

République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministre D'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique

CENTRE UNIVERSITAIRE DE TINDOUF

Institut de science et technologie
Département des sciences de la terre et l'univers



MEMOIRE

présenté pour l'obtention du diplôme de Master

Option

Hydrogéologie

Titre du thème

**ETUDE HYDROGEOLOGIQUE D'UN AQUIFERE ALLUVIALE EN
ZONE BENI ABBES. CAS DE LA NAPPE DE LA PALMERAIE DE
L'OASIS MARHOUMA**

(Vallée de la Saoura sud-ouest algérien)

Par : **Merzougui Souleyman – Tladjit Omar**

Soutenu le : 31/06/2021. Devant le jury:

Mr. Zeroual ibrahim	MCA	Président du jury
Mme. djellouli della kheira	MCA	Examineur
Mr. Talhi abdelkrim	MCA	Examineur
Mr. Bekkouch faouzi	MCA	Directeur de mémoire

Année universitaire 2021-2022

REMERCIEMENT

Avec l'aide de " Allah" tout puissant, nous avons pu achever ce modeste travail Au terme de la réalisation de ce modeste travail, nous tenons à exprimer toute notre reconnaissance à Monsieur Dr Bekkouche mohammed faouzi qui a accepté de diriger ce travail.

nous le remercions également pour avoir bien voulu nous faire profiter de ces grandes connaissances et pour les conseils qu'il nous a donnés Nos vifs remerciements à president Monsieur le Dr Zerouale Ibrahim et l'examineur Dr Talhi Abdelkrim et l'examinatrice Mme Djellouli della kheira .

et tous les enseignants du centre universitaire ALI KAFI .

Dédicaces

A MES CHERS PARENTS, POUR TOUS LEURS SACRIFICES, LEUR AMOUR, LEUR TENDRESSE, LEUR SOUTIEN ET LEURS PRIÈRES TOUT AU LONG DE MES ÉTUDES

A MES CHÈRES SŒURS POUR LEURS ENCOURAGEMENTS PERMANENTS, ET LEUR SOUTIEN MORAL,

A MES CHERS FRÈRES, POUR LEUR APPUI ET LEUR ENCOURAGEMENT

A TOUTE LES AMIS

A TOUTE MA FAMILLE POUR LEUR SOUTIEN TOUT AU LONG DE MON PARCOURS UNIVERSITAIRE, QUE CE TRAVAIL SOIT L'ACCOMPLISSEMENT DE VOS VŒUX TANT ALLÉGUÉS, ET LE FUT DE VOTRE SOUTIEN INFALLIBLE, MERCI D'ÊTRE TOUJOURS LÀ POUR MOI.

Liste de figure

Fig.1 : Schéma des principales conditions de l'existence d'eau souterraines.....	02
Fig.2 : Log des formations Paléozoïques de la région Béni Abbès.....	03
Fig.3: Coupe schématique du Quaternaire.	05
Fig.4 : Carte pluviométrique de la région de la Saoura (ANRH, 1995).....	10
Fig.5: Répartition des précipitations annuelles (station Béni Abbès, 1985-2009).....	10
Fig.6 : Histogramme des précipitations mensuelles à la station de Béni Abbès.....	11
Fig.7 : Répartition des précipitations saisonnières à la station de Béni Abbès (1985-2009).....	12
Fig. 8 : températures mensuelles à la station de Béni Abbès (1985-2009).....	13
Fig.9 : Variation de l'évaporation moyenne mensuelle.....	14
Fig.10 : Le déficit d'écoulement d'après l'Abaque de Verdeil Béni Abbès.....	15
Fig.11 : Diagramme pluvio-thermique de la station de Béni Abbès.....	16
Fig. 12 : Abaque pour calcul de l'indice de Martonne.....	17
Fig. 13 : Climagramme d'EMBERGER.....	18
Fig.14 : Nappe du Grand Erg Occidental.....	21
Fig. 15: Carte piézométrique de la nappe du Grand Erg Occidental (Cornet et Roche, 1973).....	21
Fig.16: Carte piézométrique de la nappe de la Hamada du Guir (Combes, 1966).....	23
Fig.17 : Coupe lithologique de quelques puits creusés dans l'oasis Marhouma (Enquête sur terrain, 2017).....	24
Fig. 18: Carte d'inventaire des points d'eau à Marhouma (mars,2017).....	25
Fig.19 : Carte piézométrique de la nappe alluviale de Marhouma, Mars 2017.....	26
..34 ...Fig.20 : Diagramme de faciès sulfaté sodique des eaux de la nappe de Marhouma	
Fig.21 : Diagramme de faciès sulfaté calcique des eaux de la nappe de Marhouma.....	35
Fig.22: Diagramme de faciès bicarbonaté calcique des eaux de la nappe de Marhouma.....	36
Fig.23 : Diagramme de faciès chloruré sodique des eaux de la nappe de Marhouma.....	37
Fig.24 : Diagramme de faciès chloruré calcique des eaux de la nappe de Marhouma...	38
Fig. 25 : Classification des eaux selon le diagramme de Piper.....	39
Fig. 26 : Classification des eaux selon le diagramme de Piper.....	40
Fig. 27 : Classification des eaux selon le diagramme de Piper.....	41
Fig. 28 : Classification des eaux selon le diagramme de Piper.....	42

Fig. 29 : Classification des eaux selon le diagramme de Piper.....	43
Fig.30 : Carte isoteneur en HCO_3^- de l'Oasis Marhouma.....	44
Fig.31: Carte d'iso teneurs en Cl^- de l'oasis Marhouma.....	45
Fig.32 : Carte d'iso teneurs en SO_4^{2-} de l'Oasis Marhouma.....	46
Fig.33 : Carte d'iso teneurs en Ca^{++} de l'oasis Marhouma.....	47
Fig.34 : Carte d'iso teneur en Mg^{++} de l'oasis Marhouma	48
Fig.35 : Carte d'iso teneur en (Na^++K^+) de l'oasis Marhouma.....	49
Fig.36: Carte iso conductivité de l'Oasis Marhouma.....	50
Fig. 37: S. A. R. des eaux de Marhouma.....	52

Liste de tableaux

Tableau.1 : les multicouches et les aquifères à Béni Abbès.....	08
Tableau.2 : Caractéristiques de la station de Béni Abbès.....	09
Tableau 3 : Précipitations mensuelles enregistrées dans la ville de Béni Abbès.....	11
Tableau.4 : Répartition saisonnière des précipitations (1985-2009).....	11
Tableau.5 : Températures maximales, minimales et moyennes à la station de Béni Abbès (°C).....	12
Tableau.6 : Valeurs de l'évaporation mensuelle (mm) à la station de Béni Abbès (1985-2009).....	14
Tableau.7 : Normes algériennes (NA 6360-1992) de potabilité des eaux de consommation.....	28
Tableau.8 : Classification des eaux en fonction de la dureté.....	30
Tableau.9 : Classification des eaux de l'Oasis Marhouma selon leur faciès.....	32
Tableau.10 : Valeurs du S.A.R pour les eaux étudiées.....	51
Tableau. 11 : Classifications des eaux destinées à l'irrigation.....	53

RESUME

L'oasis Marhouma est située à 18 kilomètres (11 miles) au Sud-Est de Béni Abbès (wilaya de Bechar). Elle correspond à un vaste territoire de terrasses alluviales d'âge quaternaire. L'oasis se base entièrement sur les eaux souterraines qui s'organisent dans un système aquifère simple, dont la nappe se trouve dans les formations quaternaire constituées de sables et de graviers, elle assure un rôle vital, pour une palmeraie de 70 hectares, cette dernière s'alimente principalement par celle du grand erg occidental. L'interprétation de la carte piézométrique de la nappe, réalisée suite à une campagne piézométrique (Mars 2013), a montré que l'écoulement se fait d'une manière générale du Nord-Est vers le Sud-Ouest avec un gradient hydraulique variant entre 10^{-3} et $6,6 \times 10^{-3}$.

Le traitement chimique des résultats des analyses d'eau a permis de faire ressortir cinq types de faciès et de montrer que, pour la plupart des points d'eau, les concentrations en sulfates et sodium présentent des teneurs relativement importantes ne dépassant toutefois pas les normes de potabilité prescrites par la réglementation algérienne. Aussi, ces eaux présentent un danger de salinisation.

Mots clés : oasis Marhouma, Béni Abbès, Quaternaire, palmeraie, Saoura, nappe, Béchar, Normes de potabilité.

ABSTRACT

Marhouma Oasis is located 18 kilometers (11 miles) southeast of Béni Abbès (wilaya of Bechar). It is a vast area of Quaternary alluvial terraces. The oasis is based entirely on groundwater that are organized in a single aquifer system, where the water is in the Quaternary formations consisting of sand and gravel provides a vital role for a grove of 70 hectares, the latter s 'feeds mainly that of the big western erg. The interpretation of the piezometric map of the web, made following a piezometric campaign (March 2013) showed that the flow is one way North-East to the North West with a hydraulic gradient between 10^{-3} and 6.6×10^{-3} .

Processing the results of water testing has helped identify five types of faciès and show that, for most water points, sodium and sulfate concentrations have significant compared to other standards but does not exceed the drinking water standards prescribed by the Algerian regulations. Also, these waters present a danger of salinization.

Key words: oasis Marhouma, Béni Abbès , Quaternary ,palm, Saoura, groundwater,Béchar, drinking water standards

ملخص

تقع واحة مرحومة على بعد 18 كلم جنوب شرق بني عباس (ولاية بشار) و تتمثل في الإقليم الشاسع و يتمثل في السطح الطمبي للعصر الرباعي.

الواحة تعتمد أساسا على المياه الجوفية و المنظمة محتوى مائي بسيط, أما بالنسبة للجيب الذي عملنا فيه فهو موجود في طبقات العصر الرباعي و المكون من الرمل و الحصى و التي تضمن الدور الحيوي ,لبساتين النخيل (70 هكتار), أما تغذية هذه الأخيرة فيتم بواسطة جيب العرق الغربي الكبير.

إن تفسير خريطة منسوب المياه الجوفية للجيب تبعا لخرجة مارس (2013) تبين إن سريان الماء يعمل باتجاه الشمال الشرقي نحو الشمال الغربي أين العامل الهيدروليكي يتغير بين 10^{-3} و 6.6×10^{-3} .

إن معالجة نتائج تحاليل المياه سمحت باستخلاص خمسة أنواع من السيمات كما بينت بالنسبة لغالبية نقاط المياه بان تركيز السلفات و الصوديوم يشكل قيم عالية مقارنة بباقي العناصر و لكن لا يفوق المعايير الجزائرية لصلاحية الشرب بالإضافة إن هذه المياه تمثل خطر الملوحة لأغراض الري.

كلمات مفتاحية: واحة مرحومة، بني عباس، رباعي , بساتين النخيل, خريطة منسوب المياه، جيب، التحاليل، معايير الشرب.

TABLEUX DE MATIERES.

Remerciement

Dédicace

Résumé

INTRODUCTION GENERALE.....01

CHAPITER I GEOLOGIE

1-Introduction02

2-Principale formation géologique.....03

a- Terrains volcanique03

b- Formation paléozoïque..... 03

c- Formation tertiaires.....04

d- Quaternaire..... 05

e- Grand erg occidental.....06

3-Tectonique06

4- Failles et fractures.....06

5-Conclusion.....07

CHAPITER II : CLIMATOLOGIE.

1-Introduction.....09

2- la pluviomètre.....09

a- Précipitation annuelles..... 10

b- Précipitation mensuelles.....11

c- Précipitation saisonnières.....11

3-Températures.....12

4-Evaporation.....13

a- Déficit d'écoulement et évapotranspiration.....	14
5-Etude du climat.....	15
a- Diagramme pluvio-thermique.....	15
b- Indice d'aridité annuel de Martonne.....	16
c- Climagrammepluvio-thermique de L.Emberger.....	17
6-Essai de bilan hydrologique.....	18
7-Conclusion.....	19

CHAPITER III HYDROGEOLOGIE

Introduction.....	20
1-Principales nappe.....	20
a- nappe du grand erg occidental.....	20
b- nappe des terrasses et d'infèro-flux.....	21
c- nappe des formations paléozoïques.....	22
d- nappe de hamada du guir.....	22
2-propriétés aquifères des formations.....	23
3-hydrodynamique.....	24
a- piézométrie.....	24
b- inventaire des points d'eaux a marhouma.....	25
4-conclusion.....	27

CHAPITER IV HYDROCHIMIE

1-Introduction.....	28
2-Moyens et méthodes d'analyse.....	29
a- mesures in situ.....	29
b- paramètres organoleptiques.....	29
3-Interprétation des résultats d'analyses.....	29
a- paramètre physique.....	29
b- paramètres chimiques.....	30
4-détermination des facies chimiques.....	32

5-représentation graphique des facies hydro chimiques.....	33
6-cartographie hydro chimique.....	43
7-aptitude des eaux a irrigation.....	50
8-conclusion.....	54
Conclusion générale.....	55

INTRODUCTION GENERALE

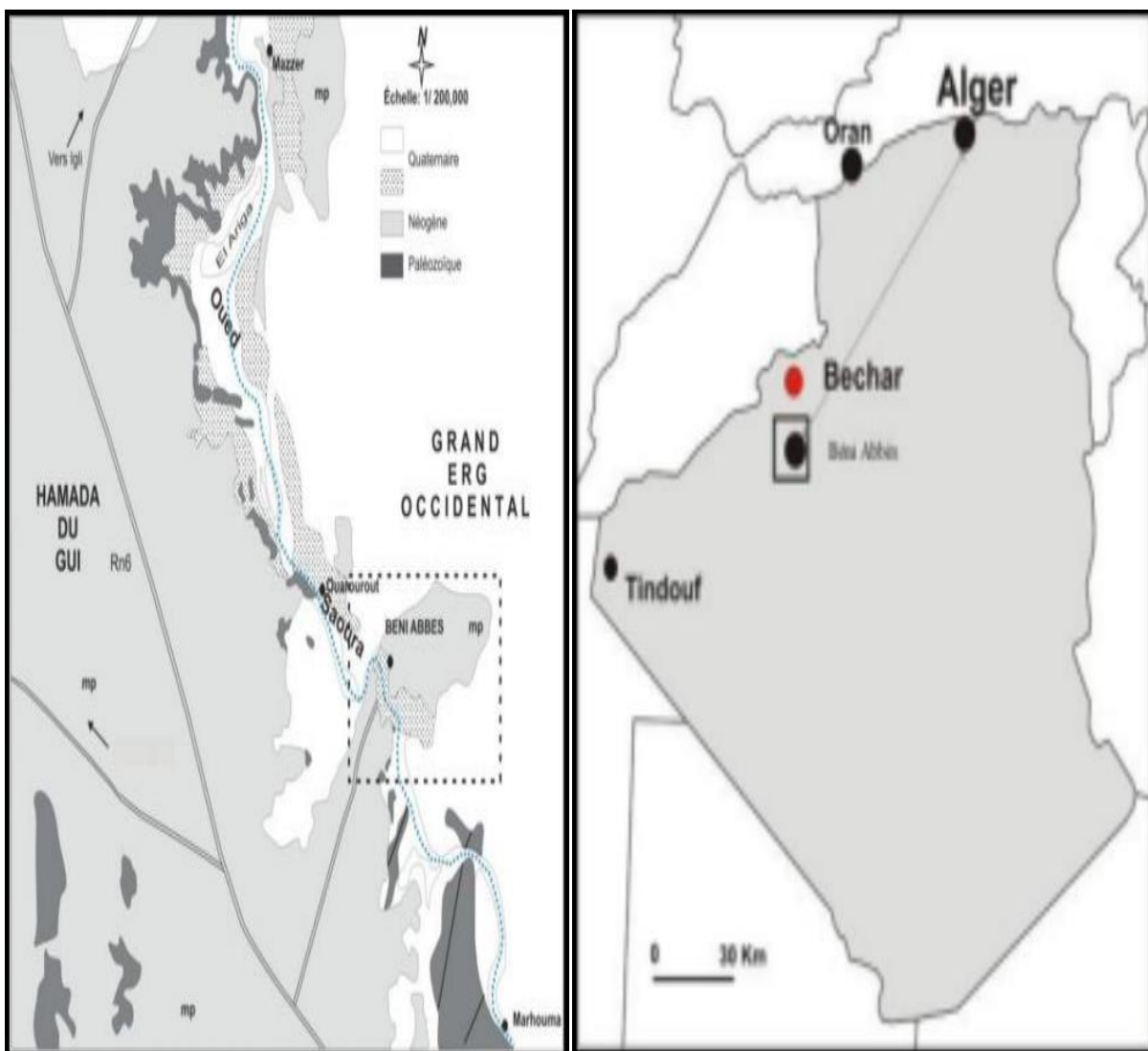
INTRODUCTION GENERALE:

Dans la région de la Saoura, comme dans bien d'autres au Sahara, les principales ressources économiques demeurent la culture irriguée pour les sédentaires.

Que la région possède quelques chances de développement. Toute entreprise est conditionnée par le problème primordial de l'eau. Si l'on envisage un développement économique régional.

La première action à entreprendre est un inventaire systématique des ressources hydrauliques. Alors ce travail, nous étudierons le système aquifère, à partir des aspects géologiques, climatologiques, hydrogéologique et hydro chimiques d'une oasis marhouma à Beni Abbas et du stockage des eaux souterraines de la région.

1-2 Situation géographique de Béni Abbés : L'oasis de Béni Abbés, faisant partie de la Saoura, admet comme coordonnées ($2^{\circ}1'5''$ O, $30^{\circ}8'7''$ N). Elle se situe dans le Sahara occidental Algérien, à environ de 240 km au Sud Ouest de Bechar et de 880 Km au Sud Ouest d'Alger. La vallée de la Saoura résultant de la jonction des oueds Guir et Zouzfana, elle représente un principal cours d'eau du Sahara Nord Occidental Algérien. Elle est bordée à l'Est par le Grand Erg occidental, à l'ouest par la Hamada du Guir (Mio-Pliocène) et la Petite Hamada. Au niveau de la base Saoura, elle jouxte les monts de l'Ougarta (paléozoïque) (Conrad G, Roche MA, 1965.). Le fond de cette vallée est occupé par des terrasses alluviales étagées composées des sédiments quaternaires connues localement le Saourien et le Guirien (Chavaillon J, 1964). Oued Saoura commence à Igli, il résulte de la jonction des oueds Guir, Zousfana, actuellement, il est considéré comme un cours d'eau qui ne reçoit qu'un apport hydrique négligeable.



I- Introduction

Pour que l'eau existe, il faut que ces deux conditions soient réalisées :

- un critère géologique, qui comprend des conditions lithologiques et structurales, assurant un rôle décisif dans l'existence ou non de l'aquifère.
- Un critère d'ordre climatique ou paléo climatique local ou régional, qui détermine les conditions de recharge des nappes souterraines (Castany,1982).

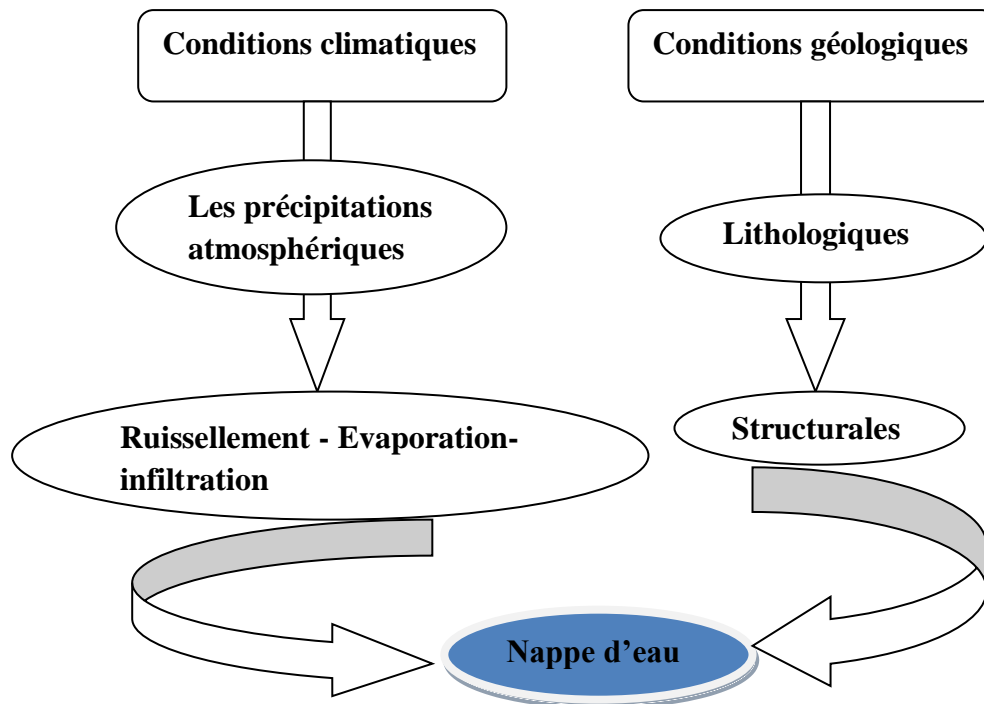


Fig1. : Schéma des principales conditions de l'existence d'eau souterraines.

