

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 يحي 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 والحياة
قسم: علوم الأرض والكون

Mémoire de fin d'études

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

Option : Hydrogéologie

Thème

Mise en évidence d'une pollution anthropique des eaux
souterraines de la nappe alluviale d'oued Djendjen
(Jijel, NE Algérie).

Membres de Jury

Président : DJORFI Samir

Examineur : RIHIA Djamel

Encadrant : ZAHY Faouzi

Co-encadrant : DROUCHE Abdelmalek

Présenté par :

BENAZZEDIN Abir

MEZITI Bochra

Année Universitaire 2019-2020

Numéro d'ordre (bibliothèque) :

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes parents « Abdelkader et Zeineb » je souhaite seulement que dieu me les

gardes ;

A mes sœurs : Hadjila, Amel

A mes frères : Fauaz, Fares, walid, Sami

Aux enfants de mes sœurs : Ahmed Abdelrahman, Assil, Anfal

Aux enfants de mes frères : Oussama, Abdelilah, Amir, barae, Ghofran, Ahmed

A mon fiancé : Kherbache Boulaid

A ma grande famille Benazzedin

A mon binôme : Bochra

A tous mes collègues de promotion de master et mes amis, spécialement : Wissam,

Sawssen

, Rabha

A tous ceux qui j'aime et qui m'aiment.

Dédie par ***Abir***

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

*A mes parents « Saddek et Halima » je souhaite seulement que dieu me les
garden ;*

A mes sœurs : Fella, Khadija, Roukja, Nadia

A mes frères : Haroune et Fawzi

*Aux enfants de mes sœurs : Achraf, Layan, Racha, Imane, Réheme, Amjed,
Ritaj, Tassnim, Mohamed Yassine*

A ma grande famille Meziti

A mon binôme : Abir

*A tous mes collègues de promotion de master et mes amis, spécialement : Wissam,
Sawssen, Rabha*

A tous ceux qui j'aime et qui m'aiment.

Dédie par **Bochra**

Remerciement

Au terme de ce travail, je tiens à remercier tout d'abord Dieu le tout puissant qui nous a donné l'aide, la patience et le courage pour accomplir ce travail, malgré les difficultés que nous avons rencontrées du fait de la pandémie de COVID-19

Nous tenons à remercier vivement notre enseignants encadreur :

Mr ZAHI Faouzi et Mr DROUICHE Abdelmalek pour l'orientation, la confiance, la patience qui a constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être menée à bon port.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nos remerciements aussi vont à la direction de service agricole (DSA) de la wilaya de Jijel de nous avoir fourni les données pour compléter notre travail.

Enfin, Nous tenons à remercier toute personne qui nous a aidé ou encouragé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire et tous les enseignants de la spécialité «Hydrogéologie» et les étudiants de notre spécialité.

Abir & Bochra

Résumé

L'objectif principal de ce travail est d'identifier l'impact des activités humaines sur la qualité des eaux souterraines de la plaine alluviale d'oued Djendjen, qui est située au Nord-Est de l'Algérie et fait partie des plaines côtières de la région de Jijel. Elle occupe la partie aval de son bassin versant et renferme une nappe libre contenue dans des alluvions Quaternaires.

Notre étude est basée sur les résultats d'une campagne, de mesures piézométriques et d'analyse chimique des eaux, effectuées durant le mois d'Avril 2016. L'examen de la carte piézométrique nous a permis de comprendre les fonctionnements du système aquifère et ses relations avec son environnement. Elle montre que l'écoulement suit parfaitement la topographie de la plaine où le sens d'écoulement principal est de direction Sud-Nord, avec une convergente des lignes de courant vers un axe de drainage privilégié au rive droite d'oued Djendjen.

L'interprétation des données analytiques montre une forte minéralisation des eaux enregistrée sur la rive droite de l'oued et dans la partie aval de la plaine (1500 – 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), avec la dominance de deux faciès chimiques : chloruré et bicarbonaté calcique. Enfin, les eaux de la plaine sont dures à très dures ($\text{TH} > 32^\circ\text{F}$), mais elles ont une qualité bonne à admissible pour l'irrigation.

Mots clés : activités anthropiques, eaux souterraines, hydrochimie, piézométrie, Oued Djendjen, Jijel.

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو التعرف على تأثير الأنشطة البشرية على جودة المياه الجوفية في سهل وادي جن جن، الواقع في الشمال الشرقي للجزائر، وهو جزء من السهول الساحلية لمنطقة جيجل. والذي يحتل الجزء السفلي من الحوض الهيدروغرافي ويحتوي على طبقة مياه جوفية حرة تتكون من تكوينات رسوبية.

تستند هذه الدراسة إلى نتائج القياسات البيزومترية والتحليل الكيميائية للمياه الجوفية التي أجريت خلال شهر أبريل 2016. إن دراسة الخريطة البيزومترية يسمح لنا أن نفهم طريقة حركة المياه الجوفية وعلاقتها مع العوامل الخارجية، هذه الأخيرة تظهر لنا بان تدفق المياه الجوفية يتبع تضاريس السهل حيث اتجاه التدفق الرئيسي من الجنوب نحو الشمال، تقريبا مع نفس اتجاه جريان وادي جن جن مع تقارب لاتجاه الجريان نحو الضفة اليمنى من وادي جن جن. إن دراسة نتائج التحليل الكيميائية والفيزيوكيميائية التي أجريناها أوضحت أن القيم العالية للتمعدن (1500-2000 مكروسيمنس/ سم) سجلت في الضفة اليمنى للوادي وكذلك في المنطقة الشمالية للسهل، مع هيمنة نوعين من السحنات الكيميائية: بيكربونات الكالسيوم وكلور الكالسيوم. أخيراً، تعتبر مياه سهل وادي جن جن ثقيلة (غنية بالكالسيوم والمغنيزيوم)، ولكن تبقى جودتها جيدة إلى مقبولة بالنسبة للري.

الكلمات المفتاحية: الأنشطة البشرية، المياه الجوفية، الهيدروكيمياء، المستوى البيزومتري، وادي جن جن، جيجل.

Abstract

The main objective of this work is to identify the impact of human activities on the groundwater quality in the alluvial plain of Wadi Djendjen, which is located in the North-East of Algeria and is part of the coastal plains of the Jijel region, it occupies the downstream part of its watershed and contains a free water table contained in Quaternary alluvium.

This study is based on the results of a campaign, piezometric measurements and chemical analysis of water, carried out during the month of April 2016. The review of the piezometric map allowed us to understand the hydrodynamics of the aquifer system and its relationship with its environment. It shows that the flow perfectly follows the topography of the plain where the main flow direction is South-North direction with convergent current lines to a privileged axis of drainage in right bank of wadi Djendjen.

The interpretation of the analytical results shows a high mineralization of the water recorded on the right bank of wadi Djedjen and in the downstream part of the plain (1500 - 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), with the dominance of two chemical facies: chloride and calcium bicarbonate. Finally, plain water is hard to very hard ($\text{TH} > 32^\circ \text{F}$), but it has good to acceptable quality for irrigation.

Keywords: anthropogenic activities, groundwater, hydrochemistry, piezometry, wadi Djendjen, Jijel.

Sommaire

Dédicace
Remerciements
Résumé
 ملخص
Abstract
Sommaire
Liste des Tableaux
Liste des Figures

	Introduction Générale.....	1
	<i>Chapitre I : Cadre Physico-géographique</i>	
	Introduction.....	2
1.	Situation et présentation de la région de Jijel	2
2.	Les caractéristiques physiques du bassin versant d'oued Djendjen.....	4
3.	Les caractéristiques du relief du bassin versant d'oued Djendjen.....	5
4.	Les caractéristiques géométriques du bassin versant d'oued Djendjen.....	5
5.	Réseau Hydrographique.....	6
6.	Occupation du sol.....	8
7.	La plaine d'oued Djendjen	8
	Conclusion.....	9
	<i>Chapitre II : Contexte Géologique</i>	
	Introduction.....	10
1.	Géologie régionale.....	10
2.	Géologie du bassin versant d'oued Djendjen.....	11
2.1.	Les formations de l'Ere Primaire.....	12
2.2.	Les formations de l'Ere Secondaire.....	12
2.3.	Les formations de l'Ere Tertiaire.....	12
2.4.	Les formations d'Ere Quaternaire.....	13
3.	Géologie de la plaine de l'oued Djendjen.....	13
	Conclusion.....	15
	<i>Chapitre III : Caractéristiques Hydroclimatiques</i>	
	Introduction.....	16
1.	Station Météorologique	16
2.	Type de climat dans la région de Jijel	16
3.	Facteurs climatiques	16
3.1.	Les précipitations	16
3.1.1.	Précipitations moyennes mensuelles.....	17
3.1.2.	Précipitations moyennes saisonnières	18
3.1.3.	Précipitations moyennes annuelles	19
3.2.	La température	20
3.2.1.	Températures moyennes mensuelles	20
3.3.	Type de climat (diagramme Ombro-thermique).....	21
4.	Bilan hydrique du bassin versant d'oued Djendjen.....	21
4.1.	L'évapotranspiration.....	22
4.1.1.	L'évapotranspiration potentielle (ETP)	22
4.1.2.	Evapotranspiration réelle (ETR)	22
4.1.3.	Estimation du ruissellement (R).....	23

4.1.4.	Estimation de l'infiltration	24
5.	Bilan hydrique selon la formule de C.W Thornthwaite	24
5.1.	Interprétation du bilan Hydrique	25
	Conclusion	26
Chapitre IV : Caractéristiques Hydrogéologiques		
	Introduction	27
1.	Les différents systèmes aquifères	27
1.1.	Système aquifère amont	27
1.2.	Système aquifère aval	27
2.	La plaine alluviale d'oued Djendjen	27
3.	La coupe hydrogéologique	28
4.	Etude piézométrique	29
4.1.	Inventaire des points d'eau	30
4.2.	Interprétation de la carte piézométrique	31
	Conclusion	32
Chapitre V : Occupation de la plaine		
	Introduction	33
1.	Pollution anthropique	33
1.1.	La pollution agricole	33
1.1.1.	Les pesticides	34
1.1.2.	Les engrais	34
1.2.	La pollution industrielle	35
1.3.	La pollution domestiques et urbaines	36
2.	Etude de cas dans la plaine alluvial d'oued Djendjen	36
2.1.	Occupation de la plaine	36
2.1.1.	Agglomérations	36
2.1.2.	Ressources forestières	37
2.1.3.	Industrie	37
2.1.4.	Agriculture	39
2.2.	L'irrigation dans la plaine alluviale d'oued Djendjen	40
2.2.1.	Evolution des superficies irriguées	40
2.2.2.	Superficies irriguées en fonction des ouvrages d'eau	41
2.2.3.	Répartitions des superficies irriguées par système d'irrigation	42
2.2.4.	Répartition de la superficie irriguée par type de culture	43
2.3.	Utilisation des engrais	44
2.4.	Les produits phytosanitaires	45
	Conclusion	47
Chapitre VI : Etude Hydrochimique		
	Introduction	48
1.	Inventaire des points de prélèvement	48
2.	Caractérisation physico-chimique des eaux	49
2.1.	Faciès hydrochimiques	49
2.2.	Paramètres physico-chimiques	51
2.2.1.	La température	51
2.2.2.	Le potentiel hydrogène (pH)	52
2.2.3.	Conductivité électrique	52
2.2.4.	Les cations	54
2.2.4.1.	Le calcium (Ca ²⁺)	54

2.2.4.2.	Le Magnésium (Mg^{2+}).....	54
2.2.4.3.	Le Sodium et le Potassium (Na^+ et K^+) :.....	55
2.2.5.	Les anions.....	57
2.2.5.1.	Les chlorures (Cl^-)	57
2.2.5.2.	Les sulfates (SO_4^{2-})	57
2.2.5.3.	Les bicarbonates (HCO_3^-)	58
2.2.6.	Les éléments chimiques indicateurs de la pollution.....	59
2.2.6.1.	Nitrates (NO_3^-)	59
2.2.6.2.	Nitrites (NO_2^-)	60
2.2.6.3.	Ammonium (NH_4^+).....	61
2.2.6.4.	Phosphates (PO_4^-)	61
2.2.6.5.	Fer (Fe)	62
3.	Qualité des eaux.....	63
4.	Aptitude des eaux à l'irrigation.....	64
4.1.	Classification des eaux en fonction du SAR	65
	Conclusion.....	67
	Conclusion Générale et Recommandations.....	68
	Références Bibliographiques	

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 :	Coordonnées Géographiques des stations d'Achouat.....	16
Tab. 04 :	Précipitations moyennes mensuelles à la station de l'Achouat (1988- 2015).....	17
Tab. 05 :	Précipitations saisonnières à la station d'Achouat.....	18
Tab. 06 :	Températures moyennes mensuelles de la station Achouat (1988-2015).....	20
Tab. 07 :	Evapotranspiration potentielle selon la méthode de Thornthwaite.....	22
Tab. 08 :	Evapotranspiration réelle selon la formule de Turc.....	23
Tab. 09 :	Evapotranspiration réelle selon la formule de Coutagne.....	23
Tab. 10 :	Résultats des ruissellements pour la station d'Achouat.....	24
Tab. 11 :	Résultats de l'infiltration pour la station d'Achouat.....	24
Tab. 12 :	Résultats du bilan hydrique selon Thornthwaite dans la station d'Achouat.....	25
Tab. 13 :	Les différentes entreprises dans la plaine d'oued Djendjen.....	38
Tab. 14 :	Type et quantité des engrais utilisés dans la plaine alluviale d'oued Djendjen.....	44
Tab. 15 :	Utilisation des produits phytosanitaires dans la plaine alluviale d'oued Djendjen....	46
Tab. 16 :	Classification des eaux en fonction de la conductivité selon les normes algériennes.	53
Tab. 17 :	Classes d'eau en fonction de la dureté totale.....	63
Tab. 18 :	Classification des eaux de la plaine d'oued Djendjen en fonction de la dureté totale	63
Tab. 19 :	Classification des eaux d'irrigation selon la méthode de Richards.....	65

Liste des Figures

Figure	Titre	Page
Fig.01 :	Situation géographique de la plaine d'oued Djendjen.....	2
Fig.02 :	Situation du 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 :	Rapports structuraux entre les différentes unités de la chaîne des Maghrébides	11
Fig.06 :	Carte géologique du bassin versant d'oued Djendjen	11
Fig.07 :	Carte géologique de la plaine d'oued Djendjen	14
Fig.08 :	Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel	17
Fig.09 :	Précipitations moyennes mensuelles à la station d'Achouat (1988- 2015).....	18
Fig.10 :	Précipitations moyennes saisonnières à la station d'Achouat (1988- 2015).....	19
Fig.11 :	Précipitations moyenne annuelles de la station d'Achouat (1988-2015).....	19
Fig.12 :	Températures moyennes mensuelles à la station d'Achouat (1988- 2015).....	20
Fig.13 :	Digramme Ombro-thermique à la station d'Achouat (1988-2015).....	21
Fig.14 :	Bilan d'eau de la station d'Achouat selon Thornthwaite.....	26
Fig.15 :	Positionnement de la coupe hydrogéologique dans la plaine d'oued Djendjen.....	28
Fig.16 :	Coupe Hydrogéologique (Nord-Sud) dans la plaine d'oued Djendjen.....	29
Fig.17 :	Carte d'inventaire des points d'eaux dans la plaine alluviale.....	30
Fig.18 :	Carte piézométrique de la nappe alluviale d'oued Djendjen (Avril 2016).....	31
Fig.19 :	Carte d'occupation de sol de la plaine alluviale d'oued Djendjen.....	39
Fig.20 :	Evolution des superficies irriguées dans la plaine d'oued Djendjen (2012-2019)....	41
Fig.21 :	Superficies irriguées on fonction du type d'ouvrage d'eau.....	42
Fig.22 :	Répartition des superficies irriguées en fonction du système d'irrigation.....	43
Fig.23 :	Répartition des superficies irriguées par type de culture.....	44
Fig.24 :	Type et quantité des engrais utilisés dans la plaine d'oued Djendjen.....	45
Fig.25 :	Utilisation des produits phytosanitaires dans la plaine d'oued Djendjen.....	46
Fig.26 :	Inventaire des points de prélèvement sur la carte d'occupation du sol.....	49
Fig.27 :	Faciès chimiques des eaux selon le diagramme de Piper.....	50
Fig.28 :	Température des eaux souterraines de la plaine d'oued Djendjen.....	51
Fig.29 :	Potentiel d'hydrogène des eaux souterraines de la plaine d'oued Djendjen.....	52
Fig.30 :	La Conductivité électrique des eaux souterraines de la plaine d'oued Djendjen.....	53
Fig.31 :	Teneurs en Calcium des eaux souterraines de la plaine d'oued Djendjen	54
Fig.32 :	Concentrations de magnésium des eaux souterraines d'oued Djendjen.....	55
Fig.33 :	Concentrations de sodium des eaux souterraines d'oued Djendjen.....	56
Fig.34 :	Teneurs en potassium des eaux souterraines de la plaine d'oued Djendjen.....	56
Fig.35 :	Teneurs en chlorures dans les eaux souterraines de la plaine d'oued Djendjen.....	57
Fig.36 :	Teneurs en sulfates dans les eaux souterraines de la plaine d'oued Djendjen.....	58
Fig.37 :	Teneurs en bicarbonates dans les eaux souterraines de plaine d'oued Djendjen.....	59
Fig.38 :	Teneurs en nitrates dans les eaux souterraines de la plaine d'oued Djendjen.....	60
Fig.39 :	Teneurs en nitrites dans les eaux souterraines de la plaine d'oued Djendjen.....	60
Fig.40 :	Teneurs en ammonium des eaux souterraines dans la plaine d'oued Djendjen.....	61
Fig.41 :	Teneurs en phosphates des eaux souterraines de la plaine d'oued Djendjen.....	62
Fig.42 :	Teneurs en Fer des eaux souterraines de la plaine d'oued Djendjen.....	62
Fig.43 :	La dureté totale des eaux souterraines de la plaine d'oued Djendjen.....	64
Fig.44 :	Diagramme de classification des eaux d'irrigation en fonction du SAR.....	66

Introduction

Générale

Introduction générale

Partout dans le monde, la pression sur les ressources en eau et en particulier les ressources en eau souterraines est à la hausse, principalement en raison de la demande croissante et de la dégradation de la qualité de l'eau. Cette dernière est due à l'expansion urbaine, au développement industriel et à l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture, autant de facteurs qui conduisent à la pollution anthropique.

En Algérie, la croissance démographique dans les dernières années a conduit à un développement dans divers domaines, notamment industriel et agricole, ce développement a entraîné une pollution des sources d'eau. La wilaya 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 (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, elle s'étend sur une superficie de 45,7 km².

L'objectif de la présente étude est de déterminer les effets des activités anthropiques sur la qualité des eaux souterraines de la nappe alluviale, pour cela nous avons établis une carte d'occupation du sol et une synthèse des données recueillies auprès de la direction des services agricoles (DSA) de la wilaya de Jijel afin d'identifier l'origine de la pollution. Ensuite, une étude hydrogéologique et hydrochimique à propos des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines. Pour arriver à cet objectif, Notre travail est composé de six chapitres :

- Les trois premiers chapitres se rapportent à une présentation générale de la zone d'étude, en définissant les caractéristiques géomorphologiques et morpho-métriques du bassin versant. Suivi par une étude géologique et hydro-climatologique.
- Le 4^{ème} chapitre prend d'identifier les structures hydrogéologiques du réservoir et tirer l'allure générale des écoulements des eaux souterraines par l'interprétation de la carte piézométrique.
- Le 5^{ème} chapitre concerne la détermination des différentes origines de pollution et ses conséquences sur les ressources en eau par l'établissement d'une carte d'occupation de sol et une synthèse des données recueillies auprès de la direction des services agricoles (DSA) de la wilaya de Jijel.
- Le 6^{ème} chapitre concerne une étude hydrochimique portée sur l'interprétation des analyses physico-chimiques des eaux souterraines afin d'évaluer l'impact des activités anthropiques sur les ressources en eau dans la plaine d'oued Djendjen par les différents effluents industriels, agricoles et domestiques.

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

Chapitre I :

Cadre Physico-

Géographique

Introduction

La qualité des ressources en eaux dans la plaine d'oued Djendjen est fonction de l'environnement physico-géographique caractérisant la région. A ce propos, ce chapitre a été consacré à la présentation de notre secteur d'étude. Il a été dédié afin d'offrir un aperçu général sur la plaine et son bassin versant, ceci dans le but de comprendre l'état et le fonctionnement hydrochimique des eaux souterraines de la plaine.

1. Situation et 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 2.398,69 Km² avec 11 Daïras et 28 Communes (*fig. 01*), elle est limitée au Nord par la mer Méditerranée, au Sud par la wilaya de Mila, au Sud - Est par la wilaya de Constantine et au Sud - Ouest par la wilaya de Sétif. La wilaya de Skikda délimite la partie Est, tandis que celle de Bejaia borde la partie Ouest.

Le bassin versant d'oued Djendjen fait partie de la wilaya de Jijel, où la plaine alluviale d'oued Djendjen occupe sa partie aval à environ 9 km à l'Est de la ville de Jijel et s'étend sur une superficie de 45,7 km².

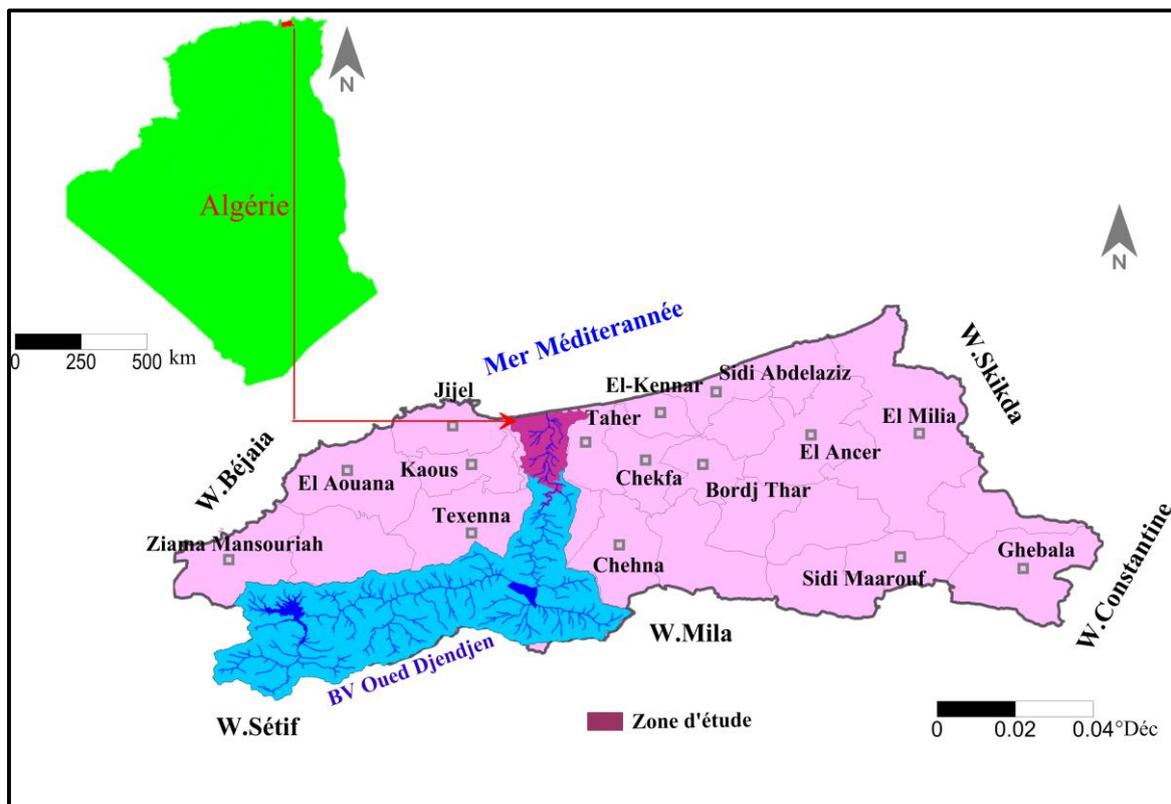


Figure 01 : Situation géographique de la plaine d'oued Djendjen

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), avec le bassin côtiers Jijel (0303) qui borde la partie Nord-Ouest (fig.02).

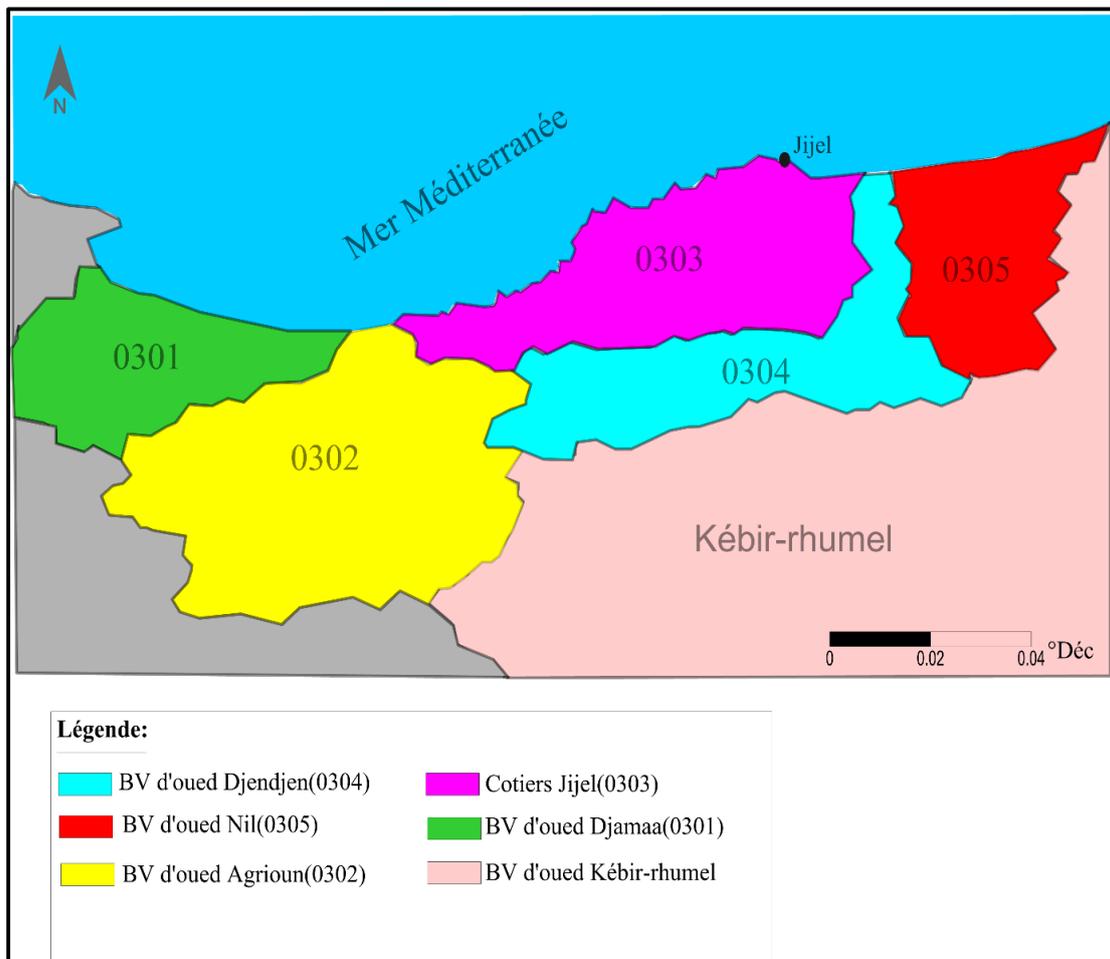


Figure 02 : Situation du bassin versant d'oued Djendjen (in Hammadi et Harendi, 2015)

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 (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. 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, 2005) représentés dans le tableau suivant (tab.01) :

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

Amont		Aval		
				
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, cet étage s'étend des gorges d'El Emir Abdelkader à l'embouchure de l'oued Djendjen.
Superficie	130 Km²	184 Km²	169 Km²	47 km²

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 m à 1992 m. A l'arrière 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).

