 26 :** les indices d'irrigation de chaque échantillon.

N°	Nom	Na %	SAR	Mg%	KR
01	DIF DIF	49,38	7,51	72,66	0,95
02	EL AFRAH	50,78	7,73	73,6	1,01
03	ESSAFAA	49,42	7,66	73,94	0,95
04	GARET CHOUF	44,83	6,16	75,21	0,79
05	CHERAK ALI	47,45	7,08	75	0,89
06	El Ahram	49,33	7,77	76,15	0,96
07	Rabha	42,85	5,65	75,12	0,73
08	Talbi	41,59	5,72	77,07	0,7
09	HASSI SAYEH	53,05	8,56	72,24	1,11
10	Perimètre El Astikama Babziz	45,33	6,92	78,83	0,81
11	ESSAFA	49,38	8,56	59,64	0,96
12	KURBA	44,78	6,15	74,58	0,79

III-2.2.1. Pourcentage en Sodium (N%) :

La classification de la qualité de l'eau d'irrigation basée sur les valeurs du pourcentage de sodium proposées par wilcox (1955) suggère que les eaux souterraines de la zone d'étude sont utilisables.

III-2.2.2. L'indice de Kelly :

L'indice de kelly calculé des eaux souterraines de la zone d'étude varie entre 0.7 et 1.11 méq/l avec une moyenne de 0.89 méq/l (Tableau 26) indiquant que ces eaux appropriées à l'irrigation.

III-2.2.3. Le Magnésium Ratio :

Les valeurs du magnésium ratio oscillent entre 59.64% et 78.83%, avec une valeur moyenne de 73.67%. 100% des échantillons sont en dessus de la limite autorisée indiquant l'effet

défavorable sur le rendement des cultures et élevée de l'alcalinité du sol (Tableau 26). Dans notre zone d'étude, toutes les eaux sont non utilisées pour des fins agricoles concernant le magnésium ration.

III-3. Comparaison avec une autre étude :

Après étude des analyses de la région Hassi Ben Abdallah et comparaison avec l'étude physico-chimique des régions de Ouargla [5], nous constatons que :

- Il appartient au même milieu hydrogène, qui est basique ;
- Où nous avons remarqué que la conductivité dans les échantillons de notre étude est élevée par rapport à l'autre étude, et cela réside dans la salinité élevée ;
- correspondre dans faciès chimique des eaux chlorurées sodiques.

Conclusion

L'étude hydro-chimique des eaux de la nappe mi-pliocène de la région Hassi Ben Abdallah, montre que :

Une conductivité élevée allant (3560 et 6230 $\mu\text{s}/\text{cm}$) a cause de l'augmentation de concentration de la salinité;

La salinité est comprise entre (3558-4774 mg/l) ;

Le potentiel hydrogène pH varie entre 7.7 et 8.87 dans l'intervalle $[\text{H}^+] < [\text{OH}^-]$, $\text{pH} > 7$, donc les eaux sont de type basiques.

L'utilisation de diagrammes de PIPER a permis d'identifier un type de faciès chimique à savoir chlorurée sodique.

L'utilisation de diagramme de STABLER et STIFF a permis d'identifier des types de faciès chimique à savoir chlorurée sodique ou chlorurée sodique fortement magnésienne.

Conclusion Générale

Notre région d'étude appartient au Sahara Nord –Est septentrional algérien, Le plateau d'Ouargla est caractérisé par une structure géomorphologique : plateau de la hamada Mio-Plio-Quaternaire ; les glacis ; la sebkha ; dunes. Dans cette partie du Sahara algérien, ce trouve trois formations hydrogéologiques de bas en haut la nappe du Continental Intercalaire, nappe du Complexe Terminal et nappe phréatique.

L'étude climatique sur une période de dix ans (10 ans) montre qu'une rareté de précipitation avec un minimum (0,13 mm) au mois de juin, et un maximum (12,58 mm) observé au mois de janvier, alors notre région a marqué une augmentation de température varié entre maximum au mois de juillet (34,48 °C), et le minimum (11,64°C) dans le mois de janvier. Cette étude est complétée par les facteurs climatiques telle que ; évaporation, humidité relative de l'air, vitesse de vent, l'insolation ; et pour confirmer ce type de climat, l'étude d'Indice d'aridité de DEMARTONNE donne une valeur de (1,7) qui appartient d'intervalle $0 < I < 5$ ce dernier explique que notre région marque par un climat hyper-aride.