Les conditions climatiques ou paléoclimatiques locales ou régionales jouent un rôle important dans la recharge ou l'alimentation des eaux dans des aquifères.

De même, les conditions géologiques, c'est à dire la nature des terrains (porosité et perméabilité), ainsi que leurs dispositions structurales, assurent un rôle décisif dans l'existence ou non de l'aquifère, permettent aussi de quantifier les réservoirs aquifères et de connaître leurs types de nappes, ainsi que leurs conditions aux limites selon la distribution des faciès géologiques.

Dans ce chapitre, on ne peut guère présenter clairement le système aquifère de l'oasis de Marhouma et en expose, un survol rapide de la géologie régionale.

Chapitre I : Géologie

Notre contribution apporte à l'échelle locale des coupes, faites sur la base d'observations des déblais et parois des puits de la palmeraie.

II- Principales formations géologiques

La région de Béni Abbès est constituée par des terrains variés, appartenant globalement au primaire, tertiaire et quaternaire. L'ensemble de ces terrains s'organisent en :

II-1- Terrains volcaniques

Occupant les cœurs des structures anticlinales dans les monts d'Ougarta, de nature rhyolitique. Leur appartenance stratigraphique pose encore des problèmes.

II-2- Formations paléozoïques

Renferment les couches de roches constituant les chaînes de montagnes d'Ougarta, c'est un mélange de roches ignées, sédimentaires et métamorphiques (depuis le Cambrien jusqu'au Permien). Elles sont de l'ordre de 14, appelées selon le toponyme local. Nous distinguons de bas en haut (fig. 2):

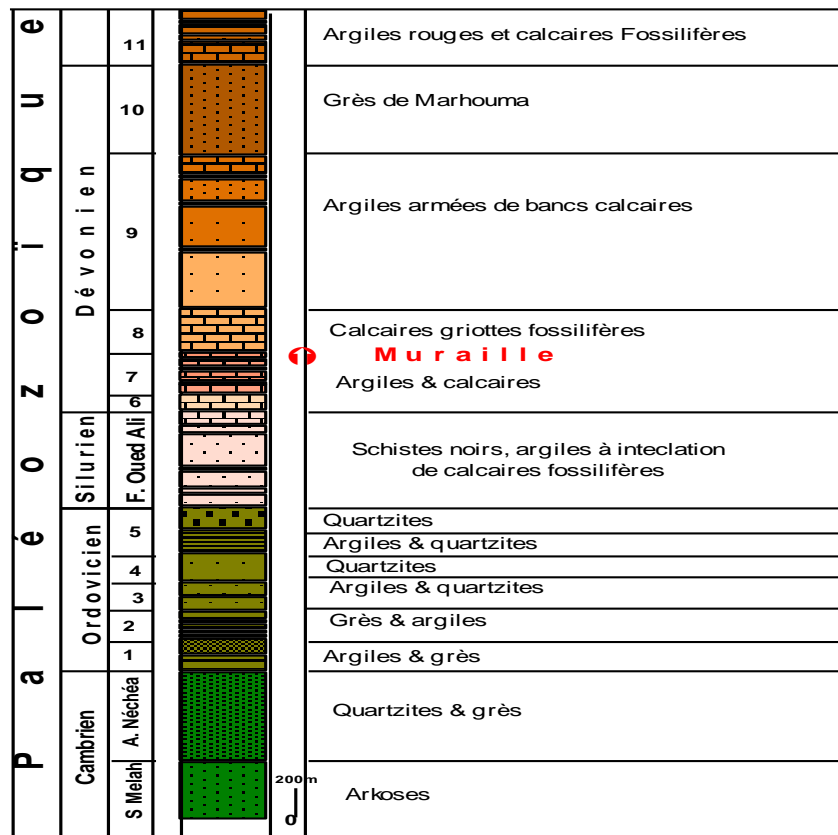


Fig.2 : Log des formations Paléozoïques de la région Béni Abbès.

- **Cambrien** : représenté par deux formations
 - ❖ Formation Sebkha El Melah de nature arkosique.
 - ❖ Formation Ain Nechea constituée de Quartzite.
- **Ordovicien** : représenté par cinq formations
 - ❖ formation de Foum Tenesleem: est argileuse dans sa grande totalité.
 - ❖ Formation de Khneg El Aâthène: il s'agit d'argiles et de quartzites.
 - ❖ Formation de Foum Ez Zeidia est quartzitique entrecoupée d'argiles.
 - ❖ Formation de Bou M'laoued comprend des niveaux quartzitiques interrompus par des argiles.
 - ❖ Formation de Djebel Serraf: est quartzitique.
- **Silurien** : représenté par une seule formation
 - ❖ Formation de l'Oued Ali: il s'agit d'argile armée.
- **Dévonien** : se compose de 06 formations
 - ❖ Formation de Marhouma : il s'agit d' argiles rouges et calcaire fossilifères.
 - ❖ Formation de Chefar El Ahmar: gréseuse.
 - ❖ Formation de Tiferguenit: formée par des argiles armées de bancs calcaires.
 - ❖ Formation de Dkhisa: il s'agit de calcaires griottes fossilifères.
 - ❖ Formation de Saheb EL Djir.
 - ❖ Formation de Zemilet: composée d'argile et de calcaire.

II-3- Formations tertiaires

Représentées par une vaste superficie située entre le piedmont de la chaîne atlasique et le grand erg occidental nommé Hamada ou Reg (les terrains hamadiens), désignant un plateau tabulaire rocheux, connu dans la Saoura sous le vocabulaire «Hamada du Guir».

Ces terrains font partie des immenses étendues "lacustres" qui s'étalent presque sans interruption depuis le Sahara occidental jusqu' au Sud algérien. Le Tertiaire repose en discordance angulaire sur les argiles et les schistes du Dévonien.

II-4- Quaternaire

Le dernier en termes de composition, ces formations quaternaires sont assez limitées dans l'espace, mais elles sont variées. Elles constituent principalement, les encroûtements calcaires de la petite Hamada, les terrasses alluviales étagées de la Saoura et les dunes de sables, la poussière des Oueds : c'est le lieu de localisation des oasis.

Les cailloutis à galets versicolores de l'Acheuléen moyen et supérieur sont recouverts de sédiments lacustres, de sables éoliens et de travertins.

Au niveau de la vallée de la Saoura, on distingue une alternance irrégulière de sables plus ou moins grossiers et des marnes, formant deux principaux cycles : le Guirien et le Saourien.

L'ensemble de ces terrains s'organisent en terrasses anciennes (terrasses 1), terrasses moyennes (terrasses 2) et terrasses supérieures (terrasses 3). (fig.3)

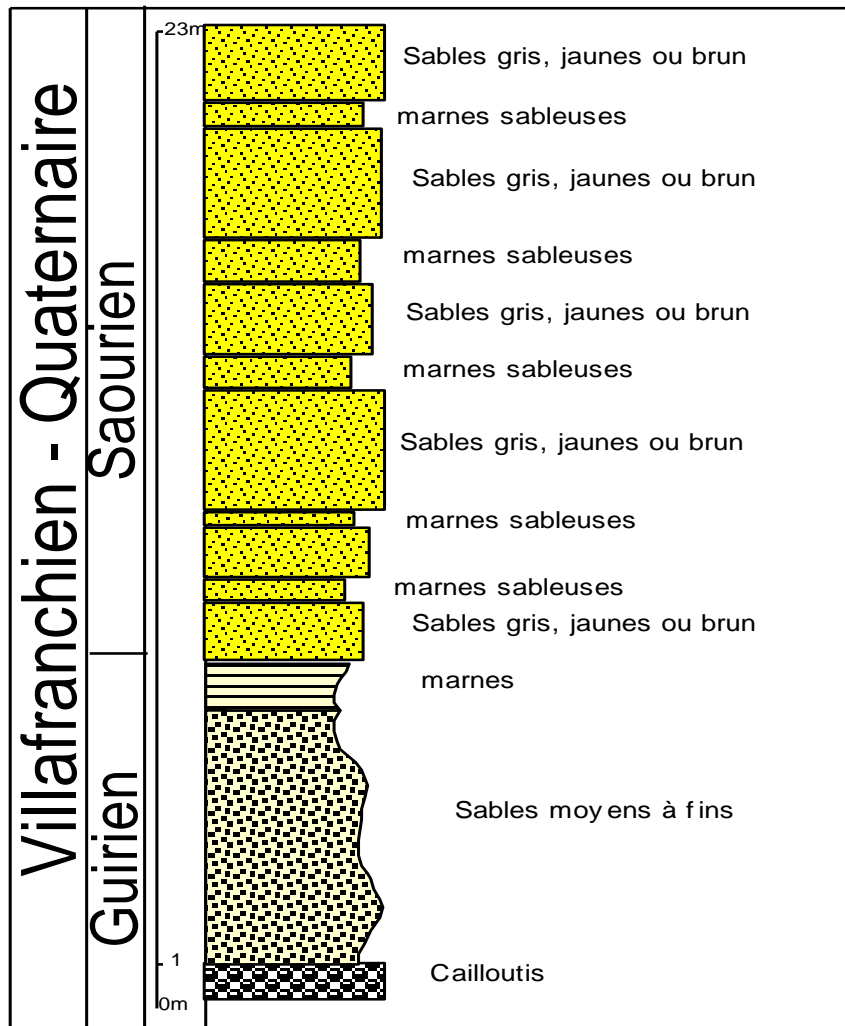


Fig.3: Coupe schématique du Quaternaire.

II-4-4- Le Grand Erg occidental

Le Grand Erg Occidental, est un immense massif de dunes de 80 000 km² (dunes en croissant, culminant à près de 300 mètres de haut), limité au Sud et au Sud-Est par l'immense haut plateau du Tademaït, à l'Ouest par l'oued Saoura et au Nord-Ouest par l'imposante chaîne montagneuse de l'Atlas saharien. Au nord de cette immense zone dunaire se trouvent les magnifiques oasis de Beni Abbès, d'Igli, de Taghit et du Gourara. La formation du Grand Erg occidental serait ainsi postérieure au Mazzérien, et plus précisément l'erg serait développé au cours des cycles Ougartien, Saourien et Guirien. Les dunes du Grand Erg recouvrent actuellement la majeure partie des terrains fluviaux lacustres mazzériens, leur étude granulométrique a révélé que les sables des parties hautes dérivent graduellement des sables de la base par remaniement éolien. La mise en place de l'erg occidental ayant débutée au cours de l'aride post- villafranchien.

III- Tectonique

Peu de données sont consacrées à la tectonique locale néanmoins, on signale que le substratum dévonien est plissé, à l'échelle de la chaîne et on le retrouve à différentes profondeurs dans les puits de la palmeraie.

En plus du plissement, les terrains paléozoïques sont affectés par des failles normales et inverses, Les failles ont trois principales directions : NW – SE ; NE – SW et E – W dont la direction NE-SW est la plus visible. Ces dernières sont réactivées pendant la néotectonique, elles interrompent et disloquent les continuités des dépôts néogènes.

III-1- Failles et Fractures

Deux types de failles sont repérés par l'aéromagnétisme.

- Le premier type concerne des failles anciennes, de direction NW-SE qui mettrait en contact des compartiments de socle de compositions différentes (in Bouima, 1986). Ces failles seraient liées au développement de la dépression marginale du craton.
- Sur le plan structural, la région de Béni Abbès appartient à l'anticlinorium central d'Ougarta (Blès J.L, 1969; Donzeau, 1972 et Khakhlov, 1981). Ce système est compliqué par des failles plus transverses E-W, NW-SE et NE-SW.

Ces différentes formations primaires sont affectées par des fractures diversement orientées. Les principales orientations des plans de fractures relevées sont classées par ordre décroissant d'importance (Mekkaoui A., 1998).

CONCLUSION

Du point de vue géologique, les formations dominantes dans la région de Béni Abbès (le secteur d'étude) sont formées essentiellement d'un substrat constitué d'assises paléozoïques allant du Précambrien au Viséen. Le Mio-Pliocène recouvert par du Plio-Villafranchien constitue la Hamada du Guir. La partie supérieure étant du Villafranchien supérieur repose en discordance sur le Primaire dont, ils comblent les vallées paléogènes et sont recouverts par le grand erg occidental de la Saoura.

Les formations quaternaires occupent de très grandes surfaces. Le Quaternaire est marqué par l'existence des terrasses alluviales entre autres les terrasses anciennes villafranchiennes, les terrasses saouriennes, ainsi que les terrasses guiriennes.

La tectonique joue un rôle important en hydrogéologie dans la région. (Tableau.1)

Chapitre I : Géologie

Tableau.1 : les multicouches et les aquifères à Béni Abbès

Unité stratigraphique	Formation	Lithologie	Aquifères et Aquitards	Nappes et Aquifères	
Quaternaire	Saourien	Alluvions anciennes et récentes	Perméable	Nappes des terrasses et Inféro- Flux	
	Guirien				
Tertiaire	Néogène	Torba	Semi imperméable	Nappe du grand Erg Occidental et la Hamada de Guir	
		Calcaire	Perméable		
Primaire	Carbonifère	Ouarourout	Schistes, calcaires et grès	Toit imperméable	
	Dévonien	Marhouma	Argiles rouges et Calcaire Fossilifères	Semi imperméable	Aquifères du Paléozoïque
		Chefar el Ahmar	Grès de Marhouma	Perméable	
		Tiferguent	Argiles Armées de Bancs Calcaire	Semi imperméable	
		Drisa	Calcaires Griottes Fossilifères Muraille Argiles et Calcaires	Perméable	
		Oued Ali	Schistes noirs, Argiles à intercalations calcaires.	Toit imperméable	
	Silurien	Dj. Serraf	Quartzites	Perméable	
		Bou M'Haoud	Argiles et Quartzites	Semi imperméable	
		Foum Ez Zeïdya	Quartzites	perméable	
		Kheneg El Aâthène	Grès et Argiles	Semi perméable	
		Foum Tineslèm	Argile et Grès	Semi imperméable	
	Ordovicien	Ain Néchéa	Quartzites	Perméable	
		Sebkha el Melah	Arkoses, grès - feldspath	Perméable	

I- Introduction

Ce chapitre permettra de déterminer les caractéristiques climatiques de la zone d'étude. À partir de l'étude des paramètres tels que les précipitations et les températures sur une période s'étalant de 1985 à 2009 disponibles au niveau de la station de Béni Abbès.

Le climat saharien est caractérisé par un climat désertique chaud et aride et marqué par ailleurs et dans le temps par une distinction saisonnière très nette, caractérisée par une saison hivernale relativement courte (3mois) et une saison sèche plus longue (environ 9 mois).

L'analyse des séries observées à la station de Béni Abbès est nécessaire afin de mieux déceler et appréhender les phénomènes climatiques de l'ensemble de la zone d'étude.

Tableau.2 : Caractéristiques de la station de Béni Abbès.

Station	Altitude(m)	latitude	Longitude	Période
Béni Abbès	502	30°07'56 N	02°10'27 W	1985-2009

II- La pluviométrie

La pluviométrie est le facteur primordial qui permet de déterminer le type du climat. En effet, La région de Béni Abbès se situe dans le Sud Ouest du sahara algérien. Cette région se caractérise par une faible à très faible précipitation. Effectivement, elle se trouve dans un intervalle de faible pluviométrie entre 30mm à 40 mm (fig.4).

Chapitre II : Climatologie

II-2- Précipitations mensuelles

Pour cette étude, nous avons pris en considération les valeurs des précipitations annuelles de la station suscitée. En réalité, le régime pluviométrique est très irrégulier, la quantité annuelle tombe souvent en une seule fois, causant des crues et parfois des dégâts. Les mesures mensuelles enregistrées sont résumées ci-dessous, (tableau.3).

Tableau 3 : Précipitations mensuelles enregistrées dans la ville de Béni Abbès

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	An
P(mm)	4,9	9,6	5,5	6,9	3,5	4,2	6,5	2,4	3	1	0,4	1,4	49,3

(Données ANRH)

Ces résultats se traduisent graphiquement (fig.6), sur laquelle on peut lire que le mois le plus pluvieux correspond à Octobre avec une hauteur de pluie de 9,6 mm. A l'inverse, le mois de Juillet est le plus sec.

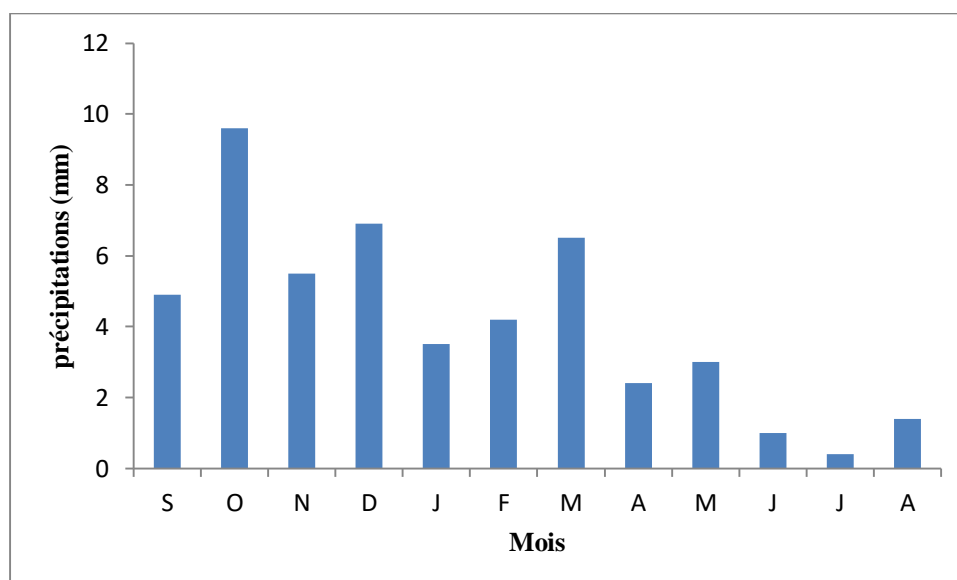


Fig.6 : Histogramme des précipitations mensuelles à la station de Béni Abbès.

II-3- Précipitations saisonnières

Tableau.4: Répartition saisonnière des précipitations (1985-2009).

Mois	S – O - N	D - J - F	M – A - M	J – Jt - A
SAISON	Automne	Hiver	Printemps	Eté
PP (%)	40,6	29,6	24,1	5,7
PP (mm)	20	14,6	11,9	2,8

Chapitre II : Climatologie

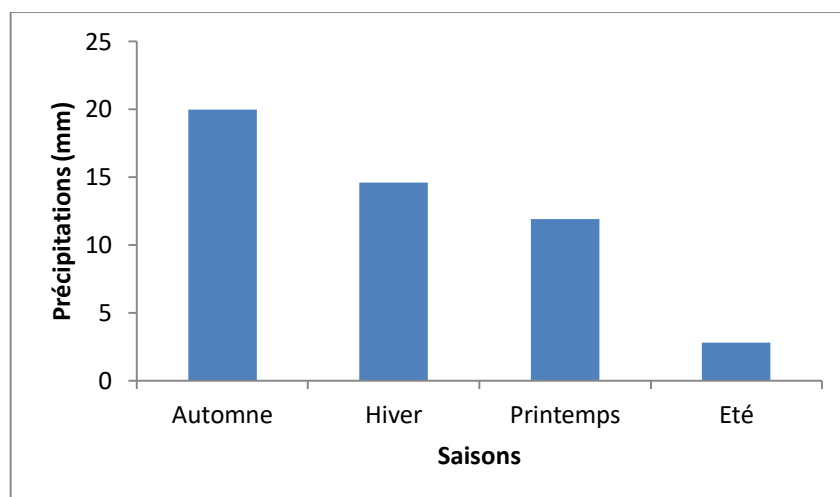


Fig.7 : Répartition des précipitations saisonnières à la station de Béni Abbès (1985-2009).

Le cumul par saison, nous permet de constater que la saison d'automne est la plus pluvieuse, avec 20 mm. En été, la pluviométrie est très faible.

III- Températures

La température est un élément décisif dans l'étude du climat et joue un rôle déterminant dans la vie végétale. En effet, les paramètres thermiques interviennent dans le déroulement de tous les processus biologiques selon des modalités diverses.

