

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche SCIENTIFIQUE

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل
Université Mohammed Seddik Benyahia - Jijel

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : des Sciences de la Terre et de
l'Univers



كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم: علوم الأرض و الكون

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : **Master Académique en Géologie**

Option : Eau et Environnement

Thème

*Fonctionnement hydrodynamique et hydrochimique de la
nappe alluviale d'oued Djendjen (Jijel –NE Algérien)*

Membres de Jury

Président : Abdelmalek DROUCHE (MCB)

Examineur : Hocine KINIOUAR (MAA)

Encadrant : Faouzi ZAHY (MCB)

Présenté par :

Islam BOULFRAKH

Zouhir LAKEHEL

Année Universitaire 2016-2017

Numéro d'ordre (bibliothèque) :.....

REMERCIEMENTS

Louange à Dieu le tout puissant miséricordieux de nous avoir donné force et patience pour mener à terme notre travail.

Nous adressons nos remerciements à notre encadrant Monsieur Zahi Faouzi qui, après avoir accepté de prendre la direction du mémoire, il nous a laissé bien souvent gérer notre travail tout en apportant les critiques et conseils nécessaires lors de son élaboration vivement. Nous le remercions pour l'intérêt qu'il a apporté à ce travail, pour son encadrement, sa patience, sa compréhension et sa gentillesse durant toute la période de réalisation de notre mémoire et nous tenons à mentionner le plaisir que nous avons à travailler avec lui. Nous remercions d'avance les membres du jury pour l'intérêt qu'ils porteront à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous remercions également monsieur Drouiche Abdelmalek et notre ami Sakta Houcine pour sa disponibilité et ses conseils qui nous ont guidés le travail au Laboratoire de Génie Géologique et le Laboratoire Pédagogique de la Biologie (Université de Mohamed Seddik Benyahia - Jijel).

Enfin, Nous tenons à remercier toute personne qui nous a aidé ou encouragé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Nos remerciements vont à tous les enseignants de la spécialité « Eau et Environnement ». Nous remercions les étudiants de notre spécialité pour l'aide exceptionnelle que nous donnent surtout Karouet Ali, Lamine et Djamel.

Zouhir El islam

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à tous ceux qui ont Contribué de

Près ou de loin

À l'élaboration de ce travail plus particulièrement :

A mon Père Abdullah

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.

Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.

A ma belle-mère « Nabila »

« Tu m'as donnée la tendresse et le courage pour réussir tout ce que je peux offrir ne pour a exprimer l'amour et la reconnaissance que je te porte, je t'offre ce modeste travaille pour tout remercier pour les sacrifices et pour l'affection dont tu m'as toujours entourée ».

A mon cher frère et mes sœurs :

Elles présents dans tous mes moments d'examens par son soutien moral et ses belles surprises sucrées. Je vous souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité.

A toutes ma famille,

A toutes mes amies,

A mon binôme islam,

A tous ceux qui me sont chers.

Enfin, et si par inattention j'ai oublié quelqu'un, qu'il me pardonne et qu'il soit remercié.

Dédie par : Zouhir

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à tous ceux qui ont Contribué de

Près ou de loin

À l'élaboration de ce travail plus particulièrement :

A mon Père « Mohamed »

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.

Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.

A ma mère « Dehbia »

« Tu m'as donnée la tendresse et le courage pour réussir tout ce que je peux offrir ne pour a exprimer l'amour et la reconnaissance que je te porte, je t'offre ce modeste travaille pour tout remercier pour les sacrifices et pour l'affection dont tu m'as toujours entourée ».

A ma chère sœur et mes frères :

Elles présents dans tous mes moments d'examens par son soutien moral et ses belles surprises sucrées. Je vous souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité.

A toutes ma famille,

A toutes mes amies,

A mon binôme Zoufir,

A tous ceux qui me sont chers.

Enfinement, et si par inattention j'ai oublié quelqu'un, qu'il me pardonne et qu'il soit remercié.

Dédie par : islam

Résumé :

La plaine alluviale d'oued Djendjen située dans la partie aval du bassin versant, elle fait partie des plaines côtières de la région de Jijel et renferme une nappe constituée par des alluvions Quaternaires. Dans la région d'étude les eaux souterraines représentent la principale ressource en eau. Le développement industriel et surtout agricole, associé à la croissance démographique dégrade de plus en plus la qualité de ces ressources. Cette étude effectuée afin de suivre l'évolution hydrodynamique et hydrochimique de la nappe, et d'étudier leur influence sur la qualité des eaux de la région. Pour cet objectif, une étude comparative a été réalisée entre deux campagnes des mesures piézométriques et d'analyses chimiques (Avril 2016 et Avril 2017). L'examen des cartes piézométriques montre une baisse significative du niveau piézométrique durant la deuxième campagne (Avril 2017) dépassant les huit (8) mètres notamment dans la partie aval de plaine, probablement sous l'effet de la surexploitation et les faibles précipitations au cours de l'année 2017. D'une manière générale, la plupart des concentrations des différents éléments chimiques connaissant une diminution durant la deuxième campagne, probablement liée aux faibles quantités des pluies précipitées durant l'année 2017, qui sont responsables à la dissolution des formations géologiques. Cela confirme l'origine géologique de la plus part des éléments chimiques dans les eaux de notre région.

Mots clés : *nappe alluviale, hydrochimie, piézométrie, Oued Djendjen, Jijel.*

ملخص:

يقع السهل الرسوبي لواد جنجن في المنطقة السفلية للحوض الهيدروغرافي ويمثل جزء من السهول الساحلية لولاية جيجل، في هذه المنطقة تعتبر المياه الجوفية المصدر الرئيسي للتزود بالمياه، إلا انه في السنوات الأخيرة و نظرا للتنمية الصناعية وخاصة الزراعية المرتبطة بالنمو السكاني ساهمت في تدهور نوعية هذه الموارد. أجريت هذه الدراسة لغرض مراقبة تطور منسوب المياه الجوفية و تركيبها الكيميائية ودراسة تأثيرهما على نوعية المياه في المنطقة. لهذا الغرض تم إجراء دراسة مقارنة بين نتائج القياسات البيزومترية و التحاليل الكيميائية للحملات المنجزة خلال شهري أبريل 2016 و أبريل 2017. إن دراسة الخرائط البيزومترية يظهر انخفاض كبير لمستوى المياه الجوفية خلال الحملة الثانية (أفريل 2017) بما يزيد على ثمانية (8) أمتار وخصوصا في منطقة المصب، و هذا بسبب الاستغلال المفرط وقلّة الأمطار المتساقطة خلال عام 2017. عموما معظم تراكيز مختلف العناصر الكيميائية عرف انخفاضا محسوسا خلال الحملة الثانية (أفريل 2017)، ربما يرجع ذلك إلى الكميات القليلة للأمطار المتساقطة خلال هذه السنة و المسؤولية على تحلل مختلف التكوينات الجيولوجية، وهذا ما يؤكد الأصل الجيولوجي لمعظم العناصر الكيميائية في مياه المنطقة.

الكلمات المفتاحية : المياه الجوفية، الهيدروكيميا، المستوى البيزومتري، واد جنجن، جيجل.

Abstract :

The alluvial plain of Wadi Djendjen is situated in the downstream part of the catchment, it is part of the coastal plains of the Jijel region and form a unconfined aquifer contained in Quaternary alluvium. In this region, the groundwater is the main source of the water. The industrial and especially agricultural development associated with demographic growth deteriorates more and more the quality of these resources. This study was carried out in order to follow the hydrodynamic and hydrochemical evolution of the groundwater and to study their influence on the quality of the waters of the region. For this purpose a comparative study was carried out between two campaigns of piezometric measurements and chemical analyzes (April 2016 and April 2017). The study of piezometric maps shows a significant decrease in the piezometric level during the second campaign (April 2017) exceeding eight (8) meters, particularly in the downstream part of the plain, due to overexploitation and low precipitation during the year 2017. Generally, most concentrations of the various chemical elements known to have decreased during the second season, probably due to low quantities of rainfall precipitated during the year 2017, which are responsible for the dissolutions of the geological formations. This confirms the geological origin of most chemical elements in the waters of our region.

Keywords: *Alluvial aquifer, hydrochemistry, piezometry, wadi Djendjen, Jijel.*

Sommaire

Remerciement	
Résumé	
Sommaire	
Liste des tableaux	
Liste des figures	

Introduction Général.....	1
Chapitre I : Cadre physico-géographique	
Introduction.....	2
1. Présentation de la région de Jijel.....	2
2. Caractéristiques géomorphologiques et relief du bassin versant d'oued Djendjen....	2
2.1. Présentation du bassin versant d'oued Djendjen.....	2
2.2. Les caractéristiques physiques du bassin versant d'oued Djendjen.....	4
2.3. Les caractéristiques du relief du bassin versant d'oued Djendjen.....	4
3. Les caractéristiques géométriques du bassin versant d'oued Djendjen.....	5
4. Réseau Hydrographique	6
5. Le couvert végétal et l'occupation du sol.....	7
6. La plaine d'oued Djendjen.....	8
6.1. Aperçu socio-économique.....	8
Conclusion.....	10
Chapitre II : Cadre géologique et structural	
Introduction.....	11
1. Géologie régionale.....	11
2. Géologie du bassin versant.....	12
2.1. Les formations de l'Ere Primaire.....	13
2.2. Les formations de l'Ere Secondaire.....	13
2.3. Les formations de l'Ere Tertiaire.....	14
2.4. Les formations d'ère Quaternaire.....	14
3. Géologie de la plaine de l'oued Djendjen.....	15
Conclusion.....	16
Chapitre III : Etude Hydroclimatiques	
Introduction.....	17
1. Stations Météorologiques.....	17
2. Type de climat dans la région de Jijel.....	17
3. Les facteurs climatiques.....	17
3.1 Les précipitations.....	17
3.1.1. Précipitations moyennes mensuelles.....	18
3.1.2. Précipitations moyennes saisonnières.....	19
3.1.3. Précipitations moyennes annuelles.....	21
3.2. La température.....	22
3.2.1 Températures moyennes mensuelles.....	22
3.3. Type de Climat.....	23
3.3.1. Diagramme Ombro-thermique (Courbe pluviométrique).....	23
3.3.2. L'Humidité.....	24
4. Bilan hydrique du bassin versant d'oued Djendjen.....	25
4.1. L'évapotranspiration.....	26
4.1.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP).....	26
4.1.2. Evapotranspiration réelle (ETR).....	27

4.1.3.	Estimation du ruissellement (R).....	28
4.1.4.	Estimation de l'infiltration.....	28
5.	Bilan hydrique selon la formule de C.W Thornthwaite.....	29
5.1.	Interprétation du bilan Hydrique.....	30
	Conclusion.....	31
Chapitre IV: Caractéristiques Hydrogéologiques		
	Introduction.....	32
1.	Les différents systèmes aquifères.....	32
1.1.	Système Aquifère Amont.....	32
1.2.	Système Aquifère aval.....	32
2.	La plaine alluviale d'Oued Djendjen.....	32
3.	Aperçu Géophysique.....	32
3.1.	Interprétation des cartes de résistivité.....	33
3.1.1.	La carte des résistances transversales.....	33
3.1.2.	Carte du toit du substratum.....	34
4.	Géométrie de la couche réservoir.....	34
5.	La coupe hydrogéologique.....	35
6.	Etude piézométrique.....	36
6.1.	Inventaire des points d'eau.....	37
6.2.	Interprétation des cartes piézométriques.....	38
6.2.1.	Première Campagne (Avril 2016).....	38
6.2.2.	Deuxième campagne (avril 2017).....	40
6.3.	Fluctuations du niveau piézométrique entre (Avril 2016 et Avril 2017).....	41
	Conclusion.....	42
Chapitre V: Caractéristiques Hydrochimiques		
	Introduction.....	43
1.	Caractérisation physico-chimique des eaux.....	43
1.1.	Détermination des principaux faciès hydrochimiques.....	43
1.1.1.	La formule ionique.....	43
1.1.2.	Diagramme de piper.....	44
1.1.2.1.	Les eaux souterraines.....	46
1.1.2.2.	Les eaux de surface.....	46
1.2.	Evolution spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques.....	47
1.2.1.	Les eaux souterraines.....	47
1.2.1.1.	Le potentiel hydrogène (pH).....	47
1.2.1.2.	Conductivité électrique.....	48
1.3.	Etude des paramètres chimiques.....	49
1.3.1.	Le calcium (Ca^{+2}).....	49
1.3.2.	Le Magnésium (Mg^{+2}).....	50
1.3.3.	Le Sodium et le Potassium ($Na^{+} + K^{+}$).....	51
1.3.4.	Les chlorures (Cl^{-}).....	53
1.3.5.	Les sulfates (SO_4^{2-}).....	53
1.3.6.	Les Bicarbonates (HCO_3^{-}).....	54
1.4.	Les éléments chimiques indicateurs de pollution.....	55
1.4.1.	Nitrates (NO_3^{-}).....	55
1.4.2.	Nitrites (NO_2^{-}).....	56
1.4.3.	Ammonium (NH_4^{+}).....	57
1.4.4.	Phosphates (PO_4^{-}).....	57
1.4.5.	Fer (Fe).....	58
2.	Les eaux de surfaces.....	59

2.1.	Les paramètres physiques.....	59
2.1.1.	Le potentiel hydrogène (pH)	59
2.1.2.	Conductivité électrique	59
2.2.	Etude des paramètres chimiques.....	60
2.2.1.	Le calcium (Ca^{+2})	60
2.2.2.	Le Magnésium (Mg^{+2}).....	60
2.2.3.	Le Sodium (Na^+)	61
2.2.4.	Le Potassium (K^+)	62
2.2.5.	Les chlorures (Cl^-).....	62
2.2.6.	Les sulfates (SO_4^{2-})	63
2.2.7.	Les Bicarbonates (HCO_3^-).....	63
2.3.	Les paramètres de pollution.....	64
2.3.1.	Nitrates (NO_3^-)	64
2.3.2.	Nitrites (NO_2^-)	64
2.3.3.	Ammonium (NH_4^+).....	65
2.3.4.	Phosphates (PO_4^-).....	65
2.3.5.	Fer (Fe)	66
3.	Aptitude des eaux à l'irrigation.....	67
	Conclusion.....	69
	Conclusion Générale et Recommandations	70
	Références Bibliographiques	72

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tab.01	Les étages bioclimatiques de bassin versant d'oued Djendjen.....	4
Tab.02	Occupation du sol du bassin versant de l'oued Djendjen.....	8
Tab.03	Les différentes entreprises dans la région d'étude.....	9
Tab.04	Coordonnées Géographiques des stations d'observations.....	17
Tab.05	Précipitations moyennes mensuelles (mm) de la station de l'Achouat (1988- 2014) et Agrem (2005-2015).....	18
Tab.06	Précipitations moyennes saisonnières (mm) des deux stations Achouat et El Agram...	20
Tab.07	températures moyennes mensuelles des deux stations Achouat et El Agram.....	22
Tab.08	Humidité de l'air de la station de l'Achouat et d'El Agram.....	24
Tab.09	Evapotranspiration potentielle selon la méthode de Thornthwaite.....	26
Tab.10	Evapotranspiration réelle des deux stations selon la formule de Turc.....	27
Tab.11	Evapotranspiration réelle des deux stations selon la formule de Coutagne.....	27
Tab.12	Résultats des ruissellements pour les deux stations.....	28
Tab.13	résultats des infiltrations pour les deux stations.....	28
Tab.14	Résultats du bilan hydrique selon Thornthwaite dans la station de l'Achouat.....	29
Tab.15	Résultats du bilan hydrique selon Thornthwaite dans la station d'El Agram.....	29
Tab.16	Classification hydrochimique des eaux selon la formule ionique.....	44
Tab.17	Classification des eaux en fonction de la conductivité selon les normes algériennes...	48
Tab.18	Evolution des classes d'irrigation selon la méthode de wilcox de deux compagnes....	67

Liste des figures

Figure	Titre	Page
Fig.01 :	Situation géographique de la wilaya de Jijel.....	2
Fig.02 :	Situation géographique de bassin versant d'oued Djendjen.....	3
Fig.03 :	Carte hypsométrique du bassin versant d'oued Djendjen.....	5
Fig.04 :	Réseau hydrographique du bassin versant d'oued Djendjen.....	7
Fig.05 :	Schéma structural de la chaîne alpine de méditerranée occidentale.....	11
Fig.06 :	Rapports structuraux entre les différentes unités de la chaîne des Maghrébides.....	12
Fig.07 :	Carte géologique du bassin versant d'oued Djendjen.....	13
Fig.08 :	Carte géologique de la zone d'étude.....	16
Fig.09 :	Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel.....	18
Fig.10 :	Précipitations moyennes mensuelles de la station d'El Agram (2005-2015).....	19
Fig.11 :	Précipitations moyennes mensuelles de la station d'Achouat.....	19
Fig.12 :	Précipitations moyennes saisonnières de la station d'Achouat.....	20
Fig.13 :	Précipitations moyennes saisonnières de la station d'El Agram.....	20
Fig.14 :	Précipitations annuelles de la station d'Achouat (1988-2014).....	21
Fig.15 :	Précipitations annuelles de la station d'El Agram (2005-2015).....	21
Fig.16 :	Températures moyennes mensuelles de la station d'Achouat (1988-2014).....	22
Fig.17 :	Températures moyennes mensuelles de la station d'El Agram (2005-2015).....	23
Fig.18 :	Diagramme ombro-thermique de la station d'El Agram (2005-2015).....	24
Fig.19 :	Digramme ombro-thermique de la station d'Achouat (1988-2014).....	24
Fig.20 :	Humidité de l'air de la station d'Achouat (1988-2014).....	25
Fig.21 :	Humidité de l'air de la station d'El Agram (2005-2015).....	25
Fig.22 :	Bilan d'eau de la station d'Achouat selon Thornthwaite.....	30
Fig.23 :	Bilan d'eau de la station d'El Agram selon Thornthwaite.....	31
Fig.24 :	Résistance transversale de la plaine alluviale d'oued Djendjen.....	33
Fig.25 :	Carte du substratum de la plaine alluviale de l'oued Djendjen.....	34
Fig.26 :	Positionnement de la coupe Hydrogéologique (Nord-Sud) dans la plaine alluviale de l'oued Djendjen(2016).....	35
Fig.27 :	Coupe Hydrogéologique (Nord-Sud) dans la plaine alluviale de l'oued Djendjen.....	36
Fig.28 :	Carte d'inventaire des points d'eaux dans la plaine alluvial.....	37
Fig.29 :	Carte piézométrique de la nappe alluviale d'oued Djendjen (Avril 2016).....	39
Fig.30 :	Carte piézométrique de la nappe alluviale d'oued Djendjen (Avril 2017).....	40
Fig.31 :	Fluctuations piézométriques entre la compagne (Avril 2016 et Avril 2017).....	41
Fig.32 :	Représentation graphique des faciès chimiques Diagramme de Piper (Avril 2016).....	45
Fig.33 :	Représentation graphique des faciès chimiques Diagramme de Piper (Avril 2017).....	45
Fig.34 :	Evolution de potentiel hydrogène des eaux d'oued Djendien (Avril 2016 et 2017).....	48
Fig.35 :	Evolution de la Conductivité des eaux d'oued Djendien (Avril 2016, Avril 2017).....	49
Fig.36 :	Evolution de Calcium des eaux d'oued Djendien (Avril 2016, Avril 2017).....	50
Fig.37 :	Evolution de Magnésium des eaux d'oued Djendien (Avril 2016, Avril 2017).....	51
Fig.38 :	Evolution de Sodium des eaux d'oued Djendien (Avril 2016, Avril 2017).....	52
Fig.39 :	Evolution de Potassium des eaux d'oued Djendien (Avril 2016, Avril 2017).....	52
Fig.40 :	Evolution des Chlorures dans les eaux d'oued Djendien (Avril 2016, Avril 2017).....	53
Fig.41 :	Evolution des Sulfates dans les eaux d'oued Djendien (Avril 2016, Avril 2017).....	54
Fig.42 :	Evolution des Bicarbonates dans les eaux d'oued Djendien (Avril 2016, Avril 2017).....	55
Fig.43 :	Evolution des Nitrates dans les eaux d'oued Djendien (Avril 2016, Avril 2017).....	56
Fig.44 :	Evolution des Nitrites dans les eaux d'oued Djendien (Avril 2016, Avril 2017).....	56

Fig.45 :	Evolution de l'Ammonium des eaux d'oued Djendien (Avril 2016, Avril 2017)	57
Fig.46 :	Evolution de Phosphate des eaux d'oued Djendien (Avril 2016, Avril 2017).....	58
Fig.47 :	Evolution du Fer des eaux d'oued Djendien (Avril 2016, Avril 2017).....	59
Fig.48 :	Evolution de Potentiel hydrogène des eaux d'oued Djendien (Avril 2016, Avril 2017).....	59
Fig.49 :	Evolution de la Conductivité électrique des eaux d'oued Djendien (Avril 2016, Avril 2017).....	60
Fig.50 :	Evolution de Calcium des eaux d'oued Djendien (Avril 2016, Avril 2017).....	60
Fig.51 :	Evolution de Magnésium des eaux d'oued Djendien (Avril 2016, Avril 2017).....	61
Fig.52 :	Evolution de Sodium des eaux d'oued Djendien (Avril 2016, Avril 2017).....	61
Fig.53 :	Evolution de Potassium des eaux d'oued Djendien (Avril 2016, Avril 2017).....	62
Fig.54 :	Evolution des Chlorures des eaux d'oued Djendien (Avril 2016, Avril 2017).....	62
Fig.55 :	Evolution des Sulfates des eaux d'oued Djendien (Avril 2016, Avril 2017).....	63
Fig.56 :	Evolution des Bicarbonates des eaux d'oued Djendien (Avril 2016, Avril 2017).....	63
Fig.57 :	Evolution des Nitrates dans les eaux d'oued Djendien (Avril 2016, Avril 2017).....	64
Fig.58 :	Evolution des Nitrites dans les eaux d'oued Djendien (Avril 2016, Avril 2017).....	65
Fig.59 :	Evolution de l'Ammonium dans les eaux d'oued Djendien (Avril 2016, Avril 2017).....	65
Fig.60 :	Evolution des Phosphates dans les eaux d'oued Djendien (Avril 2016, Avril 2017).....	66
Fig.61 :	Evolution du Fer dans les eaux d'oued Djendien (Avril 2016, Avril 2017).....	66
Fig.62 :	Diagramme de classification des eaux d'irrigation en fonction du S.A.R (Avril 2017).....	68
Fig.63 :	Diagramme de classification des eaux d'irrigation en fonction du S.A.R (Avril 2016).....	68

Introduction Générale

Introduction Générale

L'eau est l'un des clés du développement, car elle est au cœur de l'économie de chaque pays, cette ressource a plusieurs origines et destinée aux différents usages à savoir ; l'alimentation en eau potable, l'agriculture et l'industrieetc. Les eaux souterraines, en particulier, sont considérées comme l'une des ressources les plus importantes pour l'approvisionnement en eau potable du fait de leur faible exposition aux polluants contrairement aux eaux de surface (*US EPA, 1985*).

En Algérie, les données disponibles sur la qualité de l'eau révèlent que la plupart des ressources en eau sont polluées par les rejets non contrôlés des eaux municipales et des effluents industriels non traités (*Boudoukhana, 2008*). La willaya de Jijel se situe au Nord-est de l'Algérie, elle engendre des bassins versants de grande importance qui font partie des côtiers constantinois. Le bassin versant d'oued Djendjen avec 530.4 km² de superficie appartient au bassin versant côtier constantinois du Nord-est Algérien. La plaine alluviale d'Oued Djendjen occupe la partie aval de ce bassin et s'étend sur une superficie de 49 km².

L'objectif de notre étude est de caractériser le comportement spatiotemporel de la nappe alluviale à travers l'évolution du niveau piézométrique et la répartition des différents éléments chimiques des eaux souterraines et de surface. Pour arriver à cet objectif, le travail est structuré en cinq chapitres :

Le 1^{ier} chapitre vise la présentation générale de la zone d'étude, en abordant aussi les caractéristiques géomorphologiques et morpho-métriques du bassin versant d'oued Djendjen.

Le 2^{ème} chapitre concerne l'étude géologique du bassin versant afin de voir l'influence de la lithologie sur le chimisme des eaux et pour la détermination de la nature de l'aquifère.

Le 3^{ème} chapitre a été consacré à déterminer le type de climat qui règne sur notre zone d'étude.

Le 4^{ème} chapitre prend en compte l'hydrogéologie de la nappe en définissant ses caractéristiques hydrogéologiques et ses paramètres hydrodynamiques par l'interprétation des cartes piézométriques de deux campagnes (Avril 2016 par *Karaouat et Bourafa*) et (Avril 2017).

Le 5^{ème} chapitre concerne les études hydro-chimiques des eaux souterraines et de surface. Il portera sur l'interprétation des paramètres physicochimiques caractérisant les échantillons analysés, leurs répartitions spatiales et des principaux facies chimiques déterminés renseigneront sur l'origine et l'évolution de la minéralisation.

Enfin, notre travail se termine par une conclusion générale avec quelques recommandations.

Chapitre I :

Cadre Physico

Géographique

Introduction

Pour une bonne compréhension des caractéristiques des ressources en eaux et leur fonctionnement hydrochimique et hydrogéologique d'une région, elle exige une bonne connaissance des facteurs physico-géographiques, caractérisant le secteur d'étude, qui font appel à des facteurs primitifs (Situation géographique, relief, climat...etc.) pour donner une vue générale sur la région d'étude, avant de faire appel à d'autres facteurs plus précis comme la géologie, la géophysique, l'hydroclimatologie et l'hydrochimie.

1. Présentation de la région de Jijel

La wilaya de Jijel est située au Nord-est de l'Algérie avec un littoral plus de 120 km et une superficie de 2398,69 km². Elle compte onze (11) daïra et vingt-huit (28) communes (fig.01). Elle est limitée au Nord par la mer Méditerranée, à l'Ouest par la wilaya de Bejaïa, à l'Est par la wilaya de Skikda, au Sud-ouest par la wilaya de Sétif, au Sud par la wilaya de Mila et enfin au Sud-est par la wilaya de Constantine.

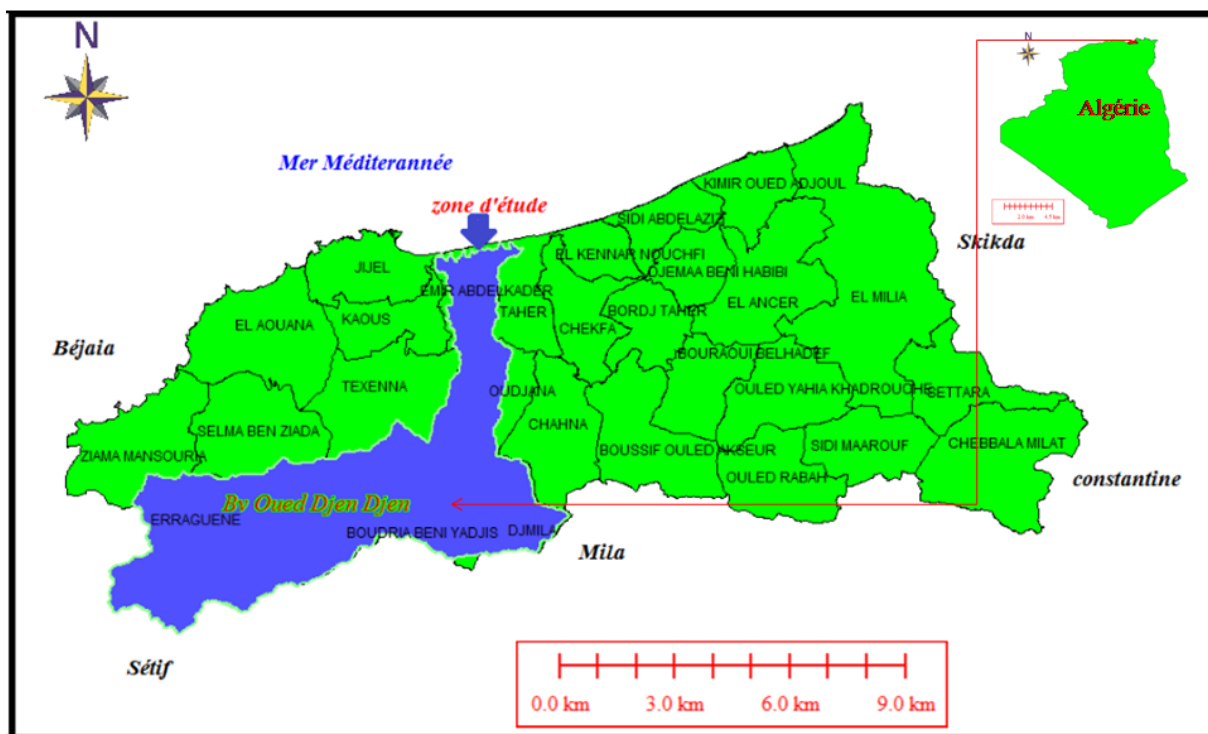


Figure 01 : Situation géographique de la région d'étude

2. Caractéristiques géomorphologiques et relief du bassin versant d'oued Djendjen

2.1 Présentation du bassin versant d'oued Djendjen

Le bassin versant de l'oued Djendjen est situé entre la latitude 36°22' et 36°48' N et la longitude 5°30' et 5°58' Est. La partie aval du bassin versant d'oued Djendjen se trouve à une

dizaine de kilomètres au Sud-Est de la ville de Jijel. Il est bordé par la mer méditerranée au Nord, le bassin versant d'Oued Nil (0305) à l'Est, le bassin de Kébir-Rhumel au Sud, et le coté Sud-Ouest par le bassin d'oued Agrioun (0302), enfin le bassin côtiers Jijel (0303) qui borde la partie Nord-Ouest (fig.02).

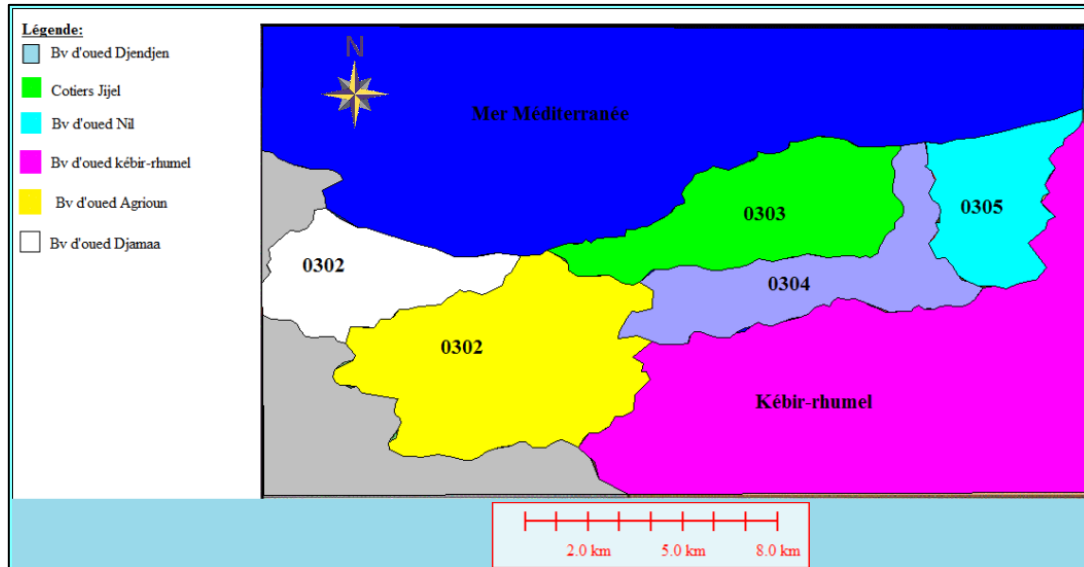


Figure 02 : Situation du bassin versant d'oued Djendjen (in Hammadi et Harendi, 2015)

Le bassin versant de l'oued Djendjen réunit les conditions morphologiques les plus favorables à une dynamique très intense comme les reliefs jeunes. La longueur de l'oued principal est de 29.2 km (ANRH). Il a d'abord une direction Ouest-Est, jusqu'à la station hydrométrique de Missa (Tablout), puis s'oriente du Sud vers le Nord, jusqu'à la mer.

L'oued Djendjen est caractérisé par un drainage élevé, parce que le réseau hydrographique est dense. Il est très encaissé à l'amont, empruntant des ravins qui entaillent les reliefs de Texanna et Thar Oussaf. Les oueds Agoug, Reha, Missa et Zatout sont les affluents principaux qui alimentent l'oued Djendjen, ce dernier prend naissance dans le Djebel Babor. Dans sa partie aval la pente de l'oued Djendjen devient plus faible. Ceci va provoquer, à ce niveau, un ralentissement de la vitesse d'écoulement qui aura une incidence sur les relations des eaux superficielles avec la nappe.


La valeur forte du coefficient d'écoulement de ce bassin versant est due à une forte pluviométrie annuelle (1083 mm) et une lame d'eau écoulée (960 mm) en moyenne très élevées. Ces deux valeurs placent l'oued Djendjen comme le cours d'eau le mieux alimenté en eau, le plus chargé en transports solides et par là même l'oued le plus agressif de l'Algérie Septentrionale (Bourouba, 1994).

2.2 Les caractéristiques physiques du bassin versant d'oued Djendjen

Le bassin versant est le siège de la transformation des pluies en débits dans les oueds et réagit en fonction des précipitations qu'il reçoit. Les caractéristiques hydrologiques sont en fonction, d'une part du climat et d'autre part de la morphométrie du bassin (forme, relief, altitude, pente, réseau de drainage... etc), de la nature des sols et de la couverture végétale.

Le bassin versant de l'oued Djendjen couvre une superficie de 530.4 Km². Il se subdivise en quatre (4) étages bioclimatiques (*Boufakane, 2003*) représenté dans le tableau suivant (*tab.01*) :

Tableau .01 : Les étages bioclimatiques de bassin versant d'oued Djendjen (in Karaouat et Bourafa, 2016).

				
Etage	1	2	3	4
Occupation	correspond à la zone amont contrôlée par le barrage d'Erraguene	S'étend de la limite de la première zone jusqu'à la station hydrométrique de Tablout	s'étend de Tablout (Missa) aux gorges de la ville d'El Emir Abdelkader	correspond aux plaines avales (notre zone d'étude), cet étage s'étend des gorges d'El Emir Abdelkader à l'embouchure de l'oued Djendjen.
Superficie	130 Km²	184 Km²	169 Km²	48 m²

2.3. Les caractéristiques du relief du bassin versant d'oued Djendjen

L'examen de la carte topographique montre que le bassin versant de l'oued Djendjen est entouré par des monts dont l'altitude varie de 226 mètres à 1992 mètres. Au sud du bassin versant, le massif des Babors, s'élève de façon abrupte, jusqu'à 2004 mètres d'altitude. Cette chaîne montagneuse présente un relief très accidenté, compartimenté par des gorges profondes, empruntées par les Oueds (*fig.03*).

a. Altitude moyenne (Hmoy) : l'altitude moyenne de bassin versant d'oued Djendjen (*Hmoy*) retirée grâce au logiciel de global mapper est de l'ordre de 738 m.

b. Indice de pente globale (Ig) : l'indice de pente globale de bassin versant d'oued Djendjen est de 20% (*Boucenna, 2009*). Alors on peut dire que le bassin versant d'oued Djendjen est caractérisé par un fort ruissellement.

