



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة الجيلالي بونعاما بخميس مليانة
Université de Djilali Bounaama de Khemis Miliana

Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre
Département d'Agronomie

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention d'un diplôme de **Master**

Spécialité : Hydraulique Agricole

Thème

***CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX
SOUTERRAINES DE LA NAPPE ALLUVIALE
DU BAS ISSER (BOUMERDES)***

Soutenu publiquement le: 17/06/2015

Présenté par :

M^{elle} BOUCHEK Faiza
M^{elle} IKHLEF Amina

Président: Mr Kadir Mokrane	MAA	UKM
Encadreur : Mr BOUDERBALA Abdelkader	MAA	UKM
Examinatrice: Dr HALLOUZ Faiza	MCB	UKM
Examinatrice : M ^{me} KARAHACANE Hafsa	MAB	UKM

Promotion 2014-2015

Remerciement

Au terme de ce modeste travail, nous rendons grâce à « DIEU » pour nous avoir donné le courage, la patience, la volonté et l'intelligence de mener à bon terme ce travail.

Nos sincères remerciements s'adressent à Mr BOUDERBALA Abdkader de nous avoir encadré, et d'avoir suivi et mené à bien ce travail.

Nous exprimons nos profonds reconnaissances aux membres du jury qui sont aussi nous enseignants et qui ont accepté de lire et juger ce travail., Mr KADIR Moukran qui a bien voulu nous honorer en présidant ce jury, de même que DR HALOUZ Faiza et Mme KARAHACNE Hafsa , qui ont bien voulu juger ce travail et enrichir le débat.

Nos sincères remerciements s'adressent aussi à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce modeste travail, qu'ils trouvent ici notre haute gratitude.

Nous tenons également à remercier tout le personnel de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de Blida , particulièrement Mm MALIKA et Mr RAISSI pour les données qu'ils ont mises à ma disposition.

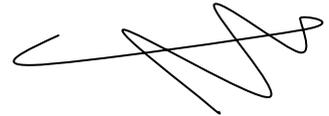
Nous désirons souligner de façon particulière Nos familles qui nous ont offert toujours un appui sûr par leurs soutiens et leurs encouragements

On leurs doit un grand respect.

DEDICACE

*A chère grande mère et cher grand père que je les aime énormément
A ma seule raison de vivre, et source de tendresse à qui je dois beaucoup, cette merveilleuse et
exemplaire mère qui a tout sacrifiée pour moi que dieu la protège.
A ma très chère tante Saliha
A mes très chères et adorables sœurs : Naziha et Noura
A mon fiancé Belkecem à qui je le souhaite la réussite dans la vie.
A ma grande famille, du petit au grand
A mes copines de chambre Khadidja, Nawel et Amel
A ma très chère copine et binôme FAIZA, en souvenir des moments qu'on a passés
ensemble, ainsi qu'à toute sa famille.
A tous les étudiants de ma promotion.*

AMINA



DEDICACE

Je dédie ce modeste travail

A celui qui, a donné le bon sens à ma vie, le courage, la bonne volonté et le soutien,

à qui je dois beaucoup à mon père.

*A mon seul source de tendresse et d'amour, a mon seul abri de bonheur, a celle je
dois toute ma vie et toutes mes réussites, à ma mère.*

A mes chères sœurs ; Sawsan, Nadjiba, Amel, et Malek.

*A mon cher frère Sid Ahmed
je leurs souhaite la réussite dans la vie.*

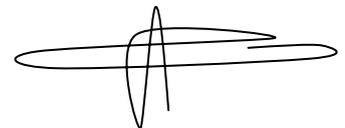
*A ma merveilleuse et exemplaire binôme AMINA, avec laquelle j'ai partagé les
bons moments et sa famille.*

A tous les étudiants de ma promotion.

A mes chères amies et copines de chambre surtout Amel

*A toute ma famille du petit au grand,
A tous mes amis et amies et A tous ceux qui
M'ont connu de près ou de loin.*

Faiza



ملخص

الهدف من اختيار موضوع هذا البحث هو معرفة الحالة الفيزيوكيميائية للمياه الجوفية للسهل الساحلي يسر السفلي و متابعة تطورها في المكان و الزمان .

بعد معاينة و تحليل الحالة الفيزيوكيميائية لهده المياه و تمثيل المعطيات بوسائل و برامج معلوماتية حديثة مثل الرسم الآلي للأشكال و الخرائط و ربط هذه النتائج بمختلف العوامل فان هذه المياه هي ذات نوعية جيدة صالحة للاستعمال في مجال الري و الشرب بشرط المتابعة الدورية لها و استغلالها بشكل عقلاني ودون إفراط كون بعضها يعرف ظاهرة تداخل مياه البحر في طبقة المياه الجوفية.

Résumé

Le choix de ce thème de mémoire a été choisi dans le souci de connaître la qualité physico-chimique des eaux souterraine, de la nappe alluviale du Bas Isser, en suivant son évolution dans le temps et dans l'espace.

Suite à l'analyse de la situation actuelle de la nappe, un programme d'action a été conçu pour mener un suivi des variations piézométrique et physico-chimique. Nous avons étudié l'évolution de ces paramètres au cours de deux campagnes

Le traitement et la représentation des données ont fait appel à l'usage d'outils modernes. (Logiciels diagrammes). L'interprétation de ces données nous a montrer que la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la vallée du Bas Isser est moyenne à médiocre , et peuvent être utilisées que ce soit pour l'AEP ou pour l'irrigation pour la majorité des points d'eau, seulement avec un suivi périodique et une exploitation rationnelle . Elle nous a permet encore de noter la contamination de certain puits côtiers par les eaux marines, par un mélange eau douce- eau salée.

Abstract

The choice of this research topic was choised by the desire to better understand the operating mechanisms and to know the physicochemical quality of ground water and to sec its evolution in the time and space. The analysis of the current situation of the water table, an action program was designed to conduct a monitoring of variations. We studied the evolution of physicochemical parameters during two periods . the representation of data has appealed to the use of modern tools. (Diagram, softwar). The interpretation of these data show that the groundwater quality in the area good for irrigation, and can be used for drincing without problem it not that there is contamination of some wells coastal sector by marin intruion

Liste des abréviations

A : Surface ;
A.E.P : Alimentation en Eau Potable ;
ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.
DHW : Direction de l'Hydraulique de la Wilaya
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
[C] : Concentration totale
CE : Conductivité électrique ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)
 ΔH : Différence de niveau piézométrique ;
 ΔL : Distance entre les courbes isopièzes
ETP : Evapotranspiration potentielle (mm)
ETR : Evapotranspiration Réelle (mm)
EX : Excédent en eau du sol (mm)
H : Charge hydraulique ;
i: Gradient hydraulique ;
i.e.b : Indice d'Echange de Base ;
i=Indice thermique mensuel
I : Infiltration de l'eau dans le sol (mm)
I : indice de DE Marton
K: Perméabilité (m/s)
KC : Indice de compacité de Gravélius;
N.D : Niveau dynamique des eaux souterraines
N.S : Niveau statique des eaux souterraines.
P : Profondeur de la couche traversée par les racines (cm)
P : Précipitations (mm)
Q2 : Quotient pluviométrique
Q : Débit d'écoulement (l/s)
P : Périmètre ;
pH : Potentiel hydrogène
R : Distance entre le piézomètre et le forage en (m).
R : Ruissellement (mm)
RFU : Réserve Facilement Utilisable (mm)
R.S : Résidu sec (mg/l)
r : quantité en réaction ;
S: Coefficient d'emmagasinement (sans unité)
SAR : Sodium Absorption Ratio
T : Transmissivité (m/s^2)
T : Température ($^{\circ}\text{C}$)
X : Longitude ;(m)
Y : Latitude ;(m)

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE

Chapitre I : Présentation de la zone d'études

I.1. Situation géographique	3
I.2. Caractéristique géomorphologique	4
I.3. Réseau hydrographique	5
I.4. Couverture végétale	6
I.5. Contexte climatique	6
I.5.1. Précipitations.....	7
I.5.2. Températures	10
I.5.3. Régime climatique.....	12
I.5.4. L'évapotranspiration	14
I.5.5. Estimation des ruissèlements et des infiltrations.....	17
I.6. Contexte pédologique de la région d'étude	19
I.7. Cadre géologique de la région d'étude	20
I.7.1. Stratigraphie.....	21
I.7.3. Lithologie.....	22
I.7.4. Tectonique.....	22
I.8.-Contexte hydrogéologique	23
I.8.1. Etude des formations alluviales du quaternaire.....	24
I.8.2. Géométrie de l'aquifère.....	26
I.8.3. Caractéristique hydrodynamique de l'aquifère	29
conclusion	29

Chapitre II : Matériels et méthodes

II.1. Méthode d'échantillonnage et d'analyse	30
II.1.1. Méthode d'échantillonnage conservation	30
II.1.2. Présentation des méthodes d'analyse (in situ et de laboratoire).....	30
II.1.3. Contrôle des résultats d'analyse.....	32
II.1.4. Norme de qualité pour l'alimentation et pour l'irrigation.....	32
II.2 Méthode de caractérisation physico-chimique	36
II.2.1. Éléments majeurs	36
II.2.2. Facies chimique	38

II.2.3.Rapport ioniques.....	39
Conclusion.....	40

Chapitre III : Résultats et discussion

III.1.Etude de l'évaluation piézométrique de la nappe alluviale.....	41
III.1.1.Evolution de la piézométrie dans l'espace.....	41
III.1.2.Evolution de la piézométrie dans le temps	44
III.1.3.Alimentation et drainage de la nappe	45
III.2.Etude hydrochimique.....	45
III.2.1.Description Sommaire des paramètres physico-chimiques.....	45
III.2.2. Les paramètres physiques des eaux souterraines.....	47
III.2.3.Les paramètres chimiques des eaux souterraines.....	48
III.2.4. Représentation graphique des faciès hydrochimiques.....	57
III.2.6.Aptitude physico-chimiques des eaux de la nappe a l'irrigation.....	60
III.7. Comparaison entre les analyses chimiques de 2003 et 2014	63
Conclusion.....	64

Conclusion et recommandations

Liste des Figures

Figure n°01 : Situation du sous bassin versant du Bas Isser	03
Figure n°02 : Réseaux hydrographiques du bassin versant du Bas Iser	06
Figure n°03 : Variation des précipitations moyennes annuelles de la station de Baghlia	07
Figure n°04 : Variation des précipitations moyennes annuelles de la station de Draa Ben khadaa	08
Figure n°05 : Variation des précipitations moyennes mensuelles de la station de Baghlia	09
Figure n°06 : Variation de précipitation moyenne mensuelle de la station de Draa Ben khada.....	09
Figure n°07 : Variation de la température mensuelle de la station de Baghlia.....	11
Figure n°08 : Diagramme Ombrothermique.....	12
Figure n°09 : Climagramme d'EMBERGER.....	13
Figure n°10 : Carte des grandes types des sols dans la plaine des Isser et ses environs.....	18
Figure n°11 : Carte géologique du sous bassin versant du bas Isser.....	21
Figure n° 12 : Coupe lithologique du sous bassin versant du bas issar	22
Figure n°13 : carte Tectonique de la vallée du bas Isser selon la carte géologique	23
Figure n°14 : carte de L'emplacement des terrains quaternaires dans la plane du Bas Isser.....	25
Figure n°15 : Situation des coupes hydrogéologique	27
Figure n°16 : Coupe hydrogéoelectrique 1-1'	27
Figure n°17 : Coupe hydrogéoelectrique 2-2'	28
Figure n°18 : Coupe hydrogéoelectrique 3-3'	28
Figure n°19 : Coupe hydrogéoelectrique 4-4'	28
Figure n° 20 : Cycle d'azote	38
Figure n° 21 : Variation des profondeurs d'eau dans la plaine alluviale du bas Iser (2014).....	42
Figure n° 22 : Carte piézométrique de la Basse vallée de l'Oued Isser (basses eaux 2014).....	43
Figure n° 23 : Carte piézométrique de la Basse vallée de l'Oued Isser (Hautes eaux 2014).....	44
Figure n° 24 : évolution de la piézométrie dans le temps en niveau de la vallée du bas Isser (hautes eaux).....	45
Figure n° 25 : Carte de la repartions de la conductivité électrique (période des basses eaux 2014).....	48
Figure n° 26 : Carte de la répartition de Calcium (période des basses eaux 2014)...	49
Figure n° 27 : Carte de la répartition de Magnésium (période des basses eaux 2014).....	50
Figure n° 28 : Carte de la répartition de sodium (période des basses eaux 2014).....	51
Figure n° 29 : Carte de la répartition de Chlorure (période des basses eaux 2014).....	52
Figure n° 30 : Carte de la répartition de Sulfate (période des basses eaux 2014).....	53

Liste des tableaux

Tableau n° 1 : paramètre géométrique du sous bassin versant du Bas Isser.....	5
Tableau n° 2 : caractéristique des stations pluviométrique.....	7
Tableau n°3 : Variation des précipitations moyennes mensuelle de station de station de Baghlia (1980-2012).....	8
Tableau n°4 : Variation des précipitations moyennes mensuelles de station de Draa Ben (1980 -2012).....	9
Tableau n°5 : précipitation moyenne annuelle observé a chaque station (1980-2012).....	10
Tableau n°6: Les températures maximale et moyenne et minimale enregistrées à la station de Baghlia (1988-2012).....	10
Tableau n°7 : Moyenne mensuelle des température et précipitation enregistrées a la station de Baghlia (1982012).....	11
Tableau n°8 : Valeur de l'ETP estimées par la formule de Thronthwite	14
Tableau n°9 : Bilan hydrologique d'après Thronthwaite (1980-2012).....	15
Tableau n°10 : Valeurs des différents termes du bilan hydrologique	17
Tableau n° 11: Norme des eaux potables	33
Tableau n°12 : Normes des eaux d'irrigation.....	34
Tableau n° 13: paramètres physico-chimique des eaux souterraines de la nappe alluviale du ba Iser (baases eaux).....	46
Tableau n° 14 : paramètres physico-chimique des eaux souterraines de la nappe alluviale du ba Iser (hautes eaux).....	47
Tableau n° 15: Rapport caractéristique des eaux souterraine(basses eaux)	56
Tableau n° 16 : Valeurs d'indice d'échange du base	57
Tableau n° 18 : Valeur calculé du SAR suivant les analyses des basses eaux 2014.....	60
Tableau n° 19 : Pourcentage des classes des points d'eau	61
Tableau n° 20 : Valeurs de SAR ajusté des eaux souterrain de la vallée du Bas Isser	62
Tableau n° 21 : Valeurs de pourcentages en Sodium	63
Tableau n° 22 : Comparaison des résultats d'analyse chimiques de l'année 2003 et 2014...	63

Introduction générale

L'eau souterraine, bien naturel caché, est d'une importance capitale dans la plupart des régions du monde surtout dans les régions où celle-ci est rare et irrégulière tout particulièrement en zone arides et semi arides. Les eaux souterraines ont une double appartenance, elles font partie du cycle de l'eau, ils sont liés aux eaux de surfaces et s'interpénètrent continuellement dans l'espace et dans le temps à la faveur de l'infiltration, dont elles constituent des stocks d'eau et de flux en circulation comme les eaux superficielles, leur renouvellement s'effectue par l'infiltration d'eau pluviale. Leur distribution dans l'espace dépend surtout des formations géologiques dont la structure conditionne leur dynamique.

La qualité de l'eau souterraine dépend de l'origine de l'eau et de son temps de séjour dans les couches aquifères. On peut affirmer que la composition des eaux souterraines en un lieu donné et à un moment donné dépend des apports extérieurs (dépôts atmosphériques, excédent des précipitations, infiltration des eaux de surface), de la nature des zones non saturée et saturée (géochimie), du chemin parcouru par l'eau, du temps de séjour et de la vitesse d'écoulement.

L'Algérie à l'instar de tous les pays riverains de la Méditerranée, a connue une sécheresse aigue au cours des deux dernières décennies. Ce manque d'eau a entraîné une sollicitation très accrue des nappes pour palier au déficit quantitatif. La nappe alluviale côtière du Bas Isser constitue la principale ressource pour l'alimentation en eau et pour l'irrigation. En effet, la nature alluvionnaire de l'aquifère, l'absence d'un niveau argileux protecteur et la communication hydraulique entre les deux plans d'eau (superficielle de l'oued Isser et de la nappe alluviale) favorisent l'infiltration des polluants et la dégradation de qualité physico-chimique des eaux souterraines.

C'est dans le contexte de l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la nappe alluviale du Bas Isser, que notre étude se focalise, toute en intéressant aux caractéristiques hydrogéologiques et hydrochimiques de la nappe. Cette étude s'intéresse surtout à l'aptitude des eaux souterraines à l'alimentation en eau et à l'irrigation.

Chapitre I

Présentation de la zone d'étude

Introduction

Dans ce chapitre, Nous donnons la situation géographique de la zone d'étude, les caractéristiques générales du bassin versant, l'aspect climatologique et géomorphologique de la région, et un aperçu sur la géologie et l'hydrogéologie de la zone d'étude.

I. Présentation de la zone d'étude

I.1. Situation géographique

La zone d'étude est située dans le sous-bassin versant du Bas Isser, ce dernier fait partie du bassin versant de l'Oued Isser. La zone d'étude se trouve à 60 km à l'Est d'Alger, elle couvre une superficie de 533 km² et un périmètre de 114 km, il est limité :

- Au Nord par la Mer Méditerranée ;
- A l'Est par le Massif de Cap Djinet ;
- A l'Ouest par Djebel Bou Arous ;
- Au Sud par les Contreforts de la Dorsale Kabyle.



(source :ANRH. 2004)

Fig. 1: Situation géographique du sous-bassin versant du Bas Isser

I.2. Caractéristiques géomorphologiques du bassin versant

I.2.1. Forme du bassin versant

La forme du bassin joue un rôle important sur les modalités des écoulements superficiels. Un bassin allongé ne réagira pas de la même manière qu'un bassin ramassé. En effet le temps de concentration des eaux sera plus long dans le cas du bassin allongé car la distance entre le point le plus éloigné et l'exutoire est plus importante, ce qui favorise l'infiltration aux dépens du ruissellement.

La forme du bassin est caractérisée par l'indice de compacité de Gravélius (K_c) défini par la formule :

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{3.14 \times A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

P = périmètre du bassin versant (Km)

A = surface du bassin versant (Km²)

$$K_c = 0.28 \frac{114}{\sqrt{533}} = 1.38$$

La valeur de K_c permet de conclure que le bassin versant du Bas Isser présente une forme allongée, suggérant a priori le ruissellement des eaux superficielles aux dépens de l'infiltration.

I.2.2. Rectangle équivalent

La méthode consiste à déterminer les dimensions d'un bassin fictif de forme rectangulaire ayant même superficie, même périmètre et même indice de compacité que ceux du bassin versant initial. Les dimensions du rectangle équivalent (longueur et largeur) sont :

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right] = 45.21 \text{ Km}$$

$$l = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right] = 11.79 \text{ Km}$$

Avec :

A = Surface du bassin versant en Km² ;

K_c = Indice de compacité de Gravélius ;

L = La longueur du rectangle en Km ;

l = La largeur du rectangle en Km ;

On constate que la largeur du rectangle équivalent est approximativement quatre fois plus petite que la longueur, indiquant ainsi une pente moyenne (ANRH. 2004).

Tableau 01 : Paramètres géométriques du bassin versant du Bas Isser

Paramètres géométriques	Unités	Valeurs
Altitude Maximale	m	1031
Altitude minimale	m	0
Altitude moyenne	m	268
Surface	Km ²	533
Périmètre	Km	114
Longueur du rectangle équivalent	Km	45.21
Largeur du rectangle équivalent	Km	11.79
Indice de compacité du Gravélius	-	1.38
Indice de pente globale	%	1.19
Longueur d'oued Isser (du barrage Beni Amrane jusqu'à la Mer méditerranée)	Km	35

(ANRH 2004)

I.3. Réseau hydrographique

Le sous bassin versant du Bas Isser est caractérisé par un réseau hydrographique très dense de l'amont dans les gorges de Lakhdaria. L'Oued Isser a une longueur de 35 km (du barrage Beni Amrane jusqu'à la Mer méditerranée). L'écoulement se fait de Sud vers le Nord. Les affluents de l'Oued Isser dans la Basse Vallée se limitent à l'Oued Djemaa, le reste des affluents ne sont que de petites rivières pérennes ou saisonnières. Parmi ces cours d'eaux pérennes :

- Oued Ménaiel et Chender (ces derniers se regroupent et forment un seul cours d'eau à 1 km environ du lit majeur de l'Isser) ;
- Oued Aoudja (situé à l'aval de l'Isser) ;
- Oued Bou Amour (situé dans la partie amont de la zone). (Boulmatafe. 2012)

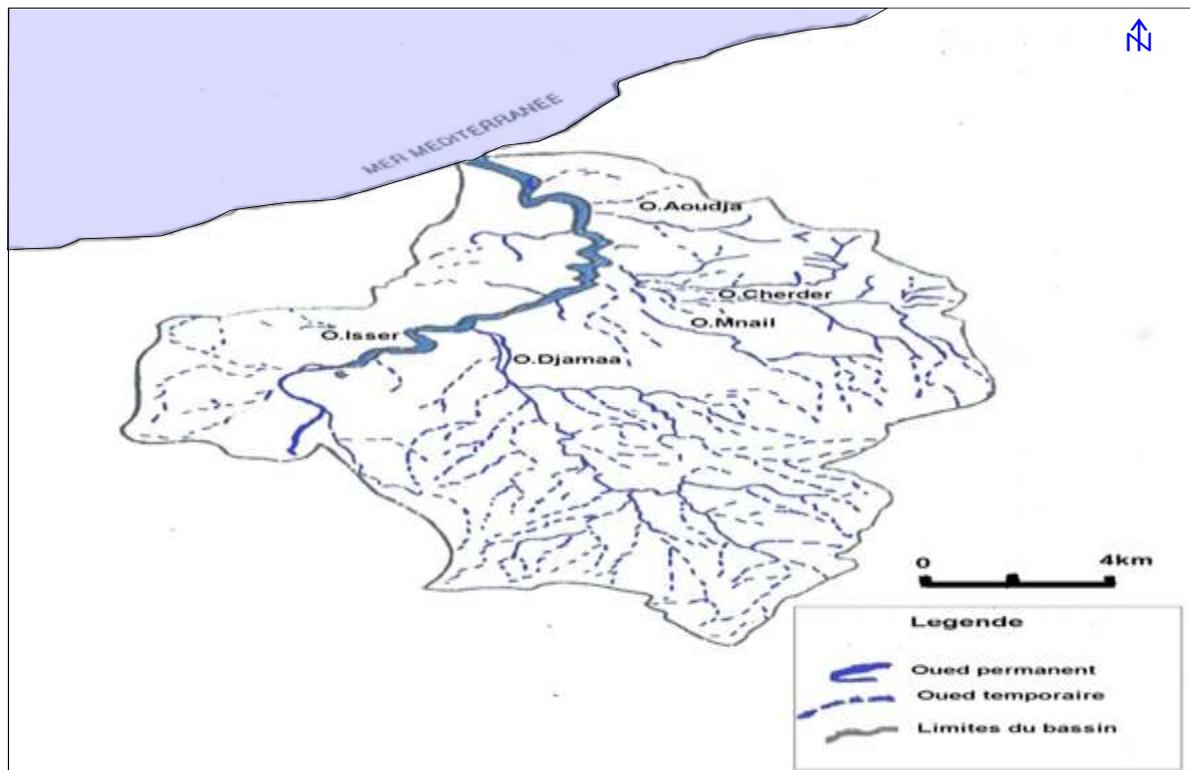


Fig. 2 : Réseau hydrographique du bassin versant du Bas Isser .

I.4. Couverture végétale

La couverture végétale est aussi un facteur prépondérant qui influence les écoulements superficiels, non seulement elle amortit les crues en réduisant et en freinant le ruissellement, mais aussi agit sur la qualité physique des eaux du cours d'eaux qui seront moins chargées en matières solide.

La végétation influence positivement en ralentissent l'écoulement de l'eau à la surface, lui donne ainsi plus de temps pour pénétrer dans le sol. Enfin le fouillage protège le sol de l'impact de la pluie et diminue par conséquence le phénomène de battance.

La répartition de végétation dans notre région d'étude est dominée par les cultures annuelles. Sur la plaine nous notons la présence de la vigne, des fourrages des céréales, des légumes secs et du maraichage. Sur les collines, on trouve essentiellement la pratique de la céréaliculture, des fourrages et de la culture melon. Sur les montagnes et les piémonts, c'est la zone où prédomine la culture d'olives et d'autres espèces forestières telles que le peuplier, le chaine liège et le pin. (SALHIS 2004)

I.5. Contexte climatique

Pour avoir une idée sommaire sur le climat on a eu recours à exploiter les données de deux stations climatiques. Il s'agit de la station pluviométrique de Draa Ben khadda et celle de Baghlia village.

Tableau 02 : Caractéristiques des stations pluviométriques

Nom de la station	Coordonnées Lambert		Z (m)	Code
	X (km)	Y (km)		
Draa Ben Khadaa	615.2	382.45	90	021804
Baghlia village	603.5	390	30	022002

(ANRH.2014)

I.5.1. Précipitation

L'étude des précipitations présente un intérêt considérable de point de vue hydro-climatologique, car elle permet de décrire le régime d'écoulement. La chronique des données dont on a disposé recouvre une période allant de 1980 à 2012. Des analyses à la fois mensuelles et annuelles des précipitations ont été réalisées.

I.5.2.1. Evolution annuelle des précipitations

Elles représentent la réparation annuelle de la pluviométrie sur un bassin versant.

a. Station de Baghlia

L'analyse de la courbe des variations annuelles des précipitations, sur une période de (1980-2012) montre que l'année 2002 est la plus arrosée avec 1099 mm tandis que l'année 2001 est la plus sèche avec 456 mm (Fig 03).

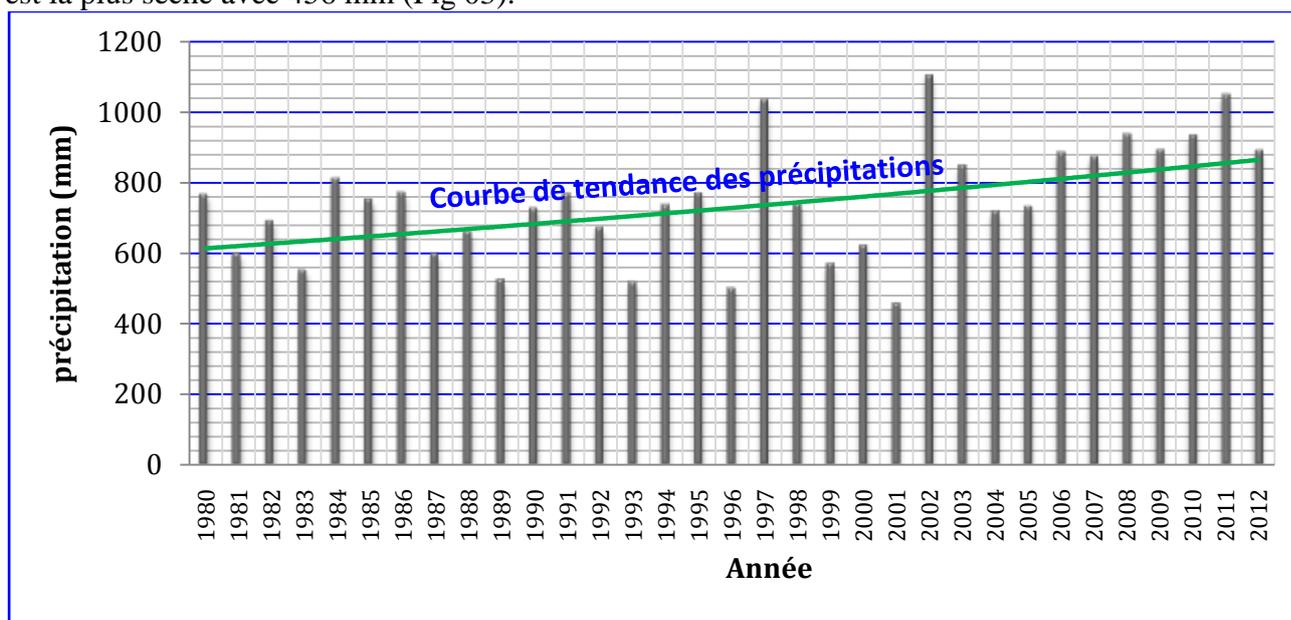


Fig.03: variation des précipitations annuelles de la station de Baghlia(1980-2012)

b. Station de Draa Ben Khadaa

L'analyse de la courbe des variations annuelles des précipitations, sur une période de (1980-2012) montre que l'année 2002 est la plus arrosée avec 1068 mm, tandis que l'année 2001 est la plus sèche avec 356 mm (Fig. 4).