Les températures maximales, minimales et moyennes enregistrées sur la période (1985 à 2009) sont indiquées ci-dessous (Tableau.5).

Tableau.5: Températures maximales, minimales et moyennes à la station de Béni Abbès (°C).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	An
T_{Max}	38,72	30,73	23,71	18,88	18,11	21,26	26,32	26,05	34,82	40,17	45,04	43,04	30,60
T_{min}	22,87	16,5	9,32	05,47	4,17	7,38	10,62	15,74	19,95	25,33	28,08	27,00	16,04
T_{moy}	30,8	23,6	16,5	12,2	11,1	14,3	18,5	20,9	27,4	32,7	36,6	35,0	23,3

(Données du centre de recherche de Béni Abbès)

T_M : moyenne mensuelle des températures maximales (°C).

T_m : moyenne mensuelle des températures minimales (°C).

T_{moy} : Température moyenne mensuelle (°C).

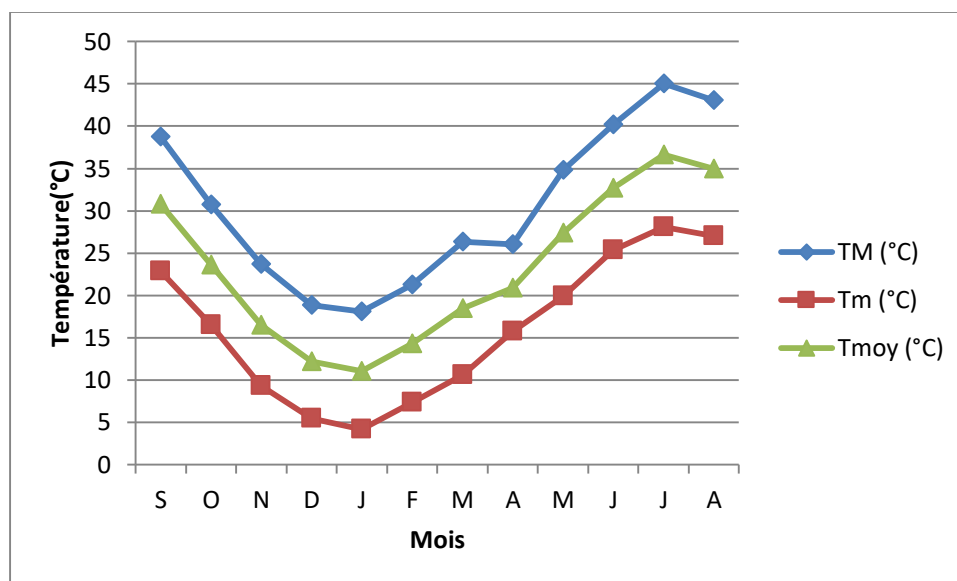


Fig. 8 : températures mensuelles à la station de Béni Abbès (1985-2009)

En ce qui concerne les températures maximales, l'examen de la fig 8. permet de voir que les trois mois Juin, Juillet et Août sont les plus chauds, durant lesquels les températures dépassent les 40°C. Par contre, les températures les plus basses correspondent aux mois de Janvier et Décembre, avec des températures d'environ 18°C.

Quant aux températures minimales, les valeurs maximales tournent aux alentours de 27 à 28°C, liées aux mois de Juillet et Août, et celles plus basses sont enregistrées aux mois de Décembre et Janvier de l'ordre de 4 à 5°C.

La figure.8, montre que pour ce qui est des températures moyennes :

- la période de grandes chaleurs correspond aux mois de Juillet et Août, avec une température moyenne excédant les 35°C.
- les mois de Décembre et Janvier révèlent les températures les plus basses, avoisinant les 10 et 12C.

IV- Evaporation

L'évaporation est un phénomène physique et physiologique de perte d'eau sous forme de vapeur. Les valeurs mesurées par l'évaporation (Piche) montrent que les pertes sont beaucoup plus importantes en saison sèche qu'en saison de pluie. En effet, elles varient d'un mois à un autre pour atteindre un maximum aux mois de Juillet et Août, avec une valeur dépassant les 350mm puis ce taux diminue jusqu'aux valeurs de 83 durant le mois de Décembre.

Chapitre II : Climatologie

Tableau.6 : Valeurs de l'évaporation mensuelle (mm) à la station de Béni Abbès (1985-2009).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	An
E	312	193.9	114.4	82.9	96.1	117.3	159	217.7	282.8	305.9	367.5	373.8	2623,3

(Données du centre de recherche de Béni Abbès)

L'histogramme (fig.9) construit sur la base des données (tableau.6) montre que le taux d'évaporation diminue progressivement depuis le mois de Septembre jusqu'à Décembre, pour reprendre à partir du mois de Janvier jusqu'au moi d'Août.

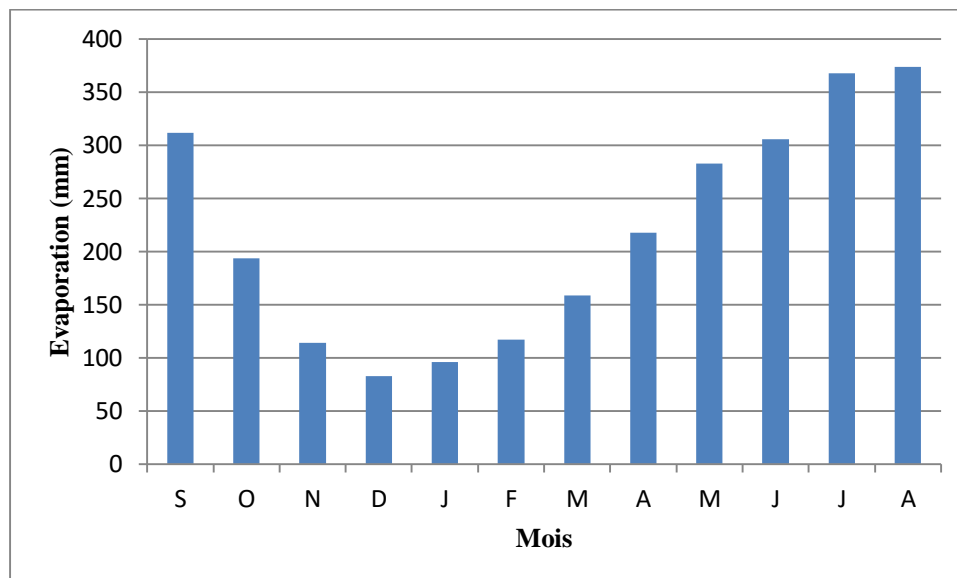


Fig.9 : Variation de l'évaporation moyenne mensuelle.

IV-1- Déficit d'écoulement et évapotranspiration

C'est un processus double d'évaporation physique de l'eau contenue dans le sol et de la transpiration, correspondant à l'utilisation de l'eau atmosphérique et de l'eau du sol par les végétaux et au rejet de vapeur d'eau dans l'atmosphère.

Dans les pays arides à semi-arides l'approche des quantités d'eau évapotranspirées est délicate. En effet, l'abaque de P.Verdeil,1988, présente une valeur de 47mm de déficit d'écoulement (Fig.10).

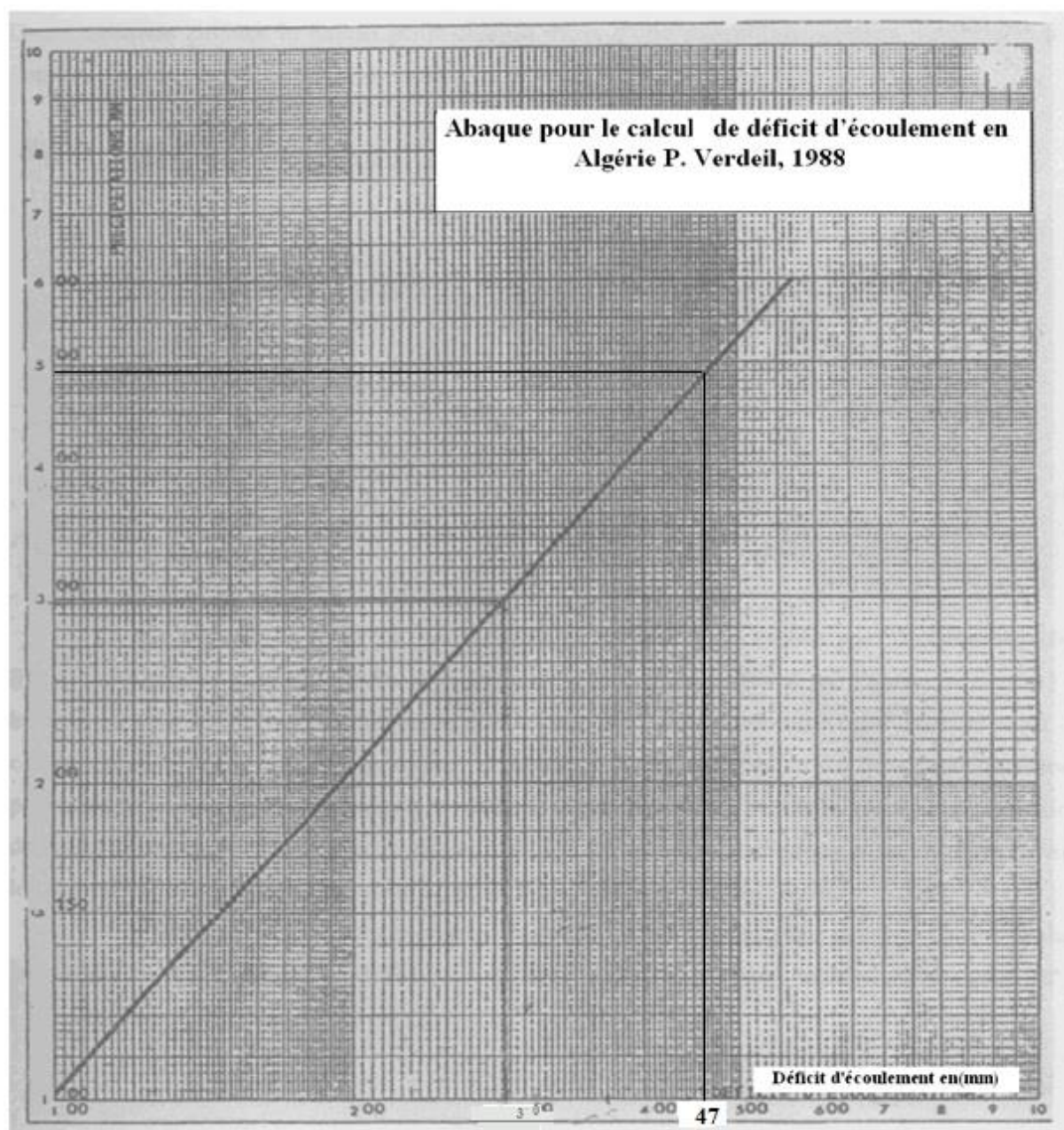


Fig.10 : Le déficit d'écoulement d'après l'Abaque de Verdeil Béni Abbès.

V- Etude du climat

L'étude du climat peut être réalisée à partir des méthodes graphiques, du calcul des indices climatiques annuels et mensuels en se basant sur les valeurs de précipitations et températures..

V-1- Diagramme pluvio-thermique

Il s'agit d'un graphe à trois axes : Y1 et Y2.

- le premier axe représente la température mensuelle moyenne.

Chapitre II : Climatologie

- y2 : correspondent à la précipitation moyenne mensuelle.
- L'axe x représente les 12 mois de l'année.

L'application de ce diagramme montre qu'il s'agit d'un période sèche (fig.11).

Ces données représentent un intervalle de 25 ans (1985-2009).

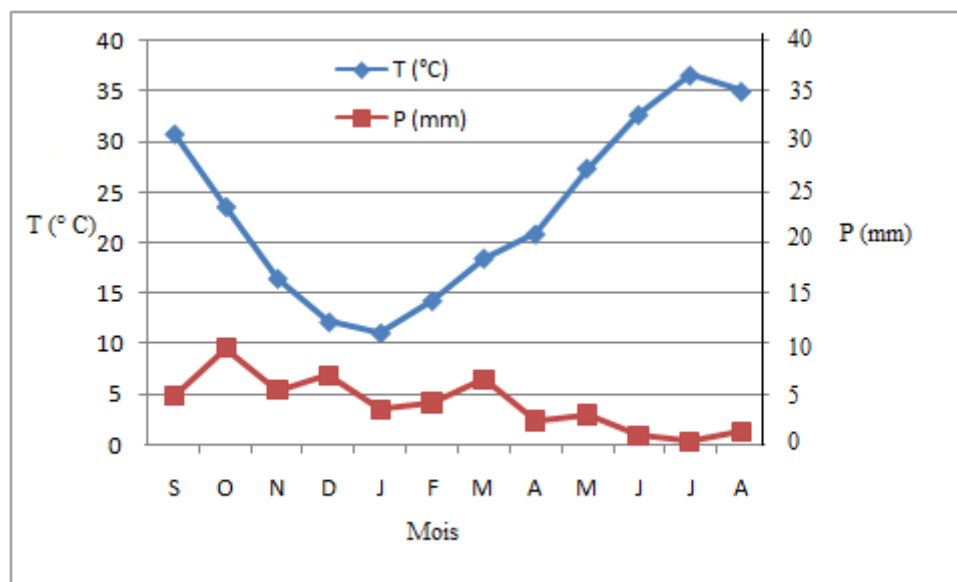


Fig.11 : Diagramme pluvio-thermique de la station de Béni Abbès.

V-2- Indice d'aridité annuel de De Martonne

En basant sur les données pluviométriques et celle des températures durant la période 1985 / 2009 on peut déterminer le type de climat de la région étudiée, par le calcul de l'indice d'aridité noté « I » qui définit le degré de sécheresse. Cet indice a été défini par le géographe DE.MARTONNE en se basant sur les températures et la précipitation selon la relation suivante :

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

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle (mm)

T : Température moyenne annuelle (°C).

Pour :

- ✓ $20 < I < 30$ —————> climat tempéré
- ✓ $10 < I < 20$ —————> climat semi aride
- ✓ $7.5 < I < 10$ —————> climat steppique

Chapitre II : Climatologie

✓ $5 < I < 7.5$ → climat désertique

✓ $I < 5$: → climat hyperaride

Pour notre région d'étude

P=49,3mm T=23.3°C

$$I=1.48$$

La valeur de De Martonne est inférieure à 5 ($I < 5$). Donc la région appartient à un climat hyperaride confirmé par l'abaque (fig.12)

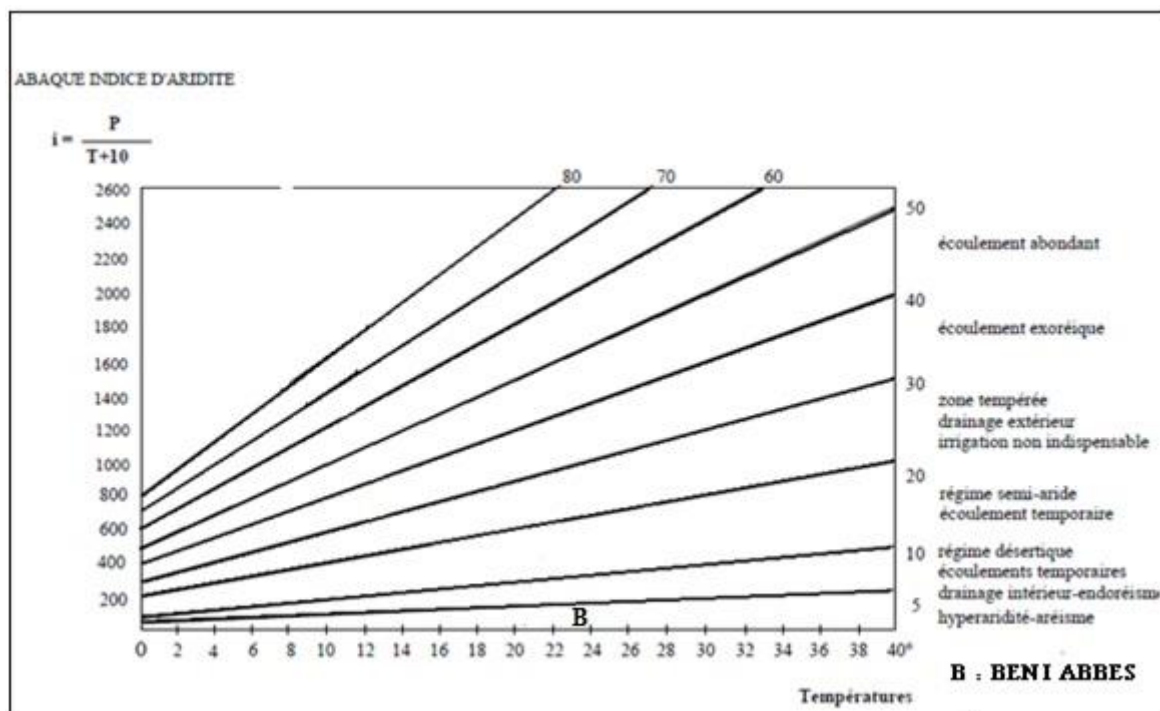


Fig. 12 : Abaque pour calcul de l'indice de Martonne.

V-3- Climogramme pluvio-thermique de L.Emberger

L'indice de Moral (Q_2) est calculé à partir de la formule suivante :

$$Q_2 = 1000 \frac{P}{\left(\frac{M+m}{2}\right)(M-m)}$$

Avec :

Q_2 : quotient pluviométrique de L.EMBERGER.

P : précipitations moyenne annuelle (mm)

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en degré Kelvin (K°).

m : moyenne de minima du mois le plus froid en degré Kelvin (K°).

Pour notre région d'étude

$P=49,3 \text{ mm}$

$M = 318,04 \text{ K}^\circ \quad \Longrightarrow \quad Q_2 = 4,06$

$m = 277,2 \text{ K}^\circ$

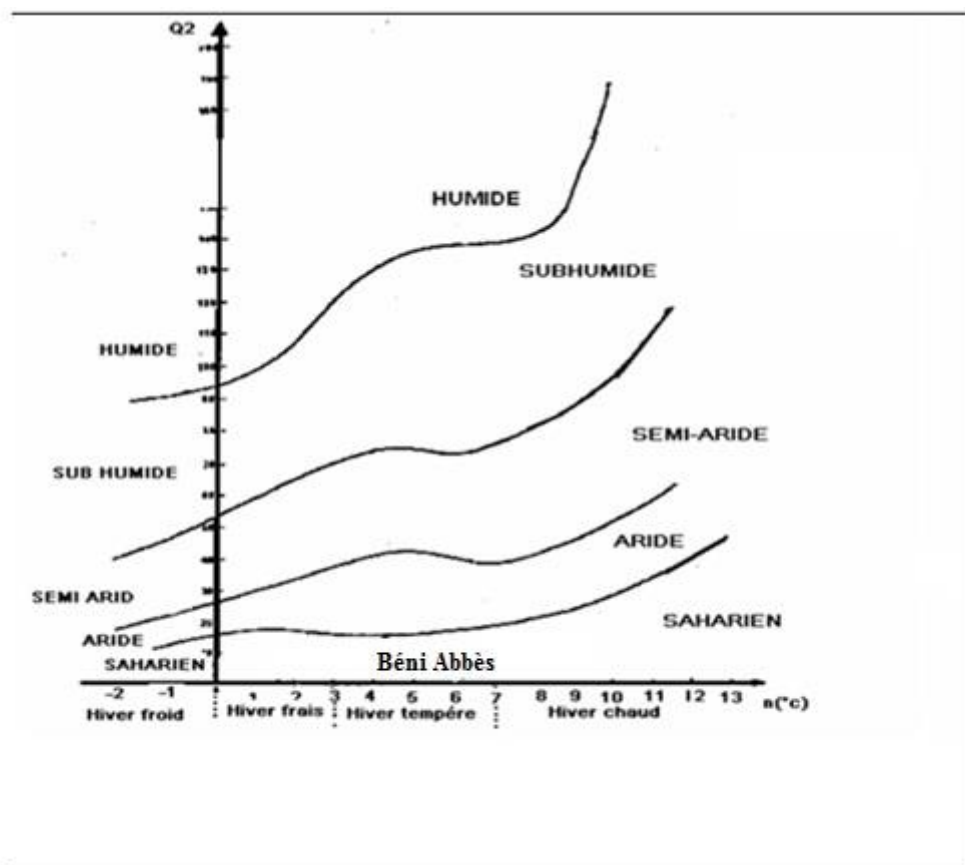


Fig. 13 : Climagramme d'EMBERGER.