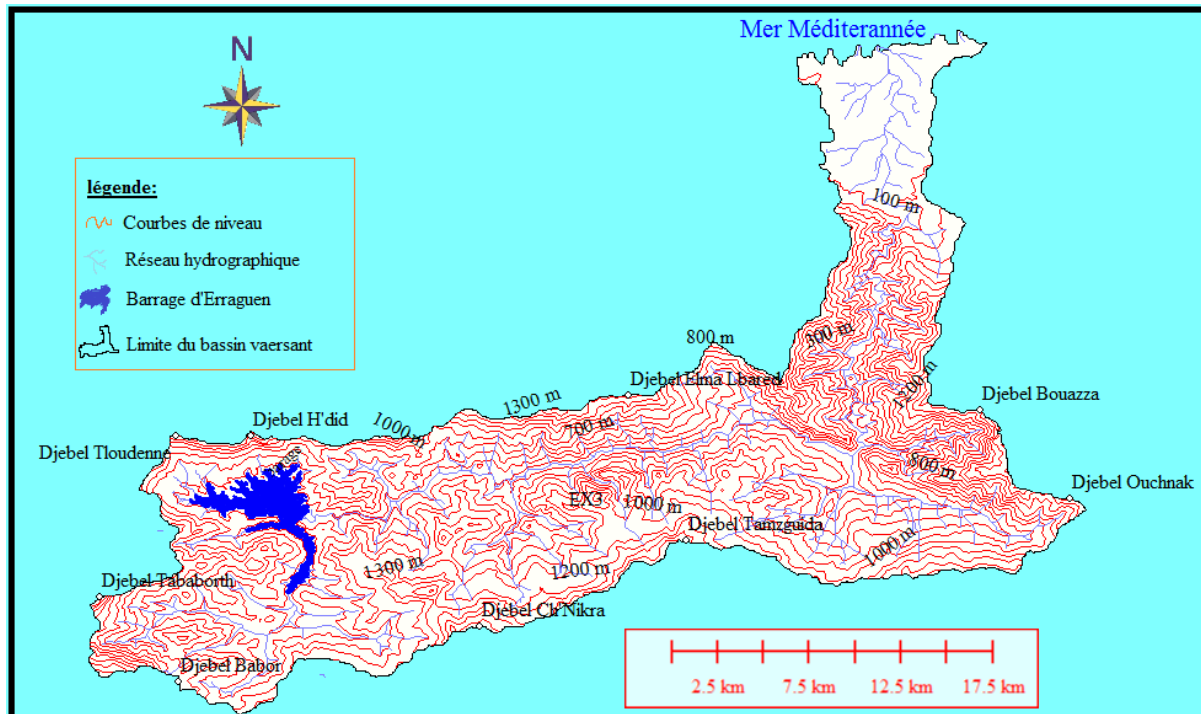


Figure 03 : Carte hypsométrique du bassin versant d'oued Djendjen

3. Les caractéristiques géométriques du bassin versant d'oued Djendjen

Les caractéristiques morpho-métriques du bassin interviennent d'une façon combinée dans les modalités d'écoulement, les caractéristiques du bassin versant d'oued Djendjen sont les suivantes (Karaouet et Bourafa, 2016):

- a. Périmètre (P) : le périmètre de notre bassin versant est de l'ordre de 222.03 Km.
- b. Superficie (S): la superficie d'un bassin est la plus importante des caractéristiques de bassin versant, la superficie de notre bassin versant est de l'ordre de 530.4 Km².
- c. Forme du bassin versant : la forme du bassin versant influence les caractéristiques de l'écoulement résultant d'une pluie donnée (Roche, 1963; Strahler, 1964). Les hydrologues ont été tentés de caractériser cette morphologie par des indices simples calculables avec le seul concours des cartes topographiques. L'idée la plus simple est de comparer le bassin étudié à un bassin de forme standard. C'est ainsi que Gravelius, a proposé en 1914 le coefficient de compacité défini par la formule suivante :

$$K_c = 0.28 P / S^{1/2}$$

K_c: Indice de compacité de Gravelius. **P** : Périmètre du bassin en (km).

S: Surface du bassin versant en (km²).

Donc, on a : $K_c = 0.28 * 222.03 / (530.4)^{1/2} = 2.69$

L'indice de compacité est supérieur à 1, Alors définissent un bassin versant de forme allongée.

d. Rectangle équivalent : le rectangle équivalent au bassin à même surface, même périmètre (donc même indice de compacité) et même hypsométrie. Ses cotées, longueur (L) et largeur (l), sont tels que : $L \cdot l = A$ et $2 \cdot (L + l) = P$.

Ils sont égaux quand le bassin a la compacité d'un carré, alors $C = 1,12$. Moins de 3 % des bassins étudiés ont une meilleure compacité, ce qui justifie l'emploi du rectangle équivalent dont la formulation est plus simple.

$$L = [K_C \cdot \sqrt{S} / (1,12)] [1 + \sqrt{1 - (1,12/K_C)^2}]$$

$$l = [K_C \cdot \sqrt{S} / (1,12)] [1 - \sqrt{1 - (1,12/K_C)^2}]$$

Avec :

L: Longueur du rectangle équivalent (Km), **l**: Largeur du rectangle équivalent (Km).

K_C: Indice de compacité de Gravelius, **S**: Surface du bassin versant (Km²).

Donc : **L=97,8 Km** et **l=45,9 Km**

4. Réseau Hydrographique

Le réseau hydrographique c'est l'ensemble des cours d'eau naturels permanents ou temporaires, par lesquels s'écoulent toutes les eaux de ruissellement et déplace vers un point de vidange du bassin versant (exutoire).

Le bassin versant de l'Oued Djendjen occupe une superficie de 530.4 km², il est caractérisé par un réseau hydrographique très dense marqué par un drainage assez important des eaux superficielles depuis le barrage d'Erraguene jusqu'à la plaine, nous citons quelques affluents importants qui sont : Oued Missa, Oued Kendoulia, Oued Srour, Oued Erha. Tous ces affluents rejoignent l'Oued Djendjen qui traverse le bassin d'amont en aval avant de se jeter dans la mer méditerranée (fig.04).

a. Longueur des cours d'eau principaux: la longueur des cours d'eau principaux est estimée par 90 Km.

b. Le temps de concentration : c'est précisément le temps que met une goutte d'eau à parcourir la longueur du bassin versant. Dans la théorie hydrologique, il faut qu'un épisode pluvieux dure au moins le temps de concentration pour que l'ensemble de la surface du bassin versant soit sollicité, ce qui produit alors le débit maximum possible à l'exutoire.

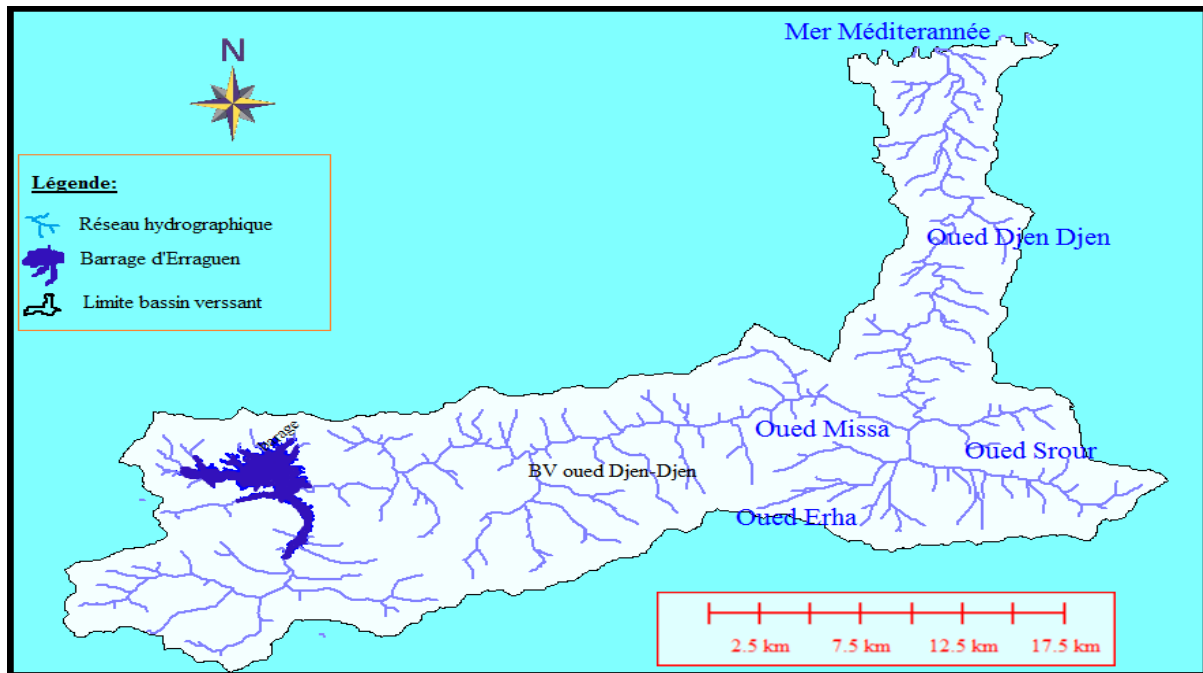


Figure 04 : Réseau hydrographique du bassin versant d'oued Djendjen

Ce paramètre s'exprime en heures et il est estimé par la formule de *Giandotti* qui s'écrit:

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5 L_p}{0.8\sqrt{H_m}}$$

Avec : T_c : Temps de concentration.

$L_p = 90$ km : Longueur du talweg principal.

$S = 530.4$ km²: Superficie du bassin.

$H_m = H_{moy} - H_{min} = 739.123$ (m).

Le temps de concentration de bassin versant de l'oued Djendjen est : **$T_c = 10$ h et 26 min**

c. La vitesse d'écoulement de l'eau (V) : Elle est donnée par l'expression suivante :

$$V = L / T_c$$

Avec : V : Vitesse d'écoulement de l'eau en m/s L : Longueur du talweg principal en (m)

T_c : Temps de concentration en (sec)

La vitesse d'écoulement de l'eau dans le bassin versant d'oued Djendjen est : **$V = 2.4$ m/s.**

5. Le couvert végétal et l'occupation du sol

a. L'étude des sols : la répartition spatiale des sols dépend des facteurs comme le climat, la roche mère, la topographie et la végétation. Parmi ces facteurs le climat revêt une importance quant aux processus pédogénétique, son influence peut être mécanique et chimique.

b. Le couvert végétal : la rapidité du ruissellement superficiel, le taux de l'évaporation et la capacité de rétention du bassin dépend de la couverture végétale (en particulier les forêts et les cultures) et bien sûr la nature géologique et topographique du bassin versant.

Le couvert végétal assez dense où se manifeste par des forêts abondantes de chêne liège qui couvrent les terrains, en amont sur les massifs et sur les piémonts, ainsi que des oliviers. Les parties alluvionnaires de l'aval sont en général dévêtues et servent à l'agriculture des serres.

d. Les différents types d'occupation du sol : selon les données de la direction des statistiques agricoles et des enquêtes économiques de la willaya de Jijel, on observe 3 domaines principaux (tab.02) :

Tableau.02 : Occupation du sol du bassin versant de l'oued Djendjen (in Karaouat et Bourafa, 2016).

Domaines	Espèces	Superficie (ha)	Taux (%)
Domaines forestiers	Bois	13300	11.56
	Chènes liège	43700	38
	Maquis	58000	50.43
Domaines agricoles	Surface totale agricole	99024	41
	Surface utile agricole	43649	44
	Superficie irriguée	6210	14
Terre bâtis	Terrains urbains	2110	9

6. La plaine d'oued Djendjen

La plaine alluviale d'oued Djendjen située dans la partie aval du bassin, elle est caractérisée par une topographie sub-plane avec des pentes relativement faibles, matérialisée par le sens de l'écoulement superficiel. Elle forme aussi une cuvette ayant des altitudes qui augmentent toute en se dirigeant vers les bordures Est, Ouest et Sud de la plaine. Les cotes topographiques varient entre 5 m et 100 m.

La plaine est constituée généralement des dépôts sédimentaires. La rive gauche de l'Oued est occupée par les surfaces de terrasses. Ces dernières diminuent lorsqu'on dirige vers le Nord et vers la rive droite jusqu'à la disparition. Aussi on remarque que le substratum de la nappe occupe une grande partie des affleurements qui sont les marnes Burdigaliennes.

Les alluvions récentes forment une surface légèrement inclinée vers l'Oued et vers l'aval sur le long de l'oued de Djendjen. La partie Nord présente des dunes actuelles occupent une bande de rivage formant ainsi un cordant, et les dunes anciennes forment par contre des petites collines et dépressions autour de Tassoust et Bazoul (Karaouat et Bourafa, 2016).

6.1. Aperçu socio-économique

a. Habitation : Etant en relation directe avec son milieu support, l'homme peut agir positivement ou négativement sur ce dernier, aussi l'analyse de l'élément humain dans la présente étude est d'une nécessité absolue. En effet, l'évaluation des besoins en eau potable et

le volume des eaux usées, son évolution ainsi que la dynamique du milieu relève en grande partie de la répartition des habitants, de leur organisation et de leur activité.

Une étude statistique concernant la population et son évolution est donc indispensable et a pour but l'établissement d'une base sur laquelle les besoins futures de la population pourront être élaborés. La population du bassin versant de l'oued Djendjen a été estimée par 70762 habitants en 2008 avec un taux d'accroissement constant égal à 2.2% où elle va atteindre probablement 86258 habitants en 2018 selon le recensement général de la population et des habitas (R.G.P.H).

b. Agriculture : La plaine de l'oued Djendjen est caractérisée par une activité agricole moyenne qui se développe remarquablement au fil des jours. La superficie agricole utile présente 43.924 Ha dont 5.580 Ha irrigables dégagant une production annuelle moyenne de 225.000 kg de culture sous serres (piment, poivron, tomate, haricot etc....), 156.000 kg de tomate industrielle et 310.000 kg de culture pérenne principalement (l'oléiculture soit 3,6 millions de litres d'huiles d'olives).

c. Ressources forestières : la superficie forestière est 115.000 Ha dont 44.000 Ha de chêne liège dégagant une production annuelle moyenne de 22.284 kg de liège, 7.700 Ha chêne zen qui dégage d'environ 10.000 m³ de bois ; Liège, Souches de bruyère, Extraits de plantes et Produits pharmaceutiques.

d. Industrie : la wilaya de Jijel constitue un point stratégique du pays, Elle se voit frayer son chemin vers le développement sur tous les plans. En tenant compte le plan industriel, la zone d'étude contient une grande zone industrielle à Ouled Salah qui pourrait engendrer des rejets polluants renfermant tous les sous-produits et les pertes de matières premières accélérant, de ce fait, la dégradation de l'environnement (tab.03).

Tableau 03 : Les différentes entreprises dans la région d'étude (in Karaouat et Bourafa, 2016).

Entreprise	Nature de l'activité	Produit	Capacité de production
ENAJUK Unité conserverie	Industrie conserve alimentaire	Conserves alimentaire	7000 tonnes
ENAVA Société (africaverre)	Industrie du verre	Pare-brise V .latérale V feuilleté V trempé V imprimé silicate	39000 unités 176000 unités 39000 m ² " 15000 tonnes 14000 tonnes
Société briqueterie EPRE/SBNC	Fabrication des briques	Briques creusés	1000000 unités/an
Sarl SOMOMI Société maghrébine de mécanique et Maintenance industrielle	Mécanique de précision et maintenance industrielle	Pièces mécaniques	3000000 pièces
SNC Ayachi Saïd & associée	Fabrication de carrelage granito	Carreau granito	1200 m ² /j

Conclusion

La willaya de Jijel se situe au Nord-est de l'Algérie, elle occupe une superficie de 2398, 69 km², elle engendre des bassins versants de grande importance qui font partie des côtiers Constantinois. L'oued Djendjen appartient au bassin versant côtier Constantinois du Nord-Est algérien. Ce dernier est entouré par des monts du massif des Babors (là où il prend sa naissance) compartimenté par des gorges profonds empruntées par les oueds.

L'analyse morpho-métrique du bassin versant permet d'évaluer un certain nombre de paramètres très importants qui doivent être étroitement liés à sa nature lithologique et la topographie. Il s'étend sur une superficie de 530.4 km² est caractérisé par une forme allongée et un fort ruissellement des eaux surtout que le bassin est caractérisé par un relief très fort ($I_g = 20 \%$), l'altitude moyenne est de 738 m, elle donne une idée sur la morphométrie du bassin (relief, plaine... etc).

Notre secteur d'étude occupe la partie aval de ce bassin, la plaine alluviale s'étend sur une superficie de 49 km² (*Groupement SOFRECO, 2012*). L'étude qui a été menée sur le sol montre l'existence de deux zones : les sols de la vallée de l'oued Djendjen et les sols des collines et des montagnes. L'occupation du sol nous a permis de distinguer trois domaines : Forestier (bois, chênes lièges, maquis), agricoles et les terres bâtis.

Enfin, l'accroissement de la population peut avoir un double impact sur le développement de la région : l'augmentation de la demande en eau et l'atteinte à l'environnement par l'augmentation des rejets urbains et industriels.

Chapitre II :

Contexte Géologique

Introduction

L'étude géologique est un outil fondamental pour l'étude hydrogéologique. Elle permet d'identifier les matériaux, et définir les formations et les structures susceptibles de constituer des réservoirs, et d'estimer leurs capacités, aussi le pouvoir d'emmagasiner l'eau des précipitations en profondeur, alors la géologie outil précieux pour la détermination du type de l'aquifère (Karaouet et Bourafa, 2016).

1. Géologie régionale

La Wilaya de Jijel s'étend sur deux grands domaines géologiques, un domaine, situé au Nord (dit domaine interne), correspondant aux formations cristallophylliennes du socle kabyle et sa couverture sédimentaire et un domaine situé au Sud (dit domaine externe), correspondant aux séries types flyschs et aux séries telliennes.

Dans la Wilaya de Jijel, le domaine interne, s'étend sur environ 80 Km le long du littoral méditerranéen, entre le massif d'El Aouana à l'Ouest et les massifs d'El Milia-oued Z'hor à l'Est et sur une largeur d'environ 30 Km.

Le domaine externe quant à lui, forme la partie sud de la Wilaya de Jijel. Il s'étend des massifs carbonatés des Babors à l'Ouest aux massifs de la région de Sidi Marouf.

Le massif de la petite Kabylie fait partie du segment maghrébin de la chaîne alpine. Cette dernière montre deux branches principales, disposées de part et d'autre de la mer méditerranée (Delga, 1969).

- Une branche septentrionale (Européenne), représentée par les cordillères bétiques du Sud de l'Espagne (péninsule ibérique).
- Une branche méridionale ou Maghrébides, qui regroupe les chaînes rifaines, telliennes, Nord Siciliennes, et Calabraises (fig.05).

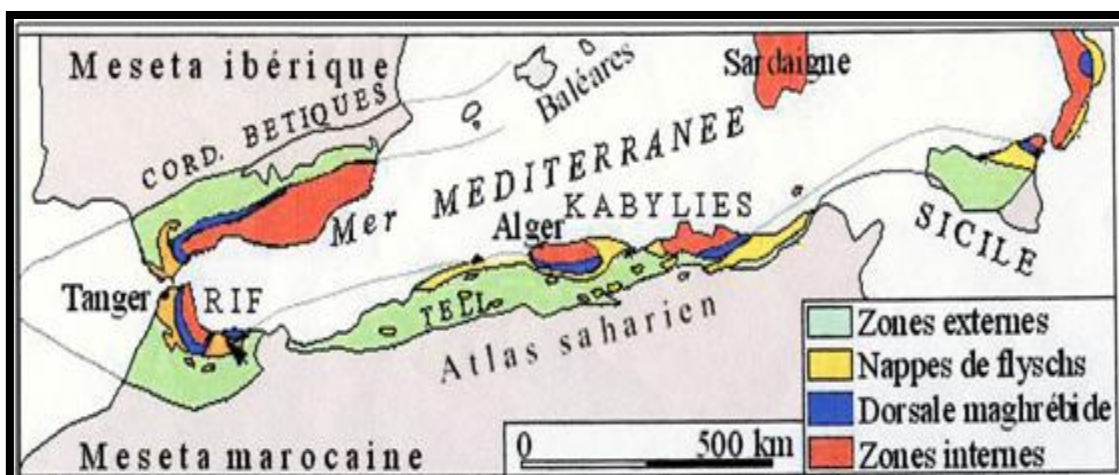


Figure 05: Schéma structural de la chaîne Alpine de méditerranée occidentale (D'après Delga, 1969).

Du point de vue structural, les Maghrébides sont constitués de plusieurs nappes charriées sur la plate-forme africaine. Transversalement on y distingue, de l'intérieur vers l'extérieur de la chaîne :

- Le domaine interne ou domaine Kabyle: qui comporte les formations cristallophylliennes du socle Kabyle et sa couverture sédimentaire (Delga, 1969 ; Raoult, 1974 et Vila, 1980).
- Le domaine médian ou domaine des flyschs : constitué par les flyschs Mauritanien au Nord, et les flyschs massyliens au Sud (Vila, 1980).
- Le domaine externe ou domaine tellien (Delga, 1969 et Vila, 1980). sur l'ensemble de ces unités géologiques repose en discordance la nappe numidienne, et les formations post-nappes (fig.06).

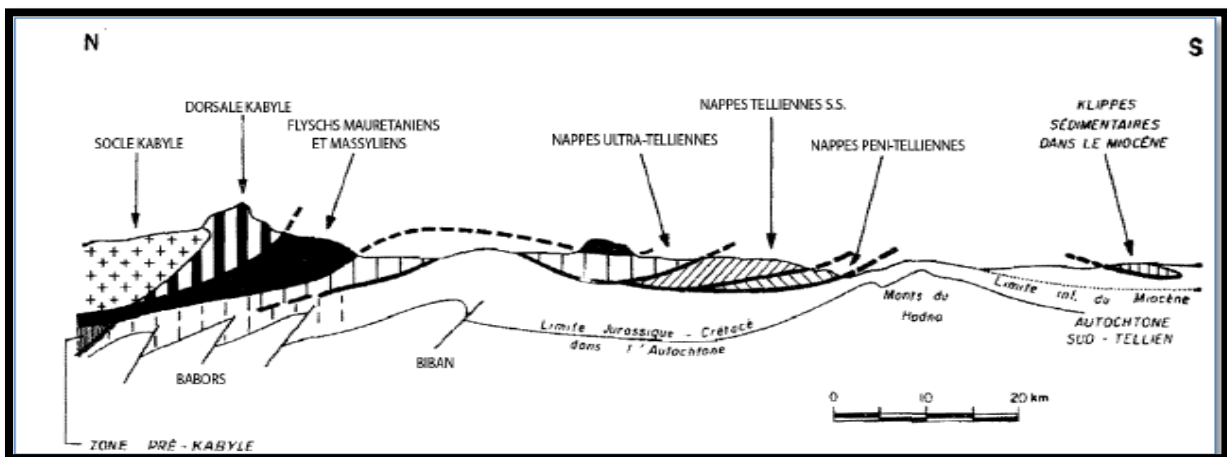


Figure 06: Rapports structuraux entre les différentes unités de la chaîne des Maghrébides (Delga, 1969)

2. Géologie du bassin versant d'oued Djendjen

La zone d'étude est située au Nord-est de l'Algérie et appartient au domaine tellien, au niveau de la partie amont de l'oued Djendjen est situé entre deux chaînes de montagnes, la chaîne Sud numidique et la chaîne Nord numidique (Delga, 1955). Dans cette partie, l'oued draine l'extrémité occidentale des chaînes numidiques où il creuse des gorges très encaissées qui débouchent dans la plaine étudiée (fig.07). L'ensemble de la série stratigraphique dans le bassin versant est représenté dans l'ordre géologique suivant :

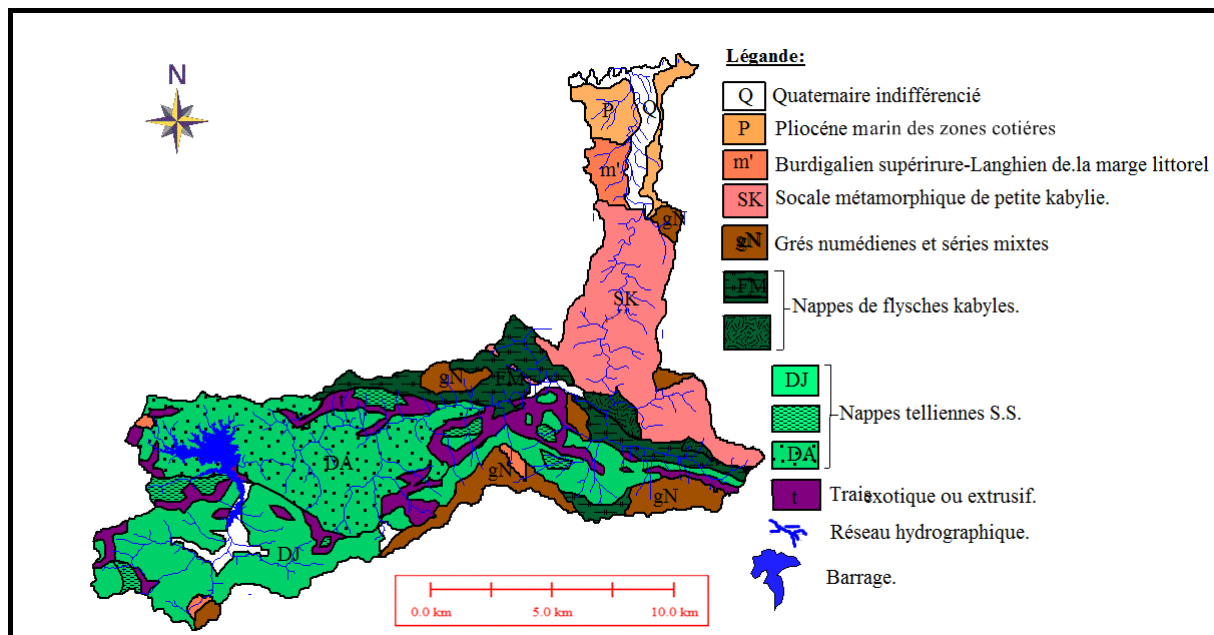


Figure 07: Carte géologique du bassin versant d'oued Djendjen (D'après Vila, 1978).

2.1. Les formations de l'Ere Primaire

Elles existent largement en aval du bassin versant et représentées par des terrains métamorphiques. D'après l'étude de Ehrmann F (1921), on retrouve les terrains métamorphiques suivants : un complexe de schistophyllades, des micaschistes à niveaux feldspathiques, des micaschistes à biotite, muscovite et séricite, des calcaires cristallins et pegmatites, des micaschistes granulites et enfin un ensemble quartzo-phyllades chloriteux et gneissiques (in Later et Terki, 1998, Boucenna, 2009,).

2.2. Les formations de l'Ere Secondaire

L'étude est complétée par Lambert en 1949 en donne la description suivante :

A) Le Trias : représenté par une formation gypseuse salifère (diapir de gypse).

B) Le Jurassique

- *Jurassique supérieur et moyen et Lias supérieur [JL]* :

- 1- calcaires rubanés à silex,
- 2- parfois dolomitismes à la base.

- *Jurassique terminal [Js]* :

- 1- schistes rouges,
- 2- calcaires gréseux oolitiques.

- *Aptien-Néocomien [C1-8]*: schistes siliceux (poudingues vers la base).

- *Cénomaniens-Albiens [C5-1]* : calcaires marneux en petits bancs et calco-schistes.

- *Sénonien [C9-7]* :

- 1- poudingues.

2- marnes schisteuses.

3- calcaires marneux.

2.3. Les formations de l'Ere Tertiaire

A. Le Néogène :

- *Le Miocène marin terminal (Sahélien m4)* : l'affleurement de sahélien est local, il est constitué essentiellement de marnes de couleur bleue.

- *Le Miocène supérieur (Pontien m3)*: formé par des dépôts continentaux de galets cailloutis, poudingues qui se trouvent mêlées à des argiles d'origine continentale, son épaisseur varie de 30 à 50 m.

- *Le Miocène inférieur (Burdigalien m1)* : est représenté par des marnes grises plastiques parfois sableuses ou jaunâtres par une oxydation marine. Ces marnes forment le substratum imperméable dans la région Est de Jijel. D'épaisseur de 200 à 300 m.

B. Le Numidien (Eocène-Oligocène)

Il est de type Flysch et comporte des alternances de grès et d'Argiles, avec une prédominance des argiles, des marnes à la base et des grès au sommet. On distingue de Bas en haut la séquence suivante :

- des argiles de base à Tubotoculum et de Marnes,

- des grès de couleur blanche ou rouge par suite de l'oxydation des sels de Fer.

2.4. Les formations d'Ere Quaternaire

Sont représentées par :

- *Les terrasses anciennes(q)* : sont représentés par des graviers, des cailloutis, des galets qui sont très perméables et généralement aquifères, parfois les matériaux des terrasses peuvent être parallèlement cimentés et formés des conglomérats qu'on peut confondre avec ceux du Pontien.

- *Les dunes anciennes (D)* : sont présentes autour de Bazoul et Tassoust. Ces dunes sont constituées des sables fins souvent consolidés, jaune rouille, limoneux, ayant une épaisseur de 20 m.

- *Les alluvions récentes limoneuses (a²)* : sont des dépôts essentiellement limoneux des basses vallées, elles se développent surtout sur la rive droite de l'oued Djendjen et l'oued Nil, d'épaisseurs généralement inférieures à 20 m.

- *Les dunes récentes (d)* : forment un cordon tout le long de la mer, leur épaisseur et de l'ordre de 15 m. Constituées des sables grossiers parfois consolidés.

- *Les alluvions actuelles (a)* : sont constituées de sables, galets, conglomérats et graviers. Leur épaisseur peut dépasser les 20 mètres.

3. Géologie de la plaine de l'oued Djendjen

La zone qui se trouve en position littorale de l'Est Jijilien n'a, jusqu'à présent, fait l'objet d'aucune étude géologique détaillée. Nous ne disposons que de quelques données sur la partie amont du secteur d'étude. L'esquisse géologique établie par (M. E Ficheur 1971 et M. G. Durozoy 1954), permet de distinguer de bas en haut la litho-stratigraphie suivante (fig.08) :

A. Au Miocène

- *Le Burdigalien (m1)* : s'observe dans les côtés Est et Ouest de la vallée et constitué des marnes grises parfois sableuses ou jaunâtres par oxydation, le faciès est très constant avec des intercalations des niveaux détritiques et de gros nodules calcaires jaunâtres, son épaisseur varie entre 200 et 300 m.

- *Le Pontien (m3)* : le Pontien est représenté sous forme de dépôts continentaux, il est constitué par des galets, des cailloutis et des poudingues qui se trouvent mêlées à des argiles, l'ensemble de cette série plus ou moins cimenté, présente une perméabilité moyenne. L'épaisseur est variée entre 30 et 50 m.

B. Au Quaternaire

- *Les terrasses anciennes (q)* : elles sont constituées par des cailloutis, des graviers et des galets qui sont très perméables et généralement aquifères. Parfois, les matériaux des terrasses peuvent être partiellement cimentés et forment des conglomérats qu'on peut confondre avec ceux du Pontien. Ils ont une épaisseur de 15 m.

- *Les dunes anciennes (D)* : elles sont présentes autour de Bazoul et Tassoust, constituées de sables jaune-rouille, limoneux, souvent consolidés, ayant une épaisseur de 20 m.

- *Les alluvions récentes limoneuses (a2)* : elles sont des dépôts essentiellement limoneux des basses vallées. D'épaisseur généralement inférieure à 20 m, elles se développent surtout sur la rive droite de l'oued Djendjen.

- *Les alluvions actuelles (a)* : elles sont des dépôts de l'oued actuel. Elles sont constituées de sables, graviers, conglomérats et de galets perméables avec une épaisseur peut dépasser 20 m.

- *Les dunes actuelles (d)* : ces dunes forment un cordon tout le long de la mer. Elles sont constituées de sables grossiers parfois consolidés avec une épaisseur de 15 mètres (fig.08).

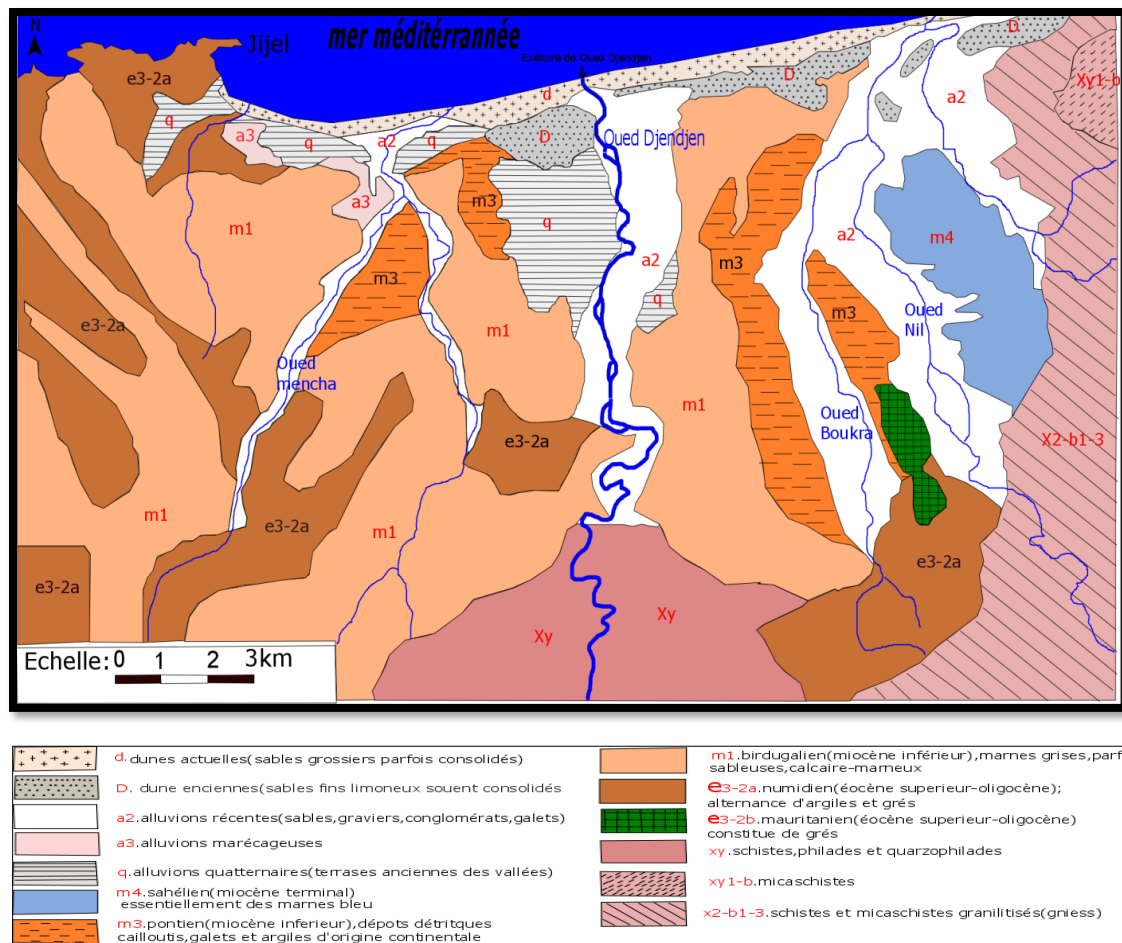


Figure 08: Carte géologique de la plaine d'oued Djendjen (Ficheur, 1971, in Karaouet et Bourafa, 2016)

Conclusion

La nature lithologique de la formation est un facteur limitant la perméabilité des sols, elle influe aussi sur la quantité et la qualité des eaux pouvant s'y infiltrer. La wilaya de Jijel fait partie de la petite Kabylie (chaîne des Maghrébides), elle se dispose d'une variété dans les formations géologiques : sédimentaires, métamorphiques et magmatiques. Leur âge s'étend de l'ère primaire jusqu'au quaternaire. La plaine de Djendjen est le siège d'une topographie ancienne dont les dépressions ont été recouvertes par des alluvions récentes et des terrasses anciennes (formations quaternaires), dont l'épaisseur est variable et cela a été confirmé par les rapports des forages réalisés au niveau de la plaine.

Les recouvrements alluviaux apparaissent comme étant les meilleures formations aquifères et constituent le réservoir principal de la plaine. En effet, les différents forages qui réalisées au niveau de la plaine ont permis de mettre en évidence une sédimentation parfois très grossière (épaisseur supérieure à 30 m). Le substratum de cet aquifère quaternaire est constitué par des marnes du Burdigalien, reposant sur des terrains cristallins et cristallophylliens du socle métamorphique primaire.

Chapitre III :

Caractéristiques

Hydroclimatiques

Introduction

Le climat par le biais de ses changements constitue la préoccupation actuelle des chercheurs à l'échelle mondiale. Beaucoup d'approches ont été tentées, mais les résultats obtenus sont toujours au stade hypothétique, ce qui laisse planer le doute quant à une solution radicale de ce phénomène. Les changements climatiques qui affectent le globe tendent vers une redistribution des éléments du climat (*Hammadi et Harendi, 2015*).

Dans le but de compléter l'étude du complexe physique du bassin versant d'oued Djendjen, une analyse des facteurs climatiques s'impose. Elle permet de mettre à jour les facteurs les plus importants qui régissent le climat et d'établir un bilan hydrique de la région. L'établissement de ce dernier est nécessaire pour comprendre le fonctionnement d'un système hydrologique de surface.