- *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.
- *Les paramètres morpho métriques* : indice de pente global $I_g = 20\%$, montre un fort ruissellement (in Karaouat et Bourafa, 2016).

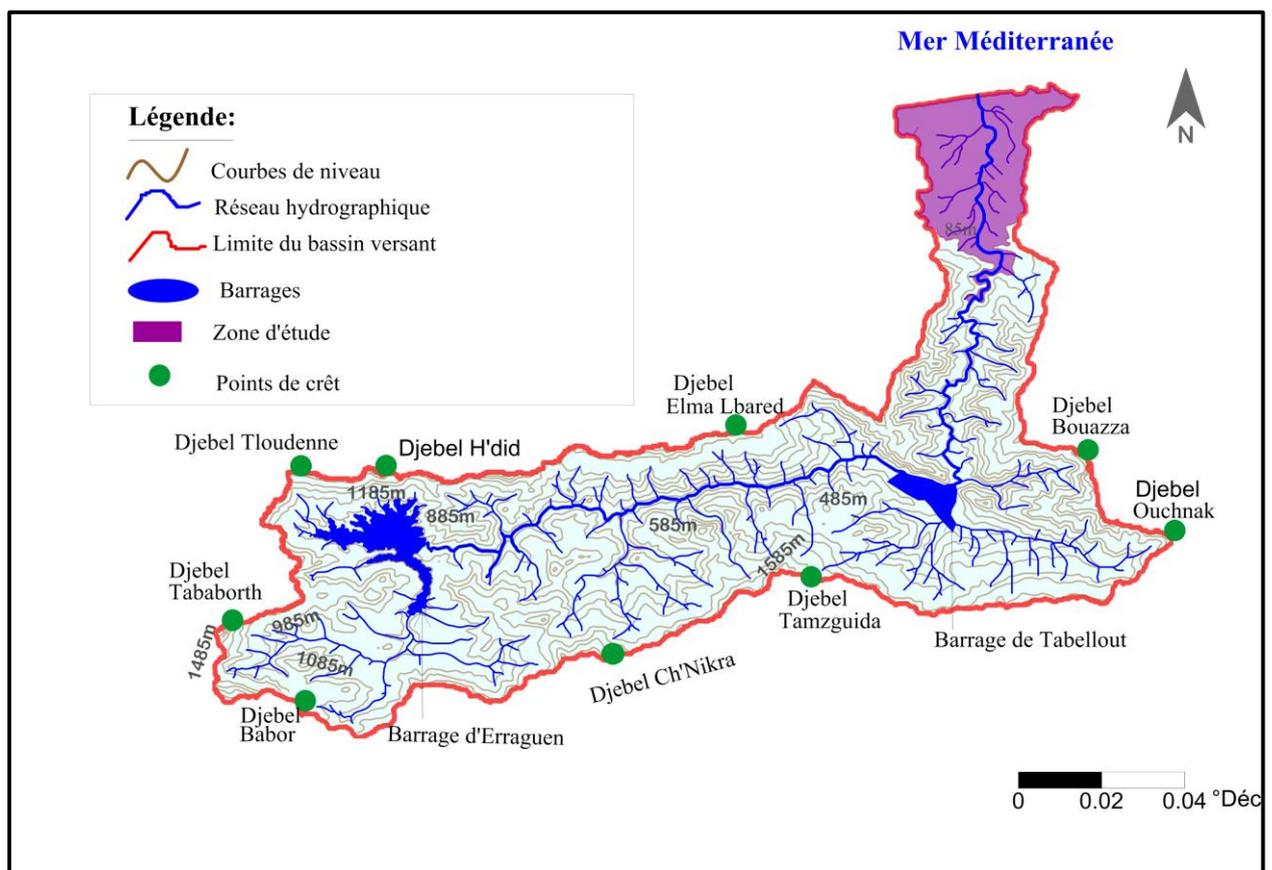


Figure 03 : Carte hypsométrique du bassin versant d'oued Djendjen

4. 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 :

- *Périmètre (P)* : le périmètre de notre bassin versant est de l'ordre de 222,03 Km.

- *Superficie (S)* : la superficie d'un bassin versant est généralement déterminée soit à l'aide d'outil informatique, soit de manière approchée suivant un principe de quadrillage, la superficie est la plus importante des caractéristiques, dans le cas de notre bassin la superficie est de l'ordre de 530,4Km².
- *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.

- *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 : $L * l = A$ et $2 * (L + l) = P$.

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.

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

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

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.

5. Réseau Hydrographique

Un réseau hydrographique est un organisme d'écoulement d'importance très variable, formé par un ensemble d'éléments linéaires hiérarchisés. La structure de chenaux assure le drainage superficiel, permanent au temporaire, d'un bassin versant ou d'une région donnée.

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 Srou, 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).

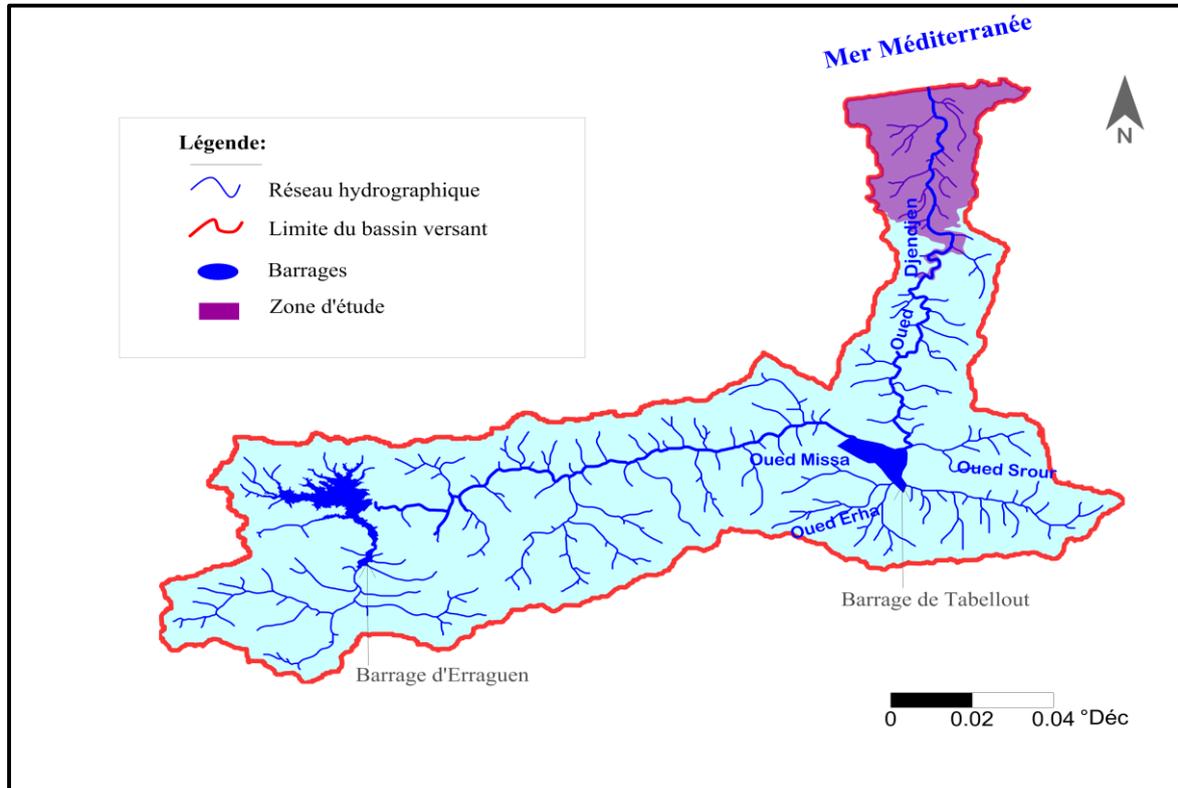


Figure 04 : Réseau hydrographique du bassin versant d'oued Djendjen

- *Longueur des cours d'eau principaux* : la longueur des cours d'eau principaux est estimée Par 90 Km.

- *Le temps de concentration Tc* : des eaux sur un bassin versant se définit comme le maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier. Ce paramètre s'exprime en heures et il est estimé par la

formule de *Giandotti* qui s'écrit :
$$Tc = \frac{4\sqrt{S} + 1,5 Lp}{0,8\sqrt{Hm}}$$

Avec : Tc : Temps de concentration.

Lp =90 km : Longueur du talweg principal.

S = 530,4 km² : Superficie du bassin.

Hm = Hmoy - H min= 739,123 (m).

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

- *La vitesse d'écoulement de l'eau (V)* : Elle est donnée par l'expression suivante : $V = L / Tc$

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

Tc : 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.**

6. Occupation du sol

- *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.

- *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.

- *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
	Chênes 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

7. 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 (*Karaouet et Bourafa, 2016*).

Conclusion

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 45,7 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, reçoit des précipitations annuelles moyennes de l'ordre de 1016,72 mm. La plaine de Djendjen 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. Elle 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 où la géométrie du réservoir se présente sous la forme d'une gouttière allongée de Sud vers le Nord.

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'autres 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.

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 telliens (*Delga, 1969 et Vila, 1980*). Sur l'ensemble de ces unités géologiques repose en discordance la nappe numidienne, et les formations post-nappes (*fig.05*).

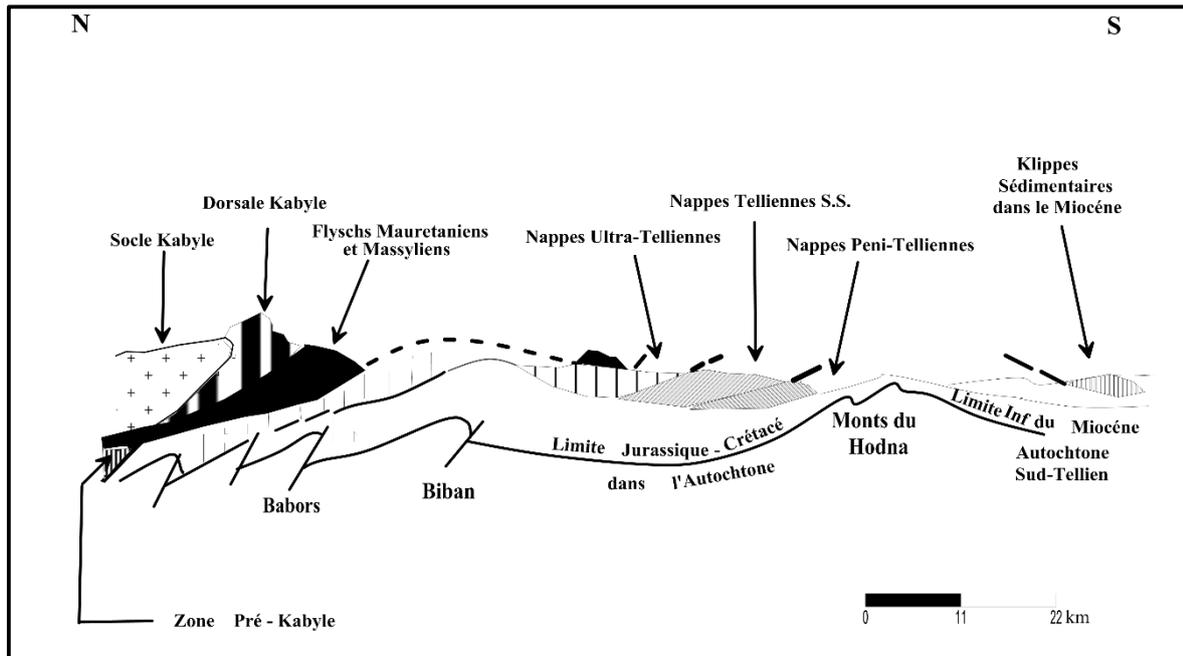


Figure 05 : Rapports structuraux entre les différentes unités de la chaîne des Maghrébides (Delga, 1969).

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.06). L'ensemble de la série stratigraphique dans le bassin versant est représenté dans l'ordre géologique suivant :

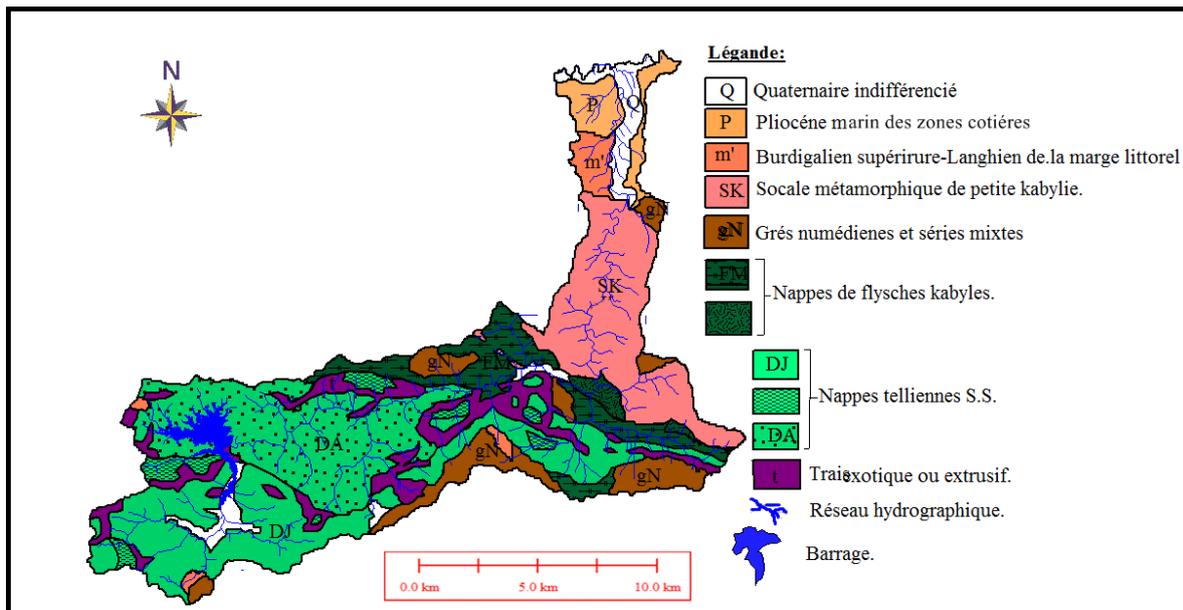


Figure 6 : Carte géologique du bassin versant d'oued Djendjen

(D'après Vila, 1978 ; in Boulfrakh et Lakehel, 2017).

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 (1921)*, on retrouve les terrains métamorphiques suivants : un complexe des 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]* : calcaires rubanés à silex et parfois dolomitismes à la base.
- *Jurassique terminal [Js]* : schistes rouges et 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]* : poudingues, marnes schisteuses et 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

Les formations d'Ere Quaternaire 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 (*Ficheur 1971 et Durozoy 1954*), permet de distinguer de bas en haut la litho-stratigraphie suivante (*fig.07*) :

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.07).

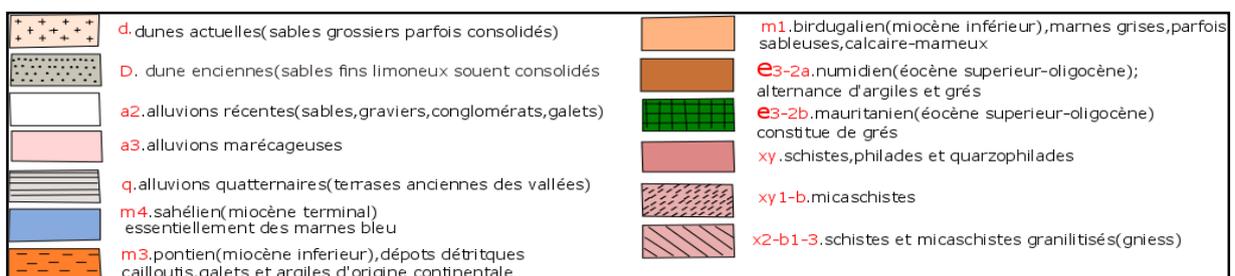
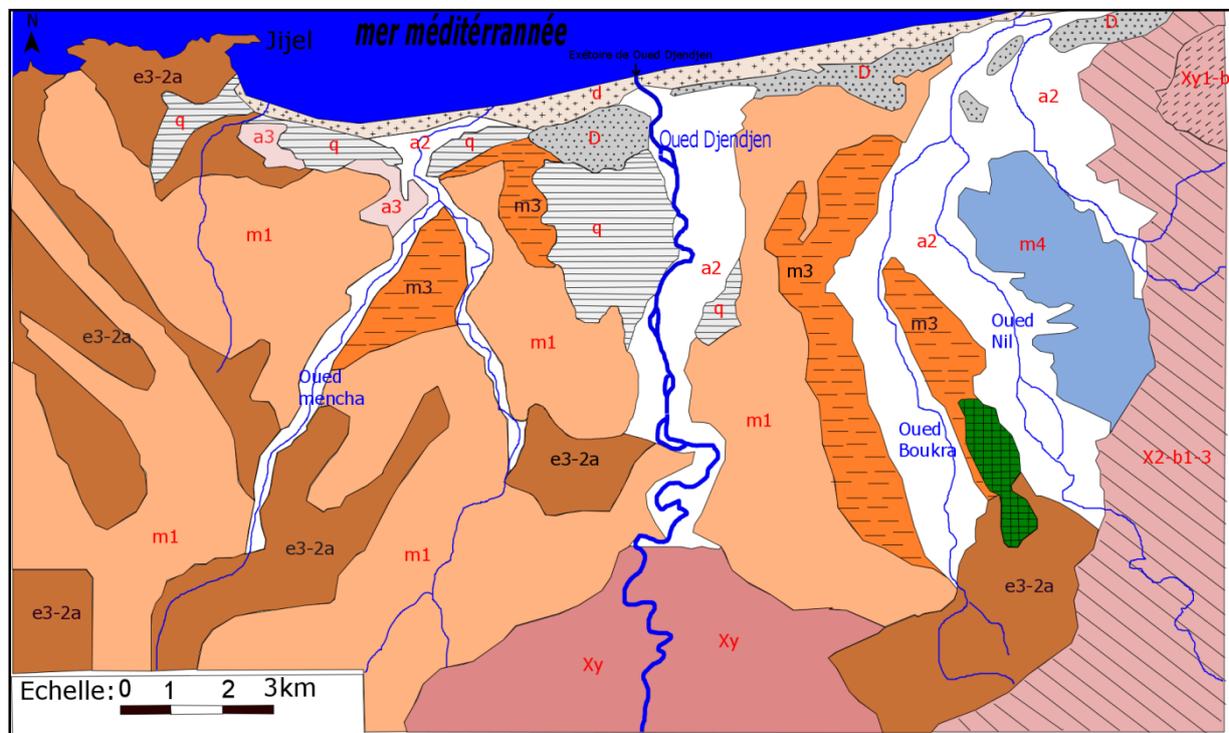


Figure 07 : Carte géologique de la plaine d'oued Djendjen (Ficheur, 1971, in Karaouet et Bourafa, 2016)

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 qui constituent le réservoir principal de la plaine. En effet, les différents forages réalisés 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

Hydroclimatologiques

Introduction

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. Station Météorologique

Les données climatiques utilisées dans ce chapitre sont celles disponibles sur une période d'observation de 27 ans (1988-2015) pour la station de l'Achouat, cette dernière située dans la partie aval du bassin versant d'oued Djendjen, (*tab.03*).

Tableau 03 : Coordonnées Géographiques des stations d'Achouat.

Station	Coordonnées Lambert		Altitude	Données disponibles	Période d'observation
	X (km)	Y (km)			
Achouat	783,472	392,836	6 m	P (mm) et T (°C)	(1988-2015)

2. Type de climat dans la région de Jijel

La wilaya de Jijel est soumise à un climat 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, 2011*).

3. 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 conséquence, 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.08), 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 (in Boulfrakh et Lakehel, 2017).

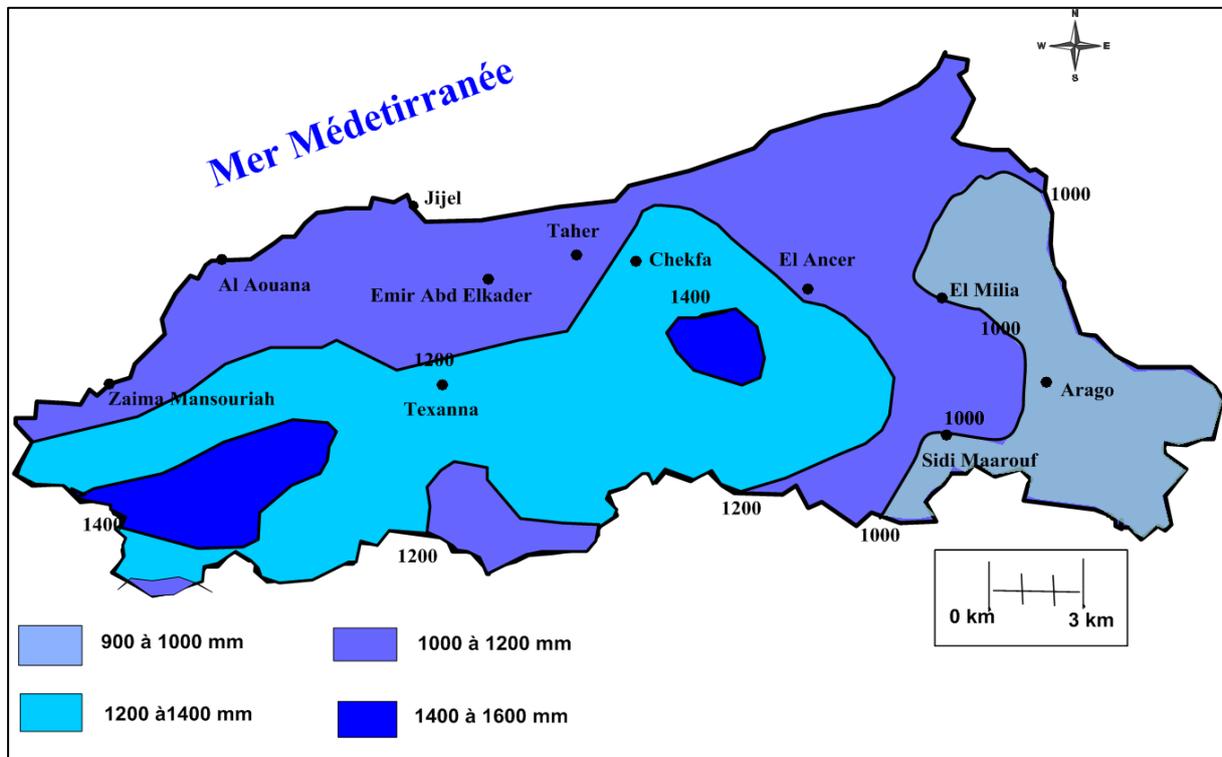


Figure 08 : Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel (ANRH, 1993)

3.1.1. Précipitations moyennes mensuelles

La précipitation moyenne mensuelle est la moyenne des précipitations de chaque mois à partir des données climatiques de la station d'Achouat (tab.04) :

Tableau 04 : Précipitations moyennes mensuelles à la station de l'Achouat (1988- 2015).

Station	Sep	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Août	Année
Achouat	62,85	92,49	159,56	192,3	133,25	121,04	87,52	82,72	50,49	15,78	3	15,72	1016,72

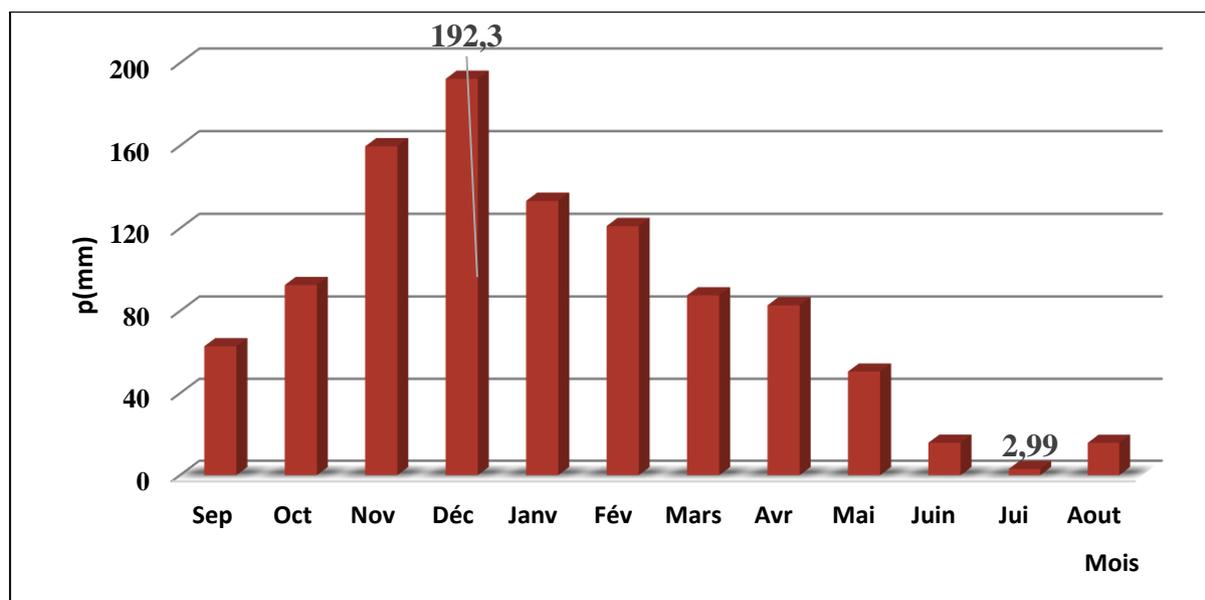


Figure 09 : Précipitations moyennes mensuelles à la station d'Achouat (1988- 2015)

A partir l'histogramme ci-dessus (fig.09) qui représente l'évolution des précipitations moyennes mensuelles de la station d'Achouat (1988-2015), on remarque au mois de décembre la pluviométrie cumulée jusqu'à une valeur maximale de 192,3 mm donc c'est le mois la plus pluvieux. Par contre la valeur minimale est enregistrée au mois de juillet avec une valeur de 2,99 mm donc il est défini comme le mois le plus sec.

