



-UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA-

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE



Département des Sciences biologiques

N° d'enregistrement :

...../...../...../.....

THESE

En Vue De L'obtention Du Diplôme de

DOCTORAT ès sciences

En Sciences biologiques

THEME

**Etude spatio-temporelle de la pollution azotée
des eaux de la nappe superficielle à Oued
M'Zab (Algérie)**

Présentée et soutenue publiquement par :

BENHEDID Hadjira

Soutenue publiquement : le 27/ 01/ 2022

Devant le jury

Président	CHELOUFI Hamid	Pr.	U.K.M Ouargla
Directeur de thèse	DADDI BOUHOUN Mustapha	Pr.	U.K.M Ouargla
Examineur	IDDER Mohamed Tahar	Pr.	U.K.M Ouargla
Examineur	BENBRAHIM Fouzi	M.C.A	E.N.S Ouargla
Examineur	KOUL Naima	M.R.A	C.R.S.T.R.A Tougourt
Examineur	OUCI Houria	M.C.A	Univ. Ghardaia

Année universitaire : 2021/2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿أَوَلَمْ يَرِ الَّذِينَ كَفَرُوا أَنَّ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ كَانَتَا رَتْقًا فَفَتَقْنَاهُمَا وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيًّا أَفَلَا يُؤْمِنُونَ﴾ (٣٠)
"سورة الأنبياء" الآية 30

*Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux
Ceux qui ont mécru, n'ont-ils pas vu que les cieux et la terre formaient
une masse compacte ? Ensuite Nous les avons séparés et fait de l'eau
toute chose vivante. Ne croiront-ils donc pas
Versets 30. Les prophètes (Al-Anbiya)*

روى الإمام أحمد وابن ماجة عن عَبْدِ اللَّهِ بْنِ عَمْرٍو بْنِ الْعَاصِ رَضِيَ اللَّهُ عَنْهُمَا (أَنَّ النَّبِيَّ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ مَرَّ بِسَعْدٍ وَهُوَ يَتَوَضَّأُ فَقَالَ : مَا هَذَا السَّرْفُ يَا سَعْدُ ؟ قَالَ : أَفِي الْوُضُوءِ سَرْفٌ ؟ قَالَ : نَعَمْ ، وَإِنْ كُنْتَ عَلَى نَهْرٍ جَارٍ).



Quand le puits est à sec, on sait le prix de l'eau.

Ce n'est pas notre pollution qui attaque l'environnement. Ce sont les impuretés dans notre air et dans notre eau qui en sont responsables.

Avant-propos

Avant tout, je remercie *Allah*, Dieu le Miséricordieux, l'Unique, le Puissant pour son guide et sa protection afin de pouvoir accomplir ce travail.

Je tiens à remercier vivement mon promoteur *Pr. DADDI BOUHOUN Mustapha* pour avoir accepté de diriger ce mémoire et pour son appui, ses conseils et ses orientations tout au long de ce travail pour ses encouragements et sa patience afin de corriger ce travail. Un grand remerciement pour *Dr. ACHOUR Mansour*, ingénieur de l'A.N.R.H Ghardaïa pour son aide précieuse.

Mes remerciements s'adressent également au *Pr. CHAABNNA Ahmed* pour son aide très utile.

Je remercie les honorables membres du jury qui nous ont fait l'honneur de corriger et juger notre travail :

Pr. CHELOUFI Hamid par sa présence en tant que président de jury *Pr. IDDER Mohamed Tahar*, *Dr. BENBRAHIM Fouzi*, *Dr. KOUL Naïma* et *Dr. OUCI Houria* Qui ont bien voulu examiner ce présent travail.

Je remercie toute ma famille pour son appui et son soutien moral, quant à la réalisation de ce travail.

Mes remerciements vont aussi à tout le personnel de laboratoire de l'A.D.E Ghardaïa, notamment à *Mlle BENAÏSSA Amel* et *Mme GUERBOUZ Fatima* et de Ouargla à *Mme Aïcha*, de S.T.E.P Ghardaïa à *Mr. Kaci Mahfoud* et le personnel des laboratoires pédagogiques de l'université de Ghardaïa.

A toute l'équipe de Labo Géologie du Sahara, en tête *Pr. HACINI Messoud*, *Dr. BOUHADDA Mebarka*, *Dr. BENSASSI*, *Dr. FARJAALLAH*, *Mr. Omar* et *Mme Asma*.

A *Mlle HADJ OMAR Khadidja* et *Mr. SEDKI* l'ingénieur de D.S.A Ghardaïa et à tous les propriétaires des puits qui m'ont facilité les prélèvements notamment *Mr. KHEIRNAS Ahmed*.

A tous mes enseignants, à tous mes collègues notamment *Dr. BOUHANNA Amel* et *Dr. RECIOUI Ibrahim*.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cette thèse.

Dédicace

Je dédie ce travail :

À mes chers parents

À mes chers frères et mes chères sœurs

À la mémoire de mes chères « grand-mère et sœur »

À la mémoire de mon co-promoteur Pr. SAKER Mohamed Lakhdar

(Que Dieu ait ses âmes)

À toute la famille BENHEDID

A tous mes collègues

A toutes mes adorables

Hadjira

ملخص

دراسة مكانية - زمانية للتلوث بالنيتروجين في المياه الجوفية السطحية في واد مزاب

يشكل تلوث المياه مشكلة رئيسية في المناطق الصحراوية. يهتم هذا البحث بدراسة التباين المكاني - الزماني للتلوث بالنيتروجين في المياه الجوفية السطحية في واد مزاب، ويهدف إلى تشخيص مدى انتشار التلوث وتحديد مدى ملاءمة استخدام المياه ومشاكل التدهور المطروحة.

يتألف أسلوبنا المنهجي من وصف نوعية المياه والرصد الموسمي (المنخفض والمرتفع) لتلوث النيتروجين و العناصر المتصلة بتلوث النيتروجين، وتصنيف نوعية المياه في ضوء المعايير.

تبين النتائج الرئيسية التي تم التوصل إليها في إطار هذه الدراسة أن المياه الجوفية السطحية صافية وقريبة من المتعادل وتزداد ملوحة بشدة من أعلى المجرى إلى أسفله بإتباع اتجاه تدفق المياه. التركيبة الكيميائية للمياه متغيرة، و غالبا ما يكون كبريتي متوازن

الكالسيوم المغنيسيوم والصدويوم. تبين التحاليل الكيميائية للمياه وجود تلوث متغير بالنيتروجين في المياه، من أعلى المجرى إلى أسفله. (NH_4^+ de $0,048 \pm 0,039$ mg/l ; NO_2^- de $0,007 \pm 0,033$ mg/l ; NO_3^- de $54,594 \pm 30,503$ mg/l).

وهو نتيجة للتلوث العضوي من مصادر مختلفة، بما في ذلك المياه المستعملة. الماء لا يظهر تلوث فوسفوري. وتشير مستويات D.C.O و D.B.O_5 إلى تلوث عضوي متوسط للمياه. النتائج البكتيريولوجية تؤكد تلوث هذه المياه بمياه الصرف الصحي.

تصنف مياه الطبقة الجوفية السطحية بأنها ملوثة في الوادي وغير صالحة للشرب وفق للمعايير الجزائرية و منظمة الصحة العالمية. يشير تصنيف المياه أن هذه المياه من نوعية رديئة للرّي، عرضة لخطر التملح وقلوية التربة.

ويظهر الرصد المكاني-الزماني للمياه زيادة طفيفة في الأس الهيدروجيني، نسبة الكدر و الأورثوفوسفات خلال فترة الصيف. في حين أنه أظهر زيادة في كمية الأملاح والتلوث بالنيتروجين، لا سيما النترات، فإنه كثيرا ما يتجاوز عتبات صلاحية الشرب، مما يشكل بلا شك خطرا على السكان الذين يستخدمون هذه المياه.

يظهر بحثنا تدهورا في موارد المياه الجوفية في وادي مزاب. يوصى بشدة إجراء تقييم مستمر لنوعية هذه المياه ومعالجتها للحد من التراكيزات المفرطة للملوثات الضارة بصحة الإنسان، و مشاريع تهيئة أخرى ضرورية بهدف الحفاظ على نوعية المياه الجوفية من جميع أشكال التلوث.

الكلمات المفتاحية : مكاني-زماني، تلوث النيتروجين، مياه جوفية سطحية، واد مزاب.

Résumé

Etude spatio-temporelle de la pollution azotée des eaux de la nappe superficielle à Oued M'Zab

La pollution des eaux est une problématique qui s'impose en zone saharienne. Ce travail de recherche s'intéresse à l'étude de la variation spatio-temporelle de la pollution azotée des eaux de la nappe superficielle à Oued M'Zab. Il vise à effectuer un diagnostic sur l'extension de la pollution, déterminer l'aptitude d'utilisation des eaux et les problèmes de dégradations posés.

Notre approche méthodologique consiste à faire une caractérisation de la qualité des eaux et un suivi saisonnier (basses et hautes eaux) de la pollution azotée et les paramètres en relation avec la pollution azotée, ainsi que la classification de la qualité des eaux par rapport aux normes.

Les principaux résultats obtenus dans le cadre de cette étude montrent que les eaux de la nappe sont claires, proches de la neutralité et fortement salins augmentant avec un ordre croissant de l'amont vers suivant le sens d'écoulement des eaux. Le faciès des eaux est variable, présentant une dominance sulfatée équilibrée, calcique, magnésienne et sodique.

Les analyses chimiques des eaux montrent une pollution azotée variable dans la nappe, de l'amont vers l'aval (NH_4^+ de $0,048 \pm 0,039$ mg/l ; NO_2^- de $0,007 \pm 0,033$ mg/l ; NO_3^- de $54,594 \pm 30,503$ mg/l).

Elle est issue de la contamination organique d'origine variable, notamment par les eaux usées.

Les eaux ne présentent pas une pollution phosphorée. Les teneurs de la D.B.O₅ et la D.C.O indiquent une moyenne contamination organique des eaux. Les résultats bactériologiques confirment la contamination de la nappe par les eaux usées.

Les eaux de la nappe sont classées polluées dans la vallée et non potables par rapport aux normes Algériennes et de l'O.M.S. La classification des eaux indique qu'elles sont de qualité médiocre pour l'irrigation, présentant un risque pour la salinisation et l'alcalinisation des sols.

Le suivi spatio-temporel des eaux montre une légère augmentation du pH, de la turbidité et des orthophosphates pendant la période estivale. Alors, il est mis en évidence un accroissement de la charge saline et de la pollution azotée, notamment les nitrates dépassant souvent les seuils de potabilité ; ce qui constitue sans aucun doute un risque pour les habitants consommateurs de ces eaux.

Notre recherche montre une dégradation des ressources hydriques souterraines dans la vallée du M'Zab. Il est vivement recommandé une évaluation continue de la qualité de ces eaux et un traitement pour réduire les concentrations excessives des éléments polluants nocifs à la santé humaine et d'autres aménagements sont nécessaires dans le but de préserver la qualité des eaux souterraines contre toutes formes de pollution.

Mots clés : Spatio-temporelle, pollution azotée, nappe superficielle, Oued M'Zab.

Summary

Spatio-temporal study of nitrogen pollution in surface water table in Oued M'Zab

Water pollution is a problem that is imposed in Saharan areas. This research is concerned with the study of the spatio-temporal variation of nitrogen pollution in surface water table in Oued M'Zab. It aims to make a diagnosis on the extension of pollution, determine the suitability of water use and the problems of degradation posed.

Our methodological approach consists of characterizing water quality and seasonal monitoring (low and high water) of nitrogen pollution and parameters in relation to nitrogen pollution, and the classification of water quality against standards.

The main results obtained in the framework of this study show that the waters of the aquifer are clear, close to neutrality and strongly saline increasing with an increasing order from upstream to following the direction of water flow. The facies of the water are variable, with a balanced calcium sulphate dominance of magnesium and sodium.

Water chemical analyses show variable nitrogen pollution in the water table, from upstream to downstream (NH_4^+ of $0,048\pm 0,039 \text{ mg.l}^{-1}$; NO_2^- of $0,007\pm 0,033 \text{ mg.l}^{-1}$; NO_3^- of $54,594\pm 30,503 \text{ mg.l}^{-1}$).

It comes from organic contamination of various origin, especially from wastewater. The water does not have phosphorus pollution. The levels of D.B.O₅ and D.C.O indicate an average organic contamination of the waters. Bacteriological results confirming the contamination of the groundwater by wastewater.

The water table is classified as polluted in the valley and non-potable by Algerian and W.H.O standards. The water classification indicates that it is of poor quality for irrigation, presenting a risk for soil salinization and alkalinization.

