



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 Djilali Bounaama de Khemis Miliana

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

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Agronomie

Spécialité : Hydraulique Agricole

Thème

***CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX
SOUTERRAINES DE LA NAPPE ALLUVIALE
DE L'OUED EL HACHEM (TIPAZA)***

Présenté par :

M^{elle} MOHAMED Malika

M^{elle} BENSMAILI Khadidja

Soutenu : 30/05/2016

Devant le jury :

Président: Mr MEROUCHE Abdelkader

MCB UDB. Khemis Miliana

Encadreur : Mr BOUDERBALA Abdelkader

MCB UDB. Khemis Miliana

Examinatrice: M^{me} HALLOUZ Faiza

MCB UDB. Khemis Miliana

Examinatrice : M^{elle} KARAHACANE Hafsa

MAA UDB. Khemis Miliana

Année universitaire 2015-2016

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 AËK 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 MEROUCHE AËK, Qui a bien voulu nous honorer en présidant ce jury, de même que M^{me} HALOUZ Faiza et M^{elle} 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, et de kosea particulièrement Mr GOMRI MOHAMED pour les données qu'ils ont mises à notre disposition, et à l'étudiant Mr ABD EL HAK,

Nous désirons souligner de façon particulière Nos familles qui nous ont offert un soutiens et un encouragement On leurs doit un grand respect.

Dédicace

Avec un grand respect, je tiens à dédier ce modeste mémoire à plus grand trésors de ma vie et qui m'entouré de beaucoup de tendresse, d'amour et d'encouragement ma chère "maman".

A qui m'a soutenu dans mes études, qui m'a submergé d'affection et d'amour, qui m'a aidé a affronté les problèmes de la vie avec courage et confiance "mon père".

A mes très chers frères Ben souna, Boualem, Djeloul boulahia, Walid, Minouche Amine et mes sœurs Nenna, Hizia, Fethia, Razika, Houria, Siham Amina, Amel, Fatima.

À tous les autres membres de la famille Mohamed qui m'ont aidé de près et de loin et mes souhaiter toujours la réussite et le bonheur. A mon binôme Khadidja. A tous mes amis surtout: Souad, Assia, Hasna, Selma, Asma, Siham, Cherifa, Sarah,..... A tout mes amis, les étudiants et étudiantes de ma promotion. A tous ceux qui aiment la science.

MALIKA

Dédicace



Je dédie ce travail en signe de respect et de reconnaissance :

A mon cher père, que Dieu le tout puissant lui garde sa santé.

A ma chère mère, qui m'a soutenu moralement à accomplir cette tâche et je prie le bon Dieu qu'il me la garde pour toujours.

A mon frère Mohamed et sa femme Hanane et ses fils (Siradj et Inass) et mes sœurs, Amina, Soumia et leurs enfants (Afnane, Abdo, Sara), Asmaa, Houda, à la fleur de la famille ma Tante Yamina.

Et à toute ma famille grand et petit (Bensmaili et Ounas).

A mon binôme Malika qui a été mon plus grand soutien.

A tout mes chers amis surtout : Amel, Amina, Nawal, Faiza, Siham B, Siham, Cherifa, Fatiha, Djamila, Nadia, Soumia, Hasna, Selma

Et tous les étudiants de notre promotion.

Khadija

ملخص

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تقييم النوعية الفيزيائية والكيميائية للمياه الجوفية لسهل واد الهاشم (تبيازة) ، اعتمادا على المكونات الكيميائية الرئيسية (الكالسيوم، الكالسيوم، الصوديوم، المغنيزيوم ، البيركربونات ، البوتاسيوم، النترات، السيلفات) و المكونات الفيزيائية (درجة الحرارة، الناقلية الكهربائية و الحموضة) لعشرة عينات.

وقد اجريت هذه الدراسة باستخدام عدة أدوات ، و منحيات (مخطط شولر- بيير و الخرائط.....).

عينات المياه الجوفية المأخوذة في الفترة الصيفية 2015 بينت أن نوعية هذه المياه متوسطة يمكن استعمالها للشرب و السقي بدون أي مشكل. دراسة تغير نوعية المياه في الزمن الممتد من سنة 2005-2015 يبين وجود اختلاف طفيف من سنة إلى أخرى. من هنا استخلصنا أن نوعية المياه السائدة هي كلور الكالسيوم و بركونات الكالسيوم.

الكلمات المفتاحية المياه الجوفية، النوعية الفيزيوكيميائية ، واد الهاشم.

Résumé

L'objectif principal de cette étude est l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux de la nappe alluviale de l'Oued El Hachem (Tipaza), en se basant sur les teneurs des éléments chimiques majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^-), et paramètres physiques (Température, potentiel hydrique, conductivité électrique) de 10 points d'eau.

La caractérisation de la qualité des eaux a été effectuée aux moyens des outils et diagrammes (diagramme de Piper, Schoëller, Riverside, rapports ioniques, histogramme, cartes ...). Les eaux de la nappe de la période des basses eaux 2015 montrent une qualité moyenne, elles peuvent être utilisées en AEP et irrigation sans aucun problème. Ces eaux ne montrent pas une grande variation dans temps. Elles présentent deux facies chimiques dominants : facies chlorure-calcique et facies bicarbonaté-calcique.

Mot clé : eaux souterrains, qualité physico-chimique, oued el hachem.

Abstract

The main objective of this study is to evaluate the physico-chemical groundwater Quality of the Wadi El Hachem alluvial plain (Tipaza), in the basis of the analysis of major elements (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^-), and physical parameters (temperature, water potential, electrical conductivity) of 10 samples.

The groundwater characterisation were realized based to differents tools and diagrams (Piper, Schoeler, Riverside, single report, histograms, and maps...). The groundwater quality of this aquifer in the dry period 2015 shows a moderate quality, they can used for drinking supply and for irrigation without problems. These wells don't shows a big variation in the time, but only littre variation. They present two main chemical facies: chloride –calcium and bicarbonate-calcium

Key words : physico-chemical quality, groundwater, Wadi El Hachem.

Liste des abréviations

AEP : Alimentation en Eau Potable.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

CE : Conductivité Electrique ($\mu\text{S.cm}^{-1}$).

CGG : Compagne Générale de Géophysique.

ETP : Evapotranspiration Potentielle en (mm).

ETPc : Evapotranspiration Potentielle Corrigée.

ETR : Evapotranspiration Réelle en (mm).

EX : Excédent en Eau du Sol (mm).

FAO : Food and Agriculture Organization.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

RFU : Réserve Facilement Utilisable (mm).

SAR : Sodium Absorption Ratio.

SSP : Soluble Sodium Pourcentage.

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE

Chapitre I : Présentation de la zone d'études

I.1. Situation géographique	1
I.2.Caractéristique géomorphologique du bassin versant	2
I.2.1. Caractéristiques géomorphologiques.....	2
I.2.2. Forme du bassin versant.....	2
I.2.3. Rectangle équivalent	3
I.3. Couverture végétale	4
I.4. Hydrographie	5
I.5. Contexte climatique	6
I.5.1.Précipitations.....	7
I.5.2.Estimation de la lame d'eau précipitée.....	10
I.5.3.Température.....	11
I.5.4. L'humidité relative	13
I.5.5.Vent	14
5-6-Régime climatique	15
-5-7-Evapotranspiration.....	17
.5.8.Estimation du ruissellement et de l'infiltration.....	20
I.6. CADRE GEOLOGIQUE	21
I.6.1.Description lithostratigraphique du secteur d'étude.....	21
I.6.2.Formations primaires.....	22
I.6.3.Formations secondaires.....	22
I.6.4. formations tertiaires.....	24
I.6.5. Quaternaire	25
I.7.Aperçu géophysique	28
I.8.Pédologie	30
Conclusion	31

Chapitre II : Matériels et méthodes

II. Méthodes d'échantillonnage et d'analyse	32
II.1. Méthode d'échantillonnage et de conservation	32
II.1.2. Présentation des méthodes d'analyses.....	32
II.1.3. Contrôle des résultats d'analyse.....	33
II.2. Paramètres physico-chimiques	33
II.2.1. Température.....	33
II.2.2. Potentiel d'Hydrogène (pH)	34
II.2.3. Conductivité électrique (CE).....	34
II.2.4. dureté	34
II.3. Eléments majeurs...	34
II.3.1. Cations.....	35
II.3.2. Anions	36
II.4. Faciès chimiques	37
II.4.1. Représentation graphique des analyses chimiques.....	37
II.5. Rapport ionique	37
II.6. L'indice d'échange de base au sein des aquifères (i.e.b.)	37
II.7. Normes de la qualité	38
II.7.1. Norme de l'alimentation en eau potable.....	38
II.7.2. Eau destinée à l'irrigation.....	39
II.8. Classification des eaux d'irrigation sur la base du SAR	39
II.8.1. Classification des eaux d'irrigation sur la base du SAR ajusté	40
II.8.2. Classification des eaux d'irrigation sur la base du SSP	41
II.8.3. Classification des eaux d'irrigation par la méthode de Richards.....	42
Conclusion	42

Chapitre III : Résultats et discussion

III.1. Description et caractéristique du réseau de la surveillance	43
III.2. Etude de l'évaluation piézométrique dans la nappe alluviale	44
III.2.1. Evolution de la piézométrie dans le temps	44

III.2.2. Variation des profondeurs d'eau de la nappe dans le temps	46
III.2.3. Alimentation et drainage de la nappe.....	46
III.3. Etude Hydrochimique	47
III.3.1. Description sommaire des paramètres physico-chimiques.....	47
III.3.2. Paramètres physiques des eaux souterraines.....	48
III.3.3. Paramètres chimiques des eaux souterraines.....	51
III.3.4. Rapports caractéristiques.....	58
III.3.5. Indice d'échange de base	59
III.3.6. Représentation graphique des faciès hydrochimiques	60
III.4. Evolution de chimisme d'eau de la nappe dans le temps	62
III.4.1. Evolution temporelle du Calcium	62
III.4.2. Evolution temporelle du Magnésium	62
III.4.3. Evolution temporelle du Chlorure	63
III.4.4. Evolution temporelle des Sulfates	64
III.4.5. Evolution temporelle du Potassium.....	64
III.4.6. Evolution temporelle du sodium.....	65
III.4.7. Evolution temporelle du bicarbonate.....	66
III.4.8. Evolution temporelle du nitrate.....	66
III.5. Aptitude physico-chimiques des eaux de la nappe à l'irrigation	67
III.5.1. Estimation du SAR	67
III.5.2. Estimation SAR Ajusté	69
III.5.3. Estimation SSP	69
Conclusion	70
Conclusion générale	71

Liste des figures

Fig. 1: Situation géographique du sous bassin versant de l'Oued El Hachem

Fig. 2 : couvert végétale de bassin versant de l'Oued El Hachem (Farrah 2006 modifié)

Fig. 3 : Réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued El Hachem
(Farrah 2006 modifié)

Fig.4 : variation des précipitations annuelles de la station d'oued Bellah

Fig.5 : variation des précipitations annuelles de la station de Boukourdene

Fig. 6: Variation des précipitations moyennes mensuelles pour station d'Oued Bellah

Fig.7: Variation des précipitations moyennes mensuelles pour la station de Boukourdene

Fig. 8 : Variation de la température mensuelle de la station de Boukourdene

Fig. 9 : Diagramme Ombrothermique

Fig. 10 : Variation de l'humidité mensuelle de la station de Boukourdene

Fig. 11 : Variation de vent mensuelle de la station de Boukourdene

Fig. 12 : Climagramme d'EMBERGER

Fig. 13 : Carte géologique du sous bassin versant de l'oued El-Hachem

Fig.14 : Log stratigraphique des formations de la vallée de l'Oued El Hachem et leur caractéristique hydrogéologique.

Fig.15 : Coupes géophysiques

Fig.16 : Evolution de niveau piézométrique dans le temps au niveau de la nappe de l'Oued El Hachem (Périodes des basses eaux 2005, 2007, 2009, 2011 et 2014)

Fig. 17 : Carte piézométrique de la basse vallée de l'Oued El Hachem (basses eaux 2014)

Fig.18 : Variation des profondeurs d'eau en 2005, 2007, 2009, 2011 et 2014 (période des basses eaux)

Fig. 19: Carte de la répartition de résidu sec (période des basses eaux 2015)

Fig. 20: Carte de la répartition de la conductivité électrique (Période des basses eaux 2015)

Fig.21 : Carte de la répartition du calcium (basses eaux 2015)

Fig.22: Carte de la répartition du Magnésium (basses eaux 2015)

Fig.23: Carte de la répartition du Sodium (basses eaux 2015)

Fig.24 : Carte de la répartition des Potassium (basses eaux 2015)

Fig.25 : Carte de la répartition des chlorures (période des basses eaux 2015)

Fig.26 : Carte de la répartition des Sulfates (basses eaux 2015)

Fig.27 : Carte de la répartition des Nitrates (basses eaux 2015)

Fig.28 : Carte de la répartition des Bicarbonates (basses eaux 2015)

Fig. 29: Projection des résultats d'analyse sur le diagramme de PIPER (Basses eaux2015).

Fig. 30: Projection des résultats sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff (Basses eaux 2015)

Fig.31 : Evolution de calcium dans le temps

Fig.32 : Evolution de Magnésium dans le temps

Fig.33 : Evolution de Chlorure dans le temps

Fig.34 : Evolution de sulfate dans le temps

Fig.35 : Evolution de potassium dans le temps

Fig.36 : Evolution de sodium dans le temps

Fig.37 : Evolution de bicarbonate dans le temps

Fig38 : Evolution de nitrate dans le temps

Fig.39 : Représentation des résultats d'analyse sur le diagramme de Reverside (basses eaux 2015)

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques géomorphologiques du bassin versant de l'Oued El Hachem

Tableau 2 : Caractéristiques des stations pluviométriques

Tableau 3: variation des précipitations moyennes mensuelles

Tableau 4: variation des précipitations moyennes mensuelles

Tableau 5 : Précipitations moyennes annuelles observées à chaque station

Tableau 6 : Les températures maximales, moyennes et minimales enregistrées à
La station de Boukourdene (1988-2015)

Tableau 7 : Moyenne mensuelle des températures et précipitations enregistrées à la station de Boukourdene (1988-2015)

Tableau 8 : Valeurs moyennes mensuelles de l'humidité relative au niveau de La station Boukourdene

Tableau 9 : Valeurs moyennes mensuelles de la vitesse du vent, station Boukourdene

Tableau 10 : Valeurs de l'indice de De Martonne

Tableau 11: Valeurs de l'ETP estimées par la formule de Thornthwaite.

Tableau 12 : Bilan hydrologique moyen par la méthode de Thornthwaite, station de Boukourdene (1988-2015)

Tableau 13 : Valeurs des différents termes du bilan hydrologique

Tableau 14 : Risque de conductivité électrique sur l'eau d'irrigation

Tableau 15 : Normes de qualité des eaux destinées à l'alimentation en eau potable

Tableau 16 : Normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation

Tableau 17 : Tables utilisées pour calculer le pHc (Bulletin F.A.O N°29, 1976)

Tableau 18 : Risque de bicarbonate sur l'eau d'irrigation

Tableau 19 : Paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la nappe alluviale de l'Oued El Hachem (Basses eaux 2015)

Tableau 20: Classification de l'eau selon la dureté totale (d'après De Fulvio et al., 1976)

Tableau 21 : Rapports caractéristiques des eaux souterraines (basses eaux 2015)

Tableau 22 : valeurs d'indice d'échange de base

Tableau 23 : Valeurs calculés du SAR, en se basant sur les analyses des basses eaux 2015

Tableau 24 : Pourcentage des classes des points d'eau

Tableau 25 : Valeurs du SAR Ajusté des eaux souterraines de la vallée de l'Oued El Hachem

Tableau26 : Valeurs des pourcentages en Sodium

Tableau 27 : variation de RSC entre les deux compagnes

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'eau fait partie de notre environnement naturel tout comme l'air que nous respirons et la terre qui nous nourrit, elle constitue un des éléments familiers de notre vie quotidienne et l'une des principales richesses rare.

Les eaux souterraines jouent un rôle important dans la plupart des régions du monde surtout dans les zones aride et semi-aride. Afin d'avoir une eau de bonne qualité pour l'approvisionnement en eau potable ainsi que pour l'agriculture et l'industrie, il est nécessaire de les protéger contre toute sorte de pollution. Elles sont polluées généralement à partir de la surface (utilisation non rationnel des engrais chimiques en agriculture, et l'infiltration des eaux usées), comme elles sont irréversiblement endommagées par l'intrusion d'eau saline, ou par des formations géologiques.

En Algérie, l'exploitation de ces ressources est très intense, avec les besoins grandissant liée à l'essor démographique, et le développement accéléré des activités économiques, notamment l'agriculture et l'industrie.

La wilaya de Tipaza présente quelques réservoirs en eau souterraine, où on trouve la nappe d'Oued El Hachem, l'une de principale ressource dans la région. Cette dernière est destinée à alimenter les régions côtières telles que Cherchell, Sidi Ghiles et Tipaza.

Le but de notre travail est de caractérisation physico-chimiques des eaux de la nappe alluvial d'Oued El Hachem, afin de préciser l'aptitude des eaux de cette nappe à l'alimentation en eau potable, et à l'utilisation en agriculture. Nous avons basé sur les normes de potabilité, et les normes pour l'irrigation recommandée par l'OMS et par le gouvernement Algérienne.

CHAPITRE I :

**PRESENTATION DE LA ZONE
D'ETUDE**

Introduction

Dans ce chapitre, Nous donnons un aperçu général sur 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 région étudiée est située dans la wilaya de Tipaza, à mi-chemin entre le chef-lieu de la wilaya de Tipaza et la ville de Cherchell. Elle fait partie de l'Atlas tellien et se trouve au pied du versant Sud du massif de Chenoua.

La région d'étude est traversée par la route nationale Alger –Cherchell, elle est limitée :-Au Nord par la mer Méditerranée ;

- Au Sud par Djebel Boumaad ;
- A l'Est par Djebel Chenoua et Djebel Mered ;
- A l'Ouest par Djebel Koul Ali

La limite Sud-Est est matérialisée par l'envoyage de calcaires méridionaux du Djebel Tabaraned et le village de Sidi Amar à l'Ouest.

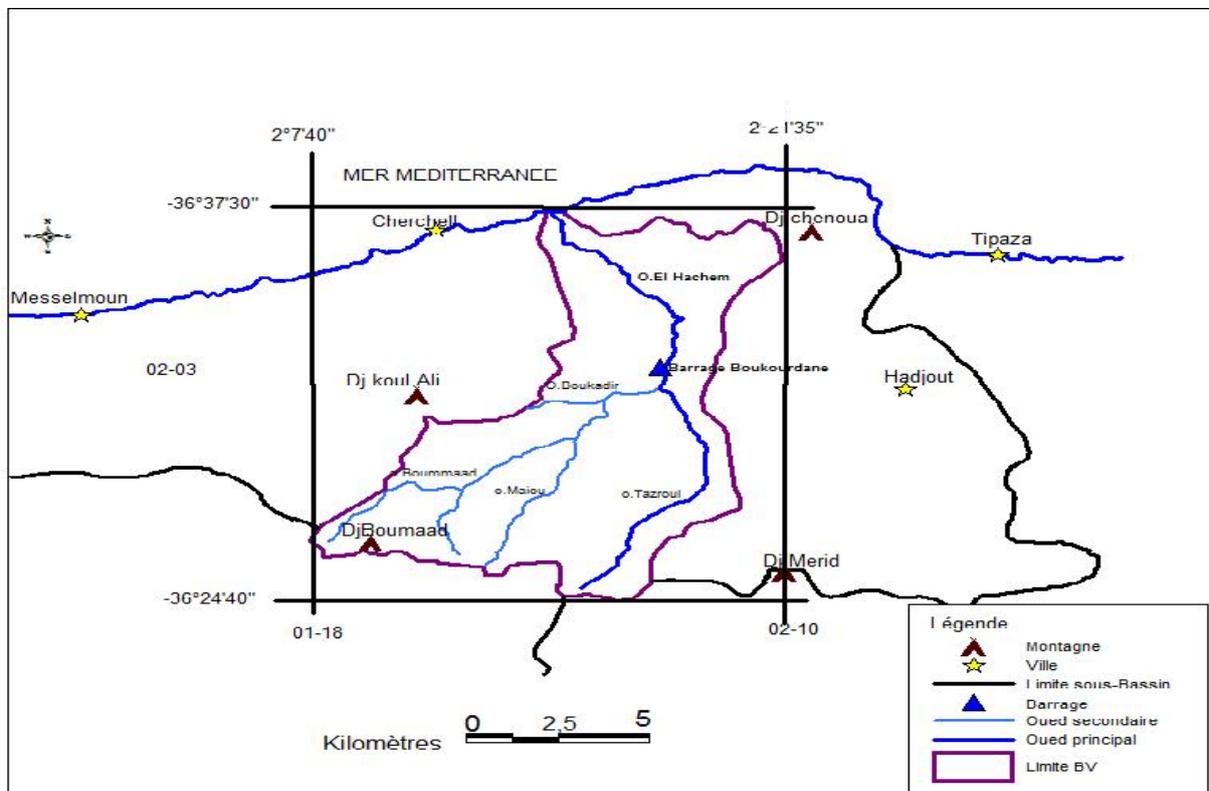


Fig. 1: Situation géographique du sous bassin versant de l'Oued El Hachem.

I.2 Caractéristiques géomorphologiques du bassin versant

Le bassin versant de l'Oued El Hachem, ou bassin du «côtiers Algérois » est localisé à 75 km à l'Ouest d'Alger, à proximité de la ville de Cherchell dans une zone montagneuse dominée par les monts du Brahane.

La zone d'étude s'étend depuis la montagne de Boumâad au Sud (1417m) jusqu'à la mer Méditerranée au Nord, elle est comprise entre les latitudes 36°24'40'' et 36°37'30'' Nord et les longitudes 2°7' 40'' et 2°21'35'' Est.

L'assemblage de quatre cartes topographiques à l'échelle du 1 /50.000è (Cherchell-Tipaza- Menacer - Hadjout) nous a permis de délimiter la zone d'étude.

I.2.1 Caractéristiques géomorphologiques

La variation des paramètres physiques et géomorphologiques au sein d'un bassin versant influe sur son comportement hydrologique.

Le bassin versant de l'Oued El Hachem dont le code est **02-03**, occupe une superficie de 230,5 Km² et un périmètre de 85Km. Il présente une forme rectangulaire allongée d'orientation Sud -Nord, suggérant à priori le ruissellement des eaux superficielles aux dépens de l'infiltration, ceci est montré visiblement par la valeur de Kc et les dimensions du rectangle équivalent (L, l).

Les altitudes extrêmes du bassin versant sont comprises entre 0 m à l'embouchure et 1417m sur les bordures Sud- Ouest du Djebel Boumâad et l'altitude moyenne du bassin versant est de 410 m.

I.2.2 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 important, ce qui favorise l'infiltration aux dépens du ruissellement (Roche 1963).

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

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

P = Périmètre du bassin versant (Km)

A = Surface du bassin versant (Km²)

$$Kc = 0.28 \frac{85}{\sqrt{230.5}} = 1.57$$

La valeur de Kc permet de conclure que le bassin versant de l'Oued El Hachem présente une forme allongée, suggérant a priori le ruissellement des eaux superficielles aux dépens de l'infiltration.

I .2.3 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 :

$$L = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right] = 36.17 \text{ Km}$$

$$l = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right] = 6.38 \text{ Km}$$

Avec :

A = Surface du bassin versant en Km².

Kc = Indice de compacité de Gravélius.

L = Longueur du rectangle en Km.

l = 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.

L'analyse de ces différents paramètres permet de rechercher les causes des variations du régime hydrologique. Les caractéristiques du bassin versant de l'Oued El Hachem sont portées dans le tableau 1 ci-dessous :

Tableau 1 : Caractéristiques géomorphologiques du bassin versant de l'Oued El Hachem

PARAMETRES GEOMORPHOLOGIQUES	VALEURS
Altitude maximum (m)	1417
Altitude minimum (m)	0
Altitude de fréquence 50% (m)	420
Altitude moyenne (m)	410
Surface (Km ²)	230.5
Périmètre (Km)	85
Longueur du rectangle équivalent (Km)	36.17
Largeur du rectangle équivalent (Km)	6.38
Indice de compacité (K _c)	1.57
Indice de pente globale (%)	2.43
Densité de drainage (D _d) (Km/Km ²)	3.42
Coefficient de torrentialité (1/ Km ³)	25.48
Longueur de l'oued El Hachem (Km)	34

ANRH- Blida (2004)

I.3 La 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'eau qui seront moins chargées en matière solide.

Dans notre région d'étude, la couverture végétale est dominée par des cultures annuelles (cultures maraîchères, des agrumes et des fourrages, forêts...)

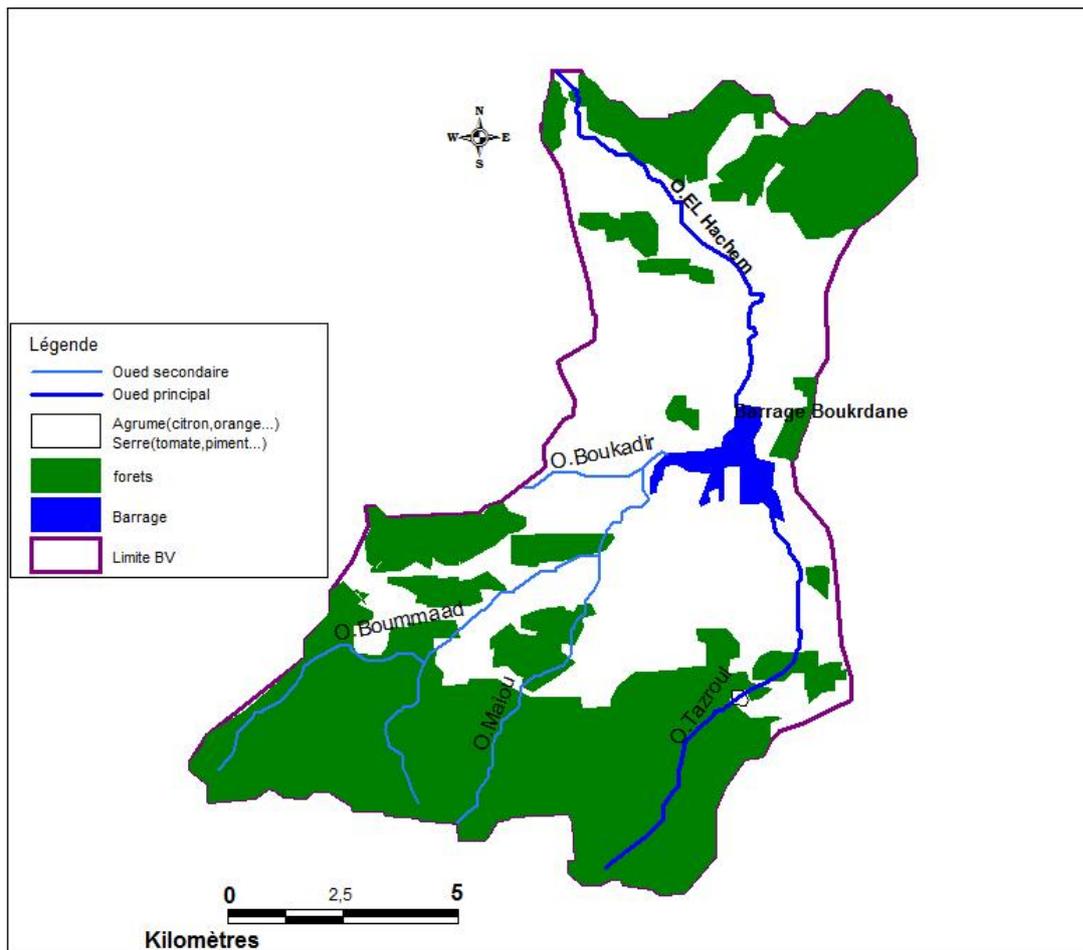


Fig. 2 : couvert végétale de bassin versant de l'Oued El Hachem (Fareh 2006 modifié).

I.4 Hydrographie

L'Oued El Hachem est issu à l'amont de Sidi-Amar de la conjonction de deux Oueds : l'Oued Fadjana de direction Nord-Sud et l'Oued Boukadir de direction Ouest-Est en provenance de Menacer.

Le réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued El Hachem est particulièrement dense à l'amont comme le confirme la valeur de la densité de drainage $D_d = 3.42 \text{ Km/Km}^2$ présentant une longueur de 34Km.