1. Stations Météorologiques

Les données climatiques utilisées dans ce chapitre sont celles disponibles à l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH), sur une période d'observation de 26 ans pour la station de l'Achouat (1988-2014), et de 10 ans pour la station d'El Agram (2005-2015)(*tab.04*).

Tableau .04 : Coordonnées Géographiques des stations d'observations.

station	Les coordonnées Lambert		Altitude	Données disponibles	Années d'observation
	X (km)	Y (km)			
Achouat	783.472	392.836	6 m	P (mm) et T (°C)	(1988-2014)
El Agram	788.835	385.101	198 m	P (mm) et T (°C)	(2005-2015).

2. Type de climat dans la région de Jijel

La wilaya de Jijel est soumise à un climat méditerranéen tempéré et humide avec un hiver doux et un été chaud et sec relativement, elle est caractérisée par une pluviométrie décroissante du Sud vers le Nord. Elle est assez élevée sur les monts de Texenna avec plus de 1200 mm/an, alors qu'au niveau des plaines, les valeurs varient de 900 à 1000 mm/an (*Berkane, 2006*).

3. Les facteurs climatiques

3.1. Les précipitations

La pluie se forme par l'évaporation de l'humidité qui existe dans la nature (mer, lac ...etc). Cette vapeur d'eau se mélange à la masse d'air qu'elle subit peuvent conduire à la saturation de l'air et la condensation de la vapeur, constituent les nuages. Lorsque l'air s'élève à cause des mouvements de l'atmosphère. Les transformations thermodynamiques (dépression, refroidissement ...) forment les gouttes de pluie.

Les précipitations est un facteur très important désigne tous type d'eau (pluies, neiges), qui conditionne l'écoulement superficiel et souterraine qui influence sur le volume d'eau emmagasinée, par conséquent, abaissant ou augmentant le niveau piézométrique de la nappe. La pluviométrie constitue un facteur écologique d'importance fondamentale pour le fonctionnement et la répartition des écosystèmes terrestres (Ramade, 1984).

La zone d'étude est l'une de plus arrosées en Algérie (fig.09), Elle reçoit chaque année des apports d'eaux de pluie très importants, qui ruissellent généralement vers les principaux Oueds existants dans la wilaya, et parmi ces oueds l'oued Djendjen.

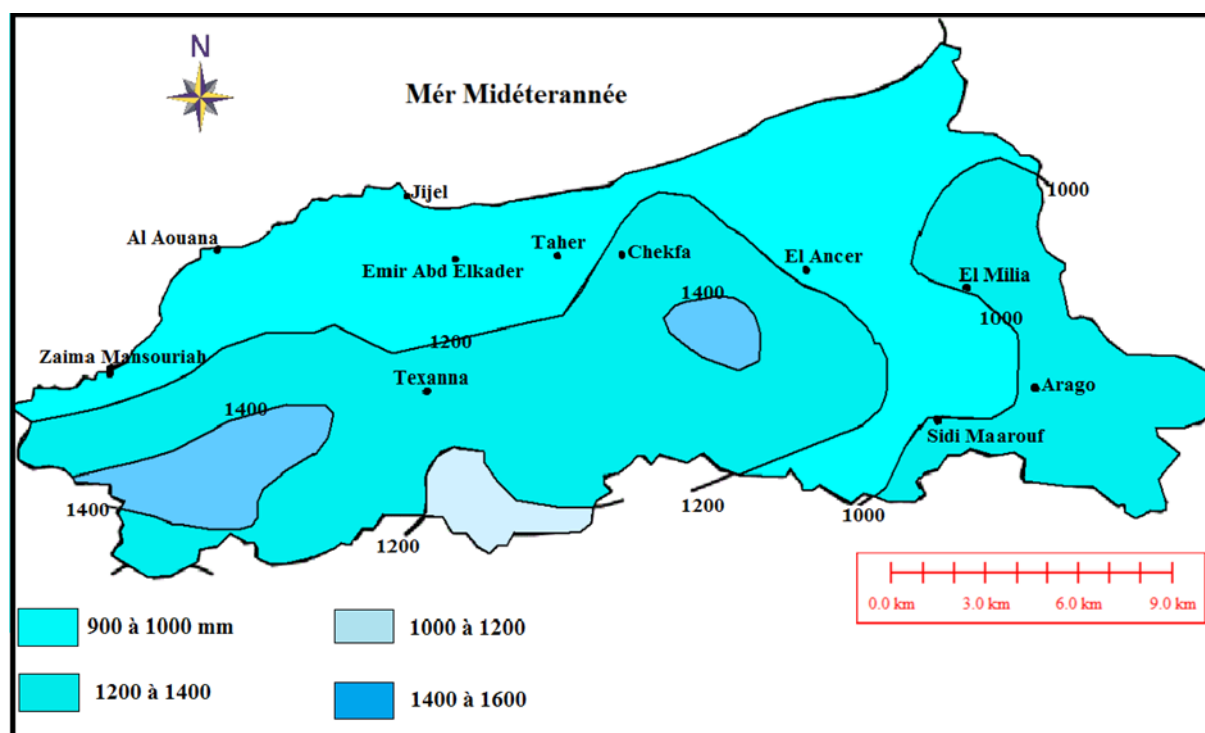


Figure 09 : Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel (ANRH, 1993)

3.1.1. Précipitations moyennes mensuelles : c'est la moyenne des précipitations de chaque mois à partir des données climatiques des deux stations (Achouat et El Agram (tab.05) :

Tableau .05 : Précipitations moyennes mensuelles (mm) de la station de l'Achouat (1988- 2014) Et Agrem (2005-2015).

Station	Sep	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aoû	Année
Achouat	64,32	94,17	158,67	186,70	131,81	115,35	86,31	85,83	51,44	13,78	3,11	16,18	1007,67
El Agram	74,93	117,91	162,39	193,93	143,16	167,27	140,29	71,27	43,73	13,11	1,09	12,14	1141,22

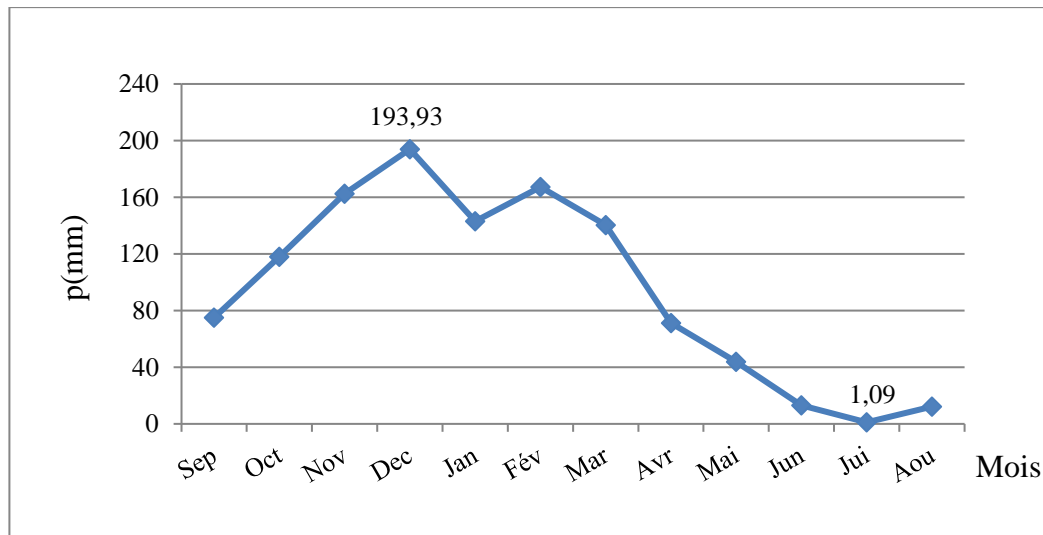


Figure 10 : Précipitations moyennes mensuelles de la station d'El Agram (2005-2015)

A partir de tableau précédent (tab.05) et le graphique au-dessus de la station d'El Agram (fig.10), on remarque que le mois le plus pluvieux c'est le mois de Décembre qui enregistre le maximum de la pluviométrie avec 193,93 mm, alors que le mois de Juillet est le plus sec avec une minimale de la pluviométrie d'ordre de 1,09 mm.

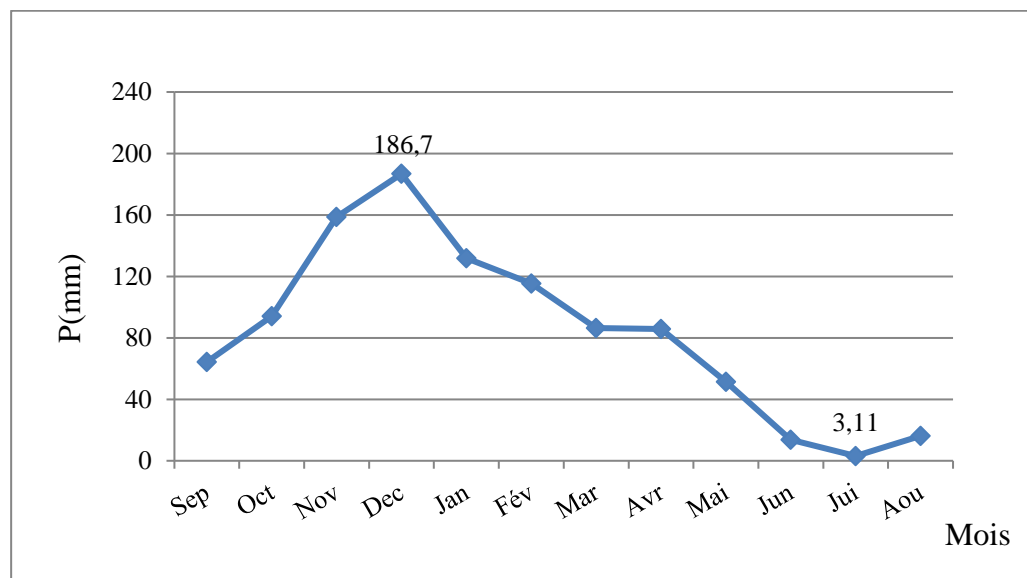


Figure 11: Précipitations moyennes mensuelles de la station d'Achouat (1988-2014)

Concernant la station d'Achouat, le mois le plus pluvieux est le mois de Décembre avec un maximal de précipitations mensuelles de 186,7 mm, alors que le mois de Juillet qu'est le plus sec avec 3,11 mm seulement (fig.11).

3.1.2. Précipitations moyennes saisonnières : La subdivision des pluies de l'année pour chaque saison est faite suivant les quatre saisons agricoles :

- L'automne : (Septembre, Octobre, Novembre).
- L'hiver : (Décembre, Janvier, Février).
- Le printemps : (Mars, Avril, Mai).
- L'été : (Juin, Juillet, Août).

Tableau .06 : Précipitations moyennes saisonnières (mm) des deux stations Achouat et El Agram.

Saisons Stations	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Achouat	105,718	144,619	74,528	11,023
El Agram	118,410	168,120	85,097	8,780

Les résultats du tableau (06) et les figures (12 et 13) montrent que la saison la plus pluvieuse est l'hiver pour les deux stations, au total, il tombe 144,619 mm soit 43 % de la pluie annuelle pour la station d'Achouat et 168,120 mm soit 44 % de la pluie annuelle pour la station d'El Agram. Par contre, la saison estivale est la plus sèche, avec 11,023 mm soit 3 % de la pluie annuelle pour la station d'Achouat, et 8,780 soit 2 % de la pluie annuelle pour la station de El Agram.

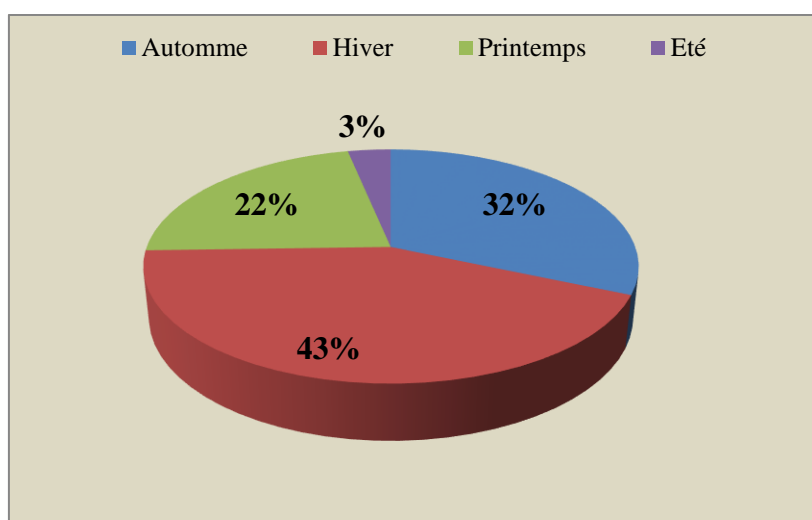


Figure 12 : Précipitations moyennes saisonnières de la station d'Achouat.

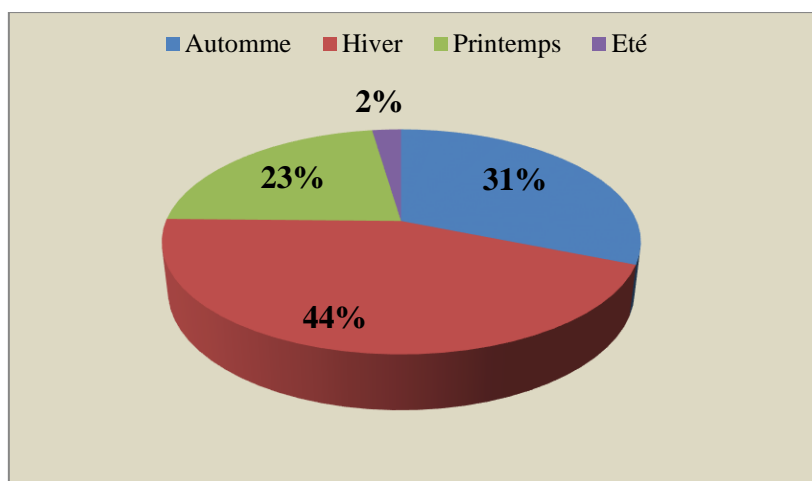


Figure 13 : Précipitations moyennes saisonnières de la station d'El Agram.

3.1.3. Précipitations moyennes annuelles : Sur un cycle de précipitations de dix ans (2005-2015) pour la station d'El Agram et de vingt-cinq ans (1988-2014) pour la station d'Achouat, nous allons examiner la variation des précipitations observées aux deux stations.

L'analyse des histogrammes de précipitations annuelles (*fig.14 et.15*) montre que l'année la plus pluvieuse ou bien le plus arrosée est l'année (2002-2003) avec 1429,4 mm pour la station d'Achouat et l'année (2012-2013) pour la station d'El Agram avec 1338,7 mm. Par contre les années les moins pluvieuses sont (1996-1997) avec 647,2 mm pour la station d'Achouat, et (2006-2007) avec (866,4 mm) pour la station d'El Agram.

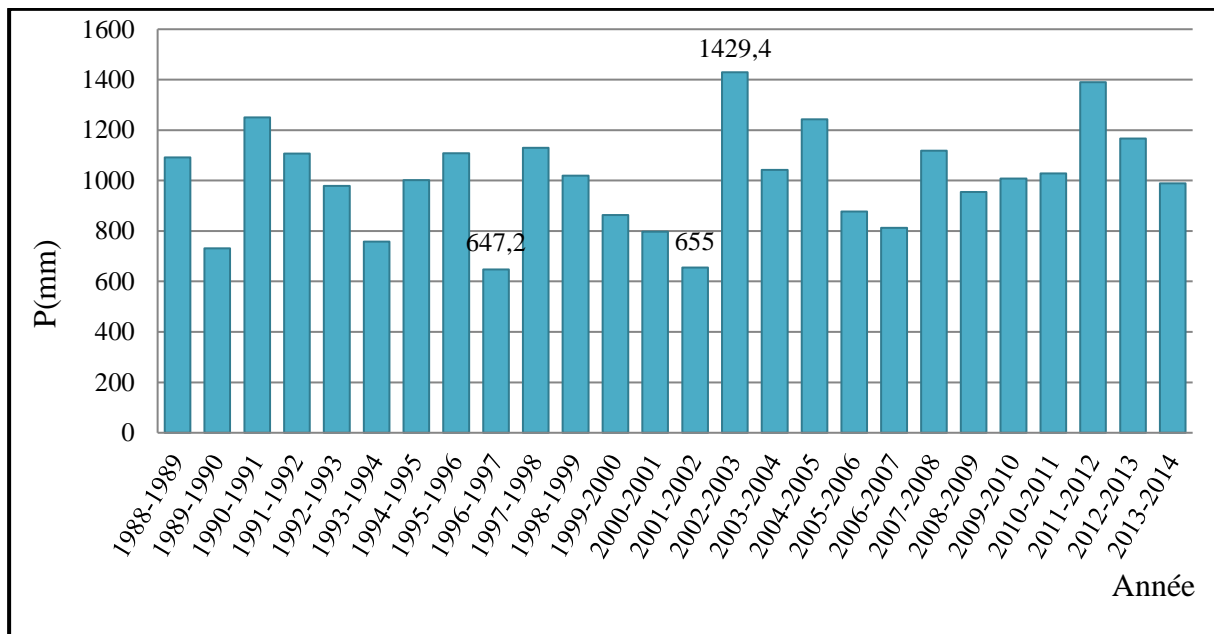


Figure 14 : Précipitations annuelles de la station d'Achouat (1988-2014)

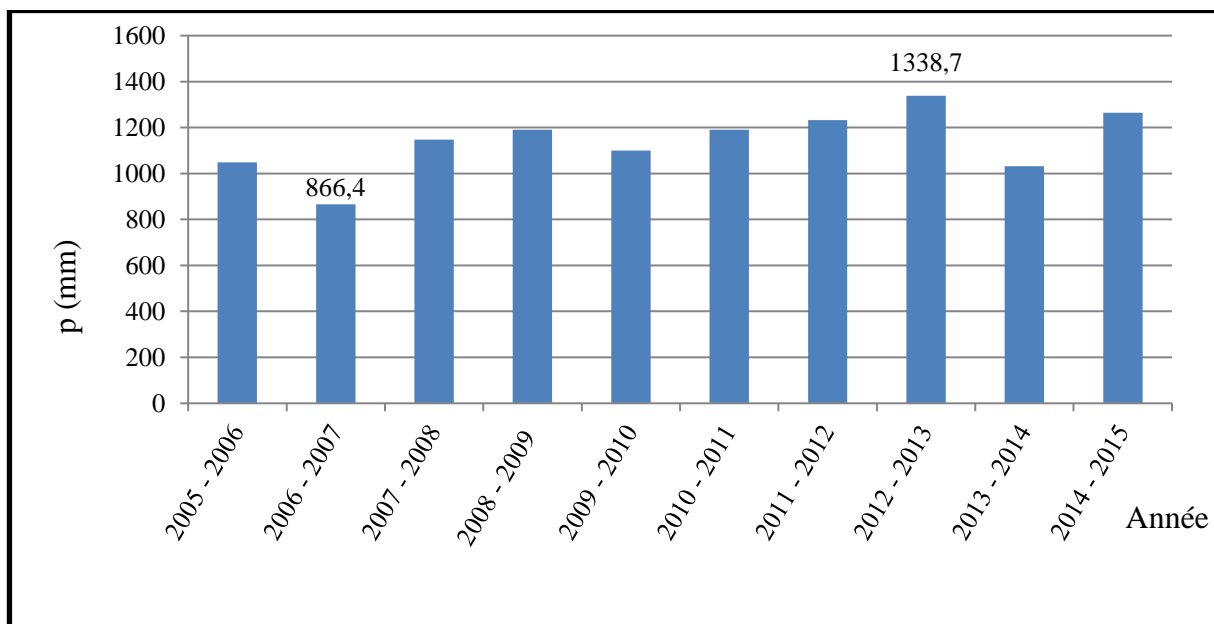


Figure 15 : Précipitations annuelles de la station d'El Agram (2005-2015)

3.2. La température

La température est l'état atmosphérique de l'air, c'est le degré du froid ou de chaleur. Elle a une grande influence sur le bilan hydrologique du fait qu'elle conditionne l'évaporation et l'évapotranspiration (Bechkit, 2005). La température varie en fonction de l'altitude, de la distance à la mer et de la position topographique (ONM, 2013).

3.2.1. Températures moyennes mensuelles : Le tableau ci-dessous (tab.07) contient les températures moyennes mensuelles au niveau des deux stations Achouat (1988-2014) et El Agram (2005-2015).

Tableau .07 : Températures moyennes mensuelles des deux stations Achouat et El Agram.

Températures moyennes mensuelles Achouat et El Agram													
	Station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aoû
T (°C)	Achouat	23,57	20,44	15,91	12,72	11,57	11,73	13,57	15,57	18,37	22,53	25,32	26,18
	El Agram	23,82	21,05	16,27	12,97	12,14	11,69	13,72	16,57	19,32	23,04	26,83	27,07

A partir du tableau 07 et les deux graphiques 16 et 17 qui représentent les résultats des variations mensuelles des températures dans les deux stations ; Achouat et El Agram, nous remarquons :

- Une période froide s'étale du mois de Novembre jusqu'au mois d'Avril. La valeur minimale de la température enregistrée au mois de Janvier d'ordre 11,57 °C pour la station d'Achouat, et 11,69 °C au mois de Février pour la station d'El Agram.
- Une période chaude du mois de Mai jusqu'au mois d'Octobre avec une valeur maximale de température d'ordre 26,18 °C enregistrée au mois d'Aout pour la station d'Achouat, et 27,07 °C pour la station d'El Agram.

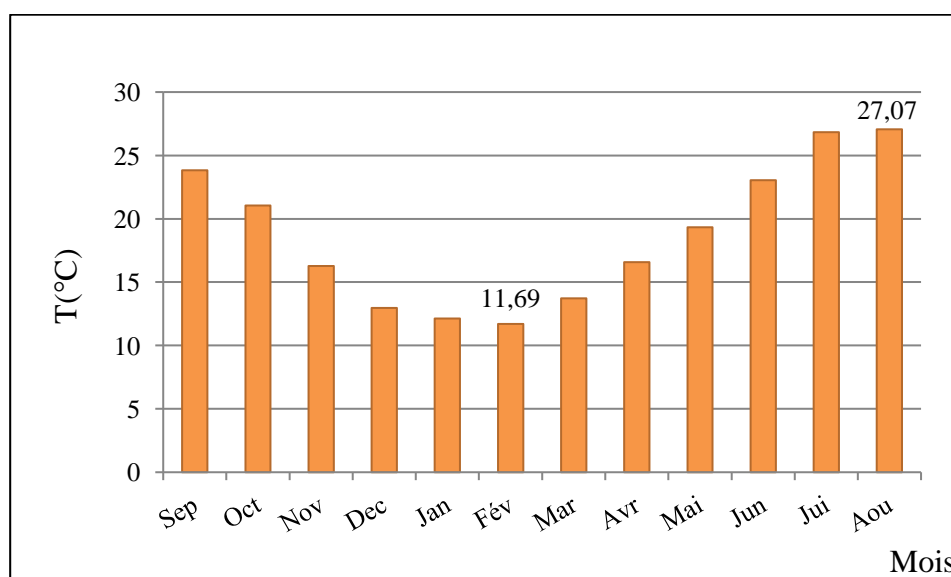


Figure 16 : Températures moyennes mensuelles de la station d'Achouat (1988-2014)

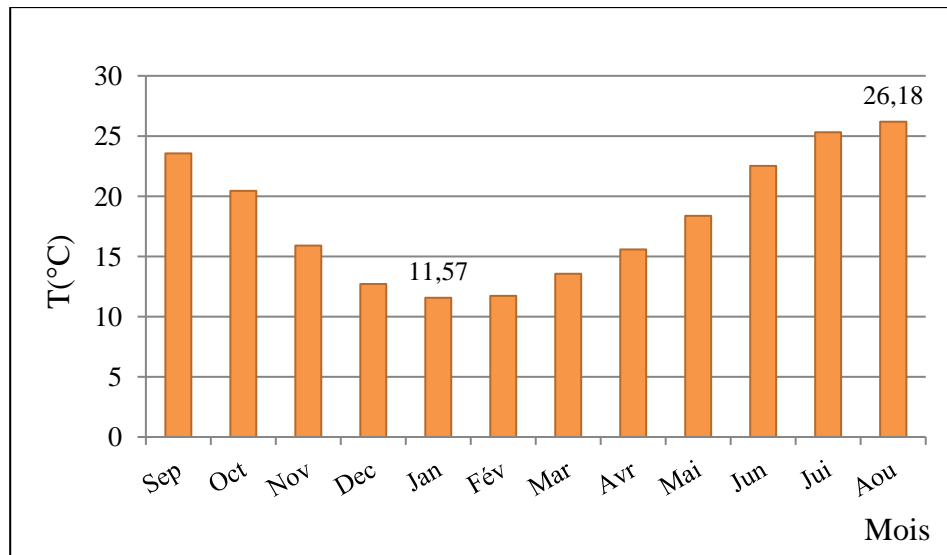


Figure 17 : Températures moyennes mensuelles de la station d'El Agram (2005-2015).

3.3. Type de Climat

3.3.1. Diagramme Ombro-thermique (Courbe pluviométrique)

La courbe pluvio-thermique (combinaison de deux paramètres climatiques ; la température et les précipitations), permet la détermination du type du climat régnant dans la région. Un mois sec se définit, selon (*Bagnouls et Gaussen, 1953*) comme celui ayant un total pluviométrique (moyenne en millimètres), égal ou inférieur au double de la température ($P \leq 2T$). Cette formule ($P \leq 2T$) permet de construire le diagramme Ombro-thermique traduisant la durée de la saison sèche d'après les intersections des deux courbes. Elle est appliquée à la station de Taher, on remarque la succession de deux saisons, la première dite la saison humide se caractérisant par une forte pluviométrie et une faible température, elle s'étend du début d'Octobre jusqu'au mois de Mai. Au cours de cette période, les précipitations sont importantes. La saison sèche occupe le reste des mois, c'est-à-dire du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre (*fig.18 et 19*).

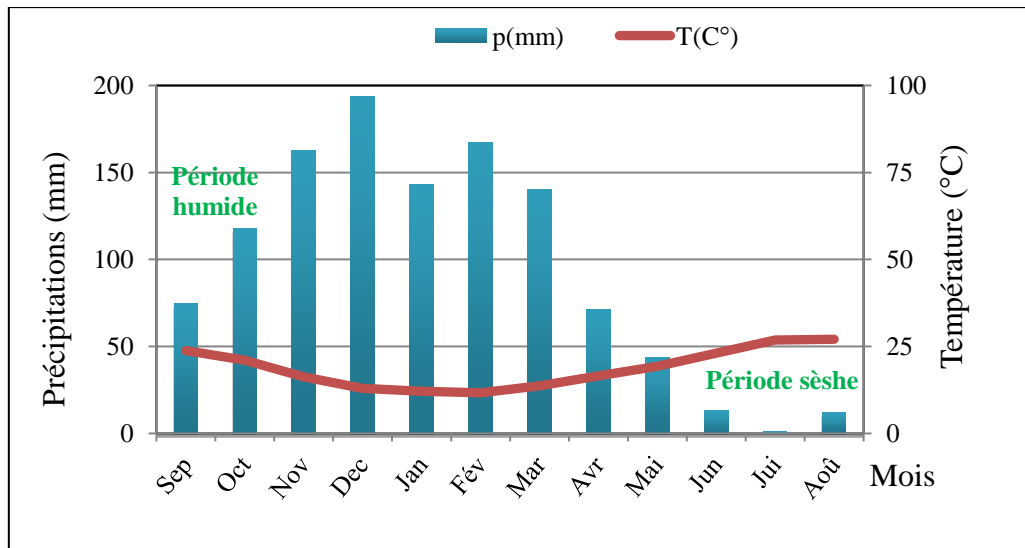


Figure 18 : Diagramme Ombro-thermique de la station d'El Agram (2005-2015)

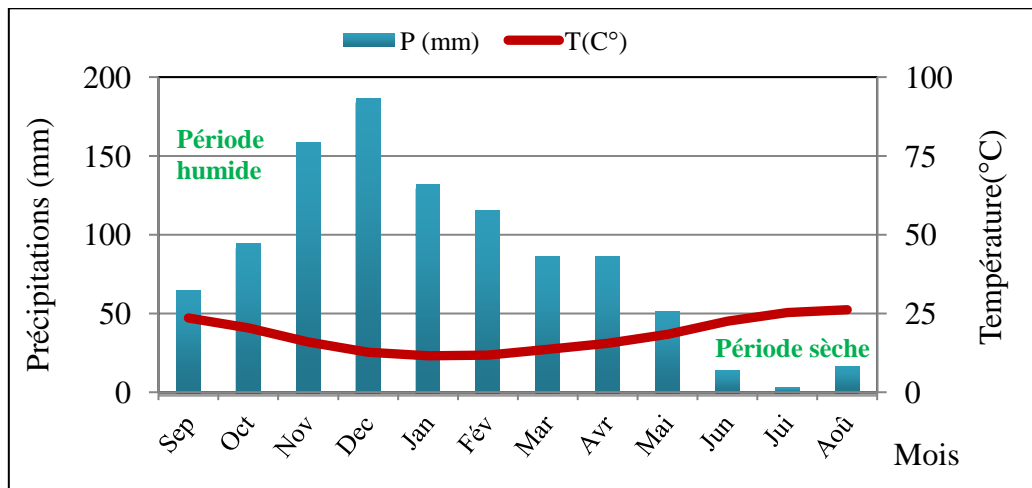


Figure 19 : Diagramme Ombro-thermique de la station d'Achouat (1988-2014)

3.3.2. L'Humidité

Elle représente le rapport exprimé en pour-cent de la tension de vapeur d'eau observée à la tension de vapeur de saturation pour une température donnée, Le tableau ci-dessous (tab.08) présente les valeurs de l'humidité de l'air enregistrées au niveau des stations de l'Achouat et d'El Agram.

Tableau .08: Humidité de l'air de la station de l'Achouat et d'El Agram.

Station	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou
Achouat	78	69,6	51,5	44,7	47,9	40,5	55,7	55,1	57,3	83,9	88,4	87,6
El Agram	92,1	91,7	92,7	92,7	92,7	91,8	91,8	92,1	91,6	90,625	90,75	92

Les figures 20 et 21 montrent une variation remarquable durant l'année ; la valeur la plus haute de l'humidité dans la station d'Achouat est celle marquée au mois de Juillet par 88,4 %, et la plus basse est celle marquée au mois de Février par 40,5 %. Concernant la station d'El Agram, la figure 17, montre que la valeur la plus haute d'humidité aux mois de Novembre, Décembre et Janvier par 92,7 % pour les trois mois, et la plus basse est marquée au mois de Juin par 90,62 %, mais elle reste élevée, et pas d'une grande variation au cours de l'année.

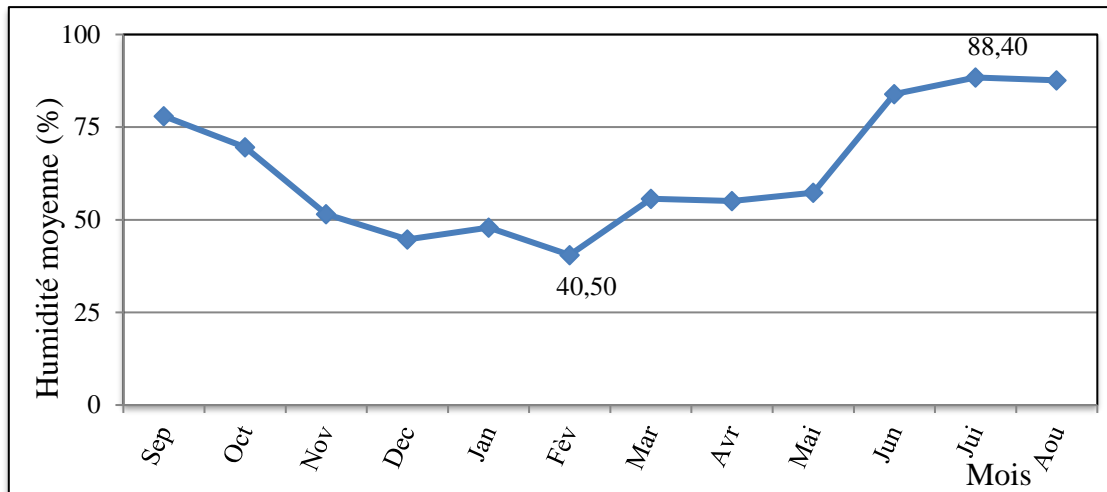


Figure 20 : Humidité de l'air de la station de l'Achouat (1988-2014)

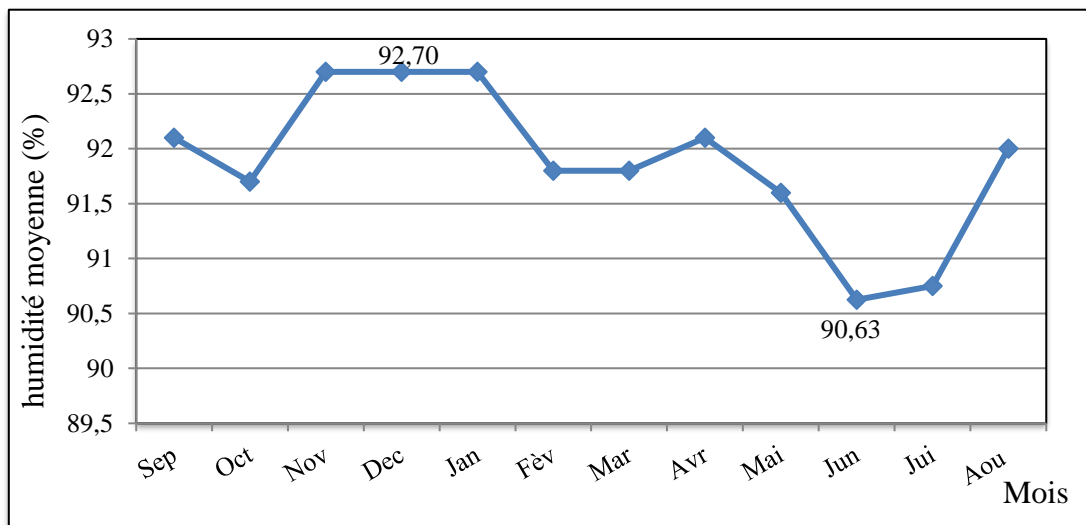


Figure 21 : Humidité de l'air de la station d'El Agram (2005-2015)

4. Bilan hydrique du bassin versant d'oued Djendjen

Le bilan hydrique est établi pour un lieu et une période donnés par comparaison entre les apports et les pertes en eau dans ce lieu et pour cette période. Il tient aussi compte de la constitution de réserves et des prélèvements ultérieurs sur ces réserves. Les apports d'eau sont effectués par les précipitations. Les pertes sont essentiellement dues à la combinaison de

l'évaporation et la transpiration des plantes, que l'on désigne sous le terme d'évapotranspiration.

4.1. L'évapotranspiration

L'évapotranspiration constituée par deux mots : évaporation et transpiration, elle est définie comme des phénomènes d'évaporation des d'eaux (phénomène physique) et transpiration des plantes (phénomène biologique).

4.1.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP) : L'évapotranspiration potentielle (ETP) représente la quantité d'eau maximum qui peut être abandonnée pour des conditions météorologiques données et pour un stock d'eau du sol maximum et infiniment renouvelable (tab.09).

$$ETP_c \text{ (mm)} = 16 (10 T/I)^a * K$$

Avec ; $I = \sum i$; $i = (T/5)^{1.514}$ $a = 1.61 (I / 100) + 0.5$ $ETP = 16 (10T/I)^a$

T: température moyenne du mois considéré °C, **K :** coefficient d'ajustement mensuel

ETP: évapotranspiration potentielle du mois considéré (mm), **I :** indice thermique

Tableau .09 : Evapotranspiration potentielle selon la méthode de Thornthwaite.