L'évaluation des analyses hydro-chimique montre que la majorité des eaux dans la région Hassi Ben Abdallah sont caractérisées par un potentiel hydrogène alcalin, une dureté carbonatée très petite par rapport de la dureté non carbonaté, un faciès chimique de type chloruré sodique, une forte salinité qui est presque la même dans tous les forages étudiés. A coté de la formation géologique, le phénomène de lessivage se représente comme une deuxième cause de la salinité des forages avec le temps.

L'étude des indices de qualité des eaux d'irrigation indique que la plupart des eaux de notre zone d'étude sont caractérisées par un SAR < 10 , donc les eaux peuvent être utilisées avec peu de danger d'alcalinisation des sols ; une pourcentage de sodium (%Na) varie entre (40-60) ce que montre que ces eaux sont de type Utilisables ; un indice de kelly varie entre 0,7 et 1,1 meq/l ce que indique ces eaux sont appropriées à l'irrigation et enfin des valeurs du magnésium ratio oscillent entre 59.64% et 78.83%. Tous les échantillons sont en dessus de la limite autorisée ce qui montre que toutes les eaux sont non utilisables pour des fins agricoles concernant le magnésium ration.

D'après le diagramme de Riverside, les échantillons sont classés dans la case C4S3 et C5S3 ce qu'implique que les eaux étudiées ne conviennent pas à l'irrigation dans les conditions normales. A ce moment, des mesures correctives telles que : un drainage interne adéquat ; le choix des espèces tolérantes à la salinité élevée ; l'ajout de calcium soluble tel que le gypse pour diminuer le SAR à une valeur sûre, peuvent être efficaces pour minimiser l'effet de la salinité élevée sur la production agricole et sa qualité.

Enfin, notre étude des paramètres physiques et chimiques des eaux de la nappe mi-pliocène utilisée actuellement pour l'irrigation dans la région de Hassi Ben Abdallah montre que ces eaux peuvent être adaptées à l'irrigation agricole dans des conditions améliorées.

Références bibliographiques

[1] <https://www.sabspa.com/fr/la-qualite-de-leau-pour-lirrigation/>

[2] Layachi Gouaidia, Omar Guefaifia, Abderahmane Boudoukha, Mohamed LaidHemila et Claude Martin, « Évaluation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risques de dégradation des sols : exemple de la plaine de Meskiana (Nord-Est Algérien) », *Physio-Géo*, Volume 6 -1, 141-160.

[3] : HOUARI IDIR MENAD, NEZLI IMED EDDINE, BOUREGAA SLIMANE : description géologique et géométrique des formations aquifères de la cuvette de Ouargla, Département des sciences de la Terre et de l'Univers, Université de Ouargla, BP 511, 2014, p14-15

[4] :GBOMBELE SORO, TANINA DRISSA SORO, N'GUESSAN MARIE-ROSINE FOSSO, OI ADJIRI ADJIRI ET NAGNIN SORO : Application des méthodes statistiques multivariées à l'étude hydrochimique des eaux souterraines de la région des lacs (centre de la cote d'Ivoire), laboratoire des sciences et techniques de l'eau et l'environnement, UFR sciences de la terre et des Ressources Minières, Université Félix Houphouet-Boigny, 22 Bp 582, cote d'Ivoire p 1878

[5] : A M.DROUICHE, W. CHAIB, A. REZEG, N. BOUGHERIRA, W. HAMZAOUI ET L. DJARBI : Risque de contamination des eaux souterraines par les nitrates en région arides ; cas d'Elghrous (région des ziban-sud-est Algerien), CRSTRA Division Eau et sols, Université Badji Mokhtar Annaba, *Journal Algérien des régions Arides* p 66

[6] : SADEK AWAD : Hydrochimie et faciès géochimiques des eaux souterraines, plaine de Bekaa, laboratoire interaction et dynamique des environnements de surface (IDES), orsay terre, Université de paris sud, F-91405 Orsay Cedex, France p 343