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 05 : Précipitations saisonnières à la station d'Achouat.

Saisons Stations	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Achouat	104,96 mm	148,86 mm	73,57 mm	11,50 mm

Les résultats du tableau 05 et la figure 10 montre que l'hiver est considéré comme la saison la plus pluvieuse avec une valeur totale de 148,86 mm soit un pourcentage de 44%. Par contre, la saison estivale est la plus sèche avec une valeur de 11,50 mm soit un pourcentage de 3%.

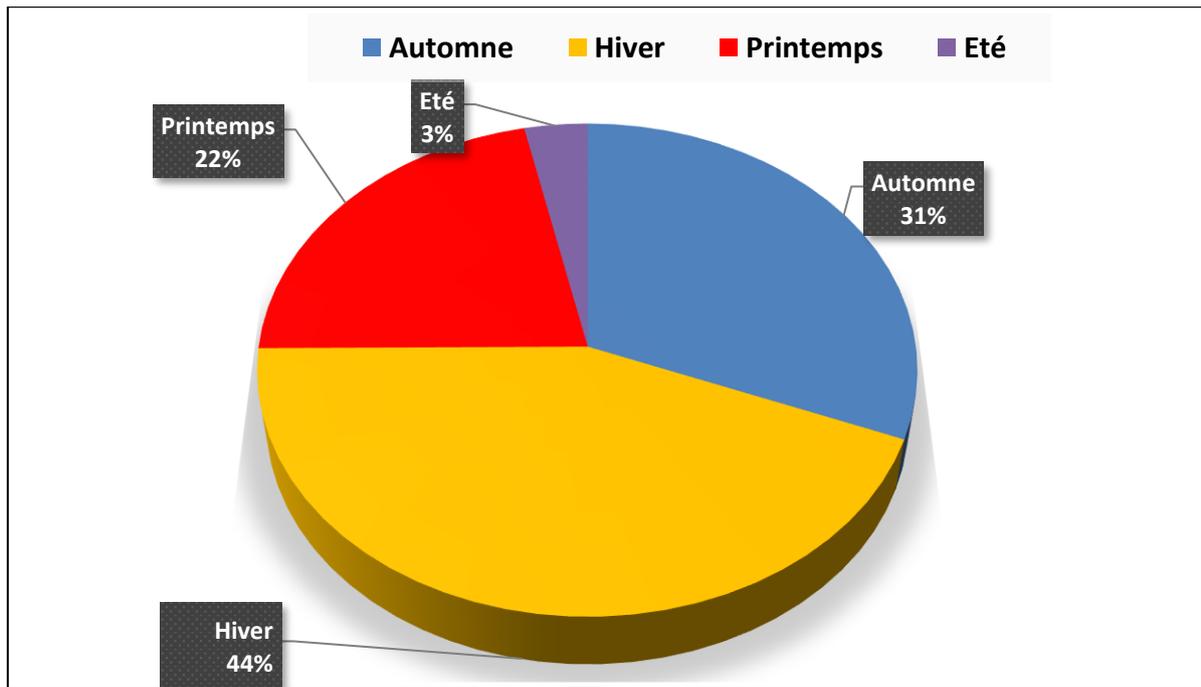


Figure 10 : Précipitations moyennes saisonnières à la station d'Achouat (1988-2015)

3.1.3. Précipitations moyennes annuelles

Sur un cycle de précipitations de vingt-sept ans (1988-2015) pour la station d'Achouat, nous allons examiner la variation des précipitations observées. L'analyse de l'histogramme de précipitations annuelles (*fig. 11*) montre que l'année la plus pluvieuse ou bien la plus arrosée est l'année (2002-2003) avec 1429,4 mm. Par contre l'année la moins pluvieuse est (1996-1997) avec 647,2 mm.

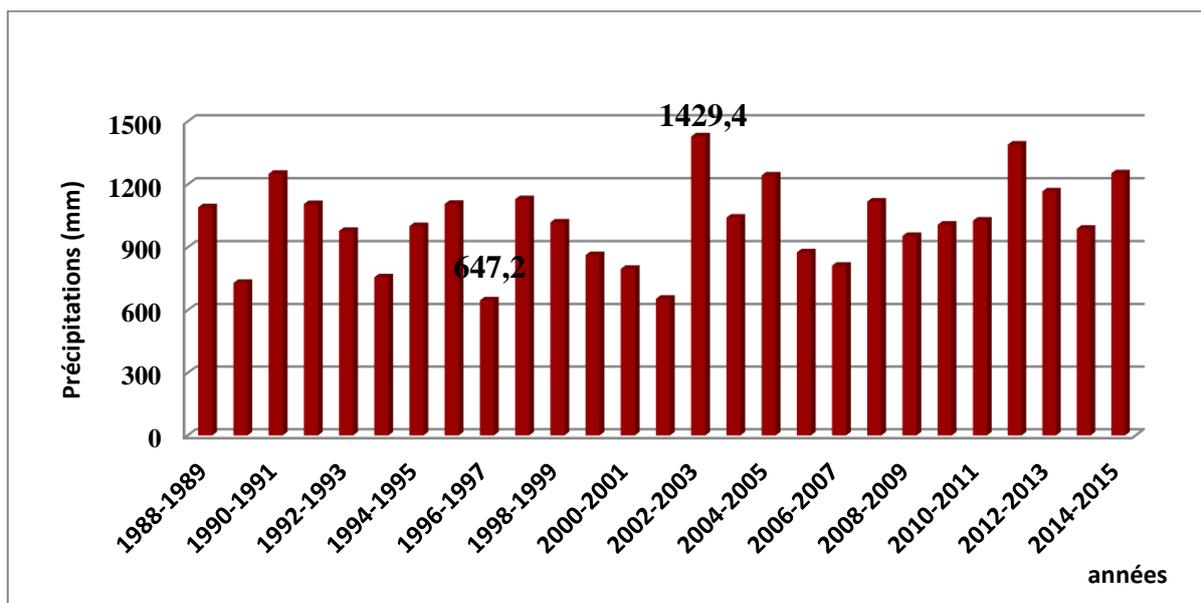


Figure 11 : Précipitations moyenne annuelles de la station d'Achouat (1988-2015)

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.06) contient les températures moyennes mensuelles au niveau de la station Achouat (1988-2015).

Tableau 06 : Températures moyennes mensuelles de la station Achouat (1988-2015).

	Station	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Août
T (°C)	Achouat	23,67	20,5	16,01	12,73	11,58	11,7	13,62	15,61	18,42	22,54	25,37	26,21

A partir du tableau 06 et la figure12 qui représentent les résultats des variations mensuelles des températures dans la station d'Achouat, on remarque que la valeur minimale enregistrée au mois de Janvier (11,58 °C) donc ce mois est plus froide. Par contre le mois d'Aout ; la température augmente jusqu'à une valeur maximale de 26,21 °C donc c'est un mois très chaud.

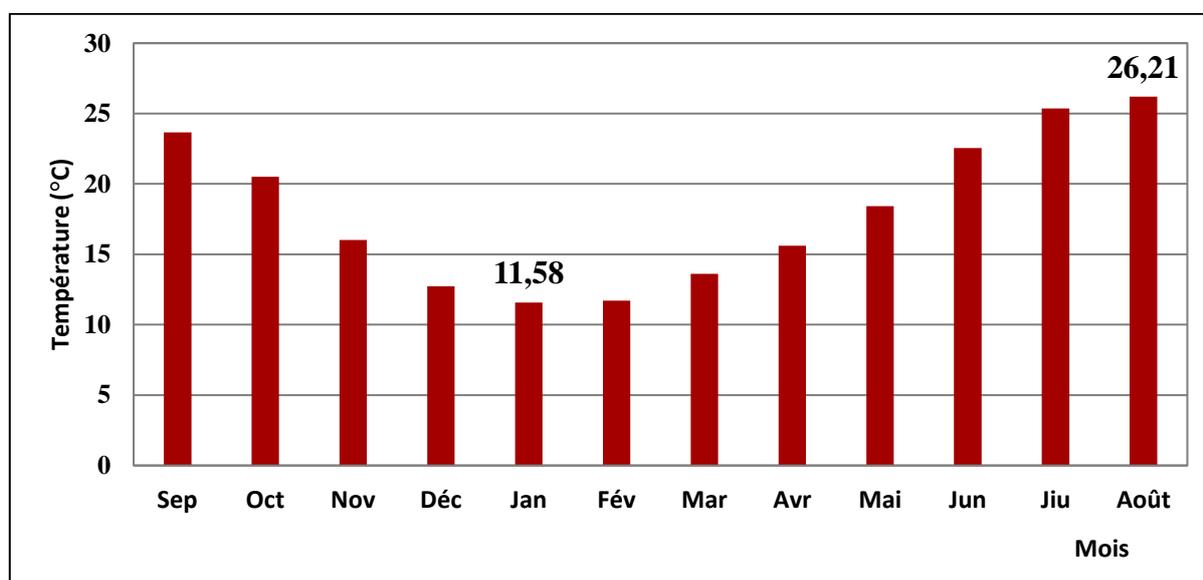


Figure 12 : Températures moyennes mensuelles à la station d'Achouat (1988- 2015)

3.3. Type de climat (diagramme Ombro-thermique)

La courbe pluvio-thermique (combinaison de deux paramètres climatiques ; les températures 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. Par une application sur la station d'Achouat, on remarque la succession de deux saisons, la première dite saison humide se caractérisant par une pluviométrie forte et une température faible, elle s'étend du début d'Octobre jusqu'au mois de Mai. Au cours de cette période, les précipitations sont importantes augmentent jusqu'à une valeur maximale de 192,3 mm. La saison sèche occupe le reste des mois, c'est-à-dire du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre (*fig.13*). Au cours de cette période les températures atteignent jusqu'à une valeur maximale de 26,21 C° au mois d'Aout.

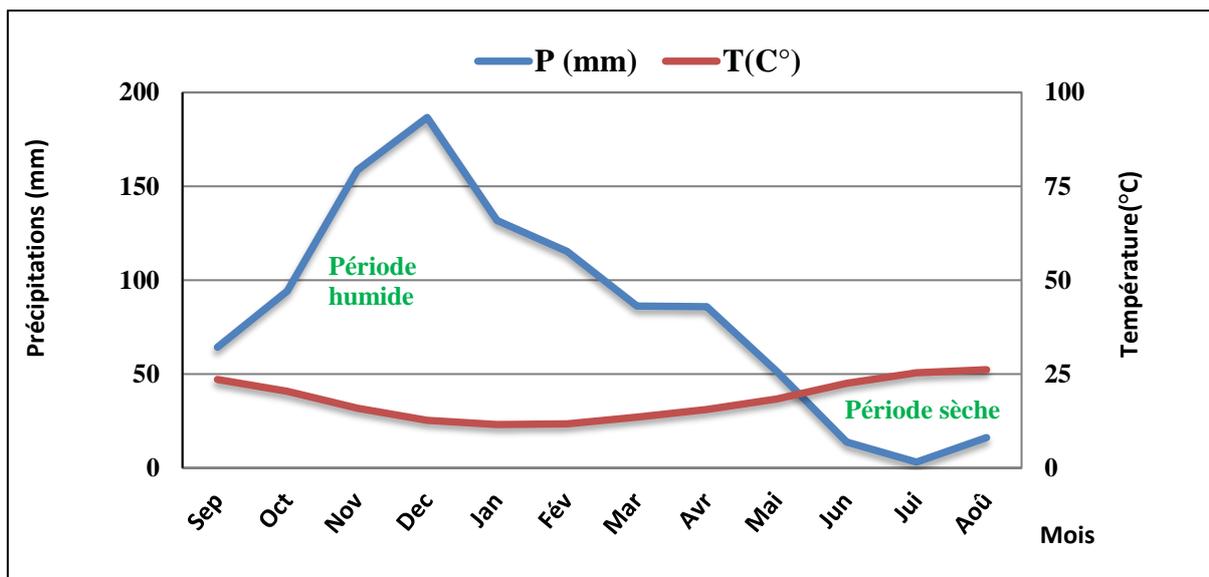


Figure 13 : Diagramme Ombro-thermique à la station d'Achouat (1988-2015)

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.07*).

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

$$\text{Avec: } \mathbf{I} = \sum i; i = (T/5)^{1,514} \quad \mathbf{a} = 1, 61 (I / 100) + 0, 5. \quad \mathbf{ETP} = 16 (10T/I)^a$$

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

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

Tableau 07 : Evapotranspiration potentielle selon la méthode de Thornthwaite.

Mois	P (mm)	T(C°)	i	ETP (mm)	K	ETPc (mm)
Sep	62,85	23,67	10,52	105,67	1,03	108,84
Oct	92,49	20,5	8,46	80,53	0,97	78,1
Nov	159,56	16,01	5,82	50,47	0,86	43,40
Déc	192,3	12,73	4,11	32,72	0,84	27,48
Jan	133,25	11,58	3,56	27,36	0,87	23,8
Fév	121,04	11,7	3,62	27,90	0,85	23,71
Mars	87,52	13,62	4,55	37,18	1,03	38,30
Avr	82,72	15,61	5,6	48,11	1,1	52,92
Mai	50,49	18,42	7,2	65,79	1,21	79,60
Jun	15,78	22,54	9,77	96,34	1,22	117,53
Jui	3	25,37	11,69	120,48	1,24	149,40
Aout	15,72	26,21	12,28	128,13	1,16	148,63
Station de l'Achouat a=1,89 I=87,18						

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, donnée par:

a. 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.08) :

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

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 08 : Evapotranspiration réelle selon la formule de Turc.

Station	P (mm)	T (°C)	L	ETR (mm)	ETR %
Achouat	1016,72	18,16	1053,44	545,11	53,61%

b. Formule de Coutagne

Cette formule permet de calculer l'évapotranspiration réelle en faisant intervenir la pluviométrie et la température (tab.09).

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

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.09) :

Tableau 09 : Evapotranspiration réelle selon la formule de Coutagne.

Station	T (°C)	λ	$1/8\lambda$	P (m)	$1/2\lambda$	ETR (m)	ETR %
Achouat	18,16	0,30	0,41	1,01	1,66	0,70	69,7

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 (m³) par la surface du bassin (m²). Elle est calculée selon deux formules :

- Formule de Tixeront-Berkaloff :

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

- Formule de Tixeront-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.10*), où la quantité d'eau ruisselée selon la station d'Achouat est estimée par 34,46 % des eaux précipitées.

Tableau 10 : Résultats des ruissellements pour la station d'Achouat.

Station	P (mm)	R (mm)	R%
Achouat	1016,72	350,33	34,46 %

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.11*) :

$$P = R + I + ETR.$$

Avec :

P : Précipitations moyennes mensuelles (mm).

R : Ruissellement (mm).

I : Infiltration en (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle (mm).

Tableau 11 : Résultats de l'infiltration pour la station d'Achouat.

Station	P (mm)	R (mm)	ETR (mm)	I (mm)	I %
Achouat	1016,72	350,33	545,11	121,28	11,92 %

D'après les résultats du *tableau 11*, la quantité d'eau infiltrée à la station d'Achouat présente 11,92 % des eaux précipitées.

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.12*) ; 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).

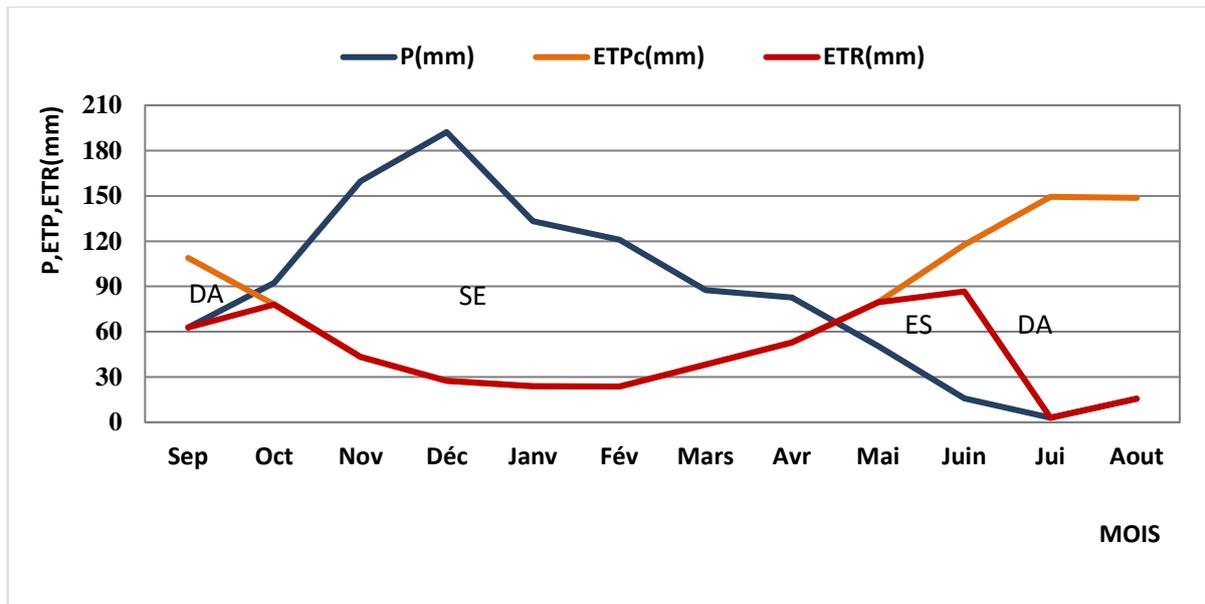
Tableau 12 : Résultats du bilan hydrique selon Thornthwaite dans la station d'Achouat.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Total
P (mm)	62,85	92,49	159,56	192,3	133,25	121,04	87,52	82,72	50,49	15,78	3	15,72	1016,72
ETPc (mm)	108,84	78,1	43,4	27,48	23,8	23,71	38,3	52,92	79,6	117,53	149,4	148,63	891,71
ETR (mm)	62,85	78,1	43,4	27,48	23,8	23,71	38,3	52,92	79,6	86,68	3	15,72	535,55
RFU	0	14,39	100	100	100	100	100	100	70,9	0	0	0	/
EXC	0	0	30,55	164,82	109,45	97,33	49,22	29,8	0	0	0	0	481,17
Da	45,99	0	0	0	0	0	0	0	0	30,85	146,41	132,91	356,16

5.1. Interprétation du bilan Hydrique

D'après la figure 14, on peut remarquer qu'il existe deux périodes qu'elles viennent successivement en fonction de la variation des précipitations (P), l'évapotranspiration 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 868,88 mm avec une évapotranspiration relativement faible ne dépasse pas 287,71 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 avec une quantité de 481,17 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 pas 147,84 mm, avec une forte évapotranspiration qui atteint 604 mm.



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

Figure14 : Bilan d'eau de la station d'Achouat 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 1016,72 mm avec une température moyenne annuelle de l'ordre de 18,16°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 :

Caractéristiques

Hydrogéologiques

Introduction

Afin d'éclairer le fonctionnement hydrogéologique des eaux souterraines dans la plaine d'oued Djendjen, une étude a été établie a pour but d'identifier les structures hydrogéologiques du réservoir, tirer l'allure générale des écoulements des eaux souterraines, donner une idée sur les sources d'alimentation aussi bien que les différents points de sortie des eaux.

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 45,7 Km² (*Groupement sofresco, 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*).

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.

3. 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.15), montre bien que nous sommes dans le cas d'une nappe libre, en effet les logs stratigraphiques des forages traversés par cette coupe montrent bien ce caractère libre.

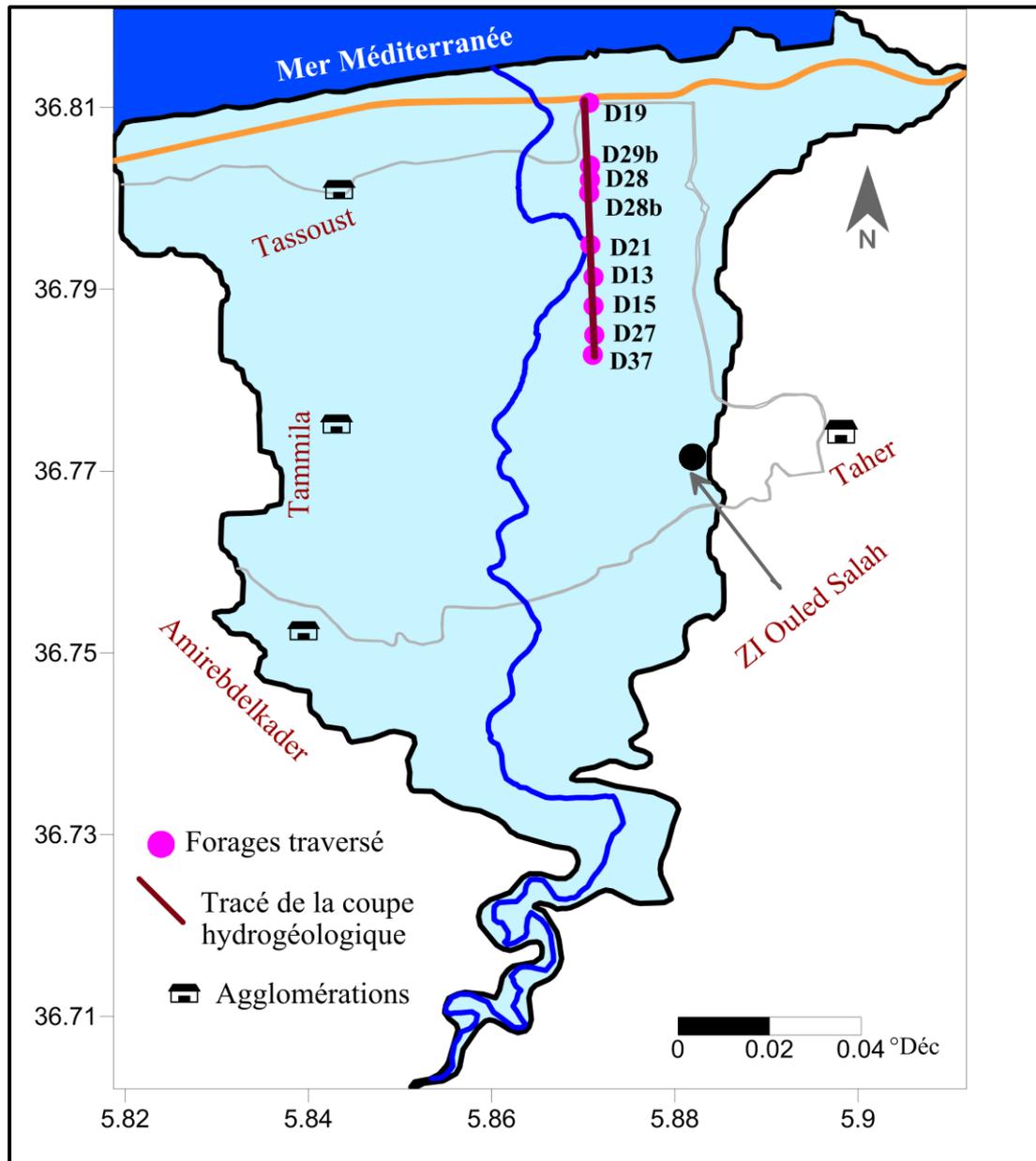


Figure 15 : Positionnement de la coupe Hydrogéologique dans la plaine d'Oued Djendjen

La coupe (fig.16) 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 (vers la centrale d'électricité d'Achouat).

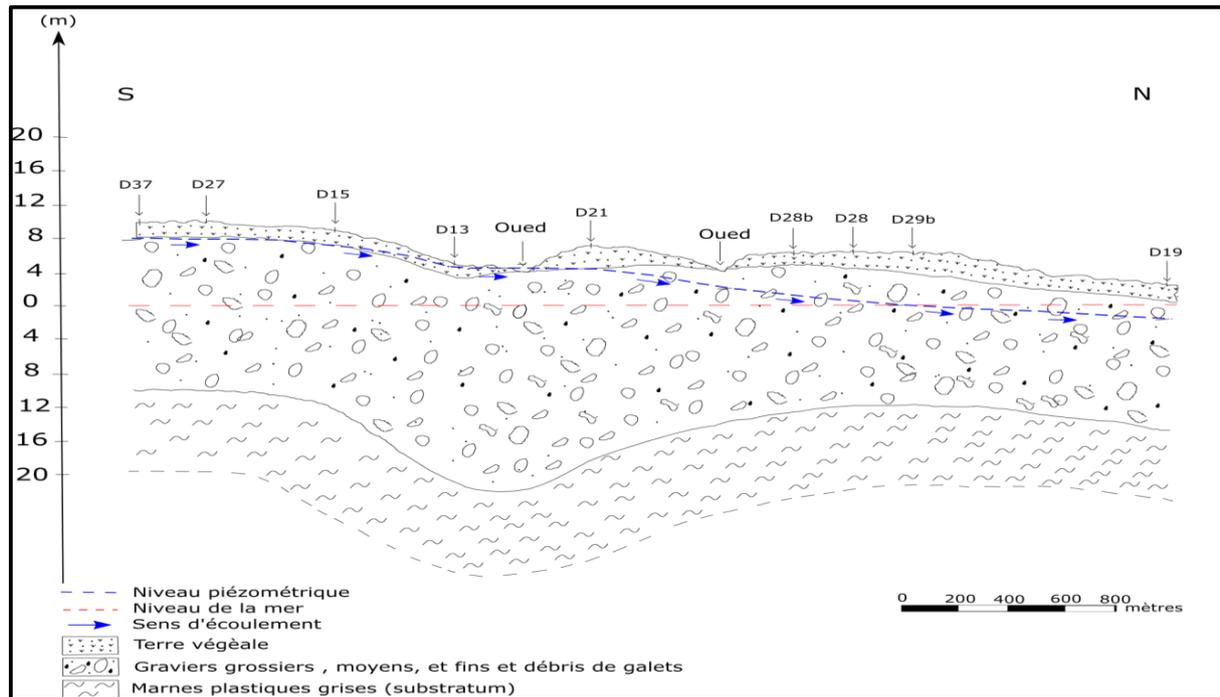


Figure 16 : Coupe Hydrogéologique (Nord-Sud) dans la plaine d'oued Djendjen (Karaouet et Bourafa, 2016).