The spatio-temporal monitoring of the waters shows a slight increase in pH, turbidity and orthophosphates during the summer period. This shows an increase in saline loading and nitrogen pollution, in particular nitrates, often exceed the potability thresholds, this undoubtedly constitutes a risk for the inhabitants who consume these waters.

Our research shows a degradation of underground water resources in the M'Zab Valley. A continuous assessment of the quality of these waters and treatment to reduce excessive concentrations of pollutants harmful to human health is strongly recommended, and further development is needed to preserve water quality groundwater against all forms of pollution.

Keywords : Spatio-temporal, nitrogen pollution, surface water table, Oued M'Zab.

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
Tableau I	Données climatiques de la station météorologique de Ghardaïa de l'année 2009 à 2019 (O.N.M, 2019)	19
Tableau II	Données climatiques de la station météorologique de Ouargla durant la période de 2007-2017 (O.N.M, 2018)	19
Tableau III	Répartition des forages par commune avec les volumes d'exploitation (D.P.S.B, 2019)	36
Tableau IV	Inventaire des puits par commune (D.S.A, 2019)	45
Tableau V	Localisation des sites d'échantillonnage par G.P.S de marque « Meridian Platinum MAGELLAN »	69
Tableau VI	Classes de salinité des eaux d'irrigation dans la vallée du M'Zab	131
Tableau VII	Classes de la sodicité des eaux de l'aquifère superficiel de l'Oued M'Zab	132
Tableau VIII	Classes des eaux de l'aquifère superficielle de l'Oued M'Zab	134

Liste des figures

N°	Titre	Page
Chapitre I		
Figure I 1	Cycle de l'azote (NEITSCH et <i>al.</i> , 2000)	9
Chapitre II		
Figure II 1	Localisation géographique du bassin du M'Zab (DJILI, 2018)	17
Figure II 2	Répartition de la population de la wilaya de Ghardaïa par commune (D.P.S.B, 2019)	18
Figure II 3	Diagramme Ombrothermique de la zone d'étude	22
Figure II 4	Etage bioclimatique de la zone d'étude selon le Climagramme d'EMBERGER	23
Figure II 5	Carte des pentes et de relief du bassin du M'Zab (DJILI, 2018)	24
Figure II 6	Carte d'occupation des sols dans la vallée du M'Zab (ACHOUR, 2014)	26
Figure II 7	Bassin versant de l'Oued M'Zab (DUBIEF, 1953, modifiée)	27
Figure II 8	Sous bassin versant de l'oued M'Zab jusque l'exutoire de El Atteuf (D.P.A.T, 2010)	28
Figure II 9	Localisation des barrages et leurs bassins versants par rapport la vallée du M'Zab (BONNARD & GARDEL, 2000, modifiée)	31
Figure II 10	Carte géologique du Bassin du M'Zab (Extrait de S.C.G. (1952), modifiée (DJILI, 2018)	32
Figure II 11	Coupe géologique schématique de la vallée du M'Zab (A.N.R.H, 2003)	33
Figure II 12	Coupe lithologique de forage CNAS – MOUDJAHIDINE commune de Ghardaïa (A.N.R.H, 2009)	34
Figure II 13	Coupe lithologique de forage AHBAS ATTEUF (A.N.R.H, 2009)	34
Figure II 14	Inventaire des forages d'eau au Nord la région de Ghardaïa (ANRH, 2019)	37
Figure II 15	Collecteur principal des eaux usées de la vallée du M'Zab (BONNARD & GARDEL, 2000)	38
Figure II 16	Situation géographique de la S.T.E.P par rapport à la vallée du M'Zab	40
Figure II 17	Station d'épuration Kef Dokhane (BONNARD & GARDEL, 2000)	40
Figure II 18	Résultats moyens annuel des analyses des eaux usées brutes et épurées pendant l'année 2017 (O.N.A, 2019b)	41

Figure II 19	Résultats moyens annuel des analyses des eaux usées brutes et épurées pendant l'année 2018 (O.N.A, 2019b)	42
Figure II 20	Carte du niveau statique de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab de l'année 2013 (BENHEDID, 2014)	47
Figure II 21	Carte du niveau statique de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (Avril-mai 2011) (ACHOUR, 2014)	48
Figure II 22	Carte piézométrique de la nappe superficielle de 'Oued M'Zab de l'année 2013 (BENHEDID, 2014)	49
Figure II 23	Carte piézométrique de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (Avril-mai 2011) (ACHOUR, 2014)	49
Figure II 24	Carte de répartition des facies chimiques des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab de l'année 2013 (BENHEDID, 2014)	50
Figure II 25	Carte de l'indice de vulnérabilité de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (ACHOUR, 2014)	51
Figure II 26	Carte de la variation spatiale de NO_3^- des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab de l'année 2013 (BENHEDID, 2014)	52
Figure II 27	Carte de la répartition spatiale de la pollution des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (BENHEDID, 2014)	53

Chapitre III

Figure III 1	Situation géographique de la zone d'étude	58
Figure III 2	Localisation des stations d'étude	59
Figure III 3	Localisation des stations et les sites d'étude	62

Chapitre IV

Figure IV 1	Traitement des données par l'utilisation du logiciel ArcGIS 10.8	72
--------------------	--	-----------

Chapitre V

Figure V 1	Localisations des puits dans les sites d'étude	83
Figure V 2	Types d'utilisations des eaux dans les sites d'étude	84
Figure V 3	Modes de collectes des eaux usées dans les sites d'étude	85
Figure V 4	Rejets des eaux usées dans les sites d'étude	86
Figure V 5	pH moyenne des eaux dans les stations d'étude	87
Figure V 6	Carte de la variation spatiale du pH des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab	88
Figure V 7	C.E moyenne des eaux dans les stations d'étude	89
Figure V 8	Carte de la variation spatiale de la C.E des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab	91
Figure V 9	Espace des variables de l'A.C.P d'hiver 2017	92
Figure V 10	Espace des individus et des variables de l'A.C.P d'hiver 2017	92
Figure V 11	Turbidité moyenne des eaux dans les stations d'étude	93
Figure V 12	Carte de la variation spatiale de la turbidité des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab	95
Figure V 13	Projection des individus et des variables sur le plan factoriel 1 et 2	96
Figure V 14	NH_4^+ moyenne des eaux dans les stations d'étude	97
Figure V 15	Carte de la variation spatiale de NH_4^+ des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab	98
Figure V 16	NO_2^- moyenne des eaux dans les stations d'étude	100
Figure V 17	Carte de la variation spatiale de NO_2^- des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab	101
Figure V 18	NO_3^- moyenne des eaux dans les stations d'étude	102
Figure V 19	Carte de la variation spatiale de NO_3^- des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab	104

Figure V 20	Carte de la variation spatiale de P_{total} des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab	107
Figure V 21	Carte de la variation spatiale de PO_4^{-3} des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab	108
Figure V 22	D.B.O ₅ moyenne des eaux dans les stations d'étude	109
Figure V 23	Carte de la variation spatiale de D.B.O ₅ des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab	111
Figure V 24	Carte de la variation spatiale de l'I.P.O des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab	112
Figure V 25	D.C.O moyenne des eaux dans les stations d'étude	113
Figure V 26	Carte de la variation spatiale de D.C.O des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab	114
Figure V 27	l'indice de la biodégradabilité des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab	115
Figure V 28	Carte de la variation spatiale de Ca^{++} des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab	118
Figure V 29	Carte de la variation spatiale de Mg^{++} des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab	119
Figure V 30	Carte de la variation spatiale de Na^+ des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab	120
Figure V 31	Carte de la variation spatiale de K^+ des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab	121
Figure V 32	Carte de la variation spatiale de Cl^- des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab	124
Figure V 33	Carte de la variation spatiale des SO_4^{-} des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab	125
Figure V 34	Carte de la variation spatiale des HCO_3^{-} des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab	126
Figure V 35	Faciès chimique des eaux d'après le diagramme de PIPER	128
Figure V 36	Faciès chimique des eaux d'après le diagramme de PIPER	129
Figure V 37	Classes de salinité des eaux d'irrigation des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab	131
Figure V 38	Classes de la sodicité des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab	133
Figure V 39	Qualité des eaux d'irrigation dans la station de Daya Bendahoua et Ghardaïa en fonction de la C.E et du S.A.R	135
Figure V 40	Qualité des eaux d'irrigation dans la station de Bounoura et d'El Atteuf en fonction de la C.E et du S.A.R	136
Figure V 41	Résultats des analyses bactériologiques de C.T, C.F et E.Coli	137
Figure V 42	Résultats des analyses bactériologiques de S.T, S.F et Clostridium sulfito-reducteur	139

Chapitre IV

Figure VI 1	Variation spatio-temporelle de NH_4^+ moyenne des eaux à travers les stations d'étude	143
Figure VI 2	Cartes de la variation spatio-temporelle de NH_4^+ des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (2017- 2018)	145
Figure VI 3	Carte de la variation spatiale de NH_4^+ des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (été 2017)	146
Figure VI 4	Carte de la variation spatiale de NH_4^+ des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (hiver 2018)	147

Figure VI 5	Carte de la variation spatiale de NH_4^+ des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (été 2018)	148
Figure VI 6	Espace des variables de l'A.F.D des stations	149
Figure VI 7	Barycentres des variables	149
Figure VI 8	Espace des variables de l'A.F.D des saisons	150
Figure VI 9	Barycentres des variables	150
Figure VI 10	Variation spatio-temporelle de NO_2^- moyenne des eaux à travers les stations d'étude	151
Figure VI 11	Cartes de la variation spatio-temporelle de NO_2^- des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (2017- 2018)	153
Figure VI 12	Carte de la variation spatiale de NO_2^- des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (été 2017)	154
Figure VI 13	Carte de la variation spatiale de NO_2^- des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (hiver 2018)	155
Figure VI 14	Carte de la variation spatiale de NO_2^- des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (été 2018)	156
Figure VI 15	Variation spatio-temporelle de NO_3^- moyenne des eaux à travers les stations d'étude	157
Figure VI 16	Cartes de la variation spatio-temporelle de NO_3^- des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (2017- 2018)	159
Figure VI 17	Carte de la variation spatiale de NO_3^- des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (été 2017)	160
Figure VI 18	Carte de la variation spatiale de NO_3^- des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (hiver 2018)	161
Figure VI 19	Carte de la variation spatiale de NO_3^- des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (été 2018)	162
Figure VI 20	Variation spatio-temporelle de PO_4^{3-} moyenne des eaux à travers les stations d'étude	163
Figure VI 21	Cartes de la variation spatio-temporelle de PO_4^{3-} des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (2017- 2018)	165
Figure VI 22	Carte de la variation spatiale de PO_4^{3-} des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (été 2017)	166
Figure VI 23	Carte de la variation spatiale de PO_4^{3-} des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (hiver 2018)	167
Figure VI 24	Carte de la variation spatiale de PO_4^{3-} des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (été 2018)	168
Figure VI 25	Variation spatio-temporelle du pH moyenne des eaux à travers les stations d'étude	169
Figure VI 26	Variation spatio-temporelle de C.E moyenne des eaux à travers les stations d'étude	170
Figure VI 27	Espace des variables de l'A.C.P global	171
Figure VI 28	Espace des variables et des individus de l'A.C.P global	171
Figure VI 29	Variation spatio-temporelle de la turbidité moyenne des eaux à travers les stations d'étude	172
Figure VI 30	Variation spatio-temporelle de Cl^- moyenne des eaux à travers les stations d'étude	173
Figure VI 31	Variation spatio-temporelle de SO_4^{2-} moyenne des eaux à travers les stations d'étude	174
Figure VI 32	Variation spatio-temporelle de K^+ moyenne des eaux à travers les stations d'étude	174