[7] : Jean Rodier (L'Analyse de L'eau 9^{ème} édition)

Annexe

Annexe N° 01: les données climatologiques.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
Insol	273,4	264	238,2	196,7	245,5	239,8	268,5	277,5	282,6	313,4	339,8	320,5
PR (mm)	5,382	12,58	8,545	4,064	11,89	1,218	4,136	4,664	1,391	0,127	0,664	1,536
v (m/s)	3,873	3,573	2,727	2,836	2,991	3,218	3,873	4,473	4,655	4,355	4,282	3,918
Evap	306,5	233,6	132,4	92,35	103,3	135,2	211,2	288,3	345,4	437,5	475,5	435,6
H%	38,82	46,45	55,91	61,27	59,27	51,18	41,18	36,18	32,73	26,45	25,73	29,18
T moy (°C)	29,97	24,79	16,87	12,11	11,64	13,54	17,84	22,46	27,33	32,74	34,48	33,54

Résumé

L'objectif principal de ce travail est de faire une caractérisation physico-chimique des eaux de la nappe moi-paléocène utilisées en irrigation dans la région de Hassi Ben Abdallah . Pour cela, douze forages d'irrigation de différents champs agricoles ont été sélectionnés. La répartition des éléments physico-chimiques dans la région, la comparaison des résultats avec les normes et le calcul des indices d'irrigation ont été effectués. Les résultats trouvés ont montré que le pH mesuré est toujours situé entre 7.7 et 8.87. Ces résultats sont en bon accord avec les normes recommandées. Néanmoins, ces eaux sont très salées car leur CE est supérieure à $3000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Les valeurs de salinité varient entre 3.5g/l et 4.74 g/l. Cette étude a montré que le S.A.R de l'eau est varié entre 5.65 et 8.56. En effet, en terme de salinité on peut dire que les eaux de la nappe mio-pliocène de la région de Hassi Ben Abdallah est valable à l'irrigation des champs agricoles.

Mot-Clés : Nappe Mio-paléocène, Hassi Ben Abdallah Ouargla, qualité eau, Irrigation, hydrochimie

Summary

The main objective of this work is to make a physico-chemical characterization of the waters of the mio-Paleocene aquifer used in irrigation in the region of Hassi Ben Abdallah . In this work, twelve irrigation boreholes of different agricultural fields were selected. The distribution of the physico-chemical elements in the region, the comparison of the results with the standards and the calculation of the irrigation indices were carried out. The results found showed that the measured pH is always between 7.7 and 8.87. These results are in good agreement with the recommended standards. Nevertheless, these waters are very salty because their EC is greater than $3000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. The salinity values vary between 3.5g/l and 4.74 g/l. This study showed that the S.A.R of water is varies between 5.65 and 8.56. Indeed, in terms of salinity, it can be said that the waters of the Mio-Pliocene aquifer of the Hassi Ben Abdallah region are valid for the irrigation of agricultural fields.

Key-words : Moi-Paleocene aquifer, Hassi Ben Abdallah Ouargla, water quality, Irrigation, hydrochemistry.

الملخص

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو إجراء توصيف فيزيائي-كيميائي لمياه طبقة ميوبليوسان المستخدمة في الري في منطقة حاسي بن عبد الله. لهذا الغرض ، تم اختيار اثني عشر بئراً للري لمختلف الحقول الزراعية للقيام بهاته الدراسة. توزيع العناصر الفيزيائية والكيميائية في المنطقة ومقارنة النتائج مع المعايير وحساب مؤشرات الري قد أجريت . أظهرت النتائج أن درجة الحموضة المقاسة تتراوح دائماً بين 7.7 و 8.87. تتوافق هذه النتائج جيداً مع المعايير الموصى بها. ومع ذلك ، فإن هذه المياه شديدة الملوحة لأن توصيلتها الكهربائية أكبر من $3000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ميكر.سيمانس/سم. يمكن القول أن مياه طبقة المياه الجوفية Mio-Pliocene في منطقة حاسي بن عبد الله صالحة لري بعض الحقول الزراعية.

الكلمات المفتاح: طبقة ميوبليوسان، حاسي بن عبد الله ورقلة، نوعية المياه، السقي، هيدروكيميا