4. 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 événements 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 cotés ou par le réseau hydrographique,

drainage d'une nappe par un vallon...etc. (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.

4.1. Inventaire des points d'eau

La zone d'étude présente un grand nombre des puits et des forages qui sont dispersés en fonction des zones urbaines et agricoles, ils sont destinés principalement à l'alimentation en eau potable et à l'irrigation.

Une campagne de mesures piézométriques a été effectuée en Avril 2016 pour vingt-neuf (29) puits et deux (02) forages étatiques pour établir la cartographie piézométrique et hydrochimique, puisque la plaine compte plus d'une centaine de puits irrégulièrement répartis. Nous avons donc été conduits à choisir les points les plus représentatifs (fig.17).

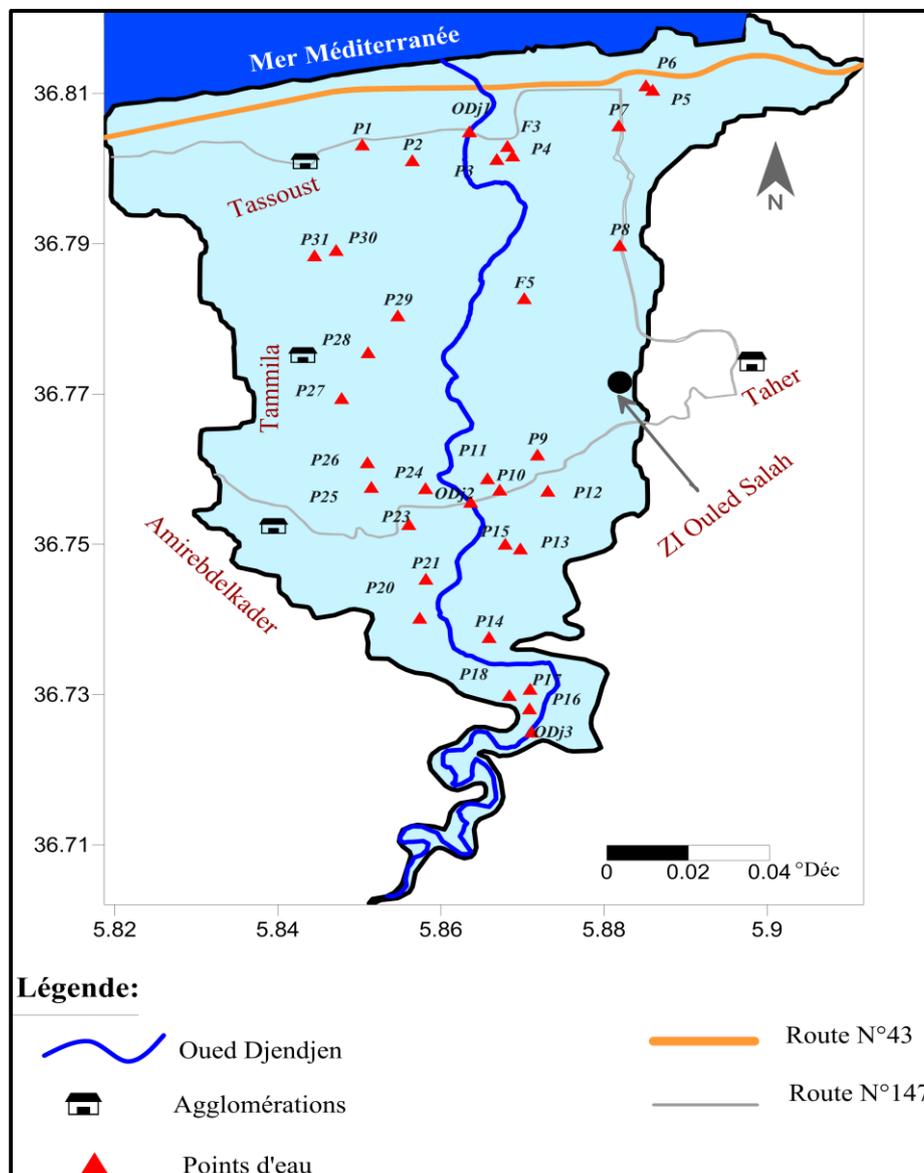


Figure 17 : Carte d'inventaire des points d'eaux dans la plaine alluviale.

4.2. Interprétation de la carte piézométrique

L'examen de la carte piézométrique d'Avril 2016 (fig.18), fait ressortir plusieurs zones d'écoulement souterrain bien distinctes :

- La partie amont de la plaine (au Sud) se distingue par des courbes isopièzes espacés avec un gradient hydraulique variant entre 0,37 au niveau de profil (AB) % et 0,42% au niveau de profil (CD), traduit une vitesse d'écoulement faible où le sens d'écoulement est orienté vers le Nord-Est où se trouve l'ancien lit de l'oued. Sur l'extrémité Sud-Ouest au Sud de la commune d'El Emir l'écoulement est orienté vers l'Est pour alimenter l'oued Djendjen.

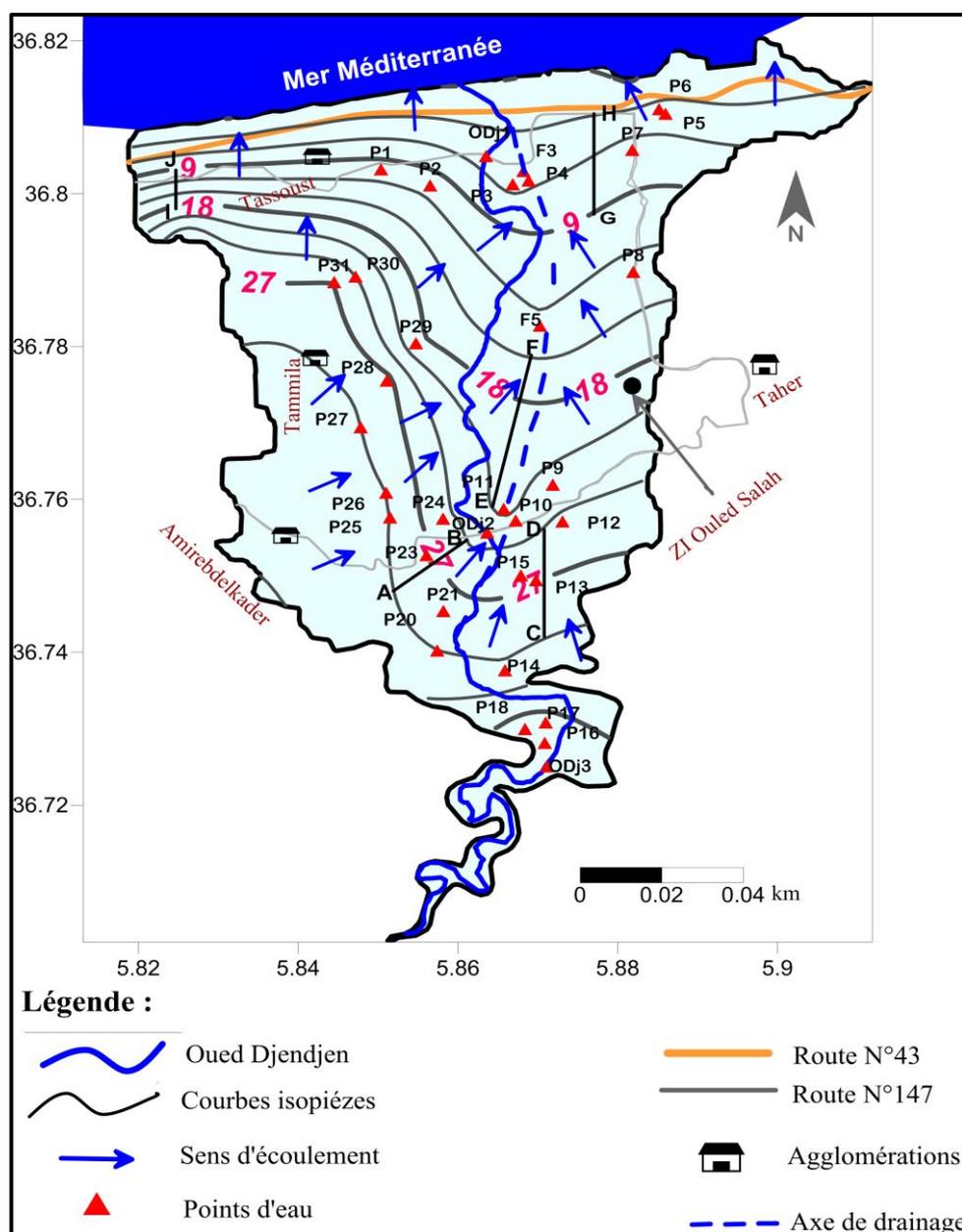


Figure 18 : Carte piézométrique de la nappe alluviale d'oued Djendjen (Avril 2016).

- Une zone médiane au milieu de la nappe située à la rive droite de l'oued, caractérisée par des isopièzes très espacés que les autres zones où la vitesse d'écoulement très faible caractérisée par un gradient d'ordre de 0,17% au niveau de profil (EF). Dans cette partie l'écoulement est convergé vers un axe de drainage.

Au Nord-Est de la plaine (Achouat) les courbes isopièzes sont bien espacées se caractérisant par un gradient hydraulique d'ordre de 0,38 % au niveau de profil (GH). Le sens d'écoulement est orienté vers la mer, alors qu'au Nord-Ouest (Tassoust) les courbes sont très serrés donc la vitesse d'écoulement est plus importante par rapport à celle du Nord-Est, avec un gradient hydraulique d'ordre de 1,60% au niveau de profil (LM), le sens d'écoulement est orienté vers le Nord (la mer).

Enfin, d'une façon 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 Compagnie Générale de Géophysique (C.G.G, 1971).

Conclusion

L'étude hydrogéologique montre que la géométrie du réservoir présente une forme gouttière allongée de Sud vers le Nord. L'observation de la carte piézométrique montre 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, Il conjoint donc le même sens que l'écoulement de surface. Le gradient hydraulique est plus ou moins variable (entre 0,1 % et 1,60 %.) ce qui traduit un changement latéral de faciès au niveau du complexe aquifère ; Sur la rive gauche, l'écoulement souterrain est dirigé vers oued Djendjen, qui collecte les eaux et assure leur drainage vers la mer. Par contre sur la rive droite, l'espacement des courbes isopièzes est plus grand traduisant un écoulement plus faible vers l'ancien lit de l'oued.

Chapitre V :

Occupation

de la plaine

Introduction

La plaine alluviale d'oued Djendjen occupe la partie aval de son bassin versant avec une superficie de 45,7 Km³, cette région a connu un essor démographique et un développement dans plusieurs domaines, notamment l'industrie et l'agriculture. Ce développement a conduit à une contamination et une pollution des ressources en eau (eau de surface et souterraine) par plusieurs types de pollution à savoir : la pollution agricole, industrielle et domestique.

Cette partie a été menée pour déterminer les différentes causes de cette pollution anthropique, ses conséquences sur les ressources en eau, ainsi son impact socio-économique. Pour atteindre cet objectif nous avons établi une carte d'occupation de sol de la plaine et par la suite une synthèse des données recueillies auprès de la direction des services agricoles (DSA) de la wilaya de Jijel pour une période de sept ans (2012-2019).

1. Pollution anthropique

La pollution est la dégradation d'un écosystème ou de la biosphère par l'introduction, généralement humaine, d'entités (physiques, chimiques ou biologiques), ou de radiations altérant le fonctionnement de cet écosystème. L'origine de cette pollution est variée et intimement liée aux activités humaines à savoir ; pollutions domestiques, industrielles et agricoles.

1.1. La pollution agricole

Les activités agricoles contribuent à la contamination chimique des ressources en eau par l'usage intensif des pesticides et des engrais. La pollution reliée aux activités agricoles a continué de prendre de l'ampleur et elle est devenue une des principales sources de polluants qui affectent la dégradation de la qualité des cours d'eau (souterrains et surfaces) et la santé humaine. À l'origine de cette dégradation, on trouve l'utilisation irrationnelle des fertilisants et des pesticides. Cette gestion déficiente des engrais et des pratiques culturales entraîne la migration de plusieurs contaminants, tels que les nitrates, les micro-organismes et les pesticides vers les ressources en eau. Aujourd'hui, ces contaminants sont détectés dans la plupart des eaux potables situées en région agricole.

Il est important de souligner qu'une grande partie de la population vivant dans les zones rurales agricoles s'alimente en eau potable à partir de puits privés, et que la qualité de cette eau ne fait l'objet d'aucune surveillance obligatoire. En effet, bien qu'il y ait des recommandations pour la qualité de l'eau potable, il n'existe pas de contrôle réglementaire pour la qualité de l'eau des puits individuels et le suivi de leur qualité demeure sous la responsabilité de chaque propriétaire (*Gaudreau et Mercier, 1997 ; Rousseau, 1995*).

L'utilisation de substances phytopharmaceutiques pose des problèmes d'ordre agronomique et environnemental, en raison notamment de leur persistance dans les milieux naturels. Cette persistance est le résultat de tout un ensemble de processus physique, chimiques et biologiques qui se déroulent simultanément ou successivement dans le sol (*Aissaoui, 2012*).

1.1.1. Les pesticides

Un pesticide est défini comme « une substance ou une association de substances destinée à repousser, détruire ou combattre les ravageurs, y compris les vecteurs de maladies humaines ou animales, ou toutes autres espèces végétales ou animales nocives ou gênantes au cours de la production, la transformation ou l'entreposage des produits agricoles » (*Belmehel, 2019*).

Les agriculteurs utilisent différents types de pesticides comme les herbicides, les fongicides et les insecticides. Ces produits ont des effets sur les eaux souterraines et superficielles donc conduit à une dégradation de la qualité des eaux suite à un transport de ces éléments par l'infiltration et le ruissellement donc l'eau est considérée comme le principal vecteur de la migration des pesticides vers les rivières et les nappes.

Les terres agricoles sont souvent bien drainées et le drainage naturel est souvent renforcé par les drains terrestres. Par conséquent, les pesticides et les résidus (également les nitrates et les phosphates) peuvent être rapidement transportés pour contaminer les réserves d'eau souterraine et d'eau douce sur une vaste zone géographique. La présence des pesticides dans les eaux souterraines représente une menace sur la qualité des eaux par leur taux de solubilité.

1.1.2. Les engrais

Un engrais est un produit inorganique ou organique qui est apporté pour fournir les quantités suffisantes d'un ou de plusieurs éléments essentiels pour les plantes (*Moughli, 2000*). Les engrais chimiques peuvent être simples ou composés ; Les engrais simples sont souvent de la famille des engrais NPK c'est-à-dire les trois symboles représentant l'azote (symbole chimique N), le phosphore (P) ou le potassium (K). Mais ils peuvent aussi être à base de calcium (symbole Ca), de magnésium (M) ou de soufre (S). Elles sont des engrais qui ne contiennent qu'un seul élément fertilisant, il en existe donc plusieurs types : des engrais azotés, des engrais phosphatés et des engrais potassiques (*Gherairia et Zardoudi, 2018*).

Alors que, l'industrie fabrique aussi des engrais composés contenant au moins deux des trois éléments fertilisants de base. Parmi ces engrais composés on peut citer : des engrais ternaires NPK et des engrais binaires NK, tels que le nitrate de potassium (13 % N et 46 % K₂O) (*Gherairia et Zardoudi, 2018*).

L'utilisation des engrais pour augmenter les rendements des cultures récemment été l'objet de préoccupations environnementales (*Moughli, 2000*). Une utilisation excessive de ces éléments conduit à une pollution du sol par des métaux lourds toxiques comme le cadmium et la pollution des eaux souterraines, ce qui affecte la potabilité de l'eau et augmente les dangers de santé.

Les rivières et les eaux côtières sont également vulnérables à la pollution par ces produits, ce qui peut entraîner l'eutrophisation et affecter la vie des poissons et autres vies aquatique. Aussi les engrais chimiques polluent l'atmosphère à travers la dénitrification et la volatilisation de l'ammoniac et contribuent ainsi au réchauffement global de la terre.

1.2. La pollution industrielle

Elle désigne la part de la pollution de l'environnement directement induite par l'industrie quand elle introduit des altéragènes biologiques, physiques (dont radiations telles que la radioactivité ou dans la lumière artificielle quand elle perturbe l'environnement nocturne), chimiques ou organiques, affectant de manière plus ou moins importante le fonctionnement de l'écosystème. La pollution d'origine industrielle peut résulter non seulement du rejet d'eaux contenant des éléments provenant des procédés de fabrication ou de fonctionnement de l'établissement industriel, mais aussi du transfert de substances contenues dans les sols pollués vers les eaux de surface (par ruissellement) ou vers les eaux souterraines (par lessivage ou percolation).

Les effluents industriels se distinguent des eaux résiduares urbaines par une plus forte concentration et une plus grande homogénéité des éléments polluants. Ces rejets sont de plus en plus collectés et traités, soit par des installations spécifiques à l'entreprise, soit par les réseaux et la station d'épuration de la collectivité locale, par le biais d'une convention de raccordement.

En effet, ce type de pollution entraîne des impacts négatifs sur l'environnement en générale et la qualité des cours d'eaux en particulier. La biodisponibilité, toxicité et mobilité de métaux lourds dans les sols sont en grande partie déterminées par leur distribution cinétique entre phase liquide et solide et entre autres les composants de la phase solide (*Han et al, 2001*). La présence des rejets d'origine industrielle augmente les concentrations des éléments chimiques dans les eaux superficielles et souterraines induisant une dégradation de leur qualité.

1.3. La pollution domestiques et urbaines

La pollution domestique d'une manière générale constitue la principale cause de présence de phosphore dans les eaux usées qui se répand dans l'environnement en raison de l'absence d'assainissement, ce type de pollution concerne essentiellement les eaux superficielles.

Les eaux résiduaires urbaines représentant les deux tiers du total des eaux usées domestiques, les eaux ménagères comprennent les déjections humaines, des eaux de toilette et de nettoyage des sols et des aliments, contenant : des graisses, des savons, des détergents, des matières en suspension, des matières dissoutes organiques ou minérales.

L'utilisation courante de certains produits pour l'entretien des parcs, jardins, stades sportifs et autres lieux à usage collectif est une source d'émissions polluantes d'engrais (azote et phosphore) et de produits phytosanitaires. De plus, de nombreux fongicides ou pesticides sont utilisés, par exemple, par les maisons ou dans l'industrie, et ils peuvent provoquer une pollution de l'eau.

On distingue deux types d'eaux usées domestiques, les eaux de lavage ou eaux ménagères, qui proviennent des salles de bain et des cuisines et qui sont généralement chargées de graisses, de débris organiques, de détergents, de solvants. Aussi les eaux vannes, qui viennent des toilettes et sont chargées de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux. Ce type de pollution a des effets sur la qualité des eaux (souterraines et de surface) car ces rejets domestiques sont riches en déchets organiques, en graisses (eau de cuisine), matières minérales (eau de salle de bain), azote, phosphore, et contiennent également des sels minéraux et des métaux. Les détergents contiennent des matières minérales tels les phosphates, qui entraînent la prolifération des algues dans le milieu naturel s'ils ne sont pas traités (Assad, 2014).

2. Etude de cas dans la plaine alluvial d'oued Djendjen

La plaine alluviale d'oued Djendjen est caractérisée par une activité agricole importante, avec une superficie qui dépasse la moitié de sa surface totale. Alors que les zones qui restent sont occupées par des agglomérations, des ressources forestières et des zones spécialement pour les activités industrielles.

2.1. Occupation de la plaine

2.1.1. Agglomérations

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 pour but d'établissement d'une base sur laquelle les besoins futurs de la population pourront élaborés.

La plaine alluviale d'oued Djendjen est occupée par des agglomérations distribuées sur toute la plaine avec une répartition irrégulière des populations, celles-ci sont liées aux conditions de vie, condensées et localisées au niveau de grandes villes (Taher, Tassoust, Emir Abdelkader, Tamila ...etc.). Ces agglomérations occupent une superficie de 918,73 hectares soit 19,54 % de la superficie totale de la plaine (*fig.19*).

2.1.2. Ressources forestières

Les ressources forestières sont distribuées sur une superficie de 6,12% soit 275,8 hectares de la superficie totale de la plaine, elles occupent la zone située à la bordure de l'oued avec une direction de l'amont vers l'aval et la partie amont (*fig.19*). Ces forêts contribuent à la production de richesses ligneuses qui contribuent par la suite à la prospérité de l'économie de la région.

2.1.3. 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 située à l'amont de plaine, elle 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.13*).

Tableau 13 : Les différentes entreprises dans la plaine d'oued Djendjen (Karaouat et Bourafa, 2016)

Enterprise	Nature de l'activité	Capacité de Production
ENAJUK Unité conserverie	Industrie conserve alimentaire	7000 tonnes
ENAVA Société (Africaverre)	Industrie du verre	39000 unités 176000 unités 39000 m ² 15000 tonnes 14000 tonnes
Société briqueterie EPRE/SBNC	Fabrication des briques	1000000 unités/an
Sarl SOMOMI Société maghrébine de mécanique et Maintenance industrielle	Mécanique de précision et maintenance industrielle	3000000 pièces
SNC Ayachi Saïd & associée	Fabrication de carrelage granito	1200 m ² /j
Centrale thermique	Production de l'électricité	600 MW

Une centrale thermique située à 10 Km à l'Est de Jijel à une bande de 450 m de largeur entre la méditerranée et la route nationale n°43 et une largeur de 540 m entre l'oued et le port de Djendjen, sa surface s'étend sur 60 hectares. Elle fournit une puissance électrique de 600 MW (Benslimane, 2017). Ces zones industrielles occupent une superficie de 211,39 hectares soit 5,12% de la superficie totale de la plaine (fig.19).

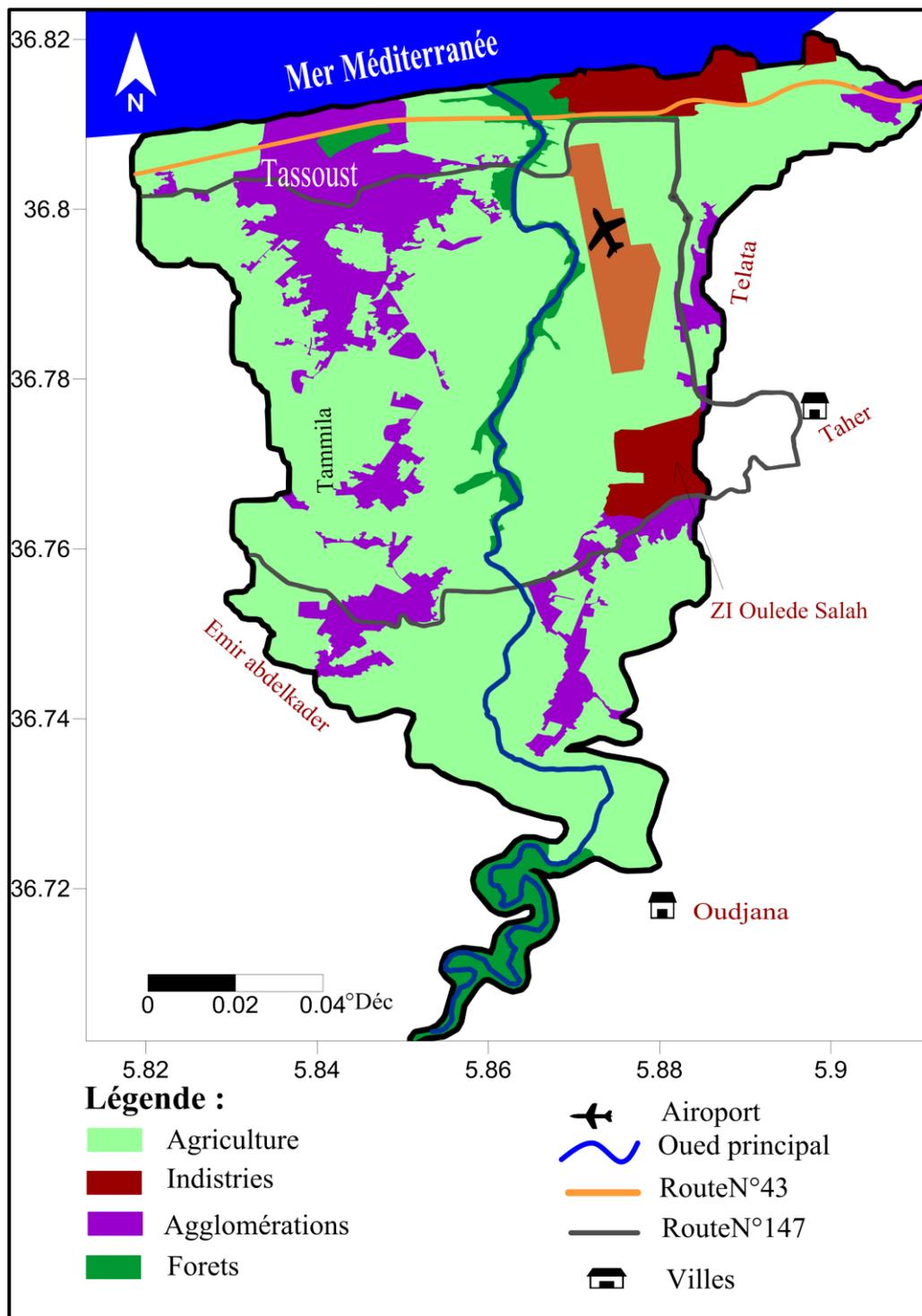


Figure 19 : carte d'occupation du sol de la plaine alluviale d'oued Djendjen

2.1.4. Agriculture

La plaine alluviale d'oued Djendjen se caractérise par une activité agricole moyenne qui se développe de manière significative au fil des jours. La superficie arable d'ordre de 3169,5 hectares soit de 69,21% de la superficie totale de la plaine (fig.19), avec un taux de production annuel de 225000 kg de cultures en serre (piments, poivrons, tomates, haricots, etc.), 156000

kg de tomates industrielles et 310000 kg de cultures pérennes principalement (l'oléiculture soit 3,6 millions de litres d'huiles d'olives) (Karaouat et Bourafa, 2016).

2.2. L'irrigation dans la plaine alluviale d'oued Djendjen

L'irrigation est l'application de l'eau au sol dans le but de rafraîchir le sol et l'atmosphère, par ce moyen réaliser les conditions les plus favorables pour la croissance des plantes. Mais quel que soit l'origine de l'eau (cours d'eau naturel, nappe souterraine, eau de barrage) et son mode de transport (canaux, conduite sous pression), le problème qui se pose est comment répartir cette eau sur le sol de façon que les plantes en tirent le maximum de profit. Cependant le moyen de répartition de l'eau sur le sol ne doit pas toujours répondre à ce critère d'une production maximale, donc on doit essentiellement envisager un choix minutieusement détaillé du mode d'irrigation et de la technique d'arrosage et compatibilité avec les contraintes de la région d'étude (Chikh Hamza, 2013)

L'irrigation des terres agricoles dans la plaine alluviale d'oued Djendjen est basée sur plusieurs ouvrages captant les eaux de surface et souterraines à savoir : les puits, les forages, les sources, les retenues collinaires, les fils d'eau et périmètres. Cette activité se fait à partir l'utilisation des systèmes comme le système goutte à goutte, aspersion et gravitaire ; ce dernier est le plus utilisable dans notre zone d'étude. Les superficies agricoles sont occupées par différents groupes de culture comme le maraichage, arboriculture, fourrage et culture industrielle.