Liste des photos

N°	Titre	Page
Photo 1	Barrage de dérivation de Bouchen en amont de la palmeraie de Ghardaïa	29
Photo 2	Barrage de retenue Béni-Isguen (BENSAHA et <i>al.</i> , 2011)	30
Photo 3	Culture expérimentale d'olivier -2017-	43
Photo 4	Couche d'huiles dans le lagune -2017-	43
Photo 5	Oiseaux observés au sein des bassins des lagunages d'après la Conservation des forêts Ghardaïa 2017	44
Photo 6	Végétation installée au sein de canal du rejet final et du milieu récepteur	44
Photo 7	Système de puisage traditionnel (A) et par motopompe (B)	46
Photo 8	Quelques puits des sites étudiés	61
Photo 9	Site agricole « palmeraie habitée » dans la station de Daya Bendahoua	63
Photo 10	Site agro-urbain « palmeraie habitée » dans la station de Ghardaïa	64
Photo 11	Site agricole « palmeraie » dans la station de Bounoura	65
Photo 12	Site agricole « palmeraie » dans la station d'El Atteuf	66
Photo 13	Appareil G.P.S de marque « Meridian Platinum MAGELLAN	69
Photo 14	pH-mètre	75
Photo 15	Conductimètre	75
Photo 16	Turbidimètre	75
Photo 17	Spectrophotomètre, de type ODYSSEY (H.A.C.H)	76
Photo 18	Dosage des Ca ⁺⁺ par titrimétrie	77
Photo 19	Spectrophotomètre d'émission de flamme, de type JENWAY PFP7	78
Photo 20	Dosage des SO ₄ ⁻ par gravimétrie	78
Photo 21	Analyses bactériologiques	79

Liste des annexes

N°	Titre
Annexe I	Points noirs localisés par l'O.N.A (O.N.A, 2019)
Annexe II	Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels (J.O.R.A, 2006)
Annexe III	Localisation des puits de de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab en 2013 (BENHEDID, 2014)
Annexe IV	Valeurs seuils applicables aux eaux souterraines selon la directive 2006/118/CE du Parlement européen et du Conseil de l'union Européenne du 12 décembre 2006 (J.O.U.E, 2006)
Annexe V	Paramètres et valeurs limites de la qualité de l'eau de consommation humaine (J.O.R.A, 2011)
Annexe VI	Normes de l'O.M.S pour l'eau potable (RODIER et <i>al.</i> , 2009)
Annexe VII	Directive pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation (F.A.O, 1985 in F.A.O, 2003)
Annexe VIII	Classification des eaux d'après leur pH (REFEA, 2003)
Annexe IX	Classification des eaux souterraines en fonction de la conductivité (DIB, 2009)
Annexe X	Matrice de corrélation (hiver 2017)
Annexe XI	Classification des eaux en fonction de la turbidité (N.T.U Nephelometric Turbidity Unit) (REFEA, 2003)
Annexe XII	Indice de pollution organique (I.P.O) (SAYAD, 2015)
Annexe XIII	Valeur du rapport D.C.O/ D.B.O ₅ (OUALI, 2001)
Annexe XIV	Classification des eaux d'irrigation selon leurs conductivités électriques (DURAND, 1983)
Annexe XV	S.A.R des eaux et risques d'alcalinisation des sols (SERVANT, 1975)
Annexe XVI	Matrice des données des paramètres qualitatifs et quantitatifs pour l'analyse A.F.C (hiver 2017)

Liste des abréviations

A.D.E Algérienne Des Eaux
A.C.P Analyse en Composantes Principales
A.F.C Analyse Factorielle des Correspondances
A.F.D Analyse Factorielle Discriminante
A.N.R.H Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
B.N.E.D.E.R Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural
C.D.A.R.S Commissariat au Développement de l'Agriculture des Régions Sahariennes
C.E.A.E.Q Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec
D.A.S Direction des Services Agricoles
D.H.W Direction de l'Hydraulique de la Wilaya
D.P.A.T Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire
D.P.S.B Direction de la Programmation et du Suivi Budgétaires
I.N.S.P.Q Institut National de Santé Publique du Québec
I.S.O Organisation internationale de normalisation
J.O.R.A Journal Officiel de la République Algérienne
J.O.U.E Journal Officiel de l'Union Européenne
O.M.S Organisation Mondiale de la Santé
O.N.A Office National d'Assainissement
O.N.M Office National de la Météorologie
U.N.T Nephelometric Turbidity Unit

Table des matières

N°	Titre	Page
	Avant-propos	
	Dédicace	
	Résumé	
	Liste des tableaux	
	Liste des figures	
	Liste des photos	
	Liste des annexes	
	Liste des abréviations	
Introduction générale		1
Première partie : Synthèse bibliographique		
Chapitre I. Pollution azotée des eaux		
	Introduction	6
1.	Pollution des eaux	6
2.	Origine de la pollution des eaux	6
3.	Typologies des pollutions aquatiques	7
4.	Pollution azotée des eaux	8
4.1.	Cycle biogéochimique de l'azote	8
4.2.	Composés azotés	9
4.2.1.	Azote organique	9
4.2.2.	Ammonium	10
4.2.3.	Nitrites	10
4.2.4.	Nitrates	10
5.	Qualité naturelle des eaux souterraines	11
6.	Vulnérabilité des eaux souterraines	11
7.	Pollution des eaux souterraines	12
8.	Impacts de la pollution sur la qualité des eaux souterraines	13
	Conclusion	14
Chapitre II. Cadre et problématique d'étude		
	Introduction	16
1.	Présentation de la zone d'étude	16
1.1.	Localisation géographique	16
1.2.	Démographie	17
1.3.	Climat	18
1.3.1.	Températures	19
1.3.2.	Précipitations	20
1.3.3.	Vents	20
1.3.4.	Humidité relative de l'air	21
1.3.5.	Evaporation	21
1.3.6.	Insolation	22
1.3.7.	Synthèse climatique	22
1.3.7.1.	Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN	22
1.3.7.2.	Climagramme d'EMBERGER	22
1.4.	Géomorphologie	23
1.5.	Pédologie	25
1.6.	Productions agricoles	25
1.7.	Hydrologie	26
1.7.1.	Principaux affluents du M'Zab	27
1.7.2.	Ecoulement	28
1.7.3.	Gestion des eaux de crues	29
1.8.	Géologie	32
1.9.	Hydrogéologie	35
1.10.	Assainissement	37

1.10.1.	Collecte des eaux usées	37
1.10.2.	Traitement des eaux usées	39
1.10.3.	Rejets des eaux usées épurées	43
1.11.	Gestion des eaux de la nappe superficielle	45
1.11.1.	Niveaux des eaux	46
1.11.2.	Faciès des eaux	50
1.11.3.	Vulnérabilité de nappe superficielle	50
1.11.4.	Problèmes de gestion	51
	Conclusion	53

Deuxième partie : Matériels et méthodes

Chapitre III. Matériels d'étude

	Introduction	57
1.	Choix de la zone d'étude	57
2.	Choix des stations d'étude	57
3.	Choix des sites d'étude	60
4.	Présentation des stations d'étude	63

Chapitre IV. Méthodes d'étude

	Introduction	68
1.	Approche méthodologique	68
1.1.	Localisation des sites d'échantillonnage	68
1.2.	Caractérisation de la pollution de la nappe superficielle	70
1.2.1.	Etude physico-chimique des eaux	70
1.2.2.	Etude bactériologique des eaux	73
1.3.	Etude de la variation spatio-temporelle de la pollution azotée et les paramètres liés à la pollution des eaux	73
1.4.	Conclusion et recommandations d'aménagement par rapport aux problèmes	74
2.	Méthodes d'analyses	74
2.1.	Méthodes d'étude physico-chimiques	75
2.2.	Méthodes d'étude bactériologiques	79

Troisième partie : Résultats et discussions

Chapitre V. Caractérisation de la pollution de la nappe superficielle

	Introduction	82
1.	Appréciation des conditions environnementales des sites d'étude	82
1.1.	Localisations de puits	82
1.2.	Type d'utilisation des eaux	83
1.3.	Modes de collectes des eaux usées	84
1.4.	Rejets des eaux usées	85
2.	Etude physico-chimique de la nappe superficielle	86
2.1.	Potentiel d'Hydrogène	86
2.2.	Conductivité électrique	89
2.3.	Turbidité	93
2.4.	Paramètres de la pollution chimique des eaux	97
2.4.1.	Ammonium	97
2.4.2.	Nitrites	99
2.4.3.	Nitrates	102
2.4.4.	Phosphore total et orthophosphates	105
2.5.	Paramètres de la pollution organique des eaux	109
2.5.1.	Demande biologique en oxygène	109
2.5.2.	Demande chimique en oxygène	113
2.6.	Composition ioniques des eaux	115
2.6.1.	Cations solubles	116
2.6.2.	Anions solubles	122
2.6.3.	Faciès chimiques des eaux	127

2.7.	Aptitude des eaux à l'irrigation	130
2.7.1.	Salinité de l'eau	130
2.7.2.	Sodicité des eaux	131
3.	Etude microbiologiques de la nappe superficielle	137
3.1.	Coliformes totaux et fécaux	137
3.2.	Streptocoques totaux et fécaux	138
3.3.	Clostridium Sulfito-réducteurs	138
	Conclusion	140

Chapitre VI. Etude de la variation spatio-temporelle de la pollution azotée et les paramètres liés à la pollution des eaux

	Introduction	143
1.	Ammonium	143
2.	Nitrites	151
3.	Nitrates	157
4.	Orthophosphates	163
5.	Potentiel d'Hydrogène	169
6.	Conductivité électrique	169
7.	Turbidité	172
8.	Chlorures	172
9.	Sulfates	173
10.	Potassium	174
	Conclusion	175

	Conclusion générale	177
	Références bibliographiques	181
	Annexes	

Introduction générale





Élément constitutif de notre environnement, l'eau est une ressource vitale pour tous les êtres vivants, mais elle est aussi devenue, avec l'accroissement de l'activité anthropique, le récepteur et le vecteur d'un bon nombre de substances polluantes (MABROUKI *et al.*, 2016).

La qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause des rejets industriels non contrôlés, l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture ainsi que l'exploitation désordonnée des ressources en eau. Ces derniers produisent une modification chimique de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités (DEBIECHE, 2002). Sur l'ensemble des continents, la pollution des eaux représente un problème majeur. En effet les ressources en eau contiennent souvent des excès de nitrates, de phosphore, de matières organiques, d'hydrocarbures, de produits phytosanitaires et de métaux lourds qui doivent être mieux contrôlés car ils peuvent avoir des conséquences néfastes sur les qualités de vie des milieux aquatiques (DE NARDI, 2009).

Les eaux souterraines sont une source importante d'approvisionnement en eau dans le monde entier (SOPHIA PORCHELVI & SELVAVATHI, 2017). Outre, qu'elles représentent des volumes souvent importants, elles offrent généralement une eau de meilleure qualité que les eaux de surface. Ces eaux constituent 23 % des ressources en eau douce de la planète qui doivent être conservées et protégées de toutes sortes de pollutions (LAAOUAN *et al.*, 2016).

La qualité des eaux souterraines est devenue un problème important de ressources en eau en raison de l'augmentation rapide de la population, de l'industrialisation rapide, de l'urbanisation et l'utilisation excessive d'engrais et de pesticides en agriculture (JOARDER *et al.*, 2008).

En Algérie, les eaux souterraines sont polluées à partir de la surface et sont irréversiblement endommagées par l'intrusion d'eau saline, la surexploitation des couches aquifères entame la capacité de celle-ci à retenir l'eau, ce qui provoque l'enfoncement des couches sous-jacentes. Nombre de villes se révèlent incapables de fournir en quantité suffisante de l'eau potable et des équipements d'hygiène (REMINI, 2010).

Dans le Sahara septentrional, l'utilisation irrationnelle des ressources en eau souterraine, est faite sans une politique de planification et de gestion. De ce fait, l'absence d'un système efficace de drainage et d'évacuation des eaux usées a créé des situations graves avec des conséquences néfastes et irréversibles sur le milieu, notamment à Ouargla et à Oued Souf (MOULLA & GUENDOUIZ, 2003 ; KHADRAOUI & TALEB, 2008 ; IDDER, 2007 ; IDDER *et al.*, 2011).

A la vallée du M'Zab, l'accroissement de la population et de la consommation individuelle en eau potable a entraîné une importante augmentation du volume des rejets



d'eaux usées déversées en aval de l'Oued. Aussi, la présence de fosses septiques et les fuites engendrées par le réseau d'assainissement constituent des risques de dégradation de l'environnement, notamment la qualité des eaux de la nappe superficielle.

Quelques études, déjà réalisées sur la qualité des eaux de la nappe superficielle (mémoires d'ingénieur, de master et de Magister), ont signalé la pollution de ces eaux (DADDI BOUHOUN, 1997 ; A.N.R.H, 2003 ; REZZAG & BEN YAHKOUM, 2005 ; BOUHADDA & ZENTAR, 2006 ; TALEB BAHMED, 2008 ; HASSANI, 2009 ; MELLAK, 2009 ; BENZAYET, 2010 ; BENHEDID, 2014 ; BENSABAHA, 2015 ; BEGRA & TELLI, 2018).