Le bassin versant très limité de l'Oued Fadjana ne fournit pas d'apport pérenne. Seul le bassin versant de l'Oued El Hachem, amputé des bassins versants des Oueds Fadjana et Boukadir possède quelques influences sur les débits d'étiages.

Le versant rive droite de l'Oued El Hachem est lithologiquement formé par des marnes et d'un flysch, donc de terrains imperméables.

Le versant rive gauche est constitué par des calcaires profondément entaillés par les Oueds Malou et Boummaad recueillant les eaux de ruissellement de Djebel Tabarande. Ces calcaires peuvent cependant former un réservoir important susceptible d'alimenter les alluvions de la plaine de l'Oued El Hachem et assurant un débit pérenne au seuil de Bordj-Ghobrini.

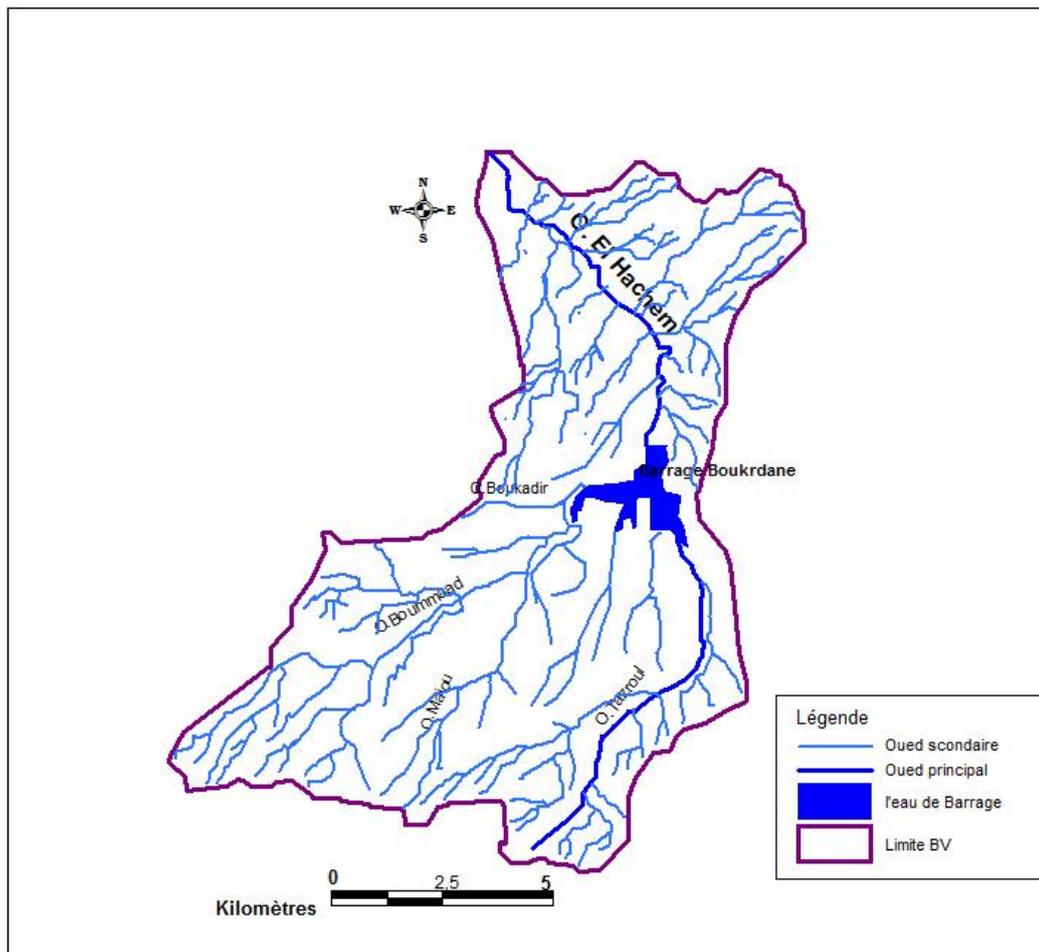


Fig. 3 : Réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued El Hachem (Fareh 2006 modifié).

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 d'Oued Bellah et celle de Barrage Boukourdene.

Tableau 2 : Caractéristiques des stations pluviométriques.

Nom de la station	Coordonnées Lambert		Z (m)	Code
	X (km)	Y (km)		
Oued Bellah	458.8	367.55	20	020219
Bge.Boukourdene	464.3	359.9	110	020329

I .5.1 Précipitations

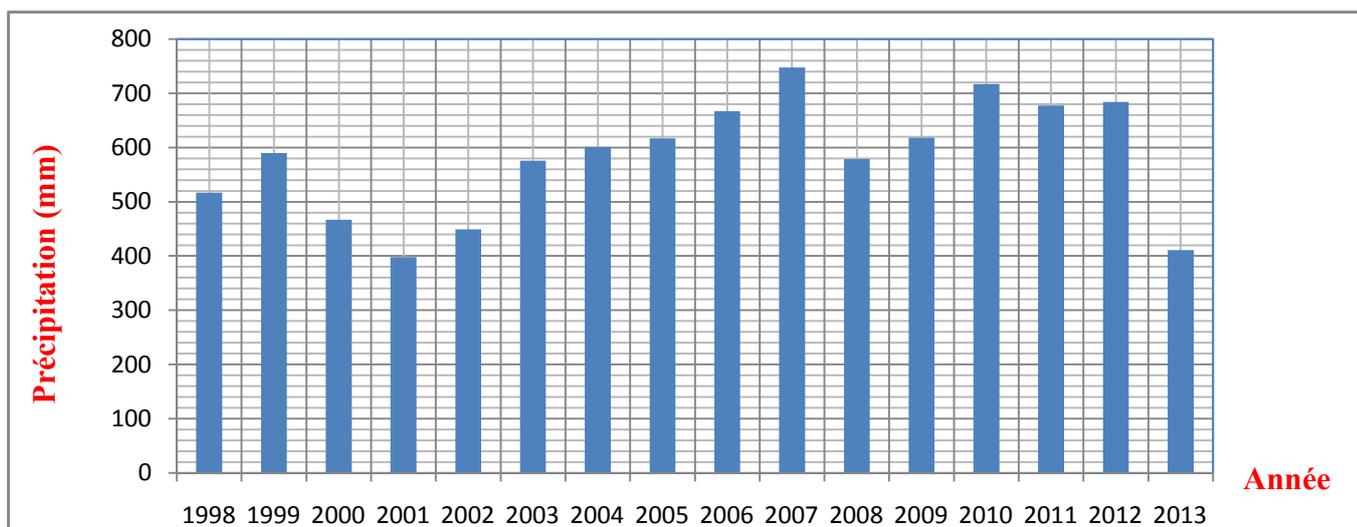
Les précipitations constituent la composante fondamentale de l'hydrologie et la connaissance de cet apport d'eau au bassin versant et à la nappe est essentielle pour appréhender l'état des réserves en eau dans le sous-sol, la recharge des nappes et le régime des cours d'eau. Pour l'étude des précipitations, nous avons sélectionné deux stations pluviométriques dont les différentes caractéristiques sont empilées dans le tableau 2.

I .5.1.1 Evolution annuelle des précipitations

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

➤ Station d'Oued Bellah :

L'analyse de la courbe des variations annuelles des précipitations, sur une période de (1998-2013) montre que l'année 2007 est la plus arrosée avec 760 mm, tandis que les années 2001 et 2013 sont les plus sèches avec 400 mm de précipitation.

**Fig.4** : variation des précipitations annuelles de la station d'Oued Bellah

(Période 1998 - 2013).

➤ **Station de Barrage Boukourdene :**

L'analyse de la courbe des variations annuelles des précipitations, sur une période de (1988-2015) montre que l'année 2007 est la plus arrosée avec 747 mm, tandis que l'année 1993 est la plus sèche avec 330 mm.

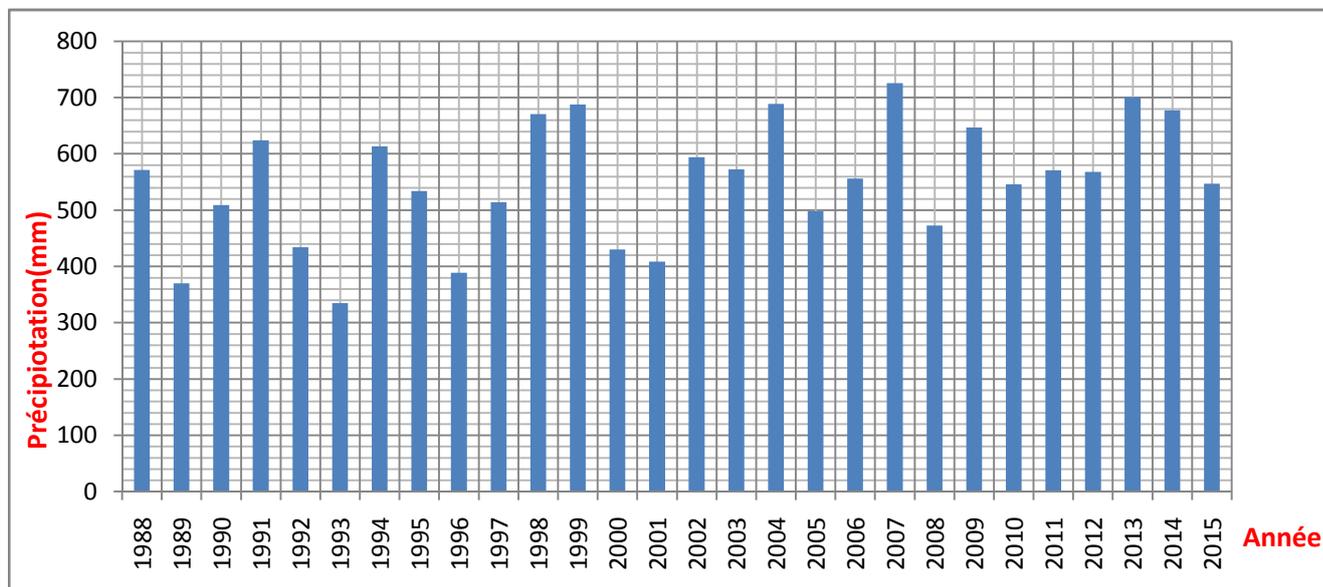


Fig.5 : variation des précipitations annuelles de la station de Barrage Boukourdene (Période 1988 - 2015).

I.5.1.2 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.

➤ **Station d'Oued Bellah :**

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 (période 1998-2013).

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août
P (mm)	24.85	42.07	111.24	93.31	63.55	74.78	47.30	40.09	43.39	4.41	1.22	3.61

La courbe de variation des précipitations moyennes mensuelles sur une période (1998-2013), montre que le mois de Novembre est le plus pluvieux avec 111.24 mm, alors que le mois de Juillet est le plus sec avec 1.22 mm.

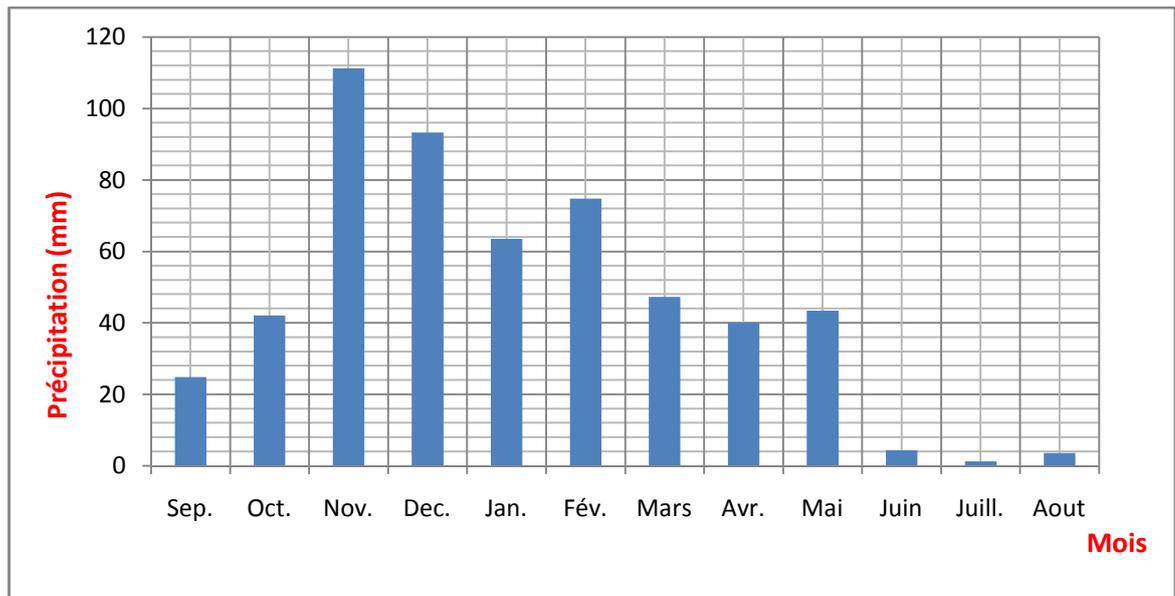


Fig. 6: Variation des précipitations moyennes mensuelles pour station d'Oued Bellah (période 1998 - 2013).

➤ **Station de Barrage Boukourdene :**

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

Tableau 4: variation des précipitations moyennes mensuelles (période 1988-2015).

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout
P (mm)	30.65	45.22	91.04	80.22	69.25	70.80	61.78	60.39	35.87	7.57	1.56	3.15

La courbe de variation des précipitations moyennes mensuelles sur une période (1988-2015), montre que le mois de Novembre est le plus pluvieux avec 91.04 mm, alors que le mois de Juillet est le plus sec avec 1.56 mm.

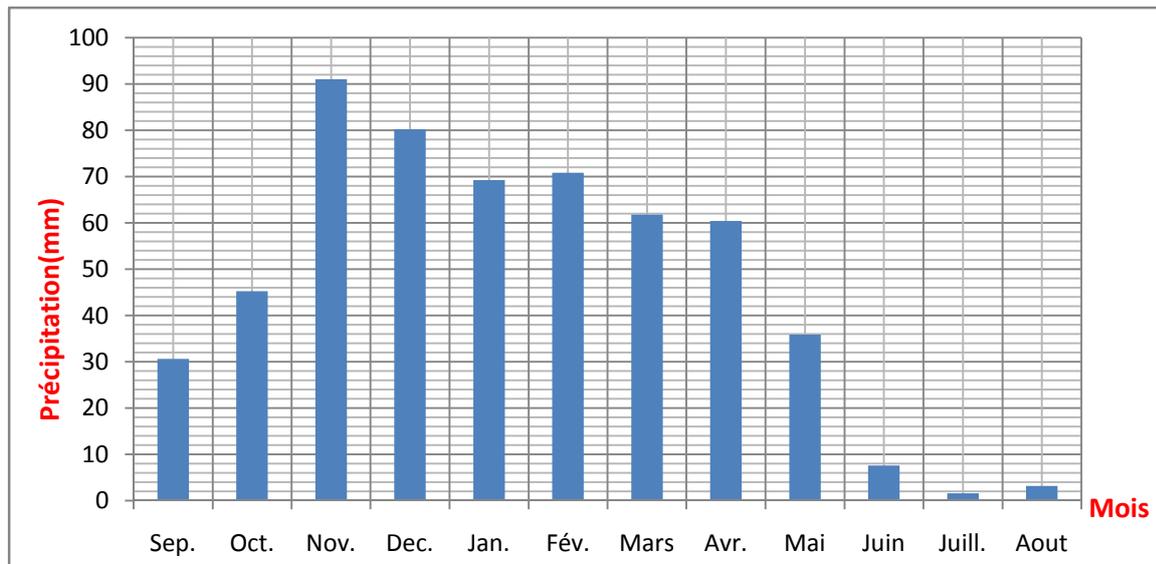


Fig.7: Variation des précipitations moyennes mensuelles pour la station de Barrage Boukourdene (période 1988-2015).

I .5.2 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 :

P_i = Pluviométrie moyenne annuelle de la station (mm).

n = nombre de station.

Tableau 5 : Précipitations moyennes annuelles observées à chaque station.

Station	Oued Bellah (période1998-2013)	Barrage Boukourdene (période1988-2015)
Précipitation moyenne annuelle (mm)	549,87	557.54

I.5.3 Température

Ce paramètre conditionne l'évaluation du déficit d'écoulement qui intervient dans l'estimation du bilan hydrologique. La station de Barrage Boukourdene a été choisie pour l'analyse des températures vue sa proximité à la plaine de l'Oued El Hachem.

Les températures mensuelles en (°C) relevées à la station de Barrage Boukourdene pour la période (1988-2015) sont indiquées dans le tableau suivant :

Tableau 6 : Les températures maximales, moyennes et minimales enregistrées à la station de Barrage Boukourdene (1988-2015).

	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août
T moy.min (°C)	16.39	12.33	9.38	7.26	5.62	5.87	7.95	9.66	12.84	17.50	19.84	19.63
T moy. (°C)	23.10	19.52	15.41	12.22	11.22	11.88	13.64	15.46	18.80	22.22	26.16	26.49
T moy.max (°C)	30.94	28.63	22.47	18.37	17.96	18.33	20.61	22.41	26.30	29.66	33.45	33.42

La variation de la température moyenne mensuelle, sur une période de (1988-2015), montre que les valeurs les plus élevées sont observées pendant l'été (Juillet – Août) avec des températures allant jusqu'à 33.45 °C. Les valeurs les plus basses, sont de 5.62 à 5.87°C, observées durant la période hivernale (Janvier – Février). La valeur de la température moyenne annuelle dans cette station est de : 18°C.

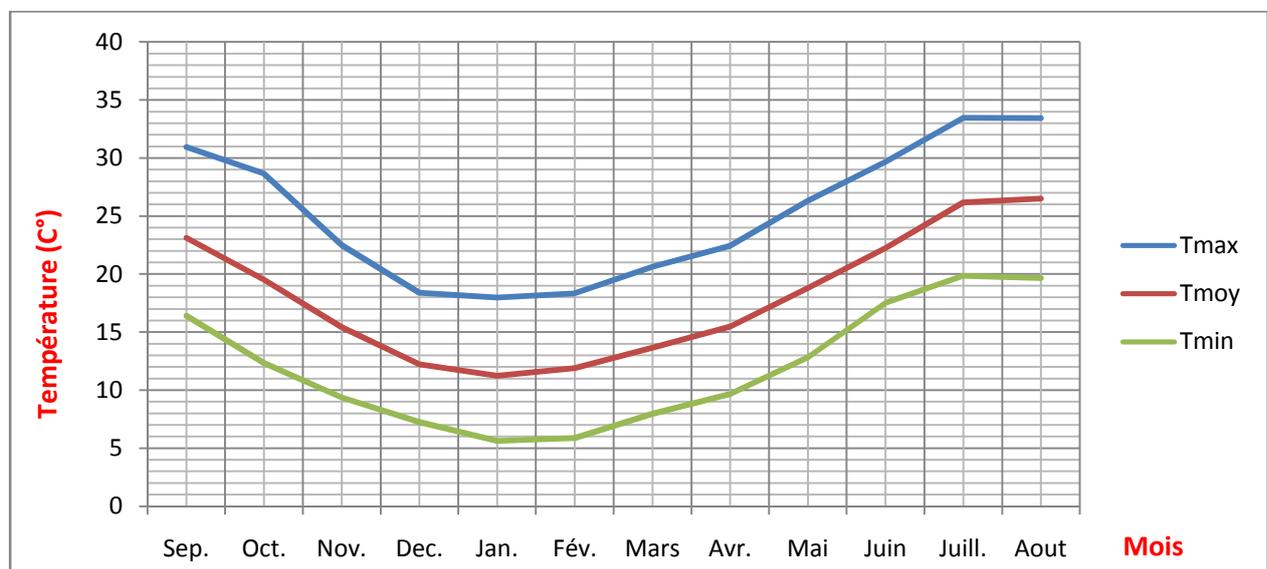


Fig. 8 : Variation de la température mensuelle de la station de Barrage Boukourdene (période 1988-2015).

Diagramme Ombrothermique :

Pour construire un diagramme Ombrothermique on porte sur l'axe horizontal des mois de l'année, sur l'axe verticale les températures à droite les précipitations à gauche. Il faut aussi respecter la règle suivante: une précipitation égale 2 températures. On représente des précipitations mensuelles par des colonnes rouges et les températures mensuelles par des points qu'on doit relier par une courbe bleue.

Dans notre cas on a choisi la station de Boukourdene dont les valeurs de la température moyenne mensuelle et la précipitation sont donnée dans le tableau suivant :

Tableau 7 : Moyenne mensuelle des températures et précipitations enregistrées à la station de Boukourdene (1988-2015).

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout
Pi (mm)	30.65	45.22	91.04	80.22	69.25	70.80	61.78	60.39	35.78	7.57	1.56	3.15
2Ti (°C)	23.10	19.52	15.41	12.22	11.22	11.88	13.64	15.46	18.80	22.22	26.16	26.49

Source : ANRH-Blida

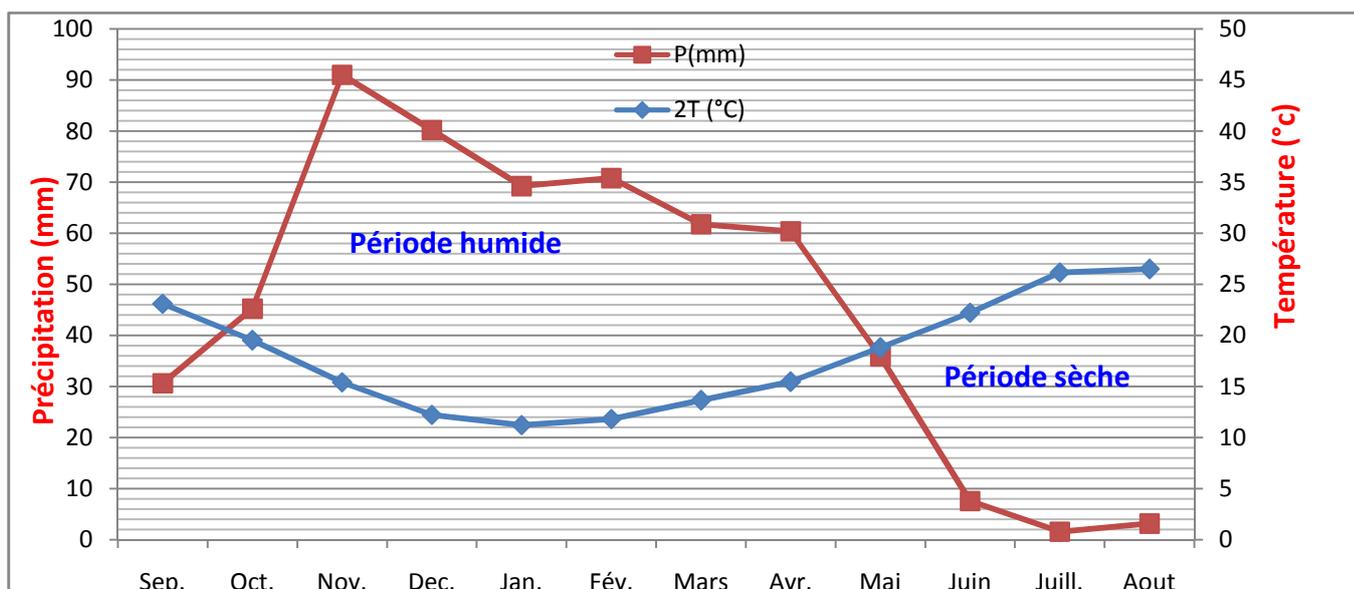


Fig. 9 : Diagramme Ombrothermique.

I.5.4 L'humidité relative :

L'humidité relative ou l'état hydrométrique est le rapport exprimé en pourcentage de la tension maximale correspondant à la température « T ».

Tableau 8 : Valeurs moyennes mensuelles de l'humidité relative au niveau de la station Barrage Boukourdene (période 1988-2015).

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Moy.
H (%)	77	75	73	74	75	72	74	73	74	75	77	79	75

Source : ANRH- Blida

Le tableau 8 : montre que la valeur de l'humidité relative la plus élevée est enregistrée à l'été au mois d'Août, avec une valeur de 79 % et la valeur minimale est observée en hiver au mois de Février, soit une valeur de 72 %. Il est à signaler que l'humidité relative dans cette région augmente le matin et le soir de la journée par rapport à midi du jour.

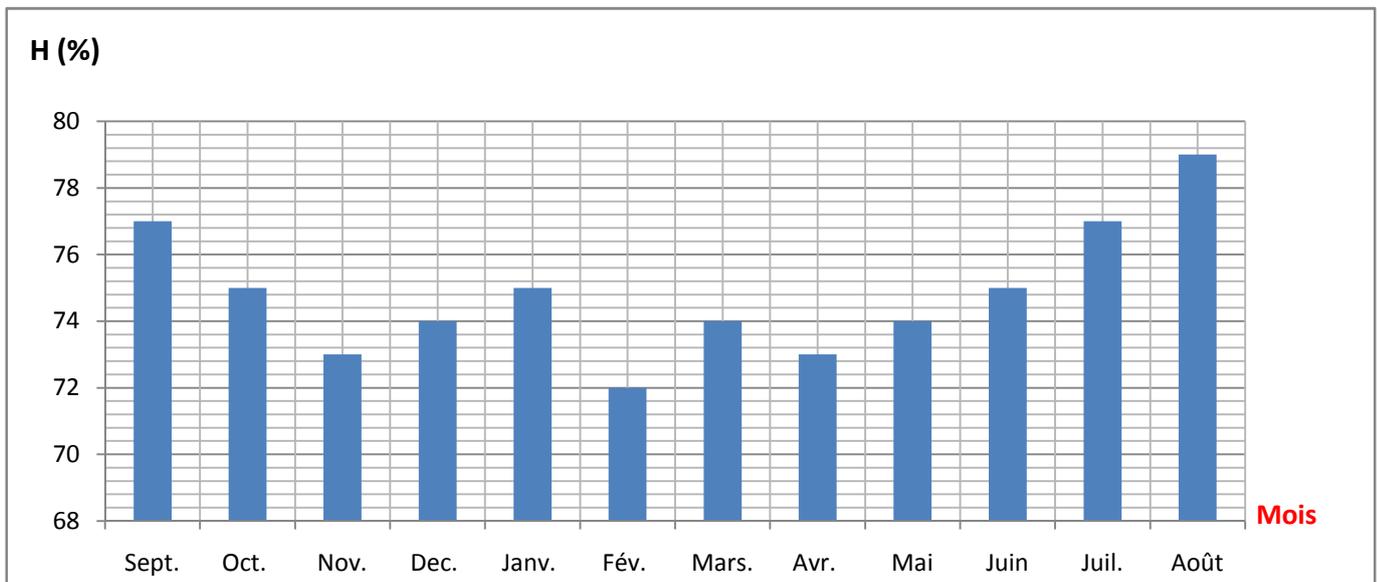


Fig. 10 : Variation de l'humidité mensuelle de la station de Barrage Boukourdene

(Période 1987-2015).

I.5.5 vent

Le vent a une influence directe sur le régime climatique d'une région tel que les précipitations, l'évapotranspiration,... Donc il convient de connaître la répartition mensuelle des vents, leur direction et leur fréquence (tableau 9).

Tableau 9 : Valeurs moyennes mensuelles de la vitesse du vent, station Boukourdene (période 1996-2015).

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Moy.
V _{moy} (km/h)	4.23	4.29	4.39	4.29	4.78	6.69	4.57	4.33	4.36	4.65	5.37	4.36	4.69

Source : ANRH-Blida

Dans cette région les vents dominants sont ceux qui soufflent du Nord-Est et de l'Ouest avec des vitesses moyennes mensuelles variant entre 4.23 km/h au mois de Septembre à une vitesse moyenne maximale de 6.69 km/h au mois de Février. Mais généralement, les vitesses moyennes sont les mêmes pour toute l'année à l'exception du mois de Février.