2.2.1. Evolution des superficies irriguées

Les données obtenues auprès de la direction des services agricoles « DSA » de la wilaya de Jijel et par l'observation du bilan PMH, montre une évolution remarquable de la superficie irriguée au cours la période de 2012 jusqu'à 2019 (fig. 20). Elle atteint sa valeur maximale de 2614,27 hectares durant l'année agricole 2018-2019.

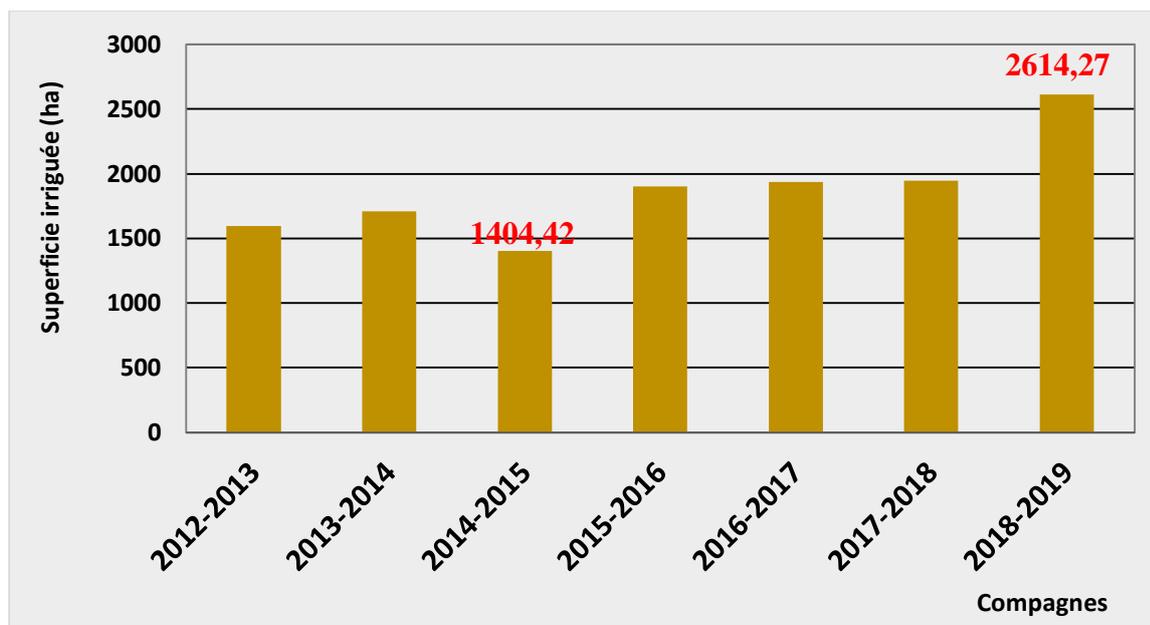


Figure 20 : Evolution des superficies irriguées dans la plaine d'oued Djendjen (2012-2019)

2.2.2. Superficies irriguées en fonction des ouvrages d'eau

L'irrigation des terres agricoles dans la plaine alluviale d'oued Djendjen est basée sur plusieurs ouvrages captant les eaux de surface et souterraines à savoir : les puits, les forages, les sources, les retenues collinaires, les fils d'eau et périmètres.

D'une manière générale, une évolution remarquable des superficies irriguées durant la période étudiée (2012-2019), elles varient entre 1600 et 2614 hectares et avec un maximum enregistré en (2018-2019) (*fig.21*), où un tiers des superficies est irrigué par les eaux des puits (entre 450 et 1050 hectares). Ces puits sont utilisés beaucoup plus dans la partie aval (Taher, Emir Abdelkader) avec un nombre important de 230 puits. Par contre dans la partie amont (Oudjana) le nombre des puits utilisables est très faible (24 puits).

L'irrigation par les périmètres occupe la deuxième place avec une moyenne de 700 hectares et dépassant les 1000 hectares en 2019 soit 45% de la superficie totale irriguée. Une évolution des surfaces irriguées par les périmètres d'une année est accompagnée par une diminution des superficies irriguées par les fils d'eau et les retenues. Les superficies irriguées par les forages sont très réduites puisque les eaux des forages dans la plaine sont destinées généralement à l'alimentation en eau potable (*fig.21*). Pour les sources ont enregistré une perturbation des valeurs avec une superficie qui ne dépasse pas 62 hectares, ils sont utilisés beaucoup plus dans la partie amont (Oudjana) à cause la topographie de la région.

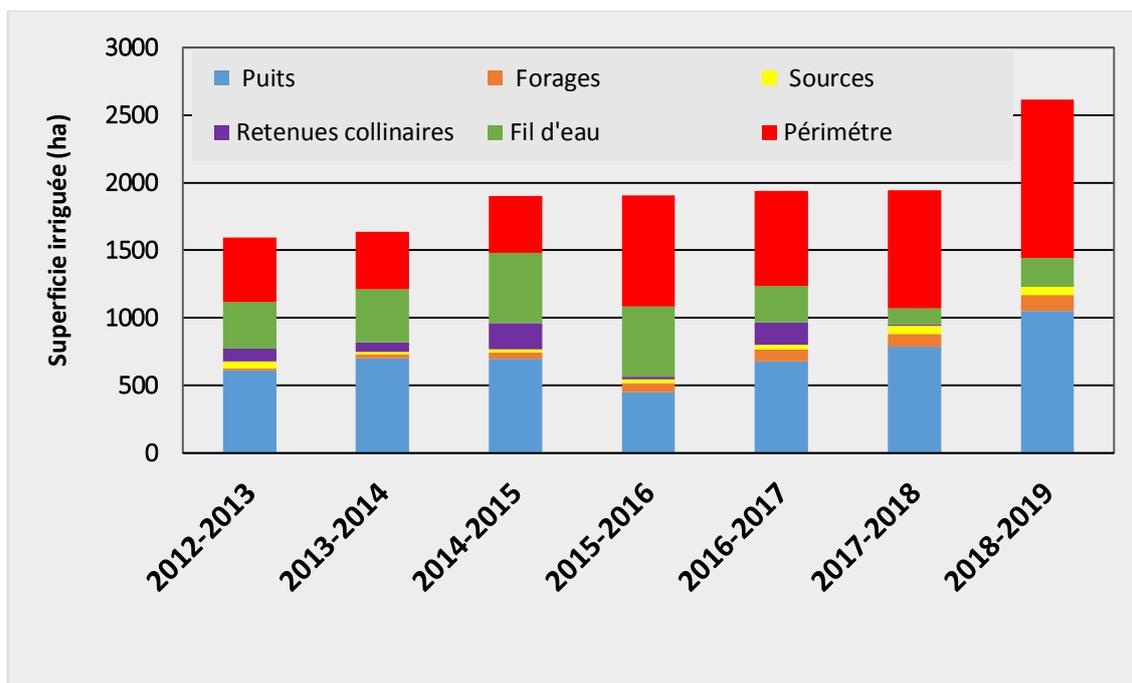


Figure 21 : Superficies irriguées on fonction du type d'ouvrage d'eau

2.2.3. Répartitions des superficies irriguées par système d'irrigation

La plaine riche en termes de ressources hydriques qui sont utilisées pour l'AEP ou bien pour l'irrigation. En ce qui concerne le système d'irrigation, il est différé également avec la variation et le développement des cultures agricoles, où les agriculteurs comptaient sur trois systèmes d'irrigation à la plaine (gravitaire « Grav », goutte à goutte « G/G » et Aspersion « ASP »).

Les données analytiques obtenues auprès de la DSA de la wilaya Jijel montrent que l'irrigation gravitaire est la méthode d'irrigation la plus utilisée dans la plaine d'oued Djendjen au cours de la période 2012-2019, elle est utilisée sur une moyenne de 73 % des superficies irriguées.

Une évolution remarquable dans les surfaces irriguées par le système goutte à goutte, elles augmentent de 320 hectares en (2012-2013) à 860 hectares en (2018-2019). Alors que les surfaces irriguées par aspersion sont très faibles ne dépassant pas les 100 hectares sur toute la période étudiée (2012-2019) (fig.22).

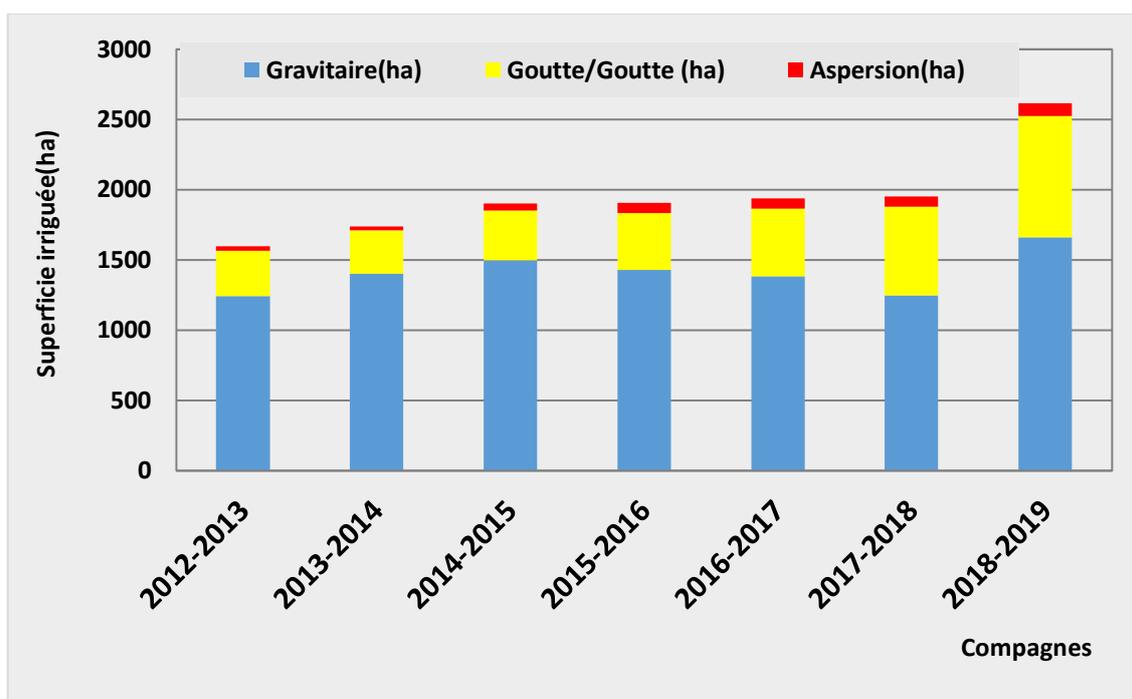


Figure 22 : Répartition des superficies irriguées en fonction du système d'irrigation

2.2.4. Répartition de la superficie irriguée par type de culture

Dans la plaine alluviale d'oued Djendjen, les superficies agricoles ont été réparties aux dépens des filières existantes, parmi les filières on a le maraichage, arboriculture, fourrage et Culture industrielle.

D'une manière générale, une évolution remarquable des superficies irriguées occupées par différentes cultures durant la période (2012-2019), elles varient entre 1600 et 2614 hectares et avec un maximum enregistré en l'année 2018-2019 (fig.23), plus de la moitié de la superficie irriguée occupée par la culture de maraichage (entre 1327 et 2226 hectares).

Une évolution des surfaces irriguée occupée par les arboricultures et fourrages mais avec des valeurs faibles ne dépassent pas 212 hectares. Cette évolution est accompagnée par une diminution de la superficie irriguée qui occupée par la culture, industrielle (fig.23).

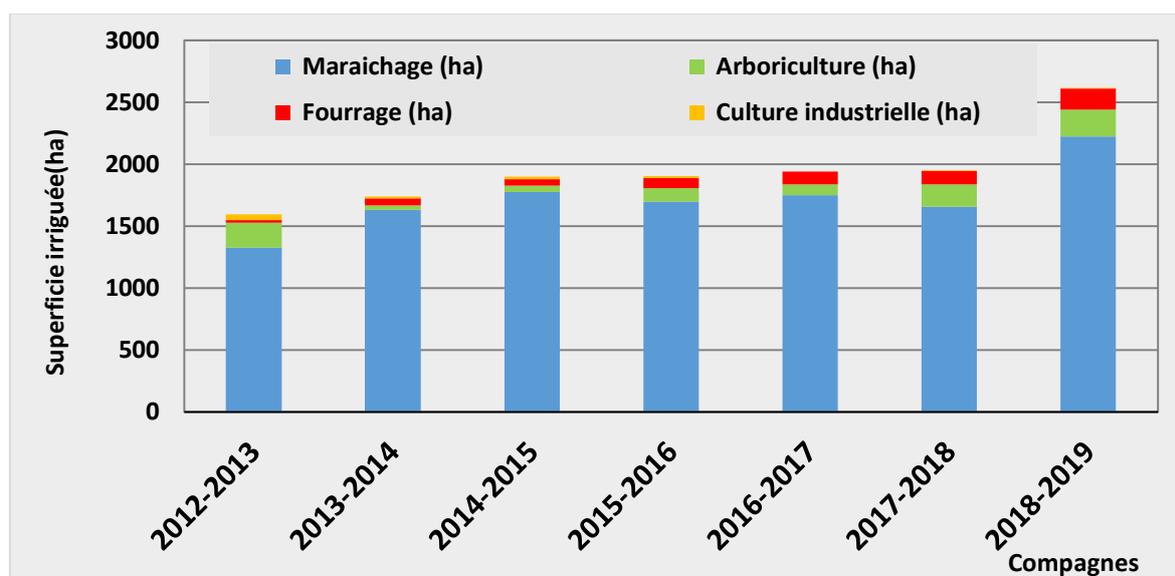


Figure23 : Répartition des superficies irriguées par type de culture

2.3. Utilisation des engrais

Étant donné que plus de la moitié de la superficie totale de la plaine alluviale d'oued Djendjen est exploitée dans l'activité agricole, les autorités compétentes cherchent à élargir le champ d'application et à améliorer le produit en utilisant différents types d'engrais en quantités importantes, ce dernier entraînant à son tour l'apparition du problème de pollution agricole qui affecte la qualité des ressources en eau dans la région. Les engrais utilisables sont récapitulés dans le tableau suivant (tab. 14).

Tableau 14 : Type et quantité des engrais utilisés dans la plaine alluviale d'oued Djendjen

Produits en (Qx)	Année	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018	2018/2019
	Commune					
Engrais organiques (fiente de poule et autres1 « Fumure organique »)	Taher	0	0	0	15210	670
	Emir Abdelkader	2735,5	1850,5	1808	1590	0
	Oudjana	0	0	0	570	585
Engrais minéraux simple azoté (Urée, Sulfazote 26 %, Sulfate d'ammonium, Azofert N 21 %, Autres 2 « urée 46% »)	Taher	1920	1799	2110	1800	1862
	Emir Abdelkader	555	0	896	376	853,7
	Oudjana	7,5	8,5	840	66	850
Engrais minéraux simples phosphatés (TSP, SSP et autres)	Taher	0	2,5	0	0	0
	Emir Abdelkader	0	0	0	0	0
	Oudjana	0	0	0	0	0
Engrais potassiques (potasse K2O et autres)	Taher	0	0	0	0	0
	Emir Abdelkader	0	0	0	0	0
	Oudjana	0	0	0	0	0
Engrais minéraux composés (NP, NK, PK, NPK)	Taher	5666	5357	12035	4373,5	1358
	Emir Abdelkader	3238	3381	3815	3765	2318,9
	Oudjana	34,5	44,5	2710	1054	1358

L'examen des données recueillies auprès de la DSA de la wilaya de Jijel (*tab.14*) et l'histogramme (*fig.24*), montre que les engrais composés sont les plus utilisables durant toutes la période étudiée (2012-2019), où la quantité utilisée atteint jusqu'à 16000 Qx en 2016-2017, alors que les engrais organiques ont été utilisés à des faibles quantités ne dépassent pas les 3000 Qx, à l'exception de l'année 2017-2018 où on enregistre un maximum de 17370 Qx. Les engrais minéraux simples azoté sont moyennement utilisés avec des quantités oscillantes entre 1800 et 3850 Qx. En revanche, on observe que les engrais phosphatés et potassiques sont totalement inutilisés dans la plaine d'oued Djendjen pendant toute la période étudiée (2012-2019).

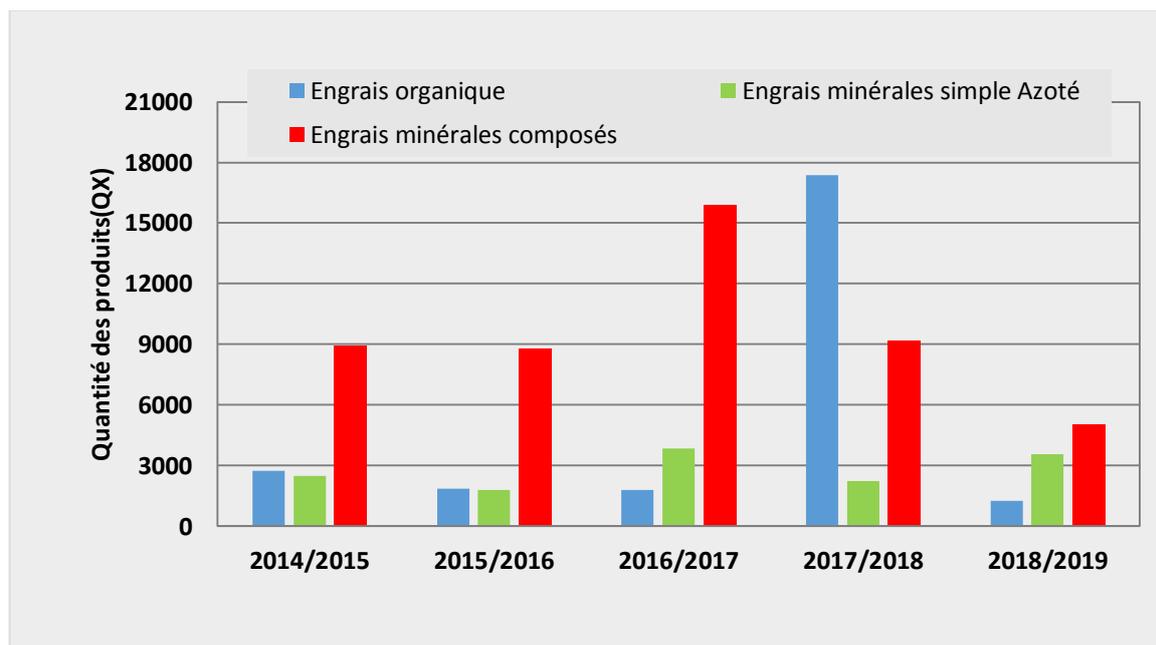


Figure24 : Type et quantité des engrais utilisés dans la plaine alluviale d'oued Djendjen

2.4. Les produits phytosanitaires

Afin de préserver les cultures agricoles et d'éliminer les insectes qui détruisent les plantes, les agriculteurs utilisent des pesticides en différentes quantités d'un ingrédient à l'autre, ces derniers provoquant un changement dans la qualité des eaux. Dans notre zone d'étude les produits phytosanitaires utilisables sont présentés ci-dessous par la figure 25 et le tableau 15 :

Tableau 15 : Utilisation des produits phytosanitaires dans la plaine alluviale d'oued Djendjen

Produits	Année	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018	2018/2019
	Commune					
Solides	Taher	675	544	32470	3449	6545
	Emir Abdelkader	412	420	800	710	340
	Oudjana	172	166	42	428	35
Liquides	Taher	685	677	2364	1591	5787
	Emir Abdelkader	1209	1675	890	590	585
	Oudjana	235	101	114	125	76,5
Autres 3 (Pièges à phéromones)	Taher	568	293	0	0	0
	Emir Abdelkader	1956	1020	0	0	0
	Oudjana	0	0	0	0	0

D'après l'histogramme suivant (fig.25) on remarque que les produits solides sont les plus utilisés dans la plaine d'oued Djendjen avec des quantités variant entre 100 et 7200 Kg, sauf en 2016-2017 la quantité a considérablement augmenté, elle atteint un maximum de 33312 kg. Ensuite, les produits liquides sont utilisés avec des quantités variables d'une année à autre, avec une évolution remarquable, où on enregistre une quantité minimale de 2130 litres en 2014-2015 et une maximale de 6500 litres en 2018-2019. Concernant les autres produits sont utilisés par des faibles quantités durant la période (2014-2016), et ils sont inutilisables pour le reste de la période (2016-2019).

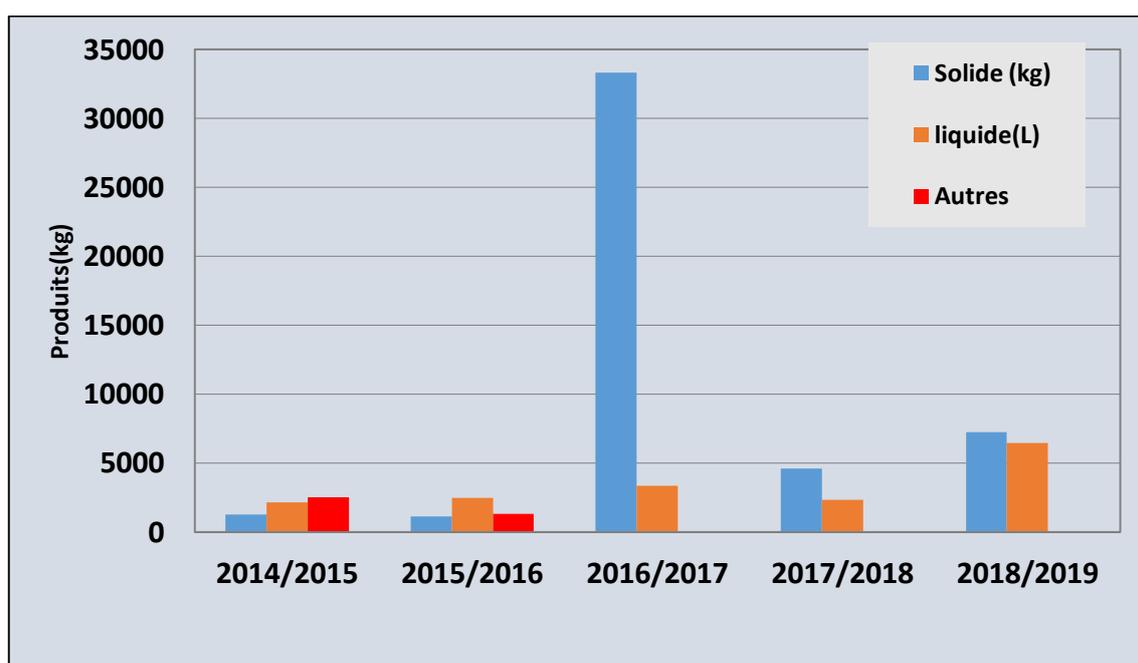


Figure 25 : Utilisation des produits phytosanitaires dans la plaine alluviale d'oued Djendjen

Conclusion

Ces dernières années la région d'étude a connu une évolution démographique, qui a conduit à une augmentation de la demande dans les différents domaines notamment le domaine industriel et agricole. Cette évolution a provoqué une pollution de l'environnement et surtout les ressources en eau par l'utilisation intensive et irrationnelle des pesticides et des engrais chimiques en plus les rejets des usines dans les oueds sans aucun traitement préalable.

La plaine alluviale d'oued Djendjen est caractérisée par une activité agricole importante, avec une superficie qui dépasse la moitié de sa surface totale. Alors que les zones qui restent sont occupées par des agglomérations, des ressources forestières et des zones spécialement pour les activités industrielles. Ces activités dans la plaine a conduit à une contamination et une pollution des ressources en eau (eau de surface et souterraine) par plusieurs types de pollution à savoir : la pollution agricole, industrielle et domestique.

Chapitre VI :

Etude

Hydrochimique

Introduction

La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc de la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou d'autres usages tels que pour l'irrigation et les produits industriels. Cette étude a été menée afin d'évaluer l'impact des activités anthropiques sur les ressources en eau dans la plaine d'oued Djendjen par les différents effluents industriels, agricoles, et domestiques. Pour cet objectif, une étude hydrochimique portée sur l'interprétation des analyses physico-chimiques qui ont été effectuées en Avril 2016 sur 31 échantillons d'eau souterraines avec une bonne répartition spatiale sur la plaine de telle manière à avoir une représentativité spatiale des points d'eaux prélevés. Ces analyses comportent des paramètres physico-chimiques (potentiel hydrogène (pH), conductivité électrique (CE) et Température) qui ont été mesurés *in-situ* à l'aide d'une valise multi-paramètres et des paramètres chimiques qui ont été analysés au laboratoire en se référant aux méthodes d'analyse chimique décrites par *Rodier, 2009* : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{2-} .

1. Inventaire des points de prélèvement

L'approvisionnement en eau dans la plaine alluviale d'oued Djendjen, se fait généralement soit à partir des puits, qui exploitent la nappe phréatique et destinés dans la plupart du temps à l'irrigation. Les forages sont destinés à l'alimentation en eau potable. Les points de prélèvement sont bien répartis sur toute la plaine en relation avec l'occupation du sol et les activités anthropiques exercées dans la plaine (*fig.26*).