VI- Essai de Bilan hydrologique

Le bilan hydrologique peut être estimé à partir de la formule :

$$P = ETR + R + I \pm SW$$

Avec:

P : Précipitation moyenne annuelle en mm,

ETR : Evapotranspiration réelle en mm,

I : Infiltration en mm,

SW : Variation de la réserve en mm (cette grandeur est supposée négligeable).

Toutes les précipitations mensuelles pour la station de Béni Abbès étant inférieures à celles des évapotranspirations il nous est alors impossible de déterminer le bilan hydrologique.

Conclusion

- L'étude climatique de l'oasis Marhouma montre que la région se caractérise par un climat hyperaride, avec une longue saison estivale chaude et une courte période hivernale froide.
- La grande différence entre les températures de l'été (4.17°C et 45.05°C), des faibles précipitations très irrégulières (49,3 mm/année) et des valeurs d'évaporation très intenses qui traduisent l'hyperaridité du climat et la sécheresses générale. La saison la plus humide est l'Hiver et la plus chaude est l'Eté.
- Le déficit d'écoulement est de 47mm/an.

I- Introduction

Les eaux souterraines représentent l'unique ressource d'approvisionnement d'eau pour l'oasis de Marhouma. Le sous-sol de la région de Béni Abbès est bien pourvu en ressources d'eau souterraine, dont les principales sont : La nappe du Grand Erg Occidental, les nappes des terrasses alluviales et d'inféro-flux, la nappe de la Hamada du Guir et les nappes du paléozoïque. Ces différentes nappes constituent un système hydrogéologique complexe interconnecté.

II- Principales nappes

II-1- Nappe du grand Erg Occidental

La nappe phréatique ne se localise pas uniquement sous le Grand Erg Occidental mais elle est hydrogéologiquement bien définie (C'est l'aquifère le plus important de la vallée de la Saoura), elle ne représente dans la région de Béni Abbès qu'une partie d'un vaste système aquifère (fig.14 et 15).

Cette vaste nappe admet comme limites :

- Au Sud-Est, elle s'équilibre avec les eaux du continental intercalaire, qui se comportent en nappe libre sur le bord nord-ouest du synclinal de Tademaït.
- Au Nord, sa limite extrême nord coïncide avec l'accident sud atlasique, elle se raccorde sans discontinuité avec la Hamada sud oranaise.
- Au Nord-Est, la nappe se prolonge vers le pays des Daïas.
- A l'Ouest, elle se limite par la vallée de la Saoura et c'est à ce niveau que nous notons la présence de plusieurs sources qui représentent des exutoires (exemple : la source de Sidi Othmane) au niveau de Béni Abbès. L'alimentation actuelle de cette nappe est assurée par les oueds septentrionaux et par les très fortes pluies (> 20mm).(Cornet A. 1952).

La nappe du grand erg occidental est alimentée essentiellement par les oueds septentrionaux (alimentée principalement par l'oued Namous), auxquelles s'ajoutent les infiltrations des eaux météoriques dans les sables et les crues au niveau du djebel el Kehla. De nombreux travaux ayant été effectués sur les eaux de pluie, ont conclu que l'alimentation par les pluies ne peut

être que très faible, à raison des hauteurs moyennes de 32 à 41mm / an et que les infiltrations sont comprises entre octobre et avril. (Cornet A. 1952)

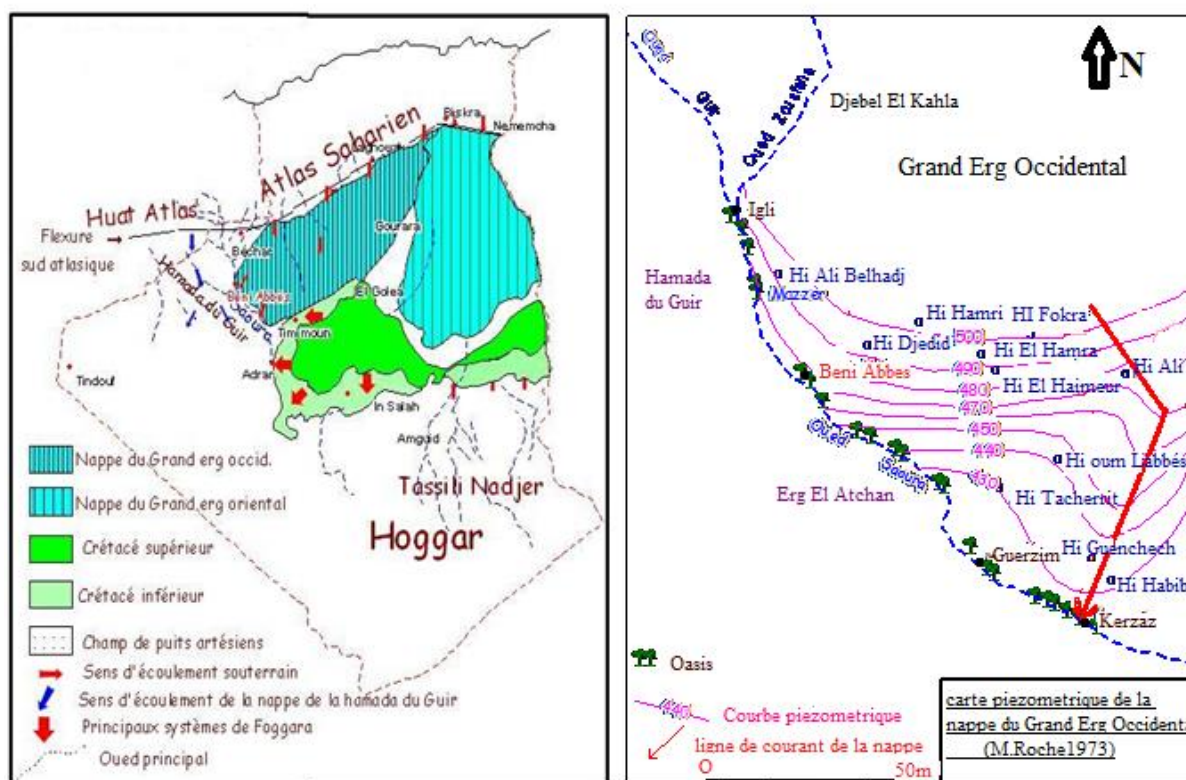


Fig.14 : Nappe du Grand Erg Occidental.

Fig. 15: Carte piézométrique de la nappe du Grand Erg Occidental (Cornet et Roche, 1973)

La carte piézométrique montre des écoulements vers la Saoura, et vers le Sud.

II-2- Nappes des terrasses et d'inféro-flux

Les alluvions reposent sur un substratum imperméable représenté par des argiles rouges du Dévonien supérieur. Dans ce cas, l'eau ne circule que dans les alluvions et forme des nappes alluviales. Ces nappes sont alimentées par l'eau de la Saoura.

Une relation étroite entre L'inféro-flux et les alluvions récentes de l'Oued.

L'aquifère de l'inféro - flux de la vallée de la Saoura est formé par des sables actuels avec des débris schisteux et boules d'argile de quelques millimètres à plusieurs centimètres de diamètre étagées de la Souara, connus sous les noms du Saourien (Pléistocène Supérieur) et du Guirien (Holocène).

L'écoulement de la nappe se fait de l'Erg vers l'Oued en traversant les terrasses alluviales, un autre écoulement du Nord Est vers le Sud Ouest.

II-3- Nappes des formations paléozoïques

Ces nappes ne sont connues que localement, au niveau des villages Zéghamra et Ougarta, et sont mal définies. Il s'agit vraisemblablement d'une superposition de nappes fossiles alimentées lors des périodes quaternaires humides et alimentées partiellement par les eaux météoriques et celles de l'oued Saoura. Les nappes qui se localisent essentiellement dans la chaîne de l'Ougarta, constituée de grès et de quartzites entrecoupés des niveaux schisteux qui assurent le toit imperméable pour chaque nappe.

Les nappes de grès de l'Ougarta, s'écoulent du Nord Ouest vers le Sud Est en général dans le sens de la pente.

Le principe de captage de Zéghamra et tout à effet réalisé par le système des foggaras qui traversent les schistes siluriens jusqu'aux quartzites, à la terminaison périclinale de l'anticlinal de Zéghamra.

Les débits des foggaras de Zeghamra par remplissage d'un sceau est de 1.2 L/s et 0.9 L/s.

II-4- Nappe de la Hamada du Guir (fig.16)

La Hamada borde la rive droite de la vallée de la Saoura dont l'aquifère correspond aux calcaires lacustres du Tertiaire (Pliocène). Ce calcaire pliocène repose sur le Miocène (formation imperméable).

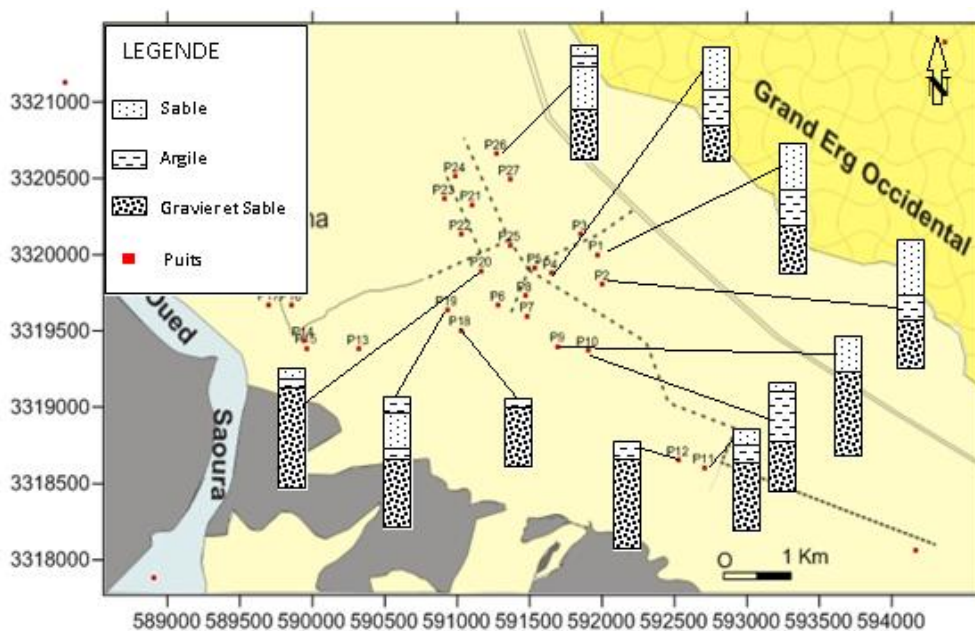
La Hamada se situe sur la rive droite de la vallée de la Saoura, c'est un plateau faiblement incliné, depuis Boudenibe (1150m) jusqu'aux chaînes d'Ougarta (650m) avec une largeur de 110 km et une longueur de 200 km. Le plateau est orienté NW-SE, la recharge de l'aquifère est complexe, assurée d'une part, par les périodes humides du Quaternaire, d'autre part, par un système des oueds septentrionaux (Oued aicha, Oued El Abiod, Oued Alarfedj) et par les eaux météorologiques. Cette nappe montre un écoulement dans l'ensemble suivant l'allongement de la Hamada NW-SE. (Combes ,1966).

- Au sud- Est, la nappe aurait comme exutoire naturel les « puits, sources ».
- Au sud, l'écoulement des eaux se bloque par l'existence des formations imperméables du Paléozoïque.

Cette nappe se caractérise par des potentialités faibles.

Chapitre III : Hydrogéologie

Par ailleurs, une enquête sur terrain et l'analyse des déblais extraits des puits au moment de leur creusement, ont permis une identification et un dimensionnement des différents horizons lithologiques (fig.17).



Unité : 5m [

Fig.17 : Coupe lithologique de quelques puits creusés dans l'oasis Marhouma (Enquête sur terrain, 2017)

IV- Hydrodynamique

IV-1- Piézométrie

Une campagne de piézométrie consiste à mesurer le niveau statique d'une nappe. Nous signalons que les mesures ont été faites en utilisant une sonde piézométrique de 100m à double signalisation (sonore et lumineuse).

La carte piézométrique représente la synthèse la plus importante d'une étude hydrogéologique est un document de base pour l'étude du comportement hydrodynamique de l'aquifère. Son tracé repose sur la mesure des niveaux piézométriques. Leur report sur la carte topographique nous permet d'obtenir des courbes dites courbes équipotentielles et permettent de définir le sens d'écoulement souterrain, les principales zones de circulation des eaux, l'alimentation de la nappe de la palmeraie et ainsi d'y prévoir un schéma d'exploitation pour la gestion des ressources souterraines.

IV-2- Inventaire des points d'eau à Marhouma (fig.18):

L'établissement de la carte piézométrique a été réalisé sur la base d'une seule campagne piézométrique effectuée au niveau des 27 points d'eau en Mars 2017.

Les résultats de ces relevés sont donnés dans le tableau en annexe.

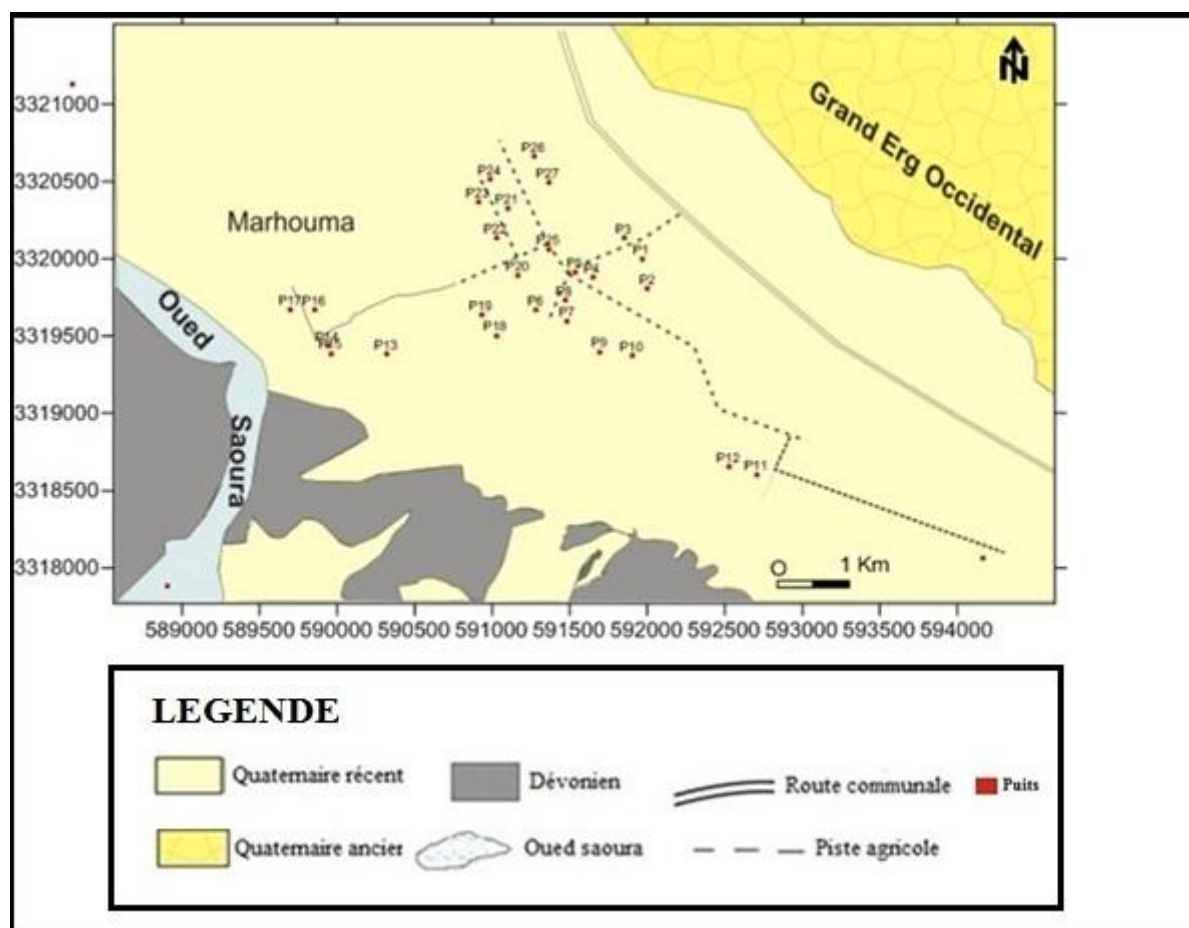


Fig. 18: Carte d'inventaire des points d'eau à Marhouma (mars, 2017).

IV-3- Interprétation de la carte piézométrique (fig. 19):

L'étude de la carte piézométrique, nous montre que l'écoulement de la nappe se fait d'une manière générale du Nord-Est vers le Sud-Ouest.

La plus part des points d'eau se trouvent dans le mélange sableux graveleux (Quaternaire). Les eaux circulent dans la nappe suivant les deux axes de drainage ce qui montre probablement une alimentation par la nappe du Grand Erg Occidental.

La carte nous permet de constater que les courbes isopièzes au Nord sont plus rapprochées qu'au Sud surtout la partie centrale de la nappe (au milieu).

Le gradient hydraulique est de:

Chapitre III : Hydrogéologie

- $3,3 \cdot 10^{-3}$ dans la partie Nord Est.
- $5 \cdot 10^{-3}$ dans la partie Nord Ouest.
- $6,6 \times 10^{-3}$ dans la partie centrale.
- $1 \cdot 10^{-3}$ dans la partie Sud-Ouest

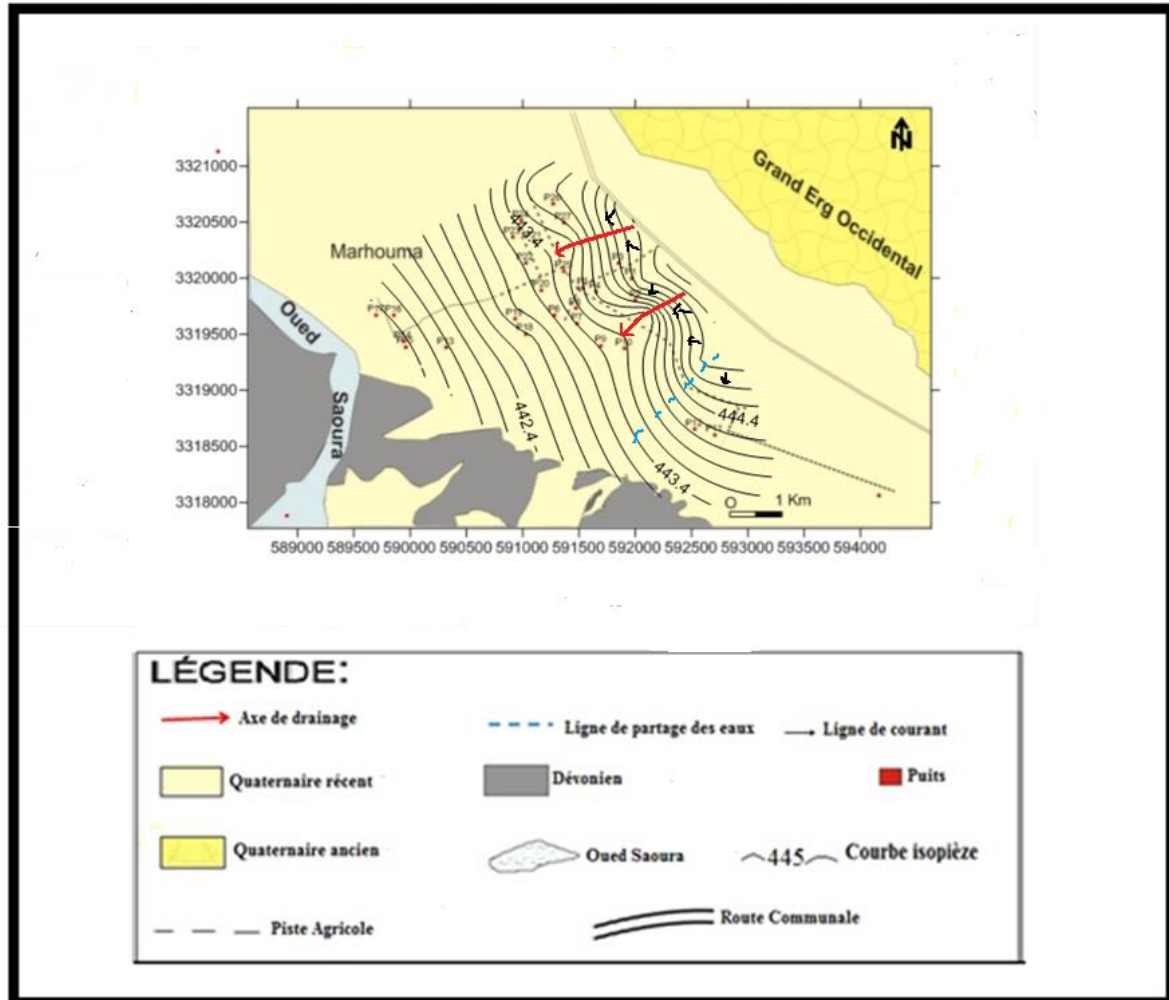


Fig.19 : Carte piézométrique de la nappe alluviale de Marhouma, Mars 2017.