Mois	Station	P (mm)	T(C°)	I	ETP (mm)	K	ETPc (mm)
Sep	Achouat	64,32	23,57	10,49	105,41	1,03	108,57
	El Agrem	74,93	23,82	10,63	104,78	1,03	107,92
Oct	Achouat	94,17	20,44	8,43	80,52	0,97	78,10
	El Agrem	117,91	21,05	8,81	82,26	0,97	79,79
Nov	Achouat	158,67	15,91	5,77	50,12	0,86	43,11
	El Agrem	162,39	16,27	5,97	49,64	0,86	42,69
Déc	Achouat	186,70	12,72	4,11	32,84	0,84	27,59
	El Agrem	193,93	12,97	4,23	31,82	0,84	26,73
Jan	Achouat	131,81	11,57	3,56	27,44	0,87	23,87
	El Agrem	143,16	12,14	3,83	27,95	0,87	24,31
Fév	Achouat	115,35	11,73	3,64	28,19	0,85	23,96
	El Agrem	167,27	11,69	3,62	25,96	0,85	22,07
Mar	Achouat	86,31	13,57	4,53	37,11	1,03	38,23
	El Agrem	140,29	13,72	4,61	35,54	1,03	36,60
Avr	Achouat	85,83	15,57	5,58	48,10	1,10	52,91
	El Agrem	71,27	16,57	6,13	51,46	1,10	56,60
Mai	Achouat	51,44	18,37	7,17	65,76	1,21	79,57
	El Agrem	43,73	19,32	7,74	69,51	1,21	84,10
Jun	Achouat	13,78	22,53	9,77	96,80	1,22	118,10
	El Agrem	13,11	23,04	10,11	98,22	1,22	119,83
Jui	Achouat	3,11	25,32	11,65	120,61	1,24	149,56
	El Agrem	1,09	26,83	12,73	132,37	1,24	164,14
Aou	Achouat	16,18	26,18	12,26	128,52	1,16	149,09
	El Agrem	12,14	27,07	12,90	134,63	1,16	156,17
Station de l'Achouat:		$a=1,89$ $I = 86,94$		Station d'El Agrem: $a = 1,96$ $I = 91,3$			

4.1.2. Evapotranspiration réelle (ETR) : Par définition, on appelle évapotranspiration réelle effective actuelle, la somme de l'évapotranspiration et de transpiration réelle pour une surface donnée. Pour le calcul de l'évapotranspiration réelle, nous utilisons les formules suivantes :

- **Méthode de Turc :** La formule de Turc permet d'évaluer directement l'évapotranspiration réelle annuelle d'un bassin à partir de la hauteur annuelle de pluie et de la température moyenne annuelle (tab.10) :

$$ETR = \frac{P}{0,9 + \sqrt{\left(\frac{P}{L}\right)^2}}$$

Avec : • ETR : Evapotranspiration réelle annuelle en (mm) ;

• P : Précipitations moyennes annuelles en (mm).

• L : Paramètre exprimant le pouvoir évaporant de l'atmosphère :

• $L = 300 + 25T + 0.05T^3$. Où T est la température moyenne annuelle en °C.

Tableau .10 : Evapotranspiration réelle des deux stations selon la formule de Turc

Station	P (mm)	T (°C)	L	ETR (mm)	ETR
Achouat	1007,67	18,12	1050,65	746,42	74,07 %
El Agrem	1141,22	18,71	1095,23	809,95	70,97 %

- **Formule de Coutagne :** cette formule permet de calculer l'évapotranspiration réelle en faisant intervenir la pluviométrie et la température (tab.11).

$$ETR = P - (\lambda * P^2)$$

Avec : $\lambda = 1 / (0.8 + 0.14T)$

ETR : Evapotranspiration réelle (m/an).

P : Précipitations moyennes annuelles (m/an).

T : Température moyenne annuelle (°C).

Elle est applicable pour la condition suivante : $\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}$.

Les résultats obtenus sont englobés dans le tableau suivant (tab.11) :

Tableau .11 : Evapotranspiration réelle des deux stations selon la formule de Coutagne.

Station	T(°C)	λ	$1/8\lambda$	P (m)	$1/2\lambda$	ETR (m)	ETR %
Achouat	18,12	0,30	0,42	1,01	1,67	0,70	69,30
El Agrem	18,71	0,30	0,43	1,10	1,71	0,76	69,10

4.1.3. Estimation du ruissellement (R) : Écoulement du surplus des eaux de pluie à la surface du sol, qui n'a pu s'infiltrer ou s'évaporer. La lame d'eau ruisselée est exprimée par le rapport du volume ruisselé (m^3) par la surface du bassin (m^2). Elle est calculée selon deux formules :

- Formule de Tixeron-Berkaloff :

$$R = P^3 / 3 * ETP^2, \quad \text{si : } P < 600 \text{ mm.}$$

- Formule de Tixeron-Berkaloff modifiée par Romantchouk.

$$R = P^3 / 3, \quad \text{si : } P > 600 \text{ mm.}$$

Avec : **R** : Ruissellement annuelle (mm).

P : Précipitations annuelles (mm).

ETP : évapotranspiration potentielle (mm).

Les résultats de ruissellements selon la formule Tixeron-Berkaloff modifiée par Romantchouk sont récapitulés dans le tableau suivant (*tab.12*), où La quantité d'eau ruisselée selon la station d'Achouat est estimée par 33,84 % des eaux précipitées, tandis que, pour la station d'El Agram, elle est estimée par 43,41 % des eaux précipitées.

Tableau .12: Résultats des ruissellements pour les deux stations.

Station	P (mm)	R (mm)	R
Achouat	1007,67	341,06	33,84 %
El agrem	1141,22	495,43	43,41 %

4.1.4. Estimation de l'infiltration : L'infiltration est la quantité d'eau franchissant la surface du sol, elle renouvelle les stocks d'eau souterraine et entretient le débit de l'écoulement souterrain et sortant après circulation dans les formations hydrogéologiques perméables du sous - sol. L'estimation de la lame d'eau infiltrée peut se faire à l'aide de la formule du bilan hydrologique qui est appliquée dans le tableau suivant (*tab.13*):

$$P = R + I + ETR$$

Avec :

P: Précipitations moyennes mensuelles (mm).

R: Ruissellement (mm).

I: Infiltration en (mm).

ETR: Evapotranspiration réelle (mm).

Tableau .13 : résultats des infiltrations pour les deux stations.

Station	P (mm)	R (mm)	ETR (mm)	I (mm)	I
Achouat	1007,67	341,06	746,42	130,01	12,90 %
El agrem	1141,22	495,43	809,95	111,99	9,81 %

D'après les résultats du tableau ci-dessus, la quantité d'eau infiltrée à la station d'Achouat présente 12,9 % des eaux précipitées, et à la station d'El Agram, elle présente 9,81 % de la quantité précipitée.

5. Bilan hydrique selon la formule de C.W Thornthwaite

C'est la méthode la plus utilisée pour les climats subhumides et semi-arides, elle consiste à calculer l'évapotranspiration réelle (ETR) mensuelle à partir des précipitations moyennes mensuelles, l'évapotranspiration potentielle (ETP), et la réserve facilement utilisable contenue dans le sol (RFU) qui est nécessaire pour le bon fonctionnement physiologique des plantes. L'estimation de l'évapotranspiration réelle établie par la méthode de Thornthwaite est liée au volume de précipitations (*tab.14 et 15*) ; trois cas peuvent se présenter :

• **1^{er} Cas** : $P > ETP \Rightarrow ETR = ETP$: Il y a reconstitution des réserves du sol jusqu'à saturation (un sol saturé, quand il aura absorbé une lame d'eau équivalente à une précipitation de 100 mm), le surplus représentera l'écoulement superficiel.

• **2^{eme} Cas** : $P < ETP \Rightarrow ETR = P + RFU$: Dans ce cas, on puisera dans les réserves du sol jusqu'à satisfaction de l'ETP.

• **3^{eme} Cas** : $P < ETP$ et $RFU = 0 \Rightarrow ETR = P$: Dans ce cas, on aura un déficit qui représentera la quantité d'eau à apporté pour l'irrigation (déficit agricole).

Tableau .14 : Résultats du bilan hydrique selon Thornthwaite dans la station d'Achouat.

	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	total
P (mm)	64,32	94,17	158,67	186,70	131,81	115,35	86,31	85,83	51,44	13,78	3,11	16,18	1007,67
ETPc (mm)	108,57	78,10	43,11	27,59	23,87	23,96	38,23	52,91	79,57	118,10	149,56	149,09	892,65
ETR (mm)	64,32	78,10	43,11	27,59	23,87	23,96	38,23	52,91	79,57	85,65	3,11	16,18	536,60
RFU (mm)	0,00	16,07	100	100	100	100	100	100	71,87	0,00	0,00	0,00	/
EXC (mm)	0,00	0,00	31,63	159,11	107,94	91,39	48,08	32,92	0,00	0,00	0,00	0,00	471,07
Da (mm)	44,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,45	146,45	132,91	356,06

Tableau .15 : Résultats du bilan hydrique selon Thornthwaite dans la station d'El Agram

	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	total
P (mm)	74 ,93	117,91	162,39	193,93	143,16	167,27	140,29	71,27	43,73	13,11	1,09	12,14	1141,22
ETPc (mm)	107,92	79,79	42,69	26,73	24,31	22,07	36,60	56,60	84,10	119,83	164,14	156,17	920,97
ETR (mm)	74,93	79,79	42,69	26,73	24,31	22,07	36,60	56,60	84,10	72,74	1,09	12,14	533,80
RFU (mm)	0	38,12	100	100	100	100	100	100	59,63	0	0	0	/
EXC (mm)	0	0	57,82	167,20	118,85	145,20	103,69	14,67	0,00	0,00	0,00	0,00	607,43
Da (mm)	32,99	0	0	0	0	0	0	0	0	47,09	163,05	144,03	387,17

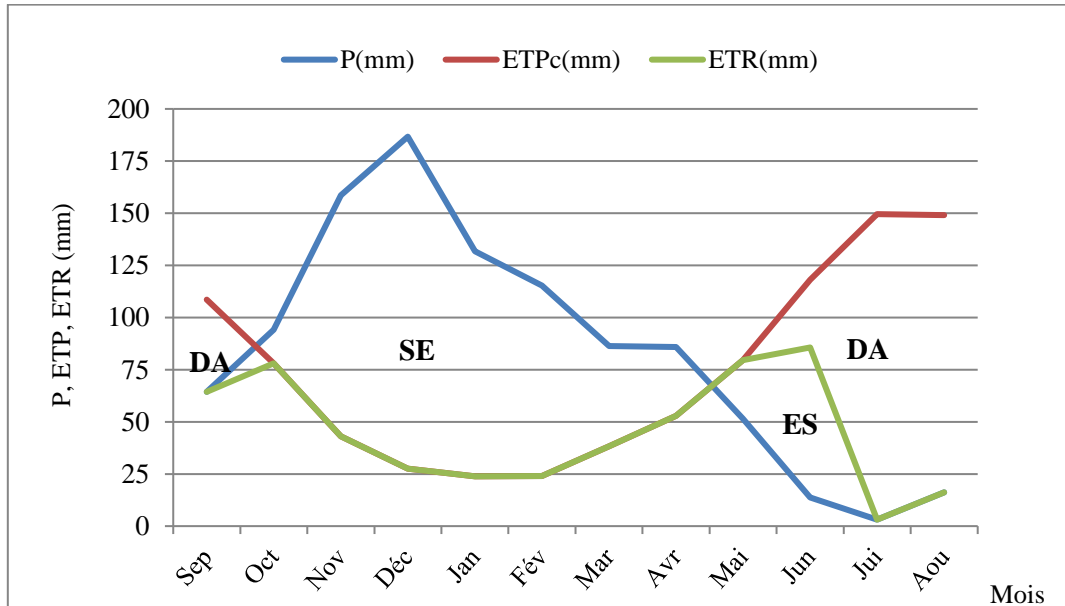
5.1. Interprétation du bilan Hydrique

Afin de réaliser le bilan d'eau des deux stations, on a arrivé à établir les graphiques de ces bilans qu'on a les présentés par la *figure 22* pour la station d'Achouat, et la *figure 23* pour la station d'El Agram.

a. Station de l'Achouat : D'après la *figure 22*, on peut remarquer qu'il existe deux périodes qu'elles viennent successivement en fonction de la variation des précipitations (P), l'Evapotranspiration potentielle (ETP), et l'Evapotranspiration réelle (ETR).

La première période c'est la recharge et le surplus d'eau, s'étend de début d'Octobre jusqu'à la fin d'Avril, elle est caractérisée par des fortes précipitations atteints 858,84 mm, et évapotranspiration faible relativement ne dépasse pas 287,77 mm, Le stock commence à se recharger de début d'Octobre, et l'eau ruisselée vient à apparaitre juste au début de Novembre jusqu'au mois d'Avril, et sa quantité est estimée par 471,07 mm.

La deuxième période représente l'épuisement du stock, ce dernier commence à rabattre de début de Mai et sera vide à la mi-Juillet, aussi que le déficit agricole qui est presque synchrone avec l'épuisement du stock et s'étale de la troisième semaine de mois de Mai jusqu'à le début d'Octobre, cette période se caractérise par les très faibles précipitations qui ne dépassent 148,83 mm, avec une forte évapotranspiration qui atteint 524,24 mm.



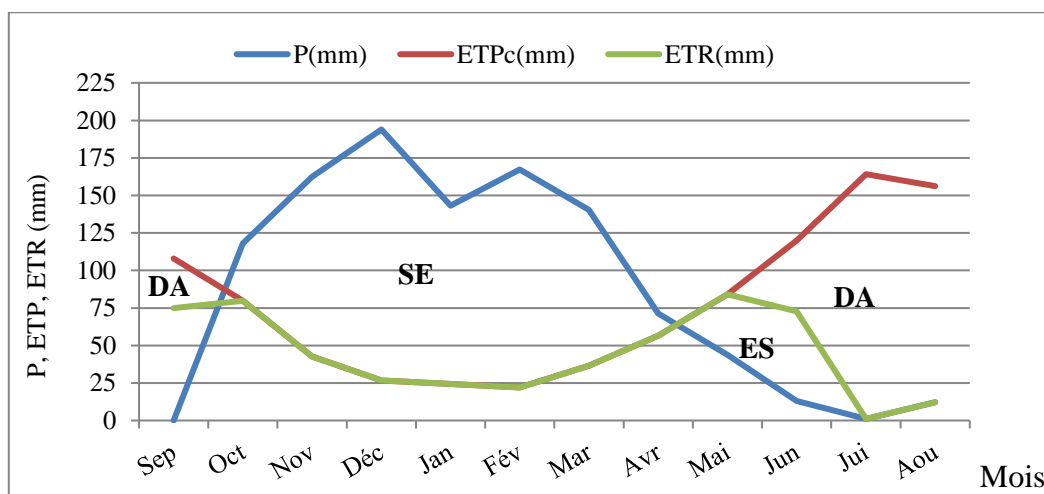
ES : Epuisement du stock, SE : Surplus d'eau, DA : Déficit Agricole

Figure 22 : Bilan d'eau de la station d'Achouat selon Thornthwaite

b. Station d'El Agram : D'après la *figure 23*, on peut remarquer qu'il existe deux périodes qu'elles viennent successivement en fonction de la variation des précipitations (P), l'Evapotranspiration potentielle (ETP), et l'Evapotranspiration réelle (ETR).

La première période c'est la recharge et le surplus d'eau, s'étend de début d'Octobre jusqu'à la fin d'Avril, elle est caractérisée par des fortes précipitations atteints 996,22 mm, et évapotranspiration faible relativement ne dépasse pas 288,79 mm. Le stock commence à se recharger de début d'Octobre, et l'eau ruisselée vient à apparaître juste au début de Novembre jusqu'au mois d'Avril, et sa quantité est estimée par 607,43 mm.

La deuxième période c'est l'épuisement du stock, ce dernier commence à rabattre de début de Mai et sera vide à la mi-Juillet, aussi que le déficit agricole qui est presque synchrones avec l'épuisement du stock et s'étale de la troisième semaine de mois de Mai jusqu'à le début d'Octobre, cette période se caractérise par les très faibles précipitations qui ne dépassent 145 mm, avec une forte évapotranspiration qui atteint 632,16 mm.



ES : Epuisement du stock, SE : Surplus d'eau, DA : Déficit Agricole

Figure 23 : Bilan d'eau de la station d'El Agram selon Thornthwaite

Conclusion

Le bassin versant d'oued Djendjen est soumis à un climat Méditerranéen, caractérisé par une période humide qui s'étale du mois d'Octobre jusqu'au mois de Mai et une période sèche qui s'étend du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre. La région d'étude reçoit des précipitations annuelles moyennes de l'ordre de 1007.67 mm, et une température moyenne annuelle de l'ordre de 18.12°C. La reconstitution du stock commence en Octobre et s'achève en Avril, l'épuisement du stock du sol s'observe en mois de Mai, ce qui provoque un déficit agricole (Da) nécessitant une irrigation surtout pour la période allant de Juin jusqu'à Octobre.

Chapitre IV :

Etude Hydrogéologique

Introduction

L'étude hydrogéologique est importante pour l'identification des structures hydrogéologique du réservoir, montrer l'allure des écoulements des eaux souterraines, donner une idée sur les sources d'alimentation aussi bien que les différents points de sortie des eaux. Cette étude débutera par la détermination de l'extension de l'aquifère, elle sera suivie par l'interprétation des données piézométriques et couronnée par l'estimation des caractéristiques hydrodynamiques, le tout nous permettra de dresser l'état de la nappe alluviale d'oued Djendjen.

1. Les différents systèmes aquifères

Le bassin versant d'oued Djendjen présente des comportements et des caractéristiques hydrogéologiques complètement différents de l'amont à l'aval :

1.1. Système Aquifère Amont : On peut l'appeler aquifères des roches à grande perméabilité, ou réservoir à porosité de fracturation. Il s'agit du réservoir qui constitue toute la partie amont du bassin versant. Il est constitué par toutes les formations lithologiques (roches vertes, Schistes, calcaires, dolomies; gypse...etc.)(*Fenazi et Derradji, 2013*).

1.2. Système Aquifère aval : On peut aussi l'appeler réservoir à porosité inter granulaire ou d'interstice, plaine ou nappe alluviale tout simplement (*Fenazi et Derradji, 2013*).

2. La plaine alluviale d'oued Djendjen

La plaine alluviale d'oued Djendjen fait partie des plaines côtières, à une distance de 9 Km au Nord-Est de la ville de Jijel. Elle couvre une superficie de 49 Km² (*Groupement SOFRECO, 2012*). Elle est limitée au Nord par la mer Méditerranée, au Sud par les reliefs de Texanna, à l'Est par la commune de Taher et à l'Ouest par la commune de Kaous. Elle englobe toute la partie aval du bassin, distinguée par une faible pente sur les deux directions, où la hauteur varie de 0 m à 30 m du Nord vers le Sud, et de 30 m à 60 m de l'Est vers l'Ouest. Les principales formations géologiques qui la constituent sont essentiellement des dunes anciennes et récentes, et le long de l'oued ce sont des alluvions et des terrasses alluviales, ce qui laisse penser à une infiltration importante des eaux des précipitations (*Karouet et Bourafa, 2016*)

3. Aperçu Géophysique

Les prospections géophysiques sur la partie avale de la plaine de l'oued Djendjen qui ont été réalisées par la Compagnie Générale de Géophysique (CGG, 1961 ; 1971), et de la Compagnie de Prospection en Géophysique de France (CPGF) en 1975 afin d'identifier la géométrie de l'aquifère, mettre en évidence les variations latérales de faciès et l'épaisseur du terrain

réservoir, déterminer les zones les plus favorables à l'emmagasinement d'eaux souterraines et l'implantation des ouvrages de captages et enfin de préciser, sur le front de mer, la position de l'interface entre les eaux douces et les eaux salées, (Karaouet et Bourafa, 2016).

3.1. Interprétation des cartes de résistivité

3.1.1. La carte des résistances transversales : les grandes valeurs des résistances transversales, se situe dans la zone médiane de la plaine ($R_t = 2000 \Omega \text{ m}^2$) (fig.24). Cette zone est potentiellement favorable à l'implantation des forages d'exploitations d'eaux souterraines.

Une autre forte résistance transversale (1500 à 2000. $\Omega \text{ m}^2$) se situe sur la rive gauche d'oued Djendjen, au Nord-Est de Bouhamdoune (Boucena, 2009).

Dans la partie Est de la carte, sur toute la rive droite de l'oued, on a des valeurs faibles de ($R_t = 0 \text{ à } 500 \Omega \cdot \text{m}^2$), traduisent une diminution d'épaisseur des alluvions aquifères à cause d'un bombement du substratum marneux. A l'embouchure de l'oued, on doit supposer un infléchissement rapide des courbes pour obtenir un tracé parallèle au rivage marquant le biseutage des niveaux à eaux douces (Boucena, 2009).

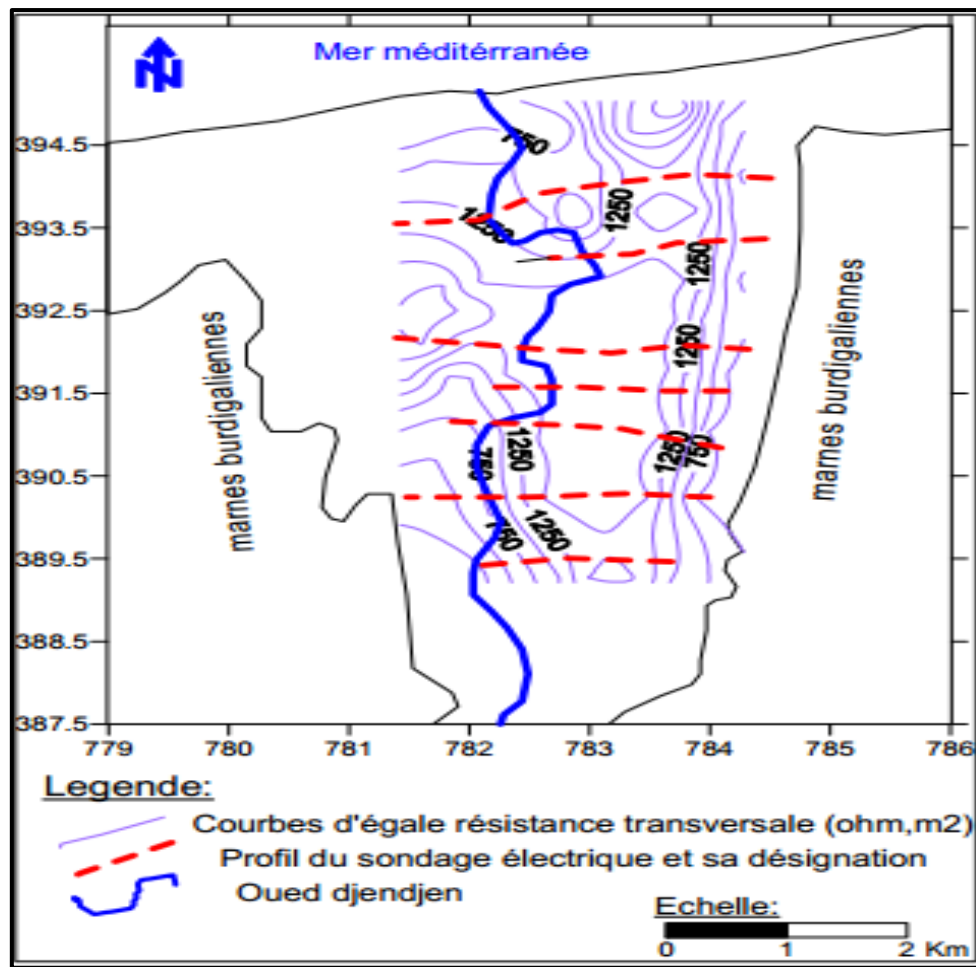


Figure 24 : Résistance transversale de la plaine alluviale d'oued Djendjen (CGG, 1971, in Boucenna, 2009)

3.1.2. Carte du toit du substratum : Le substratum de la plaine alluviale d'oued Djendjen est constitué par les marnes grises du Burdigalien, la comparaison des cotes topographiques avec les profondeurs du toit de ces marnes, permet d'identifier la forme du substratum de la nappe (fig.25). Cette carte permet de tirer les remarques suivantes (Karaouet et Bourafa, 2016):

- Les profondeurs maximales est de l'ordre de 20 m, mais il existe un approfondissement croissant du toit de substratum et quelques fosses qui atteignent 35m au centre de la plaine.
- Les profondeurs diminuent latéralement vers les bordures, depuis l'axe central de la plaine.
- Les cotes en ces lieux atteignent 35 m, c'est le lieu idéal d'une collecte des eaux souterraines.
- L'existence d'un bombement du substratum dans la partie Nord –Ouest de la plaine.

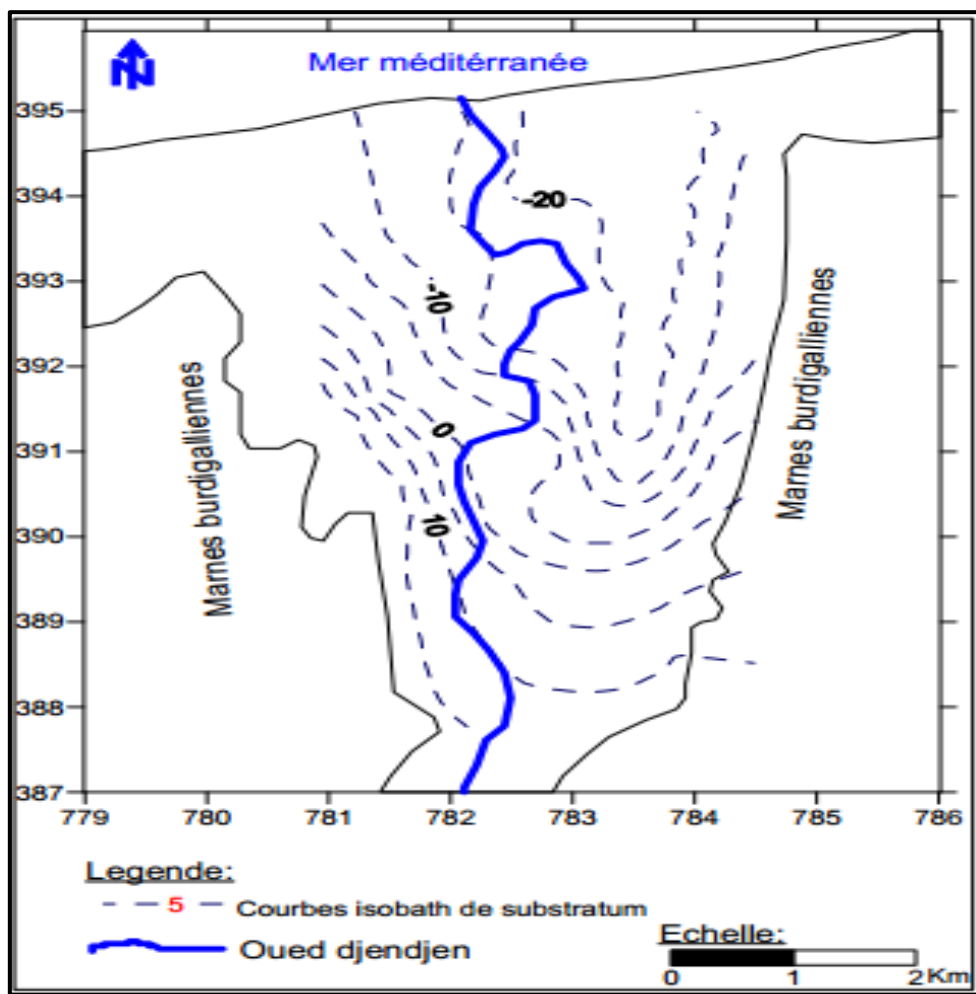


Figure 25: Carte du substratum de la plaine alluviale de l'oued Djendjen (Boucenna, 2009).

4. Géométrie de la couche réservoir

Le terrain réservoir se présente sous la forme d'une gouttière, jalonnée par l'oued. Il débute au niveau de la limite Sud des affleurements marneux du Burdigalien et se termine à l'embouchure de l'oued au Nord.

Bien que l'épaisseur de la couche réservoir augmente de l'amont en aval, son extension latérale est faible par rapport à sa longueur. La carte du toit du substratum (fig.25) donne une idée de la configuration de cette dernière. La couche aquifère est composée d'alluvions quaternaires : sables fins, moyens et grossiers et des galets, comportant quelques fois des intercalations argileuses (Boucenne, 2009).

5. La coupe hydrogéologique

L'étude d'une nappe nécessite l'établissement des coupes hydrogéologiques, permettant de représenter la structure de l'aquifère et de préciser sa lithologie, sa géométrie et la configuration de sa surface piézométrique.

La coupe hydrogéologique établie par Karaouet et Bourafa (2016) (fig.26), montre bien que nous sommes dans le cas d'une nappe libre, en effet les logs stratigraphiques des forages traversés par cette coupe montre bien ce caractère libre (fig.26).

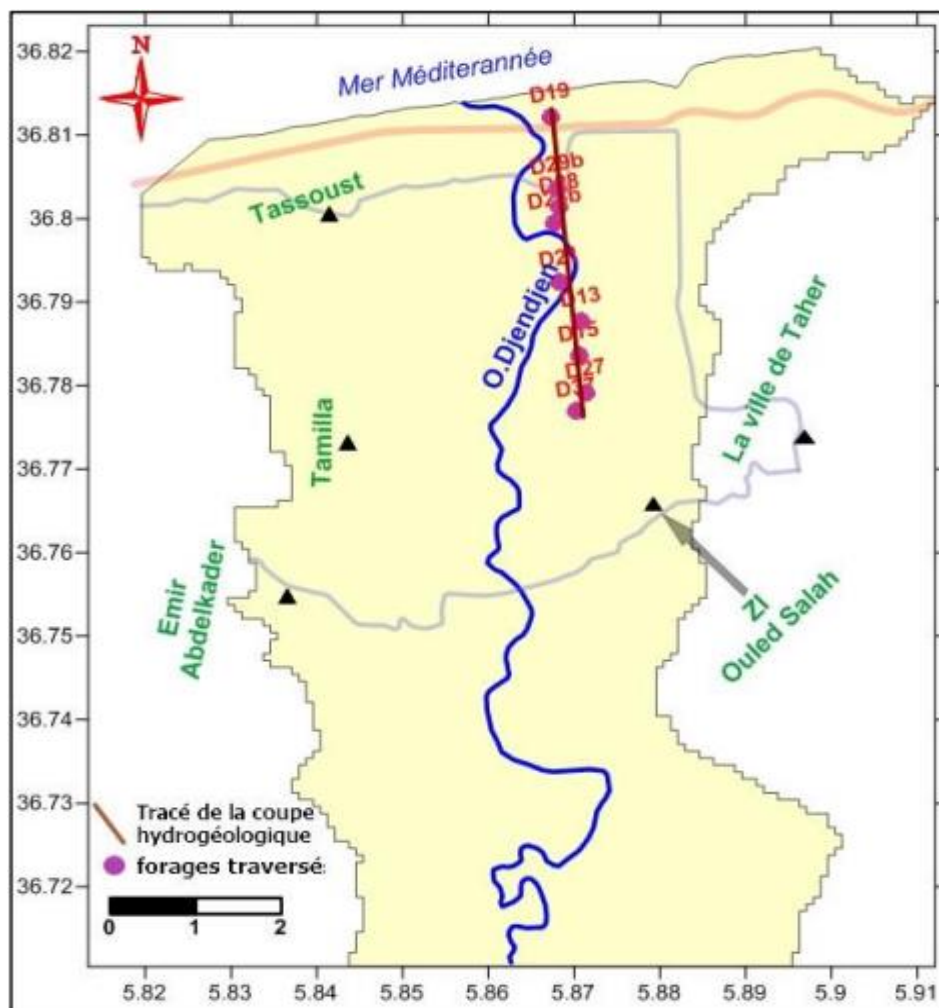


Figure.26 : Positionnement de la coupe Hydrogéologique (Nord-Sud) dans la plaine alluviale de l'oued Djendjen (Karaouet et Bourafa, 2016).

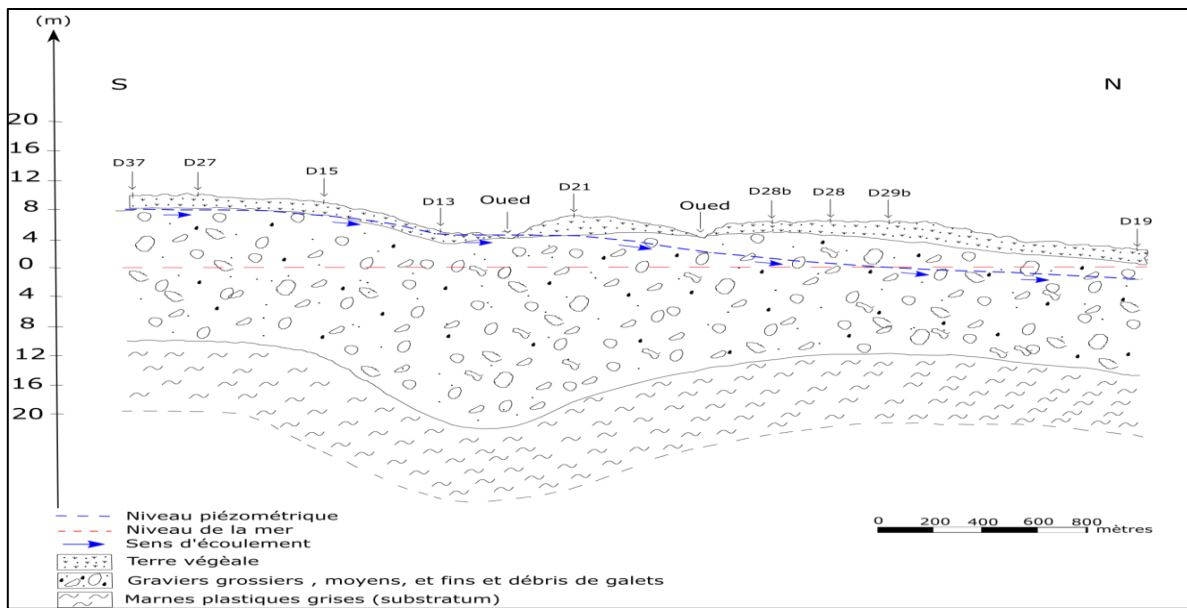


Figure 27 : Coupe Hydrogéologique (Nord-Sud) dans la plaine alluviale de l'oued Djendjen (Karaouet et Bourafa, 2016).

La coupe montre que :

- L'aquifère est constitué de formations alluviales du Quaternaire et du Miocène supérieur (Pontien), représentées essentiellement par des sables, graviers et galets.
- Son substratum est marneux, d'âge Miocène inférieur (Burdigalien).
- L'épaisseur de l'aquifère dépasse 25 m au niveau du forage D21 (zone centrale).
- Il existe un bombement du substratum au niveau du forage D28 (Nord), où l'épaisseur de la nappe ne dépasse pas 12 m,
- Le niveau piézométrique diminue du Sud vers le Nord, le long de l'oued Djendjen où il atteint le niveau zéro (0 m) au forage D29b, et continue de diminuer sous le niveau de la mer jusqu'à moins 1,6 m au forage D19, ce qui fait d'alerter d'un risque d'avancement du biseau salée à ce niveau de la nappe.

6. Etude piézométrique

La carte piézométrique d'une nappe permet une vision instantanée de son état à un moment précis. Elle sera donc établie durant une période très courte, pour être représentative sur l'ensemble du secteur couvert de conditions identiques vis-à-vis des influences locales et des évènements périphériques.

La carte piézométrique peut enfin fournir des renseignements utiles sur les échanges qui s'effectuent en bordure de la formation aquifère ou le long d'éléments caractéristiques de son environnement (réseau hydrographique, canaux d'irrigation, lacs, mer). Ces informations dépendent de la configuration des courbes piézométriques dans les secteurs concernés : absence d'échange, alimentation d'une nappe alluviale par ses coteaux ou par le réseau hydrogra-

phique, drainage d'une nappe par un vallon...etc (Eric Gilli, 2008). Elle traduit la morphologie de la surface d'eau de la nappe à un moment déterminé (Boucenna, 2009). Donc, elle est la synthèse la plus importante d'une étude hydrogéologique.