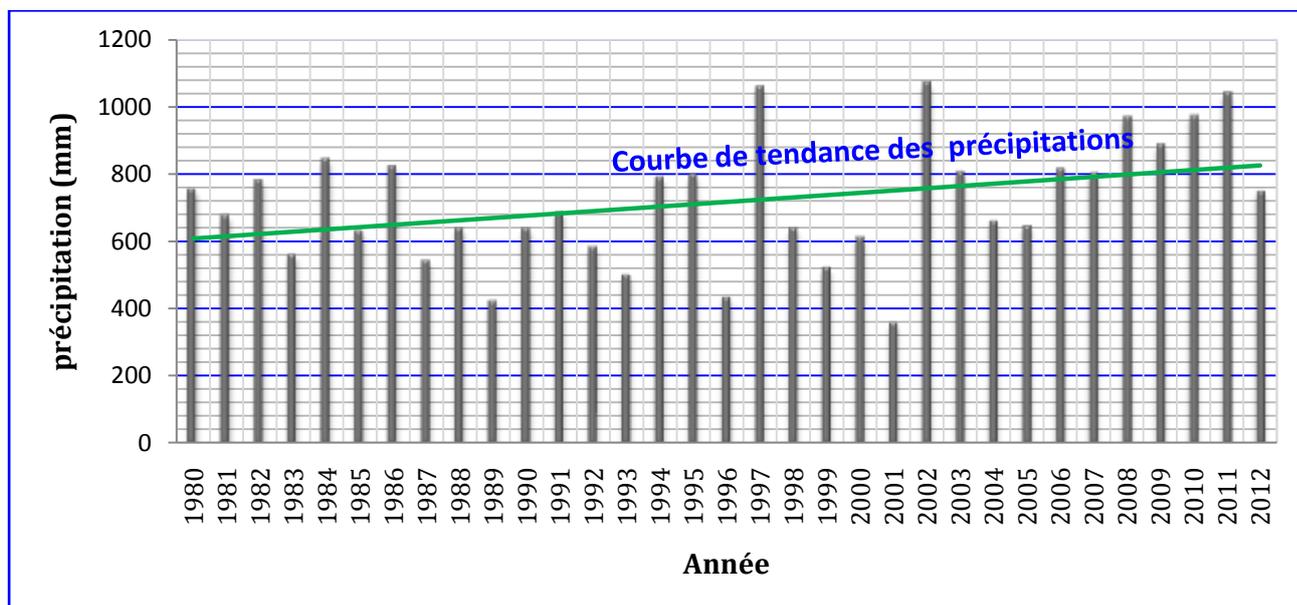


Fig.4 : variation des précipitations annuelles de la station de Draa Ben Khadaa(1980-2012)

I.5.2.2.Evolution mensuelle des précipitations

Elle représente la répartition mensuelle de la pluviométrie sur un bassin versant. Cette variation est donnée sous forme de hauteur des précipitations enregistrées au niveau des pluviomètres pour chaque mois d'une année hydrologique.

a.Station de Baghlia

La répartition des moyennes mensuelles de la pluviométrie enregistrée au niveau de cette station est donnée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3: variation des précipitations moyennes mensuelles.

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Aout
Précipitation (mm)	33,5	63,7	104	129	105	91	70,4	72	58,6	8,7	2,9	7,5

La courbe de variation des précipitations moyennes mensuelles sur une période (1980-2012), montre que le mois de décembre est le plus pluvieux avec 129 mm, alors que le mois de Juillet est le plus sec avec 2.9 mm.

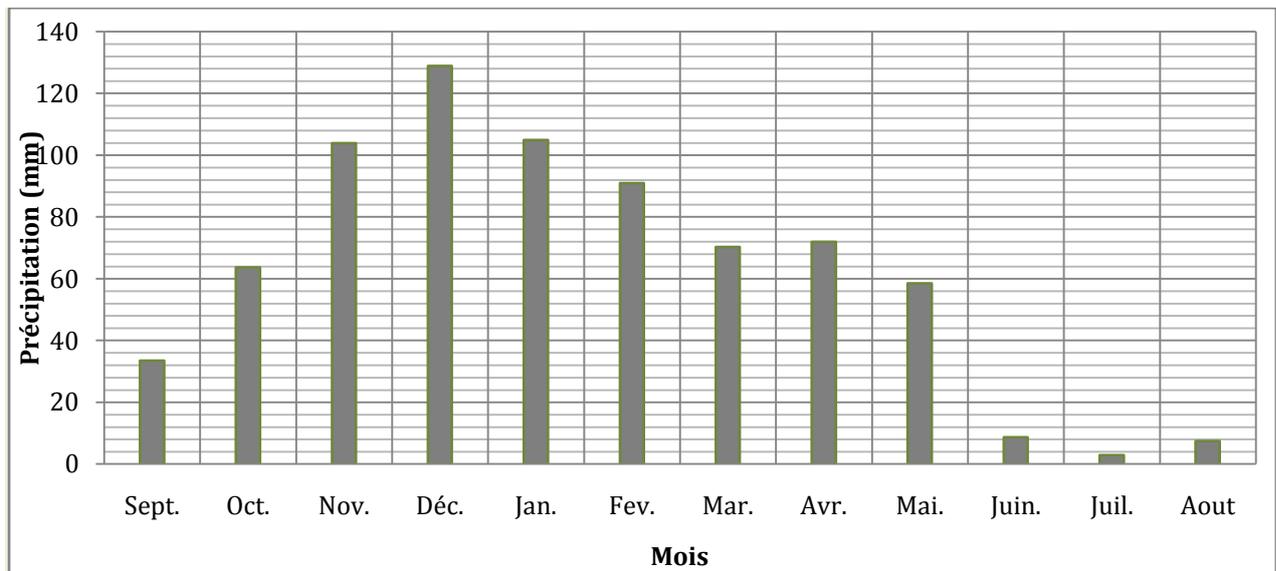


Fig.05: Variation des précipitations moyennes mensuelles pour station de Baghlia(1980-2012)

b. Station de Draa Ben Khadda

La répartition des moyennes mensuelles de la pluviométrie de chaque mois est donnée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 04: variation des précipitations moyennes mensuelles de station de Draa Ben Khadaa.

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin.	Juil.	Aout.
Précipitation (mm)	32,21	61,47	93,96	125	110,6	90,3	71,2	68,6	48,77	7,84	3,8	7,2

La courbe de variation des précipitations moyennes mensuelles sur une période (1980-2012) montre que le mois de décembre est le plus pluvieux, avec 125 mm, alors que le mois de juillet est le plus sec avec 3.8 mm.

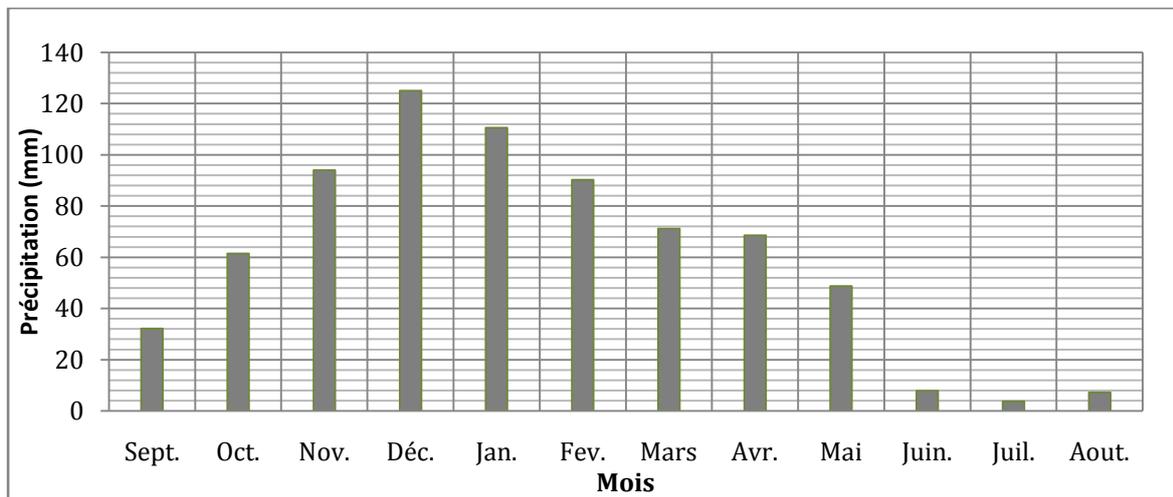


Fig. 06: Variation des précipitations moyennes mensuelles pour la station de Draa Ben Khadaa(1980-2012).

I.5.2.3. Estimation de la lame d'eau précipitée

Nous avons estimé la hauteur d'eau précipitée par la méthode Arithmétique. le calcul de la lame d'eau tombée a pour but d'évaluer la hauteur moyenne annuelle de la tranche d'eau qui est tombée durant une période donnée relevée aux différentes stations existantes sur le sous bassin versant, ou de son voisinage immédiat.

La lame d'eau moyenne précipitée sur le bassin est donnée par la formule suivante :

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}$$

Avec :

Pi = pluviométrie moyenne annuelle de la station i
n = nombre de station.

Tableau 05 : Précipitations moyennes annuelles observées à chaque station (1980-2012).

Station	Draa Ben khedda	Baghlia
Précipitation moyennes annuelles (mm)	719.8	746.6

La lame d'eau moyenne précipitée obtenue par cette méthode est :

$$\bar{P} = 733.2 \text{ mm}$$

I.5.2.Température

Ce paramètre conditionne l'évaluation du déficit d'écoulement qui intervient dans l'estimation du bilan hydrologique, La station de Baghlia a été choisie pour l'analyse des températures vue sa proximité à la plaine du Bas Isser.

Les températures mensuelles en (°C) relevées à la station de Baghlia pour la période 1988-2012 sont indiquées dans le tableau suivant

Tableau 06 : Les températures maximales, moyennes et minimales enregistrées à la station de Baghlia (1988-2012)

	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin.	Juil.	Août
T moy.min (C°)	17,2	14,1	10,5	7,6	6,3	6,9	8	9,6	12,4	16	18,9	19,3
T moy. (C°)	23,7	19,4	14,8	11,5	10,5	10,9	13	15	18,5	22,3	25,8	26,55
T moy.max (C°)	30,2	24,7	19,1	15,4	14,7	14,9	18	21	24,5	28,5	32,7	33,8

La variation de la température moyenne mensuelle, sur une période de (1988-2012), montre que les valeurs les plus élevées sont observées pendant l'été (Juillet- Août) avec des températures allant de 25.8 °C et 26.5 °C. Les valeurs les plus basses, sont de 6.3 à 6.9 °C, observées durant la période hivernale (Janvier – Février).

La valeur de la température moyenne annuelle est de : 17.7 °C.

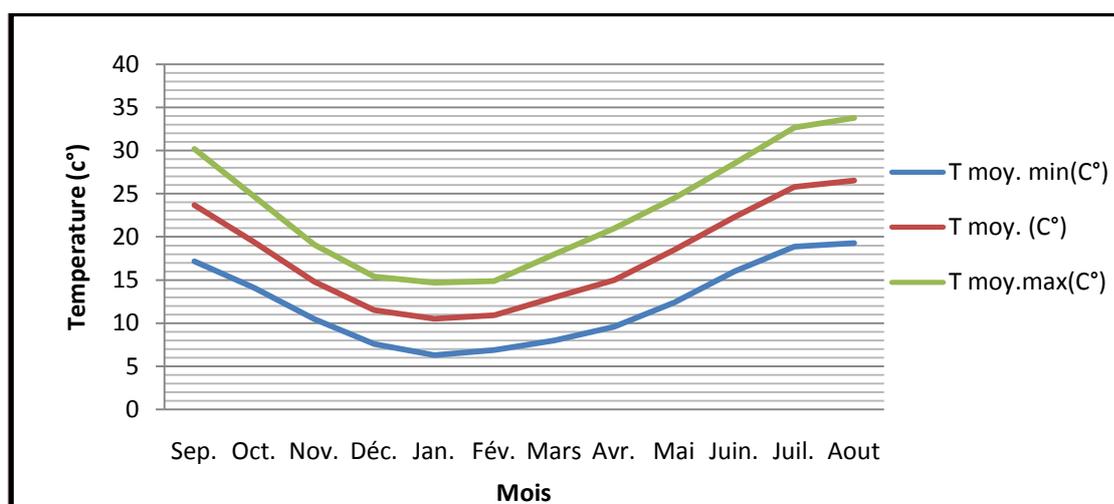


Fig. 07 : Variation de la température mensuelle de la station de Baghlia(1988-2012).

▪ Diagramme Ombrothermique

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson (1953) permet la mise en évidence des périodes sèches et humides au cours d'une année hydrologique.

En abscisse, sont portés les mois successif de l'année et en ordonnée à droite les précipitations en mm, et à gauche les températures en (°C). L'échelle des températures est double à celle des précipitations $P = 2T$

La saison sèche se détermine quand la courbe des précipitations (P_i) est au dessous de la courbe des températures (T_i).

Dans notre cas on a choisi la station de Baghlia dont les valeurs de la température moyenne annuelle et la précipitation sont donnée dans le tableau suivant.

Tableau 07 : Moyenne mensuelle des températures et précipitations enregistrées à la Station de Baghlia (1980-2012).

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août
Pi (mm)	33,5	63,7	103,8	128,9	104,5	91,3	70,4	72,3	58,6	8,7	2,9	7,5
Ti (° C)	23,7	19,4	14,8	11,5	10,5	10,9	13	15	18,5	22,3	25,8	26,55

D'après le diagramme ci-dessous, il ressort une période sèche qui s'étale Cinq mois, du mois de Mai au mois de Septembre et une période humide qui s'étale sur sept mois, du mois d'Octobre au mois de d'Avril.

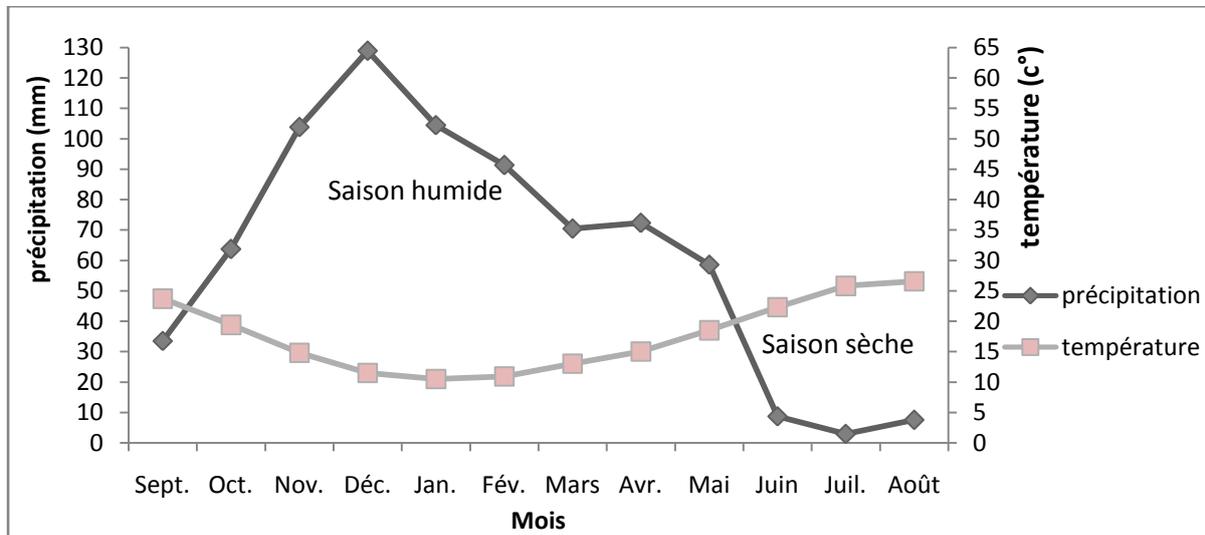


Fig. 08 : Diagramme Ombrothermique.

I.5.3. Régime climatique

I.5.3.1. Indice de De Martonne

Cet indice est fonction de la température et de la précipitation moyenne annuelle, il est calculé par la relation suivante :

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

I : indice d'aridité

P : précipitation moyenne annuelle en mm.

T : Température moyenne annuelle en °C

Donc, pour P = 746.6 mm et T = 17.7 °C , on a I = 26.1

Suivant les valeurs de (I), De Martonne a établi la classification suivante :

I < 5 : climat hyperaride

5 < I < 7,5 : climat désertique

7,5 < I < 10 : climat steppique

10 < I < 20 : climat semi-aride

20 < I < 30 : climat tempéré.

La station de Baghlia bénéficie d'un climat méditerranéen tempéré

I.5.3.2. Formule de STEWART (1968)

STEWART a élaboré une formule permet de déterminer l'étage bioclimatique d'une station donnée, adoptée pour l'Algérie et le Maroc, soit: $Q2 = 3.43 (P/M-m)$.

L'interprétation du quotient nécessite l'emploi du climagramme d'Emberger.

- Q: le quotient pluviométrique d'EMBRGER
- P: Pluviométrie annuelle moyenne en mm.
- M: Moyenne maximale du mois le plus chaud en °C
- m: Moyenne minimale du mois le plus froid en °C

Donc, pour $P = 746.6$ mm, $M = 33.6$ °C et $m = 6.3$ °C, ce qui donne $Q2 = 93.8$

Ce qui indique que notre zone d'étude présente un climat sub-humide.

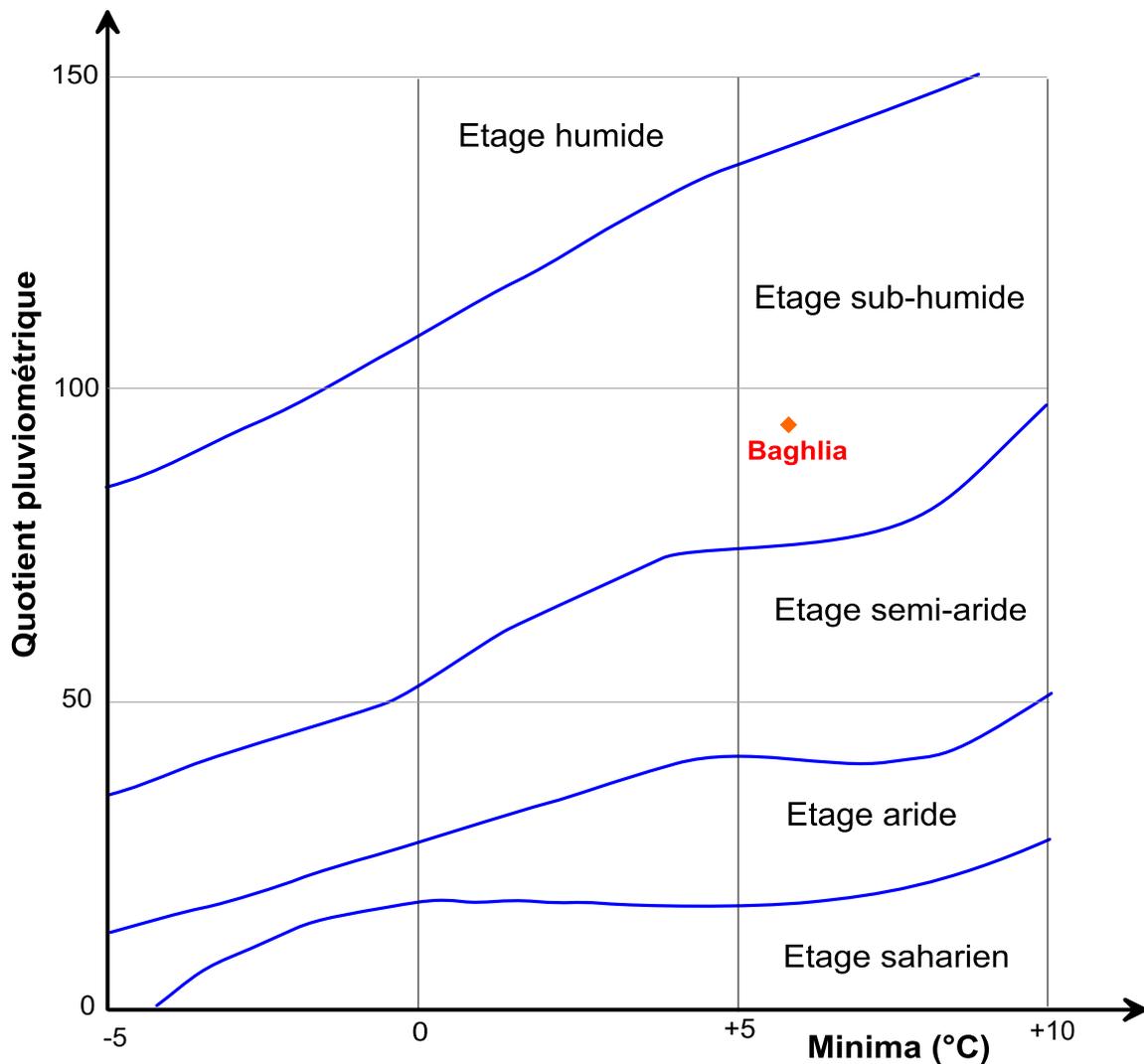


Fig 9. Climagramme d'EMBERGER

I.5.4. Evapotranspiration

I.5.4.1. Evapotranspiration potentielle

Elle correspond à l'évapotranspiration d'une surface, qui serait suffisamment approvisionnée en eau, pour évaporer la quantité d'eau maximale permise par les conditions climatiques (Roche 1952).

La détermination de l'ETP se fait en utilisant une méthode simple, qui ne fait intervenir que la température, c'est la formule de Thornthwaite qui s'exprime par l'expression suivante :

$$ETP = 16 (10T/I)^a$$

Où :

$$a = 1.6 (I/100) + 0.5 \text{ (D'après Serra L. 1954)}$$

$$I = \text{Indice thermique annuel: } I = \sum_I^{12} i$$

$$i = \text{Indice thermique mensuel: } i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514}$$

T = Température moyenne mensuelle en (° C).

Ce qui donne : I = 84 et a = 1.8

ETP : évapotranspiration potentielle en (mm)

T : température moyenne du mois en (°C)

Les valeurs obtenues sont corrigées par un coefficient de correction K qui dépend de la latitude du Bassin.

Tableau 08 : Valeurs de l'ETP estimées par la formule de Thornthwaite

	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai.	Juin	Juil.	Août
T (C°)	23.7	19.4	14.8	11.5	10.5	10.9	13	15.2	18.45	22.3	25.8	26.6
ETP (mm)	107.9	74.6	45.3	28.5	24.1	25.8	35.7	47.6	68.1	96.1	126.1	127.9
K	0.865	0.845	1.03	1.1	1.215	1.225	1.245	1.165	1.03	0.965	0.845	0.835
I	10.5	7.8	5.2	3.5	3.1	3.3	4.2	5.4	7.8	9.6	11.1	12.5
ETPc (mm)	93.3	63	46.7	31.4	29.3	31.6	44.4	55.5	70.1	92.7	106.6	106.8

ETP = Evapotranspiration potentielle obtenue par la formule de Thornthwaite.

ETPc = Evapotranspiration potentielle corrigée.

ETPc annuelle = 771.4 mm

I.5.4.2. Evapotranspiration réelle (ETR)

Elle correspond à l'évapotranspiration, qui se produit dans les conditions réelles de teneur en eau et du sol : c'est la lame d'eau effectivement évaporée et transpirée.

L'estimation de celle-ci est possible, grâce à certaines formules empiriques telles que : Turc, Coutagne, Wundt et la méthode du bilan de Thornthwaite.

▪ Bilan de Thornthwaite

Cette méthode consiste à calculer, tout d'abord, pour chaque mois une ETP que l'on peut assimiler au pouvoir évaporant de l'atmosphère sur le bassin considéré. On estime que le sol est saturé, lorsque sa réserve facilement utilisable atteint une valeur de 100mm (il est souvent prise entre 50mm et 200 mm)

Le mois de Septembre à été pris comme référence de départ, il correspond à la période où la réserve en eau du sol est épuisée. On distingue trois cas :

1^{ère} Cas : Si $P \geq ETP$; on pose l'ETR = ETP et l'excédent des précipitations sur l'ETR est emmagasiné dans l'humidité du sol dont il augmente les réserves jusqu'à ce que ce dernier soit saturé ; le reste s'infiltre.

2^{ème} Cas : Si $P < ETP$; l'ETR mobilise alors l'ensemble des réserves du sol jusqu'à ce qu'elle devienne égale à l'ETP.

- Si $P + RFU \leq ETP$, $ETR = P + RFU$;
- Si $P + RFU > ETP$, $ETR = ETP$;

3^{ème} CAS : Si $P = ETR$, une fois la réserve d'humidité du sol épuisée, l'ETR devient égale aux précipitations, on obtient alors un déficit du bilan.

L'estimation des réserves utiles est basée sur la structure du terrain et le couvert végétal..(Chendri et Cherfi.2007)

Les résultats du calcul de l'ETR sont résumés dans le tableau 10.

I.5.5. Bilan hydrologique

Le bilan hydrologique, effectué par rapport au sol, des apports d'eau (pluie, remontées capillaires à partir de la nappe), et des pertes d'eau (évapotranspiration, ruissellement, infiltration.....), Il exprime que la différence entre les apports et les pertes d'eau dans le sol est égale à la variation de la réserve d'eau.

La formule classique du bilan hydrologique est :

$$\overline{P} = ETR + R + I$$

Avec :

\overline{P} = Précipitation moyenne annuelle en (mm).

ETR = Evapotranspiration réelle en (mm).

R = Ruissellement moyen annuel en (mm).

I= Infiltration moyenne annuelle en (mm).