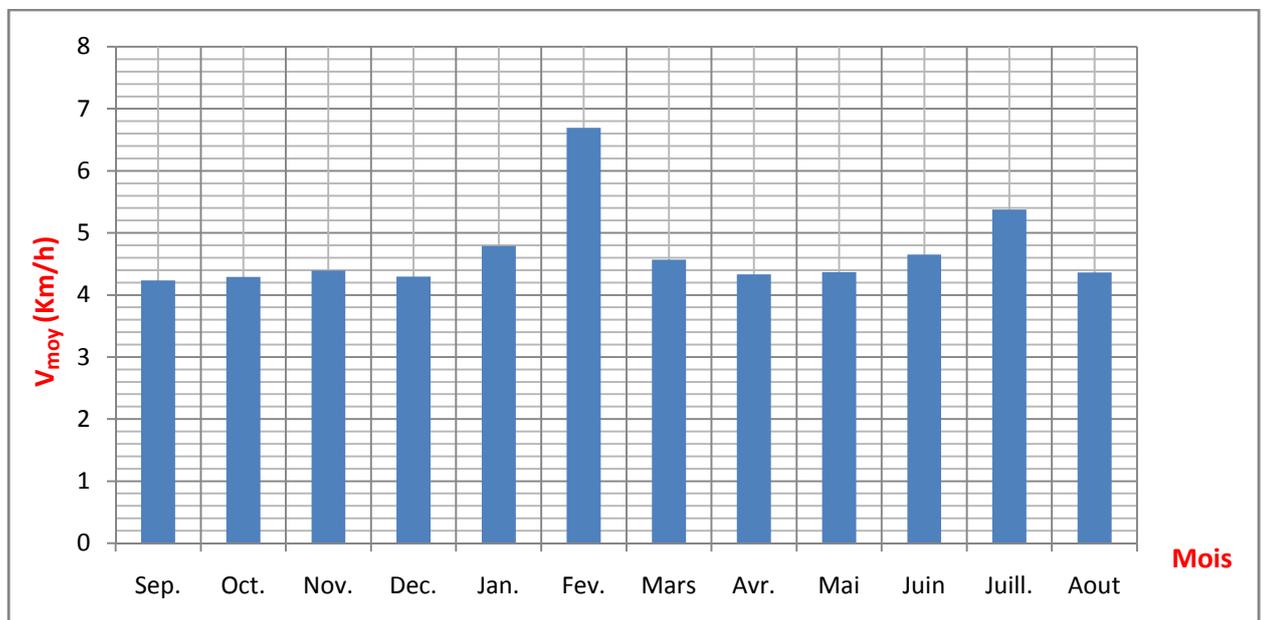


Fig. 11 : Variation de vent mensuelle de la station de Barrage Boukourdene (Période 1997-2015).

I .5.6 Régime climatique

I .5.6.1 Indice de De Martonne

Cet indice est fonction de la température et de la précipitation moyenne annuelle (De Martonne 1950). 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 = 553.70mm et T = 18 °C, on a I = 21.11.

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

Tableau 10 : Valeurs de l'indice de De Martonne.

Valeur de I_{DM}	Aridité	Signification
< 5	Aridité absolue	Désert sans culture
5 à 10	Aride	Désert et steppe ; aucune culture sans irrigation.
10 à 20	Semi-aride	Formation herbacées, irrigation nécessaire pour les cultures exigeant de l'humidité.
20 à 30	Semi-humide	Prairie naturelle ; irrigation généralement non nécessaire.
30 à 40	Humide	Les arbres jouent un rôle de plus grand dans le paysage.
> 40	Humide	La forêt est partout, les cultures céréales tendent à être remplacées par les herbages.

La station de Barrage Boukourdene bénéficie d'un climat méditerranéen en semi humide.

I .5.6.2 Formule de STEWART

STEWART a élaboré une formule permet de déterminer l'étage bioclimatique d'une station donnée, adoptée pour l'Algérie et le Maroc, soit:

$$Q2 = 3.43 (P/M-m) \text{ STEWART (1968)}$$

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 $P = 557.54 \text{ mm}$, $M = 33.45 \text{ °C}$ et $m = 5.62 \text{ °C}$, ce qui donne $Q2 = 68.24$.

Ce qui indique que notre zone d'étude présente un climat semi-aride.

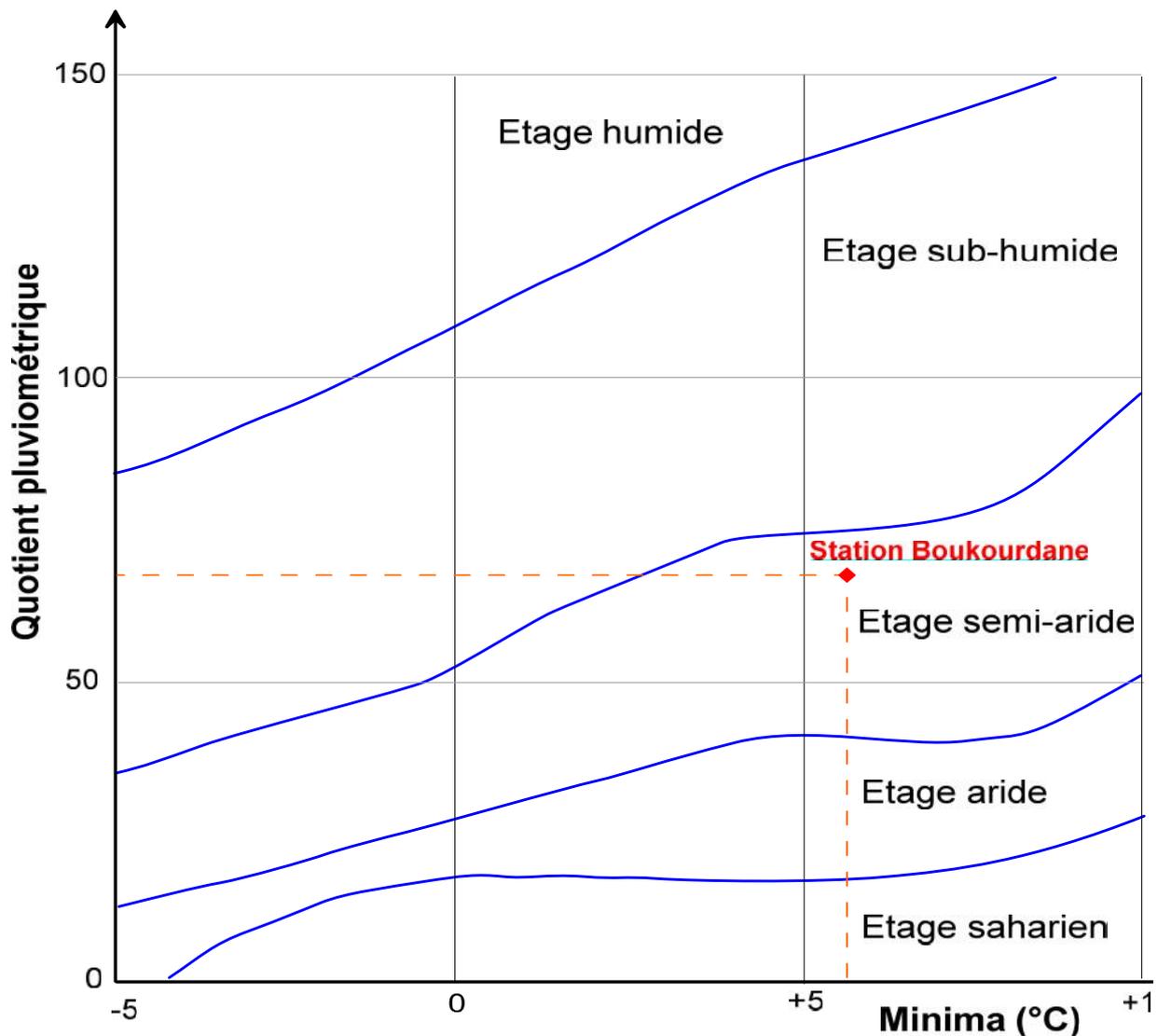


Fig. 12. Climagramme d'EMBERGER.

I .5.7 Evapotranspiration

I -.5.7.1 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.

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 :

$$a = 1.6 (I/100) + 0.5$$

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

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

T = Température moyenne mensuelle en (° C).

Ce qui donne : I = 80.36 et a = 1.78

ETP : Evapotranspiration 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 11: Valeurs de l'ETP estimées par la formule de Thornthwaite

	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai.	Juin	Juil.	Août
T (C°)	23.10	19.52	15.41	12.22	11.22	11.88	13.64	15.46	18.80	22.22	26.16	26.49
ETP (mm)	104.80	77.66	50.98	33.73	28.98	32.08	41.03	51.27	72.63	97.80	130.78	133.73
K	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.22	1.24	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85
i	4.29	7.86	5.49	3.86	3.39	3.70	4.56	5.51	7.42	9.56	12.24	12.48
ETPc (mm)	91.17	66.01	52.50	36.76	35.03	39.13	50.87	59.47	74.80	94.86	112.47	113.67

ETP = Evapotranspiration potentielle obtenue par la formule de Thornthwaite.

ETPc = Evapotranspiration potentielle corrigée.

ETPc annuelle = **826.77mm**.

I.5.7.2 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 pris entre 50mm et 200 mm).

Le mois de Septembre a 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'infiltré.

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 (Thornthwaite 1948).

L'estimation des réserves utiles est basée sur la structure du terrain et le couvert végétal.

Les résultats du calcul de l'ETR sont résumés dans le tableau 12.

I.5.7.3 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 :

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

Avec :

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

ETR = Evapotranspiration réelle en (mm).

R = Ruissellement moyen annuel en (mm).

I= Infiltration moyenne annuelle en (mm).

Tableau 12 : Bilan hydrologique moyen par la méthode de Thornthwaite, station de Barrage Boukourdene (1988-2015).

	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Total
P (mm)	30.65	45.22	91.04	80.22	69.25	70.80	61.78	60.39	35.87	7.57	1.56	3.15	557.54
T (°C)	23.10	19.52	15.41	12.22	11.22	11.88	13.64	15.46	18.80	22.22	26.16	26.49	
ETP (mm)	104.80	77.66	50.98	33.73	28.98	32.08	41.03	51.27	72.63	97.80	130.78	133.73	855.47
P - ETP	-73.43	-32.44	40.06	46.49	40.27	38.72	20.75	9.12	-36.76	-90.23	-129.2	-130.58	
RFU 100	0	0	40.06	86.55	100	100	100	100	63.24	0	0	0	
ETR (mm)	30.65	45.22	50.98	33.73	28.98	32.08	41.03	51.27	35.87	70.81	1.56	3.15	425.33
Excé (mm)	0	0	0	52.82	40.27	38.72	20.75	9.12	0	0	0	0	
Déficit (mm)	73.43	32.44	0	0	0	0	0	0	0	90.23	129.22	130.58	

L'analyse du tableau du bilan hydrologique nous amène à dire que l'ETP est élevée au mois d'Août jusqu'au mois de Septembre, avec une valeur maximale de 133.73 mm au mois d'Août, rendant ainsi nécessaire l'irrigation. A partir du mois de Novembre, on assiste à une reconstitution du stock qui s'accompagne d'une augmentation de la RFU, qui atteint son

maximum entre les mois de Janvier à Avril. Au-delà de cette période, on assiste à une baisse de la RFU, traduisant un épuisement du stock à la fin du mois d'Avril.

I .5.8 Estimation du ruissellement et de l'infiltration

I .5.8.1 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 (mm).

P : Précipitation moyenne mensuelle (mm), P = 557.54mm.

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm), ETP = 855.47 mm.

Ce qui donne, R = 78.94 mm.

I .5.8.2 Estimation de l'infiltration

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

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

Où

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 = 557.54 mm.

R = La lame d'eau ruisselée en mm ; R = 78.94 mm.

ETR = Evapotranspiration réelle en (mm) ; ETR =425.33mm.

I = P - (R + ETR), I = 557.54 – (78.94+ 425.33) = 53.27mm.

Il est à noter que cette valeur ne représente pas réellement l'infiltration dans tout le bassin, car on n'a pas tenu compte des infiltrations par l'excès des eaux d'irrigation et la possible alimentation de la nappe par l'Oued El-Hachem (relation Oued-nappe) et la répartition de la précipitation moyenne annuelle est donnée au tableau 13.

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

Tableau 13 : Valeurs des différents termes du bilan hydrologique.

terme du bilan	p	ETR		R		I	
	mm	mm	%	mm	%	mm	%
Valeurs	557.54	425.33	76.28	78.94	14.16	53.27	9.56

I.6 Cadre géologique

Selon L.GLANGEAUD (1932), la région de Cherchell appartient au Tell septentrional domaine interne des maghrébines, qui déterminent plusieurs régions naturelles correspondant à des zones stratigraphiques et tectoniques différenciées à la suite des plissements nummulitiques. On distingue du Nord au Sud :

- La terminaison de la zone des massifs anciens des Kabylie (Chenoua).
- La zone du flysch albo-aptien qui sépare la région des massifs primaires du pays crétacé.
- Le pays crétacé.
- Le Néogène transgressif.
- La terrasse de 15 à 20m.
- Les vallées larges, à fond plats, remblayées par des alluvions récentes des Oueds côtiers.

I.6.1 Description lithostratigraphique du secteur d'étude

Une description lithostratigraphique du secteur est présentée de fig.13 cette coupe à été réalisée par Glangeand en 1932.

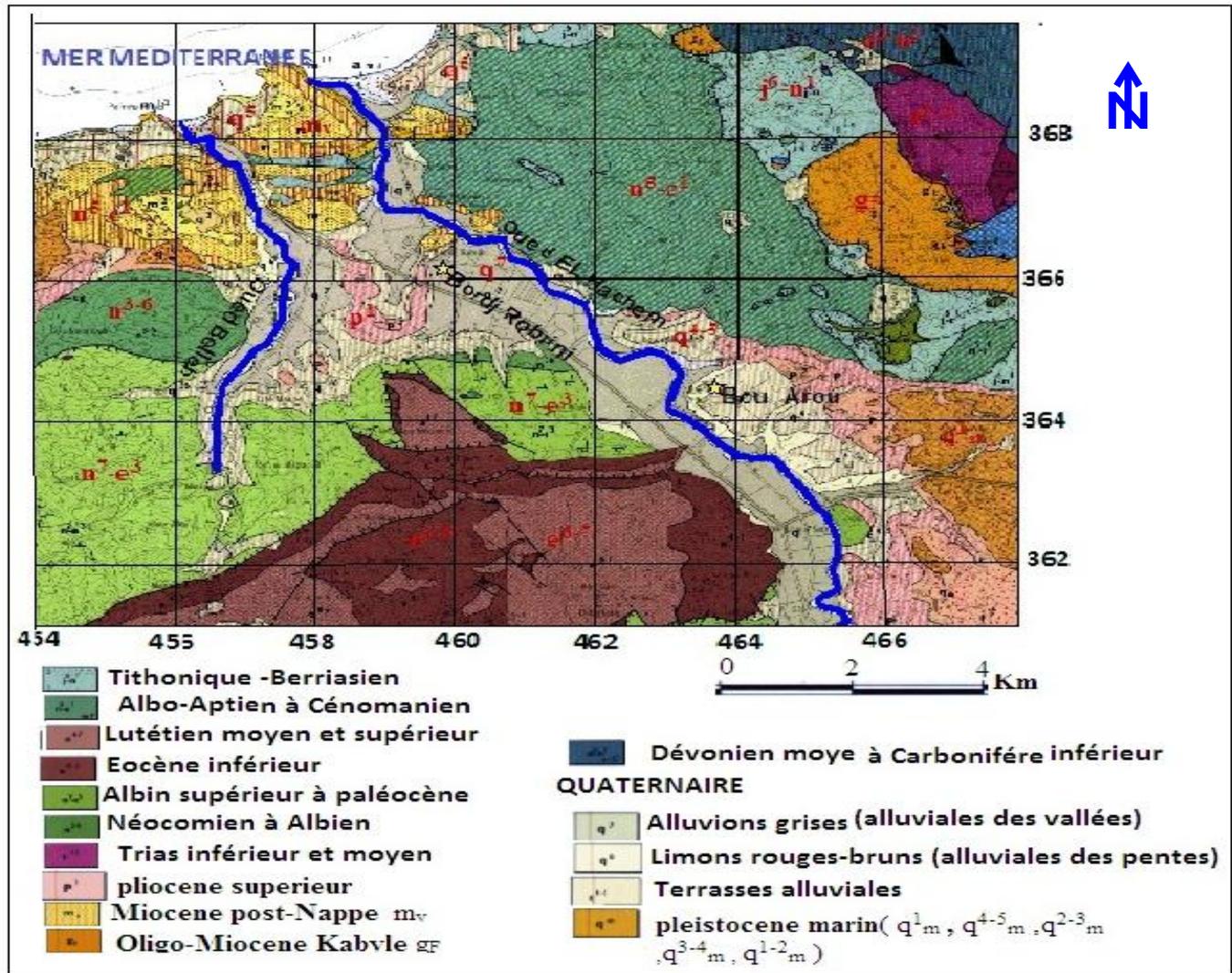


Fig. 13 : Carte géologique du sous bassin versant de l'Oued El-Hachem (extraite de la carte géo 1/50.000 cherchell).

La lithostratigraphie de la région d'Oued El-Hachem fait apparaître les formations suivantes :

I.6.2 Formations primaires

I.6.2.1 Roches cristallophylliennes

Elles sont constituées par des grès micacés, des marnes et des poudingues, elles sont attribuées au Permien par Ficheur.

I.6.3 formations secondaires

1- Trias (t)

Il est représenté par des brèches dolomitiques et gypseuses, ce complexe triasique présente deux faciès différents :

- Cargneules, dolomies jaunes formant un ensemble de faible épaisseur dans le Chenoua.
- Gypses, cargneules, dolomies moins fétides, argiles arrisées et brèche mylonitique gypseuse avec des roches exogènes.

Dans le bassin de Menacer, le Trias est formé de gypse, de marnes bariolées et de fragments de roches éruptives.

2- Jurassique (J)

Il est représenté par :

- Des calcaires massifs du Lias qui couronnent le Chenoua. Ils présentent dans leur partie supérieure quelques gros bancs bien stratifiés et à leur base des brèches plus au moins dolomitiques. Dans la partie inférieure on rencontre des calcaires compacts.
- Des calcaires en petits bancs n'offrant qu'un petit affleurement dans la région de Cherchell d'âge Lias supérieur.

Dans le bassin de Menacer, le Lias affleure dans le massif du Zaccar formé par des Lambeaux de calcaires.

3- Crétacé (C)

Il débute dans le bassin de Menacer par :

- **Néocomien** : Représenté par des schistes durs très siliceux avec quelques bancs de quartzites, atteignant 1000m d'épaisseur dans le massif de Boumâad.
- **Barrémien** : Représenté par des schistes et des calcaires avec quelques lames de quartzites.
- **L'Aptien** : Présentant deux niveaux :
 - La partie inférieure avec des marnes et calcaires en bancs.
 - La partie supérieure avec des calcaires.

Au niveau de la région de Cherchell, le Crétacé débute par :

- **L'Albien**

Le flysch albo-aptien s'étend de l'Est à l'Ouest de Cherchell sous forme d'une bande continue qui borde le littoral.

La série flysch se poursuit au sud de Cherchell où elle affleure dans les anticlinaux sous les couches Néogènes.

Dans le bassin de Menacer, les couches de cet étage se caractérisent par des schistes et quartzites en petits bancs bien réglés vers la partie inférieure, surmontés par des calcaires et des schistes noirs. Dans la partie supérieure quelques bancs de quartzites plus épais.

- **Vraconien**

Il est représenté par la formation C^{5-3} . On distingue des calcaires brèches et poudingues cénomanien de l'écaille intermédiaire entre la nappe du flysch et la zone des faciès profonds du géosynclinal de l'Atlas littoral.

- **Cénomanien**

Il existe dans les écailles intermédiaires, avec les faciès C^{5-3} au Sud, il affleure avec deux niveaux habituels, à la base des marnes schisteuses noires et à la partie supérieure, les calcaires des quatre mamelons. Ils affleurent le long de la route de Sidi Amar – Cherchell. Leur épaisseur dans ce dôme est d'environ 100 à 150m.

- **Sénonien**

Représenté par les faciès suivants :

- C^{8-7} marnes et calcaires jaunes en nodules qui présentent d'une façon non constante des nodules et des lentilles de calcaires jaunes de taille variables.
- C^{8-6} calcschistes et brèches jaunes à incérâmes. Au niveau du bassin de Menacer, on y distingue deux niveaux :
 - 1- Un niveau inférieur constitué de lentilles de calcaires qui peut atteindre 1000m de largeur.
 - 2- un niveau supérieur qui présente des marnes, des couches de microbrèches et de poudingues.

I.6.4 formations tertiaires

1 L'Eocène

Les couches éocènes sont représentées par des calcaires nummulitiques (**e**), d'âge Lutétien n'offrant qu'un petit affleurement dans la région de Cherchell.

Dans le bassin de Menacer l'éocène présente une faible extension.

2 L'Oligocène

L'oligocène marin présente une faible extension, affleurant sous forme de grès micacés et marnes à plantes (**m/b**).

3. Miocène

Le Miocène de la région littorale de Cherchell présente de bas en haut la succession suivante :

- Grès blanchâtres à Amphiope (**m**), d'âge Burdigalien.
- Marnes du Cartennien, dures, noires ou gris d'âge Burdigalien supérieur.

- Marnes et argiles bleues du Sahel.

Selon Pomel, à l'embouchure de l'Oued El Hachem, commence le bassin néogène de Cherchell. Sur la rive droite de cet Oued, le Burdigalien n'affleure que sur de faibles surfaces, aux environs de Sidi Bou Ostmane où il est constitué par des poudingues rouges formés de débris de « flysch » albo-aptien sous-jacents et par des produits éruptifs divers. Le bassin de Menacer présente toute la série de couches néogènes.

4. Pliocène

Selon Pomel, le Pliocène était signalé à l'Ouest de Cherchell, ainsi qu'au Sud au niveau du plateau de Sidi Echchérif.

- **Pliocène inférieur**

Il affleure sous forme de marnes jaunes (**p.a**) ou marnes sableuses qui forment le mamelon séparant les vallées de l'Oued Bellah et de l'Oued El Hachem. Ces marnes ont été rangées dans le Sahélien (Pomel).

Dans le bassin de Menacer, le Pliocène inférieur est représenté par des sables, grès, argiles sableuse et molasses.

- **Pliocène supérieur**

Il est marqué par la formation **P²a**, constitué de cailloutis composés principalement de roches provenant de l'Atlas d'âge villafranchien.

Une série de cônes de déjection emboîtés ont remblayé le bassin néogène de Menacer après les dépôts marins de Pliocène- inférieur.

I.6.5 Quaternaire

Il est représenté par des faciès marins et alluviaux déposés au fond des vallées larges à fond plats et de plusieurs terrasses souvent de petites dimensions.

I.6.5.1 Terrasses marines

Les plages actuelles sont formées de sables, de dunes, de limons et cailloutis des crues des grands Oueds côtiers tel que : Oued El Hachem, Bellah...etc.

Dans l'Oued El Hachem, des méplats et des surfaces d'aplanissement situées à environ 100m au-dessus de la vallée actuelle se raccordant au Sud de Sidi el Hadji avec des couches saumâtres et marines situées à une côte de 100m à 110m. Au fond de la vallée, une terrasse marquée **a²**, forme généralement un remblai de 1 à 2m au-dessus du lit de l'Oued actuel.

I.6.5.2 Terrasses alluviales

➤ **Terrasse de 15 à 20m (Q¹ m) :**

C'est la terrasse la plus nette, constituée généralement par des calcaires coquilliers. Cette terrasse s'abaisse depuis 20m jusqu'au niveau de la mer et offre en certains points des bancs de 7 à 8m d'épaisseur.

Elle présente un premier affleurement à l'embouchure de l'Oued El Hachem où elle correspond à la plate-forme côtière jusqu'à la pointe des quatre îlots, elle est recouverte en partie par des dunes.

La base de la terrasse s'abaisse d'une façon considérable et arrive dans la partie Nord-Ouest de la ville de Cherchell à 2m au-dessus du niveau des lames, tandis que sa partie supérieure recouverte de grés éoliens se maintient au voisinage de 20m.

➤ **Terrasse de 30 à 60m (q'/m)**

Ce sont des niveaux intermédiaires constitués de poudingues et grés coquilliers, présentant de petits affleurements le long de la côte.

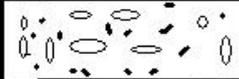
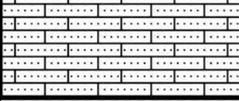
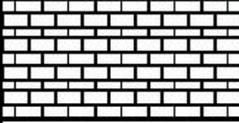
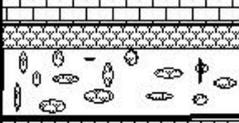
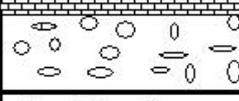
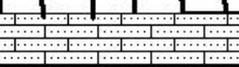
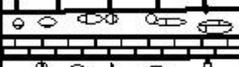
Ces terrasses se présentent généralement sous forme de petits lambeaux difficiles à configurer. Ils sont particulièrement développés dans le bassin de Menacer et sur les cônes d'alluvions limitant celui-ci à l'Est.

➤ **Terrasse de 90 à 100m**

C'est la terrasse la plus élevée qui a été marquée (**p² b**). A ce niveau, un petit lambeau de poudingues est observable au Nord-Est sur la rive gauche de l'Oued Bellah.

En remontant la vallée de l'Oued El Hachem, un petit lambeau est observable au Sud de Sidi El Hadji, constitué par des poudingues et des débris de calcaires coquilliers situés à 100 et 110m environ.

Les alluvions avec galets généralement bien roulés de cette terrasse, reposent à l'Est de Menacer sur de petits méplats représentant les restes d'une ancienne plaine alluviale dont l'altitude est située entre 200 et 240m. Cette surface d'aplanissement recoupe les alluvions villafranchiennes du cône de déjection de kT Zennagui.

Ere	Système	Etage et sous etage	Log lithostratigraphique	Lithologie	Caractéristique hydrogéologique
Quaternaire	Quaternaire	Quaternaire (q,m,qm)		plage actuelle Terrasses marines Terrasses Alluviales	permeable
		Pliocène	pliocène-sup (villafanchien) pa		cailloutis cone de jction
Cénozoïque	Pliocène		pliocène-inf (pa);(pb)		marnes sableuses molasses sable : grés ; argiles sableuses et molasses
		Miocène	vindobonien		couches à lignites marnes grises
	burdigalien			marnes poudingues et calcaires grés marnes poudingues rouges	imperméables à perméables
	Oligocènes	Oligocènes		grés micacés marnes à plantes	imperméables à perméables
	Eocènes	Luteriens		poudingues rouges calcaires bechiques	perméables
	Mésozoïque	Gétacé-sup	Sénoniens c c		marnes et calcaires calescbistes et brèches marnes micro-brèches et poudingues lentilles de calcaires
Crétacé-moyen		Cénomaniens C		calcaires marnes schisteuses noires	imperméables
		Albien		quartzites à inter lits de marnes calcaires et schistes schistes et quartzites	imperméables à peu perméables
		Aptien		calcaires marnes et calcaires en banc	imperméables
		Barrémien		schistes et calcaires avec lames de quartzites	perméables à peu perméables
Crétacé-inf		Néocomien		schistes siliceux et bancs de quartzites	peu perméables
Jurassique		Lias I		calcaires à gros bancs brèches dolomitiques calcaires compactes	perméables en grand
Trias		Trias		brèches dolomitiques et gypseuses calcaires compactes	perméables en grand
Paleozoïque	Primaire			schistes avec quartzites	peu perméables
		Permien		grès micacés marnes et poudingues rouges	perméables à imperméables

ANRH-Blida 2004

Fig14. Log stratigraphique des formations de la vallée d'Oued El Hachem et leur caractéristique hydrogéologique.

4- Aperçu hydrogéologique

Le cours d'eau d'Oued El Hachem est formé par des dépôts alluvionnaires. L'aquifère d'alluvions est d'une superficie de 13.1 km², la nappe est libre entre Bouaroua et Sidi Amar et captive au Nord.

Les alluvions de cet aquifère sont formées de la base au sommet par :

- Les argiles rouges.
- Galets et graviers de 5 à 20 m constituent le réservoir aquifère.
- Argile et sable, avec intercalation de quelques lits de graviers.

Le substratum est formé en majorité par des marnes du Crétacé, et de calcaire Eocène.

La carte de transmissivités met en évidence un chenal de bonne transmissivités qui varie de 10^{-2} et 10^{-3} m²/s, et en bordure elle est de 10^{-5} m²/s.

I.7 Aperçu géophysique

L'étude géophysique de la C.G.G. de 1966, réalisée dans la vallée de l'Oued El Hachem, met en évidence l'existence de plusieurs terrains électriquement distincts:

Coupe 1 :

La coupe géophysique réalisée dans la partie amont de la nappe de l'Oued El Hachem, qui comporte le sondage étalon SE 41 (voir Fig.15), montre les niveaux suivants:

- ❖ Un substratum pliocène d'une résistivité de 10 à 25 ohm.m est d'une vitesse sismique de 2300 à 2600 m/s;
- ❖ Un niveau de résistivité de 50 à 100 ohm.m et des vitesses sismiques de 1200 à 1800 m/s, indiquant un milieu aquifère ;
- ❖ Un niveau supérieur de faible épaisseur.