Notre travail du magister, réalisé en hiver 2013 intitulé « l'étude de l'impact des eaux usées sur la variabilité de la pollution des aquifères superficiels à Oued M'Zab » (BENHEDID, 2014), nous a montré une pollution azotée des eaux de la nappe superficielle d'origine agro-domestique. Cela nous a permis de détecter un problème de pollution dans la vallée du M'Zab.

Toutefois, cette étude antérieure reste préliminaire et insuffisante car elle a suscité des interrogations sur le devenir et la dynamique de la pollution notamment après la mise en fonction de la station d'épuration de type lagunaire. Pour ces raisons, notre travail de recherche s'avère nécessaire ; il a comme objectif de faire un diagnostic spatio-temporel sur la pollution azotée de la nappe superficielle. L'approche méthodologique consiste à faire une caractérisation de la qualité des eaux et un suivi saisonnier (basses et hautes eaux) de la pollution azotée et les paramètres liés à la pollution des eaux et d'optimiser l'interprétation des analyses physico-chimiques et bactériologiques en utilisant des moyens plus adéquats, afin de déterminer leurs aptitudes d'utilisation et les problèmes de dégradation posés.

Les résultats obtenus vont nous permettre de cartographier les zones de la pollution azotée permanente et temporaire pour faire les recommandations d'aménagement afin d'améliorer le système d'assainissement et de préserver la ressource hydrique souterraine utilisée comme eau potable et permettre ainsi la durabilité de cette dernière.

Afin d'atteindre nos objectifs, notre recherche s'articule autour de trois grandes parties, à savoir :

- La première constitue à une synthèse bibliographique sur la pollution azotée des eaux, la présentation du cadre d'étude et la problématique de la pollution des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab ;



- La deuxième partie est consacrée à la présentation des sites expérimentaux et à l'approche méthodologique de notre recherche ainsi que les méthodes des analyses hydro-chimiques et biologiques utilisées dans cette étude ;
- La troisième partie traite et interprète les résultats sur la caractérisation de la qualité de la nappe superficielle ainsi que la variation spatio-temporelle de la pollution azotée et les paramètres liés à la pollution des eaux, complétée par une conclusion générale avec quelques recommandations.

Première partie :
Synthèse bibliographique



Chapitre I.
Pollution azotée des eaux





Introduction

Ce chapitre est une synthèse bibliographique sur la problématique de la pollution des eaux, notamment la pollution azotée et un aperçu sur les composés azotés des eaux et leur impact sur la qualité des eaux souterraines.

1. Pollution des eaux

La pollution des eaux dans son sens le plus large est définie comme « Tout changement défavorable des caractéristiques naturelles (biologiques ou physico-chimiques) dont les causes sont directement ou indirectement en relation avec les activités humaines (ROUBATY & BOEGLIN, 2007).

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S), il y a pollution des eaux, lorsque la composition ou l'état des eaux est directement ou indirectement modifié du fait de l'activité de l'homme et dans une mesure telle que celles-ci se prêtent moins facilement à toutes les utilisations auxquelles elles pourraient servir à leur état naturel (VANDER BORGHT, 1993). Ici, la pollution de l'eau est la modification de la qualité de l'eau par les matières organiques et les microorganismes provenant des activités humaines.

La pollution de l'eau est une alteration des qualités naturelles (physiques et chimiques) d'une eau. C'est à la fois l'action et les processus de dégradation des qualités de l'eau. La pollution des eaux souterraines entraîne le risque permanent de limitation de cette ressource dans un proche avenir. Elle résulte essentiellement de l'activité humaine indépendamment de la détérioration naturelle liée aux facteurs géologiques (BOUCENNA, 2009).

2. Origine de la pollution des eaux

La pollution des eaux résulte essentiellement des activités anthropiques. En effet, l'accroissement de la population mondiale a provoqué une augmentation de l'utilisation des eaux pour évacuer les déchets humains qui sont à l'origine de la pollution organique et biologique. De même, l'intensification de l'agriculture avec des produits chimiques (engrais, pesticides) est l'une des origines de l'introduction des polluants chimiques, très dangereux pour l'environnement (MAMADOU, 2010).

Avec le développement industriel, les problèmes de pollution de l'eau ont pris un tour d'abord régional puis continental et désormais ou maintenant, il est mondial. Une grande quantité d'eau est polluée par les usages industriels, agricoles ou encore domestiques. L'industrie utilise de grandes quantités d'eau mais le principal problème tient à ce que la majeure partie de cette eau retourne à la nature, polluée car chargée de déchets, de produits



chimiques et de métaux lourds. Plus de 85 % de l'eau consommée par l'industrie sont retournés à la nature sous forme d'eau usée (GUPTA, 1992).

Des évaluations récentes ont permis de rapporter que les principaux polluants de l'eau sont les effluents d'égout, les nutriments, les métaux toxiques rejetés par les industries en activité et surtout les installations minières abandonnées ainsi que les produits chimiques utilisés dans l'industrie et en agriculture (PNUE, 1991 ; BELHADJ, 2017).

3. Typologies des pollutions aquatiques

On distingue traditionnellement différents types de pollution en fonction de l'agent polluant qui peut être d'origine physique, chimique ou biologique. L'Office International de l'Eau propose une typologie plus large basée sur plusieurs catégories de pollution (AGNAN, 2013) :

3.1. Pollution organique est naturellement émise par les végétaux et animaux mais elle peut également être déversée par des élevages ou des industries. Son surplus dans le milieu entraîne alors une asphyxie de celui-ci du fait de sa biodégradation (pour la partie biodégradable) qui consomme de l'oxygène.

3.2. Pollution induite par les métaux lourds (cadmium, plomb, chrome, mercure, zinc notamment). Ils sont contenus dans les effluents de certaines industries (métallurgie, traitement de surface, automobile, industrie du chlore, plasturgie) mais aussi dans des effluents domestiques (par exemple, zinc dans les dentifrices) et agricoles (par exemple, cuivre et zinc en complément alimentaire pour les animaux, cuivre pour le traitement de la vigne). À des concentrations très faibles, ils présentent des risques cancérogènes, tératogènes, d'atteinte du système nerveux ou respiratoire.

3.3. Pollution azotée et phosphatée qui est responsable de fréquents dépassements de normes. Elle provient des eaux usées domestiques, des effluents industriels (agroalimentaires, papeteries...) et principalement du lessivage des engrais et effluents d'élevage dans les zones agricoles. L'azote présent sous forme organique ou ammoniacale (NH_4^+) dans les effluents se transforme en nitrate (NO_3^-) dans le milieu naturel. Des nitrates peuvent également être rejetés par les stations d'épuration d'eaux résiduaires urbaines.

3.4. Pollution microbienne inhérente à la présence de bactéries et de virus dans l'eau (coliformes fécaux comme les *Escherichia coli*, streptocoques, entérocoques).

3.5. Pollution visuelle ou esthétique en lien avec les propriétés organoleptiques de l'eau (colorants, odeurs, turbidité, algues, matières huileuses...).



3.6. Pollution thermique découlant d'un réchauffement des eaux principalement corrélé aux rejets des eaux de refroidissement.

3.7. Pollution mécanique est causée par des éléments en suspension (particules de charbon, d'amiante, de silice, de sable, de limon) provenant d'effluents industriels ou d'eaux usées.

3.8. Pollution radionucléaire due aux centrales nucléaires et au traitement des déchets médicaux radioactifs.

4. Pollution azotée des eaux

Le terme azote -a-zote, « sans vie » en grec, provient de l'incapacité de la majorité des organismes vivants à assimiler l'azote atmosphérique, principal constituant du compartiment atmosphérique. La grande variété de degré d'oxydation de l'azote permet la constitution de nombreuses formes chimiques, toutes plus ou moins réactives, rendant ainsi le cycle biogéochimique de cet élément des plus complexes. Son recyclage se révèle être relativement rapide via le rôle central des organismes vivants (AGNAN, 2013).

4.1. Cycle biogéochimique de l'azote

L'azote circule selon un cycle biogéochimique au cours duquel il passe sous des formes organiques et minérales. Le principal réservoir d'azote est l'atmosphère qui effectue des échanges avec le sol, les hydrosystèmes et la biosphère. Le cycle de l'azote est composé de 5 processus : la minéralisation, la nitrification, la volatilisation, l'immobilisation et la dénitrification (GUILLAUME, 2008) (Fig. I 1) :

Dans les sols bien oxygénés, mais aussi en milieu aquatique oxygéné, des bactéries transforment l'ammoniac en nitrite NO_2^- , puis en nitrate NO_3^- , au cours du processus de **nitrification**. On peut décomposer cette transformation en **nitritation** et **nitratation**. L'ion nitrate a ensuite trois devenir possibles : il peut soit être absorbé par les plantes, soit être transformé en N_2O ou N_2 par **dénitrification**, soit être lixivié vers les eaux souterraines.

En milieu anoxique (sol ou milieu aquatique non oxygéné), des bactéries dites dénitrifiantes transforment les nitrates en gaz diazote, c'est la dénitrification. La dénitrification hétérotrophe est un processus biologique qui participe au cycle de l'azote (KNOWLES, 1982 ; BOTHE et *al.*, 2007). Même si certains eucaryotes comme les champignons (ZUMFT, 1997) et les foraminifères (RISGAARD-PETERSEN et *al.*, 2006) sont capables de dénitrifier, ce processus est principalement assuré par les bactéries (ZUMFT, 1997). Ce processus hétérotrophe, véritable « respiration des nitrates », est une alternative à la respiration aérobie : en présence de faibles concentrations d'oxygène ou en son absence, les nitrates jouent le rôle



d'accepteur final d'électron. Il existe également la dénitrification autotrophe, sur carbone minéral, qui a besoin d'un donneur d'électrons comme les sulfures.

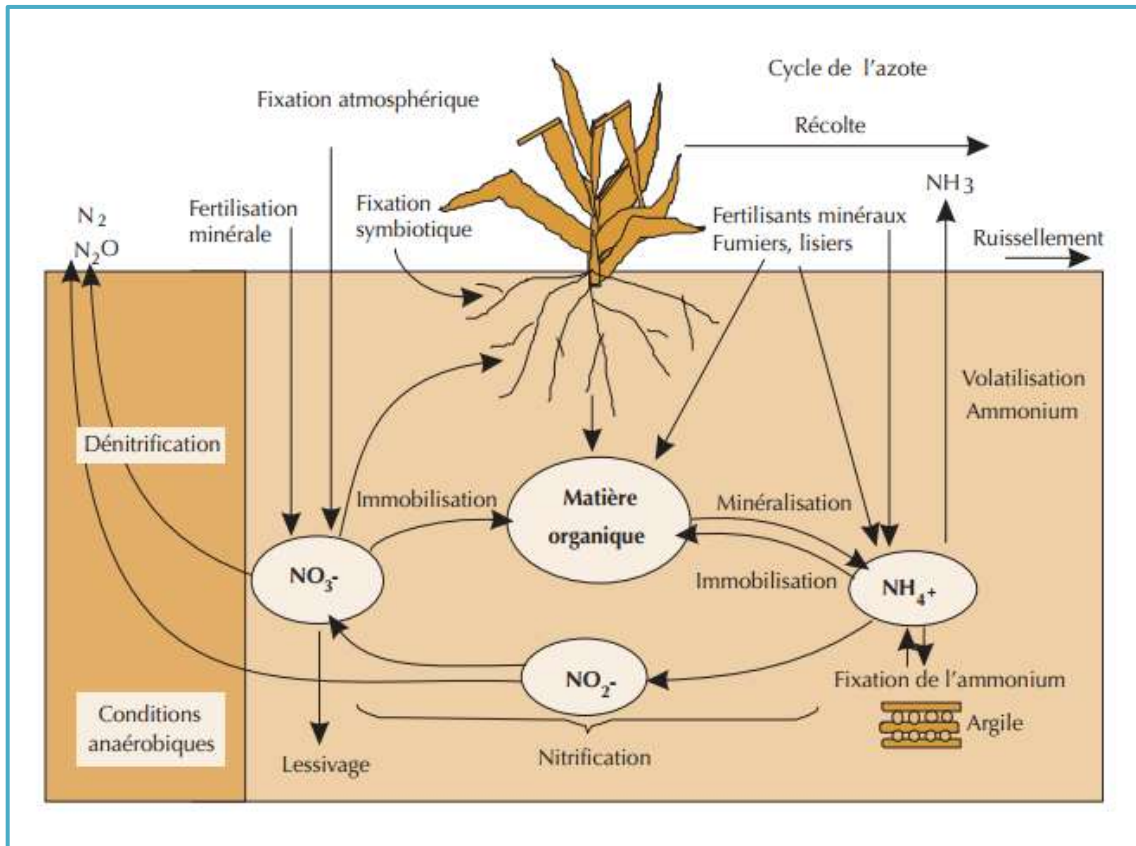


Figure I 1. Cycle de l'azote (NEITSCH et *al.*, 2000)

4.2. Composés azotés

L'azote comprend l'azote organique qui consiste principalement en des matières protéiques (acides aminés, acides nucléiques) et l'azote minéral qui se retrouve dans différents états d'oxydation sous forme de nitrate (NO_3^-) et nitrite (NO_2^-), d'ammonium (NH_4^+) et d'azote moléculaire (N_2).