Tableau 09 : Bilan hydrologique selon Thorntwaite (1980-2012)

	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août
P (mm)	33.5	63.7	104	127	105	91	70.4	72	58.6	8.7	3.35	7.3
ETPc (mm)	93.9	63	46.7	31.4	29.3	31.6	44.4	55.5	70.1	92.7	106.6	106.8
ETR (mm)	33.5	63	46.7	31.4	29.3	31.6	44.4	55.5	70.1	92.7	7.85	7.3
RFU (100mm)	0	0.7	58	100	100	100	100	100	88.5	4.5	0	0
Déficit (ETP-ETR)	60.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	98.75	99.5
Excès	0	0	0	53.6	75.7	59.4	26	16.5	0	0	0	0

I.5.5.1. Estimation du ruissellement et de l'infiltration

▪ Estimation de la lame d'eau ruisselée

L'application de la formule de Tixeront-Berkaloff pour une année moyenne, donne le résultat suivant :

$$R = P^3/3.ETP^2$$

Où R : Ruissellement (m).

P : Précipitation moyenne mensuelle (m), P = 733.2 mm

ETP : Evapotranspiration potentielle (m), ETP = 771.4 mm

Ce qui donne, R = 220.8 mm soit 30.1 %

Cette valeur est très élevée, et nous permet de dire que la méthode de Tixeront-Berkaloff n'est pas valable pour notre région d'étude, par ce que, si on détermine l'infiltration dans la zone selon la méthode de bilan hydrique d'étude on trouve :

P = Précipitation moyenne annuelle en (mm) ; P = 733.2 mm.

R = La lame d'eau ruisselée en mm ; R = 220.8 mm.

ETR = Evapotranspiration réelle en (mm) ; ETR = 513.35 mm

I = P - (R + ETR), I = 733.2 - (220.8 + 513.35) = -0.95 mm (un bilan négatif)

Donc, pour la détermination de l'infiltration, on a basé sur les mesures de débit moyen annuel effectué par l'ANRH à l'embouchure de Oued Isser, où un débit moyen annuel de 15 m³/s. Cela donne un volume moyen annuel de 15 x (365x24x3600) = 473 hm³.

Le bassin versant de l'Oued Isser, occupe une superficie de 3615 km², ce qui donne une lame d'eau ruisselée moyenne annuelle de 130.9 mm, soit 17.9 % des précipitations

▪ **Estimation de l'infiltration**

L'infiltration est déduite de l'équation du bilan :

$$I = P - (R + ETR)$$

Où

P = Précipitation moyenne annuelle en (mm) ; P = 733.2 mm.

R = La lame d'eau ruisselée en mm ; R = 130.9 mm.

ETR = Evapotranspiration réelle en (mm) ; ETR = 513.35 mm.

On obtient une infiltration de 88.95 mm soit 12.1 % de précipitation.

Les valeurs des différents termes du bilan hydrologique sont données dans le tableau suivant :

Tableau 10 : Valeurs des différents termes du bilan hydrologique

terme du bilan	p	ETR		R		I	
	mm	mm	%	mm	%	mm	%
valeurs	733,2	513.35	70	130,9	17,9	89	12,1

I.6. Contexte pédologique

Les sols de la Basse vallée d'Isser se répartissent en quatre classes :

I.6.1. Les sols peu évolués

Couvrent plus de 70 % de la superficie de la plaine lui donnant un caractère d'homogénéité; la couverture de ces sols et leurs limites comparées aux formations géomorphologiques de la région présentent souvent une concordance avec la limite de la terrasse récente du Quaternaire. Ils sont d'origine non climatique et se caractérisent par la diversité de leur sous-groupe. On distingue 3 variantes des sols :

- a) Sols à texture limono-argileuse devenant équilibrée en profondeur (entre 25-50 cm)
- b) Sols de texture limono-argileuse à sableuse (entre 70-120 cm).
- c) Sols de texture limoneuse devenant fine (à partir de 80-90 cm).
- a) Sols à Texture limono-argileuse devenant équilibrée en profondeur (entre 25-50 cm).

I.6.2. Les vertsols

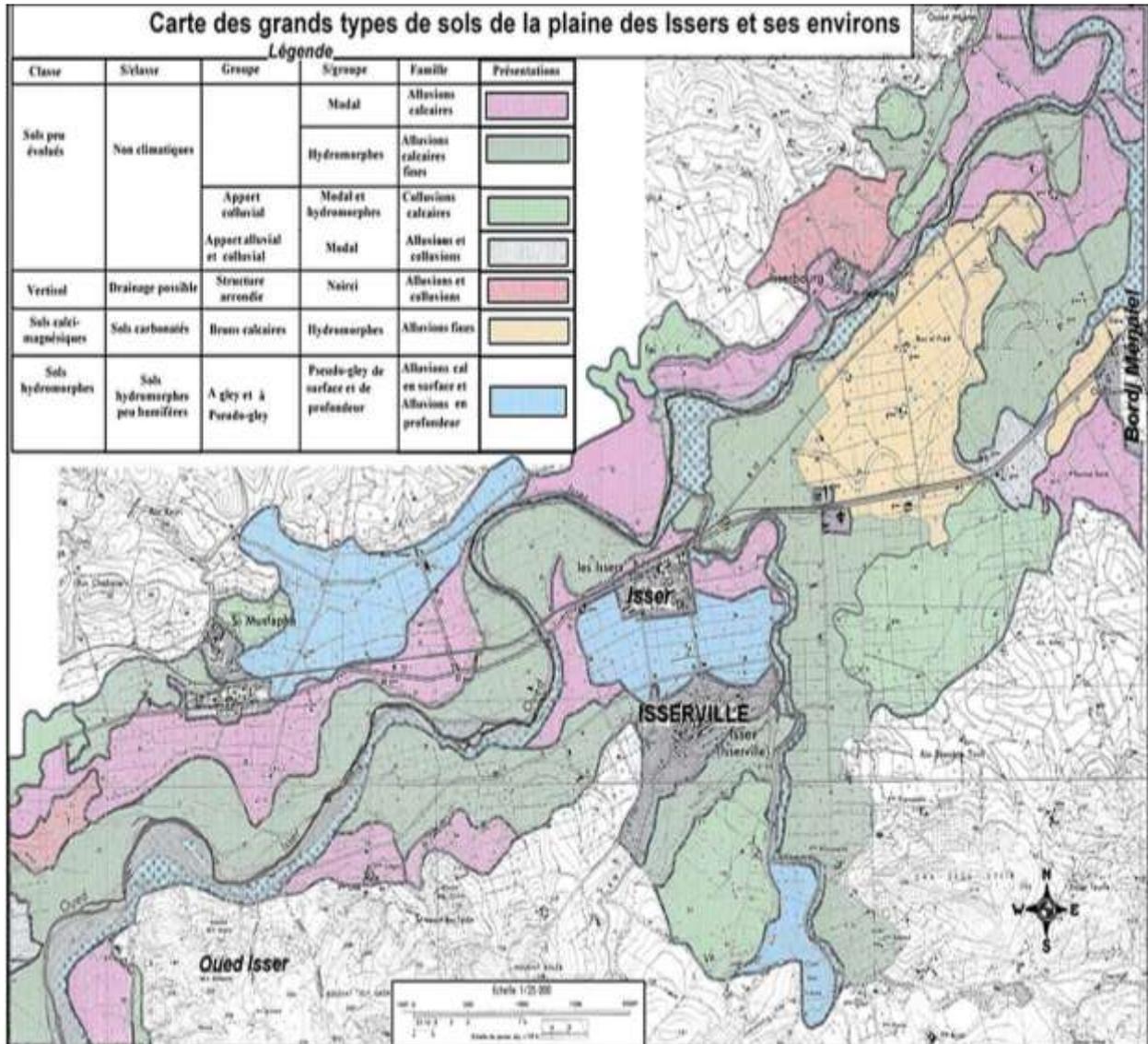
Ils occupent une superficie très restreinte (inférieure à 10%) et se limite à deux petites parcelles situées au milieu de la périphérie Sud de la plaine ; la structure de ces sols est moyennement lourde.

I.6.3. Les sols calcimagnésiques carbonatés

Occupent une superficie de 12% environ, on les remarque nettement autour de Bordj-Ménaïel où ils évoluent sur une terrasse limono-argileuse.

I.6.4. Les sols hydromorphes

Se classent par superficie en deuxième place après les sols peu évolués (Boulmataf. 2012)



(Source mémoire de boulmatef 2012)

Fig. 10: Cartes des grands types des sols dans la plaine des Isser et ses environs

I.7. Cadre géologique de la région d'étude

Le sous bassin versant de l'Oued Isser appartient au vaste ensemble géologique qui est le tell septentrional kabyle, Les études géologiques antérieure ont montré que la basse vallée de l'Oued Isser se caractérise par sa complexité tant structurale que stratigraphique, il montre aussi l'existence de formation métamorphique d'âge précambrien recoupée localement par des roches intrusive et d'autre part par des formations sédimentaires.

I.7.1. Stratigraphie

Les structures géologiques de la région sont marquée, par l'existence de formation métamorphique d'âge antécambrien recoupées localement par des roches intrusives acides et basiques d'une part, et de formations sédimentaires d'autre part, nous rencontrons a l'affleurement des roches les plus anciennes aux plus récente.

- **Socle cristallophyllien**

Les terrains antécambriens sont développés sur les vieux Massif kabyle de Boudouaou et de Ben Norah de Beni Amrane et de Thenia et sont subdivisées en deux assises :

- **Assise métamorphique inférieure**

Elle est représentée par un intercalage de Gneiss œillet et de Micaschistes Feldspath – quartzitiques, formant des plis.

- **Assise supérieure**

Elles sont moins métamorphisées et constituent essentiellement de chloritoschistes quartzifères.

A l'ouest de Beni Amrane une série de quartzites s'associe à des magnétites –hématites, la puissance de cette assise dépasse les 200 mètres.

- **Les roches éruptives**

Ces roches sont d'âge pré-tertiaire et tertiaire, les roches pré-tertiaires sous forme de filons de pegmatites ou granites souvent tourmalinifères affleurent à Beni Amrane et Bordj Menaél tandis que les roches tertiaires sont représentées d'une part par un pointement de roche granodioritique dans le Massif de Thenia et d'autre part par des formations volcaniques (liparites, basaltes et les roches ophiolitiques).

- **Les formations sédimentaires**

Les terrains Paléozoïques et Mésozoïques sont développés dans le Dorsal Kabyle et jalonnent les versants Nord de la chaîne calcaire.

- **Les roches siluriennes**

Elles sont représentées par les schistes argileux intercalés de grès quartzeux puissants de 300 à 400 m Les sédiments permotriassiques :

Ce sont le plus souvent des grès à micro –poudingues conglomérates et argiles d'une puissance de 500 m.

- **Les dépôts méso-cénozoïques**

Ils ont été subdivisés en trois(3) parties :
Le lias de 500 m d'épaisseur est constitué des calcaires, des marnes et des dolomies.

- **L'aptien et l'albien**

Ce sont des dépôts d'une puissance de 500 à 700 m, ils sont représentés par les grès quartzitiques, des argiles et les marnes, ils affleurent au sud de Boudouaou et aux limites de la Dorsale Kabyle.

- **Le flysch paléogène**

Ils sont largement développés dans la chaîne calcaire et dans la région des bordures des saillies du socle métamorphiques, leur puissance est de 1500 à 2000 m dans la bande de la Dorsale Kabyle et de quelques centaines de mètres dans la limite des Massifs.

- **Le burdigalien**

Il est constituée par des conglomérates, de marnes, des argiles, de grès de teinte rouge, d'une puissance de 400 à 500 m, il repose en discordance angulaire sur les schistes métamorphiques antécambriens et les roches du paléogène.

- **L'Helvétien**

Il affleure dans la partie Nord et Ouest de région, constitue une assise volcan-sédimentaire d'environ 300 m d'épaisseur, au-dessus se trouve des marnes bleues de 150 m de puissance.

- **Les marnes et argiles du plaisancien et de l'Astien**

La puissance de ces formations est de 250 à 300 m, constitués par des sables marins éoliens, alluviaux et poudingues de villafranchien. Ces formations constituent les terrasses du quaternaire inférieure, moyen et supérieure, d'une puissance totale de 200 m. Elles sont développées dans les parties basses du relief du littoral Méditerranéen. Au Nord, les marnes Miocène sont transgressives sur ces formations.

Les dépôts actuels des plages qui jalonnent le bord de la Mer forment des bandes larges de 200 m à 300 m. Les galets, les sables et les argiles alluvionnaires que l'on rencontre ont une puissance de l'ordre de 10 m. (ANRH. 2001).

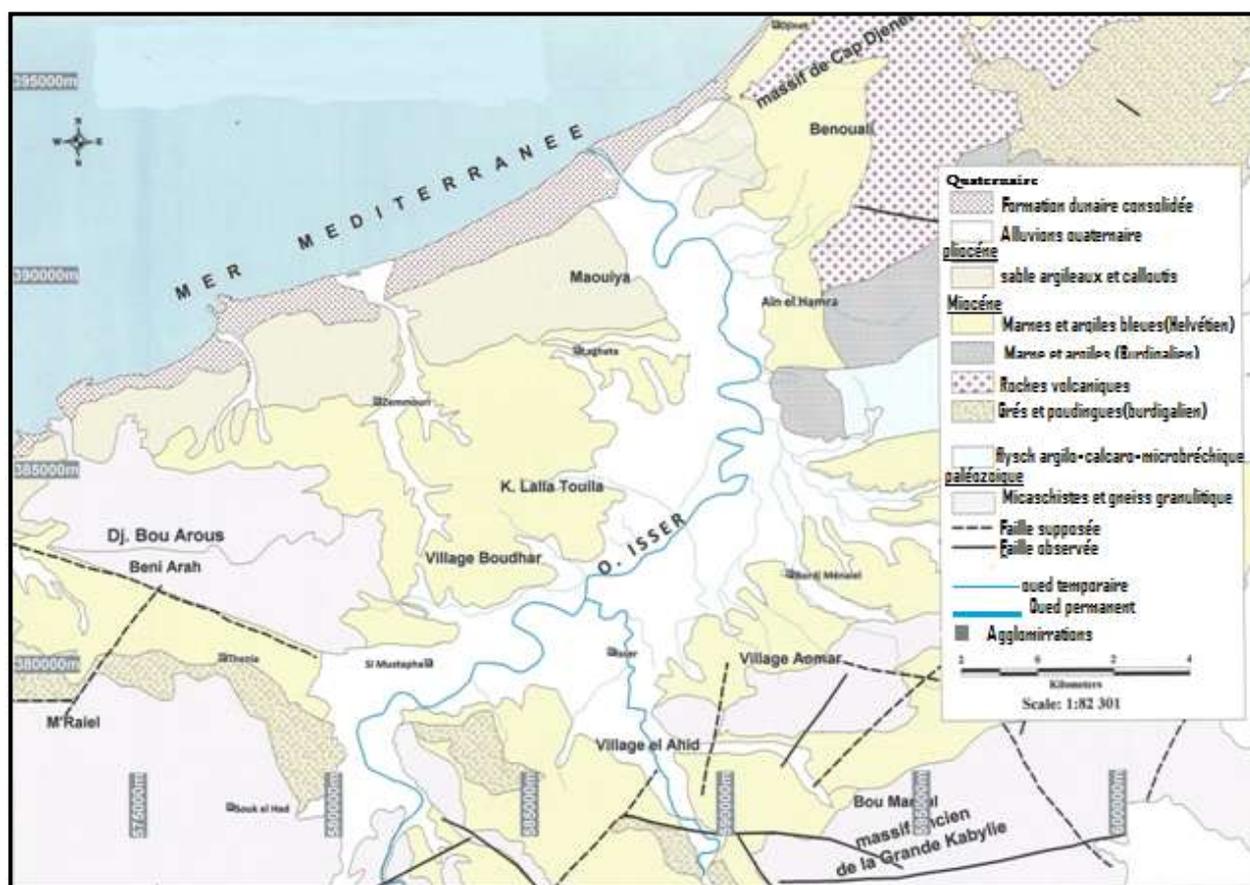


Fig. 10 : Carte géologique du sous bassin versant du Bas Isser.

I.7.2. Lithologie

Le Bas Isser est constitué de 43 % par des formations marneuses des grès et des conglomérats, appartenant à l'oligocène marin. Le miocène inférieur marin dont les formations sont des grès et des marnes constituant 15 % du Bas Isser. Les schistes cristallins et micacés sont respectivement des schistes à chlorite et à séricine et quartz à biotite, formant 20 % de la superficie totale.

Le crétacé inférieur occupe 2 % du bassin, ces formations sont représentées par des schistes argileux, des marnes grises et des grès. Les alluvions de quaternaire continentales occupent 18 % du Bas Isser. On trouve aussi des granites qui forment 2 % de la superficie totale. (ANRH, 2004).

Ere	système	Sous étages	Lithostratigraphie	Lithologie	Caractéristiques Hydrogéologiques
quaternaire	quaternaire	quaternaire (qm, q)		plages actuelles dunes anciennes terrasses marines et alluviales	très perméable
Cénozoïque	pliocène	plaisancien (Pb)		marnes bleues, grises et dures	impermeable
			Miocène	Helvétien	
		bans de grès, de conglomérats et de marnes à intercalations de lave andésito-basaltique			très peu perméable
		marnes gréseuses avec passage de grès calcaire			impermeable
		conglomérats et marnes à intercalations de lave andésito-basaltiques			perméable
	Euridigalien		grès calcaireux marnes à interis de gypse poulingues et grès	impermeable perméable	
		argiles et marnes grises bleuâtre à intercalations de grès calcaire			
mésozoïque	crétacé sup	turono-sénien (e1-5)		alternance d'argiles et calcaires bréchiques	impermeable
Protérozoïque	Précambrien	assise supérieure (X3)		schistes satinés avec des lentilles de marbre dolomitisé	impermeable
		assise inférieure (X2)		schistes à deux micas avec des lentilles de marbe et de gneiss oeilé	perméabilité de fissures

Fig 11 : Coupes lithologique du sous bassin versant du Bas Isser (ANRH 2004)

I.7.4. Tectonique

La vallée de Bas Isser a une tectonique complexe due à sa disposition structurale. Elle est constituée d'un empilement de nappes imbriquées, mises en place à la suite d'une intense fracturation et de glissement du Sud vers le Nord, suivie par une compression. Le socle cristallophyllien de Bou-Arous, montre un anticlinal de direction axiale Est-Ouest, les flancs à fort pendage sont affectés par des failles longitudinales et de micro plissement. Les terrains Autochtones ont subi une déformation caractérisée essentiellement par, des synclinaux sub-latitudinaux et des failles normales. Le paléogène est constitué d'une ride d'anticlinaux en genoux. La chaîne calcaire écaillée, présente en général des plis étroits renversés par fois même couchés, souvent dans la partie Nord.

Les formations néogènes de la dépression de Thénia, sont affectées par des plis larges et droits.

Deux réseaux principaux d'accidents tectoniques ont été observés dans le Bas Isser :

- Un réseau de direction Nord-Ouest, représenté essentiellement par des cassures d'âge post-plaisancien ;
- Un réseau de direction générale Nord-est/Sud-ouest, qui est lié à la phase distensive du Miocène.(Ider.2006).

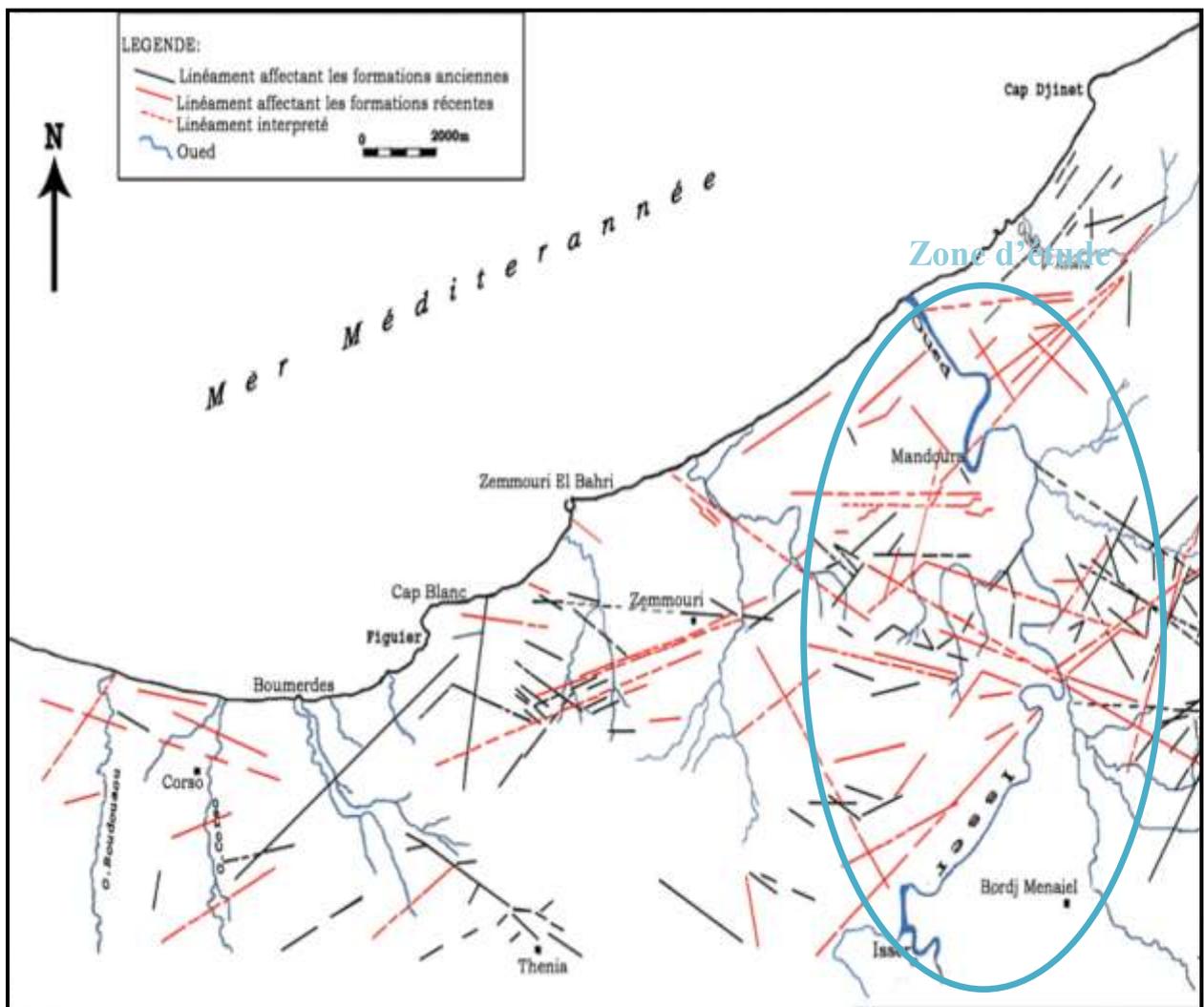


Fig. 12 : carte Tectonique de la vallée du Bas-Isser, selon la carte géologique

I.8. Contexte hydrogéologique

Le but de cette partie a pour objet, est l'étude du rôle des matériaux constituant le sol et le sous-sol et des structures géologiques dans l'origine, la distribution et le mode de gisement, les modalités de l'écoulement et les propriétés physico-chimiques de l'eau. Elle se préoccupe également de l'exploitation (géologie appliquée) et de la conservation des ressources en eaux souterraines (gestion de la ressource).

L'hydrogéologie a pour finalité la planification de l'exploitation de la ressource en eau. Sa base essentielle est l'identification des aquifères ou nappes d'eau souterraine. Celle-ci exige l'acquisition, au meilleur coût, de données numériques précises et nombreuses sur les caractéristiques des aquifères.

I.8.1. Etude des formations quaternaires

Le Quaternaire est constitué essentiellement par des graviers, galets, sables et argiles, du fait de son épaisseur assez importante du réservoir utile, ces formations constituent le milieu le plus favorable pour l'accumulation des eaux souterraines. Elle est représentée par :

I.8.1.1. Terrasses marines

Elles comprennent les plages actuelles affleurant aux plateaux de Beni kous, rive gauche de l'Oued Isser et Cap Djenat, et les dunes anciennes développées parallèlement au littoral.

I.8.1.2. Terrasses alluviales

Se sont les terrains les plus abondants dans la vallée du Bas-Isser (environ 100km²). Elles sont en nombre de sept (07), elles sont étagées et partiellement emboîtée, dont l'intérêt hydrogéologique de chaque une est représentée ci-dessus :

.1^{ère} Terrasse

C'est la terrasse la plus ancienne de l'Oued Isser, elle se rencontre à Kalaa, elle est formée de grès, galets, schistes et quartzites emballée dans une gangue argileuse.

.2^{ème} Terrasse

Elle affleure au Sud de Beni Kous, Sidi Bennor et Lala Touili, se sont des lambeaux isolés de poudingue à galets et schistes, grès calcaires et quartzites emballée dans une gangue sableuse d'épaisseur 5 à 10 m.

.3^{ème} Terrasse

Elle apparait au Nord de Berafai et s'étend du Nord de Legata jusqu'au plateau de Beni Kous, elle est formée par des marnes bleues de substratum, des argiles brunes jaunâtres, des limons aux argiles sableux, des gravies et galets peu consolidés, l'épaisseur moyenne de la terrasse est de 35 m.

.4^{ème} Terrasse

Elle affleure entre les Isser, Bordj Menaël, Legata et Beni Ksir, elle repose sur le plaisancin et montre une lithologie variée de conglomérats et de quartzites, cette disposition explique la présence de sources le long de ce contact, son épaisseur varie de 30 à 40 m.

.5^{ème} Terrasse

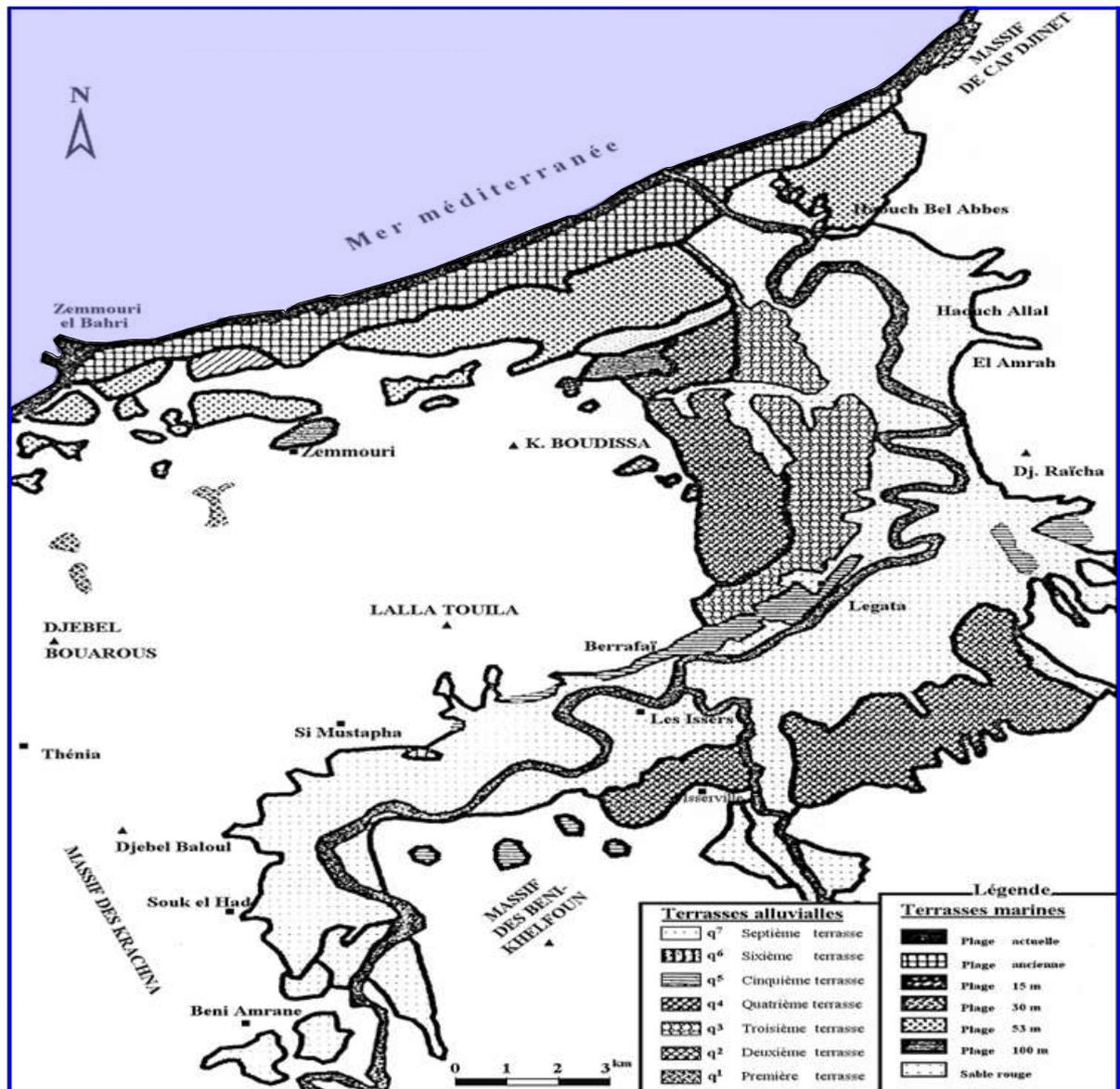
Elle affleure au Nord de Bordj Menaël de Si Mustapha jusqu'à Berafai sous forme de lambeaux de conglomérats à grès calcaire et quartzites plaquée contre le substratum, son épaisseur varie de 20 à 30 m.