Coupe 2 :

L'examen de la coupe géophysique réalisée dans la partie aval captive de la nappe de l'Oued El Hachem, montre les niveaux suivants (Voir Fig.15):

- ❖ Un substratum pliocène d'une résistivité de 3 ohm.m ;
- ❖ Un niveau grossier de résistivité de 50 à 60 ohm.m et de 3 à 14 m d'épaisseur, représente le réservoir aquifère ;
- ❖ Un niveau supérieur de résistivité qui varie de 5 à 10 ohm.m indiquant un matériel plus fin d'une épaisseur de 17 m, avec des passages grossiers vers le centre de la plaine.

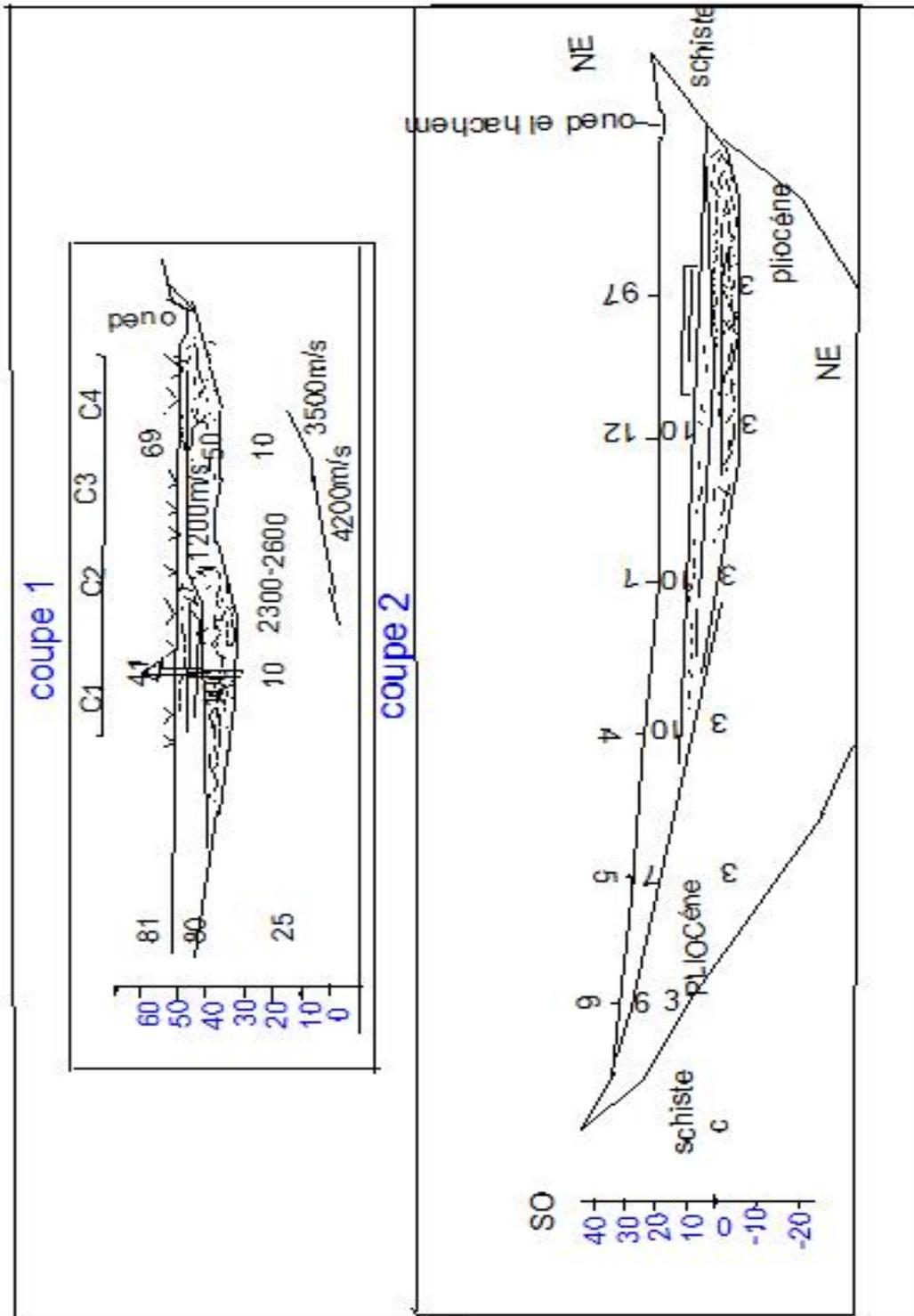


Fig15. coupes géophysiques C.G.G 1966

I.8 Pédologie

L'étude pédologique est réalisée sur 1624 ha, concerne six classes de sols :

- Les sols minéraux d'érosion inaptés à toute mise en valeur (pente forte) situés en bordure de la plaine côtière.
- Les sols peu évolués alluviaux de texture fine à dominance du groupe brunifié. Ces sols présentent une structure polyédrique subanguleuse moyenne nette, devenant anguleuse. En profondeur la structure devient cubique avec souvent de nombreuses faces de glissement (caractère verticale).
- Les vertisols de texture fine à très fine de structure polyédrique à grumeleuse en surface et cubique avec des phases de glissement bien développées en profondeur. Ils se trouvent bien concentrés dans la région de Menacer dans la basse vallée et dont on distingue les vertisols à drainage externe nul à réduit dans les zones sub-plane et les vertisols à drainage externe possible dans les zones à pente faible.
- Les sols calcimagnésiques, sont les plus importants du point de vue superficie. Ils se présentent sous deux formes : les sols bruns calcaires de texture fine à très fine et les sols bruns calciques. Ce sont des sols décarbonatés en surface, ont des caractères morphologiques semblables aux sols bruns calcaires modaux d'une épaisseur.
- Les sols fersiallitiques, leur superficie est très limitée et ils sont caractérisés par une accumulation d'argile dans les horizons à moyenne profondeur.
- Les sols hydromorphes, situés dans la plaine alluviale de l'Oued El Hachem, dans d'anciens bras de l'Oued. Ce sont soit des sols à Gley (nappe subpermanente) soit des sols à pseudogley (nappe saisonnière). Ils sont de texture fine, de couleur grisâtre et/ou bariolée.

Conclusion

En conclusion, l'ensemble des résultats de l'étude hydro-climatologique du bassin versant du Oued El Hachem montre que le bassin est caractérisé par :

Le type de climat de la région est méditerranéen, avec étage semi-aride selon le diagramme d'Emberger. Les régimes pluviométriques et thermiques sont très irréguliers, marquant l'année par deux saisons bien distinctes.

* Une saison froide (d'Octobre à Avril) où les précipitations se concentrent.

* Une saison chaude (d'Avril à Septembre), est sèche.

La température moyenne est de 18.01°C, avec des températures élevées en été engendrant une évaporation importante, alors que l'infiltration au niveau du bassin est s'effectuée durant les périodes de l'hiver et le printemps avec une moyenne annuelle d'environ 53.27 mm.

L'étude des formations quaternaires a mis en évidence sept terrasses alluviales, disposées en gradins étagés.

CHAPITRE II :

MATERIELS ET METHODES

Introduction

L'analyse d'une eau révèle la présence de gaz, de matières minérales et de matières organiques en suspension ou en solution et éventuellement des micro-organismes. Nombre de ces composants ont une origine naturelle en provenance des roches, du sol et de l'air ou de la vie humaine et animale. A ceux-ci vont s'ajouter les rapportes résultant des activités humaines : urbanisation, industrie, agriculture.

Ce sont la qualité et la quantité de ces diverses constituants qui définissent une eau, précisent et limitent son aptitude aux diverses utilisations (alimentation de l'homme et des animaux domestiques, besoins ménagères, besoins industrielles, irrigation, etc....) (Rodier et al. 1996).

II Méthodes d'échantillonnage et d'analyse

II.1 Méthode d'échantillonnage et de conservation

Deux campagnes d'échantillonnage ont été effectuées, la première campagne a eu lieu au mois d'Avril, (campagne des hautes eaux), et la deuxième campagne a eu lieu au mois d'Octobre, (campagne des basses eaux). Ces campagnes ont été effectuées par l'NRH de Blida.

Des mesures in situ complétées par des prélèvements d'eau ont été effectués au niveau des 10 points d'eaux afin de les analyser 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.

II.1.2 Présentation des méthodes d'analyses

II.1.2.1 Analyse in situ

Les paramètres physico-chimiques (pH, conductivité électrique et température) ont été mesurés in situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon à l'aide d'une valise Multiparamètre de terrain de marque Multi340i (WTW).

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 l'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 Spectrophotomètre à 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 major 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.2 Paramètres physico-chimiques

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

II.2.1 Température

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels (Rodier 2005).

La température de l'eau est un facteur important dans l'environnement aquatique du fait qu'elle régit la presque totalité des réactions physiques, chimiques et biologiques (Chapman et al. 1996).

II.2.2 Potentiel d'Hydrogène

L'eau renferme des ions H^+ et OH^- libres (qui ne sont pas combinés pour donner des molécules de liquide). Le taux de concentration en ion H^+ est le potentiel hydrogène (en abrégé pH) du milieu (Loup 1974).

Le pH influence la plupart des mécanismes chimique et biologique dans les eaux. D'après (Chapman et al. 1996), les valeurs du pH se situent entre 6 et 8,5 dans les eaux naturelles. Le pH diminue en présence des teneurs élevées en matière organique et augmente en période d'été, lorsque l'évaporation est importante (Meybeck et al. 1996).

II.2.3 Conductivité électrique

La conductivité est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique. Elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et leurs de concentrations. La température et la viscosité influent également la conductivité car la mobilité des ions augmente avec l'augmentation de la température et diminue avec celle de la viscosité (Rodier et al. 1996).

La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau à partir de la détermination de la conductivité, on peut déduire la teneur en sels dissous car la conductivité représente la mobilité de ses sels (Rejsek 2002).

II.2.4 Dureté

On appelle dureté ou titre hydrotimétrique (TH) la somme des cations alcalino-terreux présents dans une eau. En pratique, on ne considère que les cations dont les concentrations soient supérieures à 1 mg.L^{-1} , c'est le cas des ions calcium et magnésium. Ces ions sont présents dans l'eau sous forme de sels de chlorure, de sulfates ou d'hydrogénocarbonates. Dans une eau naturelle, on peut distinguer différents types de dureté :

- Dureté totale (TH_t) : somme des concentrations en calcium et magnésium.
- Dureté calcique ($\text{TH}_{\text{Ca}^{2+}}$) : concentrations globale en calcium.
- Dureté magnésienne ($\text{TH}_{\text{Mg}^{2+}}$) : concentrations globale en magnésium.

II.3 Eléments 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.3.1 Cations

II.3.1.1 Calcium

Est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires. Composant majeur de la dureté de l'eau, le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables (Rodier et al 1996).

Une forte présence en calcium dans l'eau donne des eaux dures. En plus de son origine industrielle, le calcium peut provenir d'une origine naturelle par la dissolution du gypse, sous l'attaque chimique des roches carbonatées (Rodier 2005).

II.3.1.2 Magnésium

Deuxième élément de la dureté ; comme le calcium, sa concentration est fonction de la nature géologique des terrains traversés, son abondance géologique, sa solubilité font que les teneurs dans l'eau peuvent être importantes (Rejsek 2002).

Le magnésium provient d'une part, de l'attaque chimique par des roches magnésiennes, des basaltes et des argiles par le CO₂ et d'autre part, du lessivage des roches volcaniques, ainsi que par la dissolution de MgSO₄, présents dans les terrains gypseux (Rejsek 2002).

II.3.1.3 Sodium et Potassium:

Le sodium est un élément très soluble et très fréquent dans les eaux, il peut provenir à partir de plusieurs origines à savoir : la décomposition des sels minéraux tels que les silicates, le lessivage des formations géologiques riches en NaCl et des venues d'eaux salées dans les nappes des rejets d'eaux usées d'origine industrielle et domestique.

Le potassium provient d'une part, des lessivages des engrais, des argiles et des roches volcaniques et d'origine industrielle, d'un autre part (Rodier 2005).

II.3.1.4 Résidus secs

La détermination des résidus secs permet d'estimer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau. Le résidu sec déterminé à 105°C est celui qui se rapprocherait de plus de la somme des différents résultats d'analyses. Le résidu à 525 °C permet d'estimer la teneur en matière organique (Rodier 2005 ; Rejsek 2002)

II.3.2 Anions

II.3.2.1 Sulfates

Les sulfates peuvent être, d'origine naturelle à partir du gypse ou pyrite, d'origine industrielle ou à partir des produits de traitement agricole (Rodier 2005).

Les origines des Sulfates dans les eaux sont variées. Les origines naturelles proviennent de 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.3.2.2 Chlorures

Très répandus dans la nature, généralement sous forme de NaCl, KCl ou CaCl₂, les chlorures constituent 0,05% de la lithosphère.

Les chlorures présents dans une eau peuvent avoir plusieurs origines :

- Percolation de l'eau traversant des terrains salés.
- Infiltration d'eaux marines dans une nappe souterraine, de manière naturelle ou par intervention humaine par pompage excessif.
- Rejets humains, en particulier d'urine.
- Industries extractives comme des mines de potasse ou des salines (Rejsek 2002).

II.3.2.3 Bicarbonates

L'ion bicarbonate est le principal constituant alcalin de la plupart des eaux courantes. Sa présence dans l'eau est due à l'action combinée du CO₂ de l'atmosphère et des sols sur les minéraux silicatés et de la dissolution des minéraux carbonatés. (Sari 2014)

La dissolution des minéraux carbonates et l'action du CO₂ des eaux météoriques et du sol sont, d'une manière générale, à l'origine des Bicarbonates (Parizot 2008). La présence des ions carbonatés dépend fortement du pH de l'eau.

II.3.2.4 Nitrates

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote et ils se trouvent naturellement dans les eaux de surface ainsi que dans les eaux souterraines (Rejsek 2002).

II.4 Faciès chimiques

II.4.1 Représentation graphique des analyses chimiques

L'étude du chimisme des eaux pour but d'identifier les faciès des eaux et l'origine des principaux éléments chimiques ; il se réalise aussi par l'exploitation des rapports caractéristiques et aussi au moyen d'une représentation graphique (Philippe 1996).

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

les différents échantillons la combinaison des éléments cationiques et anioniques (Philippe 1996).

II.5 Rapport ionique

L'examen des rapports caractéristiques permet de comparer les eaux entre elles et d'apporter d'éventuelles informations, ces rapports sont $\frac{rMg^{++}}{rCa^{++}}$, $\frac{rSO_4^{--}}{rCl^-}$ et $\frac{rNa^+}{rCl^-}$.

- $\frac{rMg^{++}}{rCa^{++}}$: Si ce rapport est < 1 , il indique la prédominance de l'ion calcium ; traduit que l'eau a obtenue sa minéralisation dans les calcaires ($CaCO_3$) ou les gypses ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). Alors que s'il est > 1 , la teneur élevée en ion Mg^{2+} est l'indice d'une circulation des eaux dans les dolomies calcaires due à une contamination par l'eau de mer.
- $\frac{rSO_4^{--}}{rCl^-} > 1$: Si ce rapport est supérieur à 1, il indique un séjour prolongé des eaux en contact avec des marnes, mais s'il < 1 ; il montre que le Cl^- qui l'emporte sur le SO_4^{2-} , est due à un lessivage des engrais chimiques ($NaCl$, KCl) ou d'une pollution d'origine humaine ou animale.

II.6 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 (Schoeller 1969). 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 :

$$[Cl] - [Na+K]$$

I.e.b. = ----- (les concentrations sont en méq/l).

$$[Cl]$$

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

- Si : l'i.e.b. < 0 : le calcium de l'eau, est échangé contre le sodium (ou le potassium) du terrain.
- Si : L'i.e.b. > 0 : il y a fixation du sodium (ou de potassium) et solubilisation du calcium.

II.7 Normes de la qualité

II.7 Norme de l'alimentation en eau potable

L'eau ne doit pas de qualité excessive, sa qualité dépend de son usage sous des conditions spécifiques. En effet, une eau destinée à l'alimentation humaine (AEP) n'aurait pas les mêmes normes de qualité que celle d'une eau à usage industriel ou d'irrigation. De là, les paramètres définissant cette qualité varient suivant l'usage de l'eau.

Le tableau 14 suivant représente les concentrations de certains paramètres à ne pas dépasser, selon la norme Algérienne de 2011 et celle de l'OMS 2006.

Tableau 14: 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

II.7.2 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.

En agriculture une eau de bonne qualité permet d'obtenir un rendement maximum d'une culture donnée dans de bonnes conditions de gestion du sol et de l'eau (Rahoui 2002).

Pour l'évaluation et la classification de la qualité d'une eau d'irrigation, 5 facteurs doivent être pris en considération :

- la teneur totale en sel et la composition chimique de l'eau.
- le climat de la région.
- les conditions de drainage et les sols dominants.
- les principales cultures à irriguer.
- les techniques culturales et notamment le mode d'irrigation.

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

Tableau 15 : Normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation.

Paramètres	Unité	Valeurs maximales	
		Norme Algérienne (2012)	Norme OMS (2006)
Ph		6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
Conductivité électrique	µs/cm à 25 C°	≤ 3000	< 2250
Nit rates (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

II.8 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.

Différentes classes peuvent être rencontrées :

- 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.

II.8.1 Classification des eaux d'irrigation sur la base du SAR ajusté

$$SAR_{adj} = \frac{rNa^+}{\sqrt{\frac{rCa^{2+} + rMg^{2+}}{2}}} \cdot [1 + (8,4 - pHc)]$$

a été établi pour prendre en compte la mise à l'équilibre de la solution avec la calcite. Les équilibres carbonatés sont complexes (Droubi et al. 1978).

Le facteur $[1 + (8,4 - pHc)]$ correspond à un indice de sursaturation de la solution par rapport à la calcite, découlant de l'indice de Langelier (Valles et al. 1979). On ne peut lui accorder qu'une valeur d'indice, son usage en tant que facteur multiplicatif n'est pas justifiable.

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 :

$$SAR_{adj} = [1 + (8.4 - pH_C)].$$

$$\text{Avec : } pH_C = p(K_2 - K_C) + p(Ca^{2+} + Mg^{2+}) + p AL_K.$$

$$(pK_2 - pK_C) = Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ \text{ en méq/l.}$$

$$P(Ca + Mg) = Ca^{2+} + Mg^{2+} \text{ en méq/l.}$$

$$P(Alk) = CO_3^- + HCO_3^- \text{ en méq/l}$$

Si le SAR ajusté est

- < 6 il n'y a pas de problème de salinité.
- 6 à 9 il y a problème de salinité.
- > 9 il y a problème sérieux

Tableau 16 : Tables utilisées pour calculer le pHc

P (ALK)	P (Ca + Mg)	pK ₂ - pK' _c	Somme de la concentration (méq/l)
4.3	4.6	2	0.05
4	4.3	2	0.1
3.8	4.1	2	0.15
3.7	4	2	0.2
3.6	3.9	2	0.25
3.5	3.8	2	0.3
3.4	3.7	2	0.4
3.3		2.1	0.5
3.1		2.1	0.75
3	3.6	2.1	1
2.9	3.4	2.1	1.25
2.8	3.3	2.1	1.5
2.7	3.2	2.2	2
2.6	3.1	2.2	2.5
2.5	3	2.2	3
2.4	2.9	2.2	4
2.3	2.8	2.2	5
2.2	2.7	2.2	6
2.1	2.6	2.3	8
2	2.5	2.3	10
1.9	2.4	2.3	12.5
1.8	2.3	2.3	15
1.7	2.2	2.4	20
1.5	2.1	2.4	30
1.3	2	2.5	50
1.1	1.8	2.5	80
	1.6		
	1.4		

(Bulletin F.A.O N°29, 1976).

II.8.2 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 (Richards 1954).

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...).

II.8.3 Carbonate et bicarbonate

L'abondance des ions bicarbonates (HCO_3^-) et (CO_3^{2-}) dans l'eau d'irrigation mérite aussi d'être évaluée. Dans le cas où l'eau d'irrigation contient un taux élevé de ces deux anions qui est plus grand que celui du calcium et du magnésium, on constate une tendance à la précipitation de ces deux derniers éléments, ce qui fait une augmentation du (SAR). Ce qui est appelé couramment (RSC) (the Résiduel Sodium Carbonate). Les sols sodiques alcalins sont formés si l'eau d'irrigation contient un excès de ($\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$) par rapport à ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) présents (Glover, 1996).

$$\text{RSC} = (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \rightarrow \text{Il est exprimé par meq/l}$$

Tableau 17 : Risque de bicarbonate sur l'eau d'irrigation

Risques de bicarbonates (HCO_3^-) pour l'eau d'irrigation (meq/l)			
Classification de l'eau	Nul	Léger à Modéré	Severe
Unité (méq/l)	<1.55	1.5 à 7.5	>7.5
RSC	<1.25	1.25 à 2.5	>2.5

(Extrait à partir des directives australiennes de qualité de l'eau pour les eaux fraîches et marines in Benanaya ; 2011)

II.8.4 Salinité

La conductivité électrique est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique. Elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et leurs concentrations. La température et la viscosité influent également la conductivité, car la mobilité des ions augmente avec l'augmentation de la température et diminue avec celle de la viscosité (Rodier et al, 1996).

Tableau 18 : Risque de conductivité électrique sur l'eau d'irrigation

Conductivité électrique	Qualité de l'eau
<250 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Excellente
250à750 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Bonne qualité
750à2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Acceptable
2250à5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Médiocre mais eau utilisable
>5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation excessive

BOUDERBALA2016

Tableau 19 : Risque de chlorure sur l'eau d'irrigation

Conductivité électrique	Qualité de l'eau
<4meq/l	Excellente
4à7 meq/l	Bonne qualité
7à12 meq/l	Acceptable
12à20 meq/l	Médiocre mais eau utilisable
>20 meq/l	Minéralisation excessive

BOUDERBALA2016**Conclusion**

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

CHAPITRE III :

RESULTATS 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, dans le but de caractériser l'écoulement souterrain (sens de l'écoulement, gradient hydraulique). Ce chapitre traite encore le chimisme des eaux souterraines, et nous permettra d'essayer d'expliquer le comportement, l'origine et l'évolution des éléments chimiques afin de savoir le fonctionnement hydraulique du système aquifère de la nappe alluviale de l'Oued El Hachem.

III.1 Description et caractéristique du réseau de la surveillance

La plaine alluviale de l'Oued El Hachem était la principale source d'approvisionnement en eau potable des villes de Tipaza ; Cherchell et Sidi Ghiles, ainsi que l'irrigation de grandes parcelles agricoles.

L'étude géophysique a permis de mettre en évidence un chenal constitué d'alluvions grossières tout le long de la vallée et de dégager les zones où les dépôts grossières sont les plus importants.

Les dépôts renferment une nappe libre, à partir Sidi Ammar jusqu'à Bou Aroua l'alluvionnement y est grossier sur la quasi-totalité de son épaisseur mais celle-ci est limitée à une quinzaine de mètres.

Au Nord de Bou Aroua, les dépôts grossiers sont recouverts d'un toit argileux s'épaississant vers le Nord. La nappe devient alors captive. L'examen des logs lithostragraphiques de forages, relève que le niveau aquifère est libre à l'amont, captif au Nord et dans la partie médiane de la plaine, une d'âge plio-quadernaire. La nappe est tantôt libre, tantôt semi captive, sous un recouvrement d'argile ou de marne d'épaisseur variable ne dépassant pas les 25 m.

Toutes les études réalisées sur la région de Oued El Hachem montrent que la seule formation intéressante du point de vue hydrogéologique est représentée par le remplissage alluvionnaire du quadernaire de la plaine. Ces dépôts du quadernaire sont essentiellement des galets, graviers, argiles sableuses, argiles rouges et limons de surface.

La puissance maximale de ce dépôt issu des différentes périodes du quadernaire est environ 20m et les transmissivités varient entre 10^{-2} à $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

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

III.2.1 Evolution de la piézométrie dans le temps

Un réseau de surveillance mis par l'ANRH au niveau de la plaine alluviale d'Oued El Hachem, dont l'intérêt est le suivi des fluctuations de niveau d'eau et le contrôle de la qualité des eaux de la nappe. Ce dernier est constitué par 12 points d'eau, dont 11 puits et un (01) forage.

Dans le but de voir l'évolution piézométrique de cette dans le temps, nous avons effectuées une comparaison des niveaux piézométriques de la nappe durant la période (2005 – 2014), où nous avons basé sur les années (2005, 2007, 2009, 2011, 2014) pour les compagnes des basses eaux (données disponibles).

Le graphe montre une variation légère de niveau piézométrique d'une année à une autre, pour la majorité des puits. Alors que en 2009 les puits P1, P2, P4, P5, P7 et P9 ont enregistré un abaissement entre 2 à 8m.

Le puits P12 montre une surexploitation remarquable des eaux souterraines en 2014 par rapport aux années précédentes (période des basses eaux), avec un abaissement d'environ 14m.

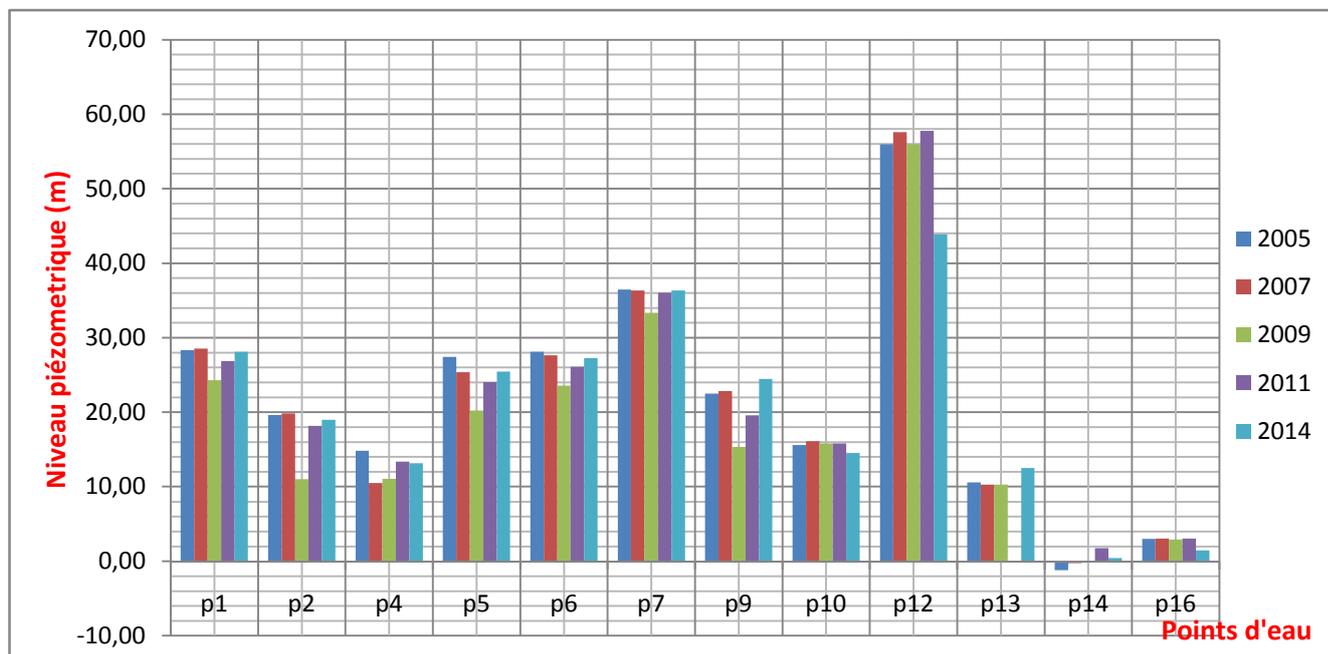


Fig.16 : Evolution de niveau piézométrique dans le temps au niveau de la nappe d'Oued El Hachem (Périodes des basses eaux 2005, 2007, 2009, 2011 et 2014).

Pour voir l'évolution de la piézométrie dans l'espace, nous avons réalisé une carte piézométrique pour la période des basses eaux 2014.