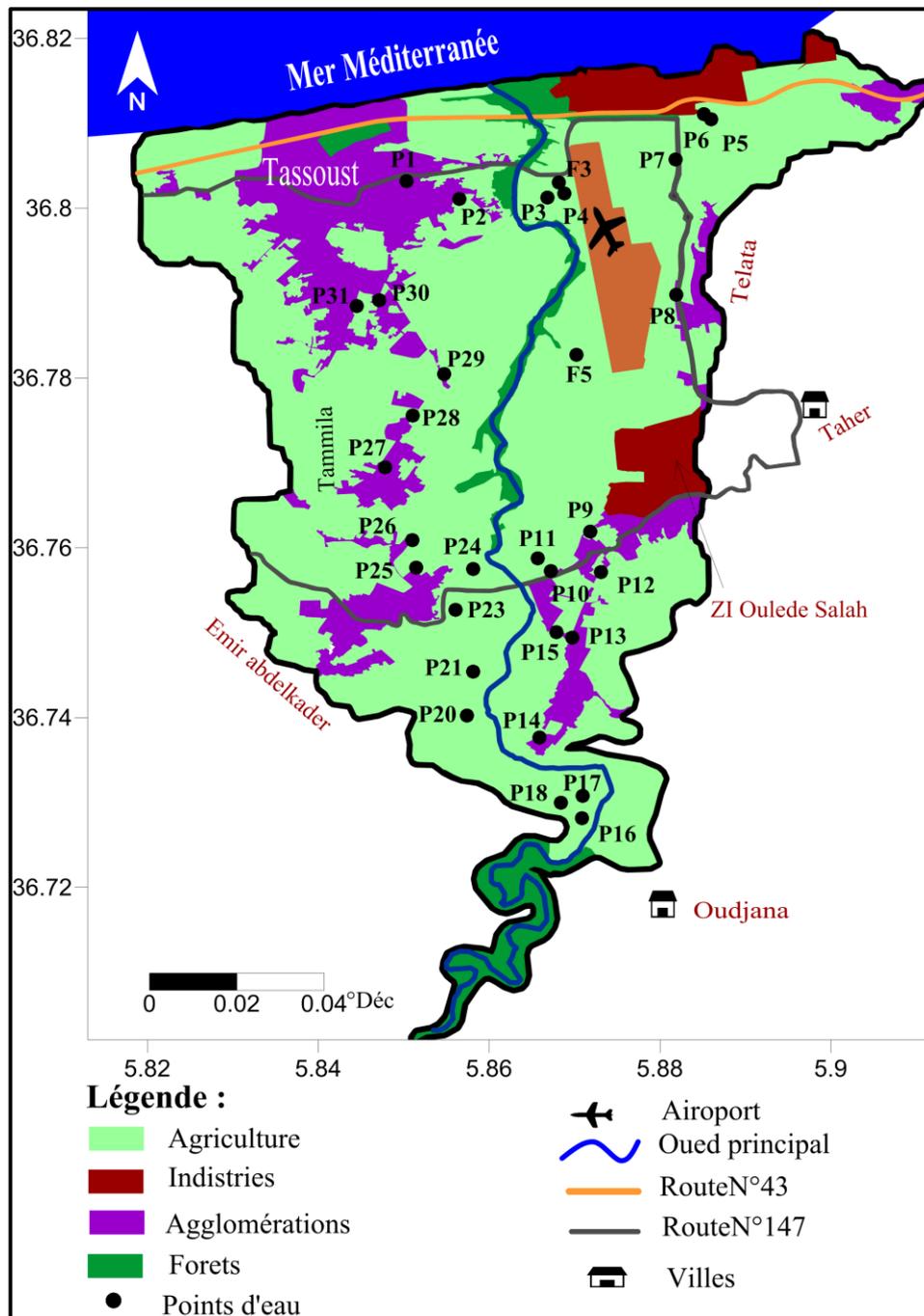


Figure26 : Inventaire des points de prélèvement sur la carte d'occupation du sol

2. Caractérisation physico-chimique des eaux

2.1. Faciès hydrochimiques

Le faciès chimique correspond à la catégorie dans laquelle on peut classer les eaux en fonction de leurs teneurs respectives en éléments majeurs Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} et HCO_3^- des points d'eau. La représentation graphique de ces éléments d'un ou plusieurs échantillons d'eau se fait à partir de diagramme de Piper. Ce diagramme consiste à reporter sur deux triangles les quantités en réaction (r %) de chaque cation et anion ; ces deux points sont reportés sur le

Le diagramme de Piper (*fig.27*), montre une dominance des deux faciès chimiques caractérisant les eaux de la plaine d'oued Djendjen, l'un chloruré-calcique est le plus dominant caractérise 16 échantillons soit 51,61% des eaux, ce faciès observé 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. L'autre est bicarbonaté-calcique occupe un nombre plus ou moins important des échantillons (10 échantillons) soit 32,25 % des eaux. Il provient de la dissolution des marnes Burdigalien situent sur les deux côtés de la plaine.

2.2. Paramètres physico-chimiques

2.2.1. La température

La température est une variable importante lors de toute évaluation de la qualité de l'eau. Elle a une influence directe, non seulement sur les propriétés physicochimiques et biologiques du milieu aqueux, mais aussi sur plusieurs autres paramètres de qualité. Elle joue un rôle important par exemple en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz et accroît les vitesses des réactions chimiques et biochimiques (*Morin et al ,1983*).

L'histogramme des températures (*fig.28*) montre que les valeurs enregistrées varient entre 13,2°C (P14) et 25 °C (P26), elles restent dans la norme algérienne de potabilité (25 °C). Cette variation de température est probablement due au changement de profondeur de l'eau dans les puits et les forages ainsi que le temps de prélèvement des échantillons.

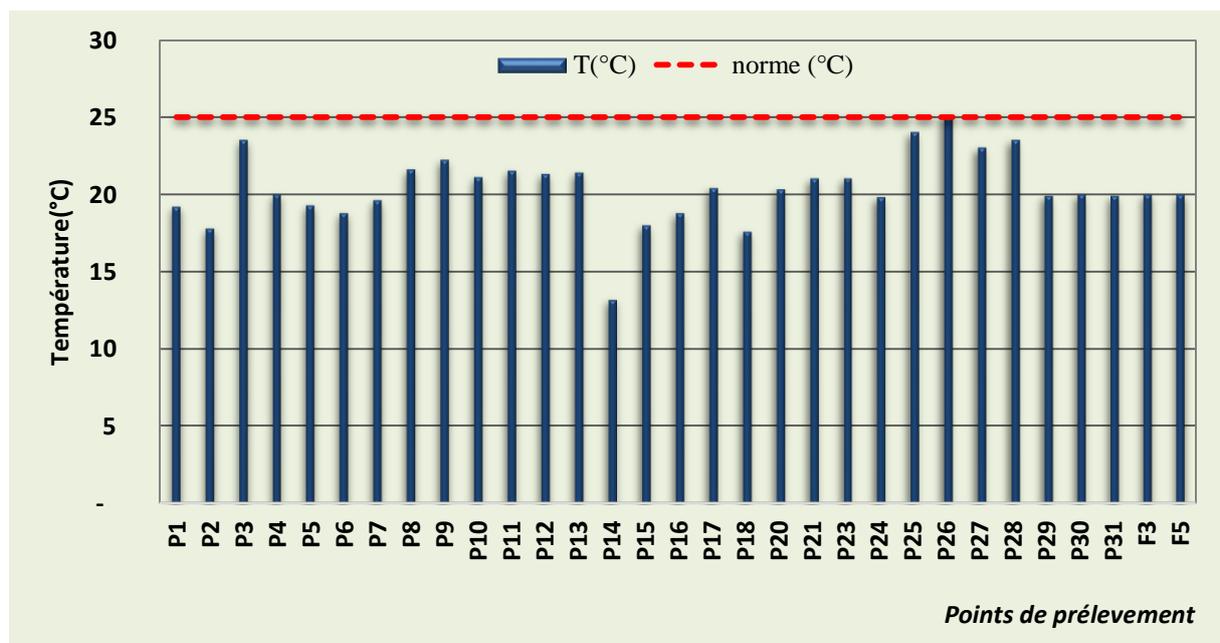


Figure 28 : Température des eaux souterraines de la plaine d'oued Djendjen

2.2.2. Le potentiel hydrogène (pH)

Le pH dépend de l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du bassin versant traversé (Dussart, 1966 ; Bermond et Vuichard, 1973). Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques entre l'eau, le gaz carbonique dissous, les carbonates et les bicarbonates qui constituent des solutions tamponnées conférant à la vie aquatique un développement favorable. Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est-à-dire de la concentration en ion d'hydrogéné. Dans la plupart des eaux naturelles, le pH est compris habituellement entre 6 et 8,5 (Hceflcd, 2007).

D'après l'histogramme du pH (fig.29), on remarque que les valeurs oscillent entre 5,8 (P31) et 7,54 (P7). Donc la majorité des valeurs se trouve dans l'intervalle de la norme Algérienne de potabilité (6,5-8,5) à l'exception de quatre puits situés à Tassoust (P1, P30 et P31) et à Achaouat (P6) avec un pH acide varie entre 5,8 et 6,45. Cette acidité est probablement due à une contamination par les agglomérations avoisinantes.

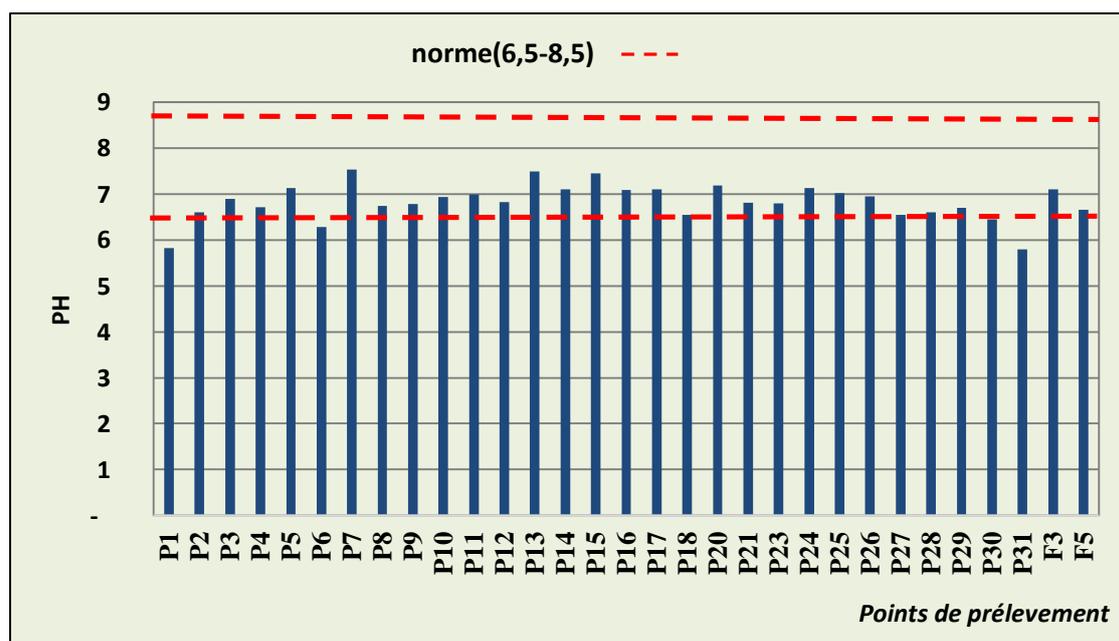


Figure 29 : Potentiel d'hydrogène des eaux souterraines de la plaine d'oued Djendjen

2.2.3. Conductivité électrique

La conductivité électrique désigne la capacité de l'eau à conduire un courant électrique. Elle est déterminée par la teneur en substances dissoutes, la charge ionique, la capacité d'ionisation, la mobilité et la température de l'eau. Par conséquent, la conductivité électrique renseigne sur le degré de minéralisation d'une eau (Nouayti et al, 2015). Elle accroît avec l'augmentation de

la teneur de l'eau en sels dissous. Selon les normes algériennes, on peut classer les eaux naturelles en fonction des valeurs de la conductivité électrique (tab.16).

Tableau 16 : Classification des eaux en fonction de la conductivité selon les normes algériennes (in Hammadi, Harendi, 2015).

CE ($\mu\text{S/cm}$)	Classe
CE < 450	Minéralisation très faible
450 < CE < 750	Minéralisation faible
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 suivant (fig.30), toutes les valeurs de la conductivité sont inférieures à la norme algérienne de potabilité (< 2800 $\mu\text{S/cm}$), elles varient entre 325 $\mu\text{S/cm}$ (P20) et 1896 $\mu\text{S/cm}$ (P7). Les faibles valeurs (< 500 $\mu\text{S/cm}$) sont observées au niveau des échantillons (P2, P5, P20), elles sont liées à la nature lithologique des terrains lessivés, soit les marnes sur les extrémités Est et Ouest de la plaine ou bien des terrains métamorphiques situant en amont de la plaine au sud de la commune d'El Amir Abdelkader.

Les valeurs moyennement élevées de la conductivité électrique sont observées dans la partie Nord (très proche à la mer), dans la partie Ouest peut être liées aux eaux usées et les rejets anthropiques des agglomérations, alors que dans la partie central (rive droite de l'oued) à cause aux activités de la zone industrielle de Ouled Salah.

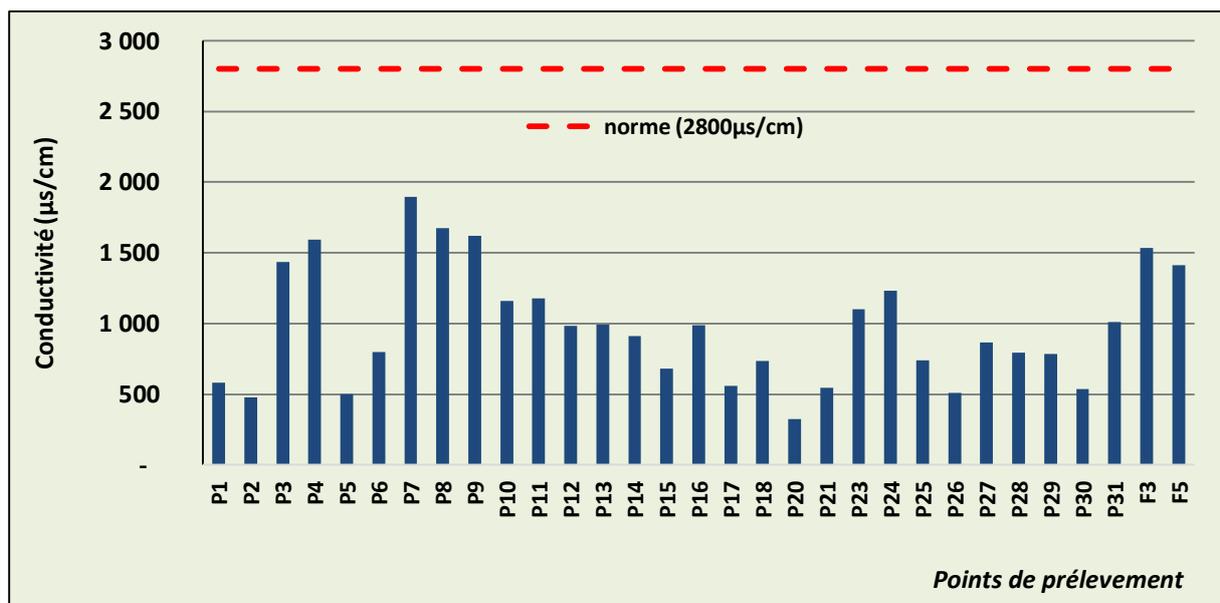


Figure30 : La Conductivité électrique des eaux souterraines de la plaine d'oued Djendjen

2.2.4. Les cations

2.2.4.1. Le calcium (Ca²⁺) : Le calcium est un élément de la dureté, il est généralement l'élément dominant dans les eaux naturelles. Son origine naturelle provient principalement de l'attaque des roches carbonatées dues à la présence du gaz carbonique dans l'eau, le gaz provient de l'atmosphère et des couches superficielles du sol (Mekaoui et Bennour, 2016 ; *Later et Terki, 1998*) :



Le calcium peut provenir aussi des formations gypsifères (CaSO₄ – 2H₂O).

Pour notre zone d'étude les teneurs en calcium (*fig.31*) varient entre 68 mg/l (P26) et 273 mg/l (P4). La majorité des points d'eaux ont des teneurs inférieures à la norme algérienne de potabilité (200 mg/l) à l'exception de deux puits (P3, P4) situés à l'aval d'oued Djendjen (sur la rive droite de l'oued) avec des concentrations dépassant 270 mg/l. Ces valeurs peuvent être liées aux apports de l'oued par la dissolution des calcaires marneux en amont du bassin et l'accumulation des sels dans cette zone de la plaine caractérisée par un faible gradient hydraulique (zone d'accumulation) (*Karaouet et Bourafa, 2016*). Par contre, les faibles concentrations, oscillant entre 50 mg/l et 100 mg/l, sont enregistrées sur la rive gauche de l'oued (commune d'Emir Abdelkader et Tassoust).

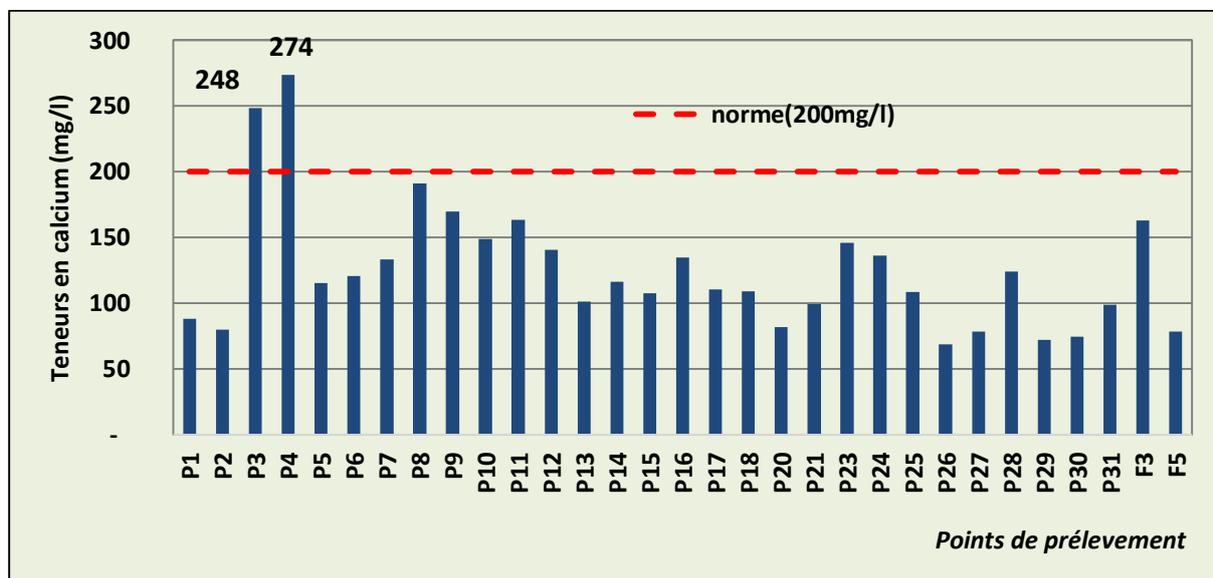


Figure 31 : Teneurs en Calcium des eaux souterraines de la plaine alluviale d'oued Djendjen

2.2.4.2. Le Magnésium (Mg²⁺) : Le magnésium provient surtout de la dissolution des dolomies, des calcaires dolomitiques, et des marnes dolomitiques, dissolution qui n'est possible que grâce à la présence du gaz carbonique. Il peut provenir également de la dissolution du (Mg SO₄) dans les terrains gypseux et pyriteux, généralement il est lié à la nature géologique des formations

traversées. La mise en solution du magnésium dans l'eau nécessite un temps de séjour important (Bouafia, 2015).

Dans notre secteur d'étude, les teneurs en magnésium sont comprises entre 9,72 mg/l (P5) et 147,25 mg/l (P4) (fig.32) ; donc ces valeurs sont inférieures à la norme algérienne de potabilité (150 mg/l). Les teneurs comprises entre 80 mg/l et 150 mg /l enregistrées au Nord de la plaine et à la rive droite de l'oued où la présence des formations marneuses. Les faibles concentrations (< 80 mg/l) sont observées au Sud (piémont du socle métamorphique) et au Nord-Ouest de la plaine (P1 et P2) à Tassoust.

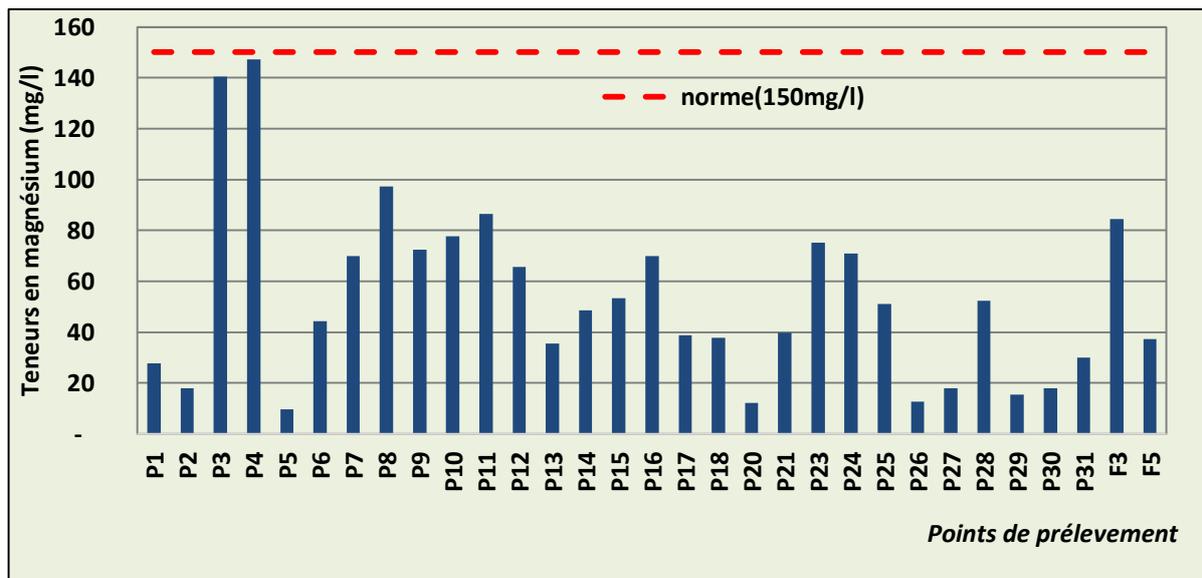


Figure 32 : Concentrations de magnésium des eaux souterraines d'oued Djendjen

2.2.4.3. Le Sodium et le Potassium (Na^+ et K^+) : Ils sont toujours présentés dans les eaux naturelles en proportion très variable :

a. Le Sodium (Na^+) a comme origine ; le lessivage des formations salifères, les rejets des eaux usées d'origine industrielle et domestique et l'invasion marine (Bouafia, 2015).

D'après l'histogramme des concentrations en sodium (fig.33), les valeurs varient entre 11, 70 mg/l (P20) et 196,9 mg/l (P7), elles sont toujours inférieures à la norme algérienne de potabilité (200 mg/l). Les faibles concentrations (0 à 60 mg/l) enregistrées sur le long de la rive gauche de l'oued (de Tassoust à Emir Abdelkader). Alors que, les teneurs moyennes (de 60 mg/l à 120 mg/l) observées sur la rive droite de l'oued, au centre et au Nord de la plaine. Tandis que, les fortes teneurs (> 120 mg/l) sont enregistrées à l'extrémité Est de la plaine, peut être liées d'une part à la dissolution des formations marneuses et gypso-salifères et d'autre part aux rejets de la zone industrielle de Ouled Salah.

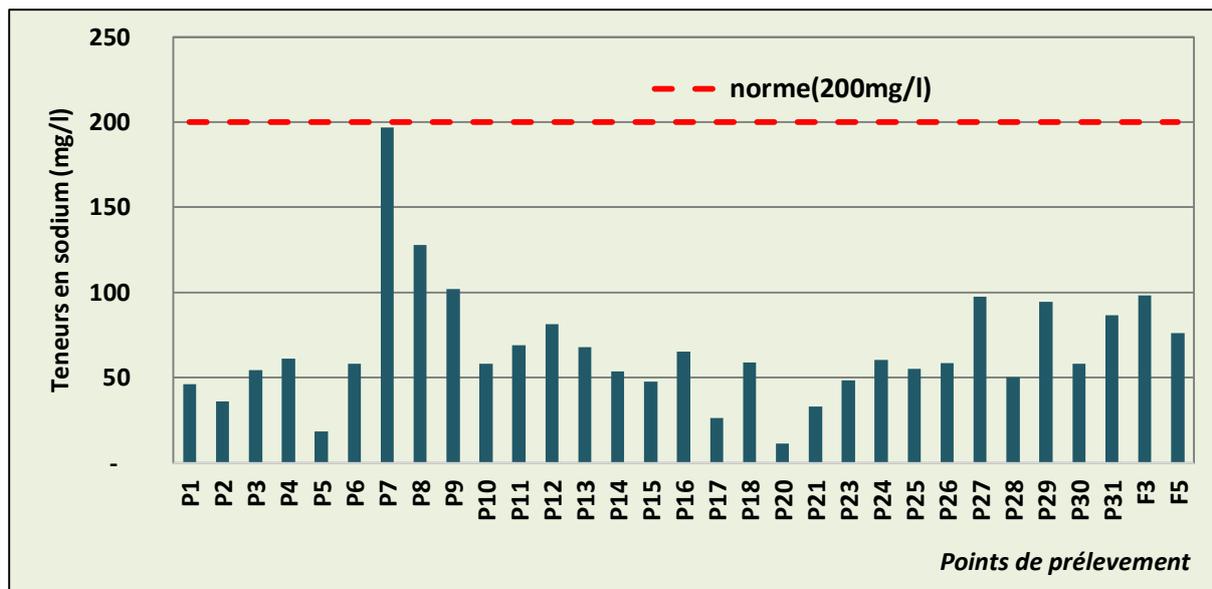


Figure 33 : Concentrations de sodium des eaux souterraines d'oued Djendjen

b. **Le Potassium (K^+)** est beaucoup moins abondant que le sodium, rarement présenté dans l'eau. Leurs origines liées à la dissolution des formations silicatées (gneiss et schistes) et les argiles potassiques (Karaouet et Bourafa, 2016).

D'après l'histogramme de potassium (fig.34), ses teneurs varient entre 1 mg/l (P30 et 31) et 53,7 mg/l (P7). Dont la majorité des teneurs restent inférieures à la norme algérienne de potabilité (20 mg/l), Sauf le puits (P7) avec plus de 50 mg/l, ce puits situé à l'intérieur d'une zone agricole dans la partie aval de la plaine, cette forte concentration en potassium peut être liée à la dissolution des engrais dans cette zone.