4.2.1. Azote organique

L'azote organique consiste principalement en des matières protéiques (acides aminés, acides nucléiques). L'azote organique est naturellement sujet à des fluctuations saisonnières de la communauté biologique, car il est principalement formé dans l'eau par le phytoplancton et les bactéries. L'azote organique comprend deux types (dissous et particulaire). L'azote organique dissous comprend la plus grande partie (60-69 %) de l'azote total dissous dans les systèmes aquatiques, comme les lacs, les rivières, les estuaires et les eaux de surface des océans (BERMAN & BRONK, 2003 ; WORSFOLD et *al.*, 2008). L'azote organique dissous provient principalement des rejets d'élevage, des rejets industrielles, des eaux usées municipales et des sites d'élimination des déchets (BRONK et *al.*, 2007). Une partie de cet



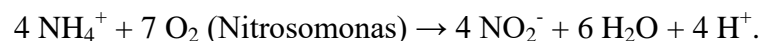
azote est détectable sous forme de substances de type tryptophane ou de type tyrosine par fluorescence. L'azote organique particulaire est une composante-clé du cycle de l'azote car, bien que représentant une faible partie de l'azote organique, c'est cependant la fraction lourde qui va donc pouvoir sédimenter et être exportée hors de la couche de surface. L'augmentation des concentrations d'azote organique pourrait indiquer la pollution d'un cours d'eau (ASSAAD, 2014).

4.2.2. Ammonium

Il est présent sous deux formes en solution, des formes ionisées (NH_4^+) et non ionisées (NH_3) (FRANK, 2002). L'azote ammoniacal se produit naturellement dans les plans d'eau résultant de la décomposition des matières organiques et minérales azotés dans le sol et l'eau, l'excrétion par le biote, la réduction de l'azote gazeux dans l'eau par des micro-organismes et des échanges gazeux avec l'atmosphère. Il est également rejeté dans des cours d'eau par des procédés industriels et aussi comme une composante de déchets municipaux ou d'eux résiduaux (DELPLA et al., 2009 ; BATES et al., 2008). Il constitue un bon indicateur de pollution des cours d'eau par des rejets organiques d'origine agricole, domestique ou industrielle (DERWICH et al., 2010 ; BEN ABBOU et al., 2014).

4.2.3. Nitrites

Les NO_2^- constituent une étape importante dans la métabolisation des composés azotés ; ils s'insèrent dans le cycle de l'azote entre l'ammoniac et les nitrates (BREMOND & PERRODON, 1976 ; MERABET, 2010). Ils sont le produit soit de l'oxydation du NH_4^+ dans les conditions d'aérobie par les nitrosomonas, soit de la réduction des NO_3^- en anoxie par les bactéries hétérotrophes (METAHRI, 2012).



En l'absence de pollution, il n'y a pas ou très peu de nitrites dans les eaux (RODIER et al., 2009).

4.2.4. Nitrates

L'ion NO_3^- est la forme commune de l'azote dans les eaux naturelles. Il peut être biochimiquement réduit en NO_2^- par des processus de dénitrification, habituellement, dans des conditions anaérobies. L'ion nitrite est rapidement oxydé en nitrate (STREBEL et al., 1989 ; ASSAAD, 2014).

Les nitrates constituent le produit final de l'oxydation de l'azote organique dans l'eau par l'action des nitrobacters en transformant les nitrites en nitrates selon la réaction suivante (METAHRI, 2012) : $2 \text{NO}_2^- + \text{O}_2 (\text{Nitrobacters}) \rightarrow 2 \text{NO}_3^-$



Les nitrates sont présents dans les eaux souterraines en raison du lessivage du sol et dans les zones où il y a un épandage d'engrais azotés ; les eaux souterraines peuvent atteindre des concentrations très élevées. Dans certaines régions, de fortes hausses des concentrations de nitrates dans les eaux souterraines au cours des 20 ou 30 dernières années ont été liées à une augmentation des épandages d'engrais (STREBEL *et al.*, 1989 ; ASSAAD, 2014).

5. Qualité naturelle des eaux souterraines

Les nappes d'eau souterraine sont formées par la percolation de l'eau de pluie et de ruissellement à travers les sols et les roches (BANTON & BANGOY, 1999). Au cours de ce transfert, l'eau acide dissout les roches et se charge de quelques uns de ses éléments chimiques les plus solubles. Certains de ces éléments sont nécessaires au bon fonctionnement du corps humain, mais en faible concentration; les mêmes peuvent être toxiques en plus fortes concentrations; d'autres sont toxiques même à faible dose. Cette réaction naturelle entre l'eau et la roche provoque une large diversité dans le caractère minéral des eaux souterraines, communiquant des propriétés intrinsèques comme la dureté, la salinité (EDMUNDS *et al.*, 2003). Ces réactions naturelles font que la qualité naturelle des eaux souterraines est influencée par la nature lithologique des aquifères et des terrains superficiels (SYLVETTE AWOH, 2006).

6. Vulnérabilité des eaux souterraines

La vulnérabilité est définie comme étant un défaut de protection ou de défense naturelle de l'eau souterraine contre les menaces de pollution, en fonction des conditions hydrogéologiques (MARGAT, 1998). De ce fait, certaines eaux souterraines ne sont pas à l'abri des pollutions éventuelles, malgré l'idée de pureté naturelle qui leur est communément attachée. En effet, certains types de sol notamment les sols minces et hautement perméables, favorisent l'infiltration directe de polluants vers les eaux souterraines. Aussi, dans les aquifères sableux, la porosité d'interstice favorise l'infiltration des eaux superficielles conduisant ainsi à la contamination des eaux souterraines. Par ailleurs, les aquifères en nappe libre semblent plus vulnérables que les aquifères en nappe captive parce qu'ils ne sont pas protégés par une couverture imperméable (SARRAZIN *et al.*, 2003).

La vulnérabilité de l'eau souterraine à la pollution s'exprime par des cartes de vulnérabilité dont l'échelle et la précision sont adaptées aux problèmes à résoudre. La prévention est le seul moyen de lutte efficace contre la pollution de l'eau souterraine (CASTANY, 1982).



7. Pollution des eaux souterraines

Les eaux souterraines, longtemps considérées comme pures et protégées par le sol contre les diverses activités humaines, sont de nos jours souvent touchées par l'infiltration de multiples polluants à hauts risques, dont les plus répandus sont les nitrates et les pesticides (DEGREMENT, 2005).

En ce qui concerne les aquifères, la qualité de l'eau est essentiellement altérée par des concentrations trop élevées en nitrates, qui apparaissent lorsque les quantités appliquées d'engrais azotés dépassent les besoins des cultures. Les eaux souterraines subissent aussi, dans une moindre mesure, les effets de contaminations locales issues de rejets d'eaux usées industrielles et domestiques (puits perdants, fuites dans les réseaux de collectes des eaux usées...). Contrairement aux nitrates, le phosphore d'origine agricole ou domestique ne constitue pas à l'heure actuelle un élément problématique pour la qualité des eaux souterraines destinées à la consommation humaine (BRAHY, 2013).

Les nappes libres sont les plus exposées à la contamination, non seulement parce qu'elles ne bénéficient pas d'une protection naturelle vers la surface, mais encore parce qu'elles sont en général peu profondes. Les nappes captives sont plus protégées, mais peuvent être éventuellement contaminées par des forages ou une autre mise en communication avec la surface ou un autre aquifère pollué (BAUMONT *et al.*, 2005).

Cette pollution affecte aussi bien les pays industrialisés que ceux en voie de développement. Le problème est particulièrement grave pour les pays dont le climat est aride. En raison d'un déficit hydrique prononcé, la concentration des polluants dans l'eau demeure élevée alors que leur capacité de recyclage est très faible (SLIMANI, 2006).

En Algérie, comme partout dans le monde, les activités industrielles et métallurgiques rejettent dans l'environnement une grande variété d'éléments traces. Tous ces facteurs anthropiques rendent les eaux souterraines très vulnérables au phénomène de la pollution. Les activités agricoles, minières et industrielles de l'homme moderne génèrent des déchets chargés en éléments polluants (FRIOUA, 2014). L'accumulation de ces éléments dans les formations superficielles (sols et sédiments) en teneurs élevées entraîne automatiquement grâce aux phénomènes qui accompagnent l'infiltration des eaux de pluie et superficielles, la contamination des eaux souterraines (BERAUD, 2001).

L'utilisation irrationnelle des ressources en eau souterraines, notamment dans les régions du Sahara septentrional a engendré des conséquences négatives sur le milieu. En effet, l'accroissement rapide de l'utilisation de ces ressources sans une politique de planification et



de gestion a créé des situations graves pouvant avoir des conséquences néfastes et irréversibles (KHADRAOUI & TALEB, 2008).

La ville de Ouargla connaît un grand problème d'excédents hydriques, causé par les rejets d'eaux de drainage et d'eaux résiduaires urbaines qui ne subissent aucune épuration préalable. Ces excès ont fortement perturbé les équilibres naturels dans les milieux urbains sahariens. Les eaux de la nappe phréatique étaient d'une qualité assez dégradée par rapport aux normes nationales (SLIMANI, 2006).

Dans la région d'El-Oued, la surexploitation des nappes profondes et l'évacuation des eaux résiduelles vers la nappe phréatique avec des quantités énormes dépassent la capacité de transfert hydraulique souterrain de la nappe, vers l'exutoire naturel (chotts). Les conséquences de cette remontées est le noyage des ghouts et la perte des palmeraies dattiers, la propagation de la pollution bactériologique dans la nappe, la contamination des eaux par les nitrates d'origines domestiques et agricoles (BOUSELSAL & KHERICI, 2014).

De meme, dans la région de Biskra, les contraintes importantes liées à la ressource en eau proviennent surtout d'une gestion actuelle avec diverses lacunes (A.N.A.T, 2003). La qualité des eaux des nappes dans cette région présente une qualité médiocre avec une minéralisation excessive. La nappe phréatique, présente une qualité des eaux considérée comme non potable, du fait que les éléments d'origine naturelle ou provenant de pollutions diverses dépassent souvent les seuils de potabilité (BOUCHEMAL, 2017).

Aussi, dans notre région d'étude « vallée du M'Zab », la nappe superficielle est polluée suite aux déversements des eaux usées en aval de l'Oued M'Zab, aux raccordements défectueux des eaux usées au collecteur principal des eaux usées, ainsi qu'à la présence des fosses septiques non conventionnelles dans les zones non raccordées au réseau d'assainissement (BENHEDID, 2014).

8. Impacts de la pollution sur la qualité des eaux souterraines

Environ deux milliards de personnes, soit à peu près un tiers de la population mondiale, dépendent des eaux souterraines et tirent de la terre environ 20 % de l'eau consommée (600 à 700 km³ /an), le plus souvent à partir des couches aquifères peu profondes (PNUE, 2002). C'est pourquoi de nombreuses agglomérations urbaines sont principalement localisées dans les plaines alluviales à proximité des cours d'eau (WINIARSKI, 2004). Bien que les eaux souterraines, les plus utilisées, puissent être distribuées avec peu de traitement, on peut observer une dégradation de leur qualité liée aux activités humaines. Les nitrates, les produits industriels (pesticides...), les chlorures et les sulfates, les hydrocarbures, les métaux



lourds, les micropolluants organiques (trichloréthylène, tétrachloroéthylène et les agents pathogènes (bactéries, virus...)) sont les principaux polluants associés à ces activités (BERNARD-VALETTE, 2000). Selon BRUCE & MCMAHON (1996), la variabilité de la qualité des eaux souterraines urbaines semble également être associée à un usage de l'espace (résidence, commercial ou industriel) au sein de l'agglomération. L'accroissement des populations et le développement des agglomérations, des terres cultivées et des unités industrielles ont eu pour corollaire une dégradation de la qualité des eaux souterraines et une baisse très significative des réserves qui représentent parfois les seules ressources d'eau disponibles pour l'alimentation des populations (ROUABHIA et *al.*, 2009).