6.1. Inventaire des points d'eau : Afin de comprendre le fonctionnement du système aquifère de la plaine alluviale d'oued Djendjen, nous avons basé sur l'interprétation des mesures piézométriques de deux campagnes : la première a été effectuée en Avril 2016 (Karaouet et Bourafa, 2016), alors que la deuxième campagne qui on a l'effectué en Avril 2017. Les mesures ont été réalisées sur vingt-neuf (29) puits et quatre (04) forages bien répartie sur la plaine. La partie Amont de la zone d'étude procède quelques points d'eau qui sont fermés et abandonnés, l'ensemble ont été inventoriés et reportés sur la carte (fig.28).

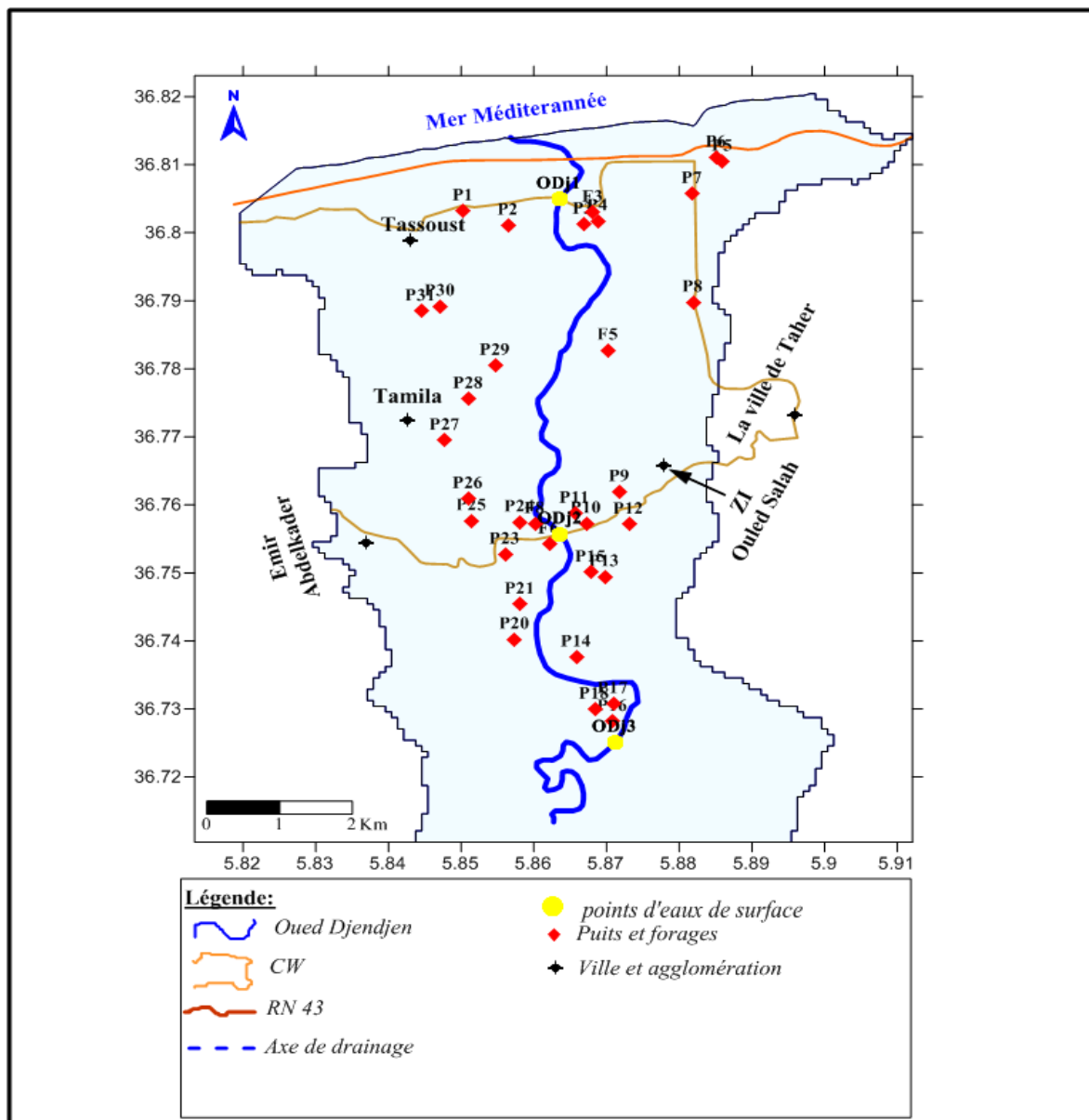


Figure 28 : Carte d'inventaire des points d'eau dans la plaine alluviale d'oued Djendjen.

6.2. Interprétation des cartes piézométriques

6.2.1. Première Campagne (Avril 2016)

L'examen de la carte piézométrique d'Avril 2016 (fig.29), fait ressortir les informations suivantes:

- Au Sud de la plaine, les iso-pièzes sont serrées caractérisant une vitesse d'écoulement importante, le gradient hydraulique est de l'ordre de 1,8 %. Le sens d'écoulement est orienté vers le Nord-Ouest où se trouve l'ancien lit de l'oued. La vitesse d'écoulement devient plus importante autour du puits (P21) qui forme une dépression piézométrique à cause du pompage. Si on va en aval sur le long de l'axe de drainage, les courbes seront très espacées signifiant une sub-horizontalité de la surface d'eau avec un écoulement faible.
- Sur la rive gauche de l'oued (zone Sud-Ouest) on remarque la valeur la plus élevée du gradient hydraulique (3,5 %), traduisant la forme la plus serrée des isopièzes sur la plaine exprimée par la topographie de la zone (Commune Emir Abdelkader), où l'altitude varie par 40 m sur une distance seulement de 150 m, la vitesse d'écoulement est très importante et orientée vers l'Est pour alimenter l'oued Djendjen.
- la zone **médiane au milieu** de la nappe située à la rive gauche de l'oued, caractérisée par une vitesse d'écoulement importante semblable à celle du Nord-Ouest. Le gradient est de l'ordre de 0,94 %. Dans cette partie, l'écoulement est de l'ouest vers l'Est où la nappe alimente l'oued Djendjen.
- Au **Nord**, on observe des courbes serrées désignent une vitesse d'écoulement importante s'écoule vers le Nord-Est qui alimente la partie Nord de l'oued Djendjen, le gradient hydraulique est de l'ordre de 2,5 %. Au Nord-est (Région d'Achouat), les courbes sont bien espacées caractérisant une vitesse d'écoulement faible, le gradient hydraulique est de l'ordre de 0,47 %. Le sens d'écoulement est orienté vers le Nord-Ouest, où se trouvent les deux puits P3, P4 et le forage F3, dans ce point le niveau piézométrique marque un abaissement dû à la surexploitation de la nappe, ce qui pose le risque de l'intrusion marine. Par contre, au Nord-Ouest (Tassoust) où la vitesse d'écoulement est plus importante par rapport à celle du Nord-Est, le gradient hydraulique est de l'ordre de 0,93 %, le sens d'écoulement est vers le Nord (mer).

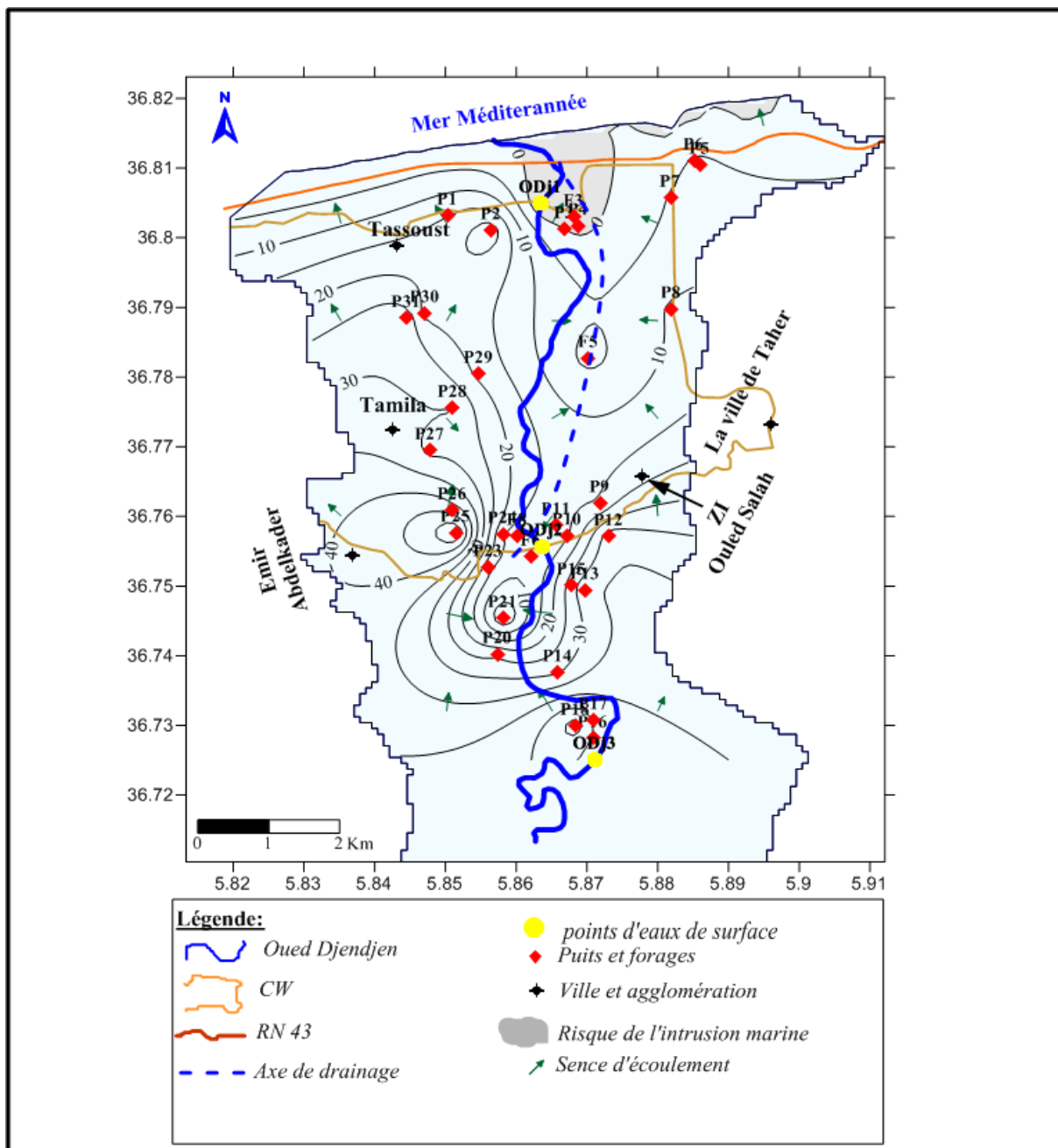


Figure 29 : Carte piézométrique de la nappe alluviale d'oued Djendjen (Karaouet et Bourafa Avril 2016).

6.2.2. Deuxième campagne (avril 2017)

La carte piézométrique se ramenant au mois d'avril 2017 (fig.30) présente la même allure que la carte précédente (fig.28). Sauf au Nord de plaine, surtout sur la rive droite de l'oued, où on observe une extension de la zone influencée par le pompage vers le sud (Vers l'Aéroport), où le sens d'écoulement s'oriente vers le Nord-Ouest, vers les puits P3, P4, au niveau de ces puits le niveau piézométrique marque un abaissement très important dû à la surexploitation. Enfin, d'une manière générale, la carte piézométrique montre un sens d'écoulement souterrain orienté vers le Nord pour se jeter dans la mer, elle montre aussi une courbure avec concavité tournée vers l'aval où les lignes de courant convergent vers un axe de drainage privilégié au rive droite d'oued Djendjen, ce dernier est considéré comme l'ancien lit de l'oued Djendjen d'après des études antérieures de la Compagne Générale de Géophysique (CGG, 1971).

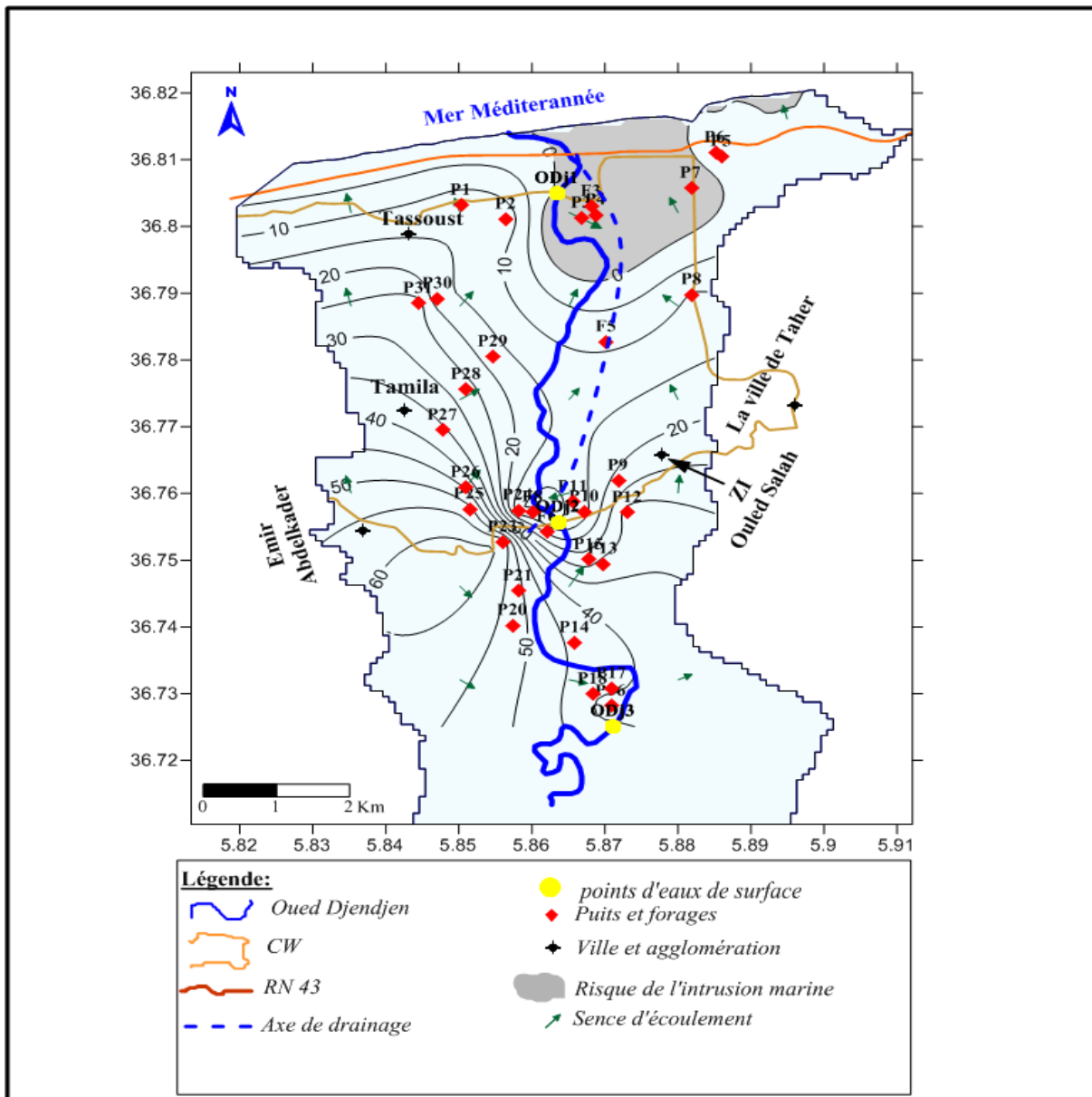


Figure 30 : Carte piézométrique de la nappe alluviale d'oued Djendjen (Avril 2017).

6.3. Fluctuations du niveau piézométrique entre (Avril 2016 et Avril 2017)

Afin d'étudier l'évolution spatiotemporelle du niveau piézométrique dans la nappe alluviale d'oued Djendjen, nous avons établie une carte par la différence piézométrique entre deux campagnes Avril 2016 et Avril 2017, l'allure de la carte de fluctuations entre ces deux campagnes (fig.31) montre un faible battementne dépasse pas les quatre (4) mètres dans la majorité des puits situées sur la plaine. Un abaissement moyen oscillant entre 4 m et 8m enregistré au niveau des puits P2, P23, P16. Alors que, on note une baisse significative du niveau piézométrique au Nord de la plaine au niveau des puits P3, P4, P7, les variations sont importantes et dépassent huit (08) mètres. Cette variation se traduit par l'apparition des courbes isopièzes de valeurs négatives dû au pompage excessif des eaux et aux faibles précipitations durant l'année 2016-2017.

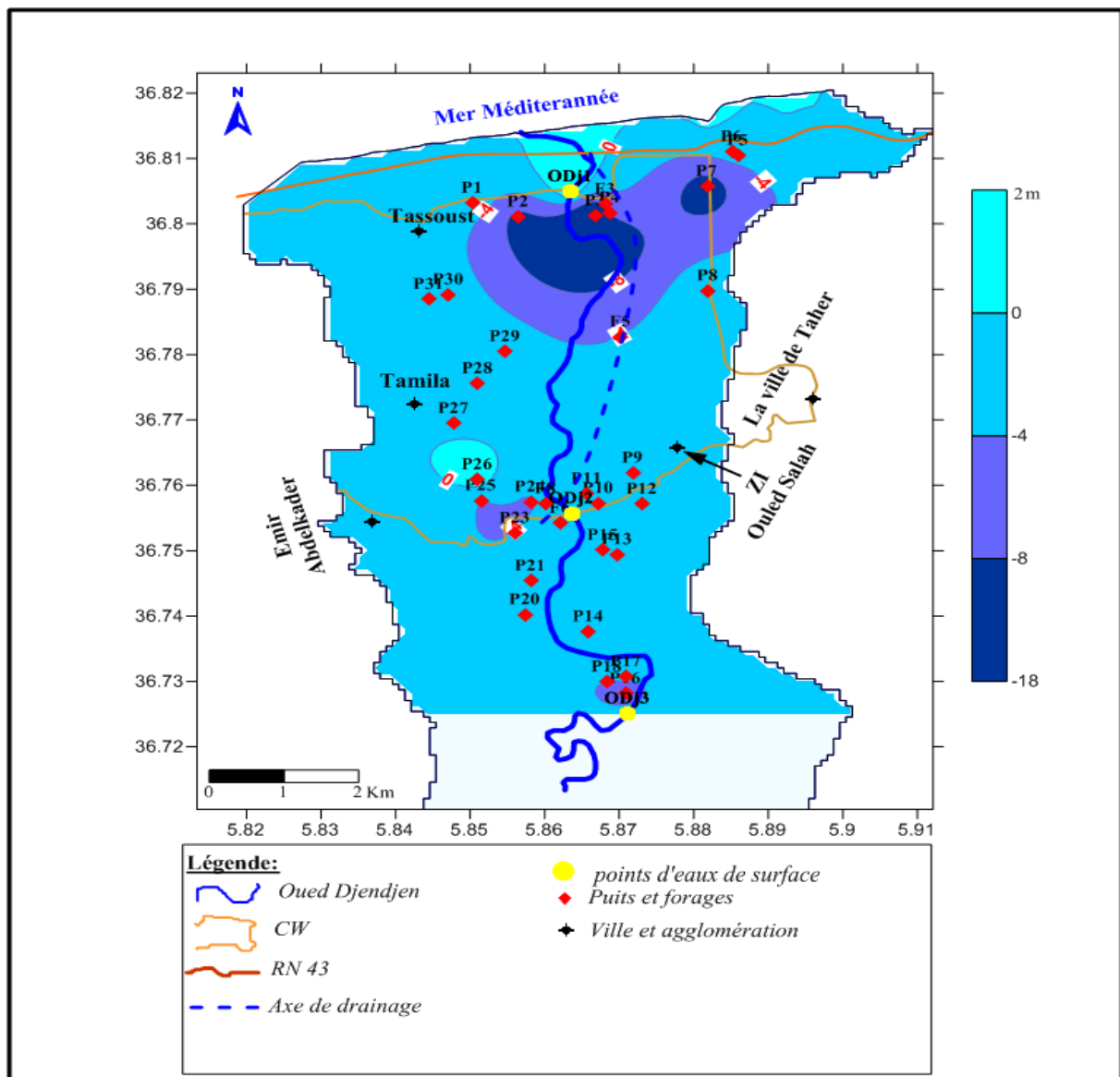


Figure 31: Carte des Fluctuations piézométriques entre Avril 2016 et Avril 2017.

Conclusion

L'observation des cartes piézométriques réalisées montre la même allure où l'écoulement des eaux souterraines de la plaine alluvial de l'oued Djendjen converge vers l'axe central de la plaine parcouru par l'ancien lit d'oued Djendjen, Il conjoint donc le même sens que l'écoulement de surface. L'écoulement des eaux s'effectue par un gradient hydraulique varié entre 0,5 % et 5,8 %, qu'explique respectivement un fort écoulement dans la rive gauche et un écoulement faible dans la rive droite vers l'axe central de la plaine.

L'examen de la carte des fluctuations piézométriques entre les campagnes d'Avril 2016 et Avril 2017, montre un battement significatif du niveau piézométrique durant la deuxième campagne dépassant les huit (8) mètres notamment dans la partie Aval de plaine, probablement sous l'effet de la surexploitation et les faibles précipitations au cours de l'année 2017. Cette situation peut exposer la nappe au phénomène d'intrusion marine par l'avancement du biseau salé vers la nappe.

Chapitre V :

Etude Hydrochimique

Introduction

L'hydrochimie est l'étude des caractéristiques physiques et chimiques de l'eau, elle permet de donner une idée sur sa composition chimique, donc la possibilité de leur utilisation pour l'alimentation en eau potable ou d'autres usages (irrigation, industrie...etc.). Et en raison de l'utilisation multiple de ces eaux, Cette étude hydrochimique a été menée suite à une étude comparative entre les résultats de deux campagnes d'analyses qui ont été effectuées sur 24 points d'eau (21 puits et 03 stations pour les eaux de surface) ; la première campagne a été réalisée par *Karaouet et Bourafa* pendant le mois d'Avril 2016, alors que nous avons réalisé la deuxième, durant le mois d'Avril 2017. Le choix des sites des prélèvements tient compte d'une bonne répartition spatiale de manière à couvrir de façon représentative, l'ensemble de la nappe alluviale d'oued Djendjen.

Les paramètres physico-chimiques (Température, pH, conductivité électrique, salinité, TDS) ont été mesurés in-situ lors des mesures piézométriques. Alors que, les analyses chimiques des eaux souterraines et de surface ont été réalisées au laboratoire de recherche de Génie Géologique de l'université de Jijel, concernant les éléments suivants : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , NH_4^+ et le Fe).

Les analyses chimiques ont été effectuées par les méthodes suivantes :

- Spectrométrie d'absorption atomique pour : SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , NH_4^+ , et Fe.
- Dosage par titrage pour : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- .
- Dosage par photométrie de flamme pour: Na^+ , K^+ .

1. Caractérisation physico-chimique des eaux

1.1. Faciès hydrochimiques

Pour mieux déterminer les faciès chimiques des eaux de la plaine alluviale d'oued Djendjen, nous basons sur les résultats d'analyses chimiques des éléments majeurs : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} et HCO_3^- , effectuées sur les points choisis précédemment des deux campagnes Avril 2016 et Avril 2017. Pour atteindre cet objectif, on a eu recours à la formule ionique pour le calcul des quantités en réaction et la classification des ions et au diagramme de Piper pour la représentation graphique des résultats. La réalisation de ce dernier a été faite grâce au logiciel *Diagrammes*, conçu par *Roland Simler (Laboratoire d'hydrogéologie, Université d'Avignon, 2004)*.

1.1.1. La formule ionique : c'est le pourcentage de chaque ion (r %) par rapport à la somme des autres ions :

$$r \% = (c * 100) / C$$

Avec ; c : concentration de l'ion considéré en méq/l ; C : somme des ions en méq/l.
 Cette formule a pour but de classer par ordre décroissant les quantités en réaction (en méq/l) des groupes anions et cations et permet de définir les caractéristiques physico-chimiques des eaux et de les classer selon la même origine. Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau suivant (tab.16).

Tableau .16: Classification hydrochimique des eaux selon la formule ionique.

Types d'eaux	Compagne	Faciès chimique	Effectifs	%
Eaux souterraines	Avril 2016 (30 échantillons)	Chloruré-calcique	15	51,72
		Bicarbonaté-calcique	9	31,03
		Bicarbonaté-sulfaté-calcique	1	3,44
		Chloruré-sodique	3	10,34
		Chloruré-bicarbonaté-calcique	1	3,44
	Avril 2017 (21 échantillons)	Chloruré-magnésique	1	4,76
		Chloruré-sulfaté-calcique	1	4,76
		Bicarbonaté-calcique	10	47,61
		Chloruré-calcique	2	9,52
		Bicarbonaté-sodique	2	9,52
		Chloruré-sodique	2	9,52
		Sulfaté-bicarbonaté-magnésique	1	4,76
		Sulfaté-magnésique	1	4,76
		Sulfaté-sodique	1	4,76
Eaux de surfaces	Avril 2016 (3 échantillons)	Sulfaté-calcique	1	33,33
		Chloruré calcique	1	33,33
		Sulfaté-chloruré-calcique	1	33,33
	Avril 2017 (3 échantillons)	Bicarbonaté-magnésique	1	33,33
		Chloruré-sodique	2	66,66

1.1.2. Diagramme de piper : La représentation des analyses chimiques sur le diagramme de Piper permet une classification et une comparaison facile des eaux. Le principe consiste à représenter dans chaque triangle équilatéral les quantités en réaction de chaque ion par rapport à la somme des ions de même signe, ainsi dans chaque triangle, nous obtenons un point indiquant la dominance d'un cation ou d'un anion (Bekkouche, 2016).

Les résultats d'analyses hydrochimiques de la plaine alluviale d'oued Djendjen sont représentés dans les figures suivantes (fig.32 et 33). L'interprétation de ces résultats permet d'avoir une idée sur les faciès chimiques des eaux de la nappe alluviale et de surface de notre zone d'étude.

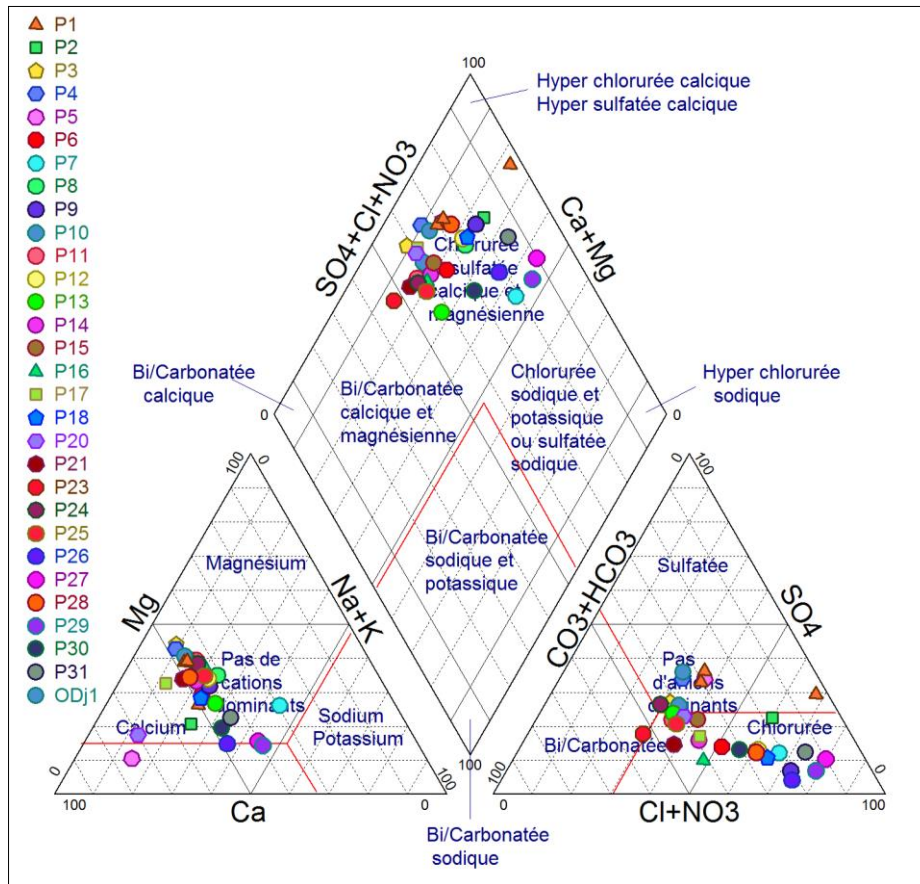


Figure 32 : Faciès chimiques des eaux selon le Diagramme de Piper (Avril 2016).

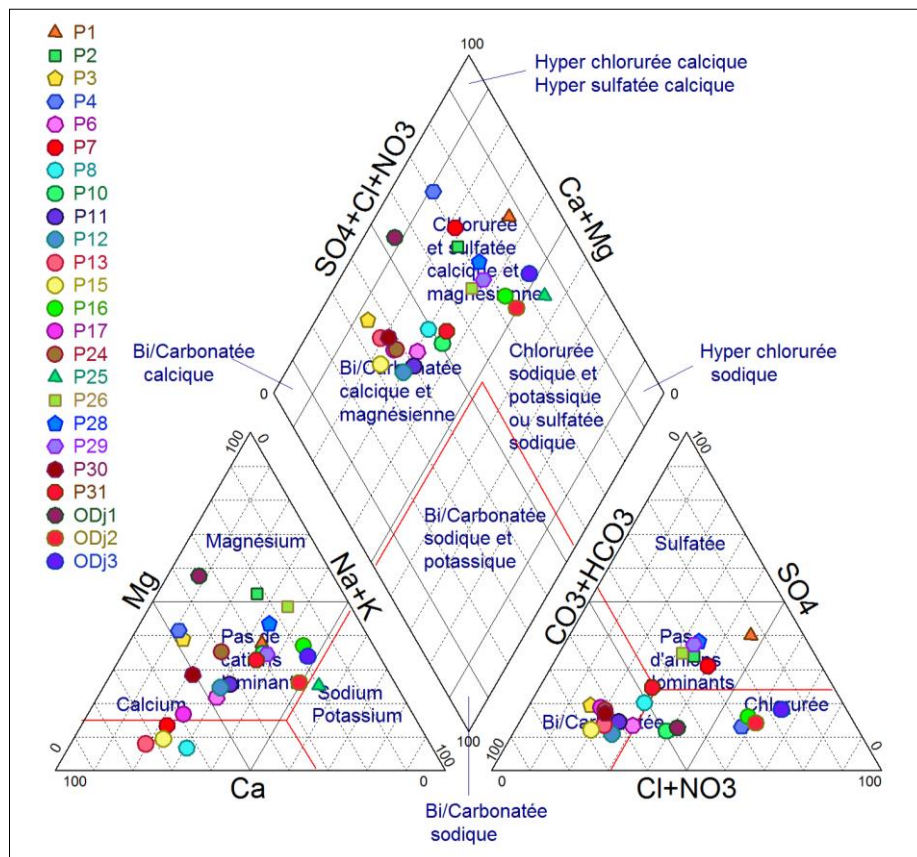


Figure 33 : Faciès chimiques des eaux selon le Diagramme de Piper (Avril 2017).

1.1.2.1. Les eaux souterraines : Pour la première campagne (Avril 2016), les chlorures sont l'élément le plus abondant dans la composition ionique des eaux souterraines avec des concentrations variant entre 99,4 mg/l et 610,6 mg/l (*fig.32*). Ensuite les bicarbonates avec des concentrations variant entre 21,96 mg/l et 480,68 mg/l. Concernent les cations, le calcium est l'élément le plus important avec des concentrations variant entre 68,4 mg/l et 273,78 mg/l (*fig.32*). Alors que les concentrations de sodium et magnésium variant respectivement entre 11,27 mg/l à 196,88 mg/l et 9,72 mg/l à 147,24 mg/l (*fig.32*).

Pour la deuxième campagne (Avril 2017) les bicarbonates sont l'élément le plus abondant dans la composition ionique des eaux souterraines avec des concentrations variant entre 29,28 mg/l et 439,2 mg/l. Ensuivent les chlorures avec des concentrations variant entre 26,62 mg/l et 498,77 mg/l (*fig.33*). Concernent les cations l'élément le plus important est le calcium avec des concentrations variant entre 17,6 mg/l et 197,2 mg/l (*fig.33*). Alors que les concentrations de sodium et magnésium variant respectivement entre 21,39 mg/l à 117,07 mg/l et 8,64 mg/l à 107,52 mg/l (*fig.33*).

Le diagramme de Piper (*fig.32 et 33*), monte la dominance des deux faciès chimiques caractérisant les eaux de la plaine d'oued Djendjen, le premier est chloruré-calcique observés sur quinze (15) échantillons soit 51.72 % des eaux pour la première campagne (Avril 2016), alors que le deuxième faciès est bicarbonaté-calcique enregistré sur neuf (9) échantillons soit 31.03 % d'effectif total en Avril 2016 et sur dix (10) points soit 47.61% en Avril 2017.

Le faciès chloruré calcique se répand sur toute la plaine. Il tire son origine à partir des formations alluvionnaires et gypsifères (Trias) de la partie amont, par échange de base entre sodium et le calcium. Par contre, le faciès bicarbonaté calcique provient de la dissolution des marnes Burdugalien situent sur les deux côtés de la plaine.

1.1.2.2. Les eaux de surface : Pour la première campagne (Avril 2016) l'élément le plus abondant dans la composition ionique est le sulfate avec des concentrations variant entre 140,16 mg/l et 158,88 mg/l, et le calcium dans la composition des cations avec des concentrations variant entre 110,8 mg/l et 118,4 mg/l. Par contre, pour la deuxième campagne (Avril 2017) l'élément le plus abondant dans la composition ionique est les chlorures avec des concentrations variant entre 115,37 mg/l et 181,05 mg/l, et le sodium dans la composition des cations avec des concentrations variant entre 24,38 mg/l et 100,05 mg/l.

D'après le diagramme de piper (*fig.32 et 33*), on observe que les eaux d'oued Djendjen se caractérisent par un faciès sulfaté-calcique durant la première campagne et un faciès chloruré-sodique durant la deuxième. Le premier provient de la dissolution des formations évaporitiques situant à l'amont du bassin versant, par contre, le deuxième correspond d'une

part à la diminution des apports d'oued Djendjen exprimée par le manque des précipitations au cours de l'année 2017 et d'autre part par les rejets des eaux usées sans traitement dans l'oued.

1.2. Evolution spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques

1.2.1. Les eaux souterraines : Les eaux souterraines contiennent toujours des sels dissous qui leur confèrent les caractéristiques du milieu dont elles sont issues. Ces sels peuvent également provenir de phénomènes exogènes qui ont contribué à des modifications de la chimie du milieu, parmi lesquels on note l'évaporation et le lessivage (*Gouaidia, 2008*). Afin d'apprécier la répartition spatiale des principaux éléments chimiques, leur évolution dans le temps et leur origine, nous avons procédé à l'établissement des histogrammes de ces éléments chimiques.

1.2.1.1 Le potentiel hydrogène (pH) : Le pH de l'eau renseigne sur son acidité et son alcalinité. Habituellement, les valeurs du pH dans les eaux naturelles se situent entre 6 et 8,5 (*Chapman al.1996 in Nouayti et al. 2015*).

D'après l'histogramme de l'évolution du pH (*fig.34*), il varie entre la valeur minimale 5,8 au P31 et la valeur maximale de 7,54 au puits P7 pour la première campagne (2016) et entre 6,77 au puits P2 et 8,55 au puits P15 pour la deuxième campagne (2017).

La majorité des valeurs du pH des eaux souterraines de la nappe alluviale d'oued Djendjen dans les deux campagnes (2016-2017) compris dans la norme algérienne (6,5-8,5). Sauf le puits (P15=8.55) de la campagne 2017 qui dépasse la norme, et quatre puits de la campagne 2016 (P1, P6, P30, et P31), dans la partie Nord de la plaine marquent un aspect acide où leurs PH sont compris entre 5,8 et 6,45. Cette acidité est probablement liée aux activités anthropiques puisque ces puits sont situés dans les agglomérations, ou peut-être n'ont pas été nettoyés de la vase qui favorise la dégradation de la matière organique et par conséquent l'augmentation des concentrations du CO₂ (*Karaouet et Bourafa, 2016*).

D'une manière générale, nous observons une augmentation des valeurs de PH durant la deuxième campagne (Avril 2017) par rapport à la première (Avril 2016), elles deviennent très proche à la neutralité sur toute la plaine d'oued Djendjen.