6^{ème} Terrasse

Elle affleure au niveau de la gare de Sidi Mustapha, sous forme de lambeaux conglomératiques dont les éléments sont de même nature que ceux de la 5^{ème} terrasse.

7^{ème} Terrasse

C'est la plus récente, elle occupe tout le fond de la basse vallée de l'Oued Isser. Elle affleure depuis Beni Amrane jusqu'à l'embouchure de l'Oued Isser sur une longueur de 20 à 25 km et une largeur de 1 à 4 km, cette dernière atteint sa valeur maximale entre les Isser et Bordj Ménaïel. Elle est constituée par des galets, graviers et des sables reposant sur les marnes plaisanciennes, et surmontée par des argiles. Son épaisseur moyenne est de 25 m (Rezki. 2004)



(Source : Mémoire de Boulmataf 2012)

Fig. 13 : carte de L'emplacement des terrains quaternaires dans la plaine du Bas Isser

I.8.2. Géométrie de l'aquifère

Dans le Bas Isser le comportement hydrogéologique est très différencié selon la litho-structure encaissante, les formations aquifères sont localisées dans les terrains quaternaires de la vallée de l'Oued Isser. Le fond et les bordures de la vallée sont constitués par des terrains anti-quaternaires (schiste, poudingue, grès, conglomérat, roche éruptives).

Les formations susceptibles d'être aquifère sont en nombre de quatre :

- **La nappe de la formation éolienne actuelle**

Elle affleure tout le long du littoral, son épaisseur varie entre 3 et 5 m, le niveau statique est de l'ordre de 0.5 à 1 m. L'écoulement générale des eaux souterraines s'effectue vers la mer, et les trassmissivités sont de l'ordre de $5.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

- **La nappe de la terrasse littorale du quaternaire inférieur**

Elle est constituée par des sables graveleux et des graviers, son épaisseur varie de 10 à 15 m.

- **La nappe de la formation du quaternaire moyen**

Cette nappe est formée par des galets à remplissage sableux et graveleux ; avec une alternance par endroit de passage argileux. La nappe est libre sur toute son extension, son épaisseur varie entre 10 et 15 m.

- **La nappe aquifère du quaternaire récent et actuel et des alluvions du quaternaire inférieur**

Elle constitue le réservoir le plus important du système aquifère du Bas Isser. Deux nappes ont été individualisées :

.1^{ère} nappe

Elle est répandue sur tout le Bas Isser. Elle coïncide avec les formations alluviales (lit majeur de l'Oued Isser) et avec les formations alluviales du quaternaire récent (7^{ème} terrasse). L'épaisseur de la nappe aquifère varie de 10 à 20 m.

Les alluvions formant la 7^{ème} terrasse, forment une bande large le long du lit majeur actuel, de 1.5 Km à 2.5Km dans la région de Bordj Ménaiel. La surface couverte par ces dernières constitue 44 Km². La composition granulométrique des roches aquifères va des galets à remplissage sableux, graviers et sables jusqu'aux limons sableux et limons de graviers.

.2^{ème} nappe

Les terrains d'alluvions sont rattachées, occupent la partie la plus basse de l'Isser, et se suivent en bande interrompue (de largeur 500 à 2000 m), de Souk el Had jusqu'au pont routier à l'embouchure de l'Isser. A Bordj Ménaiel, elle atteint une largeur de 2300m.

Les alluvions sont assez homogènes, ils sont présentées par des galets, des gravies, et de remplissage sableux (plus au moins argileux), l'épaisseur de l'aquifère varie de 9 a 15 m de

la région de Souk el Had jusqu'au confluent l'Oued Isser et de Oued Djemaa, de ces deux Oueds jusqu'au pont routier à l'embouchure (Chemllal.1983)

Pour mieux décrire la lithologie des diverses formations, et en comptant sur l'étude faite par Chemlal (1983), nous présenterons les différents coupes géo-électriques qui ont été obtenues à partir des sondages électriques perpendiculaires à la terrasse alluviale supérieure et littorale.

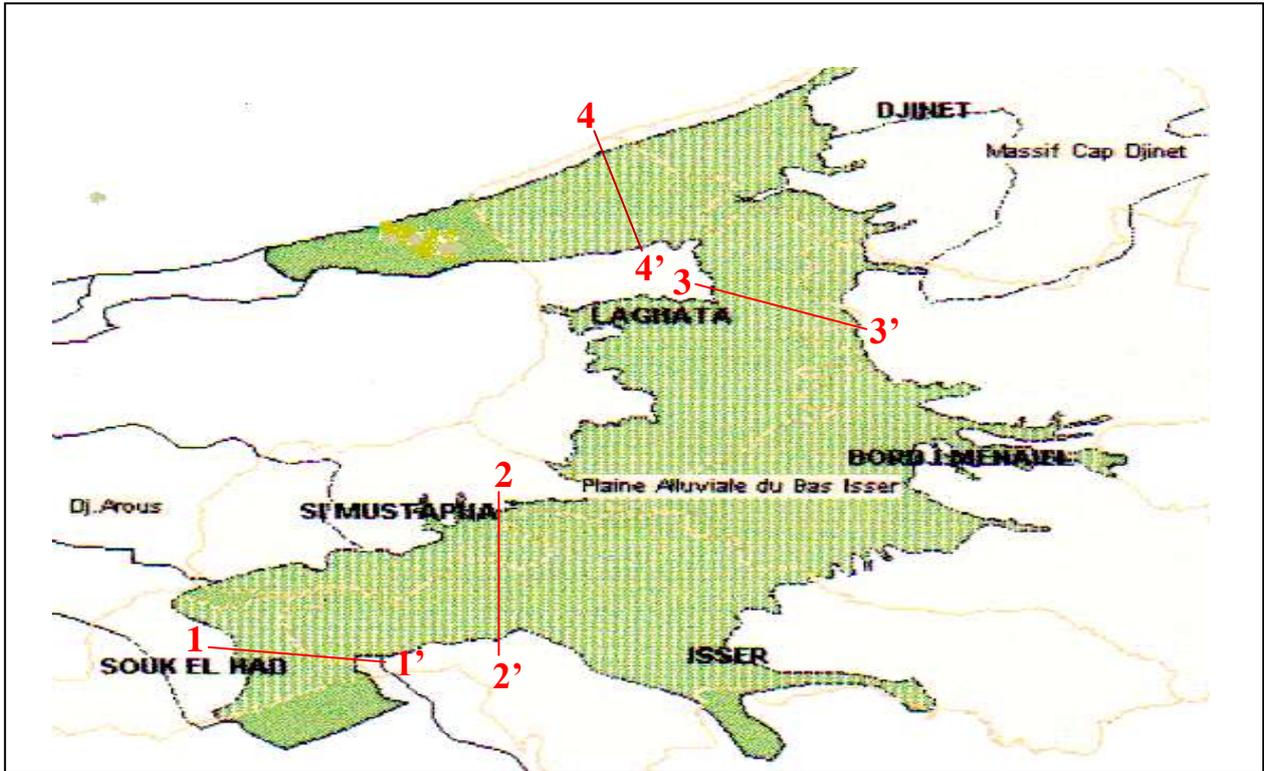


Fig. 14 : Situation des Coupes hydrogéologiques.

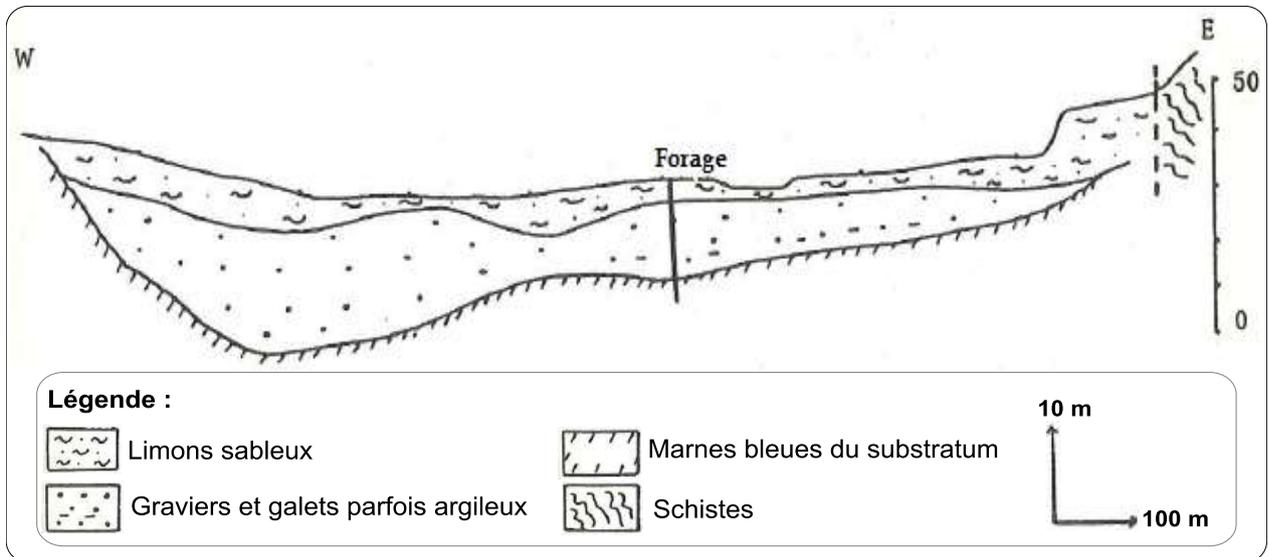


Fig.15 : Coupe hydrogéologique 1-1'

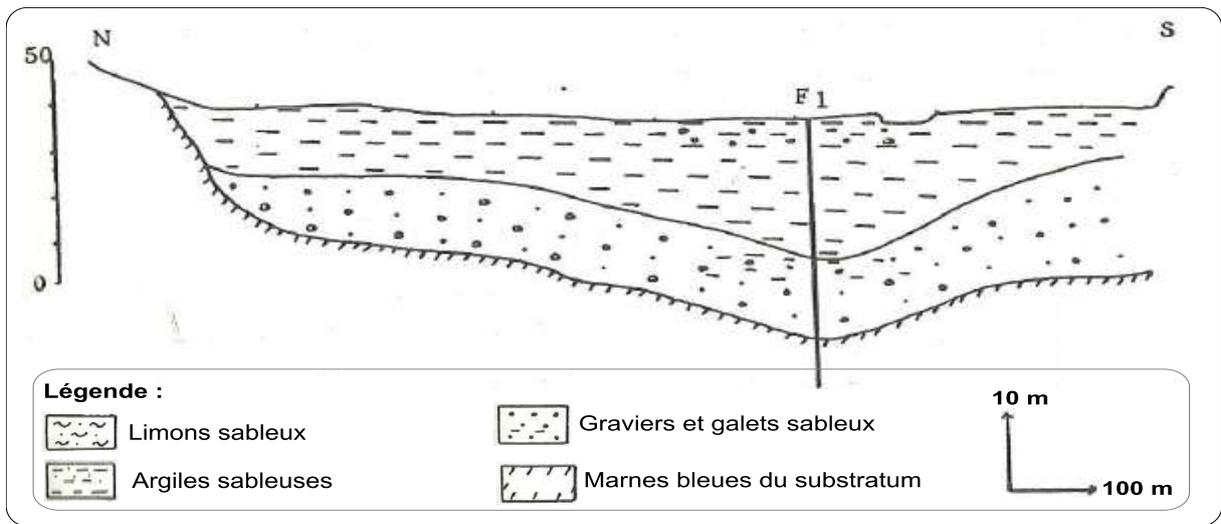


Fig.16 : Coupe hydrogéologique 2-2'

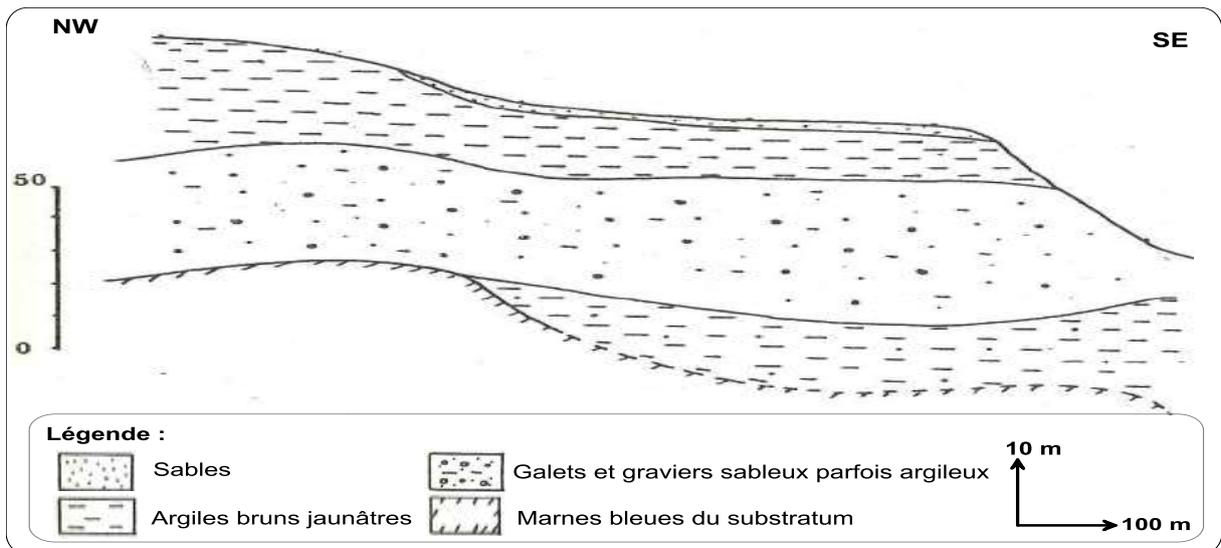


Fig.17 : Coupe hydrogéologique 3-3'

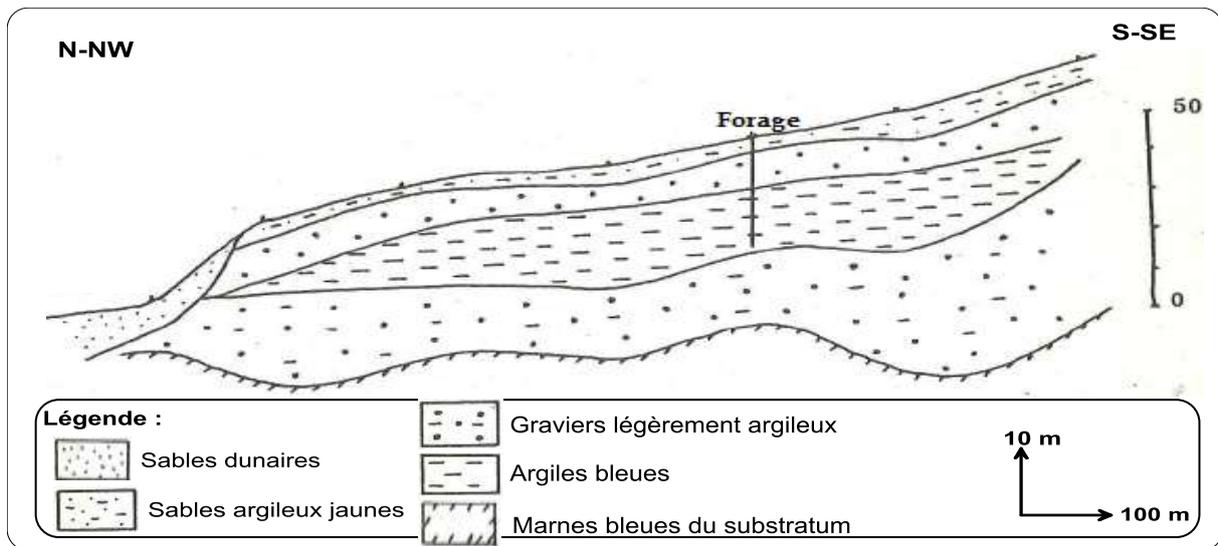


Fig. 18 : Coupe hydrogéologique 4-4'

I.11. Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère

L'estimation du coefficient d'emmagasinement et de la transmissivité est très importante pour l'estimation du bilan hydrogéologique et les réserves en eau souterraine des nappes aquifère

Les valeurs de ces paramètres ont été tirés à partir les annuaires de l'ANRH de Blida.

I.11.1. Coefficient d'emmagasinement

Il exprime le volume d'eau libre par un prisme verticale du terrain aquifère pour une variation unitaire de la charge hydraulique, il varie entre 0.1 % et 24 %, pour l'ensemble des aquifères de la zone d'étude.

I.11.2. Transmissivité

Elle est le produit de la perméabilité par l'épaisseur du niveau aquifère variant entre $3.4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et $9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, pour l'ensemble des aquifères de la zone d'étude.

I.11.3. Perméabilité

Elle est très faible à l'amont jusqu'au centre de la vallée. Elle est très élevée au centre de la vallée jusqu'à la partie avale de la vallée.

Conclusion

En conclusion, l'ensemble des résultats d'étude hydroclimatologique du bassin versant du Bas Isser montrent que bassin est caractérisée par :

- un climat méditerranéen de type sub-humide avec deux saisons, une saison humide allant d'Octobre en Avril, caractérisée par des précipitations irrégulières, et une saison sèche qui s'étale de mai de Mai en Septembre.
- Un bassin versant allongé, un couvert végétal peu développé et un réseau hydrographique dense en amont.
- l'étude géologique a mis en évidence une structure complexe, constitué par un empilement de nappe imbriquées.
- l'étude des formations quaternaires a mis en évidence sept terrasses alluviales, disposées en gradins étagés, partiellement emboîtées, dont certaines terrasses sont susceptibles d'être aquifères, sont celles qui sont formées par des galets, graviers et sables peu ou pas argileux.

Chapitre II

Matériels et Méthodes

Introduction

La qualité d'une eau souterraine est définie par certains nombres de paramètres physiques, chimiques, bactériologiques, virus, radioactifs...leur évolution au cours du temps nécessite des mesures et d'analyses. Elle nécessite la détermination de l'aptitude d'une eau en fonction de sa qualité à satisfaire plus ou moins certains usages (Aptitude à l'AEP, à l'irrigation, ou à l'industrie).

Les matériels et méthodes d'analyse utilisées sont présentés dans le présent chapitre

II. 1 Méthodes d'échantillonnage et d'analyse

II.1.1. Méthode d'échantillonnage et de conservation

Deux campagnes d'échantillonnage ont été effectuées, la première campagne a eu lieu au mois de Mai, c'est la campagne des hautes eaux, et la deuxième campagne a eu lieu au mois d'Octobre, c'est la campagne des basses eaux.

Des mesures in situ complétées par des prélèvements d'eau ont été effectués au niveau des 22 points d'eaux analysés au laboratoire de l'ANRH de Blida. Les échantillons ont été prélevés dans des bouteilles en polyéthylène de 1.5 L, rincés une fois par l'eau distillée ensuite deux fois avec l'eau à analyser, puis fermés hermétiquement pour ne pas laisser les bulles d'air entrer. Les bouteilles sont conservées dans une glacière (à 4°C) jusqu'au moment de l'analyse. Les analyses sont faites dès que possible, au maximum 72 heures après la prise d'échantillons.

Pour les cations, l'échantillon est filtré sur un filtre de 0.45 µm (il est possible d'utiliser le système de filtration des analyses bactériologique), puis acidifié avec du HCl ou NH₃ jusqu'à obtenir un pH < 2.

Pour les anions, il n'y a pas de problème de conservation majeur. Les échantillons ainsi préparés peuvent se conservés 6 mois.

II.1.2. Présentation des méthodes d'analyses

II.1.2.1. Analyse in situ

La température, le pH, la conductivité électrique et l'oxygène dissous, ont été mesurés immédiatement après le prélèvement de l'échantillon à l'aide d'une valise multi-paramètre de terrain de marque Multi340i (WTW). En effet, ces paramètres sont très sensibles aux conditions de milieu et sont susceptibles de changer dans des proportions importantes s'ils ne sont pas mesurés sur site.

II.1.2.1.1.La température

Il est important de connaître la température de l'eau souterraine avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels sa mesure est faite a l'aide d'un pH-mètre avec un thermomètre intégré.

II.1.2.1.2.Potentiel d'Hydrogène (pH)

C'est un paramètre physique qui détermine l'acidité ou l'alcalinité. Le pH correspond, pour une solution diluée, à la concentration d'ions hydrogène. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau. Le pH est mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH-mètre.

II.1.2.1.3.conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sel dissous dans l'eau. Il traduit la minéralisation de l'eau, et par conséquent, renseigne sur sa salinité et permet d'apprécier sa qualité. La Conductivité électrique est mesurée à l'aide d'un conductivimètre (Gouaidia .2008)

II.1.2.2.Mesure au laboratoire

En dehors du choix des paramètres à doser qui dépend des objectifs de l'analyse, ce sont les méthodes analytiques et les manipulations de laboratoire qui limitent la précision analytique. L'interprétation des résultats analytiques, doit tenir compte des limites de la mesure effectuée dans les différentes étapes (échantillonnage, conservation et analyse).

Le laboratoire de la chimie des eaux de d'Agence Nationale des Ressources Hydraulique (ANRH) de Blida, possède des équipements et des techniques d'analyse d'eau moderne. Les teneurs en chlorures ont été déterminées par la méthode de titration (méthode de Mohr). Le sodium, le potassium, le magnésium , le calcium,les sulfates et les bicarbonates ont été analysés à l'aide d'un Specto photomètre a flamme (SKALAR) et Les nitrates ont été dosés par auto-analyseur (SKALAR).

II.1.3. Contrôle des résultats d'analyse

Lorsque l'analyse des ions majeurs est faite, il est important de valider les résultats en effectuant une vérification simple par la balance ionique.

La balance ionique s'appuie sur le principe que la somme des anions majeurs et la somme des cations majeur sont équivalentes (concentrations exprimées en méq/l)

L'erreur en % est donnée par: $((\Sigma_{\text{cations}} - \Sigma_{\text{anions}}) / (\Sigma_{\text{cations}} + \Sigma_{\text{anions}})) \times 100$.

On admet généralement une erreur dans la fourchette de $\pm 5\%$ comme acceptable.

Une erreur sur la balance ionique peut provenir d'une erreur analytique (résultats des analyses non valides) ou d'une minéralisation particulière (ions présents dans l'eau qui n'ont pas été analysés). (Chendri et Cherfi.2007)

II.1.4. Normes de la qualité

II.4.1. Norme de l'alimentation en eau potable

Une eau est dite potable lorsque l'humain peut la consommer, c'est-à-dire lorsqu'elle ne contient aucune substance nuisible à sa santé, et dont les teneurs dissoutes sont supérieures aux normes admises.

Pour apprécier la qualité d'une eau, il convient donc de déterminer ses caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques, et de les comparer aux normes de potabilité. (Collin.2004)

Le tableau suivant représente les concentrations de certains paramètres à ne pas dépasser, selon la norme Algérienne de 2011 et celle de l'OMS 2006.

Tableau 10 : Normes de qualité des eaux destinées à l'alimentation en eau potable.

Paramètres	Unité	Valeurs maximales	
		Norme Algérienne (2011)	OMS (2006)
Température	°C	≤ 25	≤ 25
pH	-	6,5-9	6,5-8,5
Conductivités Electrique (CE)	µs/cm à 25C°	2800	1500
Résidu sec	mg/l	1500	1000
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	mg/l	400	200
Chlorures (Cl ⁻)	mg/l	500	250
Nitrates (NO ₃ ⁻)	mg/l	50	50
Potassium (K ⁺)	mg/l	12	12
Sodium (Na ⁺)	mg/l	200	200
Calcium (Ca ²⁺)	mg/l	200	200
Magnésium (Mg ²⁺)	mg/l	200	150

(Source : journal officielle 2011)

II.1.4.2. Eau destinée à l'irrigation

Les eaux destinées à l'irrigation doivent répondre à certains critères de qualité pour minimiser les risques de salinisation des sols.

Le tableau ci-dessous présente les normes des eaux d'irrigation Algérienne et celle de l'OMS.

Tableau 11 : Normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation.

Paramètres	Unité	Valeurs maximales	
		Norme Algérienne (2011)	Norme OMS (2006)
PH		6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
Conductivité électrique	µs/cm à 25 C°	≤ 3000	< 2250
Nitrates (NO ₃ ⁻)	mg/l	30	30
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	mg/l	300	250
Chlorures (Cl ⁻)	mg/l	350	350
Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	mg/l	500	400
SAR		< 3	< 3
Fer	mg/l	5	20
Manganèse	mg/l	0.2	10

(Source : journal officielle 20011)

II.1.4.3. Classification des eaux d'irrigation sur la base du SAR

La qualité des eaux destinées à l'irrigation est conditionnée principalement par la classification de deux critères : la salinité totale, et le risque d'alcalinisation des sols ou S.A.R (Sodium Absorption Ratio).

Pour déterminer l'aptitude des eaux à l'irrigation on doit calculer le SAR, qui exprime le pourcentage de sodium absorbé :

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

Avec :

Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ sont exprimés en méq/l.