La pollution de l'eau souterraine est le risque permanent de limitation de la ressource en eau dans un proche avenir. La pollution de l'eau résulte de l'activité humaine ; il faut donc exclure la détérioration naturelle sous l'action des agents géologiques. L'action polluante d'une substance est déterminée par sa dose et le volume d'eau, véhicule de transport. Le polluant, transporté est propagé par l'eau souterraine, subit une migration et une évolution dans l'espace souterraine. Les deux principales actions sont l'autoépuration naturelle et la dilution (CASTANY, 1982).

Conclusion

La pollution des eaux représente un problème majeur, notamment la pollution azotée. Elle conduit à la dégradation des ressources en eau qui doivent être mieux contrôlées et traitées pour réduire les concentrations excessives des éléments polluants nocifs à la santé humaine et la vie dans les milieux aquatiques et pour préserver sa qualité contre toutes formes de pollution.

Chapitre II.
Cadre et problématique d'étude





Introduction

Ce chapitre est destiné à la présentation de notre région d'étude. Nous avons présenté cette région à travers sa localisation géographique, sa démographie, ses caractéristiques climatiques, sa géomorphologie, sa pédologie, sa production agricole, son hydrologie, sa géologique, son hydrogéologique, sa situation de l'assainissement et les impacts environnementaux. Ces données vont bien nous aider à connaître notre région d'étude et bien traiter notre thématique de recherche proposée.

1. Présentation de la région d'étude

1.1. Localisation géographique

Le bassin du M'Zab est situé dans le Sahara septentrional algérien. Il est limité par deux Oueds ; au Nord par Oued N'sa et au Sud par Oued Metlili. Il occupe les communes de Daya Bendahoua, Ghardaïa, Bounoura, El Atteuf et Zelfana (wilaya de Ghardaïa) ainsi que le Nord de la commune de Ouargla et l'Ouest de la commune de N'Goussa (Wilaya de Ouargla) (Fig. II 1) (DJILI, 2018).

Selon DUBIEF (1953) et conformément à l'A.N.R.H (2003), la superficie du bassin du M'Zab est de 5000 km² environ. Ses contours sont imprécis dans la partie orientale. Oued M'Zab coule sensiblement d'Ouest vers l'Est sur 320 Km, de la région de Botma-Rouila à 750 m d'altitude (où il prend sa source sous le nom d'Oued El-Abiod), à la Sebket Safioune, qui est en côte à 107 m, avec une pente assez forte entre Ghardaïa et Bounoura. Sa largeur varie entre 1 à 2,5 Km, sa profondeur atteint 50 m environ. Géographiquement, la vallée du M'Zab est comprise entre 32° 26' et 32° 31' de latitude Nord et de 3° 37' et 3° 46' de longitude Est.



Figure II 1. Localisation géographique du bassin du M'Zab (DJILI, 2018)

1.2. Démographie

La population de la wilaya de Ghardaïa est estimée à 471656 habitants, soit une densité de peuplement de 5,57 habitants/ km², avec une population de 15069 habitants à Daya Bendahoua, de 132761 habitants à Ghardaïa, de 43740 habitants à Bounoura et de 19518 habitants à El Atteuf (Fig. II 2). Cette wilaya a connu une croissance démographique de 430 563 habitants en 2013 à 463 680 habitants en 2017 à 471656 habitants en 2018 (D.P.S.B, 2019).

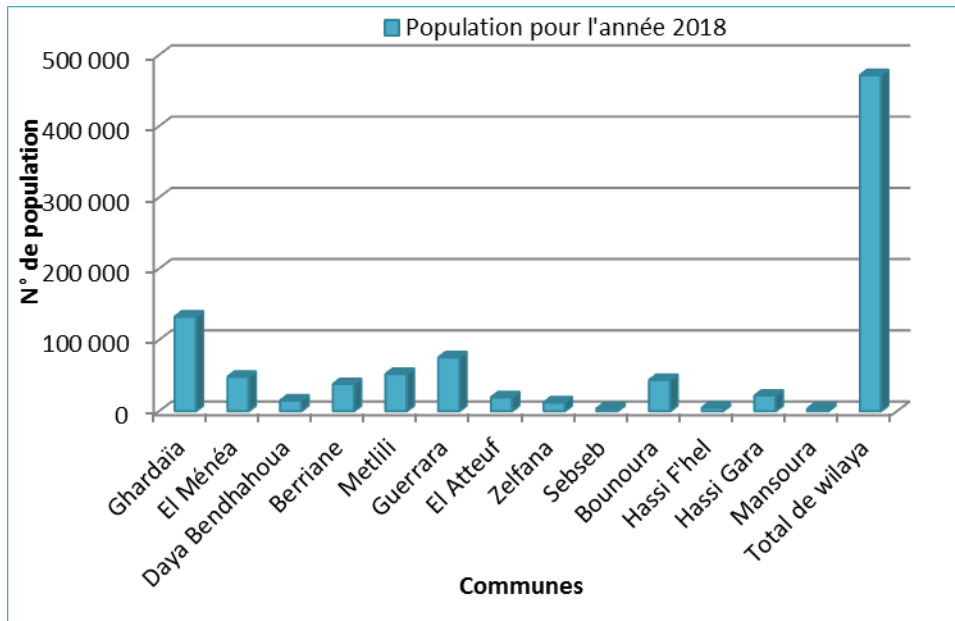


Figure II 2. Répartition de la population de la wilaya de Ghardaïa par commune (D.P.S.B, 2019)

Cette croissance démographique dans la vallée du M'Zab a engendré une intense urbanisation, avec une extension incontrôlée de l'habitat dans les palmeraies, ainsi que dans des zones inondables, parfois même dans le lit mineur de l'Oued. Cela a entraîné par la suite une multiplication des volumes des eaux exploitées par les nappes d'eau souterraines, avec l'augmentation du nombre des forages exploitant la nappe fossile du Continentale Intercalaire (C.I), utilisés pour l'irrigation, l'industrie, ainsi que pour satisfaire les besoins en eau potable de cette population grandissante. Aussi, nous observons un accroissement du nombre de puits creusés exploitant la nappe superficielle, entraînant une multiplication des quantités des déchets solides et les volumes des eaux usées évacuées vers la station d'épuration puis rejetées directement en aval de l'Oued M'Zab et dans les fosses septiques dans les zones non raccordées par le réseau d'assainissement. Il en découle des problèmes de mal gestion de ces ressources hydriques conventionnelles et non conventionnelles.

1.3. Climat

La région du M'Zab est caractérisée par un climat désertique avec un hiver froid et un été chaud, grand écart thermique et une sécheresse permanente (DUBIEF, 1959 ; DUBIEF, 1963). Oued M'Zab s'étend sur la wilaya de Ghardaïa et de Ouargla. De ce fait, pour caractériser le climat de la région d'étude, les données climatiques de la station météorologique de Ghardaïa et de Ouargla ont été utilisées (Tabl. I ; Tabl. II).



Tableau I. Données climatiques de la station météorologique de Ghardaïa de l'année 2009 à 2019 (O.N.M, 2019)

	T moy (C°)	T min (C°)	T Max (C°)	Hr (%)	P (mm)	V (Km/h)	Ins (h)	E (mm)
Janvier	11,72	06,9	17,57	49,31	11,97	11,30	254	96,5
Février	12,62	07,48	18,24	41,96	0,425	13,86	242	117
Mars	17,03	10,8	23,07	39,96	12,36	14,74	280	168
Avril	21,28	14,8	27,3	33,36	05,81	15	299	229
Mai	25,54	18,66	31,82	29,14	0,94	15,98	338	279
Juin	31,58	24,48	37,78	25,66	03,46	14,42	345	346
Juillet	36,01	28,7	41,92	22,16	01,68	11,125	350	374
Août	34,12	27,53	40,2	25,12	0,58	10,90	324	347
Septembre	29,33	23,46	35,58	35,38	12,40	11,33	262	255
Octobre	23,46	17,55	29,6	38,925	10,16	8,54	275	167
Novembre	16,65	11,64	22,44	45,9	03,47	10,43	260	115
Décembre	12,78	07,8	18,13	51,7	02,90	10,73	242	151
Moyen	22,676	16,649	28,6375	36,547	66,184*	12,364	289	2617,5*

T moy Température moyenne **Tmin** Température minimale **T Max** Température maximale
Hr Humidité relative de l'air **P** Précipitation **V** Vent
Ins Isolation **E** Evaporation *: cumul annuel

Tableau II. Données climatiques de la station météorologique de Ouargla durant la période de 2007-2017 (O.N.M, 2018)

	T moy (C°)	T min (C°)	T Max (C°)	Hr (%)	P (mm)	V (Km/h)	Ins (h)	E (mm)
Janvier	11,94	05,11	18,77	61,07	09,10	55,60	244,77	90,70
Février	13,65	06,56	20,74	51,71	01,04	60,40	246,47	127,12
Mars	18,4	10,99	25,81	45,675	04,30	60,95	259,09	204,51
Avril	22,82	15,26	30,38	39,345	02,11	72,29	280,90	254,53
Mai	27,32	19,75	34,89	33,9	01,47	66,13	301,03	327,61
Juin	32,545	24,81	40,28	29,5	0,74	57,45	253,20	399,75
Juillet	35,96	28,21	43,71	25,79	0,32	64,53	327,18	464,44
Aout	35,19	27,54	42,84	28,84	01,70	56,11	330,68	411,63
Septembre	30,63	23,51	37,75	37,905	03,56	55,78	269,05	299,57
Octobre	24,895	17,61	32,18	44,425	13,90	48,73	265,28	230,60
Novembre	17,31	10,46	24,16	54,845	06,56	47,64	249,68	124,89
Décembre	12,625	06,02	19,23	60,54	04,18	45,02	223,28	88,80
Moyenne	23,607	16,32	30,89	42,795	48,97*	57,55	270,884	3024,14*

1.3.1. Températures

Pour la région de Ghardaïa, la température moyenne annuelle est de 22,676 °C, avec un maximum en juillet de 41,92 °C et un minimum en janvier de 6,9 °C (Tabl. I). Alors que la



région de Ouargla est caractérisée par une température moyenne annuelle de 23,607 °C avec un maximum en juillet de 43,71 °C et un minimum en janvier de 5,11 °C (Tabl. II).

Ces caractéristiques de la température, d'un point de vue hydro-chimique, nous indiquent que pendant la période estivale, vu les valeurs élevées de la température, ces dernières vont produire une évaporation de l'eau et en même temps une augmentation de la concentration des éléments chimiques dans la nappe (DEBIECHE, 2002). Il faut aussi noter que selon DERWICH et *al.* (2010) ; MAKHOUKH et *al.* (2011), la température de l'eau est un facteur important dans l'environnement aquatique. Elle agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau, particulièrement les microorganismes.

1.3.2. Précipitations

Les zones arides se caractérisent par des précipitations très réduites et un degré d'aridité d'autant plus élevé que les pluies y sont plus rares, inférieures à 100 mm/an (DAJOZ, 1982). L'alimentation des eaux souterraines et de surface dans ces régions souffre de la faiblesse des précipitations, en particulier de leur part efficace génératrice d'écoulement (QUEVAUVILLER, 2010).

Dans la région de Ghardaïa, les précipitations sont également rares et irrégulières, d'un mois à un autre et à travers les années. Les précipitations annuelles sont l'ordre de 66,184 mm, avec un maximum en septembre de 12,40 mm (Tabl. I).

Même pour la région de Ouargla, les pluies sont rares et irrégulières pour tous les mois de l'année et à travers les années. Les pluies tombent essentiellement en automne avec un maximum en octobre de 13,90 mm. Les précipitations annuelles sont de l'ordre de 48,97 mm (Tabl. II).

Il est noté que dans la saison la plus pluvieuse, les précipitations produisent une recharge de la nappe et une dilution des éléments chimiques. Par contre, dans la saison sèche, c'est une faible recharge, ce qui produira une évaporation rapide de cette dernière (DEBIECHE, 2002).

1.3.3. Vents

Dans les régions arides, les vents jouent un rôle primordial dans la formation des reliefs et des sols, dans la dégradation de la végétation et la destruction des sols par leurs vitesses et leurs fréquences, et sont très variables au cours de l'année (ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975).



Les vents dans les deux régions Ghardaïa et Ouargla soufflent pendant toute l'année, avec des vitesses variables, allant d'un maximum de 15,98 Km/h en mai et un minimum de 8,54 Km/h en septembre, avec un moyen annuel de 12,364 Km/h pour la région de Ghardaïa (Tabl. I). Tandis que pour la région de Ouargla les vents soufflent avec des vitesses allant de 45,02 Km/h en décembre à 72,29 Km/h en avril, avec un moyen annuel de 57,55 Km/h (Tabl. II).