Conclusion

L'étude hydrogéologique nous a conduits à un ensemble de conclusions :

L'oasis Marhouma est occupée par un aquifère constitué par des sables et des graviers dans l'ensemble, alors que le substratum n'a pas été atteint au cours de la réalisation des puits par les fellahs.

L'étude piézométrique de la nappe montre que l'écoulement se fait d'une manière générale du Nord-Est vers le Sud-Ouest c'est-à-dire l'écoulement se fait vers Oued Saoura.

Le gradient hydraulique dans le Nord est plus fort que dans le Sud, il varie entre 10^{-3} et $6,6 \cdot 10^{-3}$.

La nappe est alimentée par les eaux de la nappe du Grand Erg Occidental.

Chapitre IV : Hydrochimie

I- Introduction

L'étude hydrochimique des eaux souterraines permet d'une part de confirmer les résultats de la prospection hydrogéologique d'où les sels dissous sont des marqueurs naturels qui permettent de caractériser un aquifère ou d'en préciser les facteurs d'écoulements, et d'autre part de connaître la qualité des eaux et leur potabilité.

La qualité des eaux de la nappe a pu être précisée à partir des puits étudiés, on note bien que l'hétérogénéité lithologique de l'aquifère joue un rôle très important, sans doute, sur les variations des caractères chimiques de ces eaux. Notre échantillonnage a porté sur 13 points d'eau, les prélèvements ont été effectués au mois de Mars 2017 et les analyses ont été réalisées au laboratoire de l'A.N.R.H d'Adrar.

Les analyses ont porté sur les paramètres physico-chimiques ainsi que sur le paramètre de pollution NO_3^- et la balance ionique.

Normes de potabilité

La qualité de l'eau de consommation est appréciée sur la base des normes de potabilité définies par la réglementation nationale et qui sont illustrées au tableau.7

Tableau.7 : Normes algériennes (NA 6360-1992) de potabilité des eaux de consommation.

Paramètres	Unité	Niveau guide	Concentration Maximale admissible
pH	-	6,5 à 8,5	-
Conductivité	$\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20 °C	-	2880
TH	$\text{mg}/\text{L Ca CO}_3$	100	500
Ca^{2+}	mg/L	75	200
Mg^{2+}	mg/L	-	150
Na^+	mg/L	-	200
K^+	mg/L	-	20
SO_4^{2-}	mg/L	200	400
Cl^-	mg/L	200	500
NO_3^-	mg/L	-	50
NO_2^-	mg/L	-	0,2
NH_4^+	mg/L	0,05	0,5
O_2	mg/L	5	8
Turbidité	NTU	1	5
Résidu sec à 105 °C	mg/L	-	2000

II- Moyens et méthodes d'analyse

II-1- Mesures in situ

Quatre paramètres physico-chimiques (pH, conductivité électrique, température de l'air et température de l'eau) ont été mesurés in situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon à l'aide d'un pH mètre, conductivimètre et thermomètre à mercure.

II-2- Paramètres organoleptiques

➤ La couleur

L'eau étudiée est toujours incolore et limpide, ceci indique l'absence d'ions métalliques qui changent la couleur de l'eau.

➤ L'odeur

Les eaux étudiées ne présentent aucune odeur caractéristique, ceci indique l'absence de produits chimiques et de matières organiques en décomposition.

➤ Saveur

Les points d'eau étudiés ne présentent aucune saveur caractéristique, sauf au niveau du point d'eau P1 qui révèle une saveur plus ou moins saumâtre.

➤ La turbidité

C'est la réduction de la transparence de l'eau due à la présence de matière non dissoute.

III- Interprétation des résultats d'analyses

III-1- Paramètres physiques

III-1-1- Potentiel d'hydrogène (pH)

C'est un paramètre physique qui détermine l'acidité ou l'alcalinité. Les mesures du pH montrent que tous les puits se trouvent dans l'intervalle de norme de potabilité. Le pH varie entre 6,1 et 8,4.

III-1-2- Conductivité et minéralisation

La conductivité a été mesurée sur le terrain à l'aide d'un conductivimètre. Les résultats obtenus permettent de dire l'eau à une conductivité comprise entre 852 et 28820 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indiquant une minéralisation importante aux points P1, P4, P11, P22.

Chapitre IV : Hydrochimie

III-1-3- Résidu sec

Les résultats obtenus montrent que les plus grandes teneurs du résidu sec s'observent au niveau du puits P1 environ 1200 mg/L.

III-2- Paramètres chimiques

Les paramètres chimiques mesurés concernent :

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

III-2-1- Les éléments majeurs

III-2-1-1-Le calcium (Ca^{+2}):

Les valeurs les plus élevées avec un maximum de 142 mg/L sont observées au puits P1.

Les points d'eau ne dépassent pas les normes de potabilité.

III-2-1-2-Degré hydrotimétrique

Ce paramètre a un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés. Il indique la dureté totale de l'eau et correspond à la somme des teneurs en calcium et en magnésium. Il est donné en degré français ($^{\circ}\text{F}$). Les valeurs de TH sont comprises entre 7 et 15 $^{\circ}\text{F}$, elles expriment une eau moyennement dure à dure selon le tableau. 8.

Tableau.8: Classification des eaux en fonction de la dureté.

Dureté en $^{\circ}\text{F}$	Dureté en mg/L de CaCO_3	Qualification de l'eau
0 – 3	0 – 30	Très douce
3 – 6	31 – 60	Douce
6 – 12	61 – 120	Moyennement douce
12 – 18	121 – 180	Dure
≥ 18	≥ 180	Très dure

III-2-1-3- Le magnésium (Mg^{+2})

Les ions (Mg^{+2}) proviennent, comme les ions calcium, de la dissolution des formations carbonatées riches en magnésium.

Les points d'eau ne dépassent pas les normes de potabilité. Les valeurs sont comprises entre 32mg/L au niveau du puits P19 et 91mg/L au niveau de P1.

III-2-1-4- Le sodium (Na^+)

Les plus faibles valeurs, de l'ordre de 28 mg/L, sont enregistrées au niveau du point d'eau P17 et la valeur la plus élevée de l'ordre de 125mg/L est enregistrée au niveau du point d'eau P18. Nous signalons que les points d'eau dépassent les normes de potabilité.

III-2-1-5- Le potassium (K^+)

Le potassium résulte de l'altération des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques qui sont utilisés massivement par les agriculteurs. Les valeurs les plus élevées sont observées avec une moyenne de 19mg/L au niveau du point d'eau P7 et une faible valeur enregistrées avec une moyenne de 8,5mg/L aux points d'eau P17 et P19. Alors tous les points d'eau ne dépassent pas les normes de potabilité.

III-2-1-6- Les chlorures (Cl^-)

L'ion chlorure possède des caractéristiques différentes de celles des autres éléments, il n'est pas adsorbé par les formations géologiques, ne se combine pas facilement avec les éléments chimiques et reste très mobile. Il constitue un bon indicateur de la pollution.

Les teneurs enregistrées, montrent des valeurs moyennes qui ne dépassent pas la norme de potabilité fixée à 500 mg/L.

Les valeurs du chlorure sont comprises entre 92 mg/L au niveau du P17 et 300 mg/L au niveau du P 27.

III-2-1-7- Les sulfates (SO_4^{2-})

La présence des sulfates dans l'eau est liée à la dissolution du gypse et au lessivage des dépôts évaporitiques.

Les plus fortes valeurs sont enregistrées avec une moyenne de 360 mg/L au niveau du point d'eau P1 et Les plus faibles valeurs sont enregistrées avec une moyenne de 92mg/L au point d'eau P17.

Les teneurs enregistrées montrent des valeurs moyennes qui ne dépassent pas la norme de potabilité fixée à 400 mg/L.

III-2-1-8- Les bicarbonates (HCO_3^-)

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations Carbonatées. Les fortes teneurs sont enregistrées avec une moyenne de 180 mg/L au niveau du P26 et les faibles valeurs sont enregistrées avec une moyenne de 85mg/L au niveau du

point d'eau P13.

IV- Détermination des faciès chimiques

Les faciès hydrochimiques sont fréquemment utilisés en hydrogéologie pour décrire grossièrement la composition des eaux naturelles. On les détermine par le calcul des quantités en réaction (conversion des concentrations en meq/L), et en tenant compte de la classification des ions (formule ionique) (L.GOUADIA, 2008). Les principaux faciès hydrochimiques rencontrés dans les eaux souterraines de l'Oasis Marhouma sont présentés dans le tableau 9. La répartition des différents faciès dépend de la lithologie et de l'hydrodynamisme de la nappe aquifère. Le faciès sulfaté sodique se localise à l'Est (alimentation de la nappe par la nappe du Grand Erg Occidental). L'autre faciès chloruré-calcique est moins important et se répand à l'intérieur de la nappe (au centre) et à l'Ouest de la nappe.

Tableau.9 : Classification des eaux de l'Oasis Marhouma selon leur faciès.

Points d'eau	Formule caractéristique	Faciès chimique
P4 - P10	$r \text{SO}_4^{2-} > r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^-$ $r (\text{Na}^+ + \text{k}^+) > r \text{Ca}^{+2} > r \text{Mg}^{+2}$	Sulfaté Sodique
P2 - P11 - P12 - P20 - P26	$r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^-$ $r (\text{Na}^+ + \text{k}^+) > r \text{Ca}^{+2} > r \text{Mg}^{+2}$	
P1 - P13- P27	$r \text{SO}_4^{2-} > r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^-$ $r \text{Ca}^{+2} > r \text{Mg}^{+2} > r (\text{Na}^+ + \text{k}^+)$	Sulfaté Calcique
P17	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-}$ $r \text{Ca}^{+2} > r (\text{Na}^+ + \text{k}^+) > r \text{Mg}^{+2}$	Bicarbonaté Calcique
P18	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^-$ $r (\text{Na}^+ + \text{k}^+) > r \text{Ca}^{+2} > r \text{Mg}^{+2}$	Chloruré Sodique
P19	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^-$ $r \text{Ca}^{+2} > r (\text{Na}^+ + \text{k}^+) > r \text{Mg}^{+2}$	Chloruré Calcique

V- Représentation graphique des faciès hydrochimiques

Dans le but de bien identifier les faciès hydrochimiques et d'avoir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux souterraines, la représentation graphique des résultats d'analyses s'avère un outil inévitable. Pour atteindre cet objectif, on a eu recours au diagramme de Piper et à celui de Schoeller-Berkaloff. La réalisation de ces diagrammes a été faite en utilisant le logiciel **Diagrammes**.

V-1- Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF

Le diagramme de Schoëller- Berkaloff permet de représenter le faciès chimique de plusieurs échantillons d'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 qui représentent les différents éléments chimiques. Un groupe d'eau de minéralisation variable mais dont les proportions sont les mêmes pour les éléments dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence.

Le diagramme tracé pour la période de Mars 2017 confirme la dominance du faciès Sulfaté Sodique, permettant de dire que la minéralisation des eaux est liée aux ions SO_4^{2-} et Na^+ .

On observe (fig.25, 26, 27, 28, et 29) cinq faciès :

- *- Sulfaté Sodique,
- *- Sulfaté Calcique,
- *- Bicarbonaté Calcique,
- *- Chloruré Sodique,
- *- Chloruré Calcique.

Dans la partie Est de la nappe, le faciès sulfaté sodique est très remarquable. La minéralisation des eaux souterraines est accentuée au niveau des points qui se localisent à l'Est de la nappe

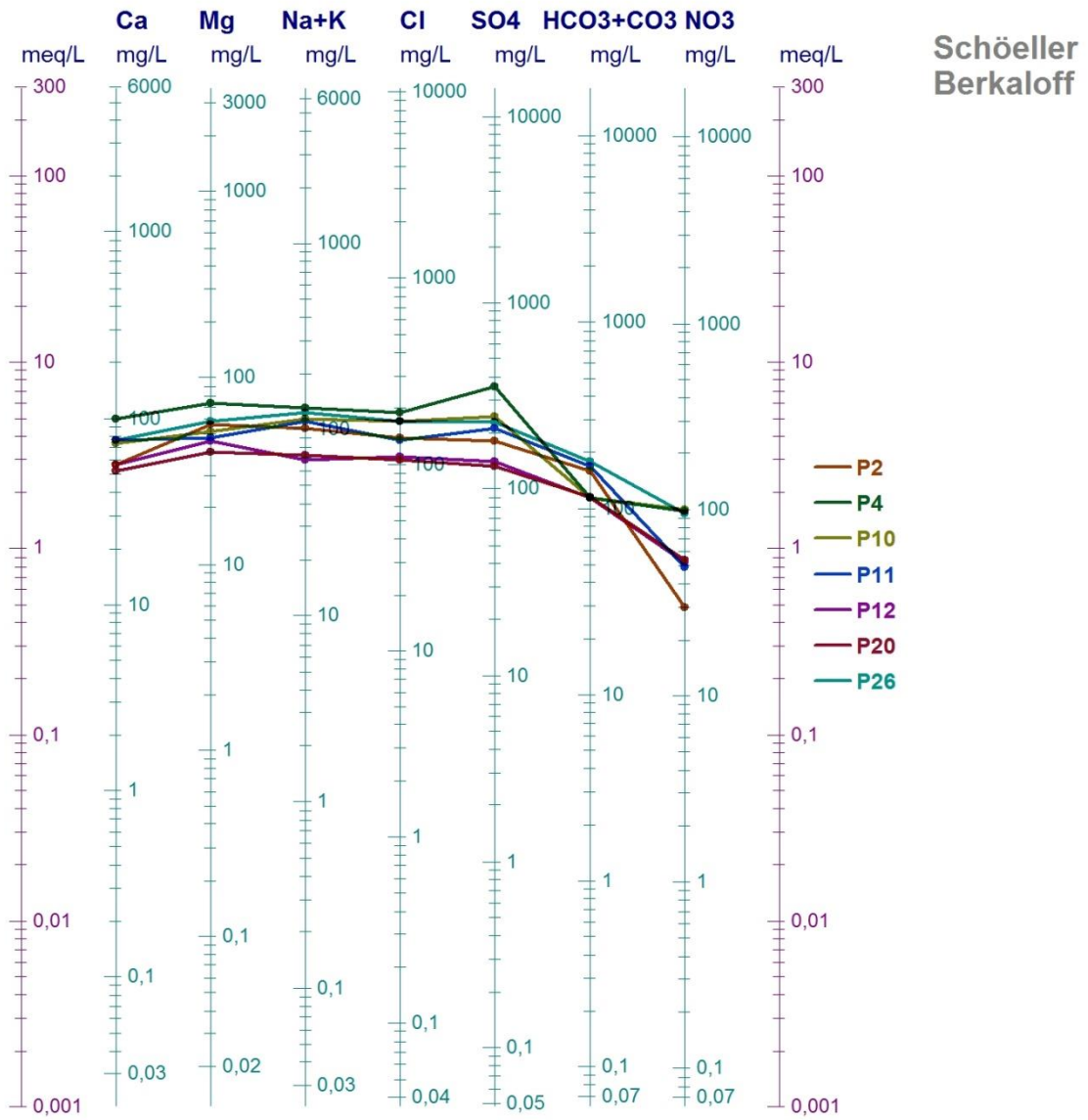


Fig.20 : Diagramme de faciès sulfaté sodique des eaux de la nappe de Marhouma.

Chapitre IV : Hydrochimie

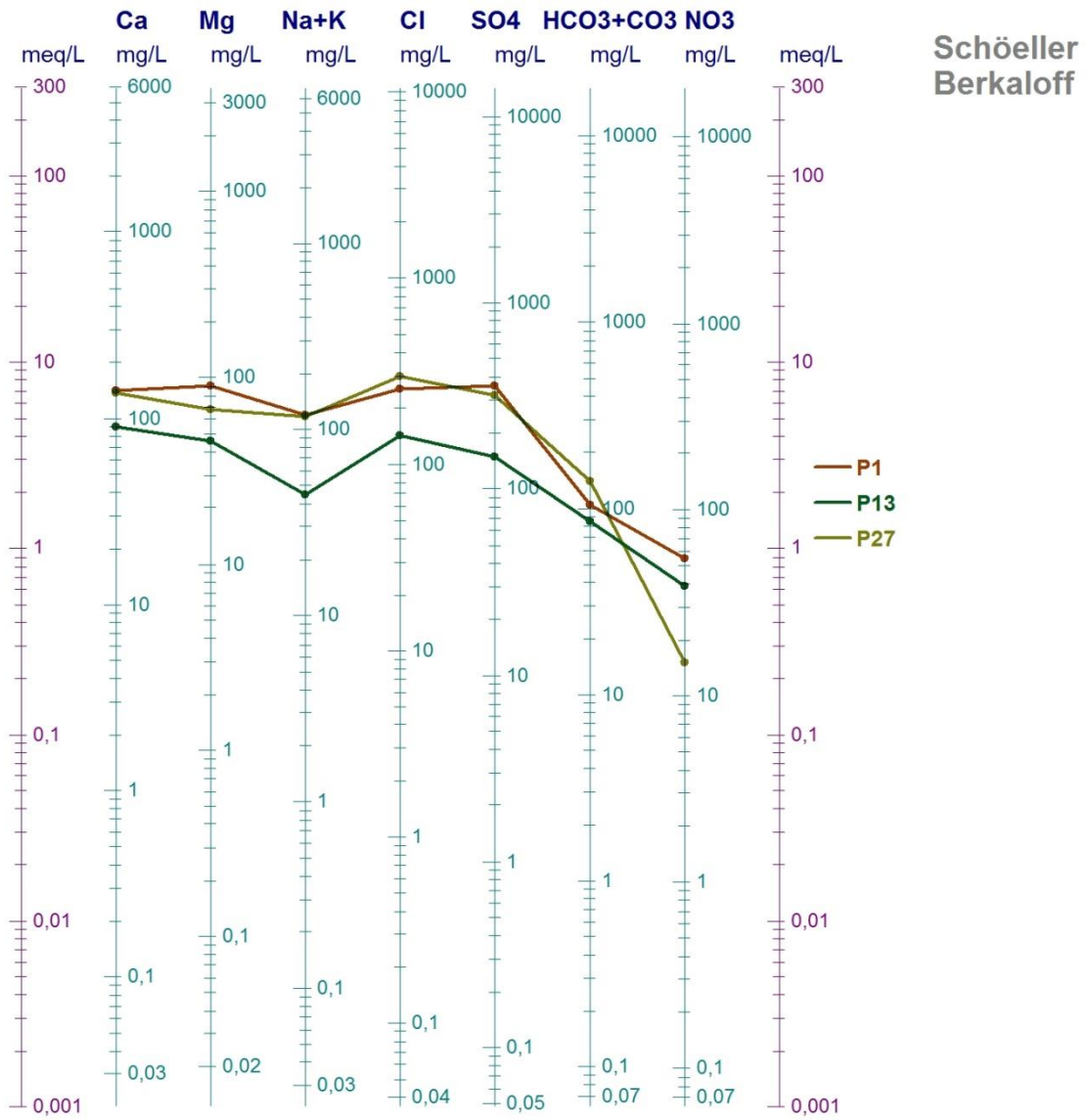


Fig.21 : Diagramme de faciès sulfaté calcique des eaux de la nappe de Marhouma.



Fig.22 : Diagramme de faciès bicarbonaté calcique des eaux de la nappe de Marhouma.



Fig.23 : Diagramme de faciès chloruré sodique des eaux de la nappe de Marhouma.



Fig.24 : Diagramme de faciès chloruré calcique des eaux de la nappe de Marhouma.

V-2- Diagramme de PIPER

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

dominants.