- S1 : SAR < 10 : eau faiblement sodique avec peu de danger d'alcalinisation des sols ;
- S2 : 10 < SAR < 18 : eau moyennement sodique provoque un danger probable ;
- S3 : 18 < SAR < 26 : eau fortement sodique, provoque un danger d'alcalinisation, il faut un drainage ou lessivage ;
- S4 : SAR > 26 : eau très fortement sodique, présente un danger très fort, ne peut servir à l'irrigation. (Landreau et Monition .1977)

II.1.4.4. Classification des eaux d'irrigation sur la base du SAR ajusté

L'effet sur le SAR est évalué à partir d'une nouvelle formule du SAR ajusté, mise au point récemment par le U.S salinity laboratory ainsi qu'il suit :

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^{2+}}{\sqrt{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}} [1 + 8.4 \cdot \text{pH}_C]$$

Avec :

$$\text{pH}_C = \text{p}(\text{K}'_2 - \text{K}'_C) + \text{p}(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}) + \text{p AL}_K$$

Si le SAR ajusté est

- < 6 il ya pas de problème de salinité
- 6 à 9 il ya problème de salinité
- > 9 il ya problème sérieux. (LANDREAU et MONITION)

II.1.4.5. Classification des eaux d'irrigation sur la base du SSP (Pourcentage en Sodium)

Le Na% est donnée par la formule suivante :

$$\text{Na \%} = \frac{\text{Na} + \text{k}}{\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K}} \times 100$$

Si

- 0 > Na % < 20 Eau d'une qualité excellente
- 20 > Na % < 40 Eau d'une bonne qualité
- 40 > Na % < 60 Eau d'une qualité Permissible
- 60 > Na % < 80 Eau d'une Mauvaise qualité
- Na % \square 80 Eau d'une qualité insouhaitable

II.1.4.6. Classification des eaux d'irrigation par la méthode de Richards

Les classes des eaux d'irrigation selon le diagramme de Richards, sont divisées de C1S1, C1S2...C4S4), sont déterminées en fonction du SAR (en ordonnées pour la lettre S) et à la conductivité électrique (en abscisses pour la lettre C). Ainsi la classe C1S1 (coin bas à gauche) est considérée comme excellente car elle correspond à des valeurs minimales du SAR et de la conductivité ; en revanche, la classe C4S4 (coin haut à droite) est mauvaise, car les valeurs du SAR et de la conductivité sont à leur maximum.

Trois classes apparaissent – admissible, médiocre et mauvaise – chacune présentant ses propres caractéristiques.

- Admissible (C_1S_1 - C_2S_1 - C_3S_1 , C_1S_2 - C_2S_2 - C_3S_2) : En général, il s'agit d'une eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes au sel, sur des sols bien drainés. Cependant, l'évolution de la salinité doit être contrôlée.
- Médiocre (C_4S_1 - C_4S_2) : L'eau est fortement minéralisée et est susceptible de convenir à l'irrigation de certaines espèces (concombre...) bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.
- Mauvaise (C_4S_3 – C_4S_4) : Cette eau ne convient généralement pas à l'irrigation, mais peut être utilisée sous certaines conditions : sols très perméables, bon lessivage, plantes très tolérantes au sel (choux, betterave...). (Chendri et Cherfi, 2007)

II.2. Méthodes de caractérisation physico-chimique

La caractérisation des eaux souterraines concerne essentiellement l'analyse des paramètres de bases (pH, température et conductivité électrique), les éléments majeurs et d'éventuels éléments traces.

II.2.1.Éléments majeurs

La minéralisation de la plupart des eaux est dominée par huit ions appelés couramment les ions majeurs. On distingue les cations : Calcium, Magnésium, Sodium et Potassium, et les anions : Chlorure, Sulfate, Nitrate et Bicarbonate.

II.2.1.1.Les cations

II.2.1.1.1.Calcium et Magnésium (Ca^{2+} et Mg^{2+})

Le Calcium Ca^{2+} et le Magnésium Mg^{2+} sont présents dans les roches cristallines et les roches sédimentaires. Ils sont très solubles et sont donc largement représentés dans la plupart des eaux souterraines.

L'altération des roches cristallines libère du Calcium et du Magnésium, mais en quantité moindre que certaines roches sédimentaires Carbonatées, dont les principales sont : la Calcite ($CaCO_3$), la Dolomie ($CaMgCO_3$), la Magnésie ($MgCO_3$), le Gypse ($CaSO_4$), l'Apatite ($Ca_5(PO_4)_3$) ou la Fluorine (CaF). Notons également les grès et roches détritiques à ciment carbonaté. L'ion Calcium est sensible au phénomène d'échange de base.

II.2.1.1.2.Sodium et Potassium (Na²⁺ et K⁺)

Le cation Sodium (Na²⁺) est très abondant sur la terre. On le retrouve dans les roches cristallines et les roches sédimentaires (sables, argiles, évaporites) et dans la roche d'Halite (évaporite Na Cl) est le sel de cuisine. Il est très soluble dans l'eau. Le Sodium est par contre généralement peu présent dans les roches carbonatées. Notons que les argiles peuvent être saturées en ion Na²⁺, par le processus d'échange de bases

Le Potassium (K⁺) est assez abondants sur terre, mais peut être fréquent dans les eaux. En effet, il est facilement adsorbé et recombinaison dans les sols (sur les argiles notamment). Les sources principales de Potassium sont les roches cristallines (mais dans des minéraux moins altérables que ceux qui contiennent du sodium), les évaporites (sylvinite Kcl) et les argiles.

II.2.1.2. Les anions

II.2.1.2.1.Sulfates (SO₄²⁻)

Les origines des Sulfates dans les eaux sont variées. Les origines naturelles sont l'eau de pluie (évaporation d'eau de mer: 1 < c < 20 mg/l), et la mise en solution de roches sédimentaires évaporitiques, notamment le Gypse (CaSO₄), mais également de la Pyrite (FeS) et plus rarement de roches magmatiques (galène, blende), et d'utilisation d'engrais chimique et de lessive. Les sulfates (SO₄²⁻) résultent également de l'activité de certaines bactéries (chlorothiobactéries, rhodothiobactéries, etc.). Cette activité peut oxyder l'hydrogène sulfuré (H₂S) toxique en sulfate.

II.2.1.2.2.Chlorure (Cl⁻)

L'ion Chlorures possède des caractéristiques différentes que celle des différents éléments, il n'est pas absorbé par les formations géologiques, ne se combine pas facilement avec les éléments chimiques et reste très mobile.

La source principale de Chlorure dans les eaux est due à la dissolution de roches sédimentaires qui se sont déposées en milieu marin et qui n'ont pas été complètement lessivées, et à la présence d'évaporites. L'invasion d'eau de mer (où le Cl⁻ est très présent). Le rôle des roches cristallines dans la minéralisation en Chlorures est faible.

II.2.1.2.3.Bicarbonates (HCO₃⁻)

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées qui bordent la nappe, selon la réaction suivante :



II.2.1.2.4.Nitrates (NO₃⁻)

Les Nitrates proviennent généralement de l'utilisation des engrais, l'industrie chimique, l'industrie alimentaire, ils sont un excellent indicateur des apports excessifs en azote par les engrais. (Collin.2004)

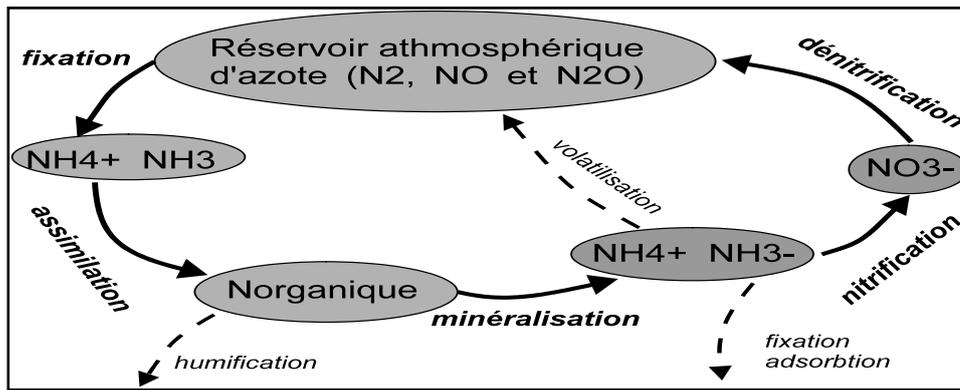


Fig 19. Cycle de l'Azote

II.2.2.Faciès chimique

II.2.2.1.Représentation graphique des analyses chimiques

Les résultats d'analyses physico-chimiques sont présentés sous forme de diagramme qui autorise une interprétation aisée.

- Le diagramme de *Piper* est utilisé pour définir le faciès des eaux. Il permet aussi de présenter sur un même schéma un grand nombre d'analyses qui peuvent être comparées visuellement d'une façon simple.

Le principe de la représentation consiste à porter respectivement les quantités en réaction pourcent (r %) des anions et des cations sur les deux triangles équilatéraux. Dans chaque triangle, on obtient un point triple soulignant la dominance ou (le non dominance) d'un cation ou d'un anion donné. Ces deux points triples nous donnent un point unique dans le losange qui caractérise le faciès chimique de l'échantillon considéré. L'unités de mesure utilisée est le méq/l.

- Le diagramme de *Schöeller-Berkaloff*, à échelle logarithmique permet de distinguer par simple lecture des échelles des concentrations des ions et donc de déduire rapidement les différentes familles des eaux. De plus le résidu sec, TH et le pH peuvent être représentées par contre et contrairement au diagramme de piper une valeur zéro ne peut être représentée. (Gouaidia, 2008)

II.2.3.Rapport ionique

L'examen des rapports caractéristiques permet de comparer les eaux entre elles et d'apporter

d'éventuelles informations, ces rapports sont $\frac{Mg^{++}}{Ca^{++}}$, $\frac{SO_4^{--}}{Cl^-}$ et $\frac{Na^+}{Cl^-}$.

- $\frac{Mg^{++}}{Ca^{++}} = 1$; Cela peut impliquer une circulation des eaux dans les dolomies.
- $\frac{Mg^{++}}{Ca^{++}} < 1$; Ce qui indique la prédominance de l'ion calcium ; traduit que l'eau a obtenue sa minéralisation dans les calcaires ($Ca CO_3$) ou les gypses ($Ca SO_4, 2 H_2O$)
- $\frac{Mg^{++}}{Ca^{++}} > 1$; La teneur élevée en ion Mg^{2+} est l'indice d'une circulation des eaux dans les dolomies calcaires ; ou contamination par l'eau de mer.
- $\frac{SO_4^{--}}{Cl^-} > 1$; Ce rapport indique un séjour prolongé des eaux au contact des marnes
- $\frac{SO_4^{--}}{Cl^-} < 1$; C'est le Cl^- qui l'emporte sur le SO_4^{2-} , ce qui indique le lessivage des engrais chimiques ($Na Cl, K Cl$) ou une pollution d'origine humaine ou animale.
- $\frac{Na^+}{Cl^-} = 1$; Ce qui pourrait indiquer la mise en solution des sels tels que $Na Cl$.

II.2.3.1.1 Rapports caractéristiques

Les principale rapport étudié est : l'indice d'échange de base (i.e.b.), le

II.2.3.1.1. L'indice d'échange de base au sein des aquifères (i.e.b.)

L'indice d'échange (i.e.b.) exprime les échanges cationiques qui peuvent avoir lieu dans un aquifère. En effet, la surface de la fraction fine de la matrice d'une nappe peut absorber des Cations qui peuvent être substitués à d'autres en solution dans l'eau souterraine. Les Cations mis en jeu sont : le Calcium, le Magnésium, le Sodium et le Potassium. Le sens des échanges cationique tend à établir l'équilibre entre l'eau et la fraction fine.

L'indice d'échange de base est donné par la formule:

$$i.e.b = \frac{[Cl^- - (Na^+ + K^+)]}{Cl^-}$$

Selon le signe de l' i.e.b., on peut distinguer d'après Schoeller (1969) si :

- ✓ i.e.b. < 0 : le calcium de l'eau, est échangé contre le sodium (ou le potassium) du terrain.
- ✓ i.e.b.>0 : il y a fixation du sodium (ou de potassium) et solubilisation du calcium.
- ✓ i.e.b = 0 : Il n'y a pas d'échange ionique entre la roche et l'eau (équilibre).

Conclusion

L'appréciation de la qualité des eaux souterraines se base sur la mesure de paramètres physico-chimiques et le suivi de l'évolution de ces derniers dans le temps et dans l'espace afin d'aborder les mécanismes de l'acquisition de la minéralisation des eaux souterraines.

Chapitre III

Résultats et discussions

Introduction

L'objectif de ce chapitre est d'étudier la piézométrie, qui constitue la synthèse la plus importante de l'hydrogéologie, dont il est nécessaire de déterminer la morphologie de la surface piézométrique, afin de caractériser l'écoulement souterrain (sens de l'écoulement, gradient hydraulique,...). Ce chapitre traite encore le chimisme des eaux souterraines, et nous permettra d'expliquer le comportement, l'origine et l'évolution de certains éléments chimiques ainsi que de connaître le fonctionnement hydraulique dans la nappe alluviale du Bas Isser.

III.1. Description du réseau de la surveillance

La plaine alluviale du Bas Isser constitue la principale ressource d'approvisionnement en eau potable de plusieurs communes (Bordj Menaiel, Souk el Had, Si Mustapha, les Issers....etc) ainsi que l'irrigation des grandes parcelles agricoles dans la région.

La nappe a fait l'objet d'un suivi piézométrique en 1973 par le service hydrogéologique de l'ANRH et en 1980 par la DHW d'Alger. Ensuite, le suivi de cette nappe a été interrompu, jusqu'à l'année 2001, où un inventaire de 98 point d'eau a été recensé, il est composé de 51 puits, 44 forages et 3 sources.

Certain points d'eau ont été abandonnés à cause du colmatage et la salinité, le réseau de surveillance a été remplacé par 20 nouveau piézomètres réalisés en 2005, afin de contrôler les fluctuations de la nappe alluviale et de contrôler une éventuelle intrusion marine dans l'aquifère du Bas Isser.

Ce réseau est caractérisé par :

- Une répartition spatiale des piézomètres moyennement bonne sur toute l'étendue de la plaine ;
- L'accessibilité et la possibilité d'effectuer des mesures piézométriques et des prélèvements d'eau en période des basses eaux et hautes eaux ;

L'importance du suivi de l'évolution piézométrique d'une nappe dans le temps et dans l'espace réside sur la connaissance de la direction générale de l'écoulement, les zones de recharge et de dépression, et de la détermination du gradient hydraulique (voir une idée sur la pente du profil du niveau statique de la nappe).

Ces paramètres hydrogéologiques nous renseignent sur le temps de séjour des eaux, la dilution des eaux souterraines, l'infiltration dans la couche aquifère et par conséquent nous informe sur le degré des échanges géochimiques entre l'eau et la roche.

III.2. Etude de l'évaluation piézométrique dans la nappe alluviale

III.2.1. Evolution de la piézométrie dans l'espace

Afin de voir l'évolution de la piézométrie dans l'espace des deux périodes (basses eaux et hautes eaux 2014), une comparaison a été affectée sur un graphe (fig. 20), ainsi que par l'établissement de deux cartes (fig. 21 et 22).

Les profondeurs d'eaux mesurées lors des deux campagnes (basses eaux et hautes eaux 2014) sont représentées sous forme de graphe interprétatif. En faisant la comparaison entre les données des deux périodes, on remarque que les profondeurs d'eau en période des hautes eaux sont généralement supérieures à celles de la période des basses eaux, cela est due à l'effet de la recharge par les précipitations, alors au niveau des points d'eau P1, P3, P4, P5, p12, P14, P15 et P16 les profondeurs d'eau en période des basses eaux sont généralement inférieures à celles de la

période des hautes eaux, cela est due probablement des mesures de niveau statique dans les piézomètres au temps d'exploitation des forages ou puits avoisinants des ces piézomètres.

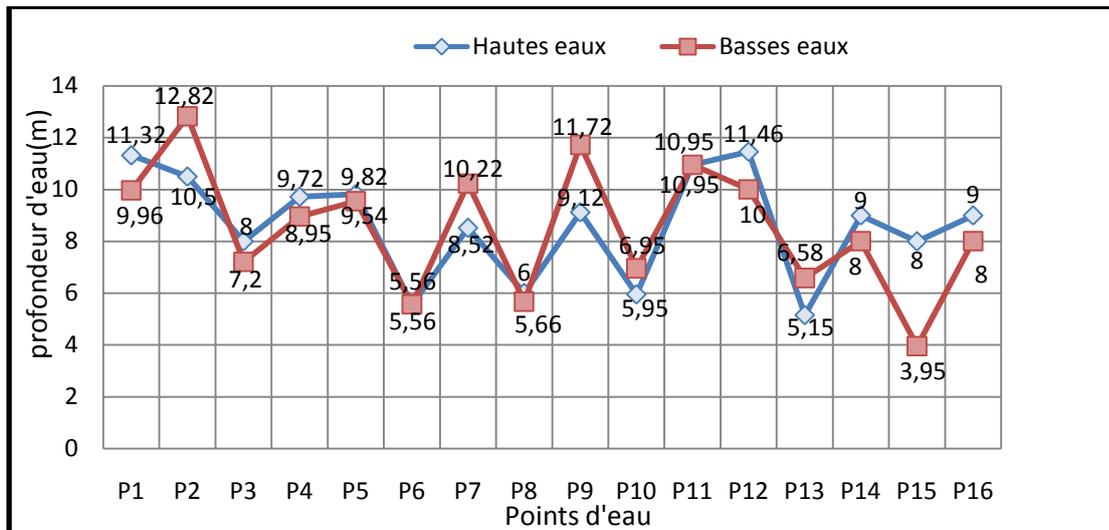


Fig. 20: Variation des profondeurs d'eau dans la plaine alluviale du Bas-Isser (Année 2014)

Deux cartes piézométriques pour l'année 2014 ont été établies (période des hautes eaux et basses eaux).

L'observation de la morphologie de la carte piézométrique de la période des basses eaux nous a permis de constater que l'écoulement souterrain se dirige, en général, des bordures des terrasses supérieures vers le centre de la plaine suivant une direction Sud-Nord. La carte piézométrique montre aussi que l'écoulement souterrain coïncide avec l'axe principal de la vallée, correspond à l'axe de drainage des eaux.

Le gradient hydraulique moyen à l'aval est de 0.05 %, avec des courbes iso-îèzes très espacées, ce qui diminue la vitesse d'écoulement des eaux souterraines vers la mer, tandis qu'au centre de la plaine (près de la ville de Bordj Menaël) le gradient hydraulique est supérieur 0.50 %, où les courbes iso-pièze sont très resserrées.

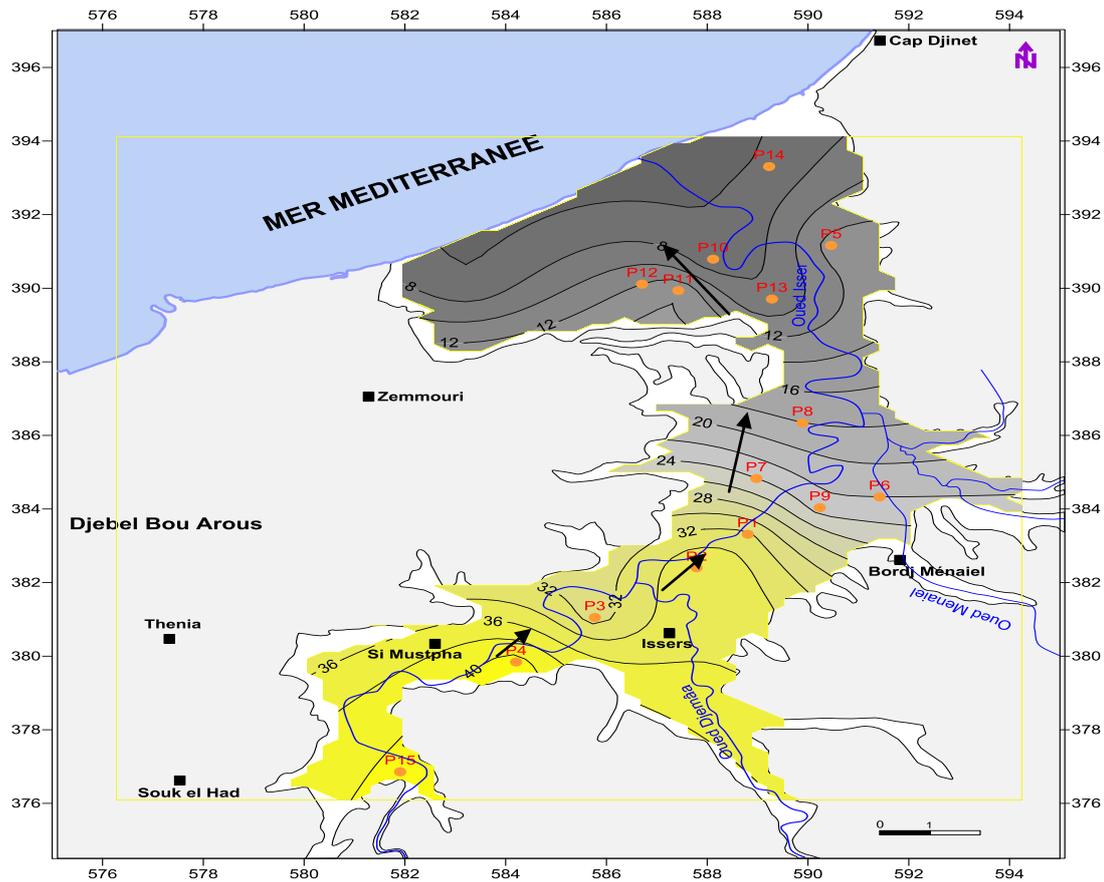


Fig. 21 : Carte piézométrique de la basse vallée de l’Oued Isser (Basses eaux 2014)

La carte piézométrique de la période des hautes eaux est identique à celle des basses eaux, le sens d’écoulement des eaux souterraines reste toujours le même d’une direction Sud – Nord, avec des gradients hydrauliques moyennes de 0.5 % en amont et de 0.05 % en aval. L’écoulement des eaux souterraines est plus rapide au centre de la plaine que aux secteurs amont et aval, cela est due probablement aux caractéristiques hydrogéologiques de l’aquifère (l’épaisseur de l’aquifère, la pente du substratum et la perméabilité de l’aquifère).

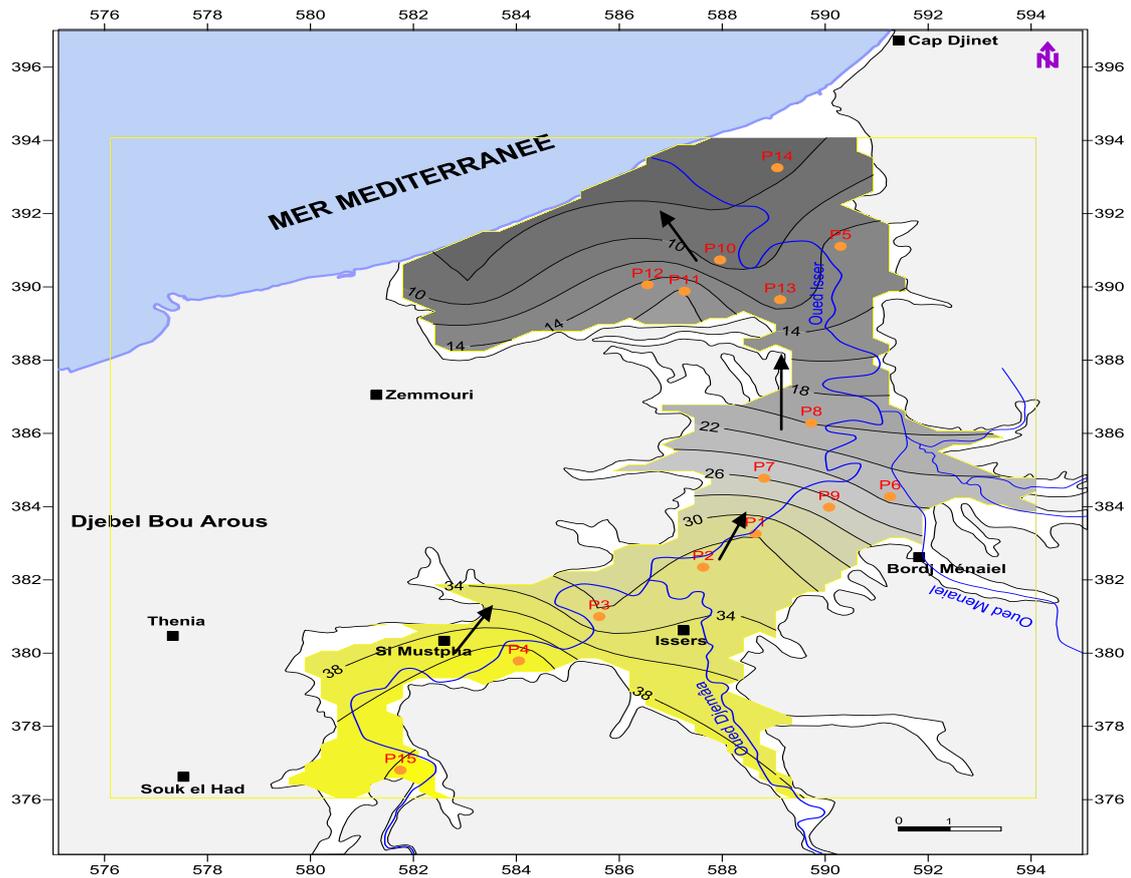
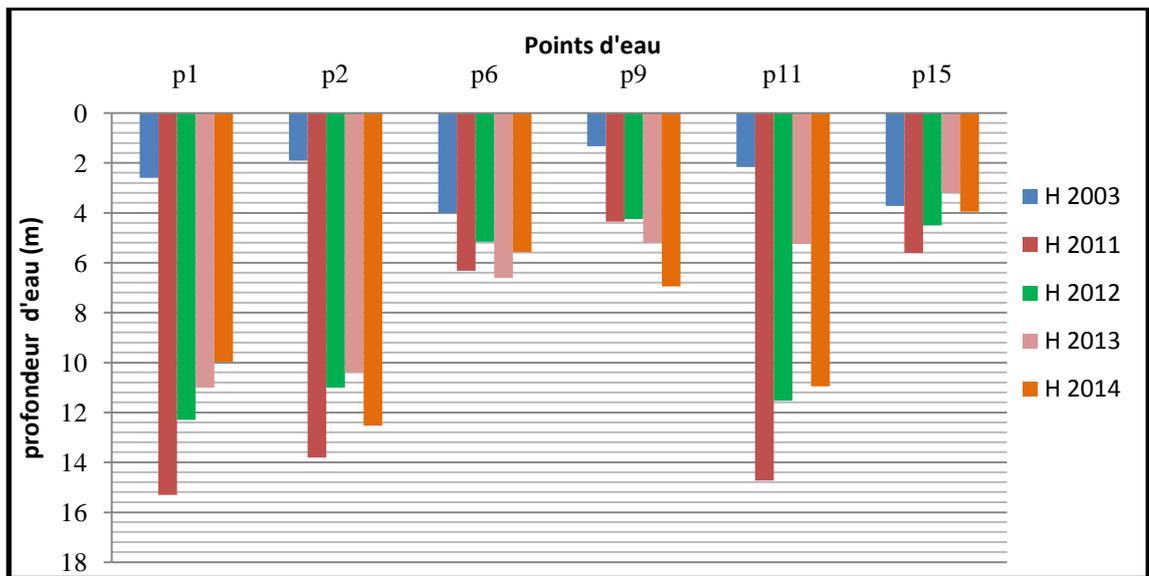


Fig. 22: Carte piézométrique de la basse vallée de l'Oued Isser (hautes eaux 2014)

III.3. Evolution de la piézométrie dans le temps

Pour bien suivre l'évolution de la piézométrie dans le temps, nous avons effectué une étude comparative entre les niveaux statiques mesurés en période des hautes eaux dans les années 2003, 2011, 2012, 2013 et 2014 (les mesures disponibles au niveau de l'ANRH). Les niveaux statiques mesurés sont représentés sous forme d'histogramme interprétatif (Fig. 23).