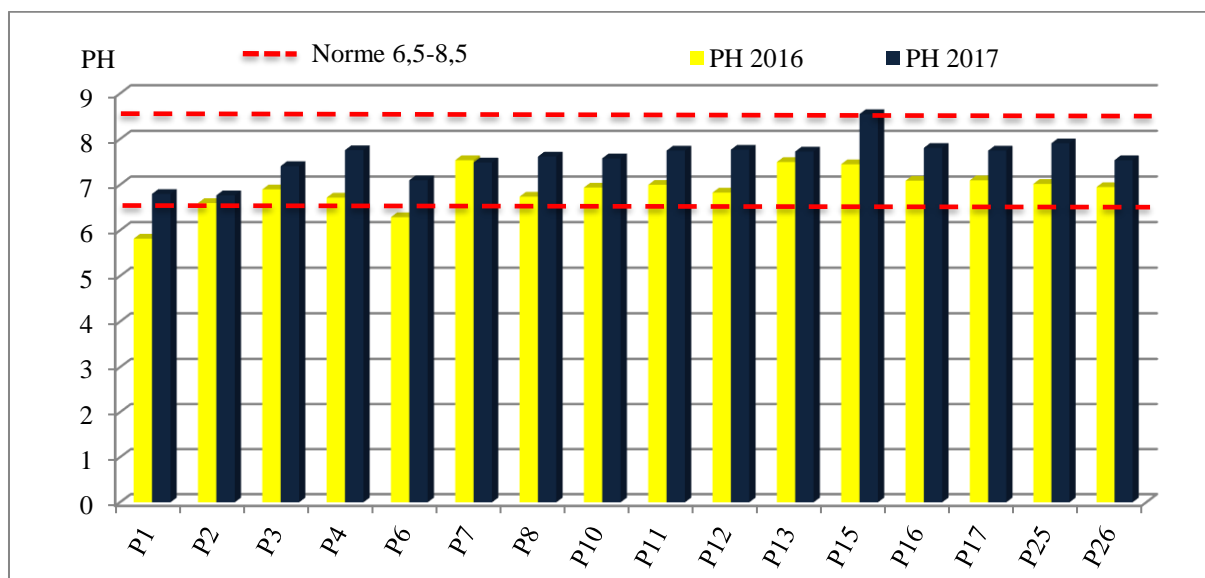


Figure 34 : Evolution de Potentiel hydrogène des eaux d'oued Djendjen.

1.2.1.2. Conductivité électrique : Les fluctuations globales de la charge chimique de l'eau peuvent être traduites par la détermination de la conductivité électrique de l'eau qui est une fonction linéaire des ions dissous (Meybeck, 1986 ; in Dali, 2009). Une variation de la conductivité électrique peut avoir une cause aussi bien anthropique (pollution de l'eau souterraine) que naturelle (dilution par les eaux météoriques, infiltration d'eau de surface peu minéralisée, évaporation...etc.)(Houha, 2007 ; in Dali, 2009). Elle permet aussi d'évaluer approximativement la minéralisation totale de l'eau. Selon les normes algériennes, on peut classer les eaux naturelles en fonction des valeurs de la conductivité électrique (tab.17).

Tableau.17: Classification des eaux en fonction de la conductivité selon les normes algériennes (in Hammadi, Harendi, 2015)

CE(μ S/cm)	Classe
CE < 450	Minéralisation très faibles
450 < CE < 750	Minéralisation faibles
750 < CE < 1500	Minéralisation moyenne
1500 < CE < 2300	Minéralisation moyennement élevée
2300 < CE < 3000	Minéralisation élevée
CE > 3000	Minéralisation très élevée

D'après l'histogramme de l'évolution de la conductivité (fig.35), la conductivité électrique varie entre la valeur minimale 325 μ S/cm au puits (P20) et la valeur maximale 1896 μ S/cm au puits (P7) pour la campagne d'Avril 2016 et entre 536 μ S/cm au puits (P16) et 4780 μ S/cm au puits (P4) durant la deuxième campagne (Avril 2017).

La majorité des valeurs de la conductivité de l'eau souterraine d'oued Djendjen reste dans la norme algérienne ($< 2800 \mu\text{s/cm}$) durant les deux campagnes (2016, 2017), Sauf les cinq puits (P4, P6, P12, P26 et P28) de la campagne 2017 où les valeurs dépassant la norme. Ces augmentations causées probablement par le problème de pollution par les eaux usées et l'abattement de la nappe à cause des faibles précipitations durant cette année.

Nous observons une augmentation de la conductivité électrique durant la campagne 2017 par rapport à la campagne 2016 sur toute la plaine sauf dans les puits (P7, P11, P16) qui marque une faible diminution, cette augmentation probablement causée par l'intrusion marine pour les puits (P3, P4, P6, P7) dans la partie aval et par les activités de la zone industriel d'Ouled Salah pour les puits de la partie centrale, et par les rejets d'origine anthropique des agglomérations de Tassoust, Tamila et Emir Abdelkader pour les puits de la zone Ouest de la plaine.

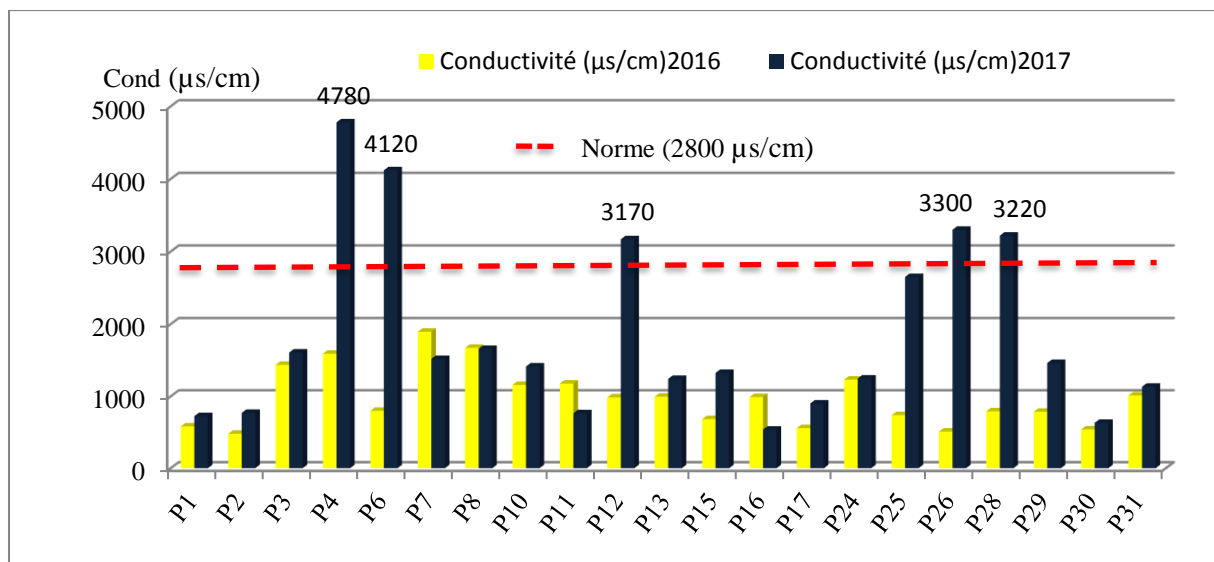
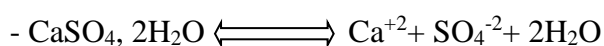
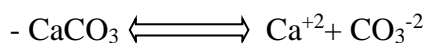


Figure 35 : Evolution de la Conductivité des eaux d'oued Djendjen (Avril 2016, Avril 2017)

1.3. Etude des paramètres chimiques

1.3.1. Le calcium (Ca^{+2}) : Cet élément est fréquent dans les roches carbonatées, il provient soit de la dissolution des formations carbonatées par attaque chimique des eaux en présence du gaz carbonique (CO_2) (Later et Terki, 1998), soit de la dissolution des formations gypsifères du Trias ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) selon les équations suivantes :



D'après l'histogramme de l'évolution du calcium (fig.36), les concentrations en calcium oscillent entre 68,48 mg/l au puits (P26) et 273,78 mg/l au puits (P4) en Avril 2016 et entre 17,63 mg/l au puits (P16) et 197,17 mg/l au puits (P4) en Avril 2017. Généralement, les valeurs du calcium des eaux souterraines d'oued Djendjen pour les deux campagnes sont dans les normes

algériennes (< 200mg/l). Sauf les deux puits (P3 et P4 ; partie aval) de la campagne 2016, la concentration dépasse la norme à cause de la dissolution des calcaires marneux dans la partie amont (Karaouet et Bourafa, 2016). D'une façon générale, nous observons une diminution des concentrations en calcium durant la deuxième campagne (Avril 2017) par rapport à la première (Avril 2016) sur toute la plaine, sauf aux puits (P6, P7) situés dans la partie aval et (P13, P15, P17) en amont de la plaine près des bordures marneux. Cette augmentation expliquée par la dissolution des calcaires marneux en amont du bassin.

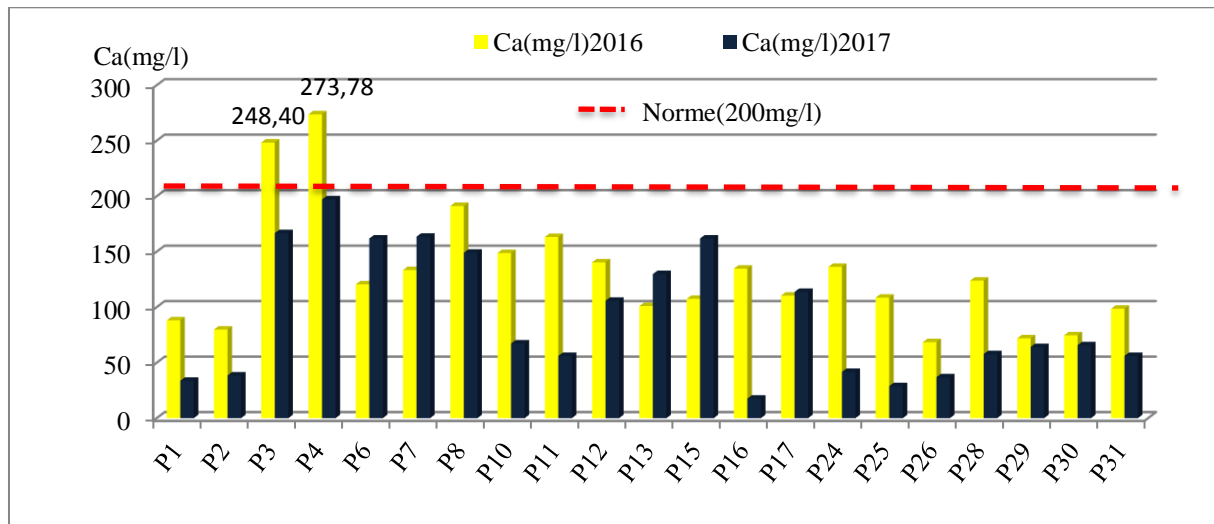
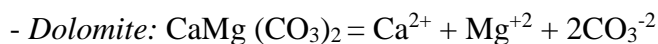


Figure 36 : Evolution de Calcium des eaux d'oued Djendjen (Avril 2016, Avril 2017)

1.3.2. Le Magnésium (Mg⁺²) : Le magnésium est moins abondant que le calcium et provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite) selon les formules suivantes (Later et Terki, 1998):



D'après l'histogramme de l'évolution du magnésium (fig.37) les concentrations de magnésium varient entre la valeur minimale 12,63 mg/l au puits (P26) et la valeur maximale 147,26 mg/l au puits (P4) de la campagne 2016 et entre 8,75 mg/l au puits (P13) et 104,03 mg/l au puits (P4) de la campagne 2017. Les valeurs du magnésium des eaux souterraines de la nappe d'oued Djendjen sont dans les normes algériennes (150 mg/l) pour les deux campagnes.

Une diminution des concentrations de magnésium observée en Avril 2017 par rapport à la campagne d'Avril 2016, sauf aux puits (P26, P28, P29) de la partie médiane et (P2, P30, P31) de la partie aval (région de Tamila et Tassoust), probablement causée par la dissolution des formations marneuses et argileuses. Les fortes concentrations se localisent sur la rive droite de l'oued près des bordures marneux et au Nord de la plaine. Par contre, la partie Sud de la plaine, présente des concentrations faibles à moyennes (Karaouet et Bourafa, 2016).

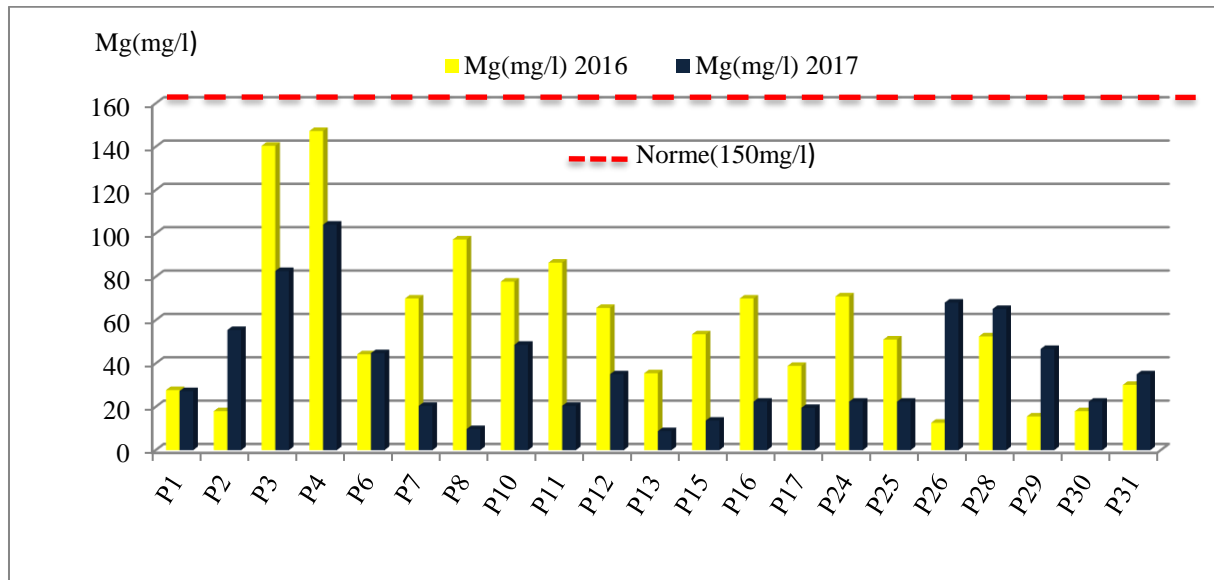


Figure 37 : Evolution de Magnésium des eaux d'oued Djendjen (Avril 2016, Avril 2017)

1.2.3. Le Sodium et le Potassium ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) : Le sodium est un élément constant de l'eau, toutefois les concentrations peuvent être extrêmement variables. Indépendamment de la lixiviation des formations géologiques contenant du chlorure de sodium NaCl (argiles marnes). Généralement, cet élément est lié à la dissolution des couches salifères, des eaux usées d'origine industrielle et domestique et aussi de l'invasion d'eau marine (Ben Aakame, 2015).

A. Le Sodium (Na^+) : D'après l'histogramme de l'évolution du sodium (fig.38) les concentrations de sodium varient entre la valeur minimale 26,2 mg/l au puits (P17) et la valeur maximale 196,9 mg/l au puits (P7) dans la première campagne et entre 21,5 mg/l au puits (P30), 117,1 mg/l au puits (P6) pour la deuxième, donc les concentrations du Sodium sont dans la norme algérienne (< 200 mg/l).

Nous observons une augmentation des concentrations de sodium en Avril 2017 au niveau des puits (P2, P6) de la partie aval de la plaine et (P10, P25, P26, P28) de la partie médiane et (P15, P17) de la partie amont par rapport à la première campagne à cause du lessivage, l'évaporation et par échange de base avec le calcium.

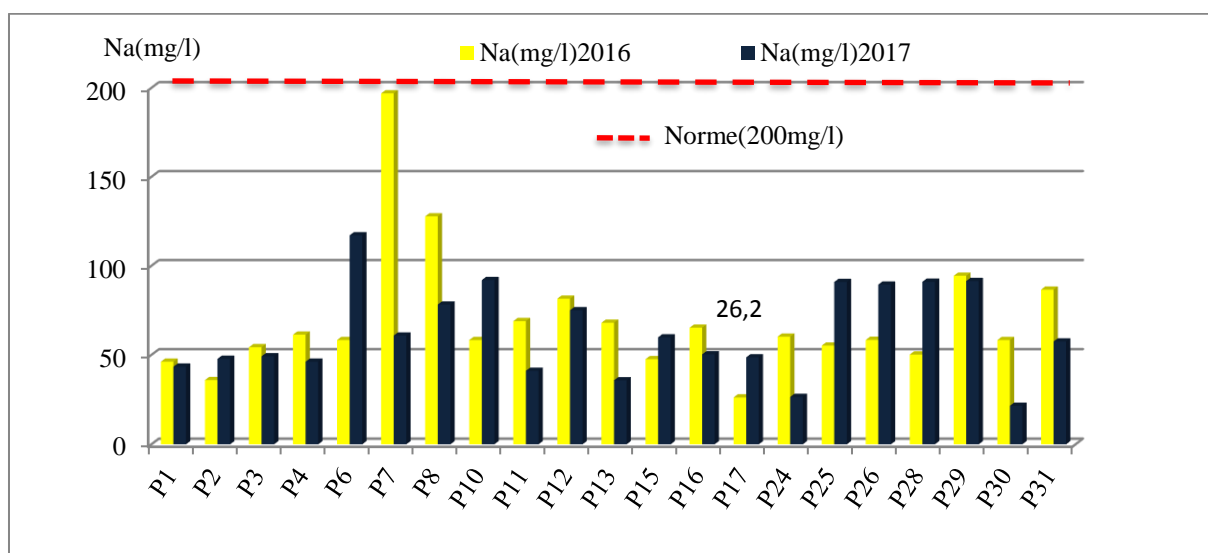


Figure 38 : Evolution de Sodium des eaux d'oued Djendjen (Avril 2016, Avril 2017)

B. Le Potassium (K^+) : D'après l'histogramme de Potassium (fig.39), les concentrations varient entre la valeur minimale de 1mg/l au puits (P30 et 31) et la valeur maximale 53,7 mg/l au puits (P7) pour la première campagne et entre 2,3 mg/l au puits (P16) et 22,9 mg/l au puits (P31) pour la deuxième (Avril 2017). La plupart des concentrations de Potassium restent dans les normes algériennes (< 20 mg/l), Sauf les deux puits situés dans la partie aval de la plaine (P7) en Avril 2016 et (P31) en Avril 2017, où la concentration dépasse la norme à cause de la dissolution des formations silicatées (gneiss, schiste), des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (Karaouet et Bourafa, 2016). L'histogramme montre une augmentation des concentrations de potassium durant la deuxième campagne (Avril 2017) par rapport à la première sur toute la plaine, probablement causée par la dissolution des formations argileuses.

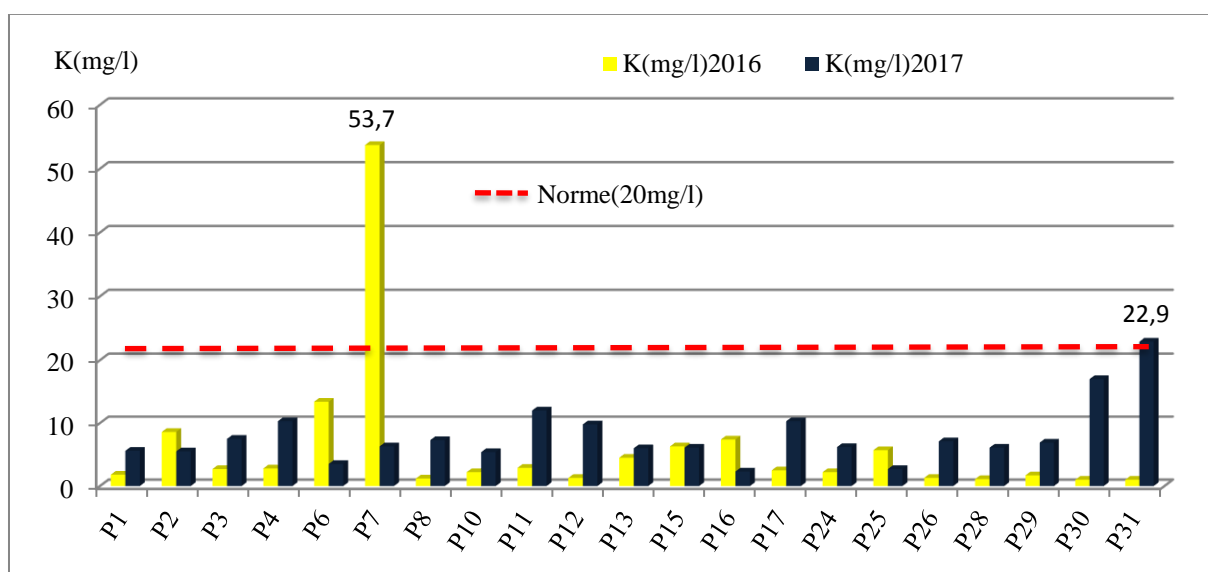


Figure 39 : Evolution de Potassium des eaux d'oued Djendjen (Avril 2016, Avril 2017)

1.3.4. Les chlorures (Cl⁻) : Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl) provient de la dissolution des sels naturels par le lessivage de terrains gypseux, marneux ou argileux, aussi des eaux usées. Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution (Nouayti. et al, 2015).

D'après l'histogramme de l'évolution des chlorures (fig.40), les concentrations varient entre une valeur minimale de 113,6 mg/l au puits (P25) et une valeur maximale de 610,6 mg/l au puits (P7) de la campagne 2016 et entre 26,62 mg/l au puits (P24) et 498,77 mg/l au puits (P4) de la deuxième campagne (Avril 2017).

D'une façon générale, on remarque une diminution des concentrations des chlorures sur toute la plaine durant la deuxième campagne (Avril 2017). La majorité des concentrations des eaux souterraines d'oued Djendjen restent dans la norme algérienne (200 – 500 mg/l) pour les deux campagnes, sauf le puits (P7) de la première campagne, s'explique probablement par l'intrusion marine (plus proche à la mer), ou de la dissolution des terrains marneux et la contamination par les eaux usées et aussi les activités de la zone industrielle d'Ouled Salah (Karaouet et Bourafa, 2016).

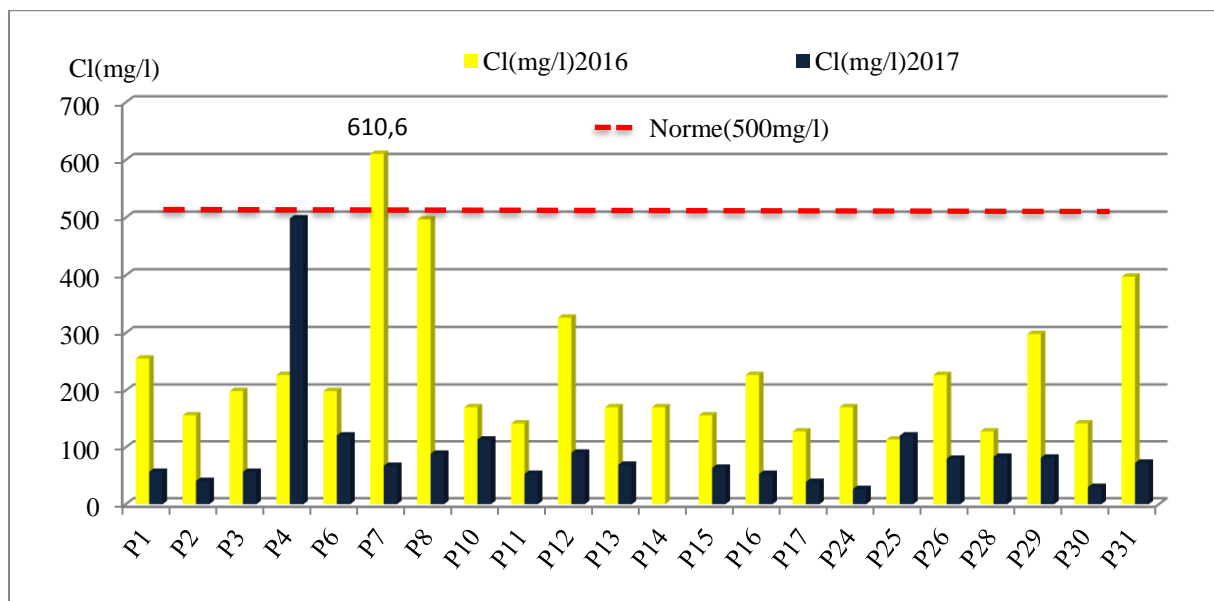


Figure 40 : Evolution des Chlorures dans les eaux d'oued Djendjen (Avril 2016, Avril 2017)

1.3.5. Les sulfates (SO₄²⁻) : Dans les conditions naturelles, les sulfates, forme de soufre dissous la plus répandue dans les eaux naturelles, ont essentiellement deux origines ; géochimique et atmosphérique. De nombreuses activités humaines et naturelles peuvent générer des apports de sulfates dans l'eau souterraine : application d'engrais sulfatés, précipitations chargées en dioxyde de soufre, rejets d'eaux usées et industrielles contenant de l'acide sulfurique (H₂SO₄)...etc (Nouayti et al, 2015).

D'après l'histogramme de l'évolution des sulfates (*fig.41*), les concentrations varient entre la valeur minimale de 17,82 mg/l au puits (P26) et la valeur maximale de 339,15 mg/l au puits (P4) pour Avril 2016 et entre 20,06 mg/l au puits (P16) et 153,67 mg/l au puits (P4) dans la campagne 2017.

La plupart des concentrations en sulfates des deux campagnes oscillant dans la norme algérienne (200-400 mg/l), Sauf les trois puits (P3 et P4) de la première campagne à cause de la contamination par les eaux usées et la dissolution des formations gypseuses de trias en amont du bassin (*Karaouet et Bourafa, 2016*).

L'histogramme (*fig.41*) montre une diminution des concentrations des sulfates pour la première campagne (Avril 2016) sur toute la plaine, cette diminution liée probablement à la diminution des précipitations chargées en dioxyde de soufre. Sauf les puits (P26, P28, P29) où on marque une augmentation, probablement causée par les rejets des eaux usées de l'agglomération de Tamila.

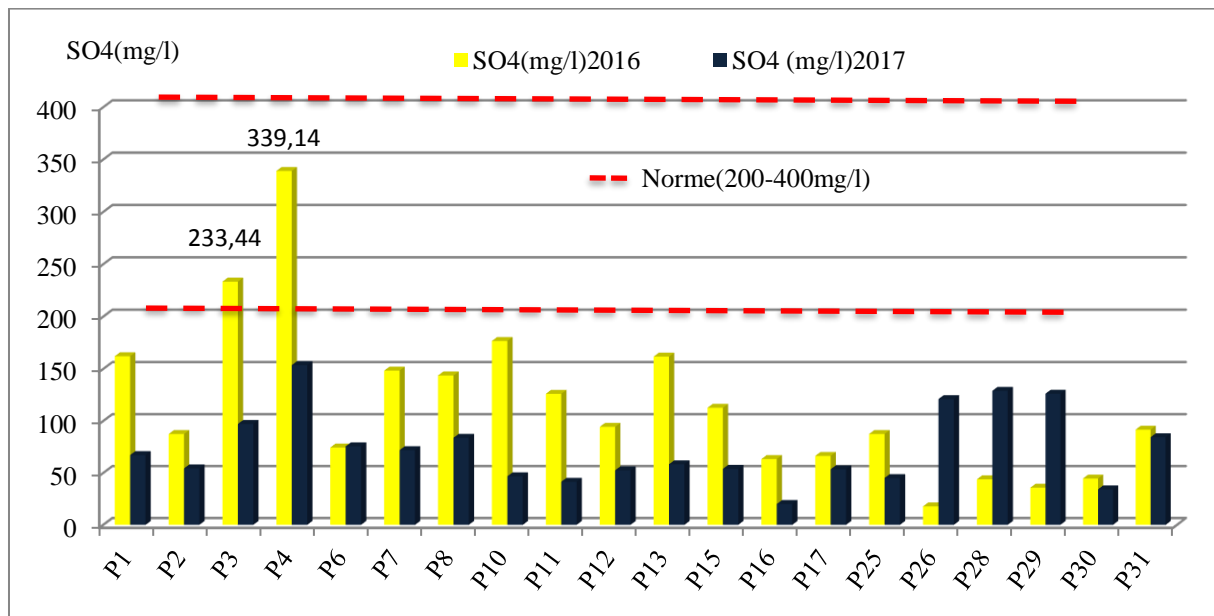
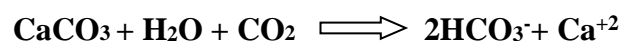


Figure 41 : Evolution des Sulfates dans les eaux d'oued Djendjen (Avril 2016, Avril 2017)

1.3.6. Les Bicarbonates (HCO_3^-) : La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées par les eaux chargées en gaz carbonique. La somme des équations de dissolution est donnée comme suit (*Rodier, 2009*):



D'après l'histogramme de l'évolution des Bicarbonates (*fig.42*) les concentrations oscillent entre une valeur minimale de 21,96 mg/l au puits (P1) et une valeur maximale de 453,84 mg/l au puits (P3) pour la première campagne et entre 5,82 mg/l au puits (P1) et 89,95 mg/l au puits (P4) pour la deuxième. Ces concentrations en bicarbonates restent toujours inférieures à la norme algérienne (500 mg/l).

Une diminution des concentrations enregistrée durant la deuxième campagne (Avril 2017) sur toute la plaine d'oued Djendjen. Cette diminution probablement liée à la diminution des précipitations qu'est le responsable sur la dissolution de formations carbonatées.

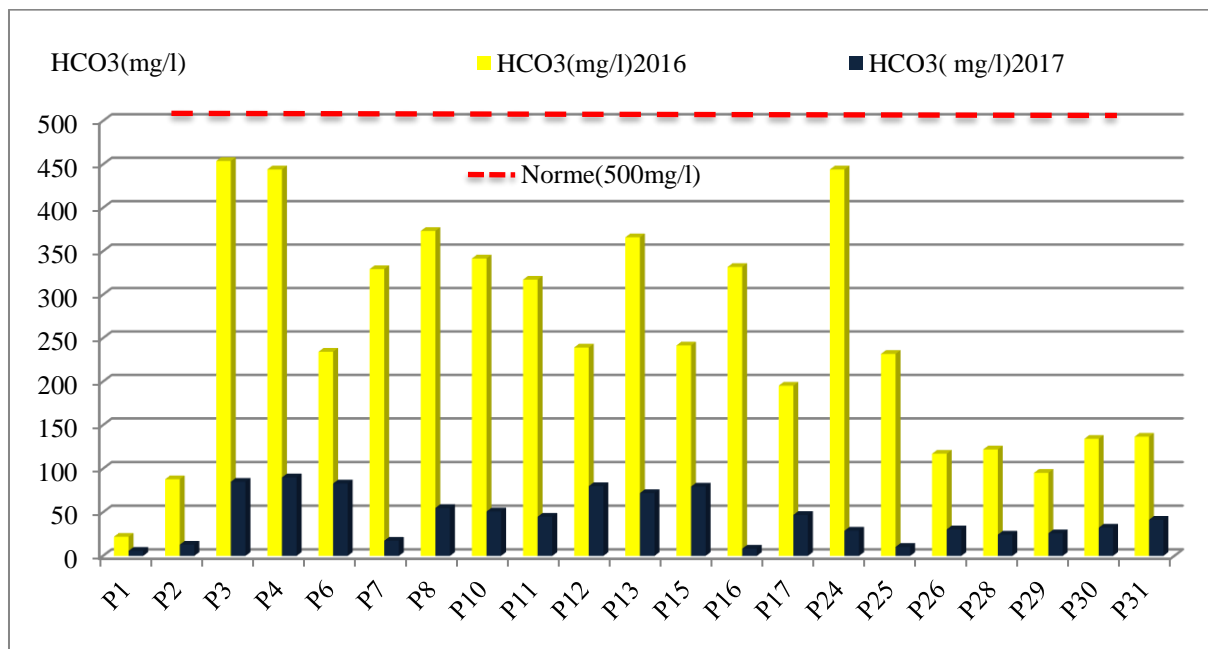


Figure 42 : Evolution des Bicarbonates dans les eaux d'oued Djendjen (Avril 2016, Avril 2017)

1.4. Les éléments chimiques indicateurs de pollution

1.4.1. Nitrates (NO₃⁻) : Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique, leur présence dans une eau polluée atteste que le processus d'autoépuration est déjà entamé. L'activité humaine accélère le processus d'enrichissement en cet élément sur les sols subissant l'érosion, ce qui provoque l'infiltration des eaux usées, par les rejets des industries minérales et d'engrais azoté (Bremond et Vuichard, 1973).

D'après l'histogramme de l'évolution de Nitrates (fig.43), les concentrations varient entre une valeur minimale de 0,16 mg/l au puits (P16) et une valeur maximale de 56,60 mg/l au puits (P28) pour la première campagne et entre 0,33 mg/l aux puits (P2, P4, P10, P17, P26, P28 et P29) et de 47,46 mg/l au (P1) pour la deuxième campagne (Avril 2017). Les concentrations en nitrates dans les eaux souterraines d'oued Djendjen restent inférieures aux normes algériennes (50 mg/l), sauf au niveau du puits (P28) pour la deuxième campagne (Avril 2016) probablement à une contamination par les eaux usées domestiques (Karaouet et Bourafa ,2016). L'histogramme des nitrates montre une augmentation des teneurs en nitrates durant la deuxième campagne dans la plupart des puits, qui sont situés au milieu des agglomérations de Tassoust et Tamila et Emir Abdelkader, sous l'effet des rejets des eaux usées.

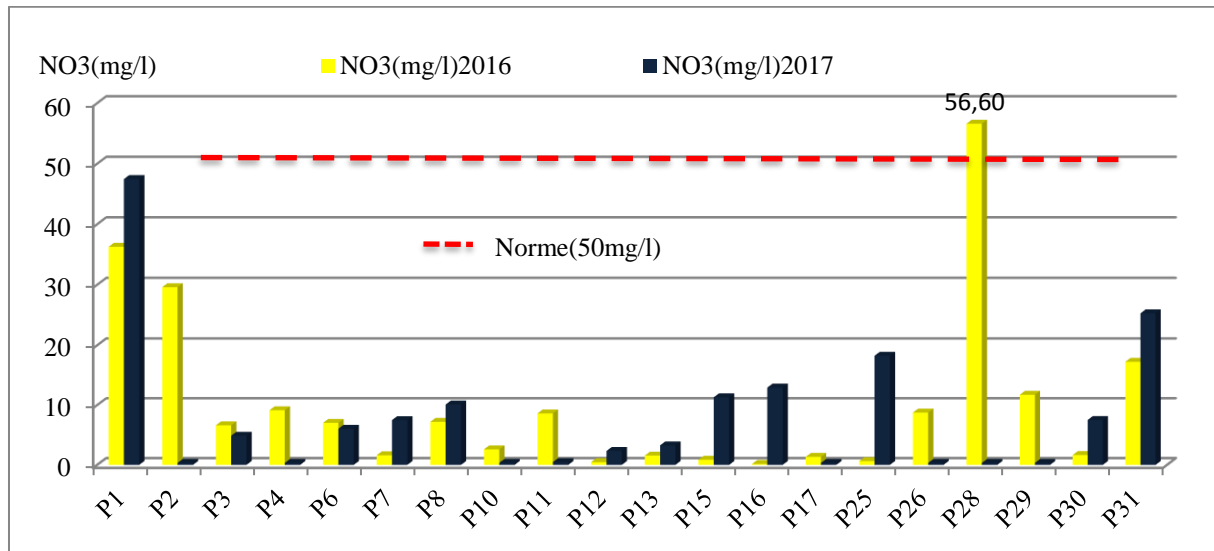


Figure 43 : Evolution des Nitrates dans les eaux d'oued Djendjen (Avril 2016, Avril 2017)

1.4.2. Nitrites (NO₂) : Les nitrites peuvent être présents dans l'eau mais généralement à des doses faibles. Ils peuvent avoir comme origine l'oxydation incomplète de l'ammoniaque, ou bien une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiant (*Bremond et Vuirchard, 1973*). D'après l'historique de l'évolution des Nitrites (*fig.44*), les teneurs en nitrites varient entre 0,001 mg/l et 0,12 mg/l durant la première campagne et entre 0,001mg/l et 0,69 mg/l pour la deuxième campagne (Avril 2017).