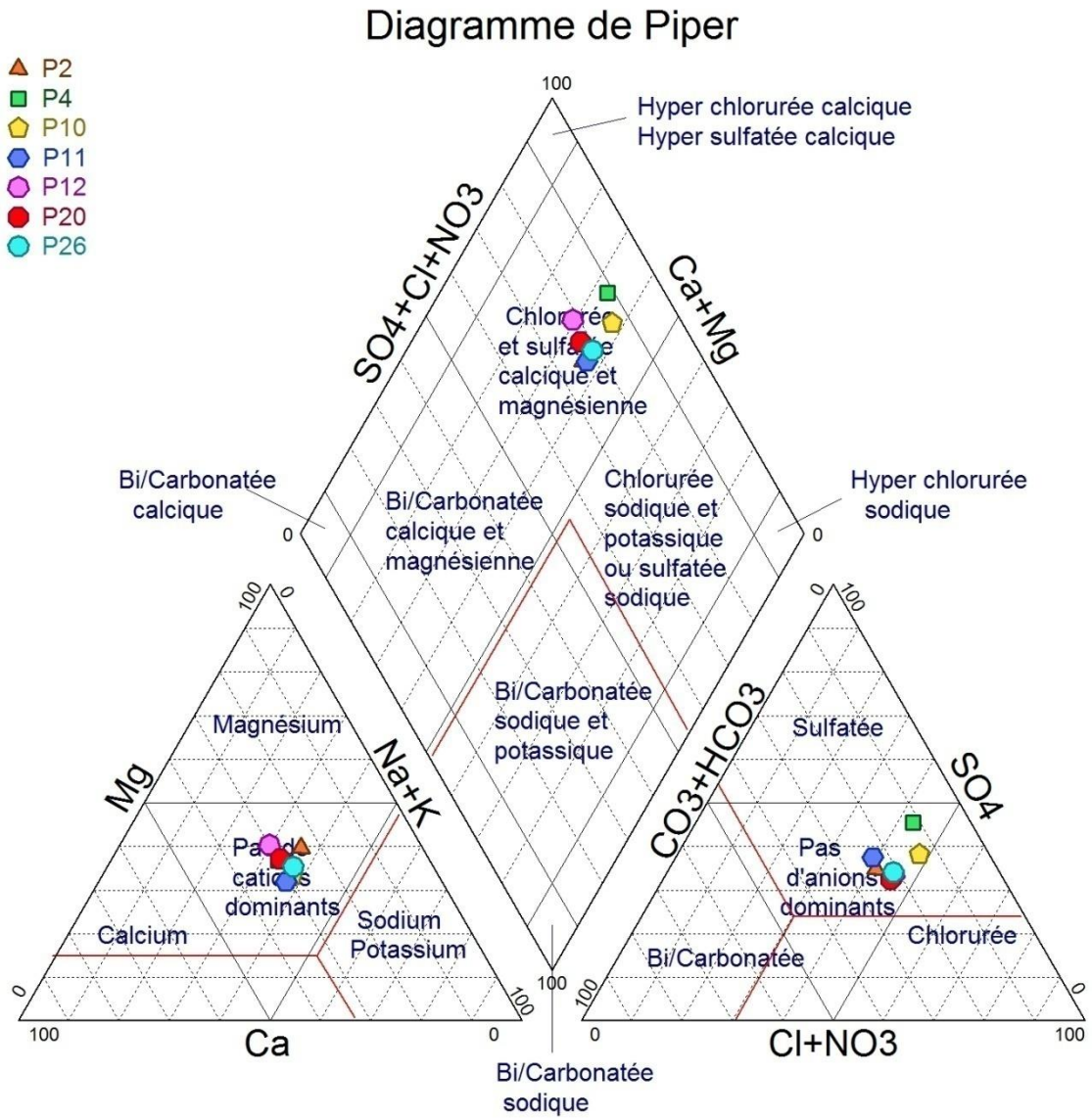


Fig. 25 : Classification des eaux selon le diagramme de Piper.

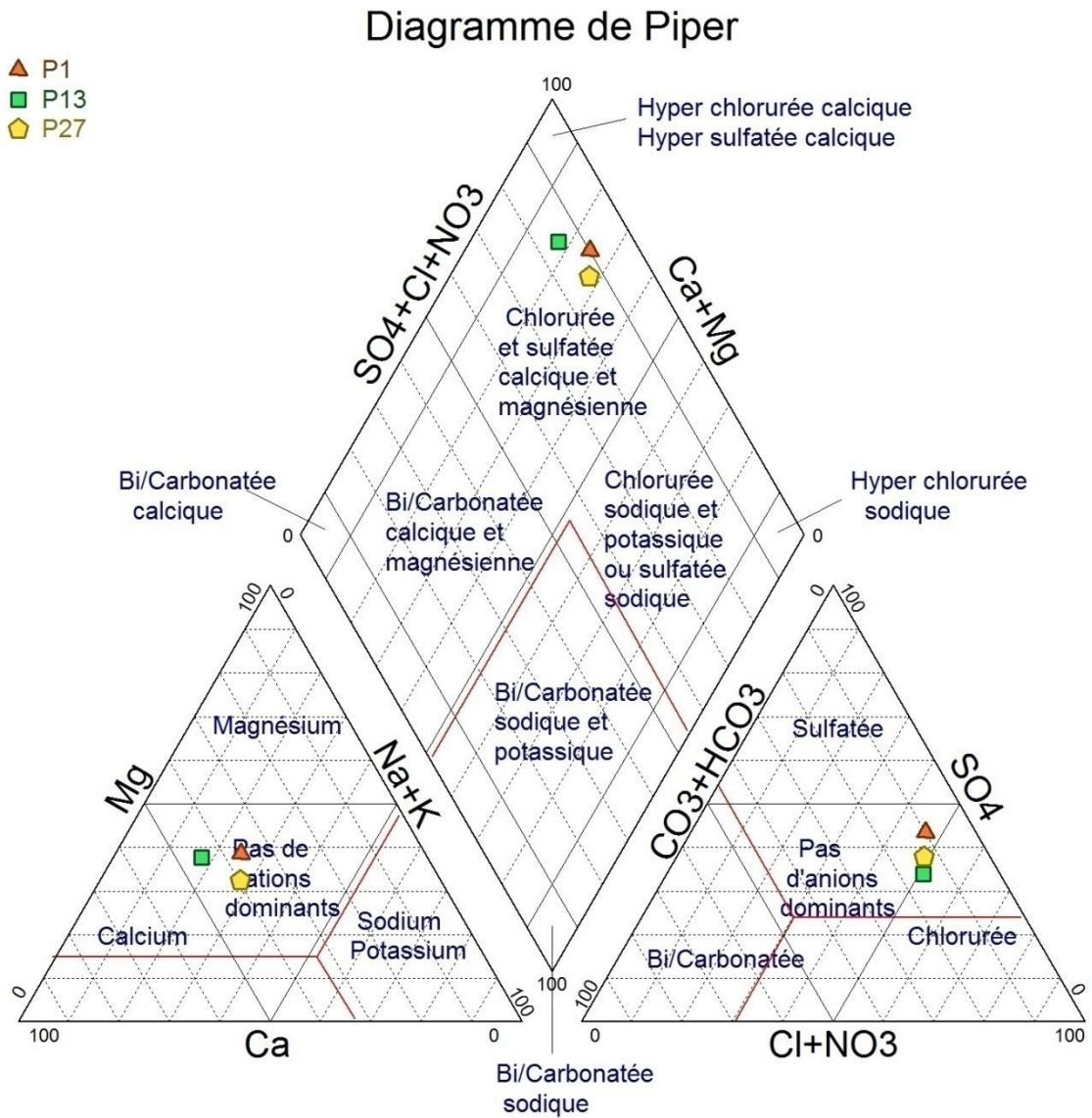


Fig. 26 : Classification des eaux selon le diagramme de Piper.

Diagramme de Piper

▲ P17

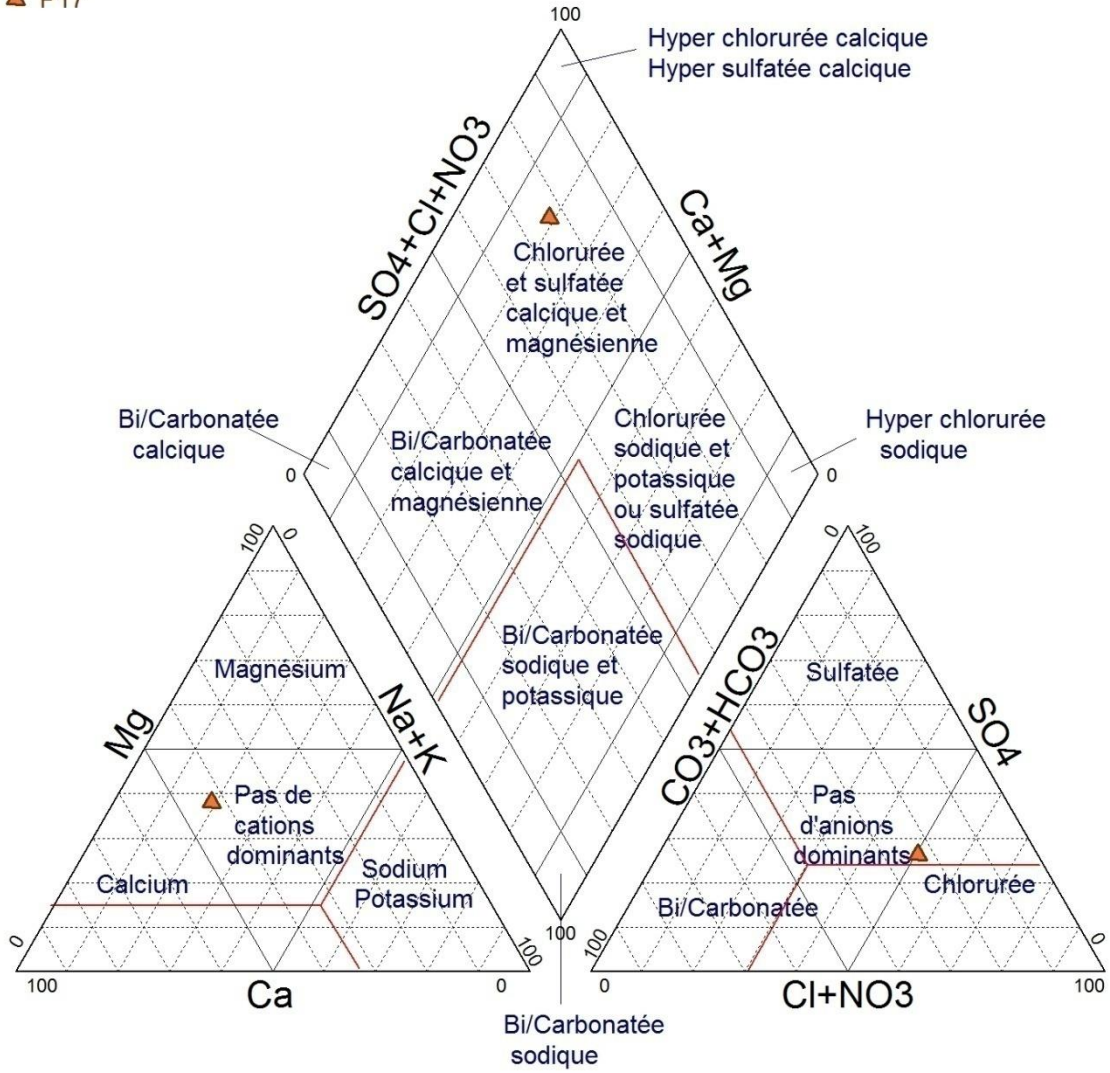


Fig. 27 : Classification des eaux selon le diagramme de Piper.

Diagramme de Piper

▲ P18

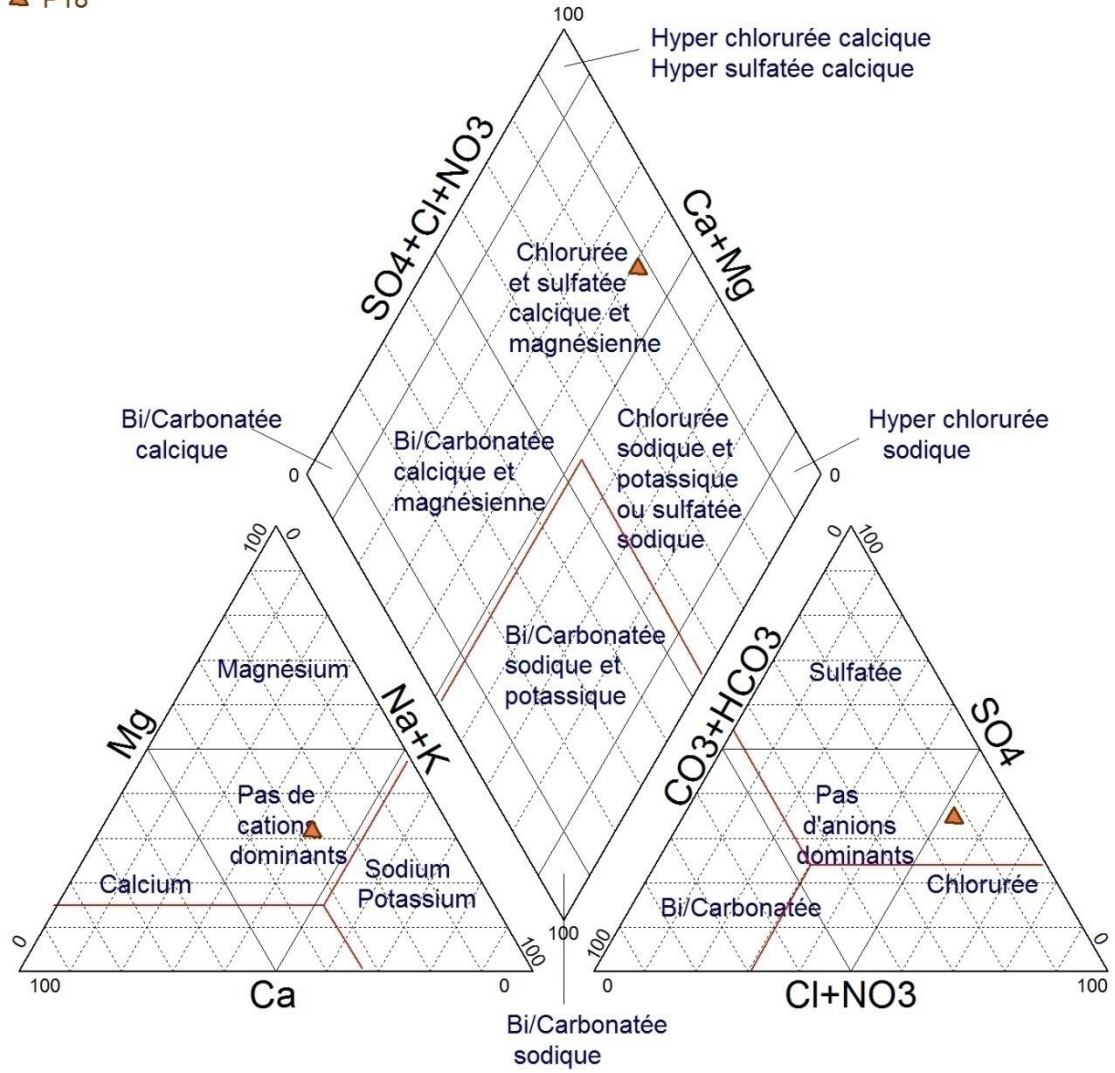


Fig. 28 : Classification des eaux selon le diagramme de Piper.

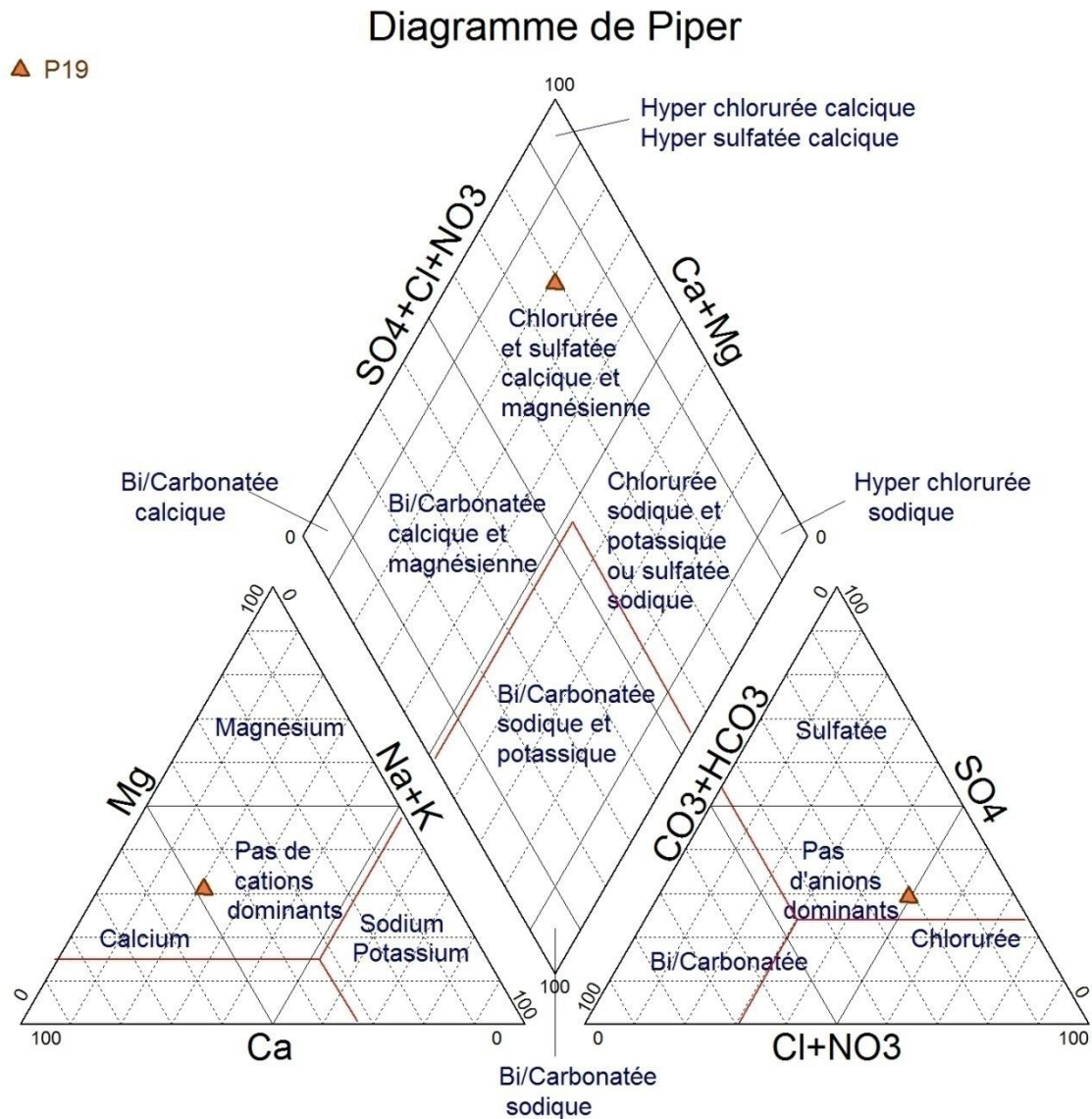


Fig. 29 : Classification des eaux selon le diagramme de Piper.

Les résultats obtenus par l'utilisation de diagramme de piper confirment celle obtenues par Schoeller Berkloff.

VI- Cartographie hydrochimique

Les eaux souterraines contiennent toujours des sels dissous qui leur confèrent les caractéristiques du milieu dont elles sont issues. Ces sels peuvent également provenir de phénomènes exogènes qui ont contribué à des modifications de la chimie du milieu, parmi lesquels on note l'évaporation et le lessivage.

On a procédé à l'établissement de la cartographie hydrochimique. La répartition des concentrations dépend de plusieurs facteurs tels que la lithologie, l'état hydrodynamique de la

Chapitre IV : Hydrochimie

nappe (les profondeurs de la surface piézométrique, la vitesse d'écoulement) et les conditions climatiques (une température élevée provoque l'évaporation et les précipitations engendrent le lessivage et la dissolution des roches).

Dans notre présente étude, on va cartographier les éléments chimiques dominants caractérisant les faciès chimiques qui présentent une influence sur la qualité des eaux.

La cartographie hydrochimique a été illustrée par interpolation (krigeage) en utilisant le logiciel Surfer 9.

VI-1- Carte iso teneur des hydrogencarbonates

Les concentrations oscillent entre 85 et 180 mg/L. Dans la zone Est la concentration est relativement importante. On note que dans quelques points (P1, P2, P27) situées dans la partie Est, les concentrations sont relativement élevées par rapport aux autres (P13, P17, P18) situées au centre et au Ouest.