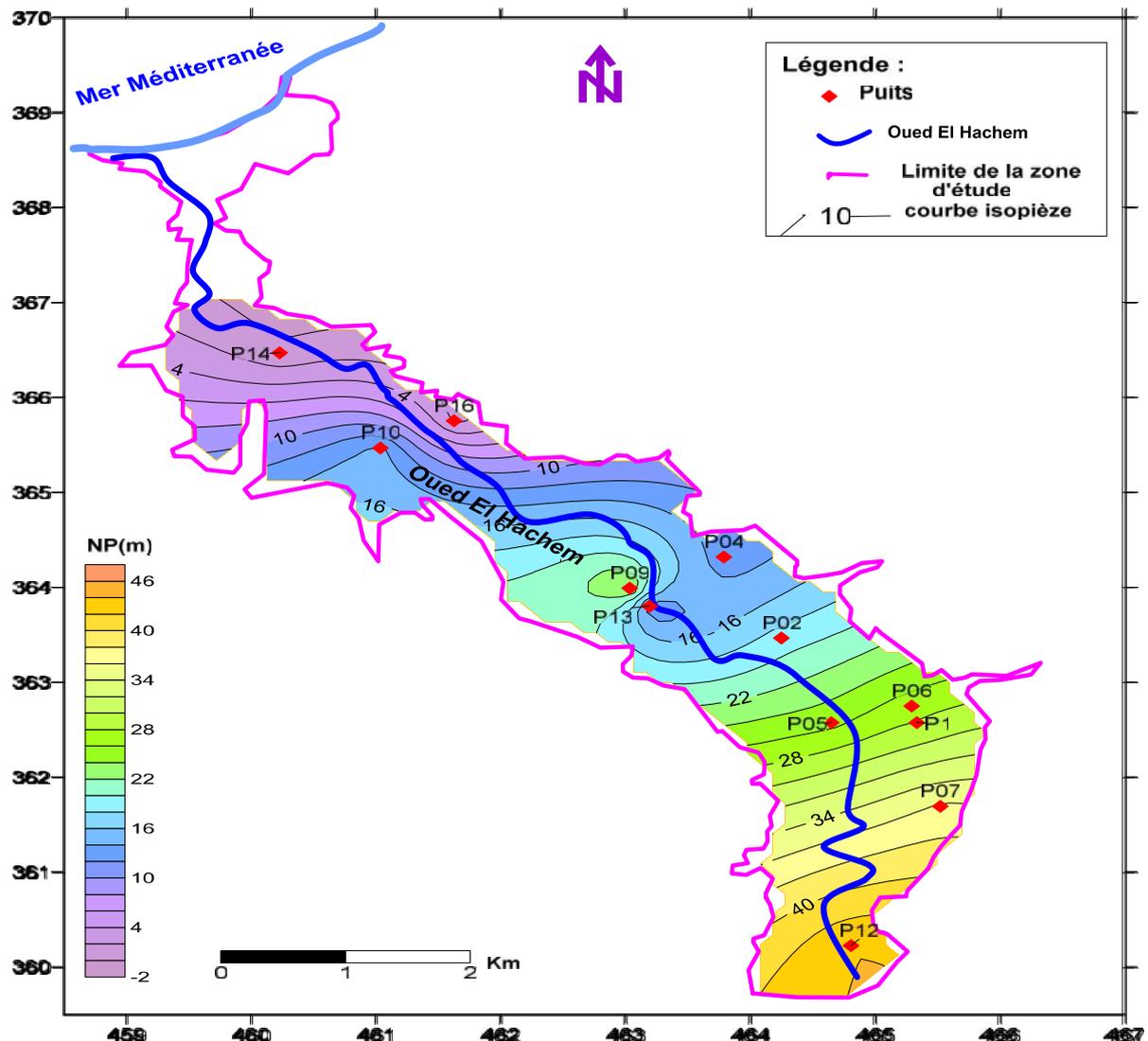


Fig. 17 : Carte piézométrique de la basse vallée de l'Oued El Hachem (Basses eaux 2014)

L'observation de la morphologie de la carte piézométrique de la période des basses eaux nous a permis de constater que l'écoulement souterrain en général, suit une direction Sud-Est – Nord-Ouest. L'alimentation de nappe est effectuée au niveau de la zone sud de la plaine, où la nappe est libre, avec une probable alimentation par les lâchers d'Oued El Hachem (contact direct de lit de l'Oued avec l'aquifère). Nous signalons ici que la relation oued-nappe dans

cette carte n'est pas visible, cela est dû au nombre réduit des points d'eau près de l'Oued El Hachem.

Nous constatons aussi qu'au niveau du puits P9, une alimentation de la nappe est observée au niveau de la terrasse alluviale grâce sa perméabilité importante.

III.2.2 Variation des profondeurs d'eau de la nappe dans le temps

Pour bien suivre l'évolution de la profondeur d'eau dans le temps, nous avons effectué une étude comparative entre les niveaux statiques mesurés en période des basses eaux pour les années 2005, 2007, 2009, 2011, et 2014 (mesures disponibles au niveau de l'ANRH). Les niveaux statiques mesurés sont représentés sous forme d'histogramme (Fig.18).

L'analyse de l'histogramme montre généralement une baisse significative des niveaux statiques de tous les points d'eaux dans en 2009 par rapport aux autres années. Cela est dû probablement à l'effet de la surexploitation de cette nappe et à la faible recharge.

Nous signalons ici que lorsque la profondeur d'eau est faible, les eaux souterraines sont vulnérables à la pollution de surface (pollution anthropique).

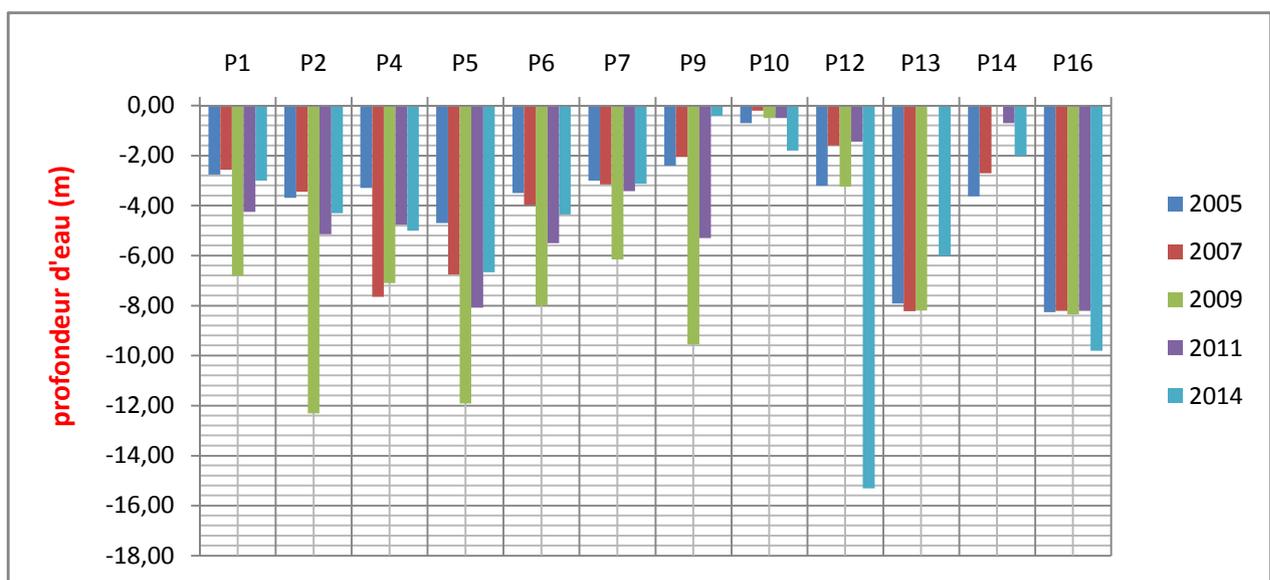


Fig.18 : Variation des profondeurs d'eau en 2005, 2007, 2009, 2011 et 2014 (période des basses eaux).

III.2.3 Alimentation et drainage de la nappe

Le niveau de la nappe est influencé par les facteurs suivants :

- ❖ L'alimentation de la nappe, elle est assurée par :

- L'infiltration efficace en période pluvieuse avec une moyenne de **53.27 mm/an** (soit 9.56 % des précipitations annuelles, station barrage de Boukourdene 1988-2015).
 - La recharge de la nappe par les lâchées de barrage de Boukourdene en période estivale, mais cette recharge n'est pas systématique (variable d'une année à une autre).
 - La recharge par l'excès d'eau d'irrigation.
- ❖ Les prélèvements dans les forages et puits sont destinés pour l'A.E.P. et l'irrigation de la région.

III.3 Etude Hydrochimique

L'étude hydrochimique permet d'apprécier la qualité chimique des eaux souterraines, leur potabilité et de montrer leur relation avec les formations géologiques qu'elles traversent.

L'étude portera sur l'interprétation des résultats des analyses physico-chimiques des échantillons d'eau prélevés lors des campagnes piézométriques des basses eaux 2015.

Le dosage des éléments chimiques a été effectué au laboratoire de chimie des eaux de l'ANRH de Blida et a porté sur les éléments majeurs suivants :

Cations: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ .

Anions: HCO_3^- , Cl^- , SO_4^- , NO_3^- .

III.3.1 Description sommaire des paramètres physico-chimiques

Les résultats d'analyse physico-chimique des eaux de la nappe d'Oued El Hachem, pendant la période des basses eaux, ont été consignés dans le tableau ci-dessous

Tableau 20 : Paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la nappe alluviale du Oued el Hachem (Basses eaux 2015)

Points	Ca ²⁺ (mg/l)	Na ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	CE (μS/cm)	pH	R sec (mg/l)
P1	137	122	75	195	5	233	549	20.0	1980	8.3	1274
P2	158	98	48	186	8	171	519	25.0	1680	7.7	1160
P4	170	154	78	277	9	140	549	53.0	2400	7.7	1297
P5	109	98	65	178	6	139	397	42.0	1520	8.3	901
P6	170	108	78	221	11	301	534	32.0	2100	8.3	1269
P7	133	96	41	127	9	177	442	36.0	1790	7.9	1062
P9	162	74	48	103	6	164	503	33.0	1620	8.1	1068
P10	162	102	70	175	3	269	564	37.0	2500	8.1	1530
P14	149	178	61	330	8	268	427	26.0	2500	8.3	1517
P16	198	155	51	229	9	233	549	25.0	2100	7.8	1361
Max	198	178	78	330	11	301	564	53	2500	8.3	1530
Min	109	74	41	103	3	139	397	20	1520	7.7	901
Moy	153.5	126	59.5	216.5	7	220	480.5	36.5	2010	8	1215.5
OMS 2006	200	200	150	250	12	200	-	50	1500	6,5- 8.5	1000
Norme Algérien	200	200	200	500	12	400	-	50	2800	6,5-9	1500
Nbre puits > normes	0	0	0	0	0	0	-	1	0	0	1

L'étude de la fiabilité des données a consisté 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 5%, les balances ioniques ont été systématiquement vérifiées pour l'ensemble des échantillons analysés, où des valeurs d'environ 5% ont été remarqué dans l'ensemble des analyses.

III.3.2 Paramètres physiques des eaux souterraines

III.3.2.1 Potentiel d'hydrogène pH

Les mesures du pH montrent que tous les points d'eau se trouvent dans l'intervalle de norme de potabilité (entre 7.7 et 8.3). Les mesures indiquent que les eaux souterraines de la nappe alluviale sont moyennement basiques. Cette basicité s'explique par l'effet de l'évaporation (période des basses eaux). La substitution des ions Na^+ par Ca^{2+} et Mg^{2+} .

III.3.2.2 Dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH)

Tableau 20 : Classification de l'eau selon la dureté totale.

DHT (°F)	0 à 7	7 à 14	14 à 22	22 à 32	32 à 54	> 54
Dureté de l'eau	Très Douce	Douce	Modérément Douce	Assez Dure	Dure	Très dure
Usage Domestique	Bonne Potabilité		Potabilité passable		Potabilité médiocre à	
Point d'eau				P5, P7	P1, P2, P4, P6, P9, P10, P14, P16	

Les mesures de la dureté montrent que la valeur des points d'eau variée entre (50.1-74.55), Les mesures indiquent que les eaux souterraines de la nappe alluviale sont dures et très dure.

III.3.2.3 Résidu sec

Le résidu sec des eaux souterraines de l'Oued El Hachem pour la période des basses eaux varie entre 901 mg/l (P5) et 1530 mg/l (P10). Il dépasse légèrement la norme OMS (1000 mg/l) pour la majorité des points d'eau (90 %), paradoxalement pour la norme Algérienne où 80 % des points d'eau sont dans la norme. Les valeurs de TDS au niveau des puits P10 et P14 dépassent légèrement la norme algérienne. Les concentrations élevées sont dues à la nature des terrains traversés et à la dissolution des formations formants le réservoir d'eau souterraine.

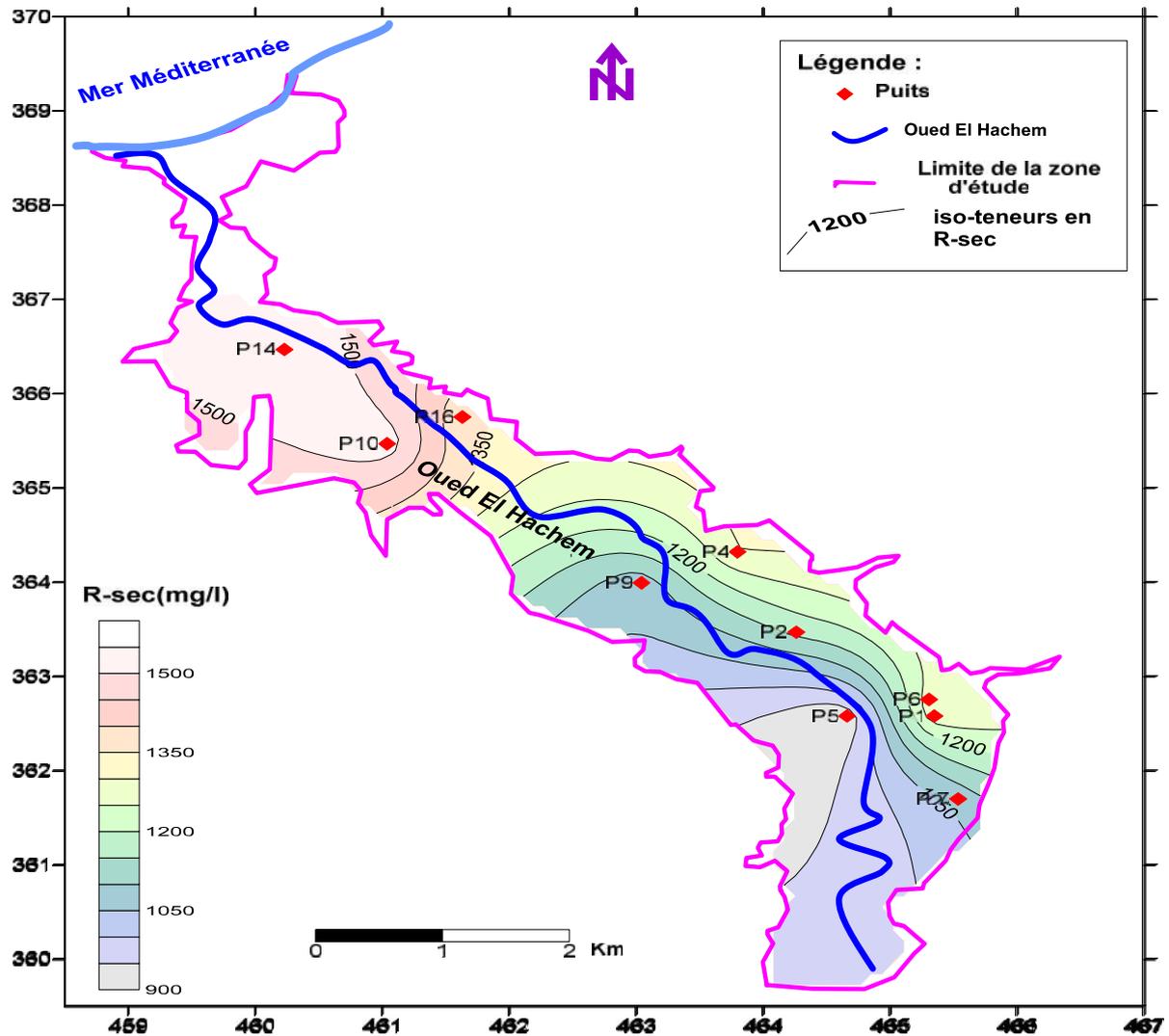


Fig. 19: Carte de la répartition de résidu sec (période des basses eaux 2015)

III.3.2.4 Conductivité électrique

Les analyses des échantillons prélevés montrent que les valeurs des conductivités électriques des eaux souterraines de la plaine alluviale de l'Oued El Hachem, ne dépassent pas la norme algérienne ($2800\mu\text{s/cm}$) pour la totalité des points d'eau, les valeurs variant entre $1520\mu\text{s/cm}$ (P5) à $2500\mu\text{s/cm}$ (P10) (P14) en période des basses eaux. Les plus fortes conductivités sont observées principalement en aval de plaine, c'est la zone d'accumulation des sels dessous et sens d'écoulement des eaux souterraines. Alors qu'en rive droite de l'Oued El Hachem en amont de la plaine, les conductivités moyennement élevées sont dues au lessivage de la formation triasique formée de dolomie et de gypse.

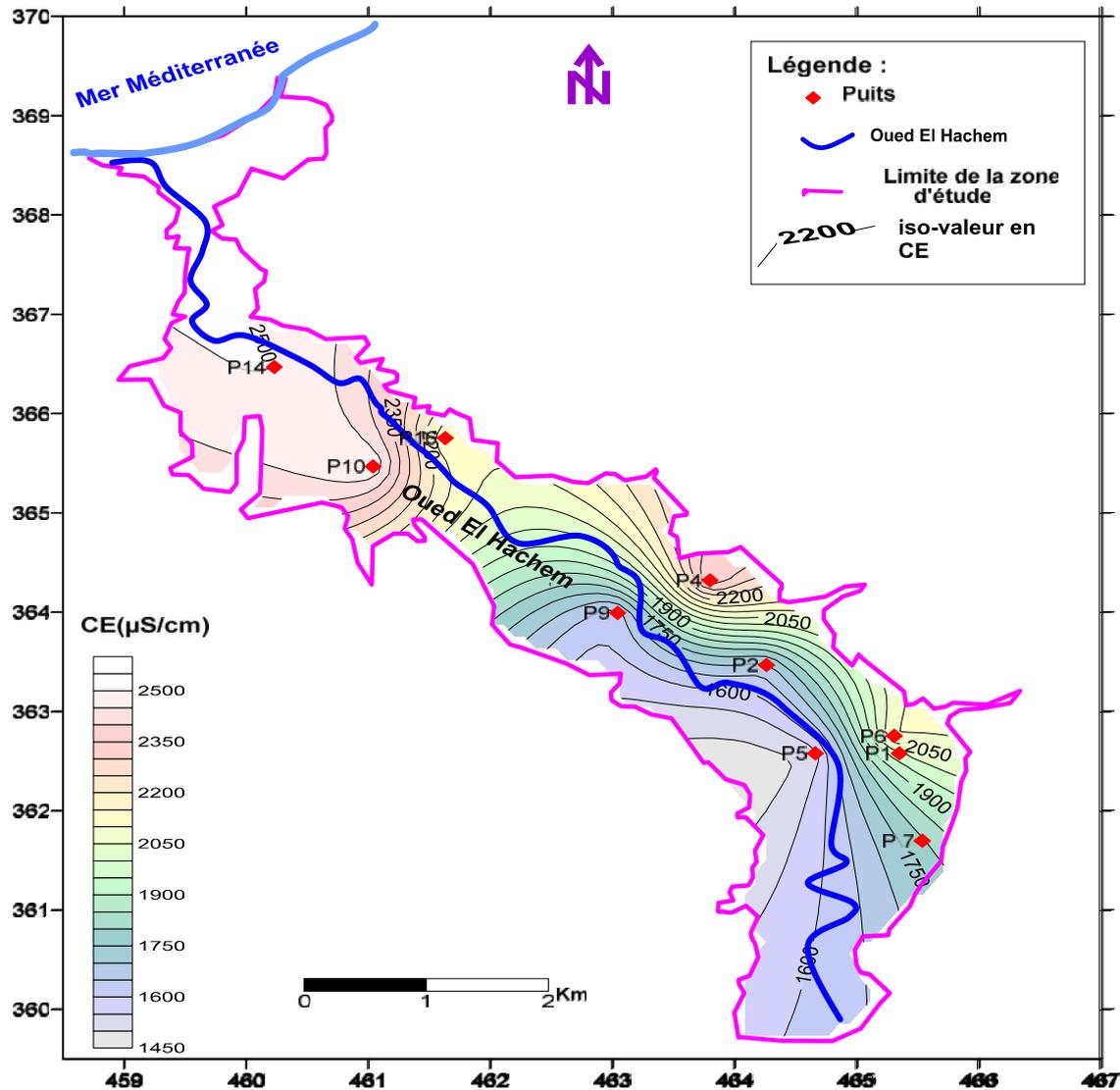


Fig. 20: Carte de la répartition de la conductivité électrique(Période des basses eaux 2015)

III.3.3 Paramètres chimiques des eaux souterraines

III.3.3.1 Calcium

Le calcium peut provenir d'une origine naturelle par la dissolution du gypse, sous l'attaque chimique des roches carbonatées, et à venir des roches calcaires.

Les valeurs du Ca^{2+} varient entre 109 mg/l (P5) et 198mg/l (P16) pendant la période des basses eaux, c'est presque la totalité des eaux analysées présentent des teneurs en ions Ca^{2+} inférieure à 200 mg/l (teneur maximale admissible pour la potabilité des eaux).

Les valeurs élevées observées au niveau de P16 sont dû à la dissolution des formations carbonatées.

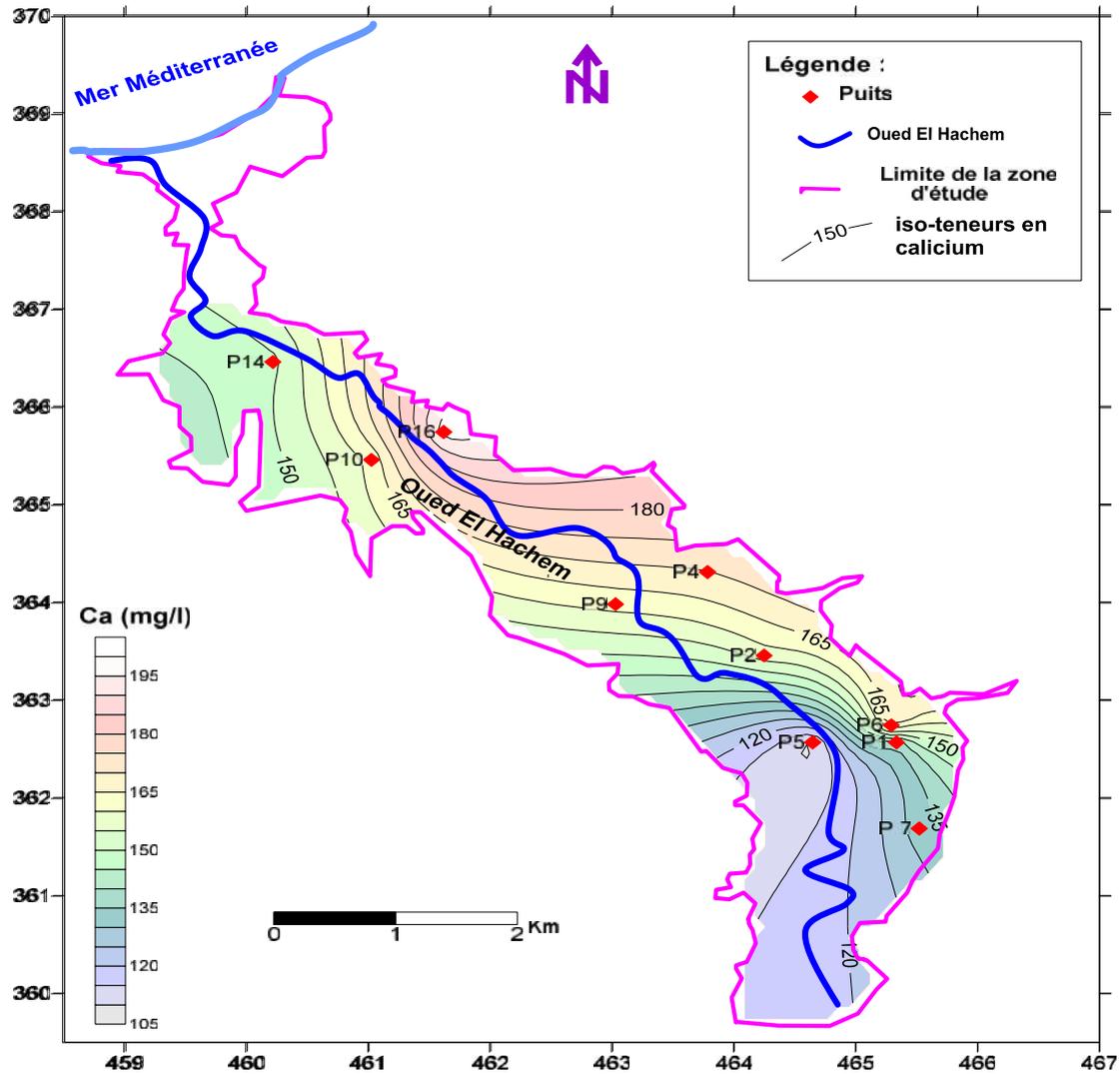


Fig.21 : Carte de la répartition du calcium (basses eaux 2015).

III.3.3.2 Magnésium

Les ions Mg^{2+} proviennent, de la dissolution des formations carbonatées riche en Magnésium, ils proviennent aussi dans les roches calcaires.

Les concentrations de magnésium varient entre 41mg/l (P7) et 78 mg/l (P4 et P6) pendant la durant la période des basses eaux. Les teneurs élevés sont la conséquence de la dissolution des formations aquifères et au temps de séjour de eaux souterraines dans l'aquifère. Les teneurs en Mg^{2+} de tous les points d'eau sont dans les normes.

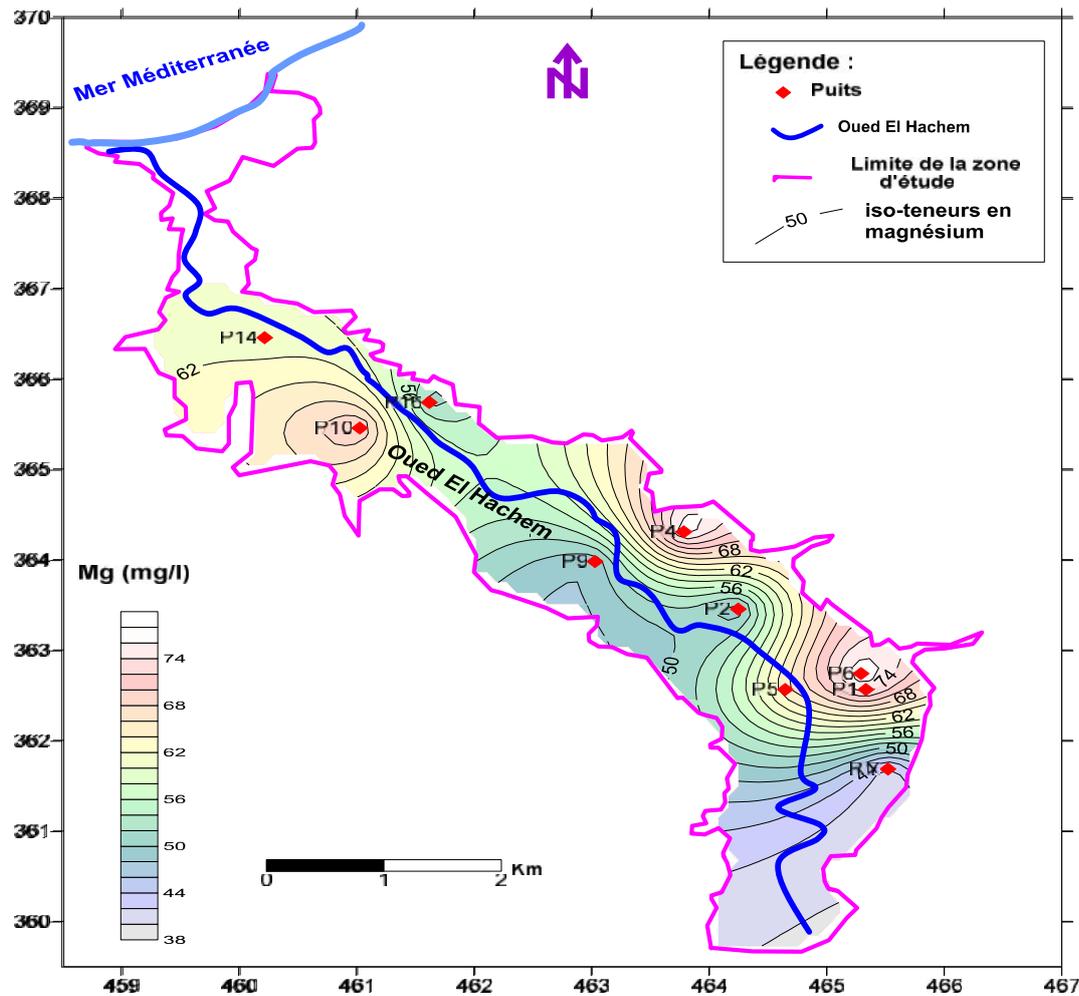


Fig.22: Carte de la répartition du Magnésium (basses eaux 2015)

III.3.3.3 Sodium

Les teneurs en Sodium varié entre 74mg/l (P9) et 122mg/l(P1) et de 155 mg/l (P16) à 178 mg/l (P14) en périodes des hautes et basses eaux respectivement.