D'une manière générale, les nitrites se trouvent à des faibles concentrations inférieures aux normes algériennes (0,1mg/l) presque dans toute la nappe alluviale d'oued Djendjen, à l'exception du puits (P24) (Avril 2016) et les puits (P4 et P26) (Avril 2017), à cause des activités agricoles et les eaux usées des agglomérations.

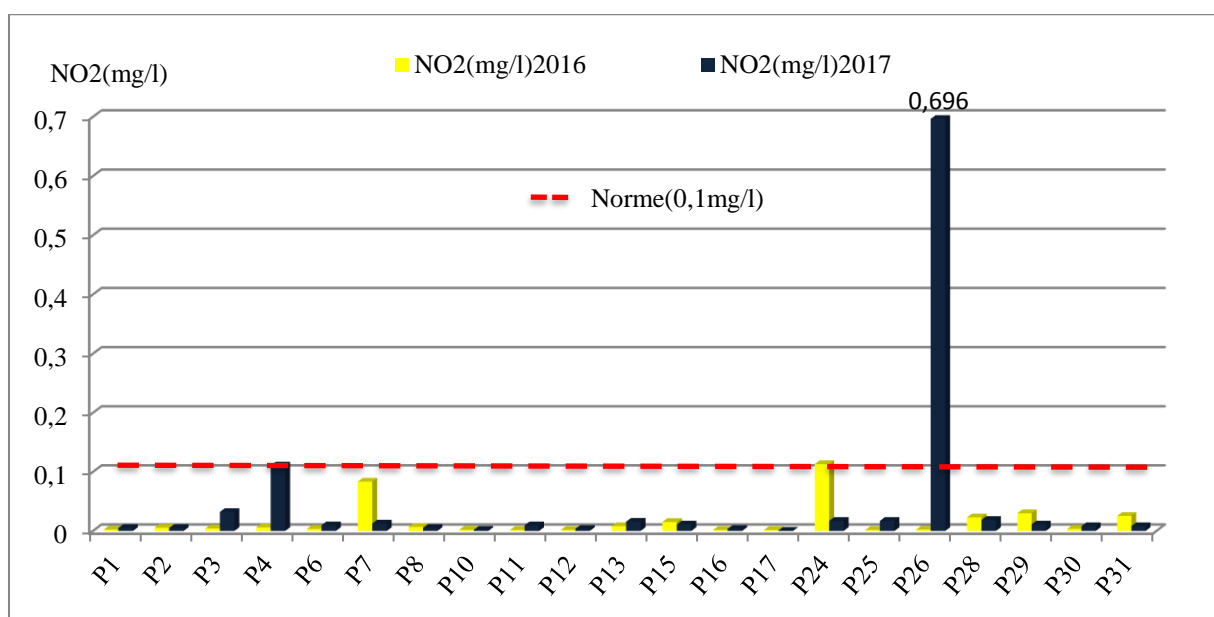


Figure 44 : Evolution des Nitrites dans les eaux d'oued Djendjen (Avril 2016, Avril 2017)

1.4.3. Ammonium (NH_4^+) : L'ammonium dans l'eau traduit habituellement un processus de dégradation incomplet de la matière organique. C'est donc un excellent indicateur de la pollution de l'eau par des rejets organiques d'origine agricole, domestique ou industriel. Les normes algériennes sont fixées à 0,5 mg/l (Karaouet et Bourafa, 2016).

D'après l'histogramme (fig.45), on observe une augmentation des teneurs de l'ammonium durant la deuxième campagne notamment dans les puits (P3, P4, P26) à cause des rejets urbains des agglomérations avoisinantes (Tassoust, Tamila et Emir Abdelkader). Mais ces teneurs restent inférieures aux normes algériennes (0,5 mg/l), Sauf le puits (P15) (Avril 2016) et le puits (P26) (Avril 2017). Cette présence due à la pollution par les rejets domestiques et industriels et par les engrais chimiques utilisés dans l'activité agricole (Karaouet et Bourafa, 2016).

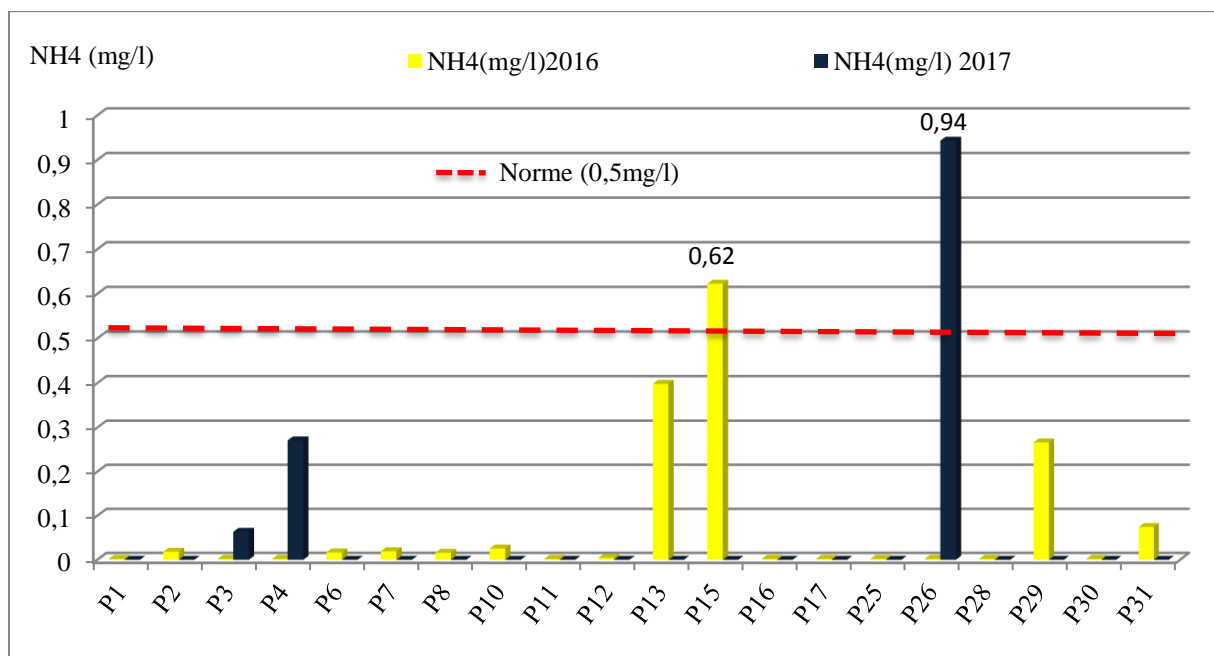


Figure 45 : Evolution de l'Ammonium des eaux d'oued Djendjen (Avril 2016, Avril 2017)

1.4.4. Phosphates (PO_4^-) : La présence des phosphates dans les eaux naturelles dépend de la nature des terrains traversés et de la décomposition de la matière organique. Les eaux souterraines peuvent être contaminées par les rejets industriels et domestiques ou par le lessivage des terres cultivées renfermant des engrais phosphatés (Potelon, et Zysman, 1998).

D'après l'histogramme (fig.46), les phosphates présentent dans les eaux souterraines de la nappe alluviale d'oued Djendjen à des faibles concentrations, ne dépassent pas la norme algérienne (0,5 mg/l) sur toute la plaine alluviale pour les deux campagnes (2016 et 2017).

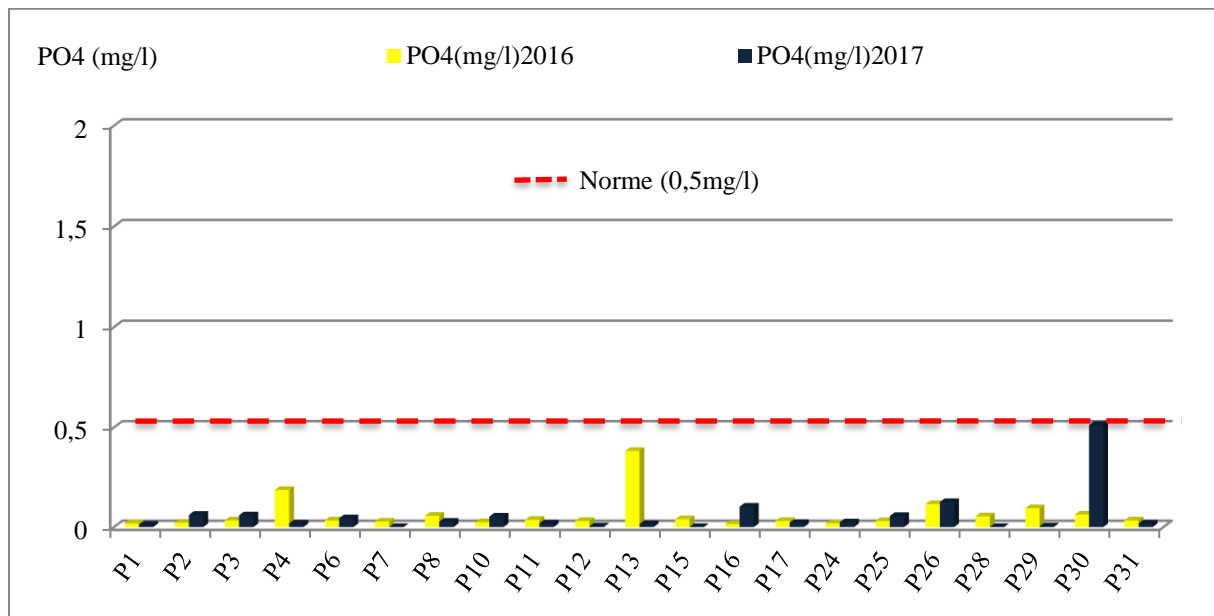


Figure 46 : Evolution de Phosphate des eaux d'oued Djendjen (Avril 2016, Avril 2017)

1.4.5. Fer (Fe) : Le fer est un élément assez abondant dans les roches (quelques %) sous forme de silicates, d'oxydes et hydroxydes, de carbonates et de sulfures. La craie contient des nodules de marcasite (sulfure); les terrains jurassiques présentent un niveau d'oolithes en oxydes de fer. Le fer est soluble à l'état d'ion Fe^{++} (ion ferreux) mais insoluble à l'état Fe^{+3} (ion ferrique). La valeur du potentiel d'oxydoréduction (Eh) du milieu conditionne donc sa solubilité et la teneur de l'eau en fer (Segalen, 1964).

D'après l'histogramme de l'évolution de fer (fig.47), la plupart des teneurs de la première campagne dépassent la norme algérienne (0,3 mg/l) à cause de la dissolution du fer associé aux marnes Burdigaliennes (Karaouet et Bourafa, 2016), sauf les puits de la région d'Ouled Salah (Sud-est de la plaine) où on enregistre les faibles teneurs. Durant la 2^{ème} campagne (Avril 2017), on remarque une diminution des concentrations sur toute la plaine (inférieures aux normes), cette diminution est en relation directe avec les faibles quantités des précipitations, qui représentent le facteur principale responsable à la dissolution des formations géologiques.

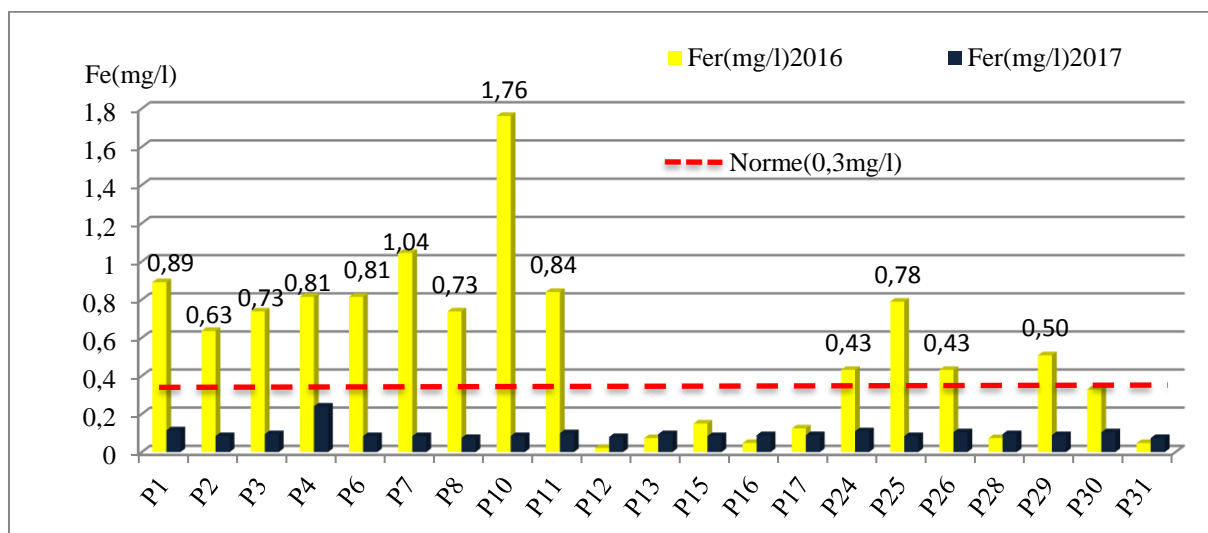


Figure 47 : Evolution du Fer des eaux d'oued Djendjen (Avril 2016, Avril 2017)

2. Les eaux de surface

2.1. Les paramètres physico-chimiques

2.1.1. Le potentiel hydrogène (pH) : D'après l'histogramme de l'évolution de potentiel d'hydrogène (fig.48), le pH des eaux d'oued Djendjen des deux campagnes a un caractère alcalin, il varie entre 8 et 8,2 durant la première campagne et entre 7,91 et 9,06 pour la deuxième. Il dépasse la norme algérienne (6,5-8,5) durant la deuxième campagne notamment au centre et en amont de l'oued, probablement à cause des rejets des eaux usées non traitées de la région d'El Emir Abdelkader.

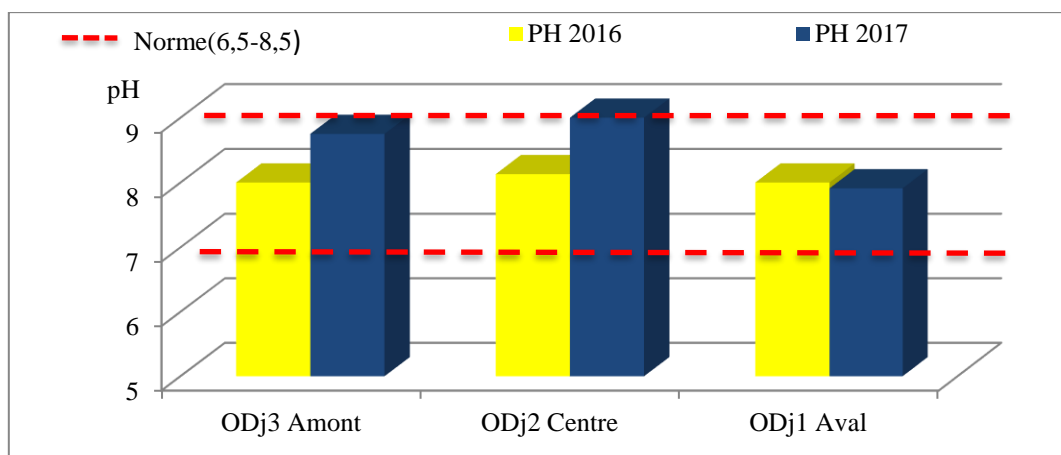


Figure 48 : Evolution du pH des eaux d'oued Djendjen (Avril 2016, Avril 2017)

2.1.2. La conductivité : Elle donne une idée sur la minéralisation et est à ce titre un bon marqueur de l'origine d'une eau (Belghiti et al 2013). D'après l'histogramme de l'évolution de la conductivité (fig.49) les valeurs de la conductivité des eaux d'oued Djendjen sont inférieures aux normes algériennes (2800 $\mu\text{s}/\text{cm}$) durant les deux campagnes (2016-2017) (fig.48), elles varient entre 640 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et 2700 $\mu\text{s}/\text{cm}$. on remarque une forte augmentation de la conductivité électrique durant la deuxième campagne et particulièrement en aval de l'oued. Cette aug-

mentation soit liée à l'étiage de l'oued (manque des précipitations) ou aux rejets chargés en sels dissout de la zone industrielle d'Ouled Salah- Taher.

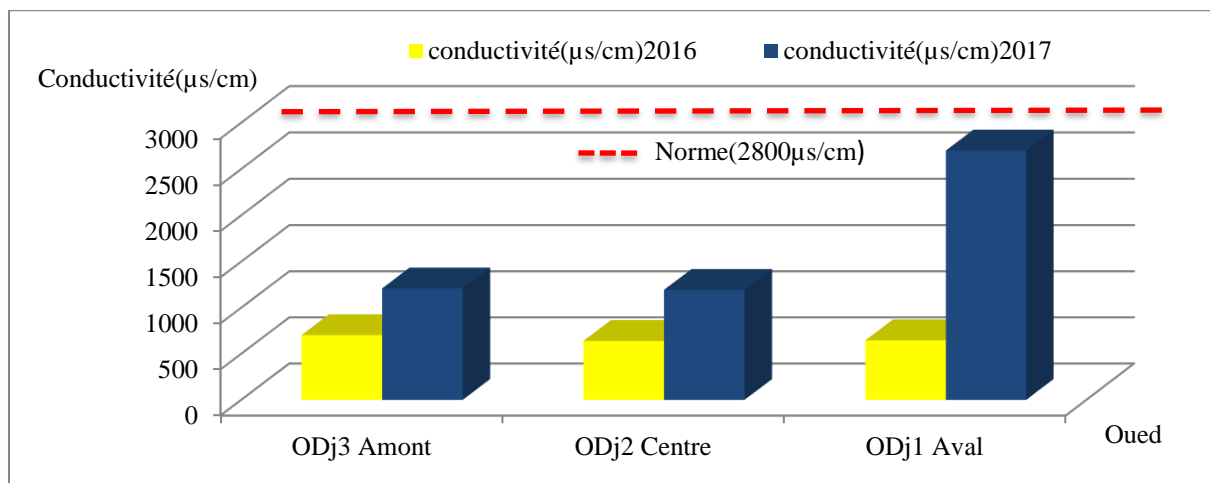


Figure 49 : Evolution de la Conductivité électrique des eaux d'oued Djendjen (Avril 2016, Avril 2017)

2.2. Etude des paramètres chimiques

2.2.1. Le Calcium (Ca^{+2}) : L'historgramme de l'évolution de calcium (fig.50) montre que les concentrations de calcium dans les eaux d'oued Djendjen varient entre 110,86 mg/l et 118,39 mg/l durant la première campagne (Avril 2016) et entre 33,67 mg/l et 107,42 mg/l durant la deuxième (Avril 2017), elles sont toujours inférieures aux normes algériennes (200 mg/l). On observe aussi une diminution des concentrations durant la deuxième campagne, cette dernière est liée directement au manque des précipitations au cours de l'année 2017, qui favorisent la dissolution des formations carbonaté et gypseux de l'amont du bassin versant (Karaouet et Bourafa, 2016).

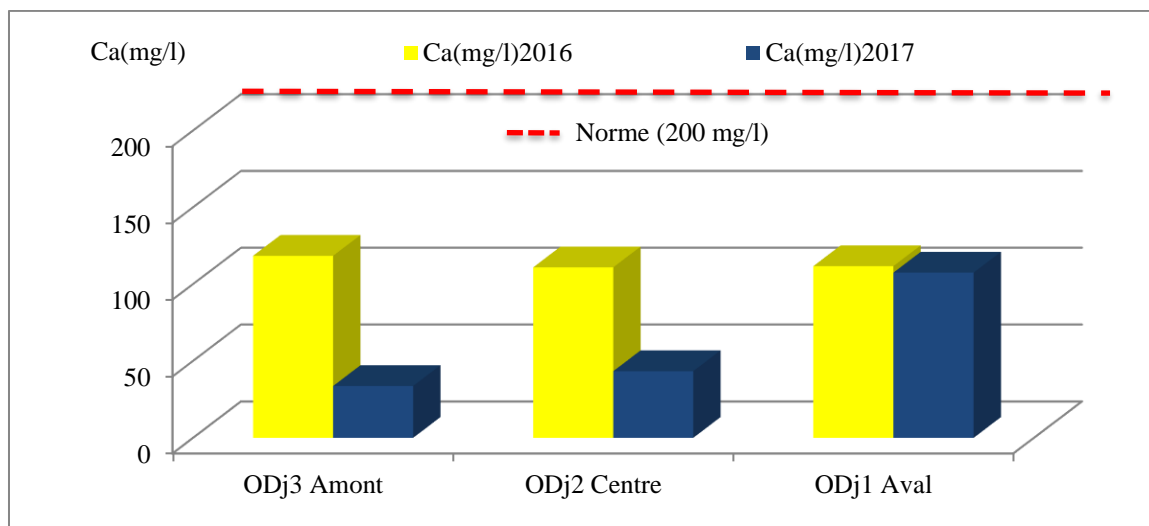


Figure 50 : Evolution de Calcium des eaux d'oued Djendjen (Avril 2016, Avril 2017)

2.2.2. Le Magnésium (Mg^{+2}) : D'après l'historgramme de l'évolution du magnésium (fig.51) les teneurs du magnésium des eaux de surface d'oued Djendjen sont inférieures aux normes

algériennes (150 mg/l), elles oscillent entre 53,96 mg/l et 59,30 mg/l durant la première campagne (Avril 2016) et entre 28,19 mg/l et 108,89 mg/l pour la deuxième (Avril 2017). Nous remarquons une augmentation des concentrations du magnésium de l'amont vers l'aval pour les deux campagnes, probablement liée aux apports des affluents secondaires chargés en ions du magnésium.

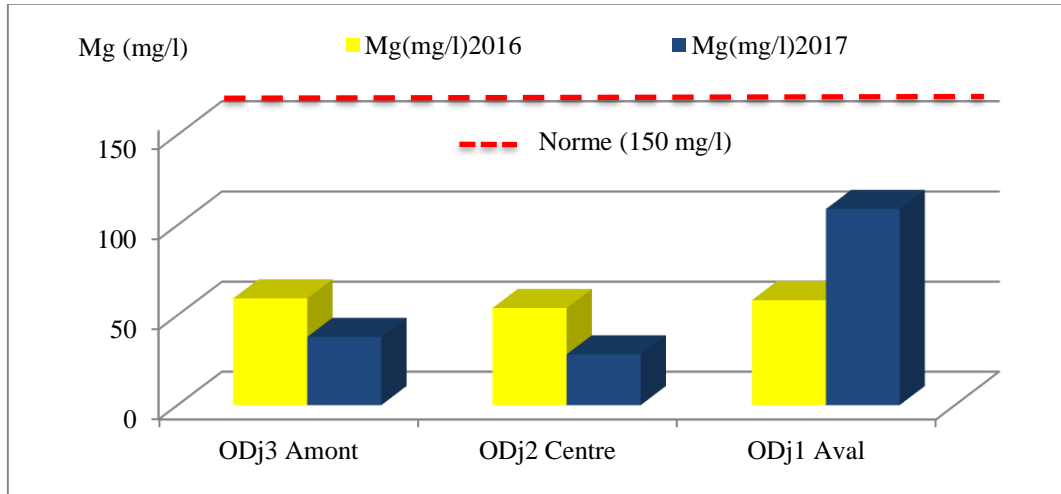


Figure 51 : Evolution de Magnésium des eaux d'oued Djendjen (Avril 2016, Avril 2017)

2.2.3. Le Sodium (Na^+) : D'une manière générale pour les teneurs en sodium ne dépassent pas les normes algériennes (200 mg/l) durant les deux campagnes. D'après l'histogramme (fig.52), les concentrations varient entre 34,5 mg/l et 41,3 mg/l en (Avril 2016) et entre 24,4 mg/l et 100 mg/l durant la deuxième campagne (Avril 2017). Elles diminuent dans la partie aval de l'oued Djendjen pour les deux campagnes, ceci peut expliquer d'une part par les échanges de base de sodium avec le calcium, et d'autre part par la dilution des concentrations en aval sous l'effet des rejets des agglomérations (Taher et El Emir Abdelkader).

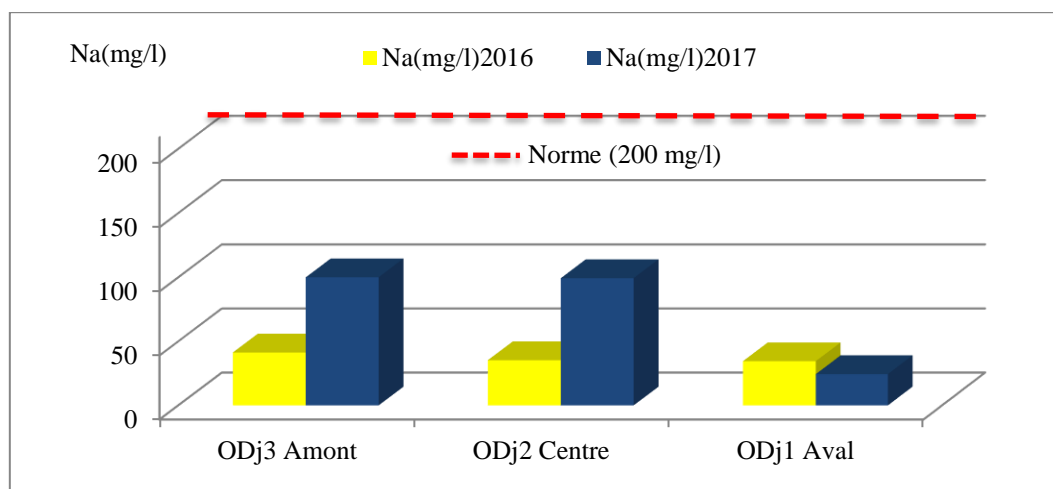


Figure 52 : Evolution de Sodium des eaux d'oued Djendjen (Avril 2016, Avril 2017)

2.2.4. Le Potassium (K^+) : D'après l'histogramme de l'évolution de potassium (fig.53), on observe une évolution des concentrations de l'amont vers l'aval pour les deux campagnes et une augmentation des teneurs durant la deuxième campagne (Avril 2017), mais elles restent toujours proches aux normes admises (20 mg/l). Ceci peut expliquer par l'altération des formations silicatées (gneiss, schiste), des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques.

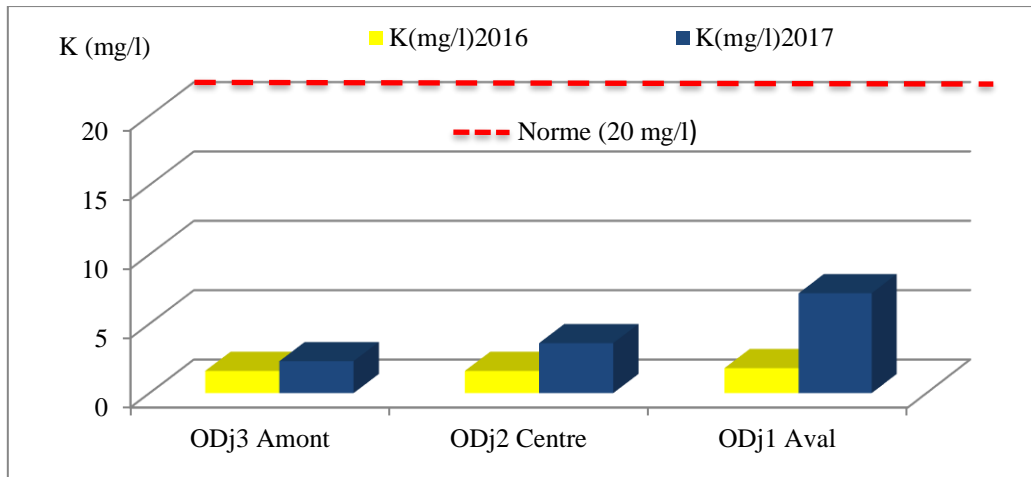


Figure 53 : Evolution de Potassium des eaux d'oued Djendjen (Avril 2016, Avril 2017)

2.2.5. Les chlorures (Cl^-) : les concentrations en chlorures dans les eaux d'oued Djendjen sont presque semblable avec une légère augmentation surtout pour les eaux de la partie aval (ODj1) (fig.54), elle peut expliquer par l'effet des rejets des eaux usées sans traitement surtout dans la partie centrale de la plaine. Les teneurs varient entre 99,40 mg/l et 181,05 mg/l, elles ne dépassent pas les normes Algériennes (500 mg/l).

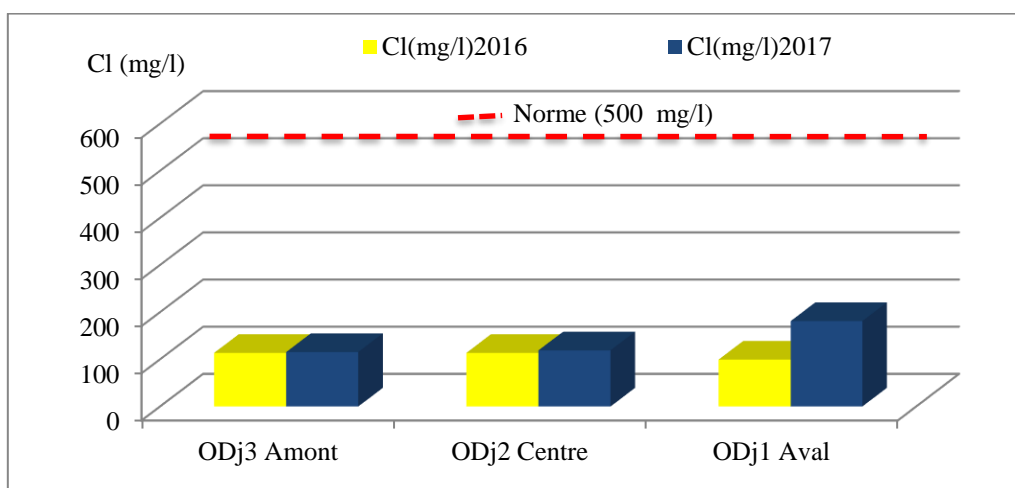


Figure 54 : Evolution des Chlorures des eaux d'oued Djendjen (Avril 2016, Avril 2017)

2.2.6. Les Sulfates (SO_4^-) : d'après l'histogramme de l'évolution des sulfates (*fig.55*) les teneurs en sulfates varient entre 140 mg/l et 158,76 mg/l en 2016 et oscillent entre 37,70 mg/l et 75,44 mg/l en 2017, elles sont inférieures aux normes algériennes (200 - 400 mg/l).

Une diminution remarquable des concentrations durant la deuxième campagne où ne dépassent pas 75 mg/l. Cette diminution expliquée par la réduction des flux d'oued Djendjen en sulfates en raison des faibles quantités de pluie enregistrées en 2017, donc pas de solubilité des formations gypseuses en amont du bassin versant.

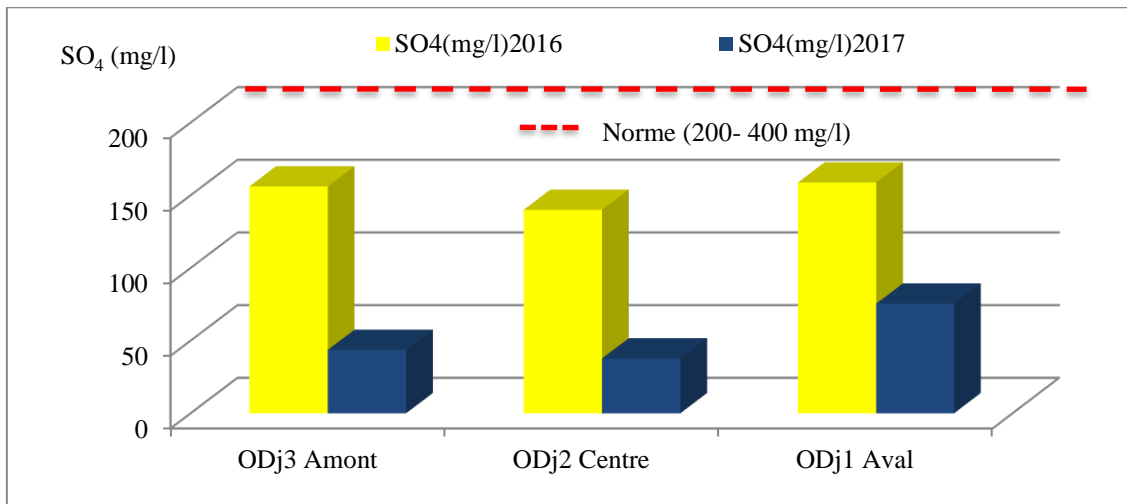


Figure 55 : Evolution des Sulfates des eaux d'oued Djendjen (Avril 2016, Avril 2017)

2.2.7. Les Bicarbonates (HCO_3^-) : l'histogramme de l'évolution des bicarbonates (*fig.56*) montre que l'évolution des bicarbonates est analogue à l'évolution des sulfates. Les concentrations varient entre 153,72 mg/l et 187,88 mg/l durant la première campagne (Avril 2016) et entre 10,32 mg/l et 70,92 mg/l durant la deuxième campagne. Avec une diminution remarquable des concentrations durant la deuxième campagne liée toujours aux faibles quantités de pluie enregistrées en 2017.

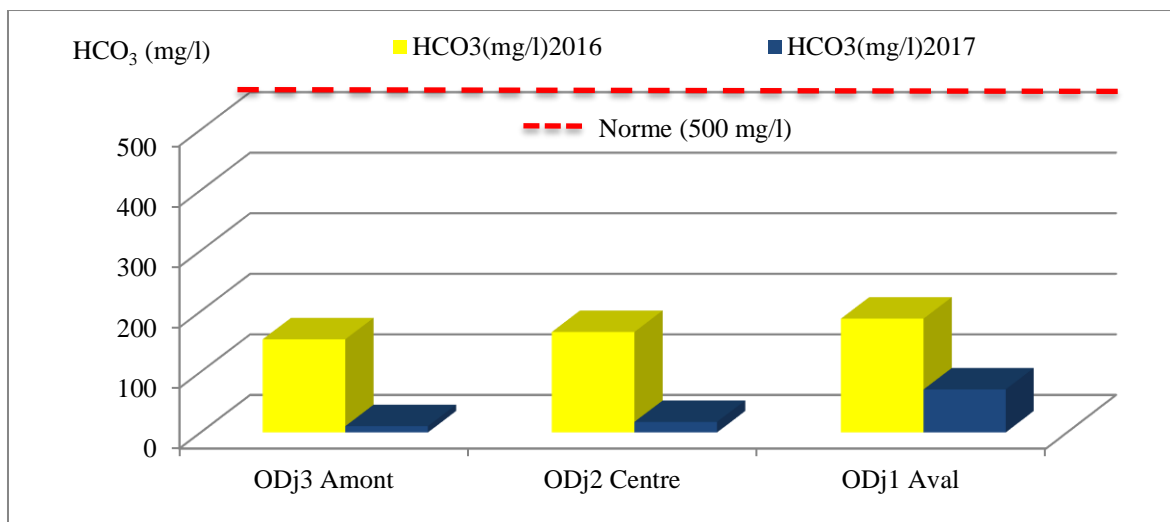


Figure 56 : Evolution des Bicarbonates des eaux d'oued Djendjen (Avril 2016, Avril 2017)

3. Les paramètres de pollution

3.1. Les nitrates (NO_3^-) : Les nitrates représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. Sa présence dans les eaux souterraines est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques. Les teneurs en nitrates varient entre 0,74 mg/l et 2,29 mg/l en 2016 et entre 8,19 mg/l et 19,96 mg/l en 2017. Une légère augmentation des concentrations des nitrates durant la deuxième campagne (Avril 2017), mais restent inférieures aux normes algériennes (50 mg/l) (fig. 57).

La présence des nitrates dans les eaux d'oued Djendjen est liée aux rejets urbains des agglomérations situées à côté de l'oued et l'utilisation des engrais chimiques.