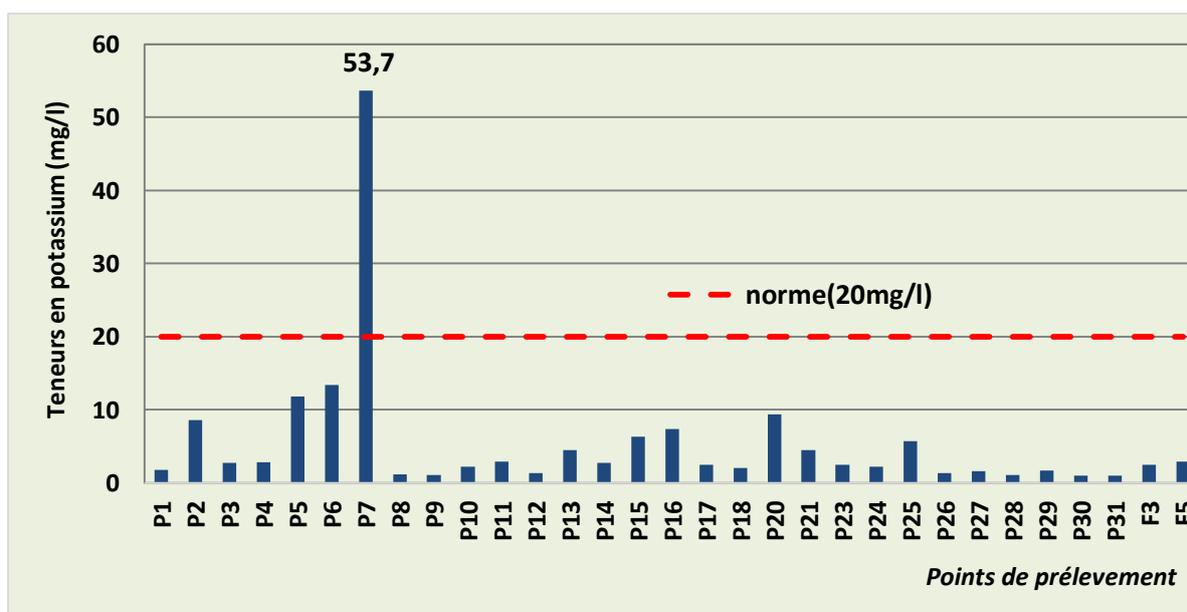


Figure 34 : Teneurs en potassium des eaux souterraines de la plaine d'oued Djendjen

2.2.5. Les anions

2.2.5.1. Les chlorures (Cl⁻) : Cet ion est presque toujours présent dans l'eau, mais à des proportions variables, ils proviennent soit par la dissolution des sels naturels par lessivage des terrains salés, ou par l'évaporation intense dans les régions où le niveau piézométrique est proche de la surface du sol, ou encore des rejets des eaux d'origine domestique ou industrielle et des engrais chimiques ou pesticides utilisés pour l'agriculture (Dbieche T, 2002).

Dans notre cas, les teneurs en chlorures sont comprises entre 71 mg/l (P20) et 610,6 (P7) (fig.35) où la majorité des valeurs restent inférieures à la norme algérienne de potabilité (500 mg/l) sauf deux puits (P7, P9) ont des concentrations supérieures à 500 mg /l. Les faibles valeurs teneurs (entre 71 mg/l à 150 mg/l) enregistrées notamment sur la rive gauche de l'oued. Alors que les moyennes concentrations (de 150 à 350 mg/l) observées le long de l'oued Djendjen (du Sud jusqu'au Nord). En fin les teneurs les plus élevées (350 à 650 mg/l) se localisés au Nord et à l'Est de la plaine, elles sont probablement liées aux effets de la mer (très proche à la mer) et aux engrais chimiques et pesticides utilisés en l'agriculture, la dissolution des terrains marneux et la contamination par les eaux usées des agglomérations et aussi les activités de la zone industrielle de Ouled Salah.

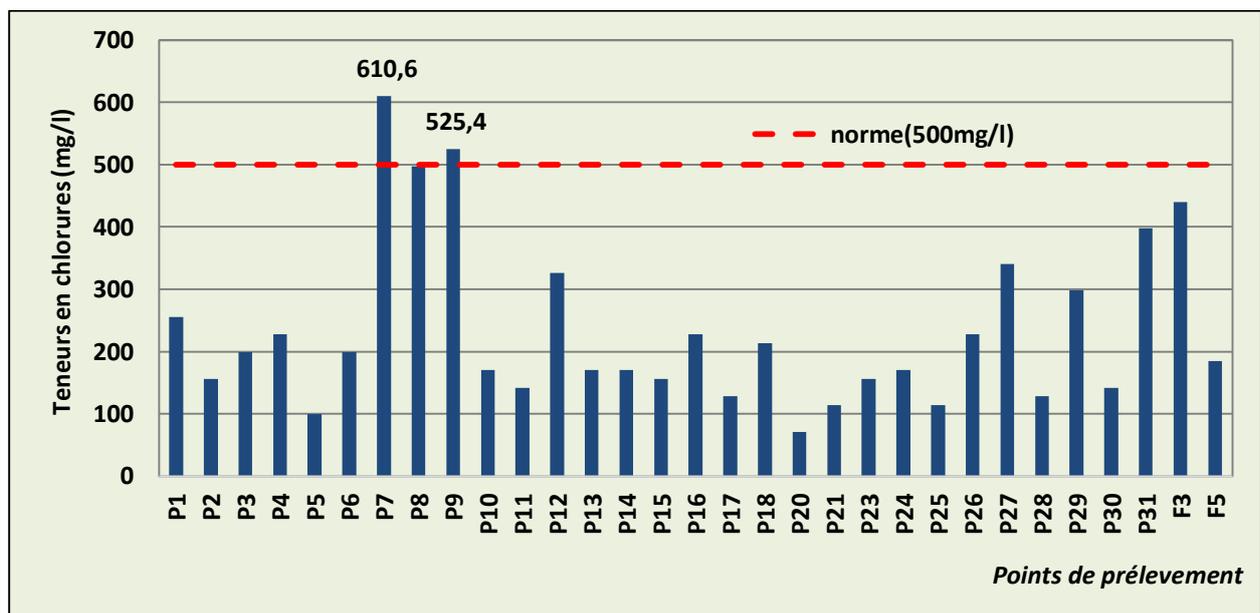


Figure 35 : Teneurs en chlorures dans les eaux souterraines de la plaine d'oued Djendjen

2.2.5.2. Les sulfates (SO₄²⁻) : Les eaux souterraines contiennent des teneurs de sulfate très variables, elles résultent de la légère solubilité des sulfates de calcium (CaSO₄, 2H₂O) des terrains gypsifères et de l'oxydation amenés lors des précipitations (Clark I, 2015).

D'après l'histogramme des sulfates (fig.36), la plupart des teneurs ne dépasse pas la norme algérienne de potabilité (200 mg/l) sauf quatre puits (P3, P4, P24, F3), elles oscillent entre 17,82 mg/l (P26) et 339,15 mg/l (P4). Dans la partie Ouest et Sud de la plaine, les teneurs en sulfates sont faibles à moyennes varient entre 17,82 mg/l et 100 mg/l. Par contre dans la partie médiane et la partie Est de la plaine et au Nord-Ouest (Tassoust), les valeurs sont élevées (de 100 à 200 mg/l), cette augmentation peut être justifié par la présence des rejets industriels contenant de l'acide sulfurique (H₂SO₄) et à la dissolution des formations gypseuses en amont de la plaine. Enfin, les fortes valeurs qui dépassent les normes admises (200 mg/l) sont observées dans la partie Nord de la plaine (P3 et P4) probablement liées aux activités agricoles par le fait du lessivage des engrais chimiques.

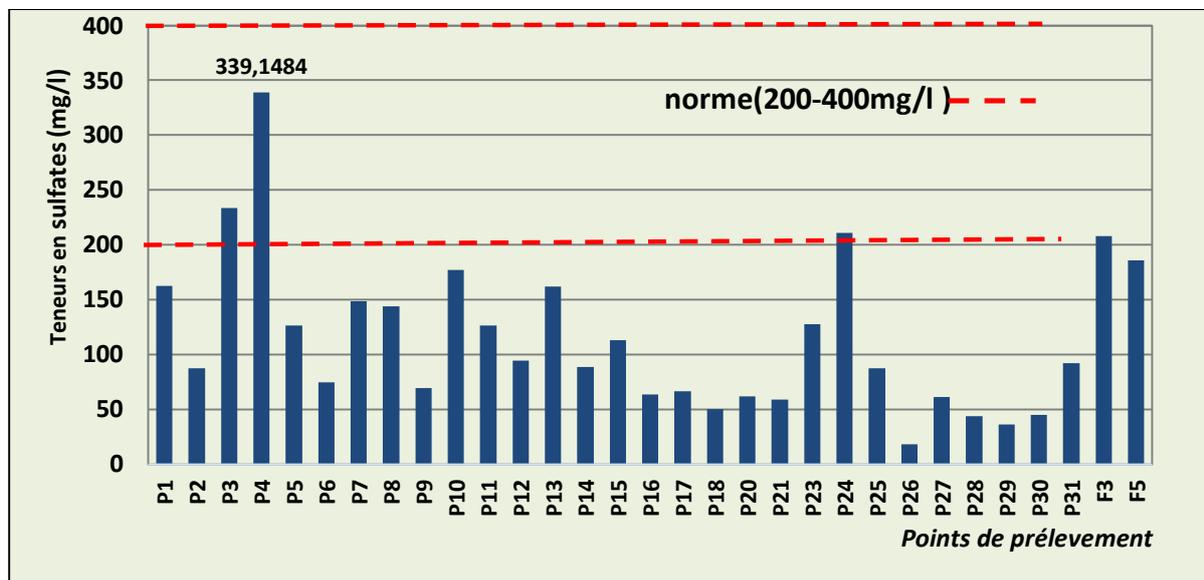


Figure36 : Teneurs en sulfates dans les eaux souterraines de la plaine d'oued Djendjen

2.2.5.3. Les bicarbonates (HCO₃⁻) : Les bicarbonates résultent de la dissolution des formations carbonatées (cipolins, Calcaires) par des eaux chargées en gaz carbonique (Bouafia, 2015).

L'équation de dissolution est donnée comme suit :



D'une manière générale, la majorité des teneurs en bicarbonates restent inférieures à la norme algérienne de potabilité (500 mg/l) sauf le forage (F3) (fig.37), elles oscillent entre 21,96 mg/l (P1) et 524,6 mg/l (F3). Les faibles teneurs (21,96 et 150 mg/l) sont localisées dans la partie Ouest de la plaine. Alors que, les teneurs moyennement élevées (150 mg/l à 300 mg/l) sont enregistrées au Sud de la plaine. Enfin, la zone qui s'étend du centre vers la partie Nord-Est de la plaine (de l'aéroport vers Achaouat) présente les valeurs les plus élevées (de 300 à 500 mg/l),

ceci due à la dissolution des calcaires marneux (partie amont) et des marnes Burdigaliennes (aux extrémités de la plaine) (Karaouet et Bourafa, 2016).

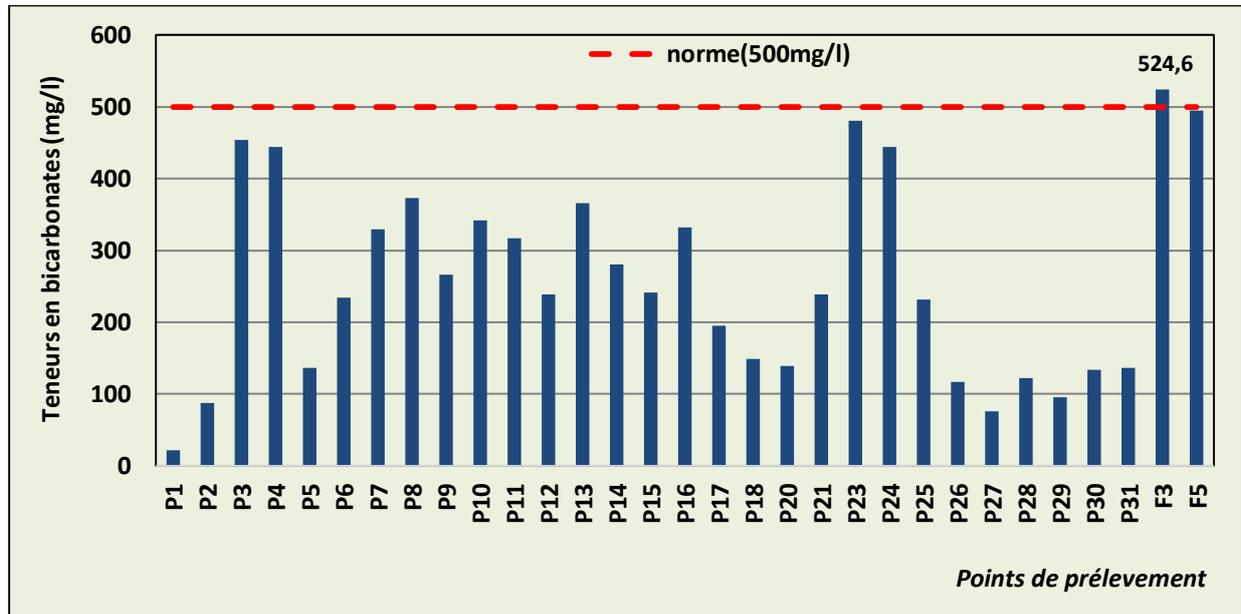


Figure37 : Teneurs en bicarbonates dans les eaux souterraines de plaine d'oued Djendjen

2.2.6. Les éléments chimiques indicateurs de la pollution

2.2.6.1. Nitrates (NO_3^-) : 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).

La figure suivante (fig.38), les teneurs en nitrates varient entre 0,16 mg/l (P16) et 56,60 mg/l (P28). Donc elles sont inférieures à la norme algérienne de potabilité (50 mg/l) à l'exception du puits (P28) où la concentration dépasse légèrement la norme admise. Généralement, les puits ayant les valeurs moyennement élevées se localisent en aval de la plaine dans les zones agricoles et à l'intérieur des agglomérations où la présence des engrais azotés et les rejets des eaux usées domestiques.

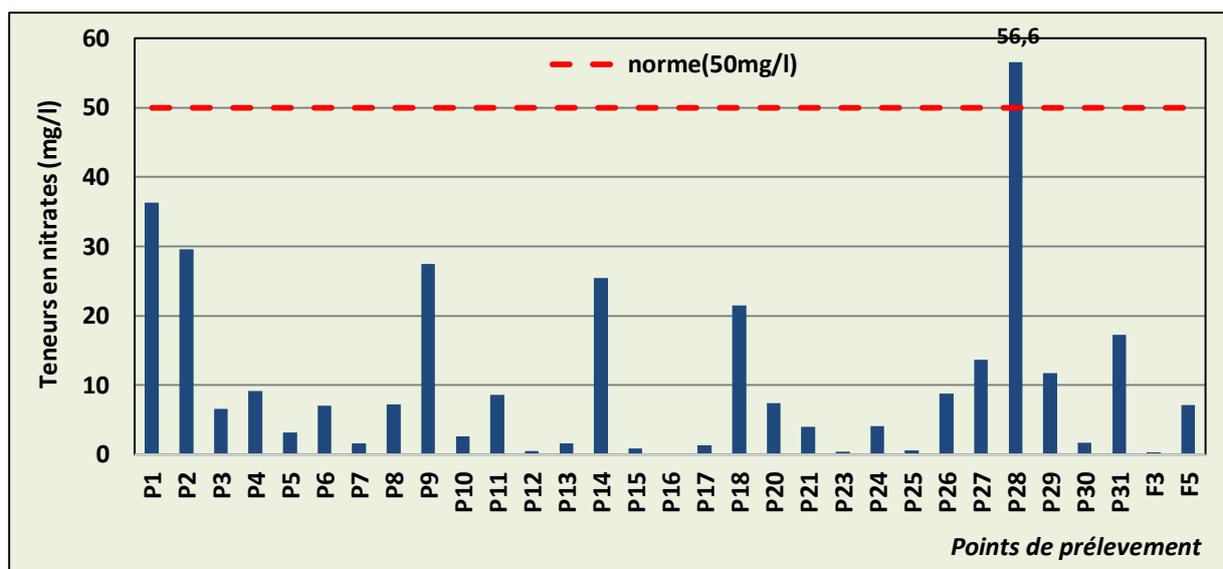


Figure 38 : Teneurs en nitrates dans les eaux souterraines de la plaine d'oued Djendjen

2.2.6.2. Nitrites (NO_2^-) : 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 Vuichard, 1973*). Dans la plaine d'oued Djendjen les teneurs en nitrites varient entre 0,002 mg/l et 0,11 mg/l (fig.39). Elles sont inférieures à la norme algérienne de potabilité (0,1 mg/l) sauf au puits (P24) avec 0,11 mg/l situé dans un champ agricole entre la commune d'El Emir Abdelkader et l'oued Djendjen.

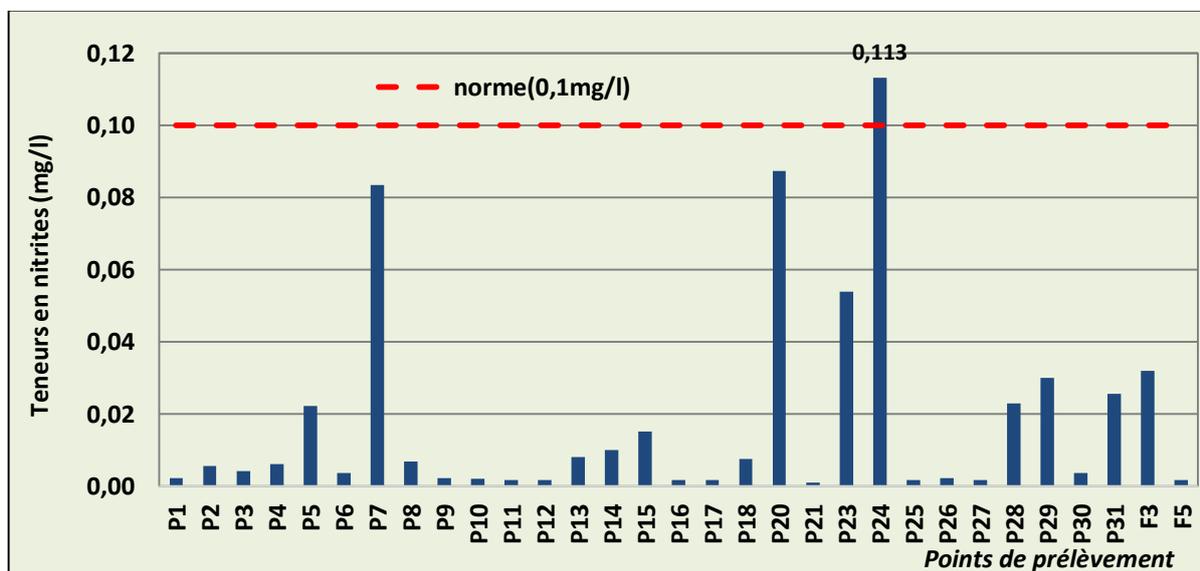


Figure 39 : Teneurs en nitrites dans les eaux souterraines de la plaine d'oued Djendjen

2.2.6.3. Ammonium (NH_4^+) : La présence des ions ammonium dans les eaux, est souvent le signe d'une dégradation incomplète de la matière organique en relation avec le manque d'oxygène disponible. Il est l'indice d'une contamination par des rejets d'origine humaine ou industrielle (Rodier, 1984 et Boulanouar, 1986).

D'après l'histogramme de l'ammonium (fig.40), on observe que la majorité des teneurs varient entre 0,002 mg/l et 0,42 mg/l, à l'exception des points (P15 et F3) où les teneurs dépassent la norme algérienne de potabilité (0,5 mg/l) successivement avec 0,62 mg/l et 0,82 mg/l. Elles dues probablement à l'effet des engrais chimiques pour le forage (F3) situé en aval de la plaine et aux rejets domestiques pour le puits (P15) situé à l'intérieur de l'agglomération de Thar Oussaf au Sud -Est de la plaine.

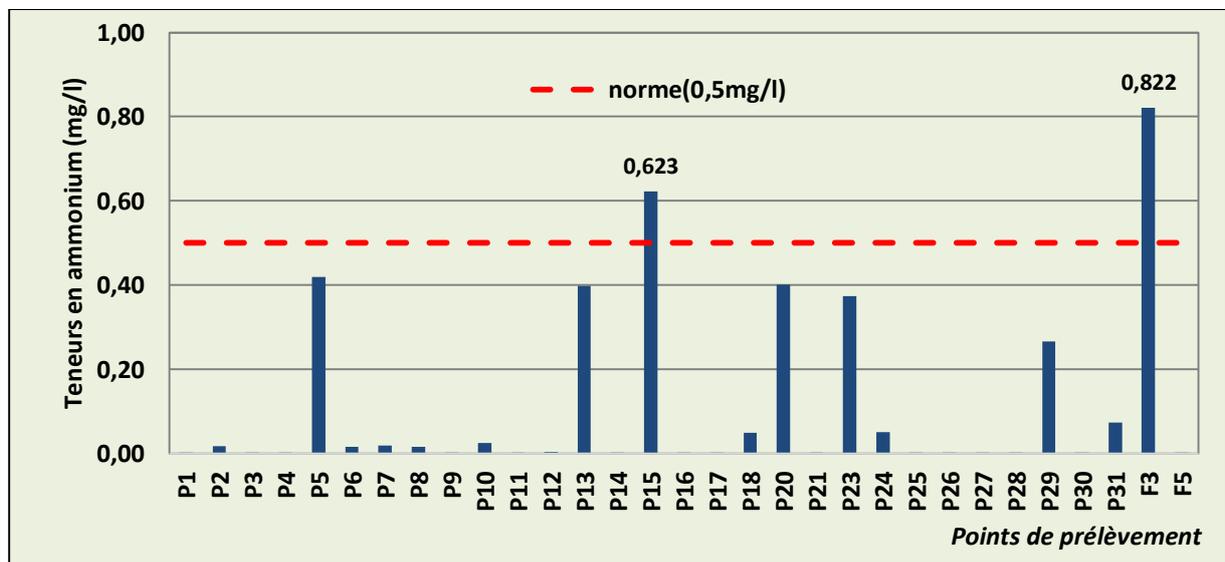


Figure 40 : Teneurs en ammonium des eaux souterraines dans la plaine d'oued Djendjen

2.2.6.4. 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).

Les teneurs en phosphates dans les eaux souterraines de la plaine d'oued Djendjen restent toujours inférieures à la norme algérienne de potabilité (0,5 mg/l), généralement oscillent entre 0,01 et 0,38 mg/l (fig.41).

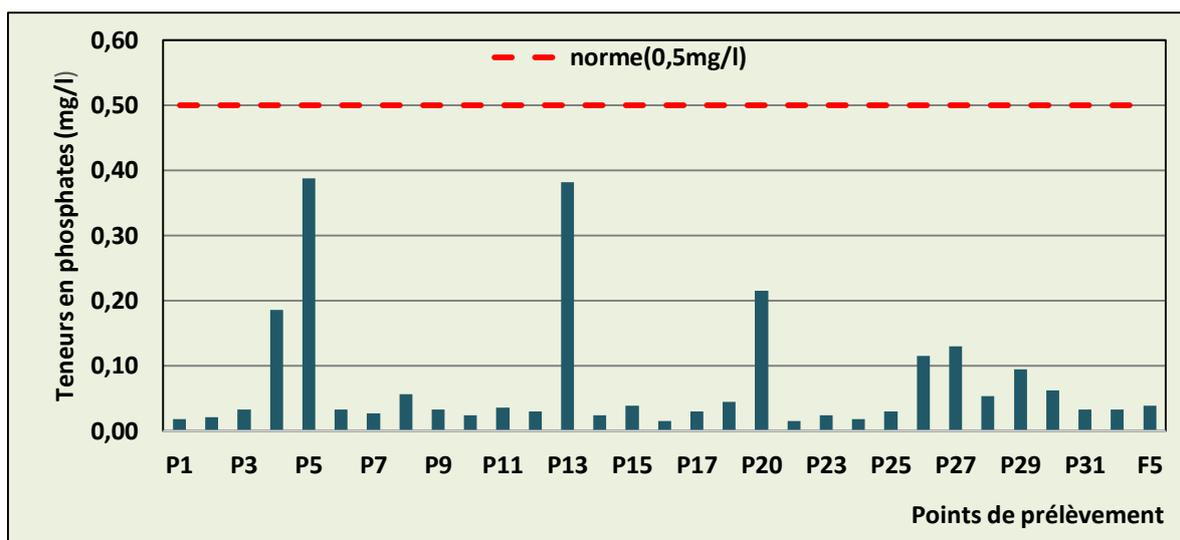


Figure 41 : Teneurs en phosphates des eaux souterraines de la plaine d'oued Djendjen

2.2.6.5. 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 (fig.42), les teneurs en fer dans les eaux de la plaine varient entre 0,02 mg/l et 1,76 mg/l. Généralement la majorité des points d'eaux dépassent largement la norme algérienne de potabilité (0,3 mg/l). Ces fortes teneurs peuvent être expliquées d'une part par le lessivage de terrains argileux, et d'autre part par les rejets de la zone industrielle d'oued Salah.

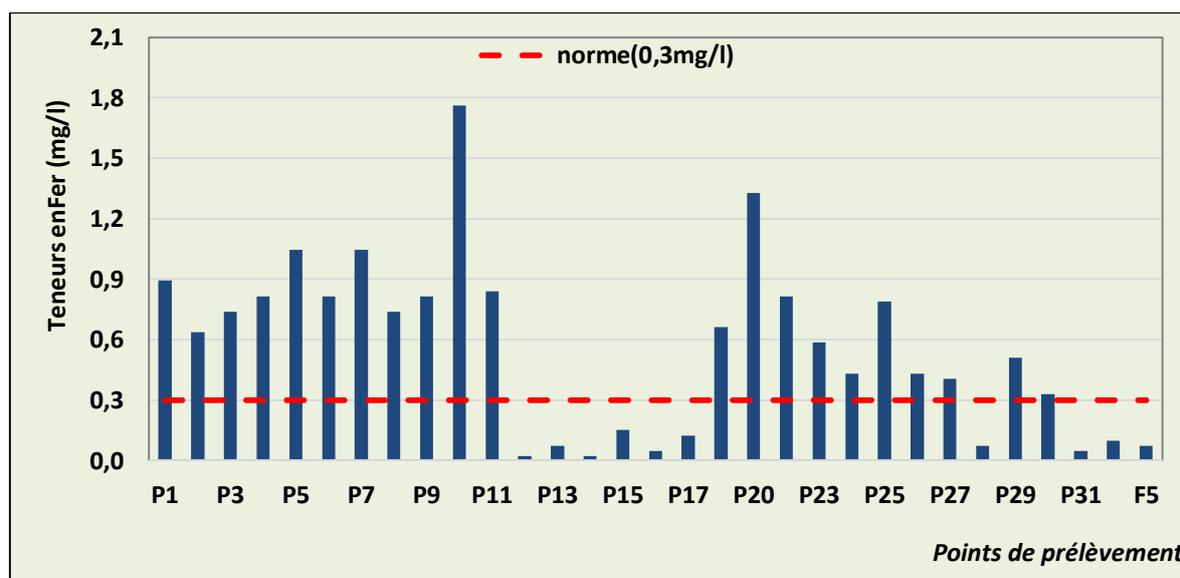


Figure 42 : Teneurs en Fer des eaux souterraines de la plaine d'oued Djendjen

3. Qualité des eaux

La qualité naturelle des eaux est liée aux conditions naturelles (climatiques et géologiques) et peut être altérée par l'activité humaine, elle est caractérisée par sa dureté. La dureté totale d'une eau est produite par les sels de calcium et de magnésium qu'elle contient. Une dureté carbonatée correspond à la teneur en carbonates et bicarbonates de calcium et de magnésium. La dureté est mesurée par le titre hydrotimétrique exprimé en °F (degré français) et donné par la formule suivante : $TH = (r Ca^{+2} + r Mg^{+2}) * 5$. Les eaux naturelles peuvent être classées en fonction de la dureté totale (*tab.17*) :

Tableau 17 : Classes d'eaux en fonction de la dureté totale.