L'analyse de l'histogramme montre une baisse significative des niveaux statiques de tous les points d'eaux dans ces dernières années comparés à l'année 2003. Cela est dû probablement à l'effet de l'exploitation de cette nappe dans ces dernières années.



* H 2003 : période des hautes eaux de l'année 2003

Fig. 23 : Evolution de la piézométrie dans le temps au niveau de la vallée du Bas-Isser, pour les périodes des hautes eaux.

III.4. Alimentation et drainage de la nappe

Au niveau des terrasses littorales anciennes; la nappe aquifère est libre et l'alimentation se fait d'une part, directement par l'infiltration des eaux de pluie, et d'autre part, par l'afflux des eaux souterraines provenant des formations de bordure et des alluvions situées à l'amont de ces terrasses littorales.

Quant aux terrasses alluviales, l'alimentation de la nappe aquifère des terrasses supérieures s'effectue pour une part important; par les apports souterrains des formations de bordures et pour une moindre part, par l'infiltration des eaux de pluie en raison de la présence au toit de la nappe aquifère.

L'axe de drainage de la nappe alluviale est orienté de Sud vers le Nord (de Souk El-Had à Bordj –Menaël, ensuite vers l'embouchure de Oued Isser au niveau de la mer méditerranée). L'axe de drainage des eaux souterraines coïncide sensiblement avec le parcours de l'Oued Isser qui draine les eaux de surface.

III.5. Etude Hydrochimique

III.5.1. Description Sommaire des paramètres physico-chimiques

Le chimisme des eaux souterraines dépend, principalement, de la Composition lithologique des couches traversées et du temps de séjour des eaux. Cette interaction influe sur la teneur des éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , et HCO_3^-).

Les concentrations de ces éléments naturels sont conditionnées par divers facteurs tels que les paramètres climatiques, l'activité anthropique, les échanges entre aquifères et les eaux de surface. Suite au nombre d'échantillon limitée dans la période des basses eaux 2014 (8 contre 16), nous avons présenté et traité que les analyses de la période des hautes eaux 2014, les analyses ont été consignés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 15 : Paramètres physico-chimique des eaux souterraines de la nappe alluviale du Bas-Isser (Hautes eaux 2014)

Points	Ca²⁺ (mg/l)	Na⁺ (mg/l)	Mg²⁺ (mg/l)	K⁺ (mg/l)	Cl⁻ (mg/l)	SO₄²⁻ (mg/l)	HCO₃⁻ (mg/l)	NO₃⁻ (mg/l)	CE (μ S/cm)	pH	R.S (mg/l)
P1	226	55	63	2	153	239	534	23	1 913	7,1	1 164
P2	177	83	60	2	120	106	647	0	1 647	7,5	975
P3	104	24	25	2	46	41	354	0	882	7,2	520
P4	106	73	61	9	128	79	442	0	1 519	7,6	1 000
P5	155	67	36	2	177	167	244	20	1 544	7,7	1 000
P6	61	92	30	3	265	30	153	0	1 236	7,8	743
P7	82	111	37	3	283	39	214	0	1 641	7,3	1 023
P8	31	92	15	2	105	27	244	0	800	8,2	538
P9	135	74	66	2	132	186	381	22	1 870	8,1	1 433
P10	38	92	49	5	357	0	61	0	1 200	7,2	676
P11	30	87	3	3	106	64	107	6	700	7,1	427
P12	32	88	5	3	104	72	122	5	843	7,8	570
P13	31	101	47	5	361	0	46	0	1 100	7,2	745
P14	96	51	45	2	110	70	320	0	1 128	7,8	784
P15	39	92	17	2	103	36	275	0	871	8,3	522
Max.	226	111	66	9	361	239	647	23	1 913	8,3	1 433
Min.	30	24	3	2	46	0	46	0	700	7,1	427
Moy.	94,06	77,47	36,94	3,41	173,94	82,06	284,53	5,82	1 265	7,61	822
OMS 2006	200	200	150	12	250	200		50	1500	6,5-9	1000
Norme Algérien	200	200	200	12	500	400		50	2800	6,5-9	1500

Tableau : Paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la nappe alluviale du Bas-Isser (Basses eaux 2014)

Points	Ca ²⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	CE	pH	R.S
	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(μS/cm)		(mg/l)
P8	63	100	25	2	182	63	25	3	1 270	8,2	421
P9	84	85	51	3	232	84	51	3	1 200	8,1	1 923
P10	84	83	38	3	150	84	38	1	1 127	7,2	335
P11	80	55	45	4	158	143	214	21	1 200	7,1	806
P12	81	50	44	3	140	82	36	1	1 100	7,8	514
P13	36	191	20	4	249	14	351	1	1 240	7,2	906
P14	33	190	18	4	200	10	119	8	1 140	7,8	716
P15	119	410	27	9	653	74	549	2	2 700	8,3	1 855
Max	119	410	51	9	653	143	549	21	2 700	8,3	1923
Min	33	50	18	2	140	10	25	1	1 100	7,1	335
Moy	73,2	162,4	33,7	4,3	275,7	70,7	195,7	6,2	1 478	7,71	973,4
OMS 2006	200	200	150	12	250	200	-	50	1 500	6,5-9	1 000
Norme Algérien	200	200	200	12	500	400	-	50	2 800	6,5-9	1 500

L'étude de la fiabilité des données a consisté d'une part à une vérification du bilan ionique. Cette vérification a été précédée d'une analyse des ions majeurs intervenant dans l'évaluation du bilan ionique. Sachant qu'une analyse chimique des eaux n'est considérée comme représentative que lorsque la balance ionique est inférieure ou égale à 10 %, les balances ioniques ont été systématiquement vérifiées pour l'ensemble des échantillons analysés, où des valeurs d'environ 10 % ont été remarqué dans l'ensemble des analyses.

III.5.2. Paramètres physiques des eaux souterraines

III.5.2.1. Potentiel d'hydrogène pH

Les mesures du pH montrent que tous les points d'eau se trouvent dans l'intervalle de norme de potabilité. Pendant la période des basses eaux le pH varie entre 7.1 (P11) et 8.3 (P15), alors qu'en période des hautes eaux les valeurs varient de 7.6 (P10) à 8.3 (P15), ce qui est conforme aux normes.

Cela indique que les eaux souterraines de la nappe alluviale sont moyennement basiques.

III.5.2.2. Résidu sec

Le résidu sec correspond à la minéralisation totale d'une eau et représente la totalité des sels dissous, ainsi que la matière organique. Le résidu sec des eaux souterraines du Bas Isser varie de 427mg/l (P11) à 1433mg/l (P9) en période des basses eaux, et de 335mg/l (P11) à 1923 mg/l (P15) en période des hautes eaux.

III.5.2.3. Conductivité électrique

Les analyses des échantillons prélevés montrent que les valeurs de conductivité électrique des eaux souterraines de la plaine alluviale du Bas Isser, ne dépassent pas les normes algériennes (2800 μ s/cm), les valeurs de la conductivité électrique varient de 700 μ s/cm (P11) à 1913 μ s/cm (P1) en période des hautes eaux, et de 1100 μ s/cm (P12) à 2700 μ s/cm (P15) en période des basses eaux. Les plus fortes conductivités sont observées principalement au centre et à l'aval de la vallée en période des hautes eaux, et en amont de la vallée en période des basses eaux.

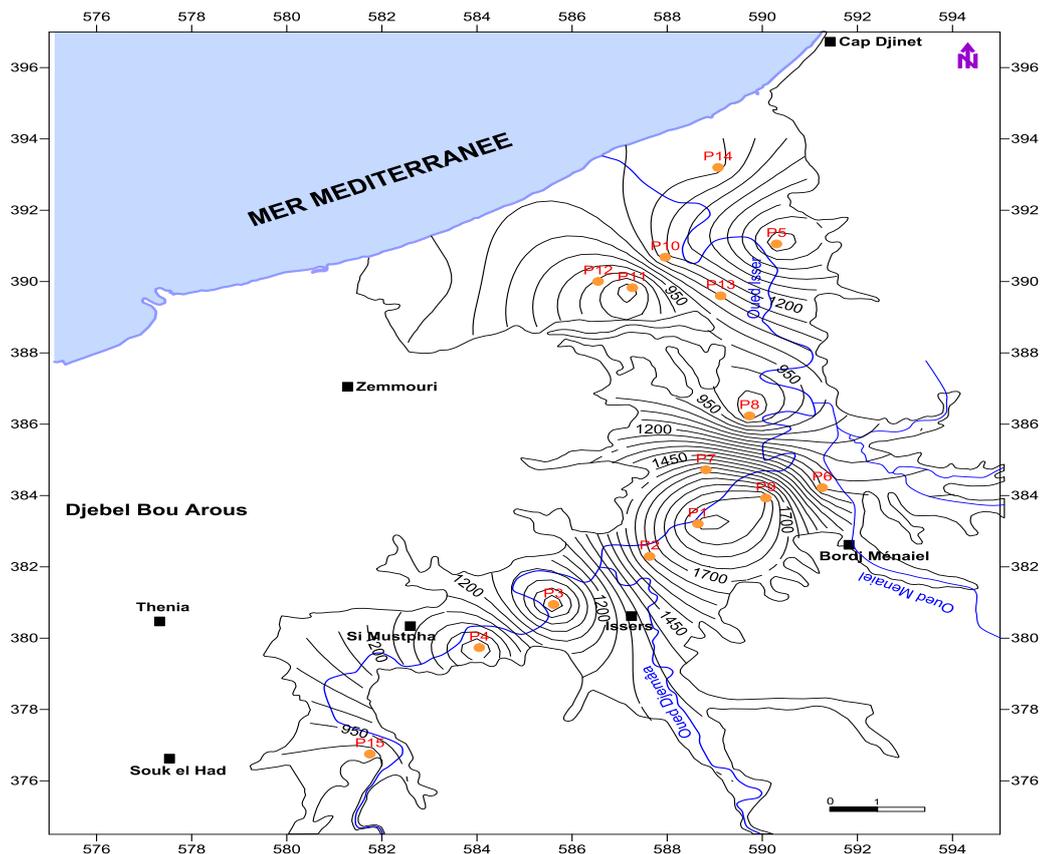


Fig. 24: Carte de la répartition de la conductivité électrique (période des hautes eaux 2014)

La carte indique une augmentation de la conductivité des bordures de la nappe alluviale vers l'axe de drainage et vers les dépressions mises en évidence par la carte piézométrique. Ceci est traduit d'une part par l'évaporation des eaux peu profondes de la nappe en bordure de la vallée et par conséquent l'augmentation de concentration en sels dissous dans le sens de l'écoulement. D'autre part par le temps de contact et de séjour avec l'aquifère.

III.5.3. Paramètres chimiques des eaux souterraines

III.5.3.1. Calcium

Les valeurs du Ca^{2+} oscillent entre 33 mg/l (P14) et 119mg/l (P15) pendant la période des basses eaux, et de 30mg/l (P11) à 226mg/l (P1) pendant la période des hautes eaux, c'est presque la totalité des eaux analysées présentent des teneurs en ions Ca^{2+} inférieure à 200 mg/l (teneur maximale admissible) à l'exception de (P1) qui se situe à Bordj Menaiel avec une valeurs de 226mg/l. c'est probablement le résultat de la dissolution des carbonates de calcium contenue dans les calcaires et dans les massifs basaltiques de la région.

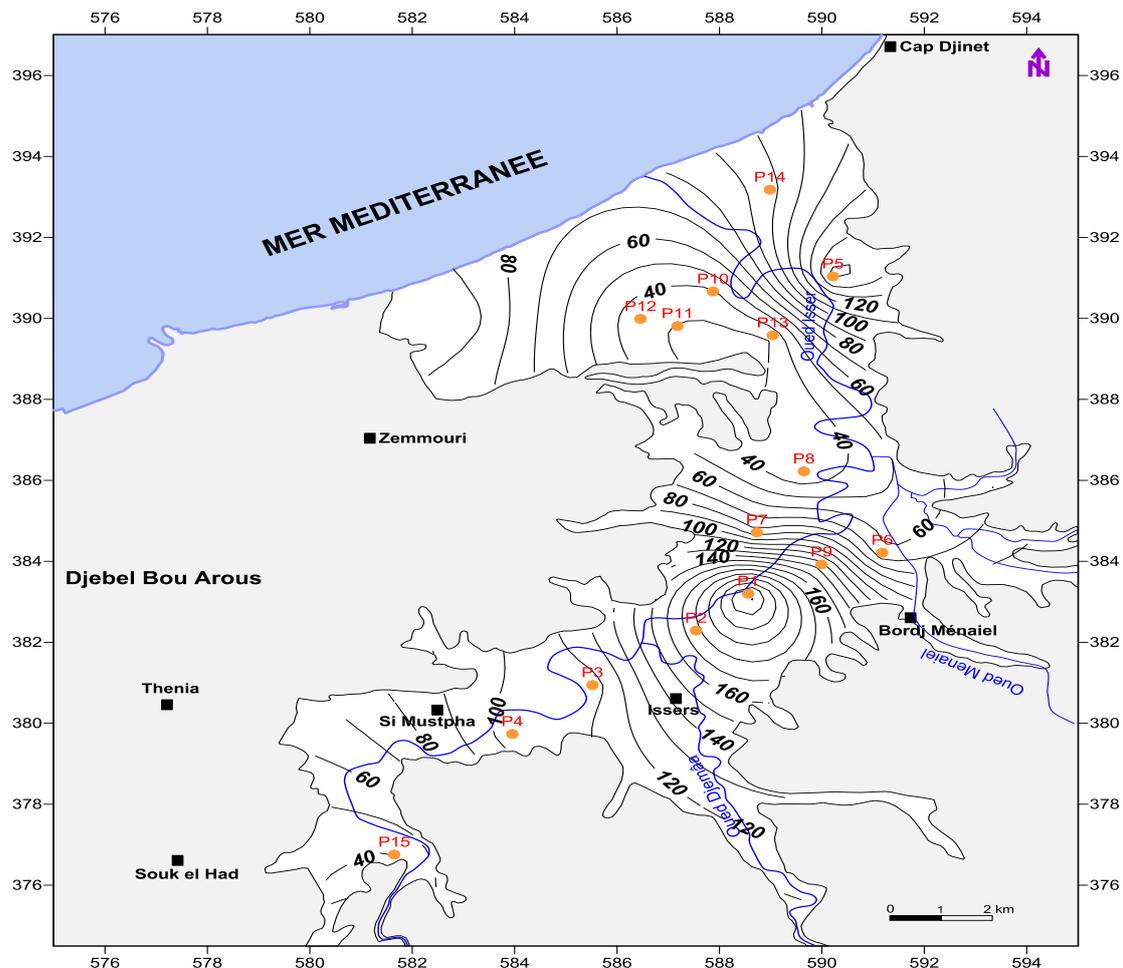


Fig.25 : Carte de la répartition du calcium (hautes eaux 2014)

III.5.3.2. Magnésium

Les ions Mg^{2+} proviennent, de la dissolution des formations carbonatées riche en Magnésium (dolomite), ils proviennent aussi des minéraux ferromagnésiens et les micas contenus dans les roches.

Les concentrations de magnésium varient entre 18mg/l (P14) et 51 mg/l (P9) pendant la période des hautes eaux, et de 3mg/l (P11) à 66 mg/l (P9) durant la période des basses eaux. Les teneurs élevés sont la conséquence de la dissolution des formations aquifère par les eaux souterraines et le temps de séjour de ces dernières dans l'aquifère.

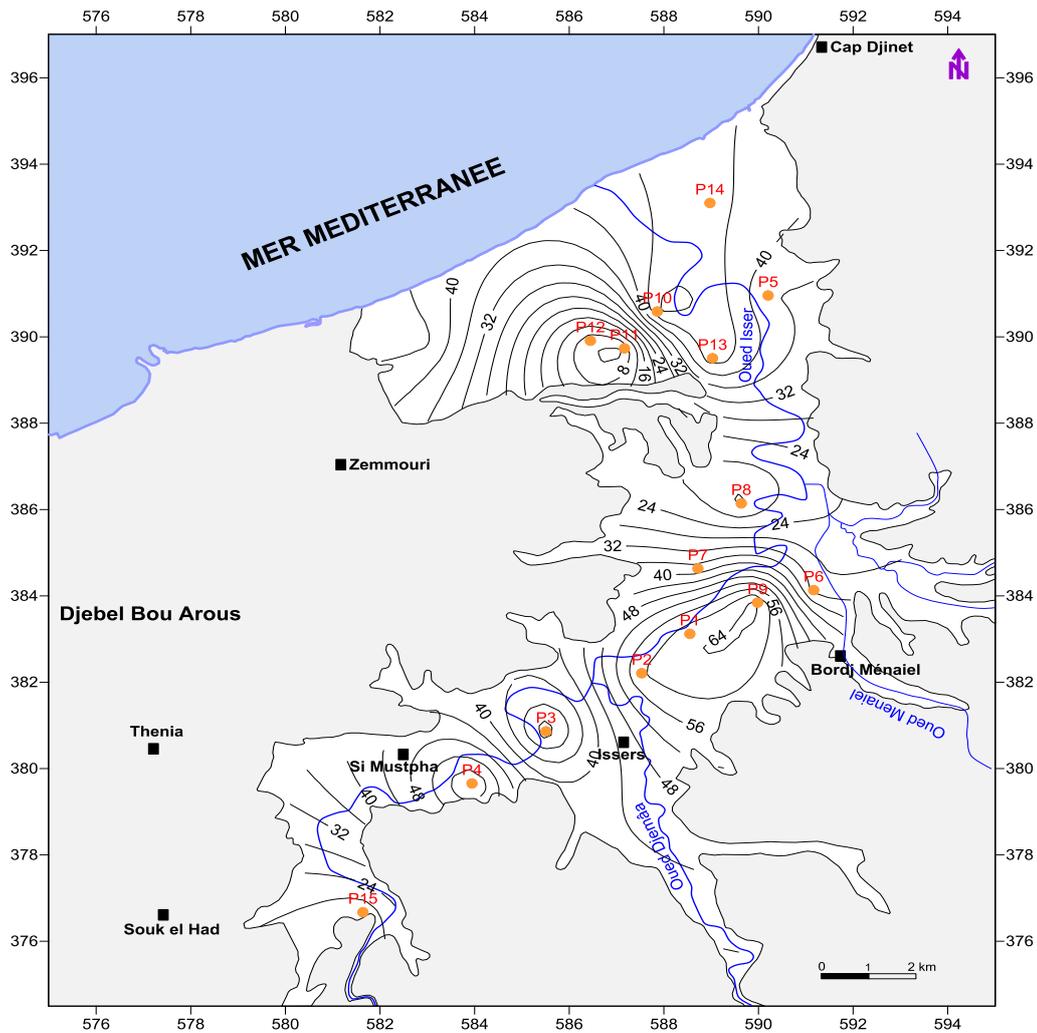


Fig.26 : Carte de la répartition du Magnésium (hautes eaux 2014)

III.5.3.3. Sodium

Le Sodium peut provenir du lessivage des formations géologiques riches en NaCl, ou encore des échanges de base dues au contact de l'eau avec les roches argileuses (les argiles sodiques échangent les ions Na^+ contre des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} de l'eau), de l'évaporation intense en période des basses eaux et le temps de séjour des eaux dans l'encaissant. Les teneurs en Sodium s'échelonnent entre 24mg/l (P3) et 111mg/l (P7) et de 50 mg/l (P12) à 410 mg/l (P15) en périodes des hautes et basses eaux respectivement.

Les teneurs en Na^+ de tous les points d'eau sont dans la norme ($< 200 \text{ mg/l}$) à l'exception d'un point (P 15) situé en amont de la plaine où sa valeur dépasse la norme admissible Algérienne, en périodes des basses eaux.

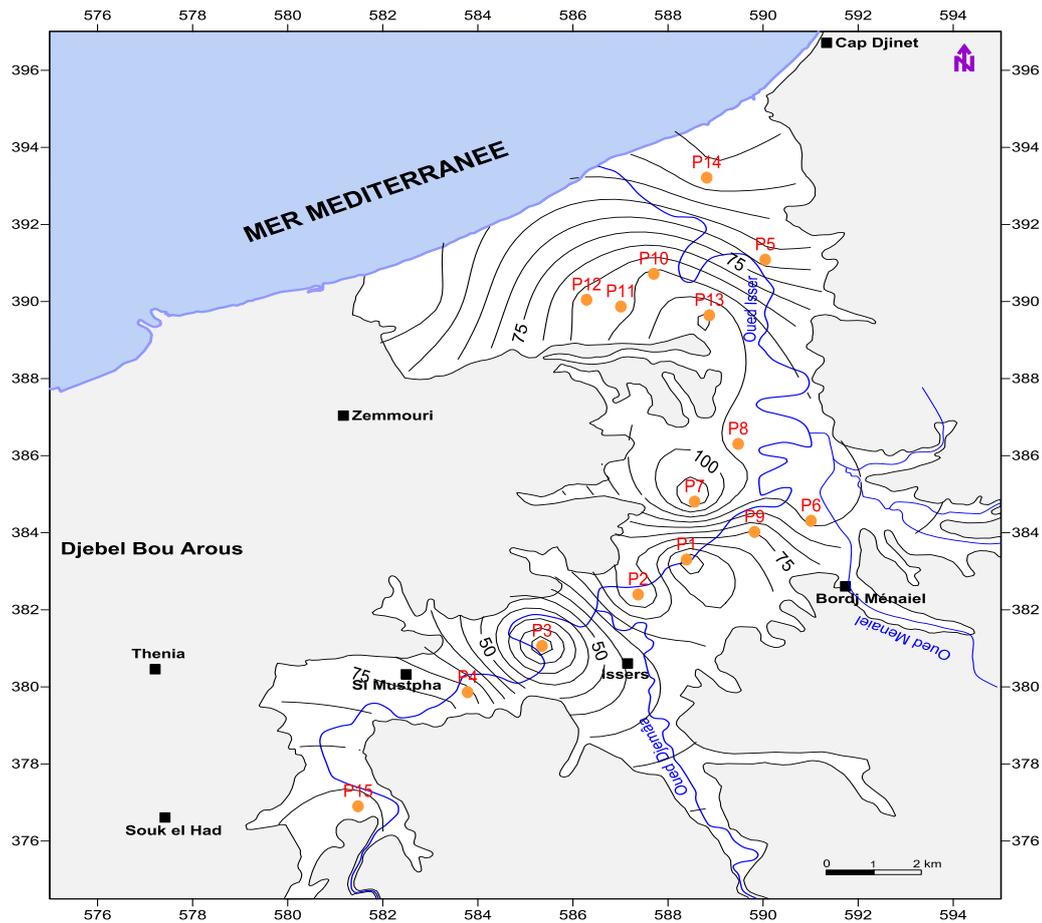


Fig. 27 : Carte de la répartition du Sodium (hautes eaux 2014)

III.5.3.4. Potassium

Le Potassium peut-être plus attaché à certains minéraux argileux que le Sodium.

Les ions potassium, comme le sodium, sont échangés contre Ca^{2+} en solution. Le potassium est cependant plus fortement adsorbé que le sodium de sorte que la majeure partie de la remise en solution du potassium a lieu seulement après le lessivage du sodium. L'infiltration à travers des dépôts argileux peut provoquer un enrichissement en potassium. Le K^+ résulte encore de l'altération des argiles et la dissolution des engrais chimiques (NpK) utilisée massivement pour l'agriculture.

Les analyses des eaux souterraines dans les deux périodes, montrent des teneurs variant entre 2 mg/l et 9 mg/l. Ces valeurs sont conformes aux normes Algériennes et de l'OMS (12 mg/l).

III.5.3.5. Les Chlorures

La teneur des eaux en chlorures est liée à plusieurs facteurs dont les plus importants sont les pluies, l'évaporation et la lithologie. Les chlorures peuvent également avoir une origine marine, raison pour laquelle en plus de la facilité de leur dosage, ils demeurent les meilleurs indicateurs de l'invasion marine dans les continents.

Les teneurs en chlorure enregistrées dans la vallée du Bas-Isser, sont variées entre 46mg/l (P3) et 361mg/l (P13) en période des hautes eaux et de 140 mg/l (P12) et 653 mg/l (P15) en période des basses eaux.

Il est à signaler que l'évolution des teneurs en chlorures se fait suivant le sens d'écoulement des eaux souterraines. Cela s'explique par l'évaporation des eaux peu profondes de la nappe aquifère de la vallée ce qui conduit à un enrichissement progressif des chlorures dans le sens de l'écoulement des eaux souterraines. Nous pouvons aussi expliquer les fortes teneurs dans la zone aval, par le mélange entre les eaux douces et les eaux salées (phénomène de l'intrusion marine).

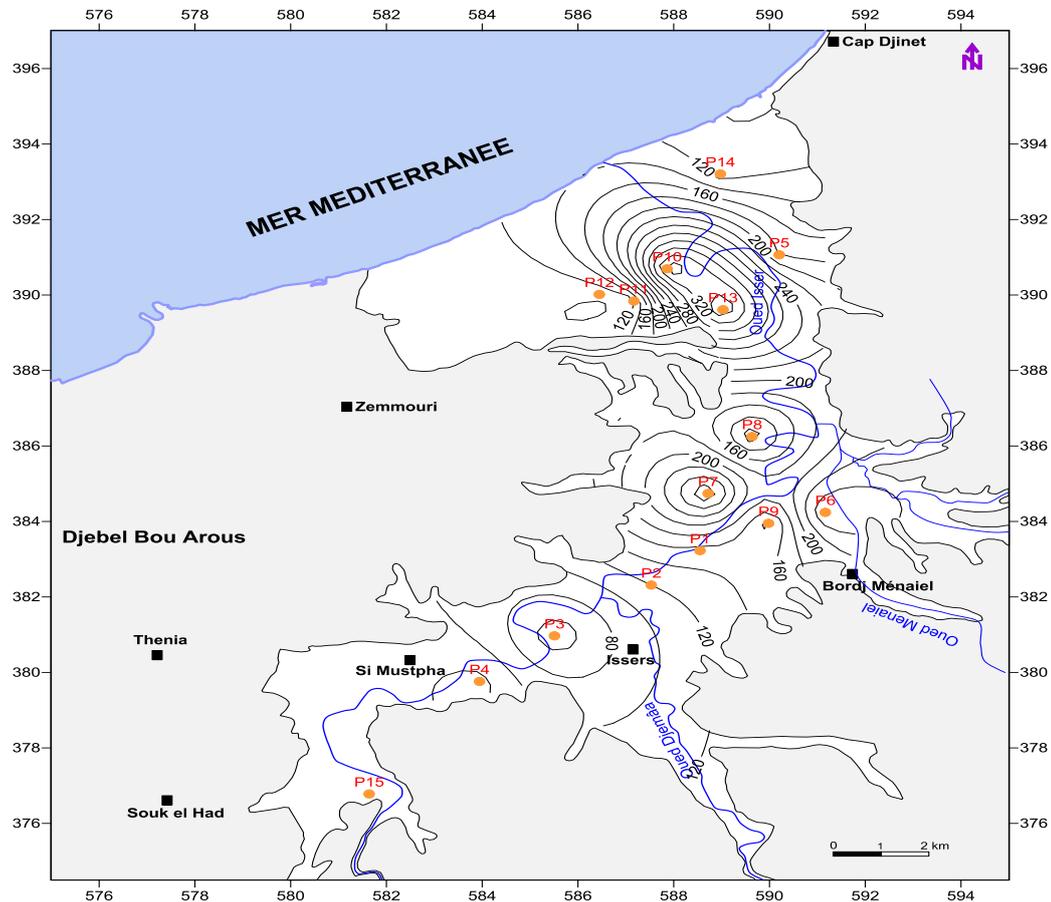


Fig.28 : Carte de la répartition des chlorures (hautes eaux 2014)

III.5.3.6. Les Sulfates

Les fortes concentrations de sulfates s'expliquent par l'utilisation excessive des produits sulfatés en agriculture, par l'oxydation des sulfures que peuvent contenir les roches cristallines de bordure (schistes, tufs, roche volcanique et les granites), ils proviennent aussi de la dissolution des évaporites.