Les vents agissent sur la qualité des eaux épurées par lagunage ; ils entraînent une augmentation des quantités des Matières En Suspensions (M.E.S) par les particules de sables. Aussi, d'après BOUHANNA (2014), la vitesse et la direction des vents dans la région d'étude peuvent causer des mouvements tourbillonnants qui assurent un brassage de la masse d'eau à travers l'agitation désordonnée et favorisent l'oxygénation des eaux des lagunes.

1.3.4. Humidité relative de l'air

Dans les deux régions, l'humidité relative de l'air (Hr) est faible, avec une moyenne annuelle de 36,547 % à Ghardaïa et d'une moyenne annuelle de 42,795 % à Ouargla. Elle varie sensiblement en fonction des saisons de l'année. En effet, pendant l'été, elle diminue au mois de juillet, sous l'action d'une forte évaporation et des vents chauds. Elle s'élève en hiver et atteint une moyenne maximale aux mois de décembre et janvier (Tabl. I ; II).

1.3.5. Evaporation

Selon DUBIEF (1959), le Sahara apparaît comme la région du monde qui possède l'évaporation la plus élevée.

A Ghardaïa et à Ouargla, comme partout en milieu aride, l'évaporation est toujours plus importante, avec un cumul annuel de l'ordre de 2617,5 mm, soit un minimum de 96,5 mm en janvier et un maximum de 374 mm en juillet à Ghardaïa (Tabl. I). Elle est d'un cumul annuel de l'ordre de 3024,14 mm avec un minimum de 88,80 mm en décembre et un maximum de 464,44 mm en juillet à Ouargla (Tabl. II).

L'évaporation est toujours plus importante sur une surface nue que sous le couvert végétal surtout en été. Elle est favorisée par les fortes températures et les vents desséchants fréquents.

D'après IDDER, (1998), l'intensité excessive de l'évaporation dans la région d'étude influence négativement l'efficacité du traitement des eaux usées par lagunage car elle favorise l'augmentation de la charge des eaux, par voie de conséquence, diminue la qualité des effluents.



1.3.6. Insolation

Les durées d'insolation sont évidemment très importantes au Sahara et varient assez notablement d'une année à l'autre, et même suivant les périodes de l'année envisagées (DUBIEF, 1959).

A Ghardaïa, la durée moyenne de l'insolation est de 289 h avec un maximum de 350 h en juillet et un minimum de 242 h en décembre (Tabl. I). A Ouargla, la durée moyenne de l'insolation est de 270,884 h ; l'insolation maximum est enregistrée en août et le minimum en décembre, avec les valeurs respectives de 330,68 h et 223,28 h (Tabl. II).

1.3.7. Synthèse climatique

Pour caractériser le climat de notre région d'étude, nous avons utilisé le diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN et le climagramme d'EMBERGER

1.3.7.1. Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

Le diagramme ombrothermique de GAUSSEN (Fig. II 3) montre que la période sèche couvre la quasi-totalité de l'année pour les deux régions Ghardaïa et Ouargla, à cause des faibles précipitations et des températures élevées.

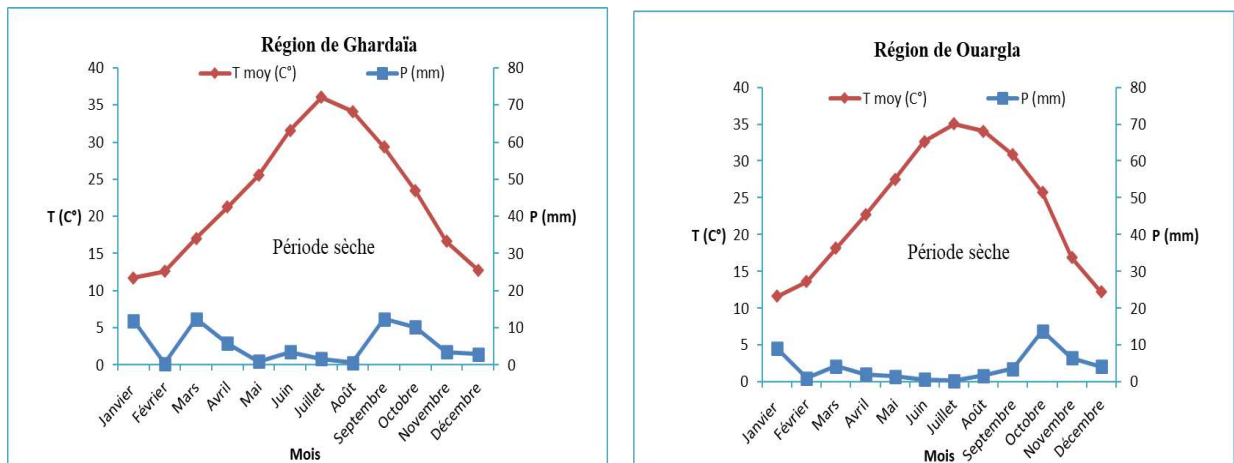


Figure II 3. Diagramme Ombrothermique de la région d'étude

1.3.7.2. Climagramme d'EMBERGER

Pour classer le bioclimat, nous avons utilisé le quotient pluviométrique d'EMBERGER (1955) spécifique au climat méditerranéen, dont la formule est :

$$Q_2 = 2000 P / M^2 - m^2.$$

De ce fait, les températures maxima et minima exprimées en Kalven (K°) à partir de M et m, STEWART (1969), ont montré que pour l'Algérie et le Maroc la dernière formule pouvait être simplifiée pour s'écrire ainsi (LE HOUEROU, 1995) :

$$Q_3 = 3,43P / M - m$$



- **P** : Pluviosité moyenne annuelle en mm ;
- **M** : Moyenne des températures maximales quotidiennes du mois le plus chaud en °C ;
- **m** : Moyenne des températures minimales quotidiennes du mois le plus froid en °C.

D'après la (Fig. II 4), notre zone d'étude est caractérisée par un climat saharien à hiver doux. Le quotient thermique (Q_3) pour la région de Ghardaïa est de **6,48** et pour la région de Ouargla **4,35**.

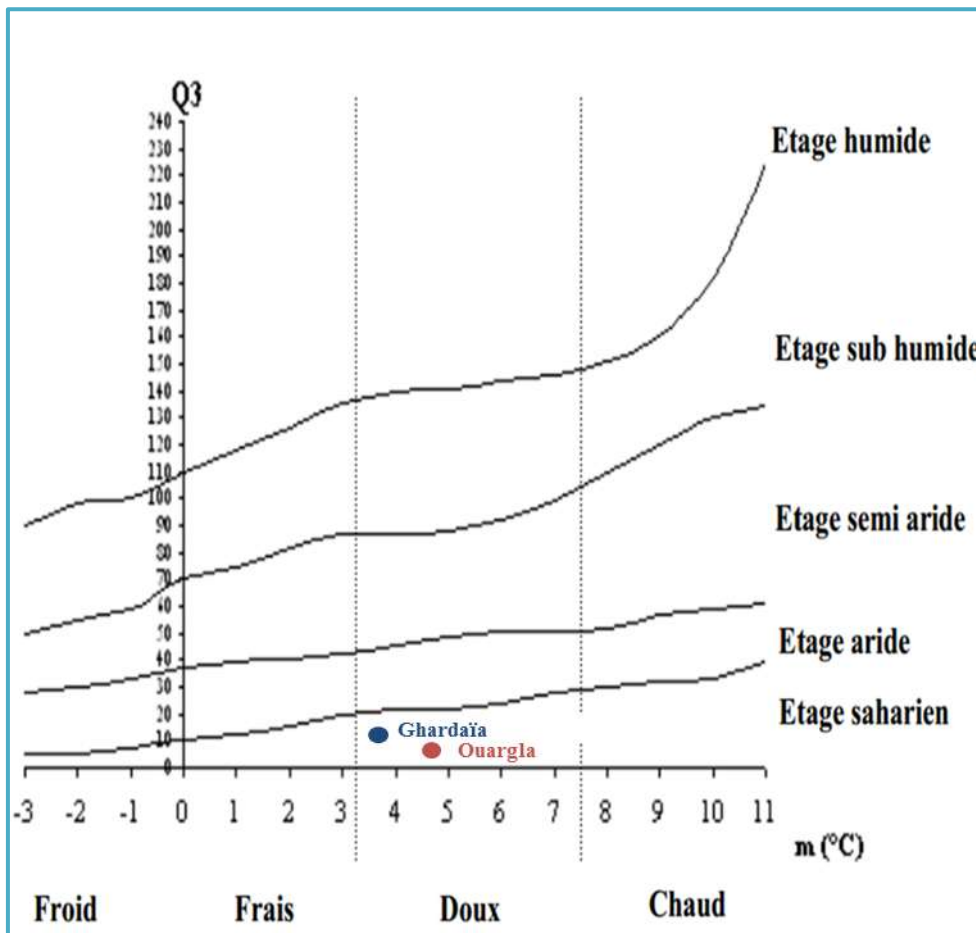


Figure II 4. Etage bioclimatique de la zone d'étude selon le Climagramme d'EMBERGER

1.4. Géomorphologie

La géomorphologie du territoire du M'Zab comprend essentiellement trois parties différentes ; la Chebka qui occupe la partie centrale du territoire, à l'Est une plaine de "dalle Hamada", tandis qu'à l'Ouest on trouve les régions ensablées par les dunes de l'Erg occidental (DUTIL, 1971 ; COYNE, 1879 ; DJILI, 2018) :

1.4.1. Chebka du M'Zab

C'est des terrains calcaires, fortement érodés par un réseau hydrographique assez vif, formant une région très accidentée (pentes modérées et fortes) (Fig. II 5), où le calcaire est



mis à nu sur les sommets et les pentes. La Chebka occupe une superficie d'environ 8000 km², représentant 21 % de la région du M'Zab.

1.4.2. Plateaux

Ce sont des immenses surfaces tabulaires, généralement couronnées par un entablement de calcaire lacustre, nommées « *Hammadas* ». Il s'agit du plateau du Pliocène. Il occupe une grande partie du grand bassin versant du M'Zab. D'une manière générale, il s'abaisse légèrement d'Ouest en Est. Dans sa partie Nord, les terrains s'étendent sur une région communément appelée « *plateau des Dayas* ». Alors que dans le Sud, le plateau est appelé localement « *plateau des Gantras* ».

1.4.3. Régions ensablées

Les régions ensablées se situent essentiellement dans le grand Erg occidental. La partie de l'Erg appartenant à la wilaya présente des cordons dunaires particulièrement denses et élevés. Dans la partie Nord, les cordons sont orientés Nord-Ouest Sud-Est et dans la partie Sud, Nord-Est Sud-Ouest. Dans la partie centrale, les deux directions se recoupent, ce qui donne des dunes à crêtes multiples particulièrement hautes et denses.