TH en °F	0 - 7	7 - 22	22 - 32	32 -54	> 54
Classe de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure

D'une manière générale, le titre hydrotimétrique (TH) de la majorité des points prélevés des eaux souterraines de la nappe alluviale d'oued Djendjen dépassent largement les 32°F (*tab.18*).

Donc les eaux sont considérées comme dures (42 %) à très dures (39 %) (*fig.43*), ces puits sont localisés dans la partie aval (zone d'accumulation) et centrale (activités industrielle) de la plaine. Les seuls puits qui présentent une qualité assez douce (19 %) avec un TH < 32°F sont enregistrés le long de la limite ouest de la plaine au niveau des puits suivants (P2, P20, P26, P27, P29 et P30), ses eaux issues du socle métamorphique situé au sud de la commune d'El Emir Abdelkader.

Tableau 18 : Classification des eaux de la plaine d'oued Djendjen en fonction de la dureté totale.

Nom	TH en °F	Classification	Nom	TH en °F	Classification
P1	33	Dure	P17	44	Dure
P2	27	Assez douce	P18	43	Dure
P3	120	Très dure	P20	25	Assez douce
P4	129	Très dure	P21	41	Dure
P5	33	Dure	P23	67	Très dure
P6	48	Dure	P24	63	Très dure
P7	62	Très dure	P25	48	Dure
P8	88	Très dure	P26	22	Assez douce
P9	72	Très dure	P27	27	Assez douce
P10	69	Très dure	P28	53	Dure
P11	76	Très dure	P29	24	Assez douce
P12	62	Très dure	P30	26	Assez douce
P13	40	Dure	P31	37	Dure
P14	49	Dure	F3	75	Très dure
P15	49	Dure	F5	35	Dure
P16	62	Très dure			

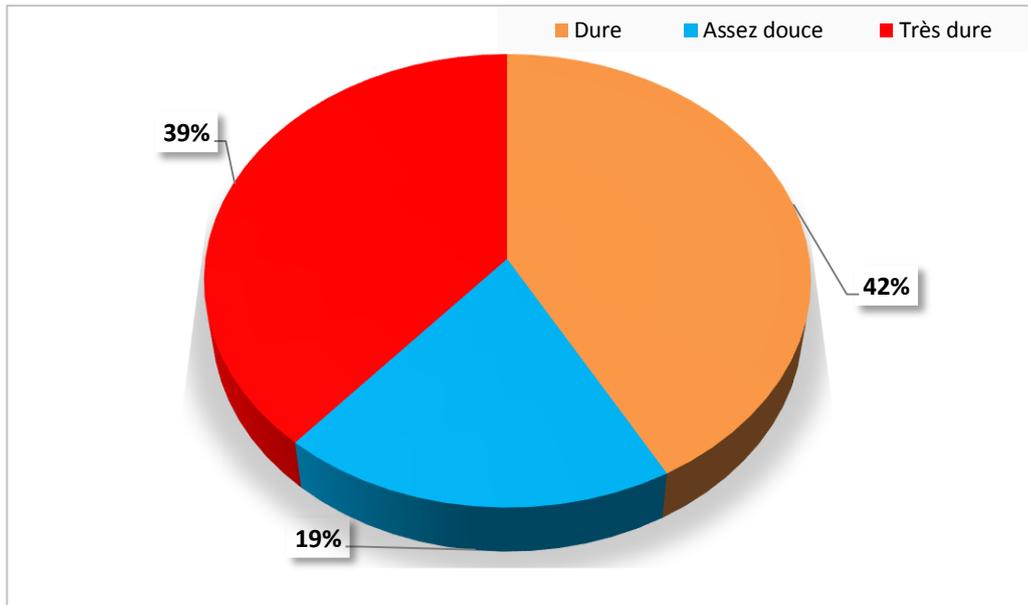


Figure 43 : La dureté totale des eaux souterraines de la plaine alluviale d'oued Djendjen

4. Aptitude des eaux à l'irrigation

L'agriculture durable passe par le maintien de la qualité du sol et l'eau. Certaines pratiques agricoles constituent un risque pour l'environnement dont les conséquences pourraient affecter les régions urbaines comme rurales. L'activité agricole demande beaucoup d'eau afin de subvenir aux besoins des diverses cultures, dont l'eau destinée à l'irrigation doit présenter des caractéristiques physico-chimiques tolérables par les plantes.

Les eaux trop minéralisées engendrent divers problèmes pédologiques et agronomiques, les sels peuvent nuire aux cultures et perturber leur croissance entraînant une baisse du rendement.

Parmi les éléments responsables de ces problèmes on cite le sodium ; ses fortes teneurs provoquent un changement de la structure physique du sol à cause du gonflement des particules d'argiles. Celles-ci seront par la suite dispersées rendant ainsi la circulation de l'eau plus lente au sein du sol. Cette dégradation des caractéristiques physiques du sol se traduit par une baisse de sa perméabilité et de son aération (Wilcox, 1955).

La salinité constitue l'aspect le plus important des critères physico-chimiques d'eau d'irrigation. Afin d'apprécier la valeur agricole d'une solution Wilcox (1948) a proposé le premier diagramme délimitant des classes basées sur la minéralisation totale et le pourcentage du sodium absorbé par l'eau, puis en 1954 le laboratoire de salinité de département de l'agriculture en USA a proposé un deuxième (Richards) délimitant aussi des classes fondées sur la minéralisation totale et le sodium absorbé par le sol (SAR) (Wilcox, 1955).

4.1. Classification des eaux en fonction du SAR

Quand un sol contient du sodium (Na) absorbé à un taux dépassant 15 à 25 %, il présente des propriétés physiques défavorables aux cultures à la suite du gonflement et l'imperméabilité par défloculation. Le SAR comme étant une détermination du pouvoir d'échange des ions Ca^{2+} , Mg^{2+} , par Na^+ , dans les argiles et les colloïdes. Il est donné par la formule suivante (*US Salinity Laboratory Staff, 1954*) :

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{(Ca+Mg)}{2}}} \quad \text{Les concentrations sont exprimées en (meq/l)}$$

Richards a proposé cinq classes (05) qui sont représentées dans le tableau suivant (*tab.19*) (*Richards 1954*) :

Tableau 19 : Classification des eaux d'irrigation selon la méthode de Richards.

Qualités	Degrés	Classes	L'état d'utilisation
Excellente	1 ^{ère}	C ₁ S ₁	Eaux utilisables sans danger pour l'irrigation pour la plus part des cultures, sur la plus part des sols.
Bonne	2 ^{ème}	<u>C₂S₁</u> C ₁ S ₂	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels sur sol.
Admissible	3 ^{ème}	<u>C₃S₁</u> C ₂ S ₃ C ₃ S ₂	En général, eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes aux sels sur sol bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
Médiocre	4 ^{ème}	C ₄ S ₁ C ₄ S ₂ <u>C₃S₃</u>	Eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérant aux sels sur sol et bien drainés.
Mauvaise	5 ^{ème}	C ₃ S ₄ C ₄ S ₃ C ₄ S ₄	Eau ne convenant pas généralement à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions : sol très perméable, bien lessivé, plantes tolérantes aux sels.

La détermination de la qualité des eaux dans notre zone d'étude et leur utilisation dans l'irrigation se fait à partir d'une présentation sur le diagramme de Richards (*fig.44*). Il montre que les eaux de la plaine alluviale d'oued Djendjen présentent une qualité bonne à admissible, chaque qualité a les caractéristiques suivantes :

- **La qualité bonne (C2S1)** : Cette classe représente les eaux de faible minéralisation à un pourcentage de 38,71 %, en général cette eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels sur sol.

• **La qualité Admissible (C3S1)** : cette classe représente un pourcentage de 61,29 % des points d'eau, en général cette eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes aux sels sur sol bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.

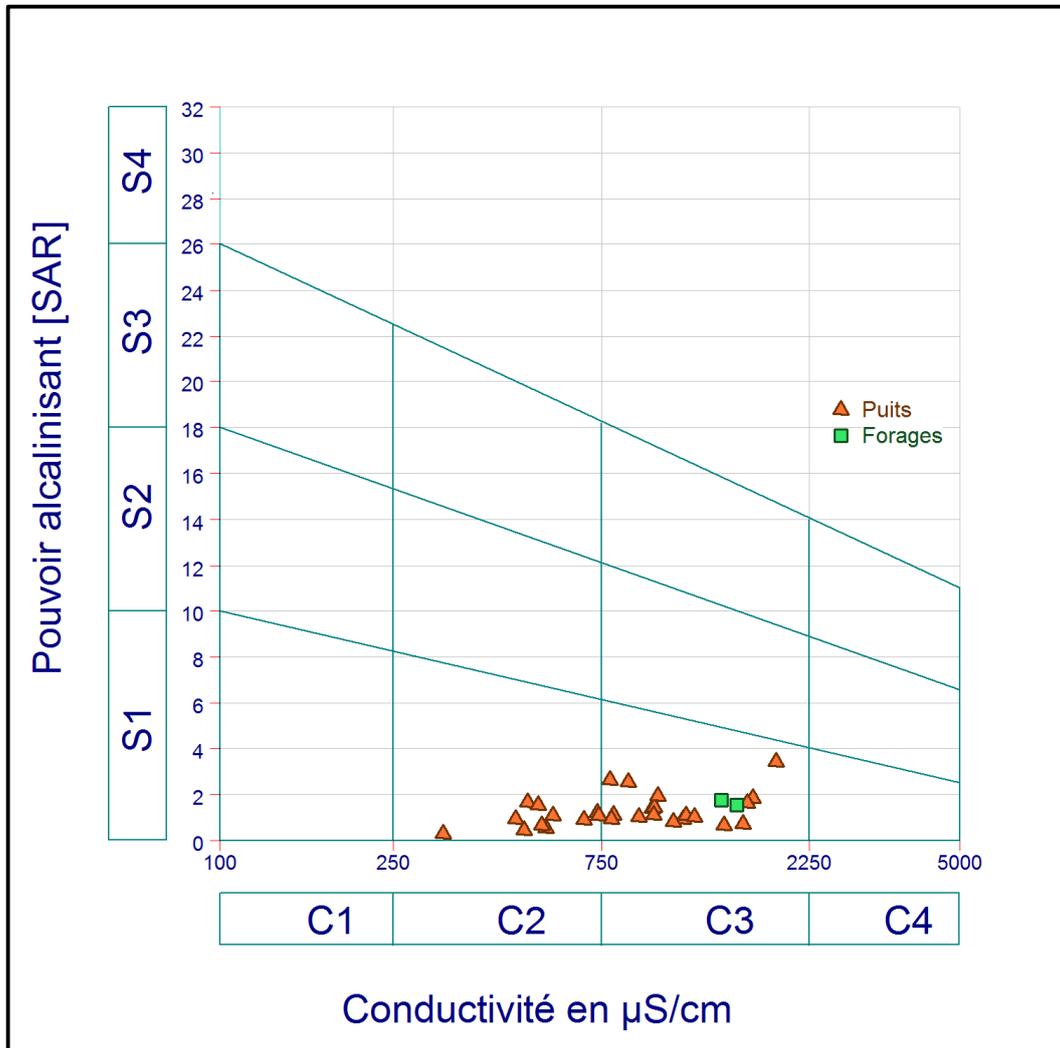


Figure 44 : Diagramme de classification des eaux d'irrigation en fonction du SAR

Conclusion

Dans cette étude, nous avons évalué la qualité physico-chimique de l'eau de la plaine alluviale d'oued Djendjen et tenté de déterminer les causes de la pollution et la mesure dans laquelle les points d'eau étudiés y étaient exposés. D'une manière générale, les paramètres physicochimiques des eaux de la plaine d'oued Djendjen varient d'un point à un autre, cette hétérogénéité peut être expliquée par la variation spatiale de la lithologie ainsi que les activités anthropiques pratiquées dans la plaine. Les résultats des analyses chimiques montrent la dominance de deux faciès chimiques l'un chloruré-calcique et l'autre bicarbonaté-calcique.

D'une manière générale, les eaux souterraines de la plaine alluviale d'oued Djendjen caractérisées par des teneurs un peu élevées de certains éléments chimiques et par endroit, elles dépassant parfois la norme algérienne de potabilité. Ces concentrations sont enregistrées, particulièrement, sur la rive droite de l'oued et la partie Nord de la plaine, s'explique par l'effet d'une part d'une contamination naturelle par la dissolution des formations géologique et d'autre part par une pollution anthropique par les engrais chimiques, les rejets de la zone industrielle d'ouled Salah, les rejets des eaux usées des agglomérations sans aucun traitement préalable.

Les eaux souterraines de la plaine sont caractérisées par une qualité dure à très dure pour la majorité des points d'eau ($TH > 32$ °F). Enfin, l'étude de l'aptitude des eaux à l'irrigation montre que la plupart des eaux 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 & Recommandations

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 45,7 km², elle occupe la partie aval du bassin versant, ce dernier appartient au bassin versant côtier constantinois Ouest. Récemment, le développement des activités humaines (domestiques, agricoles et industrielles) dans la région a provoqué une détérioration de la qualité des ressources en eau.

La région est caractérisée par un climat méditerranéen, avec un hiver humide et un été sec. Elle reçoit une moyenne annuelle des précipitations d'ordre 1016,72 mm/an. La géométrie du réservoir dans la plaine présente une forme de gouttière allongée du Sud vers le Nord. L'examen de la carte piézométrique montre un écoulement des eaux souterraines converge vers l'axe central de la plaine parcouru par l'ancien lit d'oued Djendjen et orienté vers le Nord pour se jeter dans la mer.

L'essor démographique dans la zone d'étude conduit à une augmentation de la demande des ressources en eau dans les domaines industriel et agricole. Dans ce dernier l'utilisation intensive des engrais chimiques, notamment, les engrais minéraux composés provoquant une contamination des ressources en eau.

L'interprétation des résultats analytiques des eaux souterraines de la plaine d'oued Djendjen montre une dominance de deux faciès chimiques ; l'un chloruré calcique et l'autre bicarbonaté calcique. Les teneurs de certains éléments chimiques (calcium ; potassium ; chlorure ; sulfate ; bicarbonate ; nitrate ; nitrite, ammonium et fer) sont dépassées la norme algérienne de potabilité dans certaines zones de la plaine.

Généralement, les eaux de la rive droite de l'oued et la partie Nord de la plaine ont les fortes teneurs en éléments chimiques liées aux activités agricoles (les engrais et les pesticides), les rejets de la zone industrielle d'Ouled Saleh, les eaux usées des agglomérations, et l'accumulation des sels dans la partie aval (zone d'accumulation). Les eaux souterraines sont dures à très dures. Concernant l'aptitude des eaux de la plaine d'Oued Djendjen à l'irrigation la plupart des eaux 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.

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

On suggère de :

- Mettre en place un comité pour suivre les agriculteurs et les éduquer sur l'utilisation rationnelle des engrais et des pesticides.
- Arrêter les déversements directs et incontrôlés des eaux usées industrielles et urbaines au niveau de l'oued Djendjen.
- Réaliser un traitement préalable des rejets avant qu'ils atteignent les oueds et surveiller en permanence la qualité des eaux au niveau de l'oued.
- Réaliser les réseaux d'assainissement pour toutes les agglomérations dans la plaine pour éviter les effets des eaux usées.
- L'utilisation d'un système d'irrigation bien adapté pour la gestion en les ressources d'eau.

Références Bibliographiques

Assad A., 2014 : Pollution anthropique de cours d'eau : caractérisation spatio-temporelle et estimation des flux. *Thèse de doctorat, Université de Lorraine, France, 227p.*

Aissaoui H., 2012 : Effet des produits phytosanitaires et les engrais, sur l'abondance des métaux lourds (Cu, Zn) dans le sol et le végétal dans la région de Biskra. *Mémoire de magister, Université Mouhamed Kheider – Biskra, 157p.*

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

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

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, pp 21-36.*

Belmehel N., 2019 : Effets des traitements pesticides sur les composés phénoliques de la pomme de terre cultivée (*Solanum tuberosum* Var *Sylvana*). *Mémoire de master, Université de Mostaganem, 60p.*

Benslimane H., 2017 : Etude et amélioration du rendement de la centrale électrique de Jijel. *Mémoire de master, Université d'Annaba, 76p.*

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

Bermond R., Vuichard R., (1973) : Les paramètres de la qualité des eaux. *Documentation Française, Paris, 179p.*

Bouafia H., 2015 : Hydrodynamique souterraine et transfert des réservoirs profonds (couplage architecture stratigraphique vulnérabilité et risque de pollution) dans la région de Khenchela. *Mémoire de magister, Université d'Annaba, 133p.*

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

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, Université d'Alger, 187p.*

Boulanouar M., 1986 : Études écologiques comparées de quelques puits de la région de Marrakech. Impact des pollutions sur la zoocénose des puits. *Thèse de 3^{ème} cycle, Université Cadi Ayyad, Fac. Sci. Semlalia, Marrakech, 207p.*

Boulefrakh I et Lakhel Z., 2017 : Fonctionnement hydrodynamique et hydrochimique de la nappe alluviale d'oued Djendjen (Jijel –NE Algérien). *Mémoire de master, Université de Jijel, 95p.*

- 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.
- Bremond R et Vuichard R., 1973 :** Paramètres de la qualité des eaux, Ministère de la protection de la nature et de l'environnement, *SPEPE, Paris, 179p.*
- 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.*
- Cikh hamza A., 2013 :** étude de possibilité de création d'un périmètre d'irrigation à Ain el houtz. *Mémoire de master, Université de Tlemcen, 18p.*
- Clark I., 2015:** Groundwater geochemistry and isotopes. *CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton (Fla.), London, New York, 17p.*
- Compagne Générale de Géophysique (**C.G.G**), **1971 :** *Carte de la résistance transversale*
- Debieche T., 2002 :** Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle : application à la basse plaine de la sybousse Nord-Est Algérien. *Thèse de doctorat en science, Université de Franche-Comté. UFR des sciences et techniques, 235p.*
- 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.
- Dussart B., 1966 :** Etude des eaux continentales. *Gauthier- Villars, Ed., Paris.*
- Ehrmann F., 1921 :** Un important mouvement orogénique au début du Crétacé dans la Kabylie des babors. *C.I. Bruxelles, 172p.*
- Eskenazi., 1991 :** Eléments d'hydrologie I de l'université de Liège.
- 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 Ouargla, 440p.*
- Ficheur M. E., 1971 :** Carte géologique de la région de JIJEL.
- Gareau P., Gariepy A., Gingras S et Rasmussen P., 1999 :** La problématique de la pollution agricole, ses impacts sur la santé des cours d'eau et sur la santé humaine. *Travail de recherche et de synthèse. Union Saint-Laurent, Grands Lacs.*
- Gaudreau D et Marlène M., 1997 :** La contamination de l'eau des puits privés par les nitrates en milieu rural. Régie régionale de la santé et services sociaux Montérégie, *Direction de la santé publique, Québec, 39 p.*

- Gherairia I et Zardoudi F., 2018** : Effet de la fertilisation sur la culture de blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans la région de Guelma. *Mémoire de master, Université de Guelma*, 84p.
- Gilli É., Mangan C et Mudry J., 2008** : Hydrogéologie ; Objets, méthodes, applications. 2^{ème} Edition, Dunod, Paris, 340p.
- Groupeement Sofreco., 2012** : Situation en matière de mobilisation de la ressource souterraine arrêtée 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- Nord-est Algérien). *Mémoire de master, Université de Jijel*, 95p.
- Han F., Hargreaves J., Kingery W., Huggett D et Schlenk D., 2001**: Accumulation, distribution and toxicity of copper in soils of catfish pond receiving periodic copper sulfate applications. *J. Environ. Qual.*, Vol. 30, 912- 919.
- Hceflcd., 2007** : Etude diagnostique de la zone humide AL Massira-Faija, *cercle d'EL Brouj et Cercle de Settat (Maroc)*, 242p.
- Karaouet A et Bourafa S., 2016** : Caractérisation Hydrogéologique et Hydrochimique de la nappe alluviale de l'oued Djendjen (Jijel-NE Algérien). *Mémoire de master. Université de 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, Université de Constantine*, 176 p.
- Mekaoui A et Bennour S., 2016** : Bassin versant de la moyenne Seybouse pollution des eaux de surface approche qualitative et cartographique. *Mémoire de master, Université de Guelma*, 157p.
- Morin G., Cluis D., Couillard D., Jones H et Gauthier J., 1983** : Modélisation de la température de l'eau à l'aide du modèle quantité-qualité CEQUEAU ; *Québec*.
- Moughli L., 2000** : Transfert de technologie en agriculture : Les engrais minéraux Caractéristiques et utilisation, *N 72.1p 1-3-4*.
- Nouayti N, Khattach D, 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) Assessment of physico-chemical quality of groundwater of the Jurassic aquifers in high basin of Ziz (Central High Atlas, Morocco). *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (4), pp1068-1081.
- Potelon J 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., 1974** : Géologie du centre numidique (Nord du Constantinois. Algérie), *Mémoire.Soc. Géol. France*, 53, pp 121-163.
- Richards L., 1954** : Diagnosis and improvement of saline and alkali soils : *Agricultural hand book 60, Washington D.C*.
- Roche M., 1963** : hydrologie de surfaces. *Gauthier-villars et ORSTOM, Paris, France*, 430p.

Rodier J., 1984 : L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires et eau de mer. 7eme édition, Dunod, 1365p.

Rousseau H., 1995 : "Les contaminants chimiques de l'eau brute ou issus des canalisations du réseau de distribution". In Air intérieur et eau potable, sous la dire de pierre. Lajoie et Patrick Levallois, p. 221-243. Sainte-Foy: Les Presses de l'Université Laval.

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

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

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

Wilcox L., 1955: Classification and use of irrigation water. *US department of agriculture, 969:367p.*

<http://www.environnement-poitou-charentes.org/Les-pollutions-anthropiques,3759.html>

Résumé : L'objectif principal de ce travail est d'identifier l'impact des activités humaines sur la qualité des eaux souterraines de la plaine alluviale d'oued Djendjen, qui est située au Nord-Est de l'Algérie et fait partie des plaines côtières de la région de Jijel. Elle occupe la partie aval de son bassin versant et renferme une nappe libre contenue dans des alluvions Quaternaires.

Notre étude est basée sur les résultats d'une campagne, de mesures piézométriques et d'analyse chimique des eaux, effectuée durant le mois d'Avril 2016. L'examen de la carte piézométrique nous a permis de comprendre les fonctionnements du système aquifère et ses relations avec son environnement. Elle montre que l'écoulement suit parfaitement la topographie de la plaine où le sens d'écoulement principal est de direction Sud-Nord, avec une convergente des lignes de courant vers un axe de drainage privilégié au rive droite d'oued Djendjen.

L'interprétation des données analytiques montre une forte minéralisation des eaux enregistrée sur la rive droite de l'oued et dans la partie aval de la plaine (1500 – 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), avec la dominance de deux faciès chimiques : chloruré et bicarbonaté calcique. Enfin, les eaux de plaine sont dures à très dures ($\text{TH} > 32^\circ\text{F}$), mais elles ont une qualité bonne à admissible pour l'irrigation.

Mots clés : activités anthropiques, eaux souterraines, hydrochimie, piézométrie, oued Djendjen, Jijel.

ملخص: الهدف الرئيسي من هذا العمل هو التعرف على تأثير الأنشطة البشرية على جودة المياه الجوفية في سهل وادي جن جن، الواقع في الشمال الشرقي للجزائر، وهو جزء من السهول الساحلية لمنطقة جيجل. والذي يحتل الجزء السفلي من الحوض الهيدروغرافي ويحتوي على طبقة مياه جوفية حرة تتكون من تكوينات رسوبية. تستند هذه الدراسة إلى نتائج القياسات البيزومترية والتحليل الكيمائية للمياه الجوفية التي أجريت خلال شهر أبريل 2016. إن دراسة الخريطة البيزومترية تسمح لنا أن نفهم طريقة حركة المياه الجوفية وعلاقتها مع العوامل الخارجية، هذه الأخيرة تظهر لنا بان تدفق المياه الجوفية يتبع تضاريس السهل حيث اتجاه التدفق الرئيسي من الجنوب نحو الشمال، تقريبا مع نفس اتجاه جريان وادي جن جن مع تقارب لاتجاه الجريان نحو الضفة اليمنى من وادي جن جن. إن دراسة نتائج التحاليل الكيمائية والفيزيوكيمائية التي أجريناها أوضحت أن القيم العالية للتمعدن (1500-2000 مكروسيمنس/سم) سجلت في الضفة اليمنى للوادي وكذلك في المنطقة الشمالية للسهل، مع هيمنة نوعين من السحنات الكيمائية: بيكربونات الكالسيوم وكلور الكالسيوم. أخيراً، تعتبر مياه سهل وادي جن جن ثقيلة (غنية بالكالسيوم والمغنيزيوم)، ولكن تبقى جودتها جيدة إلى مقبولة بالنسبة للري.

الكلمات المفتاحية: الأنشطة البشرية، المياه الجوفية، الهيدروكيميا، المستوى البيزومتري، واد جن جن، جيجل.

Abstract: The main objective of this work is to identify the impact of human activities on the groundwater quality in wadi Djendjen alluvial plain, which is located in the North-East of Algeria and is part of the coastal plains of Jijel region, it occupies the downstream part of its watershed and contains a free water table contained in Quaternary alluvium.

This study is based on the results of a campaign, piezometric measurements and chemical analysis of water, carried out during the month of April 2016. The review of the piezometric map allowed us to understand the hydrodynamics of the aquifer system and its relationship with its environment. It shows that the flow perfectly follows the topography of the plain where the main flow direction is South-North direction with convergent current lines to a privileged axis of drainage in right bank of wadi Djendjen.

The interpretation of the analytical results shows a high mineralization of the water recorded on the right bank of wadi Djedjen and in the downstream part of the plain (1500 - 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), with the dominance of two chemical facies: chloride and calcium bicarbonate. Finally, plain water is hard to very hard ($\text{TH} > 32^\circ\text{F}$), but it has good to acceptable quality for irrigation.

Keywords: anthropogenic activities, groundwater, hydrochemistry, piezometry, wadi Djendjen, Jijel.