Les valeurs du sulfate varient entre 0 mg/l (P15) et 239mg/l (P1) en période des hautes eaux et de 10 mg/l (P14) et 143mg/l (P11) en période des basses eaux. C'est seulement le point P1 situé entre Bordj Menaïel et les Isser qui montre une teneur dépassant la norme algérienne, cela est expliqué par l'effet de lessivage des engrais utilisés pour le traitement des vignes par les eaux d'irrigation et de pluie, cela a permis l'enrichissement des eaux infiltrées par les sulfates.

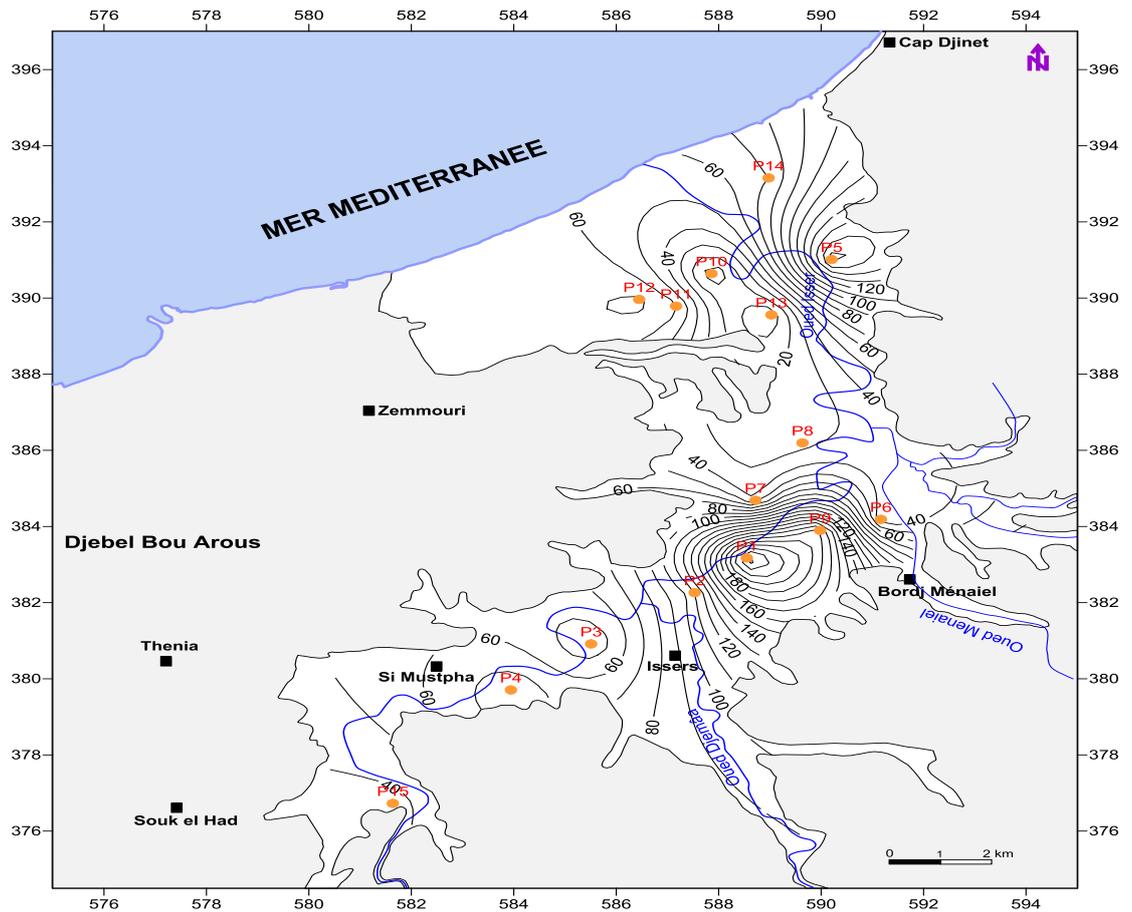


Fig.29 : Carte de la répartition des Sulfates (hautes eaux 2014)

III.5.3.7. Nitrates

Les teneurs élevées de nitrates dans les eaux souterraines, sont généralement liés au lessivage des engrais utilisés en agriculture, les nitrates sont restés accumulés dans la zone non saturé, ensuite ils sont lessivés par les précipitations et par les eaux d'irrigation.

Les résultats d'analyse montrent que les teneurs de la totalité des échantillons sont dans les normes de potabilité. Les teneurs sont variés entre 0.1 mg/l (P15) et 23 mg/l (P1) en période des hautes eaux, et de 1 mg/l (P13) à 21 mg/l (P11) en période des basses eaux. Ceci s'explique par l'utilisation rationnelle des engrais.

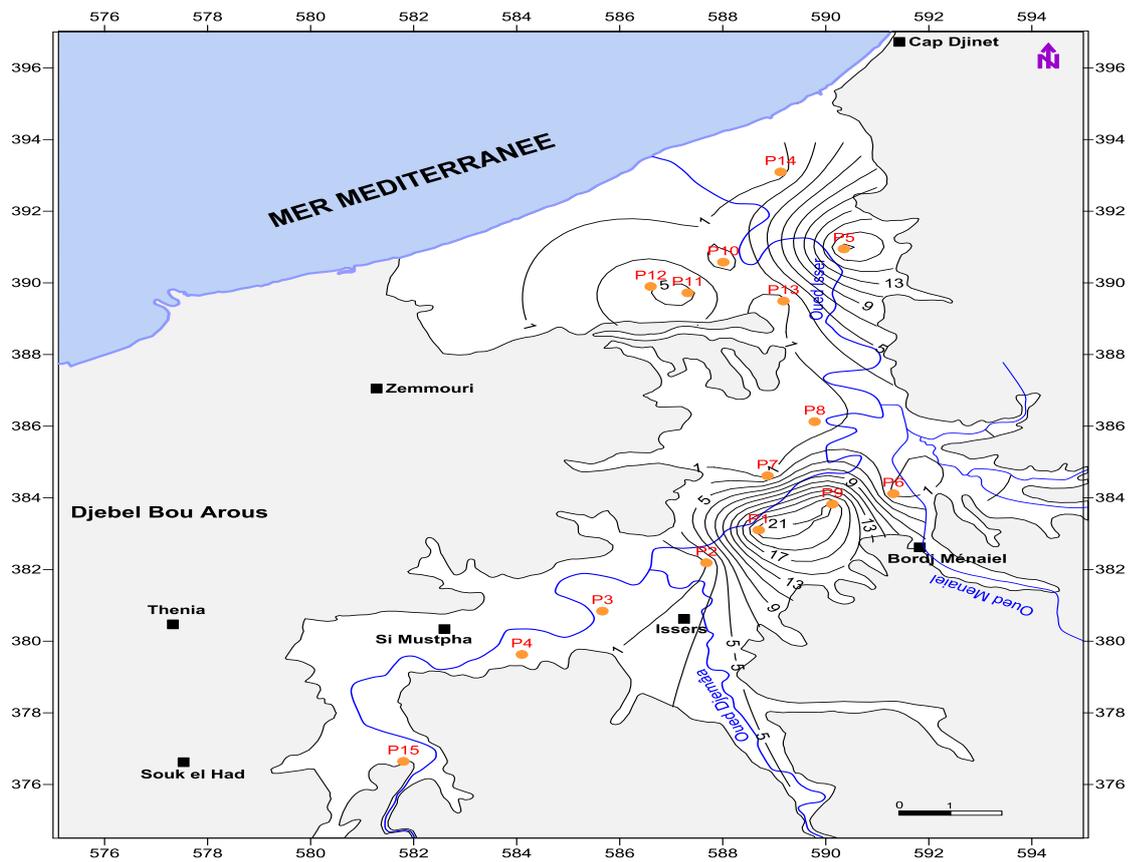


Fig.30 : Carte de la répartition des Nitrates (hautes eaux 2014)

III.5.3.8. Bicarbonates

Les bicarbonates ont une origine géologique, elles se forment par l'intermédiaire du CO_2 contenue dans les eaux d'infiltration, et qui dissous les carbonates des formations calcaires et marneuses, et le terrain aquifère (gravies, galets, calcaires des alluvions).

Les teneurs en bicarbonates enregistrées dans la vallée du Bas-Isser sont variés entre 46mg/l (P13) et 647mg/l (P2) en période des hautes eaux, et de 25 mg/l (P8) à 549 mg/l (P15) au période des basses eaux.

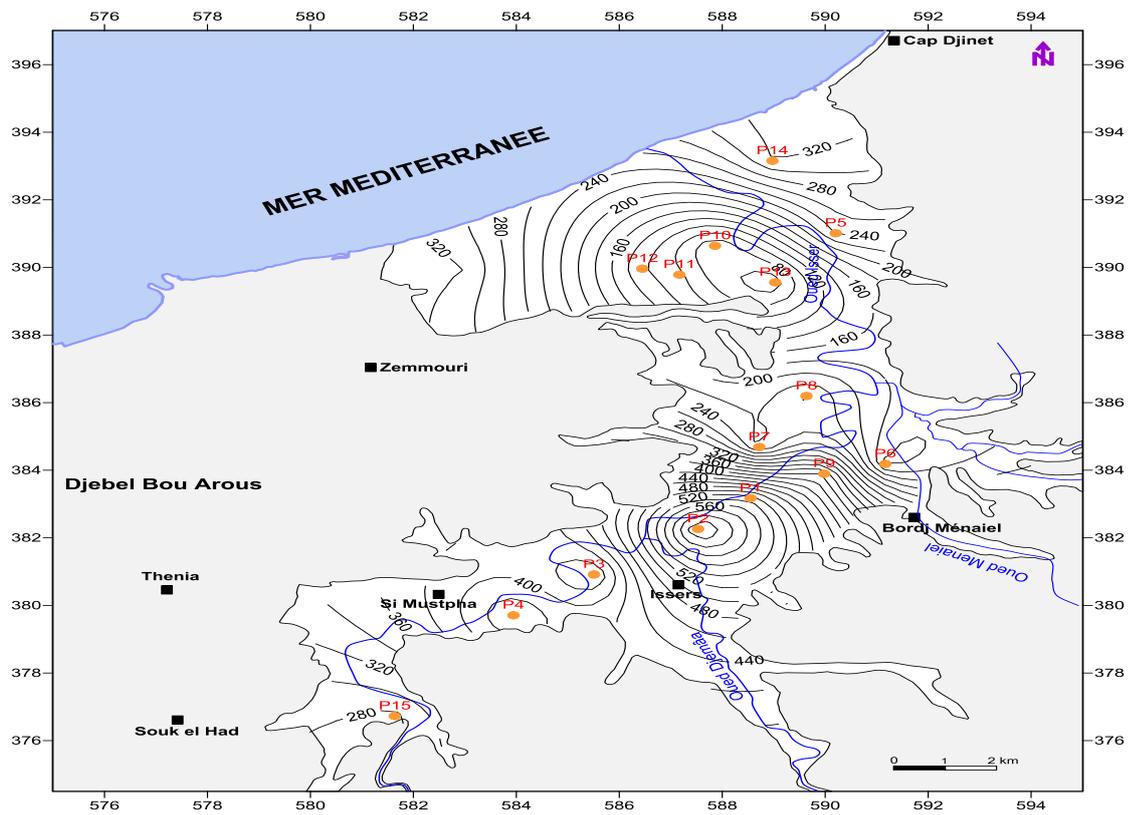


Fig.31 : Carte de la répartition des bicarbonates (hautes eaux 2014)

III.5.4. Rapports caractéristiques

L'examen des rapports caractéristiques permet d'apporter d'éventuelles informations sur les

échanges entre les ions, ces rapports caractéristiques sont : $\frac{Mg^{++}}{Ca^{++}}$, $\frac{SO_4^{--}}{Cl^-}$ et $\frac{HCO_3^-}{Cl^-}$

Les valeurs sont reportées sur le tableau ci-dessous :

Tableau.16 : Rapports caractéristiques des eaux souterraines (hautes eaux 2014)

Point d'eau	Rapports		
	Mg^{2+}/Ca^{2+}	HCO_3^-/Cl^-	SO_4^{2-}/Cl^-
P1	1	2,03	0,3
P2	0,89	3,13	0,31
P3	0,38	4,47	0,53
P4	0,52	2,01	0,53
P5	0,68	0,80	0,58
P6	0,71	0,34	0,51
P7	0,66	0,44	1,17
P8	0,67	1,35	0,3
P9	1	1,68	0,32
P10	0,75	0,10	0,49
P11	0,94	0,59	0,79
P12	0,91	0,68	0,51
P13	0,93	0,07	0,05
P14	0,91	1,69	0,04
P15	0,38	1,55	0,1

L'analyse des résultats montre :

$\frac{Mg^{++}}{Ca^{++}} = 1$; Cela peut s'expliquer par circulation des eaux dans les dolomies, avec un équilibre ionique, c'est le cas des points d'eau (P1 et P9).

$\frac{Mg^{++}}{Ca^{++}} < 1$; il indique la prédominance de l'ion calcium par rapport au magnésium. Il montre que l'eau a obtenue sa minéralisation dans les calcaires ($CaCO_3$) ou les gypses ($CaSO_4, 2H_2O$). C'est le cas de la majorité des points d'eau (P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P10, P11, P12, P13, P14 et P15).

$\frac{Mg^{++}}{Ca^{++}} > 1$; La teneur élevée en ion Mg^{2+} par rapport au calcium est un indice d'une circulation des eaux dans les dolomies calcaires. Aucun point n'appartient à cette classe.

$\frac{SO_4^{--}}{Cl^-} > 1$; il indique un séjour prolongé des eaux, c'est le cas de (P7)

$\frac{SO_4^{--}}{Cl^-} < 1$; Certain auteurs ont montré que pour des valeurs de ce rapport < 0.05 dans les nappes côtières, il y a une forte probabilité de l'intrusion marine (Pulido-Leboeuf et al. 2003 ; Bouderbala et al. 2014), c'est le cas des points d'eau P13 et P14, situés le secteur côtier.

$\frac{HCO_3^-}{Cl^-}$; Certain auteurs ont montré que pour des valeurs de ce rapport < 0.2 dans les nappes côtières, il y a une forte probabilité de l'intrusion marine (Bouderbala et al. 2014 ; Kura et al.

2014). Dans cette zone, deux points d'eau ont un rapport < 0.2 , il s'agit des points P10 et P13, d'où une probable intrusion marine a affecté ce secteur.

III.5.5. Indice d'échange de base

Les échanges ioniques entre les eaux et les terrains encaissants seront étudiés en considérant l'indice d'échange de base (i.e.b), il est donné par l'expression :

$$i.e.b = \frac{[Cl^- - (Na^+ + K^+)]}{Cl^-}; Cl^-, Na^+, K^+ \text{ sont exprimés en méq/l.}$$

Tableau17 : valeurs d'indice d'échange de base

Points d'eau	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
i.e.b	0,43	-0,1	0,2	0,06	0,4	0,5	0,4	-0,4	0,12	0,6	-0,3	-0,3	0,6	0,27	-0,4

L'interprétation des données des i.e.b, a montré que les points d'eau (P1, P3, P4, P5, P6, P7, P9, P10, P13 et P14) sont positif ; ce qui correspond à la substitution du Sodium (Na^+) de l'eau ; par le Magnésium (Mg^{2+}) ou le calcium (Ca^{2+}) du terrain

III.5.6. 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 par le logiciel **diagrammes**.

III.5.6.1. Diagramme de PIPER

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 des échantillons entre eux et indiquer les types de cations et anions dominants.

L'interprétation des résultats d'analyses hydrochimiques de la période des hautes eaux, a permis d'avoir une idée sur les faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe alluviale du Bas Isser.

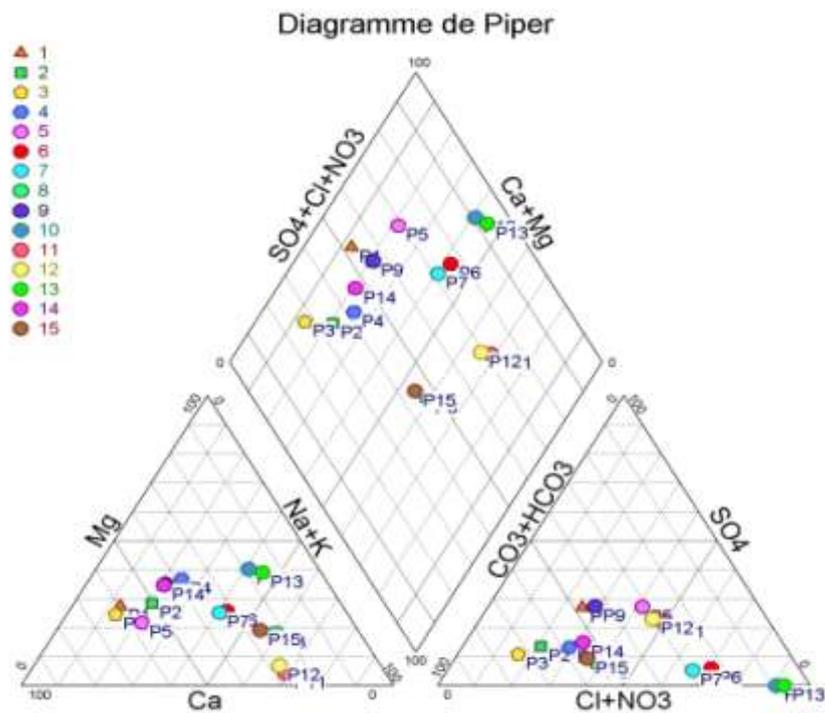


Fig. 32: Projection des résultats d'analyse sur le diagramme de PIPER (hautes eaux 2014)

Le diagramme montre la dominance des faciès suivants :

- ✓ Bicarbonaté-Calcique (P1, P2, P3, P4, P9 et P14)
- ✓ Bicarbonaté-Sodique (P8 et P15)
- ✓ Chloruré-Calcique (P5)
- ✓ Chloruré- Sodique (P6, P7, P10, P11, P12 et P13)

Selon ce diagramme, certains points d'eau ont le même faciès chimique que les eaux marines (Chloruré- Sodique), d'où on constate qu'au niveau de la zone côtière, il y a eu un mélange entre les eaux douces de nappe avec les eaux marines.

III.5.6.2. Diagramme de Schoëller-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.

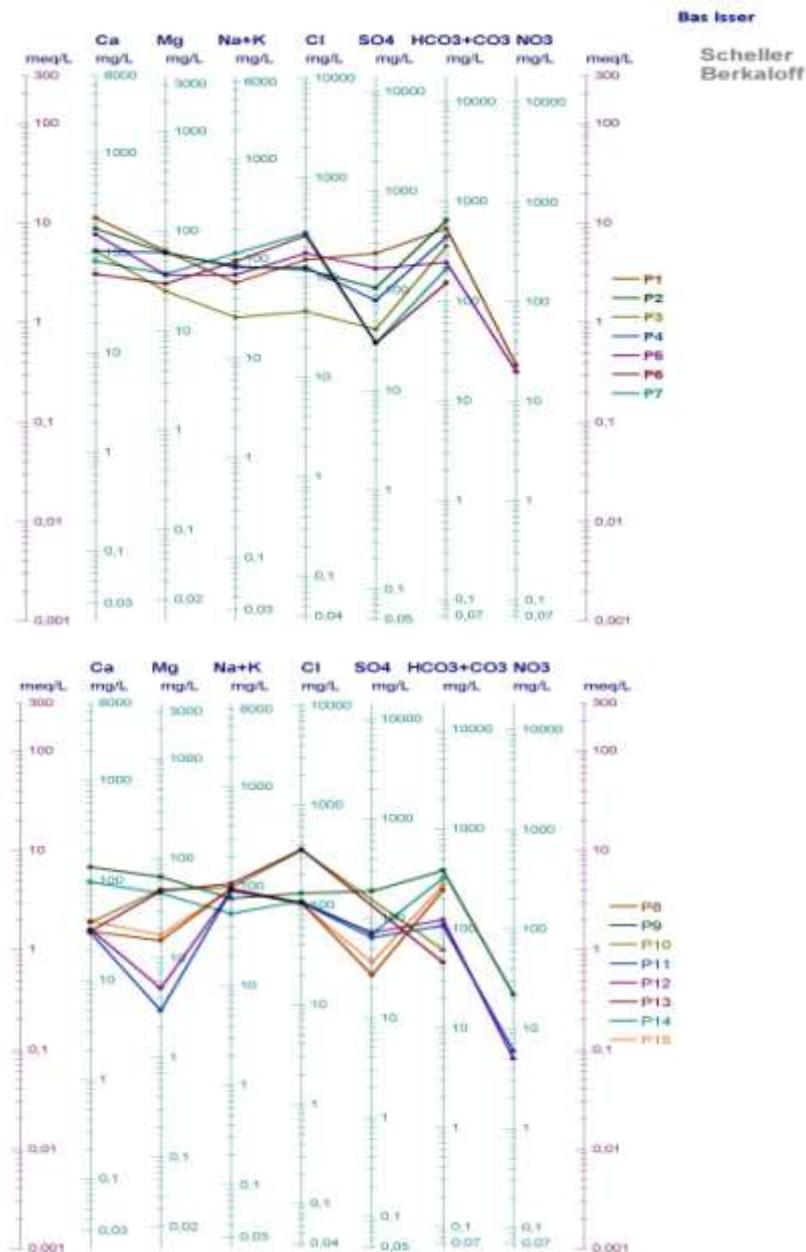


Fig. 33: Projection des résultats sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff (hautes eaux 2014)

Le diagramme montre la dominance des faciès suivants :

- ✓ Bicarbonaté-Calcique (P1, P2, P3, P4, P9 et P14)
- ✓ Bicarbonaté-Sodique (P8 et P15)
- ✓ Chloruré-Calcique (P5)
- ✓ Chloruré- Sodique (P6, P7, P10, P11, P12 et P13)

Selon ce diagramme, certains points d'eau ont le même faciès chimique que les eaux marines (Chloruré- Sodique), d'où on constate qu'au niveau de la zone côtière, il y a eu un mélange entre les eaux douces de nappe avec les eaux marines, ce qui confirme les résultats du diagramme de PIPER.

III.6. Aptitude physico-chimiques des eaux de la nappe à l'irrigation

Pour déterminer l'aptitude des eaux à l'irrigation, nous sommes basés sur certains paramètres tels que : SAR, SAR ajusté et SSP (pourcentage en Sodium).

- SAR

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

Avec :

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

Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau ci-dessous

Tableau. 18 : Valeurs calculés du SAR, suivant les analyses des hautes eaux 2014

Points d'eau	P1	P2	P3	P4	P6	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
SAR	0,83	1,37	0,55	1,39	1,26	2,4	1,3	2,31	4,05	3,81	2,66	1,07	3,08

Le tableau montre que les valeurs du SAR sont inférieures à 10, ce qui indique que les eaux souterraines de la nappe du Bas-Isser sont faiblement sodiques avec peu de danger d'alcalinisation des sols. Les valeurs du SAR et de la conductivité correspondante de chaque point d'eau sont reportées sur un graphique semi-logarithmique (diagramme de RIVERSIDE)

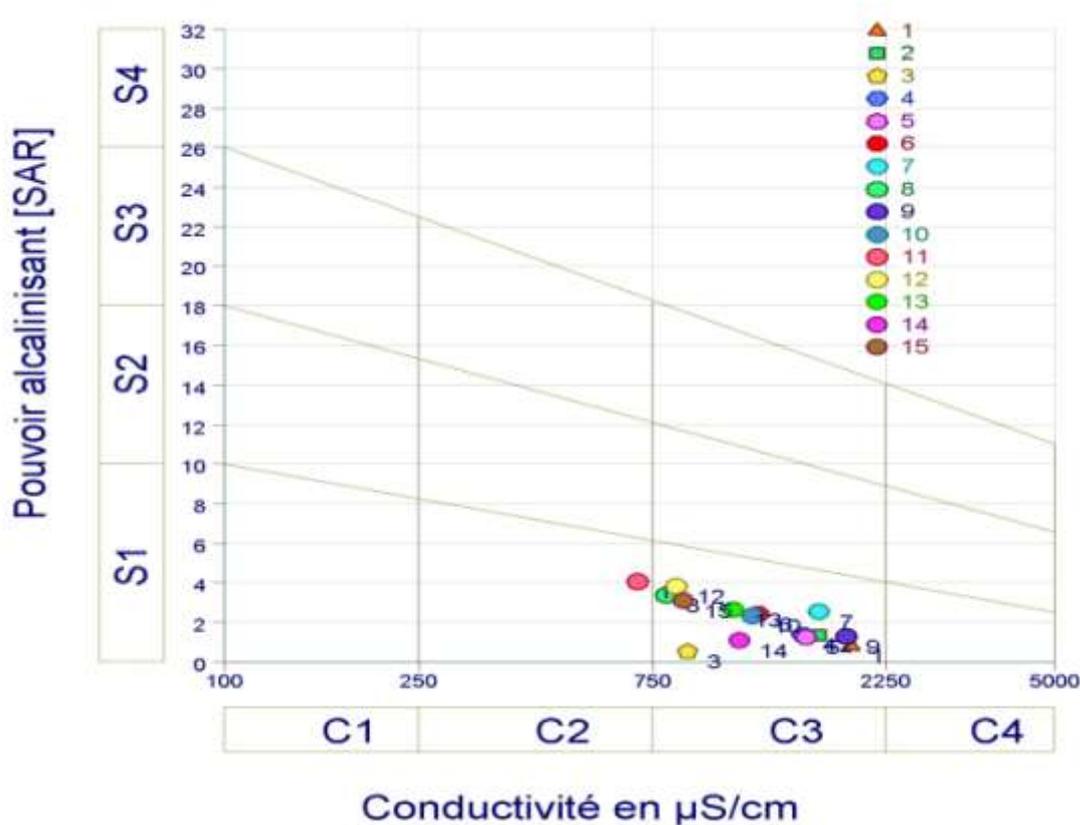


Fig. 34 : Représentation des résultats d'analyse sur le diagramme de Reveside (hautes eaux 2014)

La représentation des échantillons analysés sur le diagramme de Richard, montre qu'il y a eu deux classes, et ils sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau19 : Pourcentage des classes des points d'eau

Classes	Points d'eau	Pourcentage
C ₃ S ₁	P ₁ -P ₂ -P ₃ -P ₄ -P ₅ -P ₆ -P ₇ -P ₈ -P ₉ -P ₁₀ -P ₁₂ -P ₁₃ -P ₁₅	93.33
C ₂ S ₁	P ₁₁	6.6

L'analyse de tableau montre que :

- **93.33%** des eaux de la nappe alluviale du Bas Isser appartiennent à la classe C₃S₁, les eaux souterraines sont de qualité moyenne à médiocre, peut poser à un faible danger d'alcalinisation et un fort danger de salinité. Cette eau convenant aux plantes qui présentent une bonne tolérance aux sels.