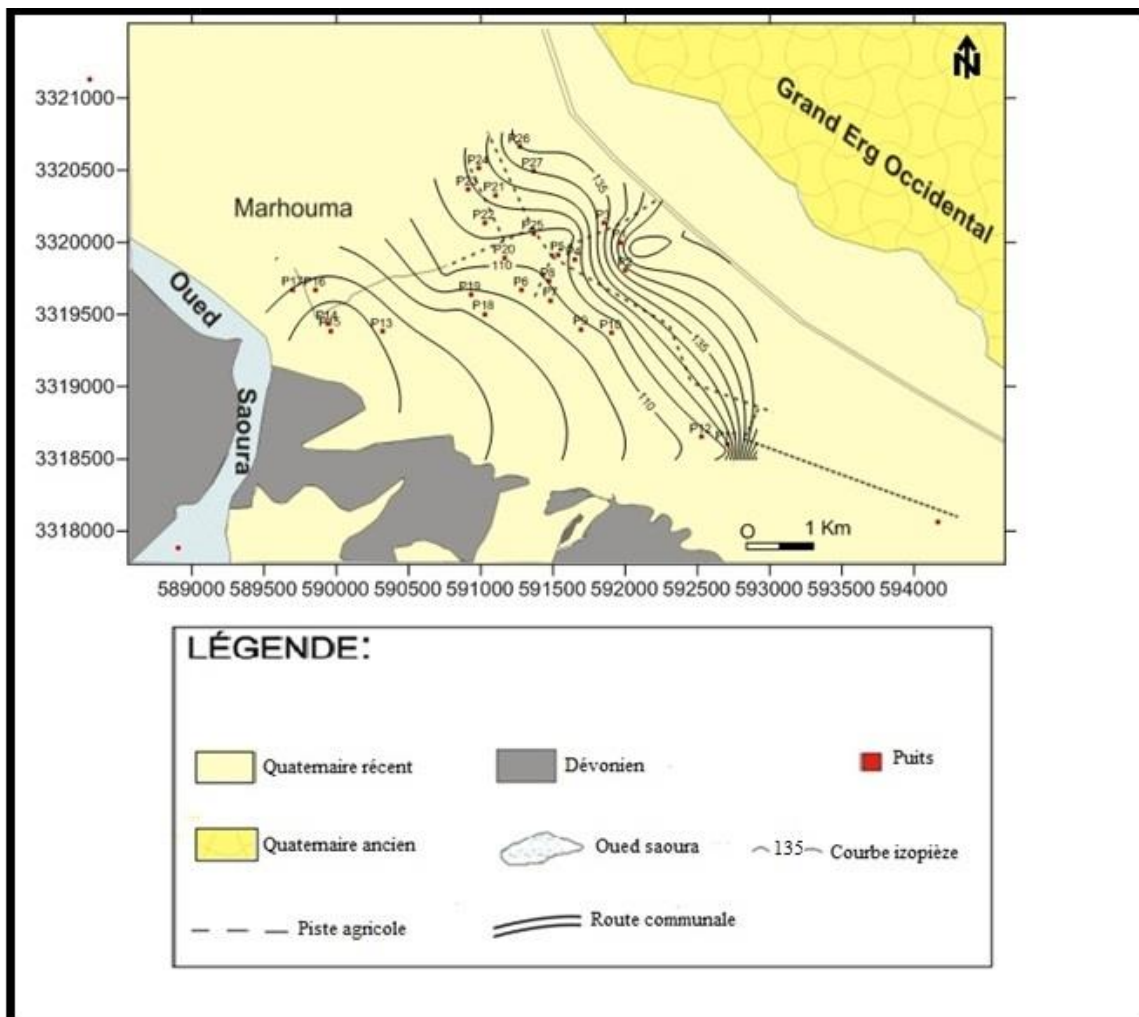


Fig.30 : Carte isoteneur en HCO_3^- de l'Oasis Marhouma.

VI-2- Cartes iso teneur des Chlorures

L'observation des cartes de chlorures montre que les teneurs varient entre 110 et 135 mg/L dans la partie Sud et des teneurs importantes variant entre 140 et 300 mg/L au Nord-Est. Dans la partie Ouest de la nappe, on a enregistré des concentrations faibles en chlorures.

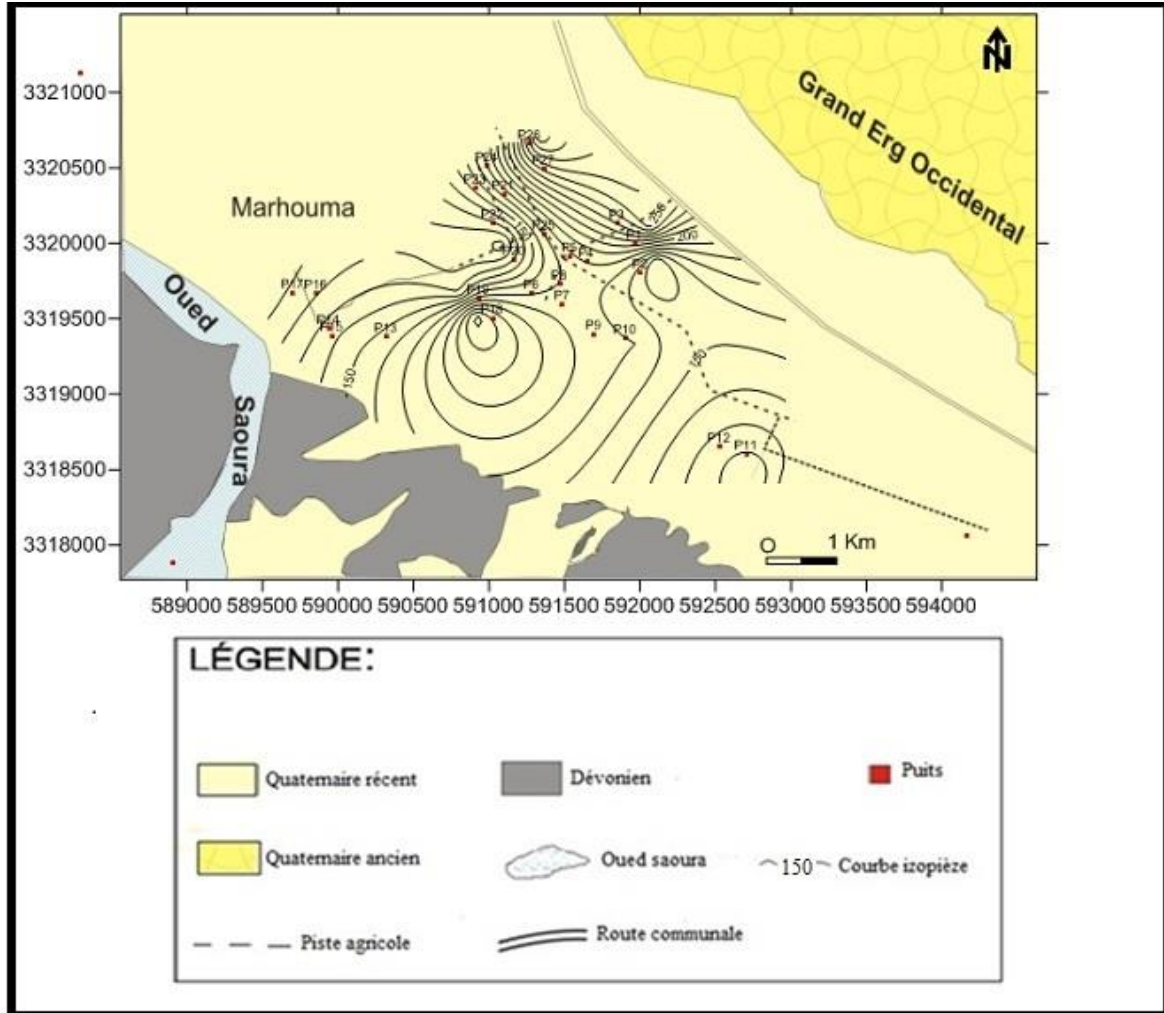


Fig.31: Carte d'iso teneurs en Cl⁻ de l'oasis Marhouma.

VI-3- Carte iso teneur des Sulfates

Les concentrations, en général, oscillent entre 92 et 2480mg/L. Les fortes concentrations sont enregistrées au Nord de la nappe. On note que la majorité de la nappe possède des teneurs importantes en Sulfates.

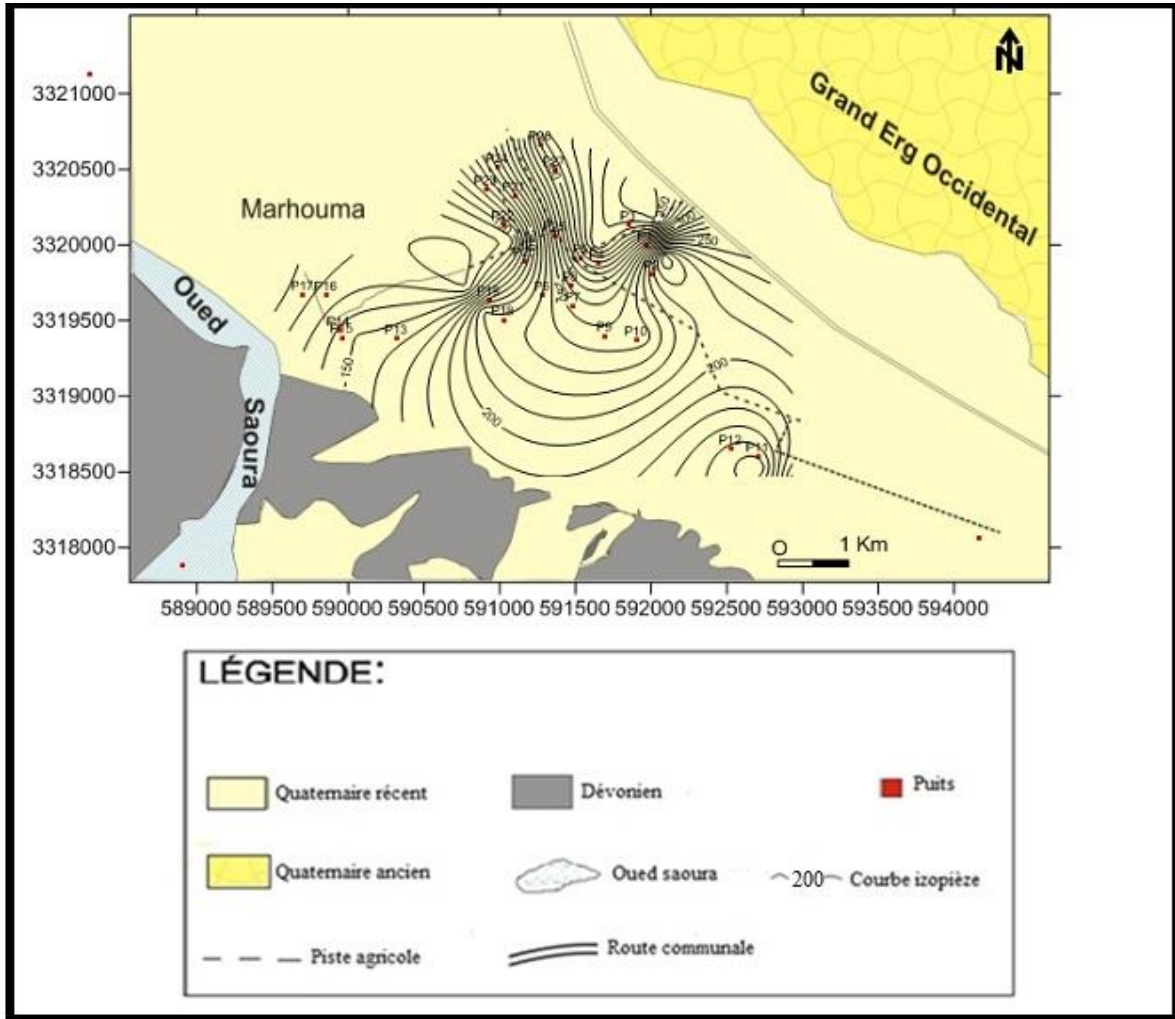


Fig.32 : Carte d'iso teneurs en SO_4^{2-} de l'Oasis Marhouma.

VI-4- Carte iso teneur en Calcium

Les concentrations oscillent en général entre 52 et 142 mg/L. Ces dernières sont relativement moyennes.

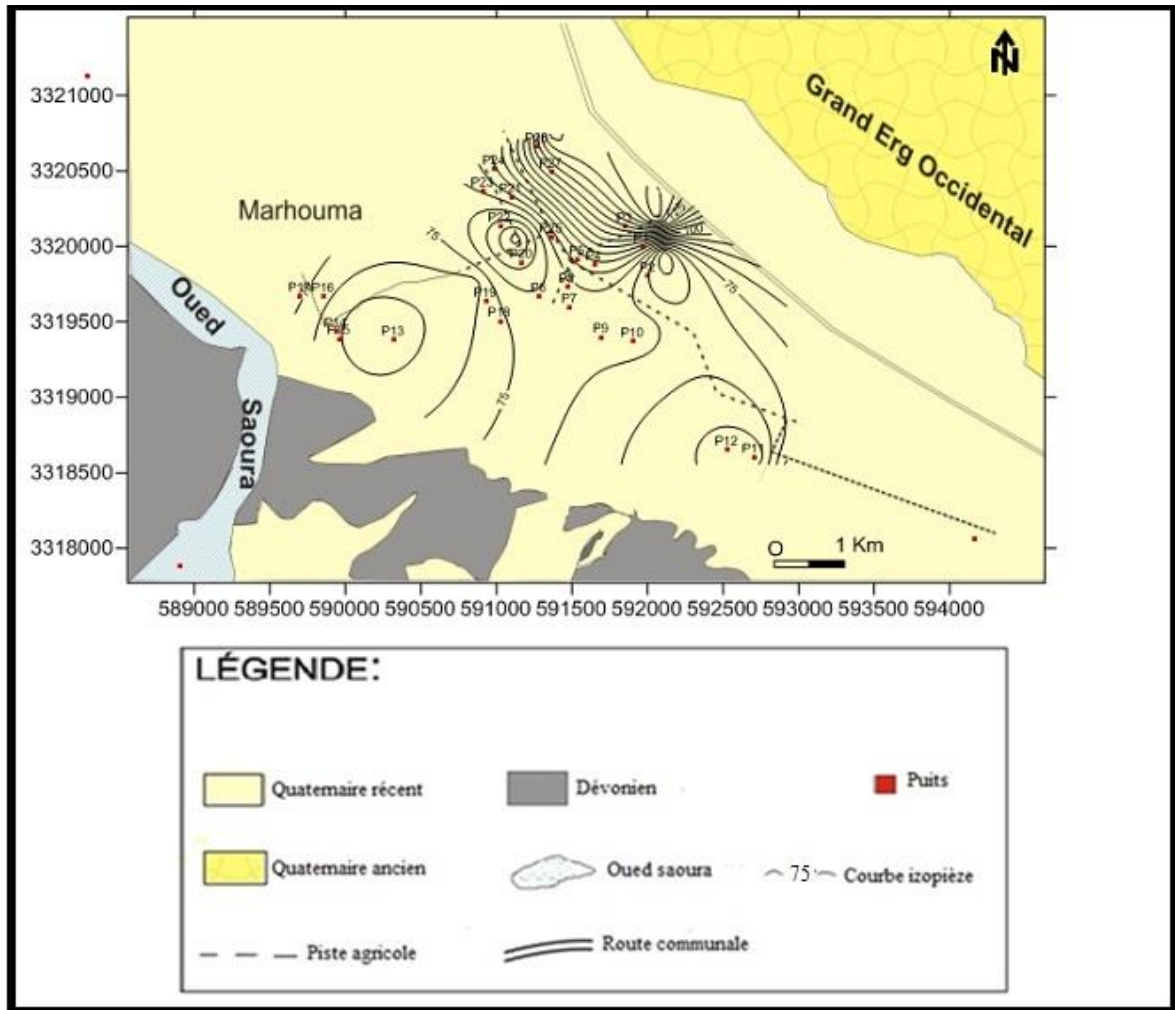


Fig.33 : Carte d'iso teneurs en Ca^{++} de l'oasis Marhouma.

VI-5- Carte d'iso teneur en Magnésium

Les concentrations varient entre 32 et 91 mg/L. ces dernières deviennent de plus en plus faibles d'Est vers l'Ouest.

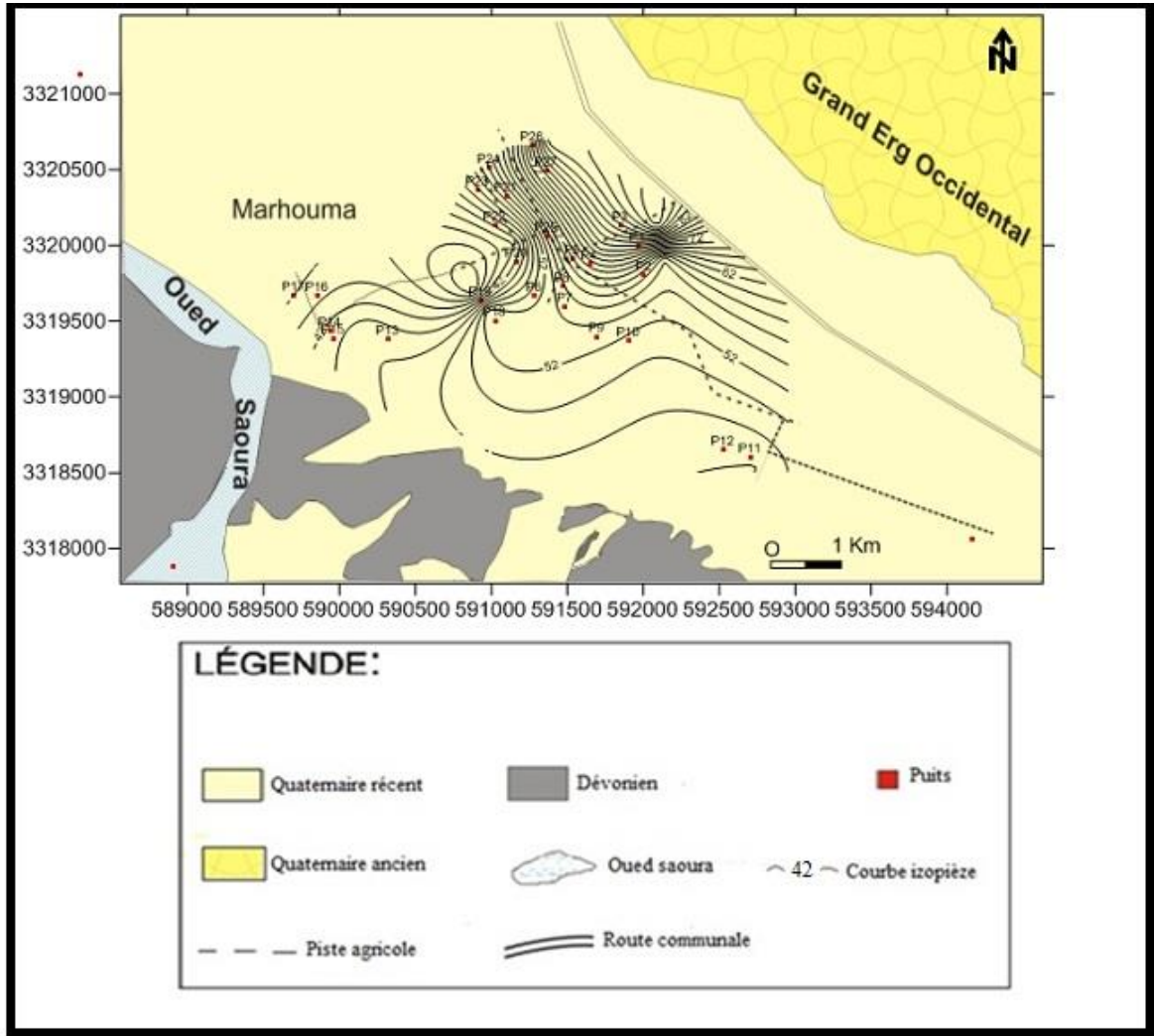


Fig.34 : Carte d'iso teneur en Mg^{++} de l'oasis Marhouma.

VI-6- Carte d'iso teneur en Sodium et Potassium

Les concentrations varient entre 36,5 et 141 mg/L. L'observation de la carte montre que les concentrations sont importantes dans la zone Nord.