Les teneurs en Na^+ de tous les points d'eau sont dans les normes Algériennes et de l'OMS (< 200 mg/l).

L'augmentation du Sodium peut provenir des accumulations des sels (zone d'accumulation P14), 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).

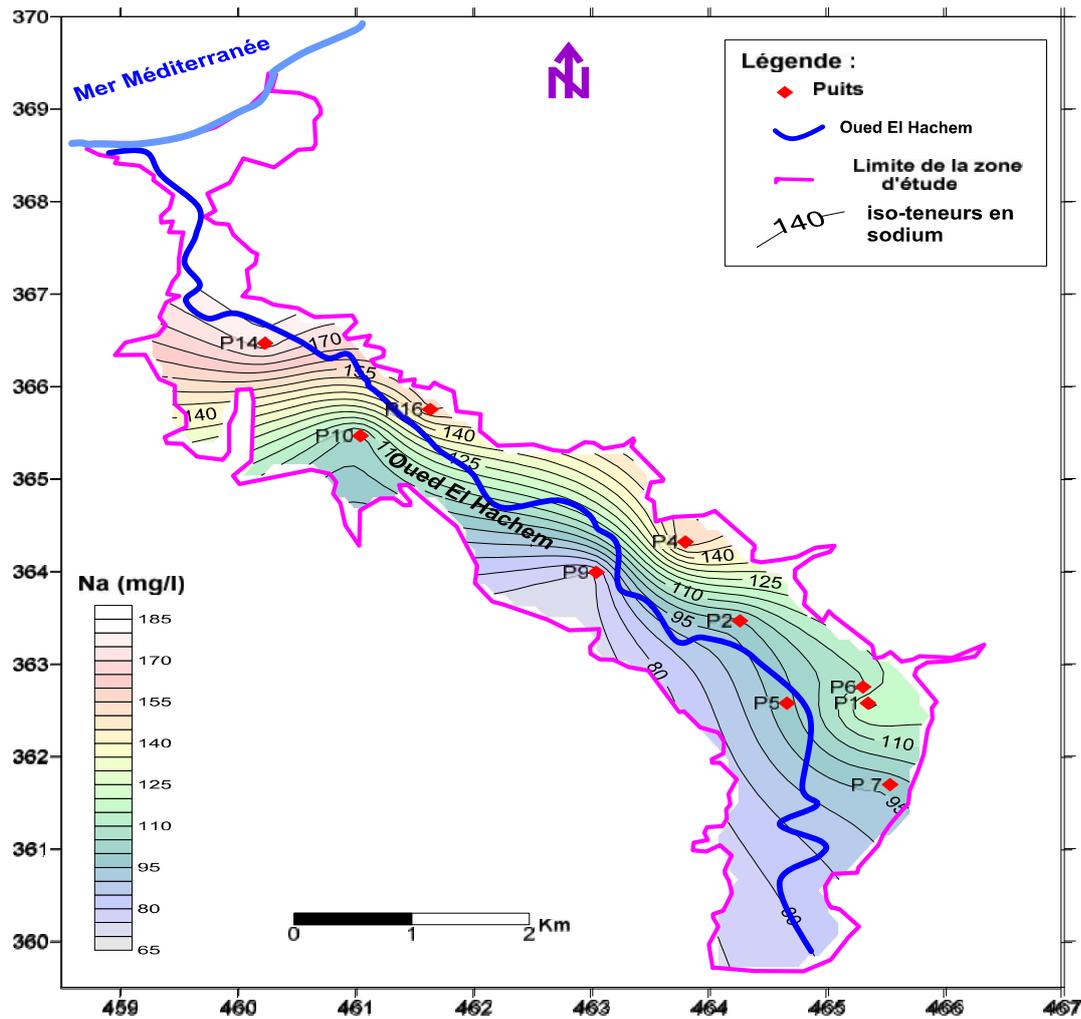


Fig.23: Carte de la répartition du Sodium (basses eaux 2015)

III.3.3.4 Potassium

Les analyses des eaux souterraines dans la période des basses eaux 2015 montrent des teneurs variant entre 3 mg/l (P10) et 11 mg/l (P6), Ces valeurs sont conformes aux normes Algériennes et OMS (un maximum de 12 mg/l).

L'augmentation du K^+ résulte de l'altération des argiles et la dissolution des engrais chimiques (NPK) utilisée massivement pour l'agriculture.

Les faibles teneurs en potassium (< 7 mg/l) sont observés dans la rive gauche du Oued El Hachem, alors que les teneurs entre 7 à 11 mg/l sont observés dans la rive droite, c'est probablement due à l'effet de variation de la perméabilité.

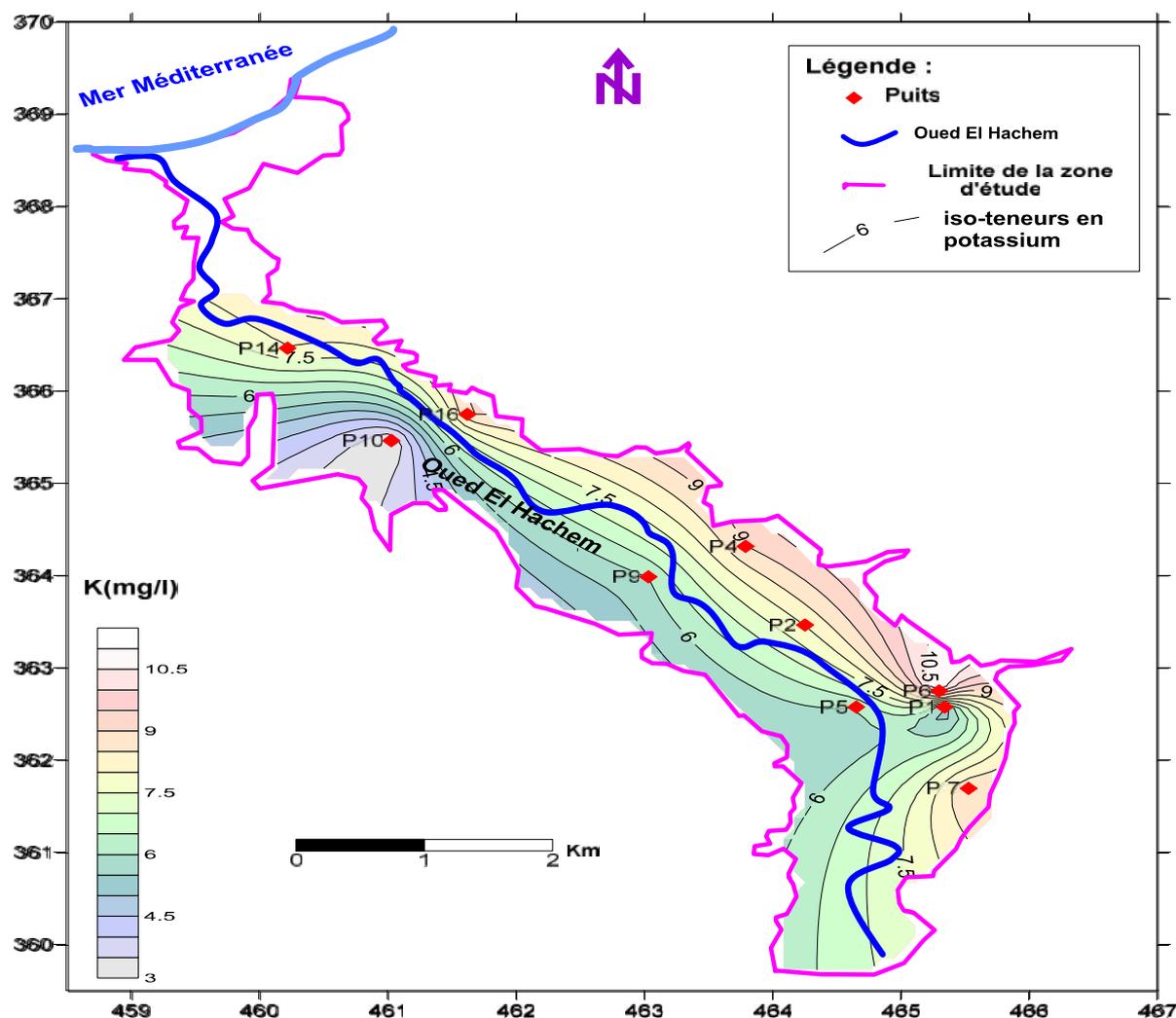


Fig.24 : Carte de la répartition des Potassium (basses eaux 2015)

III.3.3.5 Chlorures

Les teneurs en chlorure enregistrées dans la vallée de l’Oued El-Hachem, sont variés entre 103 mg/l (P9) et 330 mg/l (P14) en période des basses eaux 2015. Ils sont dans la norme algérienne (< 500 mg/l), mais certains puits dépassent légèrement la norme fixée par OMS.

Il est à signaler que l’évolution des teneurs en chlorures se fait suivant le sens d’écoulement des eaux souterraines vers la zone d’accumulation. Il peut avoir aussi une origine urbaine ou industrielle (c’est le cas du puits P4 près de l’agglomération de Bou Aroua 277 mg/l).

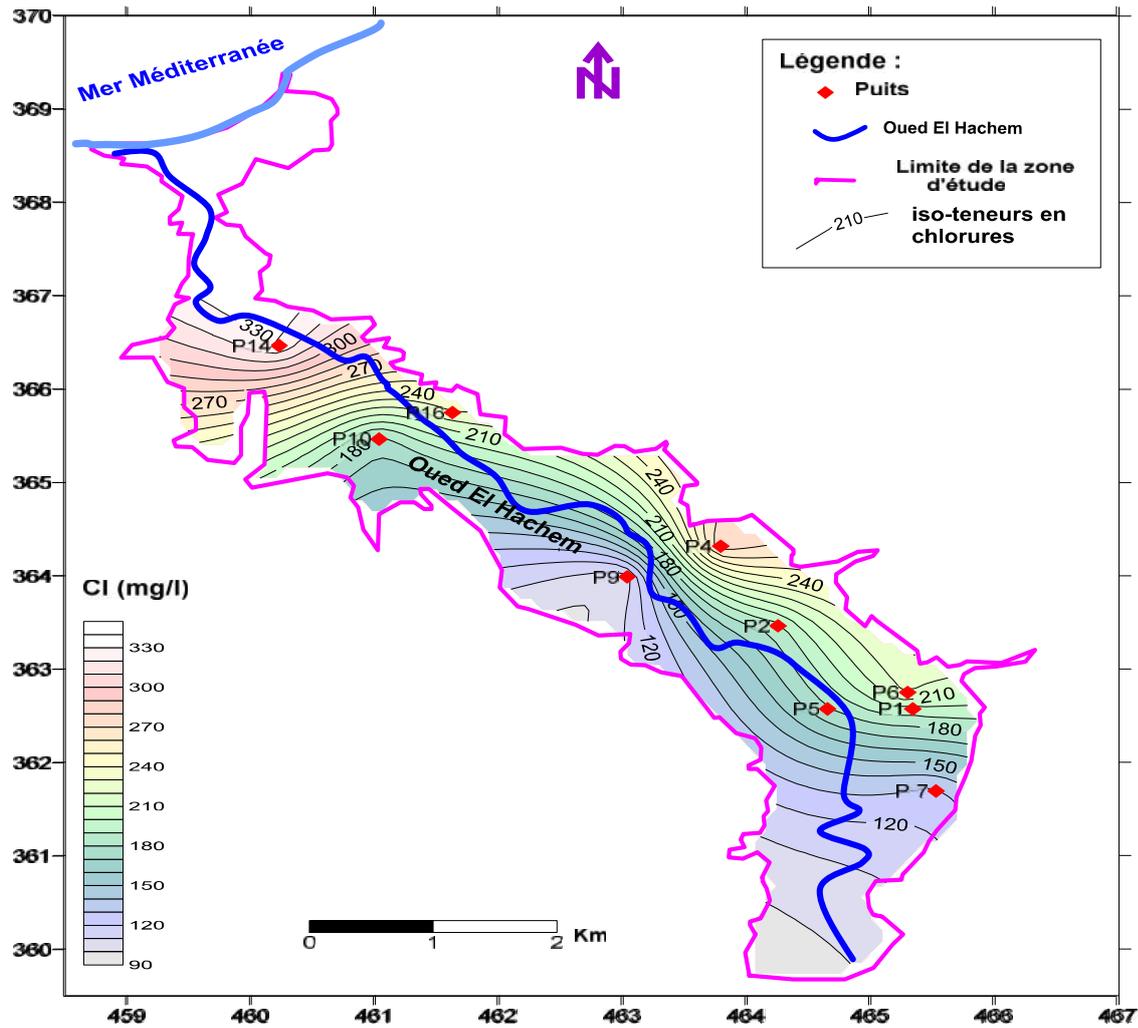


Fig.25 : Carte de la répartition des chlorures (période des basses eaux 2015)

III.3.3.6 Sulfates

Les valeurs du sulfate varient entre 139 mg/l (P5) et 301mg/l (P6) en période des basses eaux 2015. Elles sont dans la norme Algérienne, mais certains puits (P1, P6, P10, P14 et P16) montrent des teneurs dépassant la norme OMS.

Les fortes concentrations de sulfates s’expliquent par l’utilisation excessive des produits sulfatés en agriculture, ils proviennent aussi de la dissolution de gypse.

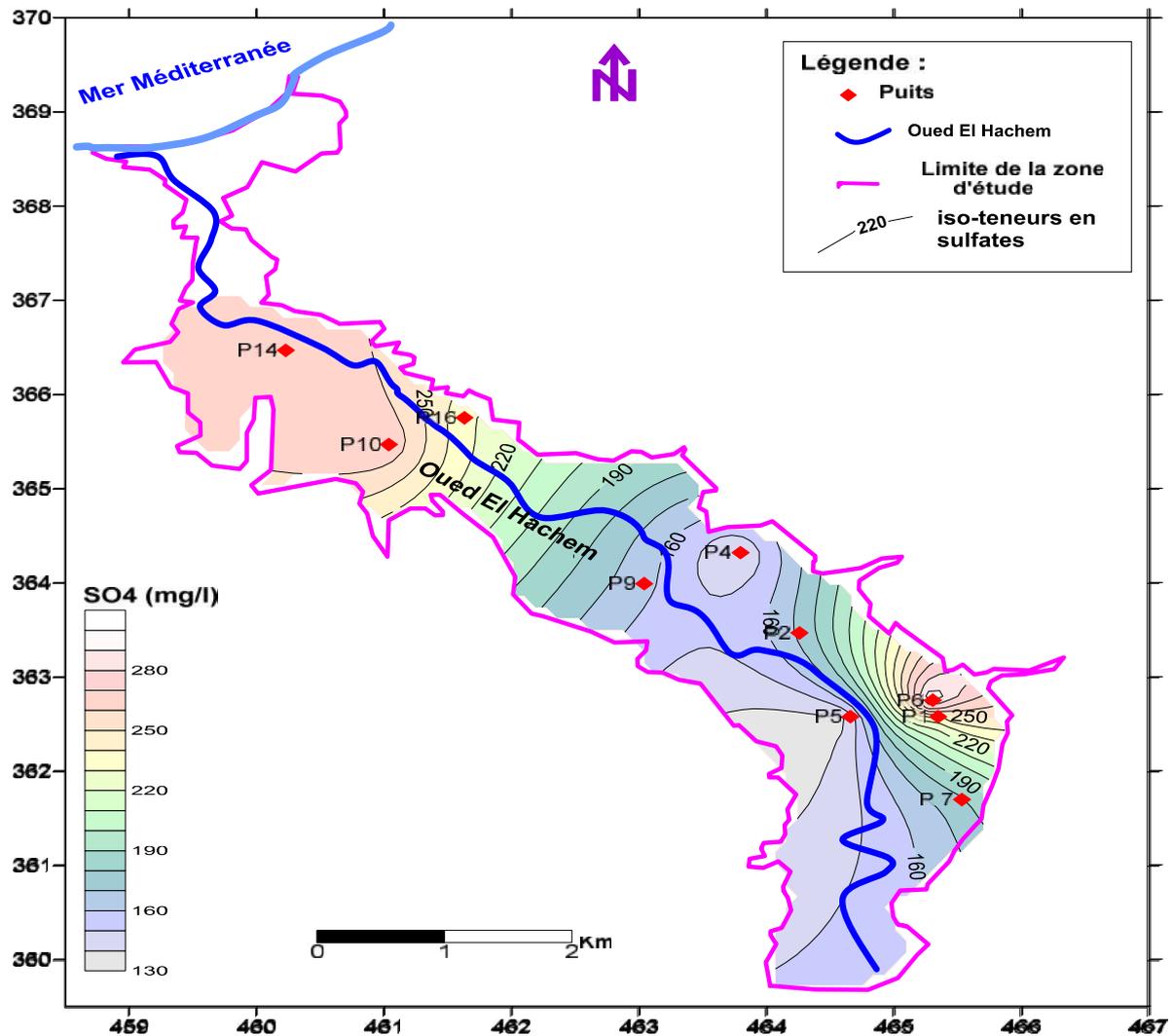


Fig.26 : Carte de la répartition des Sulfates (basses eaux 2015)

III.3.3.7 Nitrates

Les résultats d'analyse montrent que la totalité des points d'eau sont dans les normes de potabilité (< 50 mg/l) à l'exception de puits P4 où la teneur en nitrate dépasse légèrement les normes. Les teneurs sont variés entre 20 mg/l (P1) à 53 mg/l (P4) en période des basses eaux 2015.

Les teneurs élevés en nitrates dans les eaux souterraines sont généralement dues à l'effet de l'utilisation non rationnelle des engrais utilisés en agriculture. Les nitrates sont accumulés dans la zone non saturée, ensuite ils sont lessivés par les précipitations et par les eaux d'irrigation.

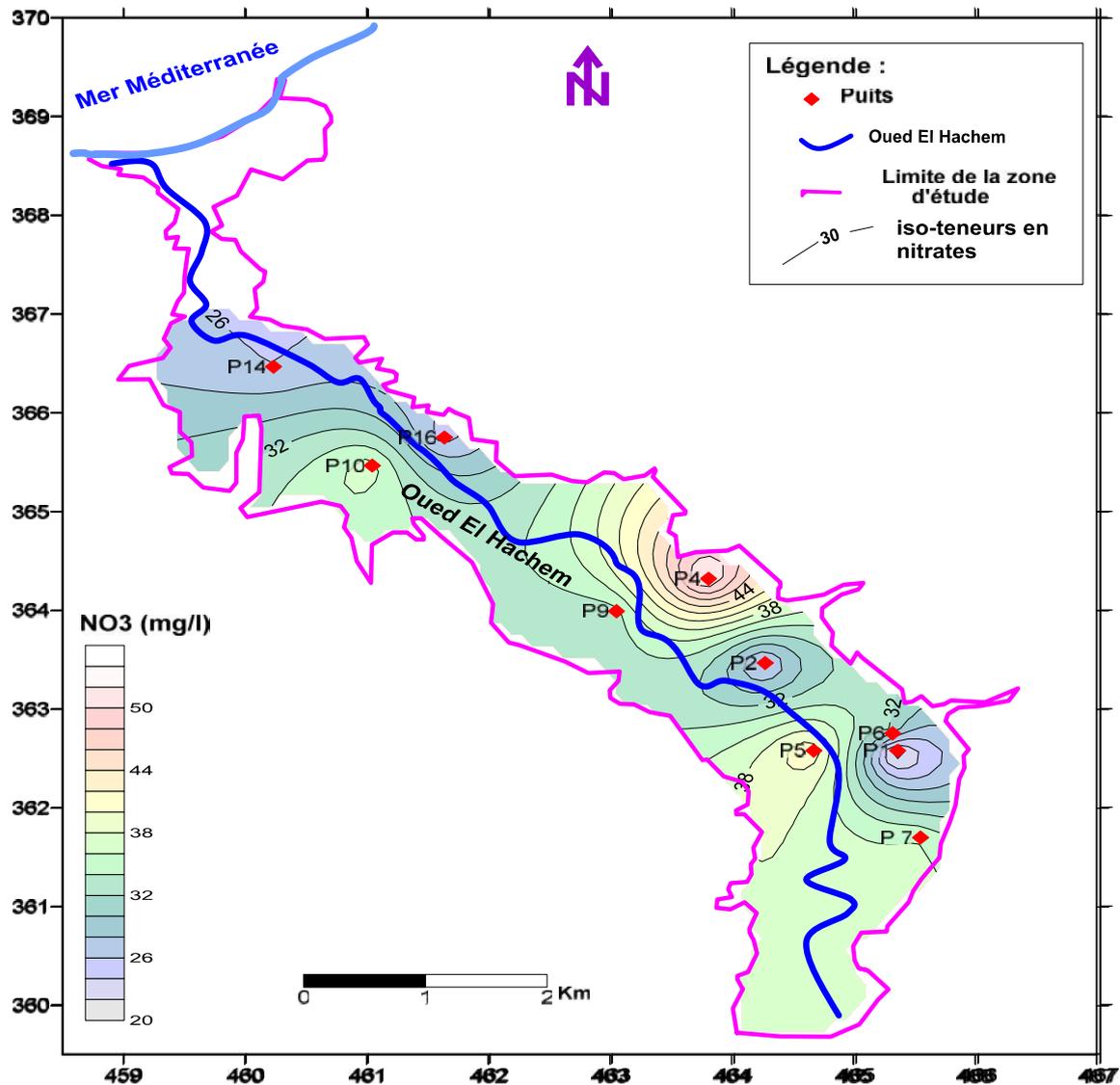


Fig.27 : Carte de la répartition des Nitrates (basses eaux 2015)

III.3.3.8 Bicarbonates

Les teneurs en bicarbonates enregistrées dans la vallée de l'Oued El-Hachem sont variées entre 397 mg/l (P5) et 564 mg/l (P10) en période des basses eaux 2015. Les valeurs les plus élevées sont observées surtout au centre de la plaine.

Les fortes concentrations des bicarbonates ont une origine géologique, elles se forment par la dissolution des formations carbonatées (calcaires et marnes) en présence du CO_2 .

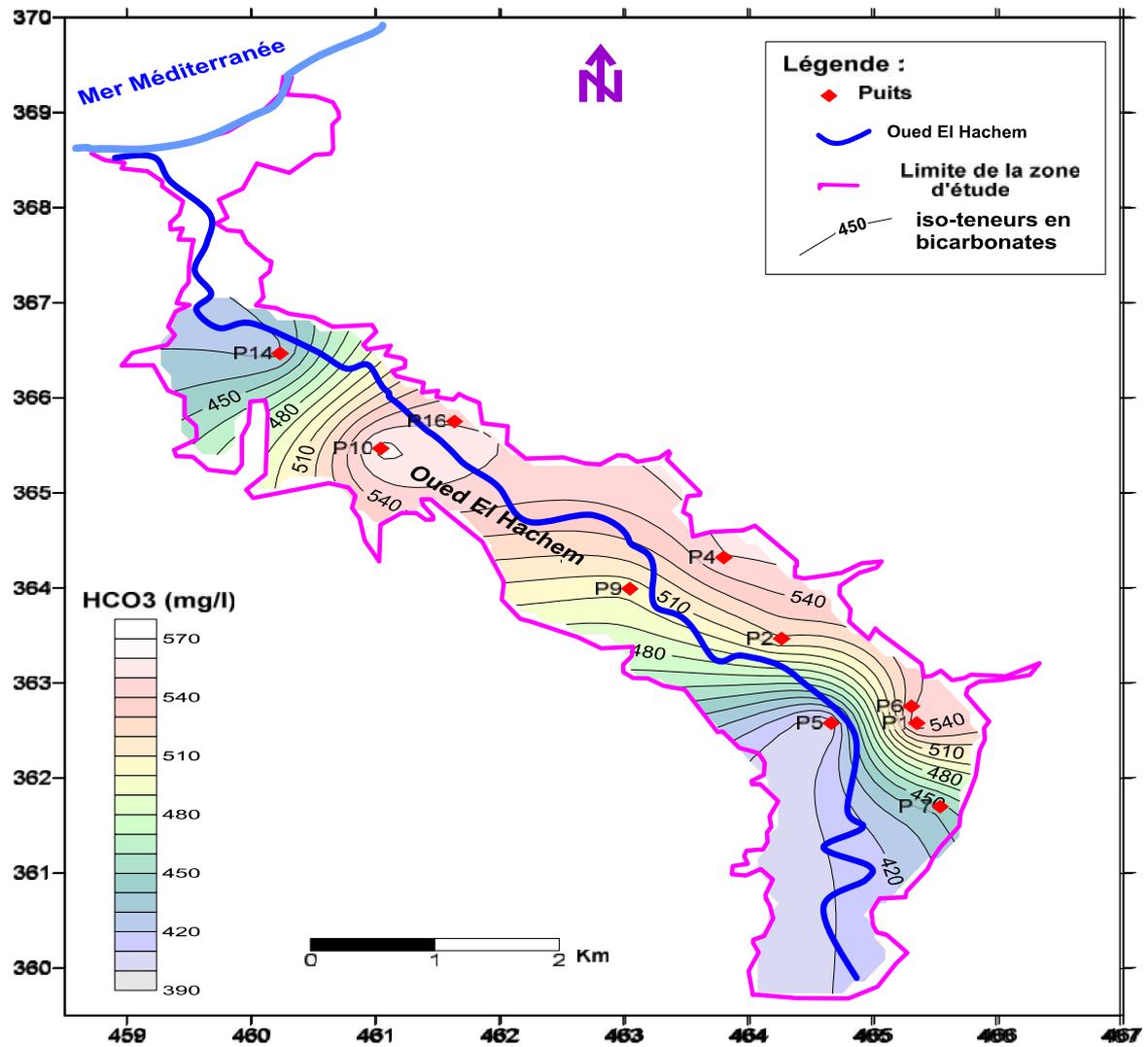


Fig.28 : Carte de la répartition des Bicarbonates (basses eaux 2015)

III.3.4 Rapports caractéristiques

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

sur les échanges entre les ions, ces rapports caractéristiques sont : $\frac{rMg^{++}}{rCa^{++}}$, $\frac{rSO_4^-}{rCl^-}$ et

$$\frac{rHCO_3^-}{rCl^-}$$

Les valeurs sont reportées sur le tableau ci-dessous :

Tableau 21 : Rapports caractéristiques des eaux souterraines (basses eaux 2015)

Point d'eau	Rapports		
	rMg^{2+}/rCa^{2+}	$rHCO_3^-/rCl^-$	rSO_4^{2-}/rCl^-
P1	0.90	1.63	0.05
P2	0.50	1.62	0.07
P4	0.75	1.15	0.10
P5	0.98	1.29	0.13
P6	0.75	1.40	0.08
P7	0.50	2.02	0.16
P9	0.48	2.84	0.18
P10	0.71	1.87	0.11
P14	0.67	0.75	0.04
P16	0.42	1.39	0.06

- Le rapport ionique rMg^{2+}/rCa^{2+} montre que la totalité des valeurs sont < 1 et le rapport $rHCO_3^-/rCl^-$ montre des valeurs > 1 , cela s'explique par la prédominance de l'ion calcium par rapport au magnésium et les bicarbonates par rapport aux chlorures, ce qui montre que l'eau a obtenue sa minéralisation surtout dans les calcaires ($CaCO_3$).

- Le rapport caractéristique rSO_4^{2-}/rCl^- montre des valeurs < 1 , ce qui indique une origine des chlorures à partir de lessivage des engrais chimiques ($NaCl$, KCl) ou d'une pollution d'origine humaine ou animale.