- **6.6%** des eaux appartiennent à la classe C₂S₁, elles sont de qualité moyenne à bonne, à utiliser avec beaucoup de précautions dans les sols lourds mal drainés ; pour les plantes sensibles (arbres fruitiers). Cette eau convenant aussi aux plantes qui présentent une légère tolérance aux sels.

- **SAR Ajusté**

Les résultats du calcul, du SAR ajusté sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau. 20: Valeurs du SAR Ajusté des eaux souterraines de la vallée

Points	P (k ² -pk ² c)	P (Ca +Mg)	P ALK	PH _c	SAR aj
P1	2,34	2,1	2,6	7,04	2
P2	2,34	2,1	2,6	7,04	3,2
P3	2,26	2,5	2,6	7,36	1,1
P4	2,32	2,2	2,6	7,12	3,2
P5	2,32	2,3	2,6	7,22	2,7
P6	2,32	2,2	2,6	7,12	5,5
P7	2,34	2,3	2,5	7,14	5,8
P8	2,3	2,2	3,4	7,9	5,1
P9	2,32	2,3	3,1	7,72	2,2
P10	2,3	2,4	3,2	7,9	3,5
P11	2,3	2,4	2,5	7,2	8,9
P12	2,3	2,4	3,2	7,9	5,7
P13	2,32	2,4	2,2	6,92	6,6
P14	2,28	2,4	2,7	7,38	2,2
P15	2,3	2,4	2	6,7	8,3

D'après les résultats du tableau, on remarque que tous les points d'eau ont un SAR aj < 6 sauf les points (P11, p6), ce qui signifie qu'il n'y a pas de problème de salinité qui peut être posé par ces eaux.

- **SSP (ou %Na)**

$$\% \text{ Na} = \frac{r\text{Na} + r\text{K}}{r\text{Ca} + r\text{Mg} + r\text{Na} + r\text{K}} \times 100, \text{ Les concentrations sont exprimées en méq/l.}$$

Les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau.21 : Valeurs des pourcentages en Sodium

point d'eau	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
% Na ⁺	12,9	20,9	13,1	24,1	21,6	42,4	40,6	59,1	21,1	40,83	68,8	66	45	21	54

Les résultats montre que les points d'eau P1 et P3 présentent des valeurs en % Na < 20 ce qui indique que les eaux souterraines au niveau de ces points sont d'une qualité excellentes. Tandis que pour les points (P2,P4,P5,P9 et P14) d'eaux les % en Na, sont compris entre 20 et 40, indiquant ainsi une qualité bonne à moyenne et les points (P6,P7,P8 ,P10,P13,P14 et P15) indiquant une qualité permmissible . Elles peuvent être utilisées en irrigation sans aucun problème. Sauf les points (P11 et P12) qui indiquant une mauvaise qualité.

III.7. Comparaison entre les analyses chimiques de 2003 et 2014

Dans le but de mieux comprendre l'évolution du chimisme des eaux souterraines dans la plaine alluviale du Bas Isser, nous avons effectué une comparaison entre les résultats d'analyses chimisme des eaux de la période des hautes eaux pour les années 2003 et 2014. On a retenu quelques points d'eau de l'année 2003, qui sont proches ou coïncident aux points de nouveau réseau. Cinq points ont été retenu pour cette comparaison, afin d'avoir une idée sur l'évolution de chimisme dans cette nappe.

Tableau.22 : Comparaison des résultats d'analyses chimiques de l'année 2003 et 2014

points d'eau	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)	
	2003	2014	2003	2014	2003	2014	2003	2014	2003	2014	2003	2014	2003	2014	2003	2014
P6	233	61	49	30	105	92	2	3	250	265	317	30	484	153	37	0
P15	226	39	101	17	65	92	3	2	269	103	421	33	125	275	125	0
P11	170	30	49	3	75	87	3	3	120	106	172	64	405	107	53	6
P2	159	177	70	60	105	83	25	2	188	120	280	106	410	647	71	0
P1	475	226	171	63	300	55	4	2	908	253	913	239	492	534	125	23

L'analyses des analyses chimiques présentés dans le tableau ci-dessus, nous a permet de noter que :

- ✓ (P6) On remarque une diminution remarquable de tous les teneurs des éléments chimiques et le faciès Bicarbonaté-Calcique (en 2003) a devenu Chloruré-Sodique (en 2014).
- ✓ (P15) On note, une diminution des concentrations de tous les éléments chimiques sauf le HCO₃⁻ qui a subi une augmentation. Le faciès Sulfaté-Calcique (en 2003) a devenu Bicarbonaté-Sodique (en 2014), on note aussi qu'en 2003, il y a eu des teneurs très élevé de Nitrates c'est du probablement à l'utilisation excessive des engrais.
- ✓ (P11) Il y a une diminution des concentrations des éléments chimiques de l'année 2014 par rapport à 2003, sauf pour le sodium (Na²⁺) où nous avons une légère augmentation. Le faciès Bicarbonaté-Calcique en 2003 a devenu Chloruré-Sodique en 2014.

- ✓ (P2) il y a une légère diminution dans les éléments (Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} et NO_3^-) et il y a une augmentation de certains éléments en 2014, comme HCO_3^- et Ca^{2+} . Le faciès Bicarbonaté-Calcique (en 2003) est le même en 2014.
- ✓ (P1) On remarque forte une diminution des concentrations de tous les éléments chimiques, sauf le HCO_3^- qui a subi une augmentation faible. Le faciès Chlorure-Calcique en 2003 a devenu Bicarbonaté-Calcique en 2014.

Conclusion

Au terme de ce chapitre nous pouvons dire que :

- L'écoulement des eaux souterraines se fait, en général, selon une direction Sud-Nord, avec un axe de drainage coïncide sensiblement avec le parcours d'oued Isser.
- L'allure générale des courbes piézométriques est restée constante lors des deux campagnes d'observations (hautes et basses eaux).
- L'évolution de la piézométrie dépend des conditions climatiques, qui influent sur le rabattement de la nappe, avec une augmentation de niveau piézométrique durant la période des hautes eaux grâce à la recharge par les précipitations et par les infiltrations des eaux du oued Isser, cependant en période des basses eaux, il y a eu des diminution de niveau piézométrique c'est à cause de l'évaporation et de l'exploitation de la nappe. Comme on a signalé l'abaissement de quelques points d'eau durant la période des hautes eaux par rapport à celles des basses eaux, cela est la cause de l'exploitation de certain puits au temps de l'opération de mesure.
- L'étude hydrogéochimique des eaux de la nappe alluviale du Bas Isser nous a permet de dire que :
 - Les eaux sont caractérisées par la présence de quatre faciès dominants, qui sont : Bicarbonaté-Calcique, Bicarbonaté- Sodique, Chlorure-Calcique et Chlorure-Sodique.
 - Le suivi de la qualité des eaux dans le temps a montré l'effet des précipitations et de l'évaporation sur la minéralisation des eaux souterraines.
 - Nous avons constaté aussi la contamination de certain puits côtiers par les eaux marines, par un mélange eau douce- eau salée, avec un faciès Chlorure-Sodique, c'est le cas des points d'eau P10, P11, P12 et P13.
 - Les eaux souterraines de la vallée de Bas-Isser, présentent une qualité moyenne à médiocre pour l'irrigation, et peuvent être utilisé que ce soit pour l'AEP ou pour l'irrigation, seulement avec un suivi périodique.

Conclusion générale

La présente étude, qui a porté sur la nappe alluvionnaire de sous bassin versant du Bas Isser située a 60 km est d'Alger, et s'étend sur une superficie de 533km². a abouti aux conclusions suivantes :

- La région est caractérisées par un climat méditerrané de type sub –humide avec deux saison d'égale durée une période sèche qui s'étale du mois de Mai au mois de Septembre, et une période humide qui s'étale du mois d'Octobre au mois d'Avril. La température moyenne annuelle est de 17.7C. Le calcul du bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite a révélé que l'ETR est de l'ordre de 513.35 mm, mobilisant 70 % des précipitations, et que l'infiltration ne représente que 12.5% de ces dernières. Le ruissellement ne bénéficie également que de 17.9 % de ces précipitations.

-L'étude géologique a mise en évidence une structure complexe, marquées par l'existence des formations métamorphiques d'âge précambrien recoupées localement par de roches intrusive ions acides et basiques d'une part et des formations sédimentaires d'autre part.

-L'étude géologique des formations quaternaires, effectuer sur la base des travaux de certain auteur, a mise en évidence sept terrasses alluviales disposées en gradins étagés, partiellement emboîtées. Ces dernières ont mise en évidence deux horizon susceptible d'être aquifère , représentée par des galet ,graviers et sable peu ou pas argileux ,dont l'épaisseur est maximale dans l'axe de la vallée et diminue vers les bordures .ces deux niveau sont séparées par une masse d'argile parfois épaisse (20 m) qui disparaît par endroit et permettant alors une relation hydraulique très étroite entre les deux horizons aquifère .

D'autre part, l'étude piézométrique a permet d'individualiser deux types d'écoulement, liée à la configuration morphologique du substratum .on a d'une part un écoulement vers la mer et d'autre parte un écoulement des bordures située sur les deux rive de la vallée vers l'axe de drainage qui coïncide avec l'ancien sillon.

-La surface piézométrique présente une fluctuation régulière, caractérisée par une baisse durant la période de basses eaux, sous l'effet de l'évaporation, et une remontée pendant la Période de hautes eaux, suite à la recharge de la nappe à partir des précipitations.

L'étude hydrogéochimique a été réalisée afin de caractériser la qualité des eaux souterraines, donc les facteurs naturels et anthropiques qui influent sur cette qualité. Plusieurs modes et outils d'interprétation ont été utilisés (cartographie, diagrammes,), qui ont montré :

-La présence de quatre faciès chimiques marquant ainsi l'hétérogénéité de la lithologie. En effet, on peut citer les faciès Bicarbonaté-Calcique, Bicarbonaté- Sodique, Chlorure-Calcique et Chlorure-Sodique.

- la contamination de certain puits côtiers par les eaux marines, par un mélange eau douce- eau salée, avec un faciès Chlorure-Sodique, c'est le cas des points d'eau P10, P11, P12 et P13.

- La comparaison des concentrations des éléments chimiques entre 2003 et 2014 montres une diminution significative de la concertation due probablement a l'impact des facteurs climatiques (les précipitations et l'évaporation) et l'effet du séisme qui a frappé la wilaya en (2003).

Les classifications de Richards et le calcule du SAR montre que Les eaux souterraines de la vallée de Bas-Isser, présentent une qualité moyenne à médiocre pour l'irrigation, et peuvent être utilisé que ce soit pour l'AEP ou pour l'irrigation, seulement avec un suivi périodique.

Recomendations

Afin d'aboutir à une meilleure connaissance du système aquifère de la région, on propose les recommandations suivantes :

- ✓ Une campagne de nivellement de tous les points d'eau, ainsi que l'installation des nouveaux piézomètres dans le but de préciser et d'avoir un suivi régulier de la dynamique des eaux souterraines et de lutter contre l'invasion marine ;
- ✓ Contrôle de l'exploitation des forages à proximité de la zone littorale, pour lutter contre le biseau salé ; L'exploitation de la nappe intensive fait baisser le niveau piézométrique ce qui menace l'équilibre de cette dernière, c'est pour cette raison il est impérative de limiter le volume d'eau prélever par l'interdiction de réalisation de nouveau forages par exemple.
- ✓ Le problème de l'intrusion marine peut être solutionné par l'utilisation de la technique de la recharge artificielle, qui peut repousser la biseau salé
- ✓ Arrêter immédiatement les forages et les puits contaminés
- ✓ Arrêter l'exploitation dans les secteurs vulnérables à l'intrusion .
- ✓ L'interdiction de pompes anarchique de la nappe et l'extraction abusive du sable marin

La gestion intégrée des ressources en eau devient une priorité si l'on ne veut pas que cette ressource rare ne devienne un des facteurs limitant du développement ; car les conséquences démographiques, économiques et écologiques risquent d'être gigantesques et le coût de mesures préventives serait énorme, pour les limiter, il faut procéder :

- ✓ à un contrôle de la demande et des différents usages ;
- ✓ au recyclage et au recours à des ressources non conventionnelles
- ✓ à la protection contre les dégâts des eaux des agglomérations, les infrastructures collectives, des zones d'activité, des terres agricoles,
- ✓ d'une garantie de continuité des services d'eau potable, de l'irrigation ou de la production hydroélectrique, etc.

Références bibliographiques

- 1-BELGHITI M , CHAHLAOUI A , BENGOUIMI D, et EL MOUSTAINE R ,2003** : Etude de la qualité physico -chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quaternaire dans la région de Meknès (Maroc) 150 pages
- 2-BELKKACEM. N , 2001** : Etude des précipitations dans l'ensemble du bassin versant Isser ,Algerie.84 pages.
- 3-BOULMATAFES B,2012.** étude morphopédologique du la vallée du Bas Isser .48 pages .
- 4-BOUDERBALA A., REMINI B. and PULIDO-BOSCH A.** (2014), Hydrogeological characterization of the Nador Plio-Quaternary aquifer, Tipaza (Algeria), *Boletin Geologico y Minero*, 12-25pages
- 5-BOUDERBALA A. (2014)**, Assessment of Groundwater Quality and its Suitability for Agricultural Uses in the Nador Plain, North of Algeria, *Water Qual Expo Health*, DOI: 10.1007/s12403-015-0160-z
- 6-CHEMLAL N., 1983.** Paléomorphologique et hydrogéologique de la vallée du Bas Isser, Thèse de 3^{ème} cycle, Grenoble 1, 350pages.
- 7-CHENDRI N et CHERFI 1 ,2007** Approche hydrogéologique de la nappe alluviale de Oued Boudouaou :intrusion du biseau salé. 160 pages.
- 8-DJEMAI M et MESBAH M , 2011.** Caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux du bassin versant du moyen Sebou (grande Kabylie, Algérie) .15 pages(resumé d'un mémoire)
- 9-DJOUHRA B ,2012.** Développement, interprétation et évaluation de la précision de la relation entre la concentration des sédiments en suspension et le débit liquide Etude de cas: sous bassin versant de l'Oued Tafna et d'Oued Isser. 20 pages(resumé d'un mémoire)
Berne, 2004 :instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines
- 10- GOUAIDIA L, 2008.** : Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico –chimiques des eaux d'une nappe en zone semi aride, cas de la nappe de Meskiana Nord-Est Algerie.
- 11- Kura N.U., M.F. Ramli, S. Ibrahim, W.N.A. Sulaiman, A.Z. Aris (2014)**, An integrated assessment of seawater intrusion in a small tropical island using geophysical, geochemical, and geostatistical techniques, *Environmental Science and Pollution Research*, 21, 7047–7064.
- 12-REZKI A ,2004.** Mobilisation de la ressource en eaux dans le bassin versant du Bas Isser .
- 13-RODIER J. (2009)** : L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8^e Édition Dunod, Paris.
- 14-SAIBI H ,2001** .pollution et exemple d'application al vallée du Bas Isser sur les problèmes du Fer de Boumerdès
- 15-SALHI .H 2003**, Annuaire hydrogeologique de la nappe alluviale du Bas Isser 2003

ANNEXE

Précipitation de station de Draa Ben Khadda(1980-2012)

Année	Sept,	Oct,	Nov,	Dec,	Janv,	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin,	Juil,	Aout	Annuel
1980	2	52,7	82,3	267,2	35,6	65,7	97,3	73,5	31,2	0	0	44,3	751,8
1981	2,3	52,2	25,3	116	224,9	152,2	29,5	20	43	7,6	0	2,6	675,6
1982	135	96	201,2	181,5	2	62,9	44,9	12,4	11,5	0	0	32,7	780,1
1983	0,5	38,4	77,6	56	123,5	138,1	78	31,7	15	0	0	0	558,8
1984	48,5	108,8	26,7	180,6	118,5	33,5	241,4	11,3	70,4	0	3	0	842,7
1985	37,2	76	70,5	63,5	81,4	110,3	112,2	49,7	2	18,6	4,6	3,1	629,1
1986	11,8	41	26,8	224,7	183,5	213,2	68,1	3,2	17,9	5,5	22	3,6	821,3
1987	31	49,8	113,6	47	46,8	56,1	72,9	60,1	10,1	29,3	25	0	541,7
1988	54,4	8,6	74,4	261,8	46,7	37,9	15,7	107,6	2,6	13,8	5,2	9,2	637,9
1989	21,7	20	74,2	33,7	65,7	0	33,3	55,3	68,7	21,8	26,8	0	421,2
1990	6,2	55	43,3	167,6	103,9	130,5	67,3	38,8	20	2,7	0	1,5	636,8
1991	4,8	131,7	36,7	13,7	143,8	51,4	86,5	138,4	52,1	22,7	2,9	0	684,7
1992	2,8	58	111,3	160	37,9	34,4	20,2	103,6	47,6	0	0,2	5,8	581,8
1993	57,3	35,6	63,2	93,3	99,5	70,2	3,8	46,9	7,3	0,6	0	20,1	497,8
1994	77,3	77,2	29,4	121,1	251,2	56,2	98,2	33,4	1,2	16,5	0,2	25,4	787,3
1995	10,5	27,1	36,6	63,2	174,1	200,7	62,4	140	46,3	19,2	6,4	9,9	796,4
1996	34,4	97	54,4	51,4	38,1	14,2	26	79,9	21,7	4,6	0	10,7	432,4
1997	45,6	79,7	215,8	127,8	43,3	129,5	64,1	103,7	243,8	0,3	0	3,6	1057
1998	22,7	76,5	113,1	88,5	116,6	102,8	75,1	16,7	24	0,1	0	1,5	637,6
1999	22,7	21,2	141,1	235,5	18,3	7,1	5,4	29,5	32,3	7	0,6	0	520,7
2000	5,9	71,7	83,5	56,6	252,4	74,8	2,5	31,7	30	0	0	1,7	610,8
2001	16,3	1,6	25,1	57,7	76,9	26,8	42	54	35,3	1,2	0	19,2	356,1
2002	13	33,4	192,3	259,7	271,7	90,2	55,4	120,8	32,4	0	0	0	1069
2003	18,7	46,5	72,3	181	115,3	48,9	96,9	74	134,7	6,7	1,3	7,3	803,6
2004	35,1	30,8	86,9	167	140,1	115,8	23,6	54,8	1,8	0	0,6	0,5	657
2005	16,8	52,9	71,1	94,3	121	168,8	31,1	20	61,6	2,7	1,5	2,7	644,5
2006	36,8	27	6,3	166,8	13	55,6	283,3	195,2	21,2	4,8	2,6	0,5	813,1
2007	60,4	216,4	218,9	63,6	7,4	26,1	85,3	25,5	83,5	7,3	5,6	0	800
2008	25,5	46,9	224,2	135,5	235,1	32,6	85,1	131,3	45,6	0	0	5,1	966,9
2009	172,4	41,5	128,2	155,7	64,4	54,1	86,9	86,6	58,5	23,3	0	14,2	885,8
2010	25,7	121,4	156,9	84	81,9	145,8	70,6	84,2	159,1	41,2	0	0	970,8
2011	7,9	38,2	157,6	103,5	77	355,1	91,8	156	35,9	1,5	3,8	11	1039
2012	0	97,9	59,9	37,9	239	120	93,3	76,2	141,1	0	0	0	865,3

Précipitation de station de Baghlia(1980-2012)

Année	sept	Oct.	Nov.	Dec.	Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuel
1980	0,8	52,1	81,9	282,4	52,8	60,1	76,8	88,1	46,1	5,7	0	16,7	763,5
1981	2,9	48,7	21,6	128,6	180,8	118,6	28,7	15,1	36,3	7,6	0	8,3	597,2
1982	41,2	73,8	227,1	132,2	3	75,6	63,8	17,6	12,8	0	4,4	37,4	688,9
1983	3,4	31,6	71,4	71,7	82,8	123,8	38,2	28,5	88,8	10,1	0	0	550,3
1984	24	105,7	29,4	141,9	124,3	37,9	217,8	11,8	116,3	0	0	0	809,1
1985	78,3	65,9	120,2	54,7	72,9	106,4	171,1	56,9	4,6	12,8	5,9	0,4	750,1
1986	14,2	41	75,5	201,7	114,8	227,7	43	4,1	12,9	33	0	1,2	769,1
1987	97,3	45,7	118,5	48,2	65,5	46,9	66,4	58,5	24,7	21,4	3,2	0	596,3
1988	71,2	4,2	90	255,2	46,7	25,7	37,5	96,7	6	17,1	3,9	4,4	658,6
1989	33,8	24,1	100,7	49	84,2	0	35,6	61	79,6	13,8	42	0	523,8
1990	1,8	70,2	56,5	200,2	91,5	143,4	64,5	53	38,5	3	0	2,5	725,1
1991	15,8	190,3	51,9	14,2	157,3	52,5	90,2	102,6	57,9	31,4	2,3	0	766,4
1992	6	78,9	119,3	164,6	36,5	92	23,9	105,3	39,2	0	0	3,9	669,6
1993	29,4	53,3	83,4	130	94,2	64,3	0	56,6	4,8	0	0	0	516
1994	68,9	70	29,3	121,7	212,2	40,6	101,4	41,1	0,2	10,4	0	38,9	734,7
1995	11,7	18,4	17,1	80,6	166,2	221,2	46,2	143,6	34,2	12,6	6,1	9,2	767,1
1996	30,3	112,1	57,6	70,2	47,8	16	24,6	100,9	14	6,2	1,3	18,6	499,6
1997	61	71,4	160,5	144,9	56,9	91,5	62,4	110,5	269,2	1,1	0	1,8	1031,2
1998	44,1	51,5	139,4	111,6	148,3	103,2	83	32,5	21,7	0	0	2,4	737,7
1999	25,7	22,4	169,8	227,9	18,1	8,1	15,3	42,6	33,1	4,7	0	0	567,7
2000	25,2	75,7	71,5	53,8	226,7	86,7	1,5	40,3	30,9	0	0	7,8	620,1
2001	15,2	0	104,7	69,7	71,8	37	61,7	64,8	17,3	2,7	0	12	456,9
2002	18,1	40,4	228,5	234,4	267,4	105,9	41,3	118,2	42,1	0	3,5	0	1099,8
2003	46,1	39,9	59,4	151,4	115,2	54,1	112,4	79,2	177,7	0,5	0	9,9	845,8
2004	25,4	44,9	110,9	169,8	133,8	143,9	28,2	55,2	3,1	0	1,4	0	716,6
2005	54,7	51,8	102,8	108,6	112,7	154,6	20	18,5	98,3	2,2	1,9	3	729,1
2006	19,6	25,1	4,4	261	15,4	51,3	232,1	212,1	20,8	3	5,3	32,6	882,7
2007	50,1	254,9	212,6	86,1	4,8	17,6	97	39,8	84,1	8,5	15,4	0	870,9
2008	24,2	51,1	202	136,4	193,8	33	84,8	87	114,3	0	0	6,6	933,2
2009	128,9	55,5	112,3	127,1	92,3	57	108,1	103,2	46,8	27	0,6	29,6	888,4
2010	24,4	131,2	141,5	80,7	89,1	129,6	48,3	88,2	149,1	48,6	0	0	930,7
2011	6,6	36,1	200,8	109,1	59,6	318,8	84,9	188,1	35,8	3,3	0	2,3	1045,4
2012	7,1	65,1	55,6	35,2	209	168,6	114,2	67,4	173,4	2,2	0	0	897,8

Tableau de pH_c

Ca+Mg+Na (meq/l)	p(K' ₂ - K' _c)	Ca + Mg (meq/l)	p(Ca + Mg)	CO ₃ + HCO ₃ (meq/l)	p Alk
.5	→ 2.11	.05	→ 4.60	.05	→ 4.30
.7	2.12	.10	4.30	.10	4.00
.9	2.13	.15	4.12	.15	3.82
1.2	2.14	.2	4.00	.20	3.70
1.6	2.15	.25	3.90	.25	3.60
1.9	2.16	.32	3.80	.31	3.51
2.4	2.17	.39	3.70	.40	3.40
2.8	2.18	.50	3.60	.50	3.30
3.3	2.19	.63	3.50	.63	3.20
3.9	2.20	.79	3.40	.79	3.10
4.5	2.21	1.00	3.30	.99	3.00
5.1	2.22	1.25	3.20	1.25	2.90
5.8	2.23	1.58	3.10	1.57	2.80
6.6	2.24	1.98	3.00	1.98	2.70
7.4	2.25	2.49	2.90	2.49	2.60
8.3	2.26	3.14	2.80	3.13	2.50
9.2	2.27	3.90	2.70	4.0	2.40
11	2.28	4.97	2.60	5.0	2.30
13	2.30	6.30	2.50	6.3	2.20
15	2.32	7.90	2.40	7.9	2.10
18	2.34	10.00	2.30	9.9	2.00
22	2.36	12.50	2.20	12.5	1.90
25	2.38	15.80	2.10	15.7	1.80
29	2.40	19.80	2.00	19.8	1.70
34	2.42				
39	2.44				
45	2.46				
51	2.48				
59	2.50				
67	2.52				
76	2.54				

Balance ionique

Point d'eau	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
BI	-1,51	1,99	0,91	3,1	0,55	-5,6	-1,8	-5,87	1,42	-4,61	-7,14	-7,3	-4,61	2,99	-6,2

Paramètres physico-chimique des eaux souterraines de la nappe alluviale du Bas Isser en méq/l (Hautes eaux 2014)

Ca²⁺	Na⁺	Mg²⁺	K⁺	Cl⁻	SO₄²⁻	HCO₃⁻	NO₃⁻
<i>(méq/l)</i>	<i>(méq/l)</i>	<i>(méq/l)</i>	<i>(méq/l)</i>	<i>(méq/l)</i>	<i>(méq/l)</i>	<i>(méq/l)</i>	<i>(méq/l)</i>
11,29	2,39	5,25	0,05	4,32	5,98	8,90	0,37
8,84	3,61	5,00	0,05	3,39	2,65	10,78	0,00
5,19	1,04	2,08	0,05	1,30	1,03	5,90	0,00
5,29	3,17	5,08	0,23	3,61	1,98	7,37	0,00
7,74	2,91	3,00	0,05	4,99	4,18	4,07	0,32
3,05	4,00	2,50	0,08	7,48	0,75	2,55	0,00
4,10	4,83	3,08	0,08	7,98	0,98	3,57	0,00
1,55	4,00	1,25	0,05	2,96	0,68	4,07	0,00
6,74	3,22	5,50	0,05	3,72	4,65	6,35	0,35
1,90	4,00	4,08	0,13	10,07	0,00	1,02	0,00
1,50	3,78	0,25	0,08	2,99	1,60	1,78	0,10
1,60	3,83	0,42	0,08	2,93	1,80	2,03	0,08
1,55	4,39	3,92	0,13	10,18	0,00	0,77	0,00
4,80	2,22	3,75	0,05	3,10	1,75	5,33	0,00
1,95	4,00	1,42	0,05	2,91	0,90	4,58	0,00