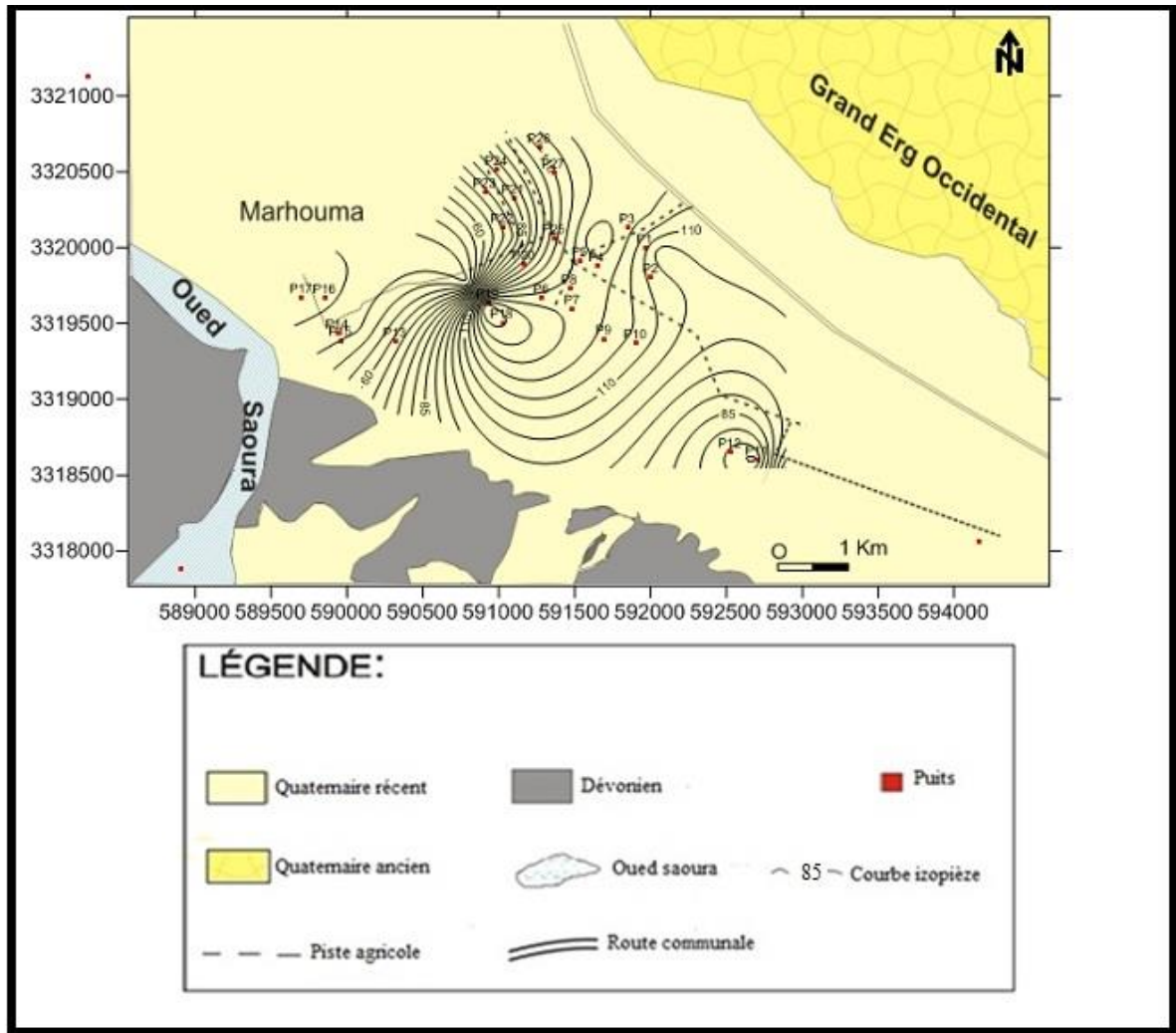


Fig.35 : Carte d'iso teneur en $(Na^+ + K^+)$ de l'oasis Marhouma.

VI-7- Carte iso valeur de la conductivité

La carte d'iso conductivité montre une décroissance d'amont en aval. Les valeurs de la conductivité sont comprises entre 852 et 2820 $\mu S/cm$.

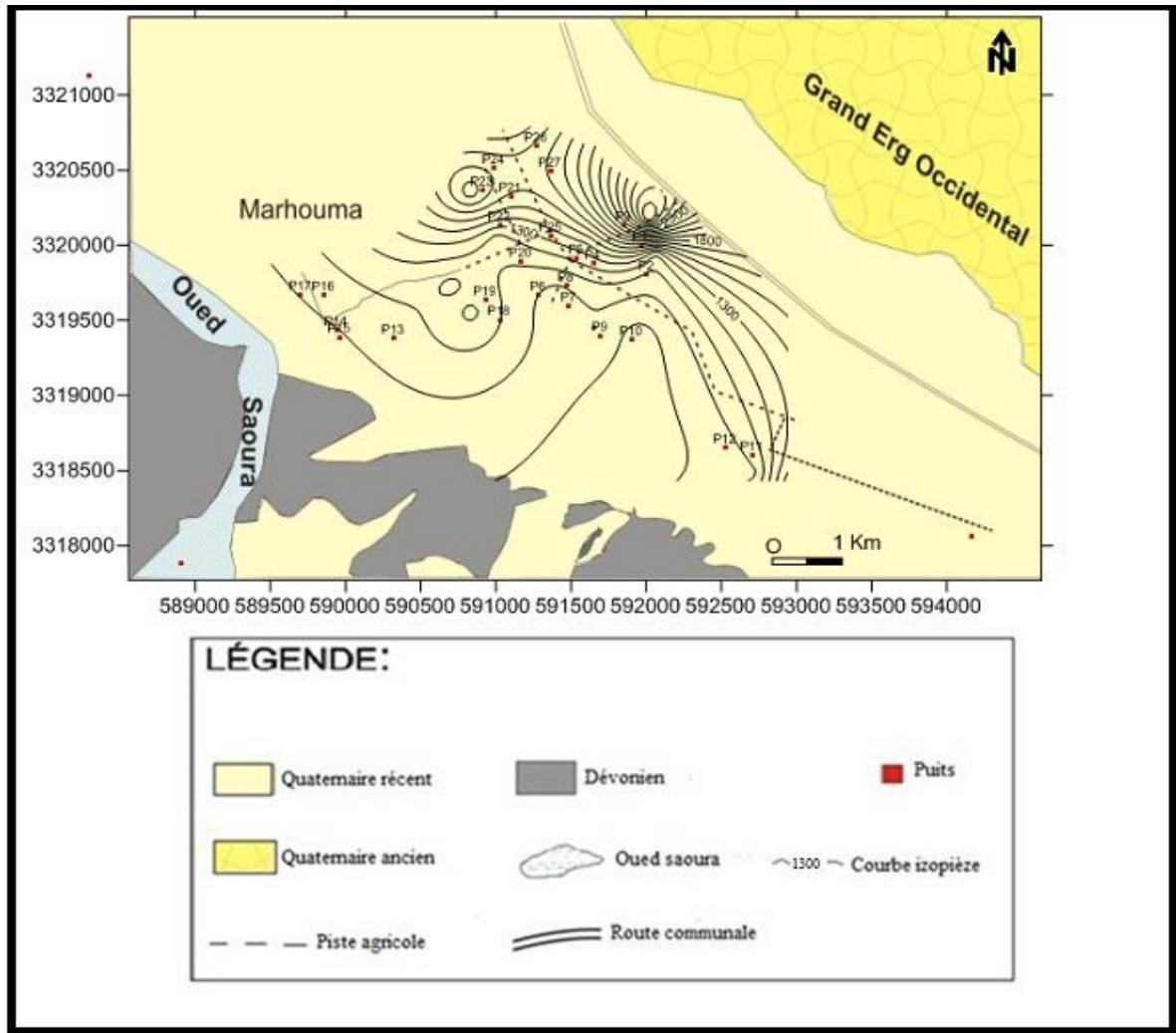


Fig.36: Carte iso conductivité de l'Oasis Marhouma.

VII- Aptitude des eaux à l'irrigation (S.A.R)

(S. A. R. Sodium Alcalinité Ratio).

Vu le futur développement de l'agriculture dans notre région d'étude, nous avons jugé utile de déterminer l'aptitude des eaux souterraines à l'agriculture.

Pour cela nous avons déterminé le **S. A. R.**

En irrigation, on utilise le S.A.R de l'eau comme mesure de l'échangeable Sodium Ratio (ESR) pour estimer la convenance d'une eau à l'irrigation :

$$SAR = \frac{rNa^+}{\sqrt{rCa^{2+} + rMg^{2+} / 2}}$$

Chapitre IV : Hydrochimie

Le tableau.10, donne la valeur du SAR et de la conductivité.

Tableau.10: Valeurs du S.A.R pour les eaux étudiées.

Points d'eau	S.A.R.	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Qualité de l'eau
P1	9,26	1910	Excellente
P2	12,03	1106	Bonne
P4	12,94	1593	Bonne
P10	13,21	1236	Bonne
P11	12,40	1237	Bonne
P12	8,12	887	Excellente
P13	4,24	962	Excellente
P17	3,96	741	Excellente
P18	15,45	1459	Bonne
P19	4,77	896	Excellente
P20	9,14	898	Excellente
P26	13,39	1347	Bonne
P27	9,45	1761	Excellente

La valeur calculée du S.A.R. et celle de la conductivité permettent de classer l'eau du point de vue de sa qualité pour l'irrigation.

Donc si :

- *- S.A.R est inférieur à 10 \longrightarrow l'eau est excellente
- *- SAR est compris entre 10 et 18 \longrightarrow l'eau est bonne
- *- SAR est compris entre 18 et 26 \longrightarrow l'eau est convenable
- *- SAR est supérieur à 26 \longrightarrow l'eau est médiocre.

La position de ce point caractérise la qualité de Points d'eau pour l'irrigation, ceci est défini dans le tableau. 10.

Nous avons reporté la valeur du S. A. R. en fonction de la conductivité sur la diagramme de classification des eaux d'irrigation.

D'après la figure. 37 , on remarque que les points d'eau s'inscrivent dans quatre classes C2-S1; C3-S1 ;C3-S2;et C3-S3 .

Chapitre IV : Hydrochimie

Donc :

- 1- Les points d'eau (P2, P4, P10, P11, P18, P26) appartenant à la classe (C3-S3) sont fortement minéralisées pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.
- 2- Les points d'eau (P1, P12, P20, et P27) (C3-S2) révèlent des eaux admissibles pour l'irrigation.
- 3- Les points d'eau (P13, et P19) (C3-S1) présentent des eaux convenables pour l'irrigation.
- 4- Le point d'eau P17 (C2-S1) présente une eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels et sur sols ayant une bonne perméabilité.

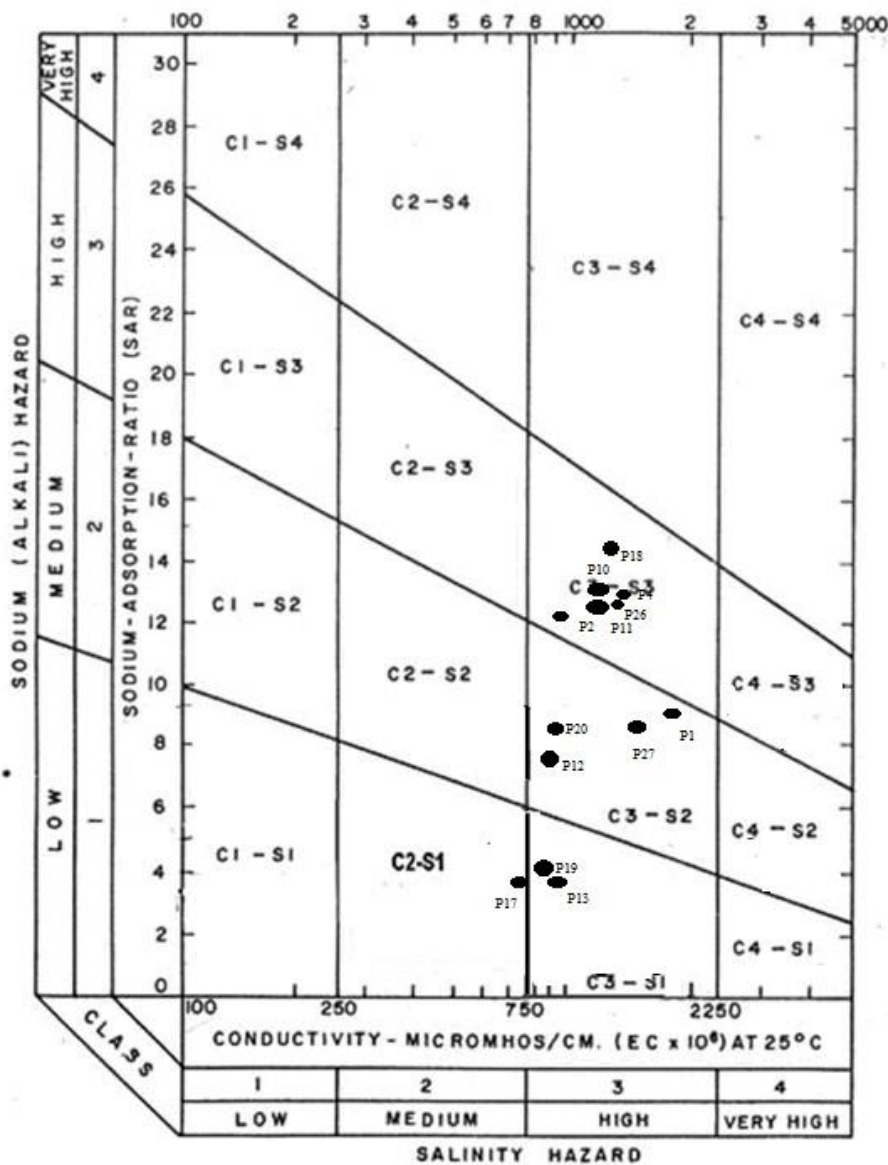


Fig. 37: S. A. R. des eaux de Marhouma.

Chapitre IV : Hydrochimie

Tableau. 11: Classifications des eaux destinées à l'irrigation.

Degré	Qualité	Classes	Description
1	excellente	C1-S1	Eau utilisable sans danger dans l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart des sols
2	bonne	C2-S1 C2-S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels, sur sols ayant une bonne perméabilité. Principaux problèmes dus aux plantes trop sensibles au Sodium et aux sols à forte capacité d'échange d'ions (sols argileux)
3	admissible	C3-S1	En général, eau convenant à l'irrigation des cultures tolérante aux sels, sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée. Principaux problèmes dus aux plantes trop sensibles au sodium et aux sols à faible perméabilité.
4	Médiocre	C4-S1 C4-S2 C3-S3	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés
5	mauvaise	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation, mais pouvant être utilisée sous certaines conditions : sols très perméables, bon lessivage, plante tolérant très bien le sel

CONCLUSION

D'après l'étude des résultats obtenus à partir des analyses physico-chimique réalisées sur 13 échantillons au niveau de la nappe du Quaternaire de l'Oasis Marhouma, on peut dire que ces eaux sont :

- A conductivités (852 et 28820 $\mu\text{S}/\text{cm}$).
- Minéralisations élevées (646,26 à 2139,09 mg/L).
- pH de 6,1 à 8,4.

La plus part des points d'eau montrent la prédominance des ions sodium et des sulfates.

Dans le détail, les diagrammes de Schoeller et Berkaloff permettent de distinguer cinq familles de faciès :

- Faciès sulfaté sodique,
- Faciès sulfaté calcique,
- Faciès bicarbonaté calcique,
- Faciès chloruré sodique,
- Faciès chloruré calcique.

Les paramètres physico-chimiques des eaux montrent que les points d'eau sont potables.

La classification de diagramme de salinité présente une qualité bonne, admissible, et médiocre a l'irrigation qui pouvant parfois entrainer un risque de salinisation.

CONCLUSION GENERALE.

CONCLUSION GENERALE:

L'Oasis de Marhouma est située à 18 Km de Béni Abbès. Cette oasis appartient aux chapelets oasiens de la vallée de la Saoura, cette dernière comporte une palmeraie de 70 hectares dont l'oued principal est Oued Saoura.

A l'échelle régionale la région est constituée d'un substratum dévonien, surmonté par les formations quaternaires.

Une enquête sur terrain au niveau de la palmeraie a montré que le remplissage du Quaternaire de l'aquifère alluvial est constitué de sable, de graviers, et d'argiles.

L'étude climatique de la région sur la période allant (1985-2009) montre que la moyenne annuelle des précipitations de la station de Béni Abbès est au voisinage de 40 mm/an, l'été chaud et sec, l'hiver froid et sec, et une évaporation importante. Elle est caractérisée par un climat Hyper-aride.

L'étude piézométrique de la nappe montre un écoulement général de direction Nord-Est vers le Sud-Ouest. Il est à noter aussi que l'alimentation se fait par la nappe du Grand Erg Occidental.

La plus part des points d'eau montrent la prédominance des ions sodium et des sulfates.

Dans le détail, les diagrammes de Schoeller et Berkaloff permettent de distinguer cinq familles de faciès chimiques : Sulfaté Sodique, Sulfaté Calcique, Bicarbonaté Calcique, Chloruré Sodique et Chloruré Calcique.

Les paramètres physico-chimiques des eaux montrent que les points d'eau sont potables.

La classification de diagramme de salinité présente une qualité bonne, admissible parfois médiocre pour l'irrigation qui présente un risque de salinisation.

Un modèle de gestion intégré des ressources en eau a été recommandé afin d'assurer l'équilibre entre l'offre et la demande. Ce modèle de gestion conduit à établir un schéma de gestion des eaux, basé sur la surveillance et l'amélioration de la connaissance de la ressource en eau souterraines et l'avantage d'aménager les réseaux de distribution de l'alimentation en eau potable, d'améliorer le système d'irrigation traditionnel et de réutiliser après le traitement des eaux usées pour des fins d'irrigation.

Il est hautement sensibilisé, préconiser et recommander, d'élaborer un plan de gestion raisonnée de la ressource en eau souterraines, à des fins d'une préservation la nappe de Marhouma de l'apparition du phénomène de la salinité à la future grâce aux surexploitations.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Haddou k, Bensalem.S (2004)**:Contribution hydrogéologique à l'étude de la qualité des eaux de la nappes de Béni Abbès Mémoire ing. Etat Université d'Oran,
- ANRH (2009)**: bechar carte de qualité des eaux souterraines dans la Beni abbes
- **Merzougui T. . Mekkaoui A. Graine K . 2007** :Approche d'une gestion intégrée des eaux dans l'oasis de Béni Abbès (sud ouest algérien, vallée de la Saoura)
- Bouhouche Z, Ghazi F. 1993**:Contribution à l'étude hydro-géologique de la région de Béni Abbès.
- Roche M A., (1973)**:Hydrogéologie de la Haute Saoura (Sahara nord occidental)
- Dubief J., (1959)**: Le climat du Sahara, institut de recherches sahariennes-
- ANRH adrar** carte de qualité des eaux souterraines dans la zone de Beni abbes
- Merzougui T., (2011)**: Caractérisation hydrogéologique et modélisation d'un aquifère alluvial en zone hyper aride : cas de la nappe de la palmeraie de Béni Abbès (vallée de la Saoura, sud-ouest algérien). Memoires de magister, univ. de Tlemcen
- système aquifere du sahara septentrional une conscience de bassin hydrogeologie volume II juin 2009
- Boulanouer S. (2007)**:Caractérisation hydrologique du bassin versant de la Saoura (Sud Ouest algérien) ; mém. D'ingénieur, Univ. de Béchar.
- Mekkaoui A., Merzougui T. et Graine Kh., (2005)**: - Hydrogéologie de Béni Abbès
- Combes M (1966)** :Etude hydrogéologique Commune de Béchar Saoura. Etude l'oasis de beni abbes
- BOUHELLALA-Kh, CHERIF EL-A (2014)**: Etude Et Moyen De Lutte Contre Les Inondations Au Niveau Du Bassin Versant De L'oued Bechar
- Camille CLEMENT(2007)**:La salle pédagogique de Béni-Abbès et sa station lagunage expérimentale : un enjeu pour le développement d'une oasis en Algérie
- Hamidi-M(1997)**:Hydrogéologie du continental intercalaire et du complexe terminal en domaine aride

-KABOUR-A, HANI-A, MEKKAOUI-A, CHEBBAH-L(2011): évaluation et gestion des ressources hydriques Dans une zone aride. Cas de la ville de Béchar (sud ouest algérien). Université de Bechar

- MERZOUGUI-T, BOUANANI-A (2013): Modélisation mathématique d'un aquifère alluvial en zone saharien Cas de la nappe de la palmeraie de Béni Abbas (Vallée de la Saoura, sud ouest algérien) Université de Bechar

-Initiation d'Utilisation du SIG pour cartographie Hydrologique du Bassin Versant d'Oued Saoura (wilaya de Béchar) Mémoire hydrogéologie université ouargla