III.3.5 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 :

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

Tableau 22 : valeurs d'indice d'échange de base.

Points d'eau	P1	P2	P4	P5	P6	P7	P9	P10	P14	P16
i.e.b	0,01	0.14	0,11	0,11	0,20	-0,23	-0,16	0.08	0.14	-0,08

L'interprétation des données des i.e.b montre que les points d'eau (P1, P2, P4, P5, P6, P10, et P14) sont positif ; il y a fixation du sodium (ou de potassium) et solubilisation du Calcium.

Les points d'eaux (P7, P9, et P16) sont négatif : le calcium de l'eau, est échangé contre le sodium (ou le Potassium) du terrain.

III.3.6 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.3.6.1. 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 basses eaux 2015, a permis d'avoir une idée sur les faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe alluviale du Oued El-Hachem.

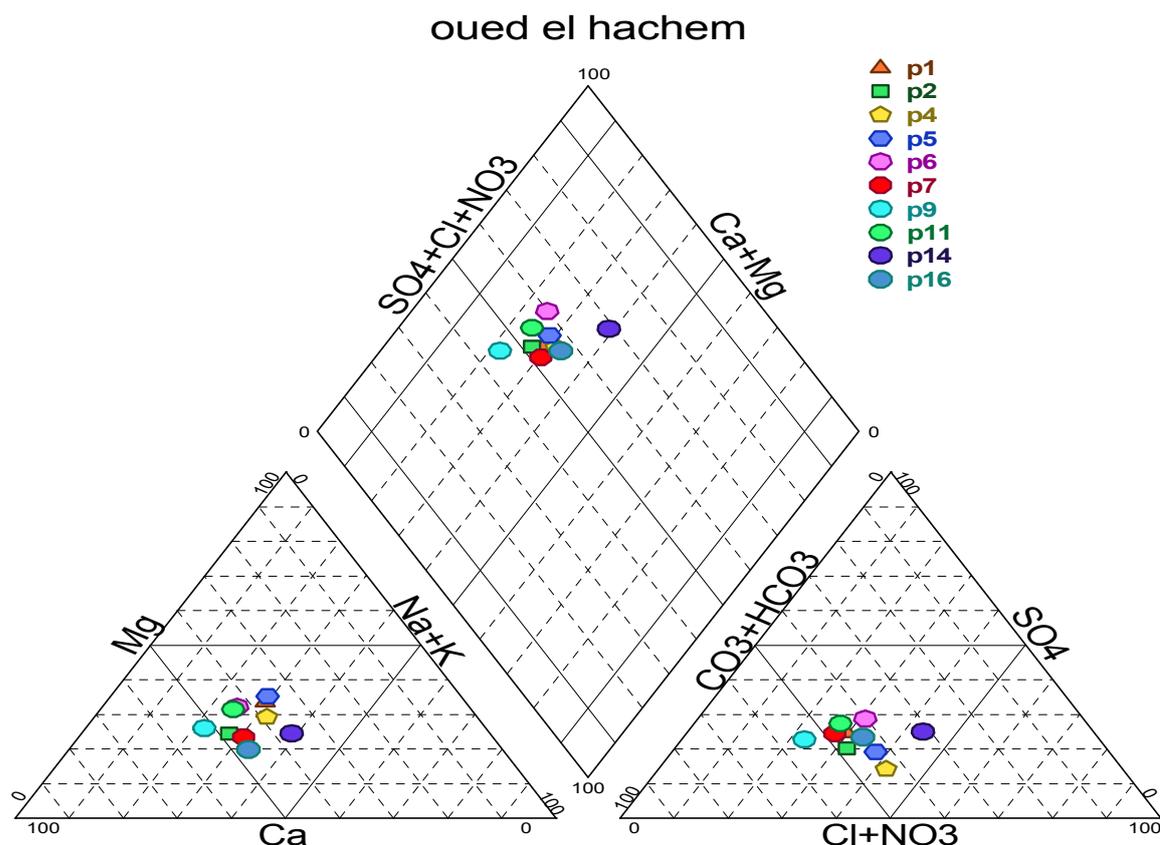


Fig. 29: Projection des résultats d'analyse sur le diagramme de PIPER (basses eaux 2015)

Le diagramme montre la dominance des faciès suivants :

- ✓ Chlorurée – Calcique: P1, P2, P4, P5, P6, P7, P10, P14 et P16
- ✓ Bicarbonaté – Calcique : P9

III.3.6.2 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.

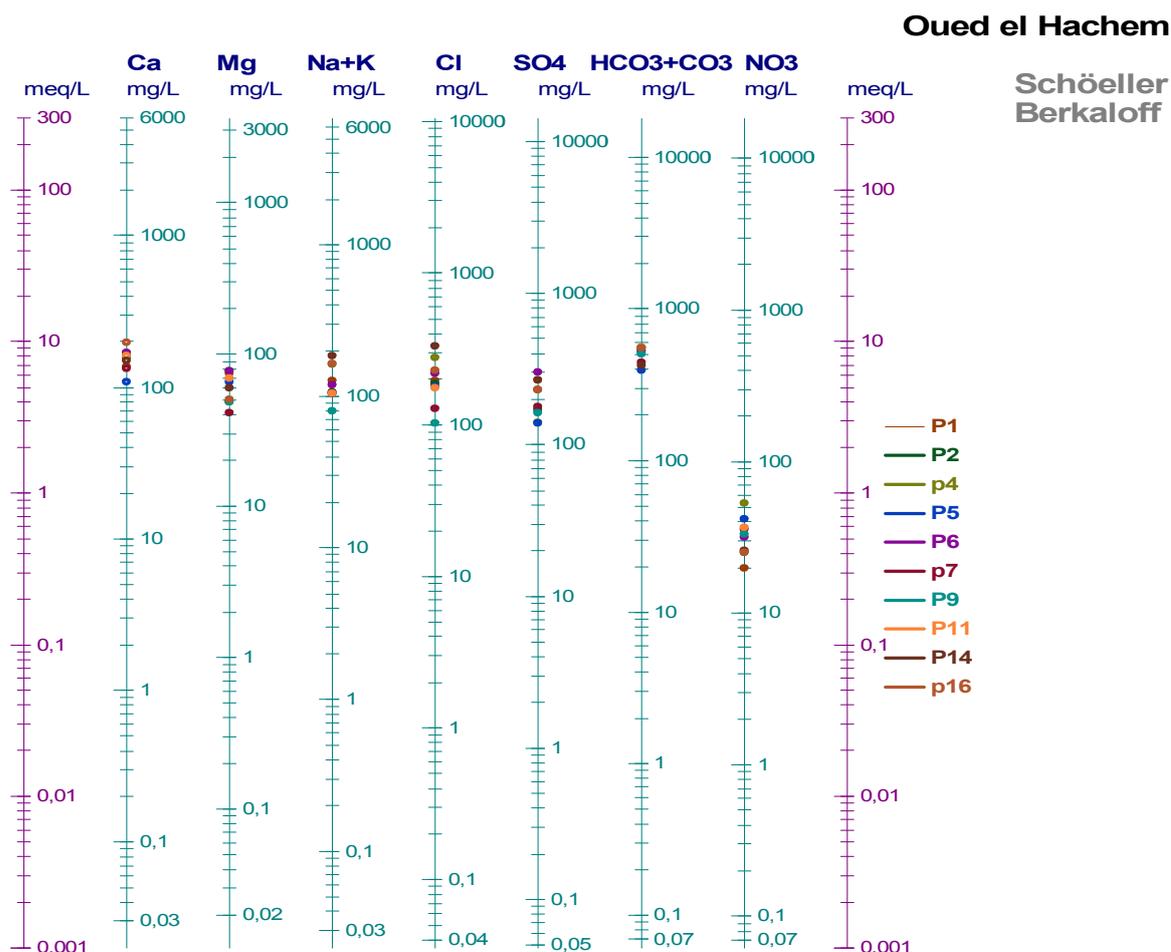


Fig. 30: Projection des résultats sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff (basses eaux 2015)

Le diagramme montre la dominance des faciès suivants :

- ✓ Bicarbonaté-Calcique P1, P2, P4, P5, P6, P7, P9, P11 et P16
- ✓ Chloruré- Calcique P14

III.4 Evolution de chimisme d'eau de la nappe dans le temps

Dans le but de mieux comprendre l'évolution du chimisme des eaux souterraines dans la plaine alluviale de l'Oued El Hachem, nous avons effectué une comparaison entre les résultats d'analyses chimisme des eaux de la période des basses eaux pour les années 2005, 2006, 2009, 2010, 2011, 2014 et 2015.

III.4.1 Evolution temporelle du Calcium :

L'évolution du calcium dans le temps pour les périodes des basses eaux (Fig.31) montre des faibles variations des concentrations d'une année à une autre, à l'exception de puits P14 qu'a enregistré en 2011 une augmentation remarquable, probablement due au lessivage importante des roches carbonatées telle que les calcaires.

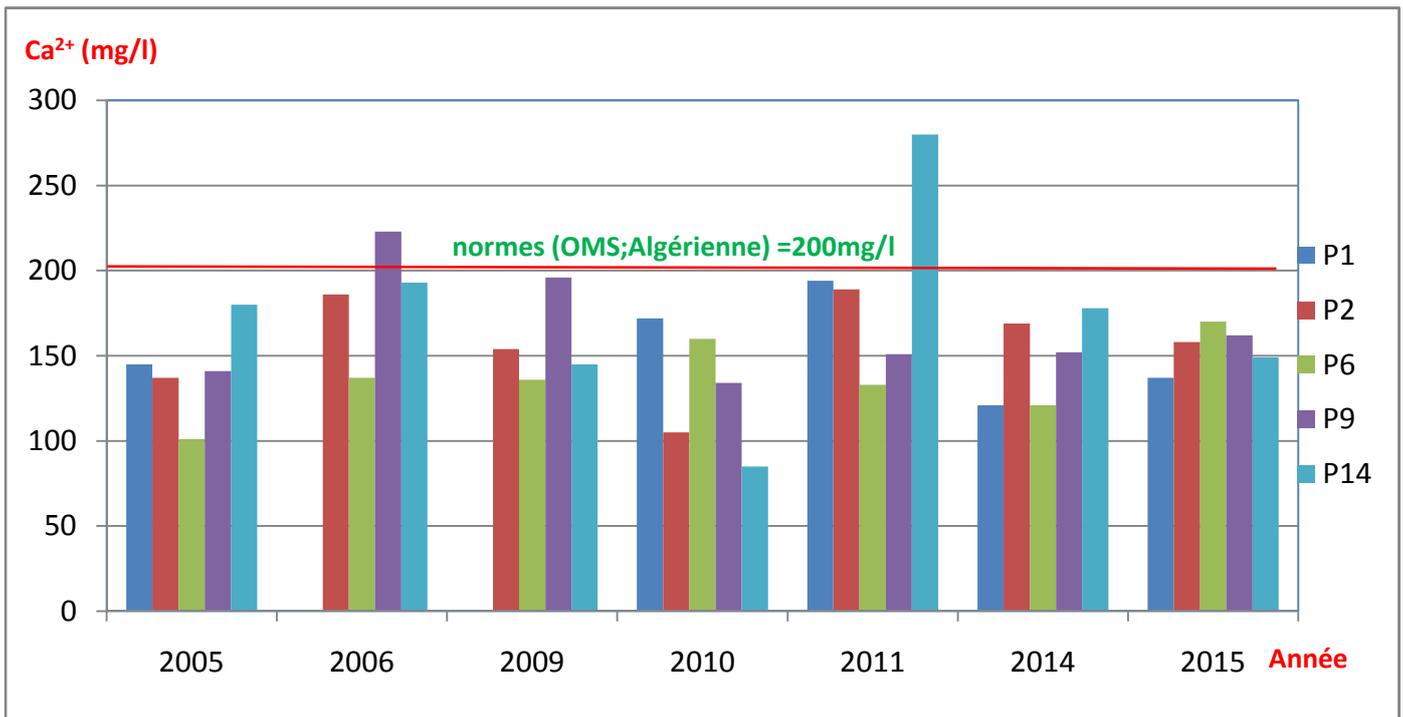


Fig.31 : Evolution de calcium dans le temps.

III.4.2 Evolution temporelle du Magnésium

L'évolution du magnésium dans le temps pour les périodes des basses eaux (Fig. 32) montre des concentrations inférieures à 100 mg/l, à l'exception de puits P14 qu'a enregistré en 2011 une valeur dépassant 100 mg/l, probablement due au lessivage des roches carbonatées telle que les calcaires. Mais il est signaler que les teneurs depuis 2005 jusqu'à 2015 sont dans les normes.

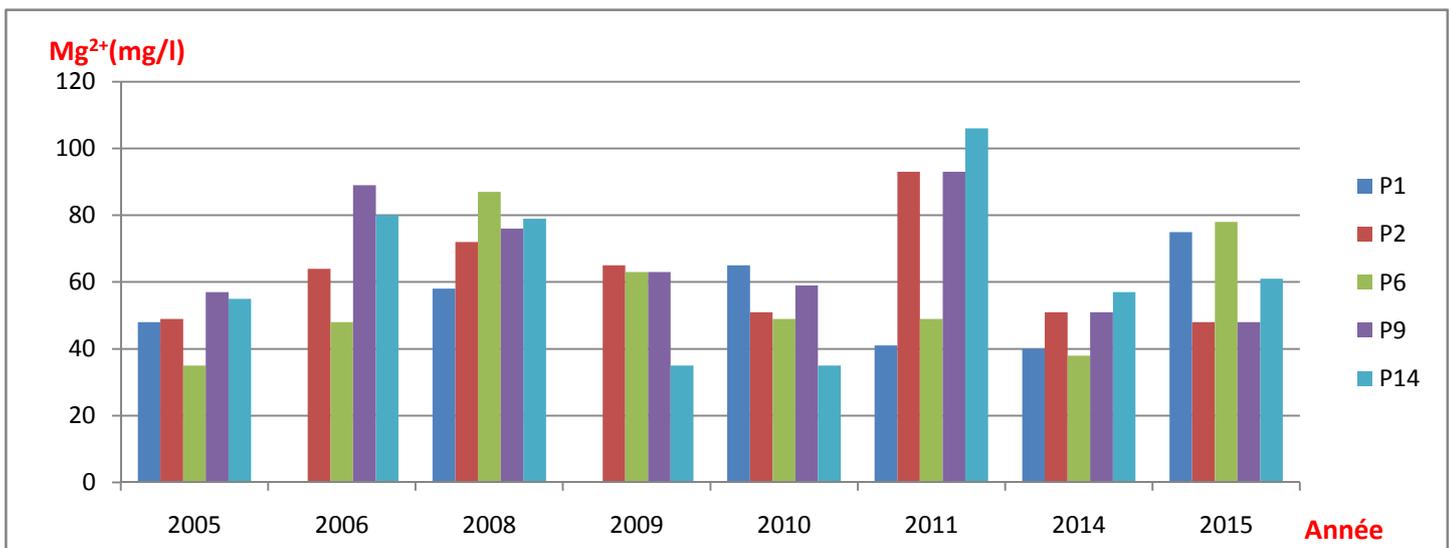


Fig.32 : Evolution de Magnésium dans le temps.

III.4.3. Evolution temporelle du Chlorure :

L'évolution des Chlorures dans le temps pour les périodes des basses eaux (Fig. 33) montre des concentrations inférieures à 250 mg/l, à l'exception du puits P14 qu'a enregistré en 2015 une valeur dépassant 250 mg/l et atteint une valeur de 330 mg/l, probablement due à une origine anthropique (utilisation des engrais de KCl), ou au lessivage des embruns marins.

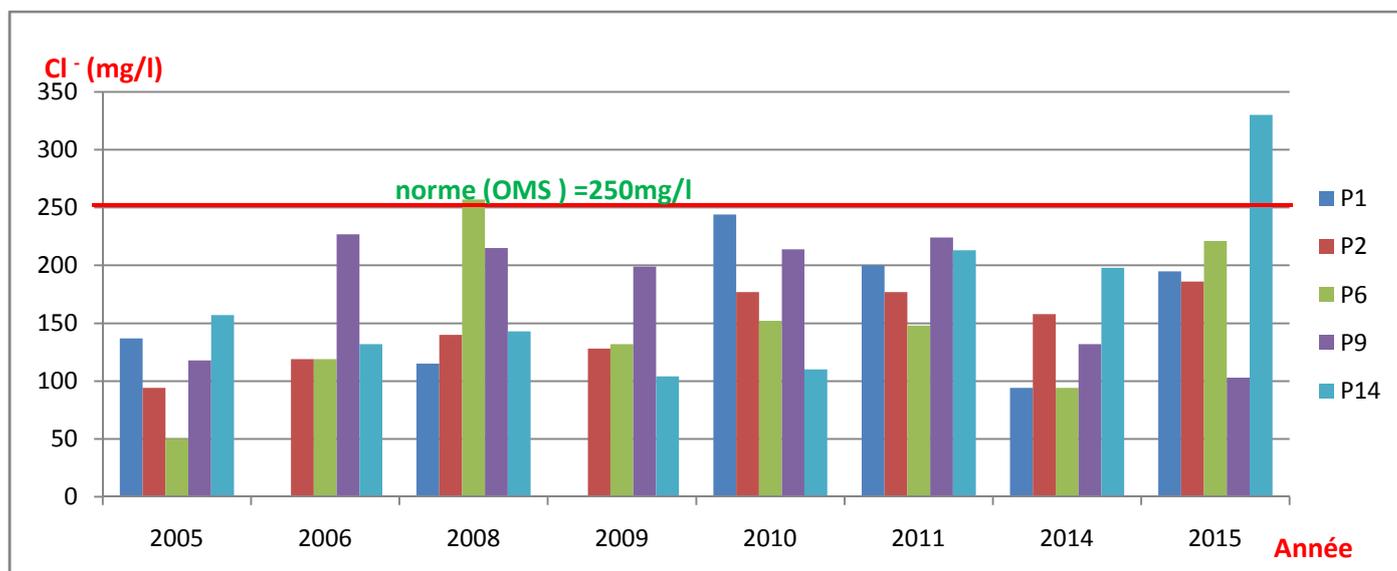


Fig.33 : Evolution de Chlorure dans le temps

III.4.4 Evolution temporelle des Sulfates

L'évolution des sulfates dans le temps pour les périodes des basses eaux (Fig.34) montre des légères variations des concentrations d'une année à une autre, à l'exception de puits P9 qu'a enregistré en 2009 une augmentation remarquable de 475 mg/l, et le puits P14 à l'année 2006 qu'a enregistré une valeur de 430 mg/l, due probablement à l'utilisation excessive des engrais, tel que les sulfates d'ammonium, les sulfates de potassium

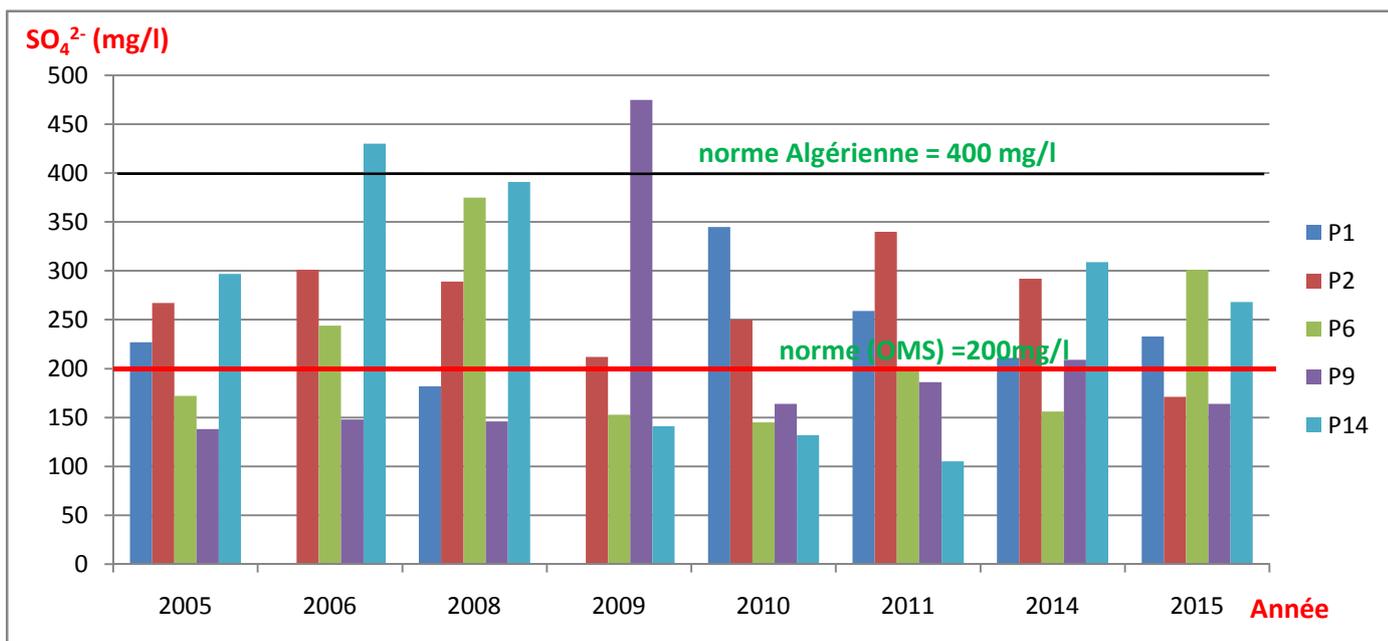


Fig.34 : Evolution de sulfate dans le temps.

III.4.5 Evolution temporelle du Potassium

L'évolution du potassium dans le temps pour les périodes des basses eaux (Fig.35) montre des faibles variations des concentrations d'une année à une autre, à l'exception du puits P6 qu'a enregistré une augmentation à cause de l'utilisation des engrais tel que NPK. Ce dernier se trouve sur des terrains de terrasses alluviales (terrains perméables favorisent l'infiltration vers le sous sol).

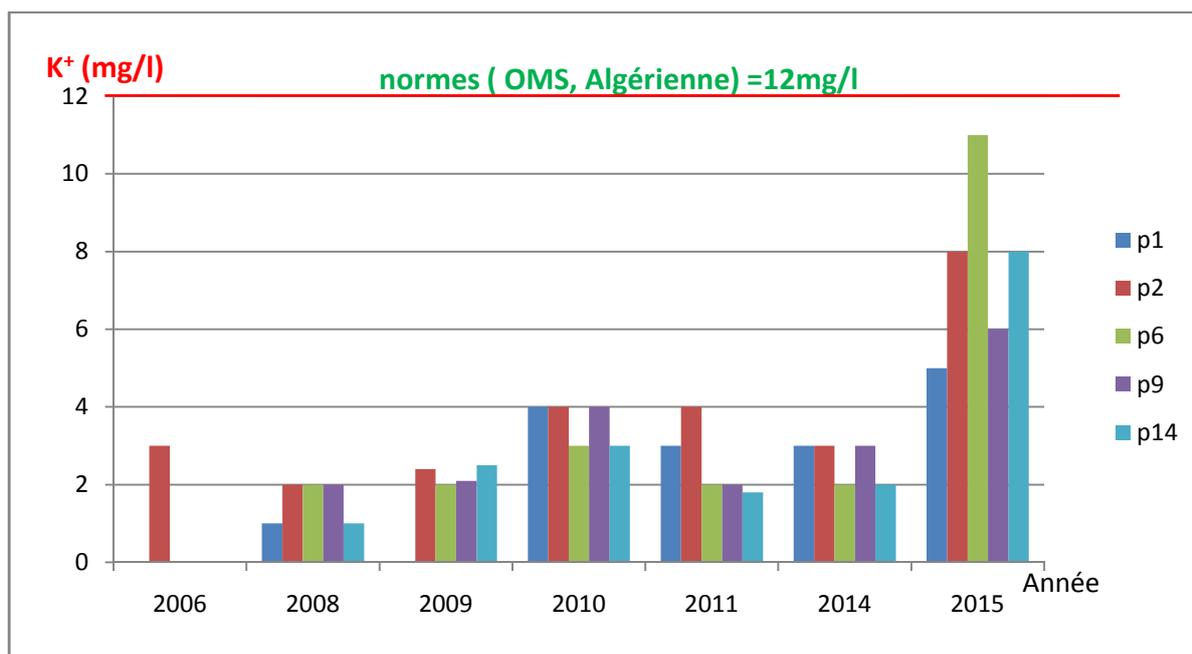


Fig.35 : Evolution de potassium dans le temps.

III.4.6 Evolution temporelle du sodium

L'évolution du sodium dans le temps pour les périodes des basses eaux (Fig.36) montre la majorité des puits présente une légère variation des concentrations d'une année à une autre, à l'exception de puits P9, qui montre une concentration importante (année 2006, et 2010), probablement due à un échange eau-roche ou à l'utilisation excessive de certains engrais tel que le nitrate de sodium.

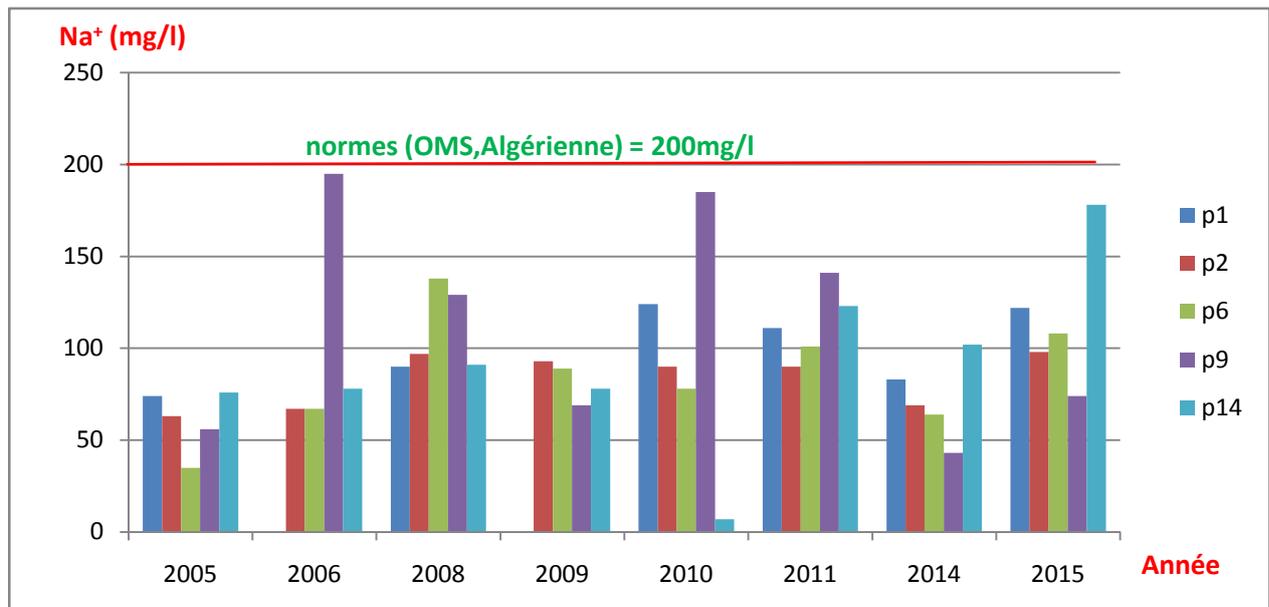


Fig.36 : Evolution de sodium dans le temps.

III.4.7 Evolution temporelle du bicarbonate

L'évolution des bicarbonates dans le temps pour les périodes des basses eaux (Fig.37) montre des faibles variations des concentrations d'une année à une autre, à l'exception de puits P9 qui a enregistré en 2010 une augmentation remarquable, et le puits P14 qui a enregistré une chute non-négligeable grâce à la recharge de la nappe.