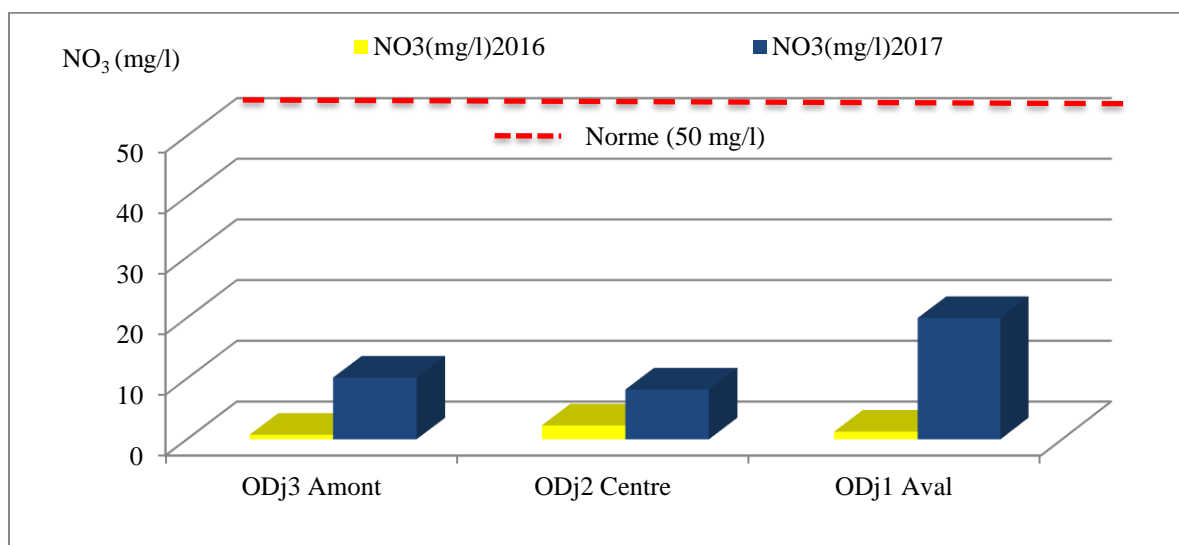


Figure 57 : Evolution des Nitrates dans les eaux d'oued Djendjen (Avril 2016, Avril 2017)

3.2. Les nitrites (NO_2^-) : Les nitrites NO_2^- ou azote nitreux, représentent une forme moins oxygénée et moins stable, et représentent la forme du passage entre les nitrates et l'ammonium, c'est une forme toxique. La présence des Nitrites dans l'eau en quantité importante dégrade la qualité de l'eau et pourrait affecter la santé humaine (Karaouet et Bourafa, 2016).

L'histogramme de l'évolution de nitrites d'oued Djendjen (fig.58) montre que les concentrations varient entre 0,022 mg/l et 0,24 mg/l en 2016 et entre 0,011 mg/l et 0,079 mg/l en 2017. On remarque une augmentation des concentrations en aval de l'oued où elles dépassent les normes algériennes (0,1 mg/l) durant la première campagne (Avril 2016). Elles sont dues probablement à l'effet de l'oxydation de la forme ammonium provient des rejets urbains et à l'excès des engrais chimiques au niveau de la plaine.

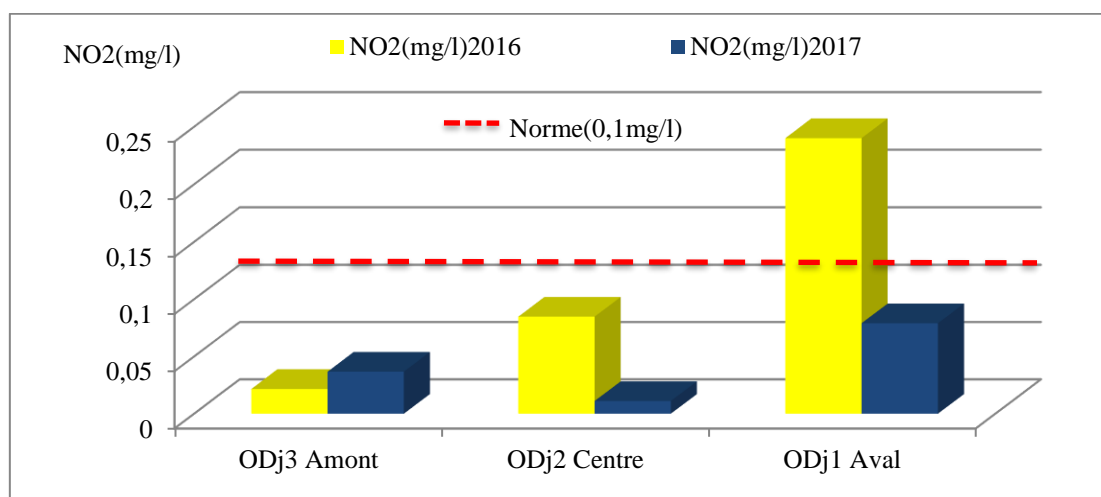


Figure 58 : Evolution des Nitrites dans les eaux d'oued Djendjen (Avril 2016, Avril 2017)

3.3. L'Ammonium (NH₄⁺) : l'ammonium est un bon indicateur de la pollution des cours d'eau par les effluents urbains. Dans les eaux superficielles, il provient de la matière organique azotée et des échanges gazeux entre l'eau et l'atmosphère (Chapman et al, 1996).

D'après l'historique de l'évolution de l'ammonium (fig.59), l'ammonium présent dans les eaux d'oued Djendjen à des faibles concentrations qui ne dépassent pas 0,14 mg/l. Une légère augmentation des teneurs à l'exutoire durant la première campagne (Avril 2016) due aux rejets des eaux usées sans traitement dans l'oued (Karaouet et Bourafa, 2016).

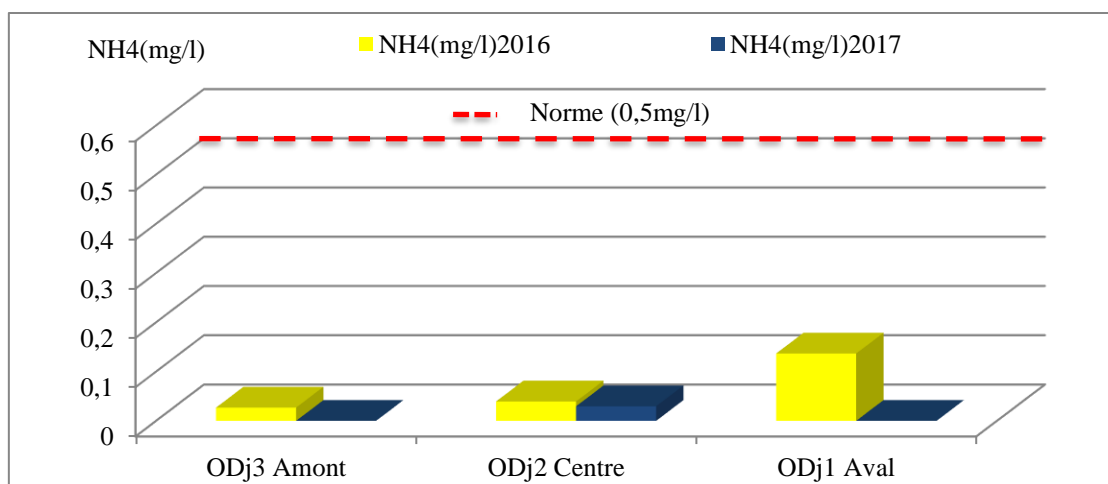


Figure 59 : Evolution de l'Ammonium dans les eaux d'oued Djendjen (Avril 2016, Avril 2017)

3.4. Les phosphates (PO₄³⁻) : Contrairement à l'azote, les composés gazeux du phosphore sont presque inexistant dans l'atmosphère. Il n'existe donc pas de réservoir atmosphérique important de phosphore. Le phosphore est naturellement présent dans certaines roches (ignées ou sédimentaires). Le lessivage de celles-ci par les processus naturels d'érosion conduit à sa solubilisation dans les milieux aquatiques. En absence d'intervention humaine, les eaux de surfaces contiennent cependant très peu de phosphates. D'après l'historique de l'évolution

des phosphates (*fig.60*) les concentrations sont très faibles, varient entre 0,03 mg/l et 0,08 mg/l, elles dépendent principalement de la dissolution des formations géologiques.

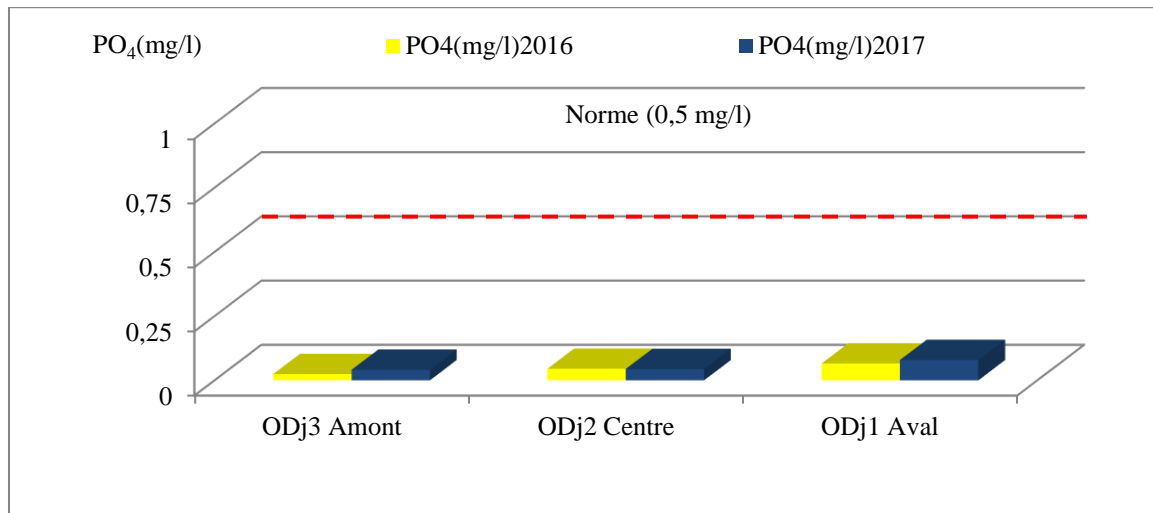


Figure 60: Evolution des Phosphates dans les eaux d'oued Djendjen (Avril 2016, Avril 2017)

3.5. Le Fer (Fe) : Cet élément chimique est généralement rencontré ensemble au manganèse dans la nature, sa présence dans l'eau peut avoir diverses origines : naturelle par le lessivage des terrains argileux, ou industrielle. L'histogramme de fer (*fig.61*) montre que les concentrations de fer dans les eaux d'oued Djendjen varient entre 0,07 mg/l et 0,28 mg/l, elles sont inférieures aux normes algériennes (0,3 mg/l). Durant la première campagne (Avril 2016), les fortes concentrations sont enregistrées dans la partie centrale et aval de l'oued, liées probablement aux rejets de la zone industrielle d'Ouled Salah. Alors que, durant la deuxième campagne, on observe une diminution des concentrations de fer dans les eaux de l'oued, cette diminution indique la forte probabilité de l'origine géologique de cet élément du faite que les précipitations de cette année sont très faibles par rapport à l'année précédente (2016).

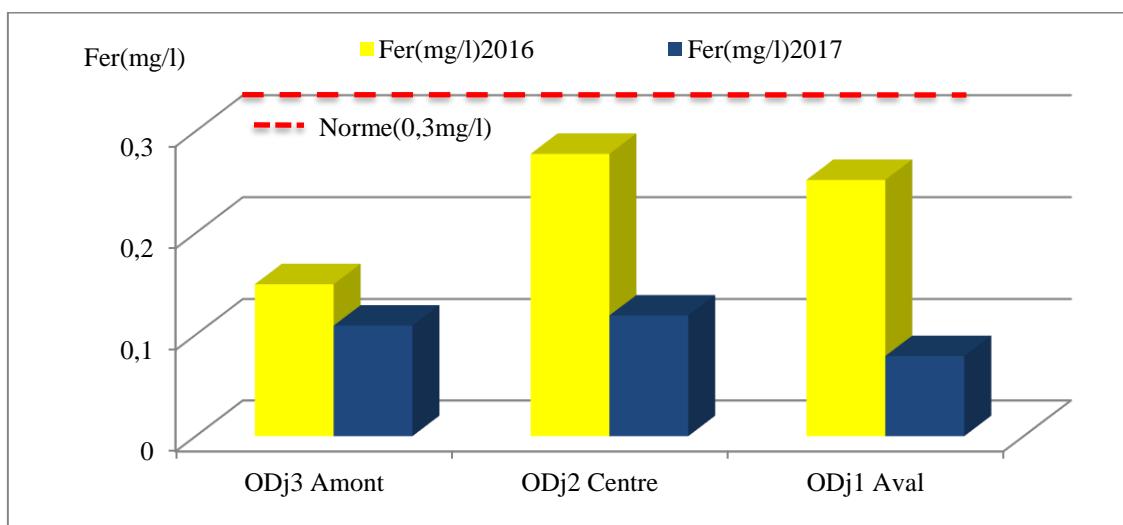


Figure 61 : Evolution du Fer dans les eaux d'oued Djendjen (Avril 2016, Avril 2017)

3. Aptitude des eaux à l'irrigation

La qualité chimique des eaux influe directement sur le rendement des terres agricoles et sur la préservation des sols. A cet effet et étant donné que la zone d'étude est à vocation agricole, une étude chimique des eaux pour l'irrigation est indispensable pour mettre en évidence le danger que peut présenter certains éléments chimiques pour la santé publique, pour les plantes et enfin pour les sols (Bouali et Namousse, 2015).

Pour cela, nous utilisons la méthode du SAR (Diagramme de Richards) afin de distinguer les différentes classes de l'eau. Ce diagramme est essentiellement utilisé pour évaluer le risque de salinisation des sols. Il utilise pour cela la conductivité électrique (CE) ou la charge totale dissoute, toutes deux relative à la salinité de l'eau, et l'indice d'adsorption du sodium (SAR en anglais) aussi appelé "pouvoir alcalisant" qui est une mesure du risque de la sodisation du sol du fait de l'irrigation. Le diagramme est découpé en quatre classes de salinité (axe des abscisses) et quatre classes de risques de sodisation (axe des ordonnées).

Le SAR est donné par la formule ci-dessous, il est utilisé en combinaison avec la conductivité électrique de l'eau.

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}, \text{ où tous les éléments sont exprimés en méq/l. }'$$

Le tableau suivant (tab.18) récapitule les résultats obtenus d'après l'interprétation des diagrammes (fig.62 et 63)

Tab.18 : Evolution des classes d'irrigation selon la méthode de Richards (Avril 2016 et Avril 2017)

Classe	Qualité	Avril 2016	Avril 2017
C2S1	Bonne	46,88%	41,66%
C3S1	Admissible	53,12%	58,33%

D'après les diagrammes (fig.65 et 66) on constate que les eaux de la région d'oued Djendjen présentent une qualité bonne à admissible. Chaque qualité présente ses propres caractéristiques :

- **La qualité bonne (C2S1)** : Représente une eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel, sur sols ayant une bonne perméabilité. Cette classe représente les eaux de faible minéralisation à un pourcentage de 46,88 % pour l'année 2016 et un pourcentage de 41,66% pour l'année 2017.
- **La qualité Admissible (C3S1)** : Représente une eau souffrant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel, sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée, cette classe représente un pourcentage de 53,12% des points d'eau pour l'année 2016 et un pourcentage de 58,33% des points d'eau pour l'année 2017.

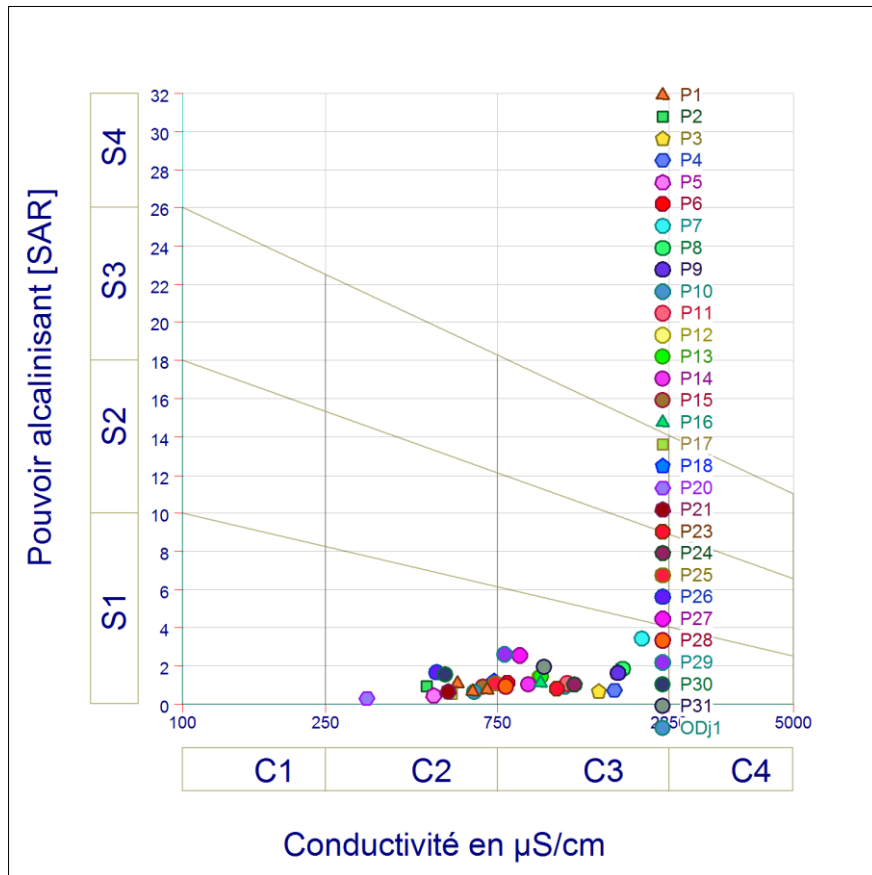


Figure 62 : Diagramme de classification des eaux d'irrigation en fonction du SAR (Avril 2016).

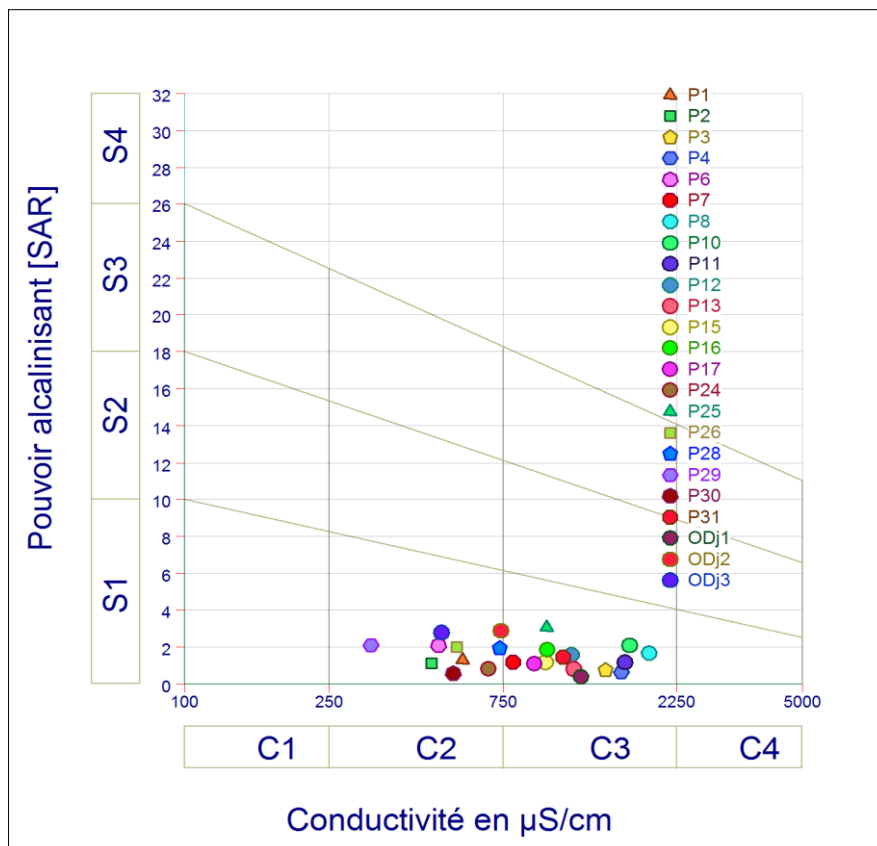


Figure 63: Diagramme de classification des eaux d'irrigation en fonction du SAR (Avril 2017).

Conclusion

Cette étude hydrochimique permet de bien connaître la qualité des eaux de la plaine d'oued Djendjen et d'évaluer ses caractéristiques physico-chimiques, les résultats de cette étude montrent que les eaux souterraines sont caractérisées par un PH moyen oscillent entre 6,83 et 7,58. Il a un caractère alcalin, où il varie entre 8,04 et 9,75 pour les eaux e surface. Pour la conductivité électrique on note une moyenne de 938,58 $\mu\text{s}/\text{cm}$ durant la première campagne (Avril 2016) et de 1818,47 $\mu\text{s}/\text{cm}$ durant la deuxième (Avril 2017) pour les eaux souterrains. Concernant les eaux de surface, la conductivité est d'ordre de 663 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en (Avril 2016) et de 1701,33 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en Avril 2017. L'interprétation des résultats des analyses chimiques de la nappe alluviale de l'oued Djendjen montre la dominance de deux facies chimiques l'un chloruré-calcique et l'autre bicarbonaté-calcique. D'une manière générale, la plupart des concentrations des différents éléments chimiques connues une diminution, probablement liée aux faibles quantités des pluies précipitées durant l'année 2017, qui sont responsables aux dissolutions des formations géologiques. L'étude de l'aptitude des eaux de la plaine d'oued Djendjen à l'irrigation montre que la plus part des eaux des deux campagnes (Avril 2016 et Avril 2017) ont une qualité bonne à admissible. Ces eaux généralement acceptables pour l'irrigation des cultures tolérantes aux sels sur des sols bien drainés, mais nécessitent un contrôle préalable de l'évolution de la salinité.

Conclusion Générale

&

Recommandations

Conclusion Générale

La plaine alluviale d'oued Djendjen située au Nord-est de l'Algérie à 9 km à l'Est de la ville de Jijel, avec une superficie de 49 km², elle occupe la partie aval du bassin versant, ce dernier appartient au bassin versant côtier Constantinois Ouest. Notre région d'étude est soumise à un climat Méditerranéen, caractérisé par une période humide s'étale du mois d'Octobre jusqu'au mois de Mai et une période sèche s'étend du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre. La région d'étude reçoit des précipitations annuelles moyennes de l'ordre de 1007.67 mm. La plaine de Djendjen est le siège d'une topographie ancienne dont les dépressions ont été recouvertes par des alluvions récentes et des terrasses anciennes (formations quaternaires) (*Boucenna, 2009*), dont l'épaisseur est variable et cela a été confirmé par les rapports des forages réalisés au niveau de la plaine où la géométrie du réservoir se présente sous la forme d'une gouttière allongée de Sud vers le Nord.

L'examen des cartes piézométriques (Avril 2016 et Avril 2017) montre la même allure où l'écoulement des eaux souterraines de la plaine alluviale de l'oued Djendjen converge vers l'axe central de la plaine parcouru par l'ancien lit d'oued Djendjen, avec une baisse significative du niveau piézométrique durant la deuxième campagne dépassant les huit (8) mètres notamment dans la partie aval de la plaine, probablement sous l'effet de la surexploitation et les faibles précipitations au cours de l'année 2017.

L'interprétation des résultats des analyses chimiques de la nappe alluviale de l'oued Djendjen montre la dominance de deux facies chimiques l'un chloruré-calcique et l'autre bicarbonaté-calcique. D'une manière générale, la plupart des concentrations des différents éléments chimiques connaissant une diminution, probablement liée aux faibles quantités des pluies précipitées durant l'année 2017, qui sont responsables à la dissolution des formations géologiques. Cela confirme l'origine géologique de la plus part des éléments chimiques dans les eaux de notre région. L'étude de l'aptitude des eaux de la plaine d'Oued Djendjen à l'irrigation montre que la plus part des eaux des deux campagnes (Avril 2016 et Avril 2017) ont une qualité bonne à admissible. Ces eaux généralement acceptables pour l'irrigation des cultures tolérantes aux sels sur des sols bien drainés, mais nécessitent un contrôle préalable de l'évolution de la salinité.

Recommandations

La dégradation continue de la qualité des eaux souterraines de la région d'oued Djendjen, impose une décision urgente pour assurer une meilleure gestion et protection de ces ressources. On suggère de :

- ✓ Mettre en veille un réseau de surveillance pour la qualité des eaux de surface et souterraines ;
- ✓ Diminuer le débit de pompage au niveau de la partie aval de la plaine pour arrêter l'abaissement du niveau piézométrique donc l'avancement du biseau salé.
- ✓ Arrêter le déversement direct des rejets industriels au niveau de l'oued Djendjen et réaliser des stations de traitement des eaux usées.
- ✓ Informer et sensibiliser les agriculteurs sur l'utilisation des engrais et des pesticides pour limiter la pollution agricole.

Enfin, la prévention reste le seul moyen efficace pour lutter contre la pollution des eaux et pour la protection des ressources en eau.

Références Bibliographiques

Bagnouls H et Gaussen F., 1953 : Saison sèche et indice xéothermique, *Bulletin de la société d'histoire naturelle de Toulouse*, 88, pp 193-240.

Behekite, M., 2005 : Etude hydrogéologique de la plaine alluviale d'oued El Nil. *Mémoire. D'ingénieur, Univ. Constantine*, 181p.

Bekkouche M.F., 2016 : Caractéristiques hydrochimiques des sources Thermales de l'extrême Nord-Est Algérien. *Thèse de Doctorat En Science, Univ. Badji Mokhtar-Annaba*. 149p.

Belghiti M.L., Chahlaoui A., Bengoumi D et El Moustaine R., 2013 : Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quadernaire dans la région de Meknès (Maroc), *Larhyss Journal*, n°14, Juin 2013, pp. 21-36.

Ben Aakame R., 2015 : Caractérisation hydro-chimique, toxicologique et évaluation des risques sanitaires des eaux souterraines de la région de Sidi-Kacem (Maroc), *Thèse de Doctorat, Univ. Rabat, Maroc*, 202p.

Berkane S., 2011 : Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique de la plaine alluviale d'oued El Nil, Wilaya de Jijel. *Mémoire d'ingénieur, Univ. Constantine*, 192p.

Bouali H et Namous A., 2015 : Caractérisation hydrodynamique et hydrochimique de la plaine alluviale d'oued Nil (wilaya de Jijel, NE Algérien). *Mémoire de fin d'études, Master Académique en Géologie, Univ. Jijel*, 117p.

Boucenna F., 2009 : Cartographie par les différentes méthodes de vulnérabilité à la pollution d'une nappe côtière cas de la plaine alluviale de l'oued Djendjen (Jijel, Nord-Est Algerien). *Mémoire de magister, Univ. Annaba*, 117p.

Boudoukhana H., 2008. Impacts des margines sur les eaux d'oued Bouchtata, wilaya de Skikda, *Mémoire de Magister, Univ. Skikda*, 101p.

Boufekane A., 2005 : Cartographie de la vulnérabilité à la pollution de l'aquifère alluvionnaire de la plaine de l'oued Djendjen et modélisation de la nappe. *Mémoire de Magister. Univ. Alger*.

Bourouba M., 1994 : Bilan comparatif de l'érosion actuelle dans deux bassins versants de l'Algérie orientale: La Seybouse et le Djendjen. *Méditerranée* 80, 3 / 4, pp 31-39.

Brémondet V., 1973 : Paramètres de la qualité des eaux, *Ministère de la protection de la nature et de l'environnement, SPEPE, Paris*, 179 p.

Chapman D., Kimstach V., 1996: Selection of water quality variables. Water quality assessments: à guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, *Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon, London*, pp 59-126.

Compagne Générale de Géophysique (C.G.G), 1971 ; Carte de la résistance transversale C.P.G.F ; (Compagnie de Prospection en Géophysique de France) Relation entre les deux systèmes aquifères dans le bassin versant de l'oued Djendjen - Coupes géo électriques (d'après CPGF, 1975) de la plaine alluviale de l'oued Djendjen.

Dali, N., 2009 : Ressources et gestion intégrée des eaux du bassin de Gareat El Tarf (W. Khenchela). *Mémoire de Magister Univ. Annaba, 155p*

Durand-Delga M., 1955 : Etude géologique de l'Ouest de la chaîne numidique. *Thèse d'Etat. Paris, France, 533 p.*

Durand Delga M., 1969 : Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie. *Publ. Serv. Carte géol. Algérie, Bull. n°39, pp 89-131.*

Durozoy G., (1954): Esquisse géologique au 1/50 000 de la région de Jijel. *Carte lithologique du bassin versant de l'oued Djendjen.*

Ehrmann F., 1921 : Un important mouvement orogénique au début du Crétacé dans la Kabylie des bords. *C.I. Bruxelles, 172p.*

Fenezi B ; Derradji F ; 2013 : la qualité chimique des eaux du bassin versant d'Oued Djendjen (wilaya de Jijel) ; *Proceeding du séminaire International sur l'hydrogéologie et l'environnement SIHE 2013 Ouargla. 440p.*

Ficheur M. E., 1971: Carte géologique de la région de JIJEL.

Gilli É, Mangan C et Mudry J, 2008 : Hydrogéologie ; Objets, méthodes, applications. *2^{ème} Edition, Dunod, Paris, 340p.*

Gouaidia, L., 2008 : Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico –chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de Meskiana Nord-Est algérien. *Thèse de Doctorat, Univ. Annaba, Algérie, 199p.*

Groupement SOFRECO., 2012 : Situation en matière de mobilisation de la ressource souterraine arrêlée à Février, *Etude d'actualisation du PNE Algérie, 5p.*

Hammadi D et Harendi H, 2015 : Gestion intégrée des ressources en eaux dans le bassin versant de l'oued El Nil (Jijel, NE Algérien). *Mémoire de Master, option ; eau et environnement, Univ. Jijel, 94p.*

Houha, B., 2007 : Etude du fonctionnement hydro chimique et salin d'un bassin semi-aride (Remila –Khenchela). *Thèse de Doctorat, Univ. Annaba, 165p.*

Jouin A., 2003 : De la haie aux bocages. Organisation, dynamique et gestion. *Éditions de l'INRA (Coll. « Espaces ruraux »), Paris, 435 p.*

Karaouet A et Bourafa S., 2016 : Caractérisation Hydrogéologique et Hydrochimique de la nappe alluviale de l'oued Djendjen (Jijel-NE Algérien). *Mémoire de Master. Univ. Jijel, 78P.*

Later L et Terki T., 1998 : Contribution à l'étude hydrogéologique et modélisation de la plaine de l'oued Djendjen (wilaya de Jijel), *Mémoire d'ingénieur, Univ. Constantine, 176 p.*

Nouayti N, Khattach D et Hilali M., 2015 : Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc), *J.Mater. Environ. Sci. 6 (4), pp 1068-1081.*

Potelon J.L, et Zysman J ., 1998 : Le guide des analyses de l'eau potable, *Lettre du Cadre Territorial, S.E.P.T, Cedex, 136p.*

Ramade F., (1984). Elément d'écologie – écologie fondamentale. Ed Mac Graw -Hill. Paris.

Raoult J.F., 1974. Géologie du centre numidique (Nord du Constantinois. Algérie), *Mémoire. Soc. Géol. France, 53, pp 121-163.*

Roche ., 1963: hydrologie de surfaces. *Gauthier-villars et ORSTOM, Paris, France, 430p*

Segalen ., 1964: le fer dans les sols, *office de la recherche scientifique et technique Outre-Mer, O. R. S. T. O. M, Paris, 156p.*

Strahler., 1964: Quantitative géomorphologie of drainage basins and channel networks. *In Chow, V.T. (ed.) Handbook of Applied Hydrology, McGraw-Hill, New York, pp 439-476.*

Thorntwaite C.W., 1955: The water balance. *Laboratory of Climatology, Publication in Climatology. n°8, 104 p.*

US EPA, "Environmental Protection Agency (1985) - DRASTIC: a standard system for evaluating ground water potential using hydrogeological settings, Ada, Oklahoma" WA/EPA Series; 163 p.

Vila J.M., 1980. La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. *Thèse D'état, Paris VI.*

Résumé : La plaine alluviale d'oued Djendjen située dans la partie aval du bassin versant, elle fait partie des plaines côtières de la région de Jijel et renferme une nappe libre contenue dans des alluvions Quaternaires. Dans la région d'étude les eaux souterraines représentent la principale ressource en eau. Le développement industriel et surtout agricole, associé à la croissance démographique dégrade de plus en plus la qualité de ces ressources. Cette étude effectuée afin de suivre l'évolution hydrodynamique et hydrochimique de la nappe, et d'étudier leur influence sur la qualité des eaux de la région. Pour cet objectif, une étude comparative a été réalisée entre deux campagnes des mesures piézométriques et d'analyses chimiques (Avril 2016 et Avril 2017). L'examen des cartes piézométriques montre une baisse significative du niveau piézométrique durant la deuxième campagne (Avril 2017) dépassant les huit (8) mètres notamment dans la partie Aval de plaine, sous l'effet de la surexploitation et les faibles précipitations au cours de l'année 2017. D'une manière générale, la plupart des concentrations des différents éléments chimiques connaissant une diminution durant la deuxième campagne, probablement liée aux faibles quantités des pluies précipitées durant l'année 2017, qui sont responsables aux dissolutions des formations géologiques. Cela confirme l'origine géologique de la plus part des éléments chimiques dans les eaux de notre région.

Mots clés : nappe alluviale, hydrochimie, piézométrie, Oued Djendjen, Jijel.

ملخص: يقع السهل الرسوبي لواد جنجن في المنطقة السفلية للحوض الهيدروغرافي ويمثل جزء من السهول الساحلية لولاية جيجل، في هذه المنطقة تعتبر المياه الجوفية المصدر الرئيسي للتزود بالمياه، إلا أنه في السنوات الأخيرة و نظرا للتنمية الصناعية وخاصة الزراعية المرتبطة بالنمو السكاني ساهمت في تدهور نوعية هذه الموارد. أجريت هذه الدراسة لغرض مراقبة تطور منسوب المياه الجوفية و تركيبها الكيميائية ودراسة تأثيرهما على نوعية المياه في المنطقة. لهذا الغرض تم إجراء دراسة مقارنة بين نتائج القياسات البيزومترية و التحاليل الكيميائية للحملات المنجزة خلال شهري أبريل 2016 وأبريل 2017. إن دراسة الخرائط البيزومترية يظهر انخفاض كبير لمستوى المياه الجوفية خلال الحملة الثانية (أبريل 2017) بما يزيد على ثمانية (8) أمتار وخصوصا في منطقة المصب، و هذا بسبب الاستغلال المفرط وقلة الأمطار المتساقطة خلال عام 2017. عموما معظم تراكيز مختلف العناصر الكيميائية عرف انخفاضا محسوسا خلال الحملة الثانية (أبريل 2017)، ربما يرجع ذلك إلى الكميات القليلة للأمطار المتساقطة خلال هذه السنة و المسؤولة على تحلل مختلف التكوينات الجيولوجية، وهذا ما يؤكد الأصل الجيولوجي لمعظم العناصر الكيميائية في مياه المنطقة.

الكلمات المفتاحية : المياه الجوفية ، الهيدروكيمياء ، المستوى البيزومتري، واد جنجن، جيجل.

Abstract : The alluvial plain of Wadi Djendjen is situated in the downstream part of the catchment, it is part of the coastal plains of the Jijel region and form a unconfined aquifer contained in Quaternary alluvium. In this region, the groundwater is the main source of the water. The industrial and especially agricultural development associated with demographic growth deteriorates more and more the quality of these resources. This study was carried out in order to follow the hydrodynamic and hydrochemical evolution of the groundwater and to study their influence on the quality of the waters of the region. For this purpose a comparative study was carried out between two campaigns of piezometric measurements and chemical analyzes (April 2016 and April 2017). The study of piezometric maps shows a significant decrease in the piezometric level during the second campaign (April 2017) exceeding eight (8) meters, particularly in the downstream part of the plain, due to overexploitation and low precipitation during the year 2017. Generally, most concentrations of the various chemical elements known to have decreased during the second season, probably due to low quantities of rainfall precipitated during the year 2017, which are responsible for the dissolutions of the geological formations. This confirms the geological origin of most chemical elements in the waters of our region.

Keywords: Alluvial aquifer, hydrochemistry, piezometry, wadi Djendjen, Jijel.