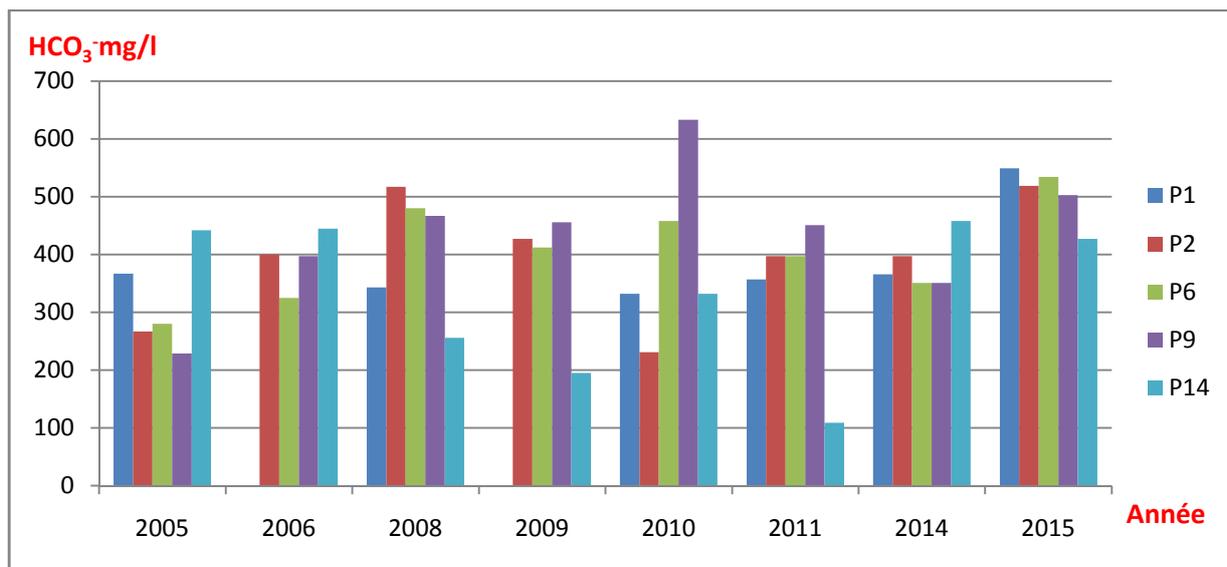


Fig.37 : Evolution de bicarbonate dans le temps.

III.4.8 Evolution temporelle du nitrate

L'évolution des nitrates dans le temps pour les périodes des basses eaux (Fig.38) montre des valeurs très élevées surtout aux niveaux des puits P6 et P9 aux années 2006, 2008 et 2010 à cause des utilisations excessives des engrais.

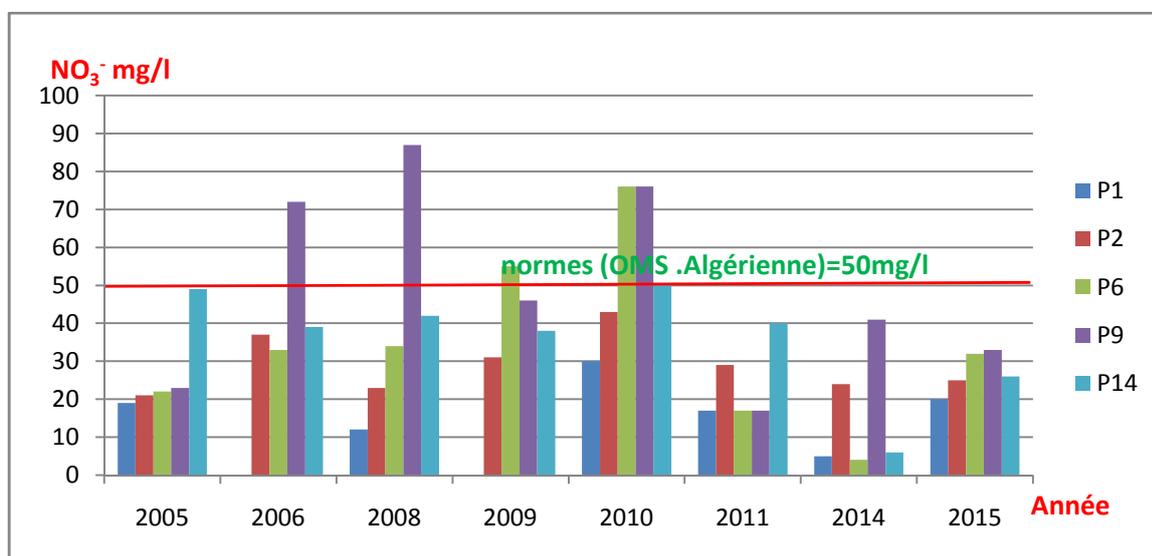


Fig.38 : Evolution de nitrate dans le temps.

III.5 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).

III.5.1 Estimation du SAR :

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

Avec :

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

Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 23 : Valeurs calculés du SAR, en se basant sur les analyses des basses eaux 2015

Points d'eau	P1	P2	P4	P5	P6	P7	P9	P10	P14	P16
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1980	1680	2400	1520	2100	1790	1620	2500	2500	2100
SAR	2.07	1.72	2.45	1.83	1.71	1.84	1.30	1.68	3.09	2.53

Le tableau 23 montre que les valeurs du SAR sont inférieures à 10, ce qui indique que les eaux souterraines de la nappe de l'Oued El Hachem 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).

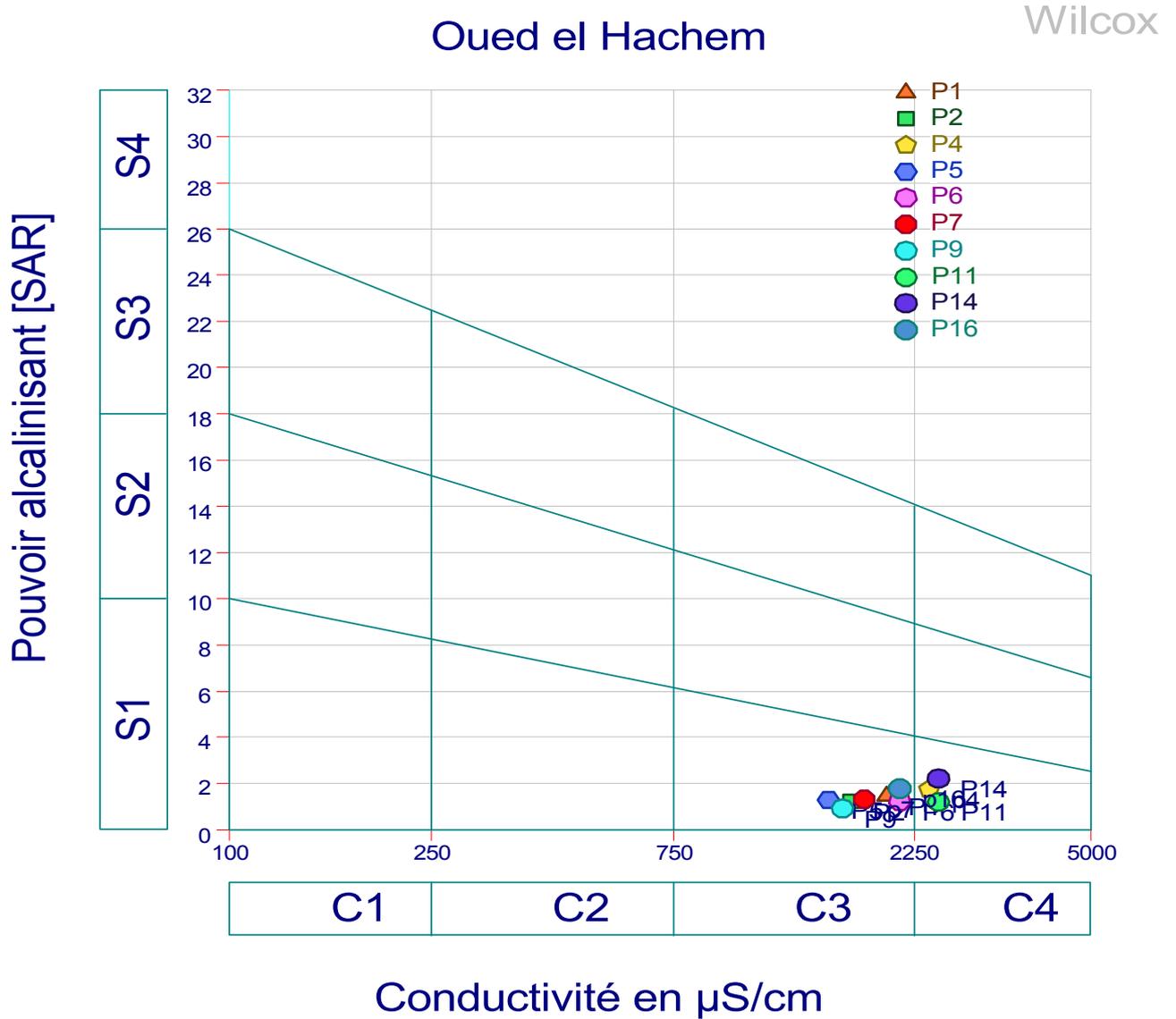


Fig. 39 : Représentation des résultats d’analyse sur le diagramme de Reverside (basses eaux 2015)

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 23 suivant :

Tableau 24 : Pourcentage des classes des points d’eau

Classes	Points d’eau	Pourcentage
C ₃ S ₁	P1 ; P2 ; P5 ; P6 ; P7 ; P9 ; P16	70
C ₄ S ₁	P4 ; P11 ; P14	30

En général :

Les eaux de la nappe alluviale de l'Oued el Hachem appartiennent à la classe C₃S₁ (70 %), indique que les eaux conviennent à l'irrigation des cultures tolérantes au sel, sur des sols bien drainés. Cependant, l'évolution de la salinité doit être contrôlée.

Les eaux appartiennent à la classe C₄S₁ (30 %) sont fortement minéralisées et sont susceptibles de convenir à l'irrigation de certaines espèces (concombre...) bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.

III.5.2 Estimation du SAR Ajusté :

Les résultats du calcul, du SAR ajusté sont présentés dans le tableau 24 ci-dessous.

Tableau 25 : Valeurs du SAR Ajusté des eaux souterraines de la vallée de l'Oued El Hachem

Points	P (k ₂ -pk'c)	P (Ca +Mg)	P ALK	PH _c	SAR aj
P1	2.35	2.15	2.05	6.55	5.89
P2	2.35	2.25	2.05	6.65	4.73
P4	2.4	2.15	2.05	6.6	6.86
P5	2.3	2.25	2.15	6.17	5.91
P6	2.35	2.15	2.05	6.55	4.87
P7	2.3	2.3	2.15	6.75	4.87
P9	2.35	2.2	2.05	6.6	3.64
P10	2.35	2.15	2.05	6.55	4.78
P14	2.4	2.2	2.15	6.75	8.18
P16	2.4	2.15	2.05	6.6	7.08

D'après les résultats du tableau, on remarque que tous les points d'eau ont un SAR adj. < 6 sauf les points (P4, P14, et P16), ce qui signifie qu'il n'y a pas de problème de salinité qui peut être posé par ces eaux.

III.5 Carbonates de sodium résiduels

$$\text{RSC} = (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \text{ en meq/l}$$

Les valeurs de RSC des eaux souterraines sont enregistrées dans le tableau suivant :

Tableau 27 : variation de RSC entre les deux campagnes.

Points d'eau	P1	P2	P4	P5	P6	P7	P9	P10	P14	P16
RSC(méq/l)	-4.02	-3.35	-5.91	-4.29	-6.41	-2.78	-3.81	-4.62	-5.47	-5.09

Les calculs de RSC des eaux des puits donnent des valeurs négatives pour tous les points d'eau, ce qui peut indiquer qu'il n'y a pas d'influence de l'eau d'irrigation sur la dégradation du sol.

- **Conductivité électrique :**

Les résultats montrent que la majorité des points d'eau ont une qualité acceptable, à l'exception de puits P4, P14 et P10 qui ayant une qualité médiocre ($2250 \mu\text{S}/\text{cm} < \text{CE} < 5000 \mu\text{S}/\text{cm}$).

- **Chlorure**

Les résultats d'analyse montrent que la totalité des points d'eau ont une bonne qualité à l'irrigation à l'exception de puits P14.

Conclusion

Au terme de ce chapitre nous pouvons dire que :

- L'écoulement des eaux souterraines se fait en général, selon une direction Sud-Est – Nord-Ouest.

- L'évolution de la piézométrie montre une variation légère d'une année à une autre, (période des basses eaux) pour la majorité des puits. Alors que en 2009 les puits P1, P2, P4, P5, P7 et P9 ont enregistré un abaissement entre 2 à 8m, et le puits P12 montre un abaissement d'environ 14m en 2014 par rapport aux années précédentes, cela est la cause d'une surexploitation remarquable des eaux souterraines.

L'analyse de niveau statique montre une baisse significative de tous les points d'eau en 2009 par rapport aux autres années. Cela est dû probablement à l'effet de la surexploitation de cette nappe et à la faible recharge.

- L'étude hydrogéochimique des eaux de la nappe alluviale du Oued El Hachem nous a permis de dire que :

- Les eaux de la nappe sont caractérisées par la présence de deux faciès dominants : faciès Chlorurée-Calcique et faciès Bicarbonaté-Calcique.

- Les eaux souterraines de la vallée d'Oued El Hachem, présentent une qualité moyenne pour la majorité des points d'eaux, avec une dureté oscillant entre moyennement dure à très

dure. Elles peuvent être utilisées pour l'AEP ou pour l'irrigation, mais avec précaution, et un suivi périodique.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Le bassin versant de l'oued El Hachem appartient au bassin du côtier algérois, il est situé à l'ouest d'Alger à proximité de la ville de Sid Amer (Tipaza). Il s'étend depuis la montagne de Boumâad au Sud jusqu'à la mer Méditerranée au Nord, il présente une forme allongée avec un coefficient de Gravélius $Kc = 1.57$. De part sa position géographique, la région d'étude montre un climat méditerranéen de type semi- aride, avec deux saisons 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 18°C , et la pluviométrie moyenne annuelle est de 557.5 mm (période 1988 – 2015, station du barrage Boukourdene).

Le calcul du bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite a révélé que l'ETR est de l'ordre de 425.33 mm, mobilisant 76.28 % des précipitations moyennes annuelles, et un ruissellement de 14.16 %, alors que l'infiltration ne représente que 9.56 % de ces précipitations, sans tenir compte des apports prévenants de l'excès des eaux d'irrigation et des lâchers du barrage.

L'étude géologique a montré que la région d'étude est caractérisée par une tectonique souple, constituée de plusieurs terrasses souvent de petites dimensions. L'aquifère de Oued el-Hachem est principalement constitué par des dépôts alluvionnaires, formés surtout par des galets et des graviers, avec une épaisseur maximale de 25 m.

Les résultats des études géophysiques, ont permis de dégager la géométrie de l'aquifère, avec une nappe libre en amont de la plaine et une nappe captive en aval (présence d'un recouvrement argileux en surface). L'aquifère est alimenté surtout par les précipitations efficaces et par le surplus des eaux d'irrigation et les lâchers du barrage.

L'étude piézométrique a fait ressortir un écoulement des eaux souterraines de direction Sud- Est vers le Nord-Ouest, rejoignant la mer Méditerranéen, son exutoire final. L'analyse des niveaux statiques a montré généralement une baisse significative de niveau statique de tous les points d'eaux en 2009 par rapport aux autres années, cela est dû probablement à l'effet de la surexploitation de cette nappe.

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

-Une augmentation des concentrations des éléments d'un point d'eau à une autre, où tous les paramètres caractérisant la qualité sont importants au P14, cela est dû au sens d'écoulement des eaux souterraines vers cet endroit (zone d'accumulation des eaux au niveau de la zone de remontée du substratum marneux). La minéralisation est aussi élevée au niveau des puits P4, P6 et P10 cela est dû à la dissolution des roches carbonatées (en fonction de temps de séjour des eaux souterraines) et au lessivage du sol par les précipitations (transfert de certains éléments chimiques de la zone non-saturée vers la nappe). Concernant la variation de la qualité de l'eau dans le temps, il est observé une légère variation dans une année à une autre, mais généralement les teneurs de différentes concentrations sont généralement dans les normes à l'exception de quelques puits qui montrent un léger dépassement.

- la représentation des analyses chimiques sur les diagrammes de Piper et Schoëller a montré la présence de deux faciès chimiques : Chlorurée – Calcique et faciès Bicarbonaté-Calcique. De point de vue aptitude des eaux à l'alimentation en eau, les eaux souterraines de cette nappe sont moyennes, mais elles peuvent être utilisées pour l'AEP. Alors que l'aptitude des eaux souterraines à l'irrigation, selon SAR et SAR ajusté les eaux ont une qualité moyenne pour la majorité des points d'eau, avec une dureté oscillant entre moyennement dure à très dure. Elles peuvent être utilisées pour l'irrigation sans aucun problème.

Sur le plan salinité ces eaux sont acceptables et ne posent pas de problème de pression osmotique, c'est-à-dire ne gênent pas l'absorption de l'eau par les racines des cultures.

L'alcalinité résiduelle positive montre que ces eaux ne posent pas de problème de dégradation du sol car elles sont riches en cation de calcium et magnésium.

RECOMMANDATIONS

Afin d'aboutir à une meilleure connaissance du système aquifère de la région, nous proposons les recommandations suivantes, afin d'arriver à une gestion rigoureuse de la nappe de l'oued El Hachem :

- L'installation des piézomètres couvrant toute la plaine, pour bien contrôler les fluctuations piézométriques et les variations des paramètres physico-chimiques.
- Encourager le reboisement et la plantation sur les deux rives de l'oued pour favoriser la conservation des terres et des eaux, ainsi diminuer les risques d'érosion du sol.

Références bibliographiques

- ANRH (2004) : Annuaire hydrogéologique de la nappe alluviale de l'Oued El Hachem
- CHAPMAN. D, KIMSTACH. V (1996) : Selection of water Quality variables. Water Quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in Environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon, London. 59-126p.
- CHENDRI. N et CHERFI. I (2007) : Approche hydrogéologique de la nappe alluviale d'Oued Boudouaou : intrusion du biseau salé. 160 p.
- CGG1966, Rapport de prospection géophysique
- DE MARTONNE. E (1950) : Traité de géographie physique-tome 1/3 notion générale : climat, hydro géographique, 8^{ème} édition –paris, édition Armand colin .496 p
- DROUBI. A, GRONDIN. J L, FRITZ B et TARD. Y (1978) : Calcul des équilibres dans le système Ca CO₃- H₂O-CO₂. Rappel des conditions de dissolution et de précipitation de la calcite. Sci. Géol. Bull, 31. 195-202 p.
- FAO (1976) : Food Alimentation Organisation La qualité de l'eau en agriculture. Bull. d'irrigation et drainage n°29. Rome.
- FAREH. A (2006) : Approche Méthodologique de la cartographie de la sensibilité des sols à l'érosion .cas du bassin versant de l'Oued El Hachem wilaya de Tipaza mémoire d'ingénieur institut national agromique. Alger .125 p.
- LOUP. J (1974) : les eaux terrestres. Masson et Cie, Editeurs.
- MEYBECK .M, FRIEDRICH .G, THOMAS .R, CHAPMAN D. (1996) : Rivers, Water Quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in Environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon, London.59-126p.
- PARIZOT. M (2008) : Contrôle de surveillance de la qualité des masses d'eau souterraine de la Guyane conformément à la Directive Cadre Européenne sur l'eau : saison des pluies (2008) : Rapport final BRGM/RP-56890-FR.
- PHILIPPE OLIVE (1996) : Introduction à la géochimie des eaux continentales, Iditura Didactica si pedagogica, R.A. Bucuresti. 130p
- RAHOUI. M (2002) : Impact de l'intensification agricole sur la qualité des sols, et des eaux souterraines dans le périmètre irrigué des Doukkala. Thèse Doctorat Univ. Chouaib Doukkali, El Jadida, Maroc. 140p.
- REJSEK. F (2002) : Analyse de l'eau.
- RICHARDS. L A (1954) : Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agric. Handbook 60, USDA, Washington D.C. 160 p.
- ROCHE. M (1963) : Hydrologie de surface, Gauthier-Villars et ORTOM, paris, France .150p
- RODIER. J (2005) : l'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer.

RODIER. J (1996) : L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer .Edit Dunod.

RODIER.J, BAZIN.C, BROUTIN. J P, CHAMBON.P, CHAMPSAUR. H, RODI.P (1996) : L'analyse des eaux : naturelle, résiduaires et de mer. Edit DUIOOD.

SARI. H (2014) : Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de la source Attar (Tlemcen), Mémoire de Master en sciences des aliments, Université Abou-Bekr Belkaid Tlemcen .59p.

SCHOELLER. H (1969) : Géochimie des eaux souterraines. Ed. Eyrolles. 251p.

STUYFZAND P J (1989) : A new hydrochemical classification of water types, Régional Characterization of Water Quality, Proceedings of the Baltimore Symposium, IAHS, Publ.182p.

VALLES .V, et DOSSO. M (1979) : Problèmes posés par l'utilisation des eaux salées pour l'irrigation. Calcul des doses d'arrosage. Rapport GERSAR. 52 p.

THORNTHWAITE. C W(1948) : an approche toward a rational classification of climate. Geographical review, january. 55-94p.

<http://hydram.epfl.ch/docs/Irrigation-basic.pdf>.

Annexe

Précipitation de station de l'Oued Bellah (1998-2013)

Année	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Annuel
1998	18,4	25,8	119,2	50,5	86,5	132	65,9	11	4,3	1	0	2,3	516,9
1999	14,3	15,3	174,5	283,1	15,6	3,9	23,1	15,2	44,8	0	0	0	589,8
2000	5,5	84,8	81,2	62,2	77	63,1	0,3	74,4	18	0,1	0,1	0	466,7
2001	23,1	2,3	112,6	61	30,6	16,7	73,3	36,6	24,8	1	4,8	11,2	398
2002	15,7	20,6	56,7	47,2	147,3	89,8	13,4	38,6	17,2	0	1,1	1,4	449
2003	9	47,4	101,3	56,9	77,1	48,5	40	79,7	102	2,3	1,3	10,2	575,7
2004	22,7	27,9	89,5	128,4	69,4	147,2	95,8	16,4	1,1	0	0	2,7	601,1
2005	14,6	33,6	100,8	140,4	90,6	64,3	12,6	13,2	143,8	1,9	0,5	0,6	616,9
2006	67,4	0,7	51,6	294,8	14	63,4	80,5	76,8	15	0	0	3	667,2
2007	54,9	144,9	249,8	114,8	14	18,4	50,1	14,2	44,7	30,3	11,7	0	747,8
2008	39,1	53,3	95,4	104,3	131	13,8	61,2	62,8	14,9	0	0	2,9	578,7
2009	86	2,4	77,6	86,5	79,6	91,6	105,8	39,5	10,9	14,3	0,7	23,2	618,1
2010	15,4	144,3	135	72,1	82,8	136,8	26,6		89,6	14,4	0		717
2011	9	51	156,4	58,3	29,5	245,3		110,2	14,5	0	0,2	3,3	677,7
2012	0,9	37	98,1	25,9	88,1	93,9	66,7	91,7	181,6	0	0,4	0	684,3
2013	22,8	9,3	177,7		47,3	42,6	88,9	1,3	10,5	9,7		0,6	410,7

Précipitation de station de Barrage Boukourdene (1988-2015)

Année	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Annuel
1988	36,6	26,1	34,8	43,3	36,3	19,5	0,0	0,0	0	0	0	0	196,6
1989	28,0	22,9	96,1	89,1	10,9	11,1	0,0	6,3	59,5	19,5	66,8	161,1	571,3
1990	96,9	0,0	57,1	55,9	44,2	0,0	2,6	0,3	16,5	6,0	68,5	21,7	369,7
1991	131,3	68,4	102,9	21,5	22,4	6,9	2,2	3,8	2,3	17,2	48,5	102,2	529,6
1992	170,2	38,0	74,8	76,7	52,2	22,3	5,1	0,0	5,5	135,9	23,1	10,5	614,3
1993	5,5	85,9	32,0	65,0	8,3	2,2	0,0	0,0	0,0	73,2	74,6	87,6	434,3
1994	97,4	31,9	2,8	70,3	7,2	0,0	0,0	0,0	20,0	21,1	54,1	35,2	340,0
1995	140,9	31,9	116,4	11,6	7,4	19,8	0,0	0,0	107,1	70,7	55,1	52,7	613,6
1996	0,0	152,5	33,9	199,2	9,1	12,9	4,5	0,8	19,6	25,0	56,4	20,0	533,9
1997	50,7	44,0	6,0	69,1	26,2	0,0	2,8	8,8	41,4	91,3	30,1	18,0	388,4
1998	7,6	36,0	33,7	76,4	140,9	1,3	0,0	3,4	23,1	46,6	96,9	47,9	513,8
1999	126,7	168,6	115,5	11,6	0,9	0,7	0,0	1,3	35,1	26,2	114,9	69,0	670,5
2000	7,8	7,4	24,0	182,0	49,5	1,1	0,0	0,0	10,7	13,6	131,8	260,0	687,9
2001	107,8	52,5	0,8	60,7	11,5	0,3	0,0	0,0	6,3	86,0	74,8	29,6	430,3
2002	27,4	19,5	65,0		29,5	0,0	6,5	8,0	18,0	13,0	175,2	46,2	408,3
2003	155,1	124,9	13,3	43,3	39,8	0,0	0,0	1,8	26,5	24,5	90,5	74,1	593,8
2004	81,3	46,5	52,4	76,2	83,1	0,0	3,6	27,7	2,7	27,7	110,5	60,5	572,2
2005	100,9	145,0	95,2	24,1	2,8	0,0	0,0	0,6	4,0	27,7	120,3	143,0	663,6
2006	67,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	138,0	33,2	212,0	136,7	587,7
2007	12,4	44,8	103,0	90,0	2,8	0,0	0,0	0,0	71,0	2,0	19,1	210,8	555,9
2008	16	21	89	10	42	35	16	0	60	120	196	123	726
2009	0	9	73	87	15	0	0	18	35	60	103	93	490
2010	87,5	98,5	98,0	38,0	25,0	6,0	0,0	0	101,2	3,5	81,0	117,0	655,7
2011	108,0	108,6	36,4	95,6	93,5	18,0	0,0	0	19,5	116,5	99,0	59,5	754,6
2012	35,5	323,6	91,4	99,2	11,4	0,0	0,0	0,0	4,5	44,6	106,2	68,0	784,4
2013	104,6	94,5	47,4	90,0	194,5	1,0	1,0	7,3	9,0	57,6	79,5	14,4	700,8
2014	46,6	49,7	158,0	6,2	39,0	54,0	0,0	0,6	16,0	45,0	195,1	67,2	677,4
2015	89,1	131,8	77,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	59,1	65,8	117,4	546,8

Paramètres physico-chimique des eaux souterraines de la nappe alluviale d'Oued El Hachem en méq/l (basses eaux 2015)

Ca ²⁺ (méq/l)	Na ⁺ (méq/l)	Mg ²⁺ (méq/l)	K ⁺ (méq/l)	Cl ⁻ (méq/l)	SO ₄ ²⁻ (méq/l)	HCO ₃ ⁻ (méq/l)	NO ₃ ⁻ (méq/l)	CO ₃ ⁻ (méq/l)
6.85	5.3	6.17	0.12	5.49	4.85	9.00	0.32	0
7.9	4.26	3.95	0.20	5.23	3.65	8.50	0.40	0
8.5	6.69	6.41	0.23	7.80	2.91	9.00	0.85	0
5.45	4.26	5.34	0.15	5.01	2.91	6.50	0.67	0
8.5	4.69	6.41	0.28	6.22	6.27	8.75	0.51	0
6.65	4.17	3.37	0.23	3.57	3.68	7.24	0.58	0
8.1	3.21	3.95	0.15	2.90	3.41	8.24	0.53	0
8.1	4.43	5.76	0.07	4.92	5.60	9.24	0.59	0
7.45	7.73	5.02	0.20	9.29	5.58	7.00	0.41	0
9.9	6.73	4.19	0.23	6.45	4.85	9.00	0.40	0

Tableau de pH_C

P (ALK)	P (Ca + Mg)	pK2 - pK'c	Somme de la Concentration (meq/l)
4.3	4.6	2	0.05
4	4.3	2	0.1
3.8	4.1	2	0.15
3.7	4	2	0.2
3.6	3.9	2	0.25
3.5	3.8	2	0.3
3.4	3.7	2	0.4
3.3	3.6	2.1	0.5
3.1	3.4	2.1	0.75
3	3.3	2.1	1
2.9	3.2	2.1	1.25
2.8	3.1	2.1	1.5
2.7	3	2.2	2
2.6	2.9	2.2	2.5
2.5	2.8	2.2	3
2.4	2.7	2.2	4
2.3	2.6	2.2	5
2.2	2.5	2.2	6
2.1	2.4	2.3	8
2	2.3	2.3	10
1.9	2.2	2.3	12.5
1.8	2.1	2.3	15
1.7	2	2.4	20
1.5	1.8	2.4	30
1.3	1.6	2.5	50
1.1	1.4	2.5	80

Tableau de Dureté

Point d'eau	P1	P2	P4	P5	P6	P7	P9	P10	P14	P16
Dureté (°F)	65.1	59.25	74.55	53.95	74.55	50.1	60.25	68.8	62.35	70.45