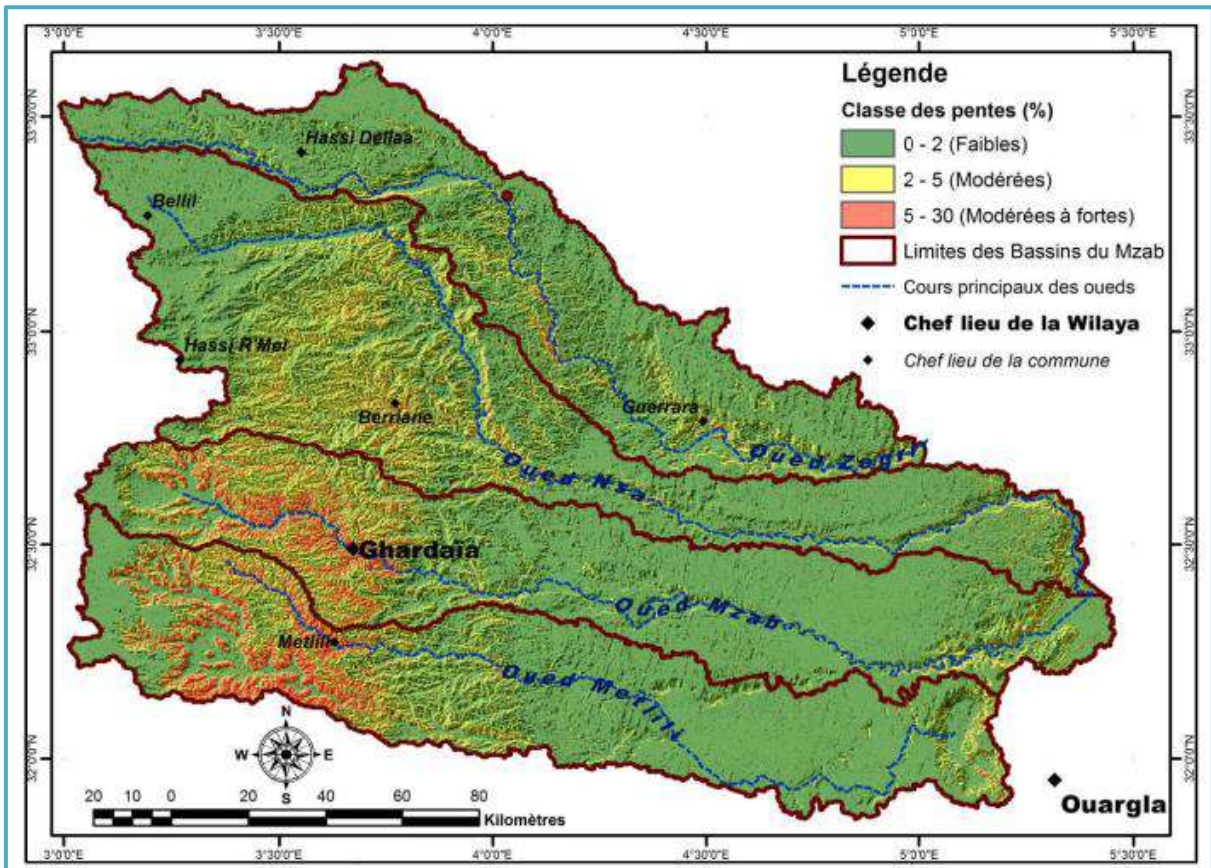


Figure II 5. Carte des pentes et de relief du bassin du M'Zab (DJILI, 2018)



1.5. Pédologie

Généralement, les sols de la région de Ghardaïa sont squelettiques suite à l'action de l'érosion éolienne. Cependant, ils sont souvent marqués par la présence en surface d'un abondant argileux de type « Hamada », alors que dans les dépressions, ils sont plus riches grâce à l'accumulation des dépôts alluviaux (KACI, 2005).

Selon DADDI BOUHOUN (1997) et DJILI (2018), on distingue les types des sols suivants :

- Les sols des plateaux : ce sont les sols les plus dominants dans le bassin du M'Zab ; ils appartiennent aux sols minéraux bruts (lithosols et regosols). Ils caractérisent les Regs autochtones et les Hamadas de la Chebka du M'Zab. Ce sont des sols très peu profonds, sableux, graveleux et caillouteux ;
- Les sols alluviaux : Ils sont moins dominants, mais ils sont les plus favorables à l'agriculture. Ils appartiennent aux sols peu évolués. Ils sont peu à modérément calcaires, alcalins à fortement alcalins et présentent une faible teneur en gypse. La Capacité d'Echange Cationique (C.E.C) et la matière organique sont faibles à moyennement faibles ;
- Les sols salés : Ils caractérisent les dépressions fermées et mal drainées (Sebkhas et Chotts).

1.6. Productions agricoles

Selon KHENE (2013) et HOUICHITI (2018), l'agriculture à Ghardaïa comporte plusieurs types de cultures, notamment, la phoeniciculture, l'arboriculture fruitière, la céréaliculture, la culture maraîchère et la culture fourragère. L'élevage existant se compose d'ovins, de caprins, de camelins, de bovins et de l'aviculture. Les palmeraies des anciennes oasis comptent 3146 ha, soit 7 % de la surface agricole utile estimée à 44155 ha. Grâce à la mobilisation des eaux de la nappe du continental intercalaire, l'agriculture a été développée sur de nouvelles terres, où divers systèmes de production sont mis en œuvre.

Les exploitations agricoles à Ghardaïa sont souvent de petite taille, en raison de la rareté des terres arables et de l'importance des investissements nécessaires à la mise en valeur, notamment pour assurer l'irrigation. En effet, 87 % des exploitations ont une taille inférieure à 6 ha. Ceci se traduit généralement par une agriculture manuelle faiblement productive et peu rémunératrice.

La carte d'occupation des sols de la vallée du M'Zab (Fig. II 6), réalisée par ACHOUR (2014), montre que la surface totale de la vallée digitalisée de 3118 km² est de 3118,8 ha ; 30 % est occupée par l'urbanisation, soit 1063 ha. Les oasis dans la vallée



occupent une surface de 1410 ha, soit 40 % de la surface totale. Les zones mixtes (urbanisme et oasis) représentent 11 % de la surface total soit 383 ha. Les zones urbaines sont localisées principalement, autours des vieux ksars (pentapole) et s'étendent progressivement vers les oasis environnantes. En aval de la vallée une zone inoccupée de 266 ha correspond à la zone d'épandage de l'Oued M'Zab, elle représente 7 % de la surface totale de la vallée (ACHOUR, 2014).

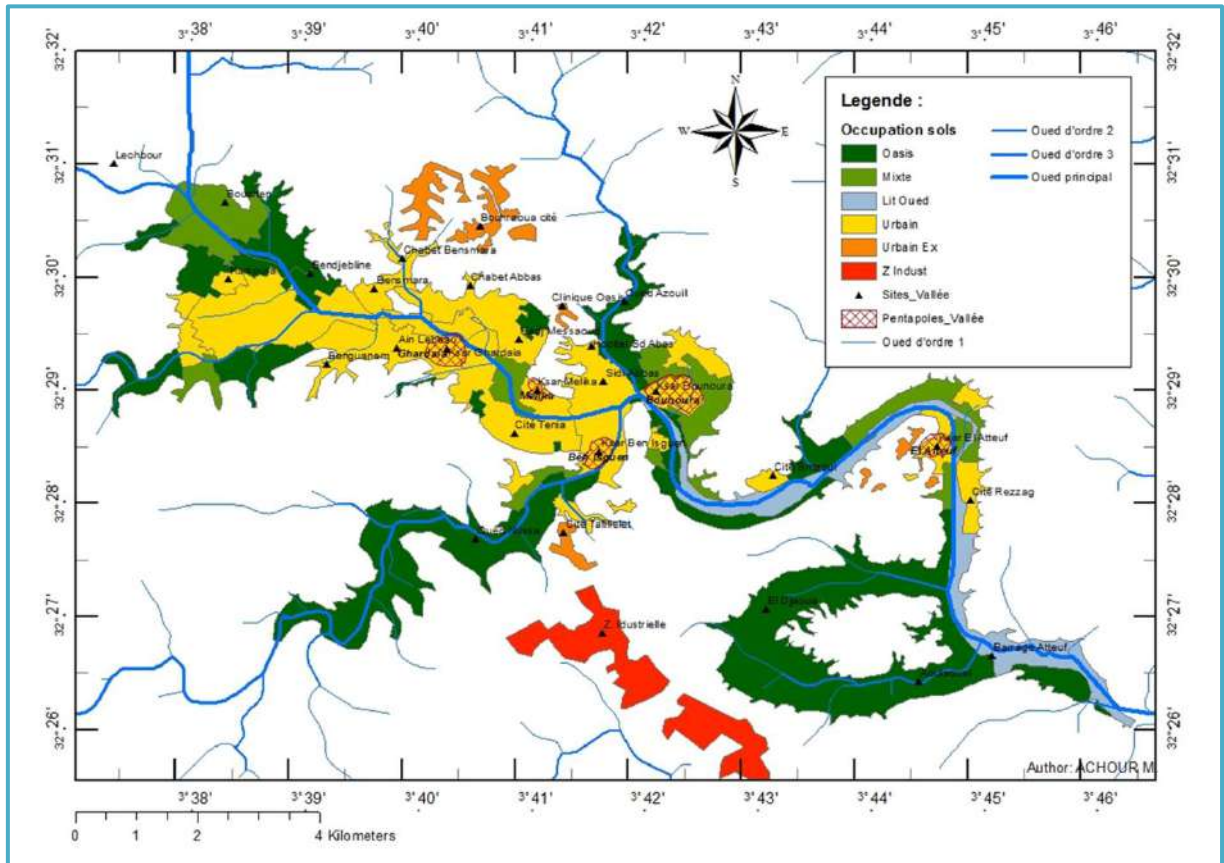


Figure II 6. Carte d'occupation des sols dans la vallée du M'Zab (ACHOUR, 2014)

1.7. Hydrologie

La région du M'Zab est jalonnée par un grand réseau d'oueds dont les principaux sont : Oued M'Zab, Oued Sebseb, Oued Metlili, Oued N'sa et Oued Zegrir. L'ensemble de ces oueds constitue le bassin versant de la dorsale du M'Zab (Fig. II 7) (A.N.R.H, 2011).

Ce bassin draine en grande partie les eaux de la dorsale de l'Ouest vers l'Est, les écoulements sont sporadiques, ils se manifestent à la suite des averses orageuses que connaît la région (DUBIEF, 1963).

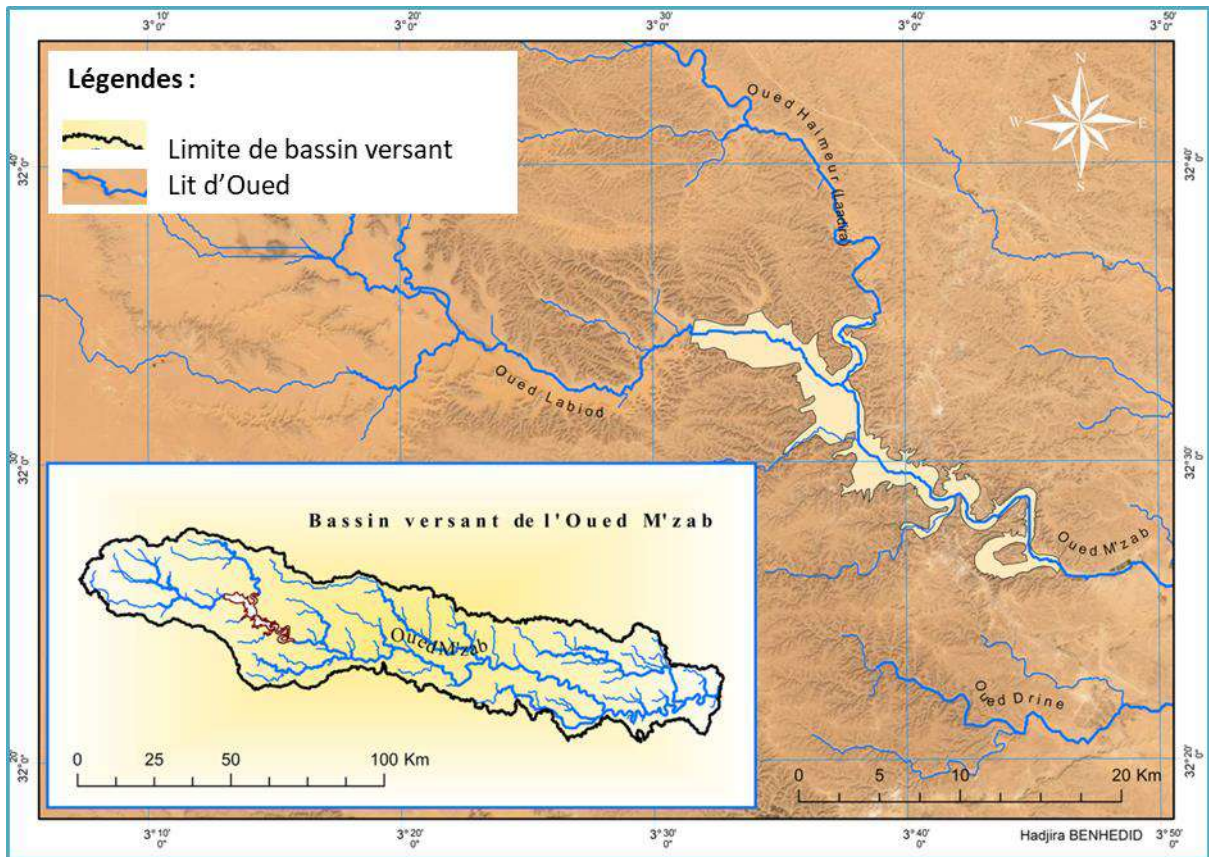


Figure II 7. Bassin versant de l'Oued M'Zab (DUBIEF, 1953, modifiée)

1.7.1. Principaux affluents du M'Zab

Les principaux affluents du M'Zab sont (Fig. II 8) (DUBIEF, 1953 ; A.N.R.H, 2003) :

- En amont de Ghardaïa sur la rive gauche, Oued El-Haimeur (dans la Daya Bendahoua), sur la rive droite : Oued Touzouz qui rejoint le M'Zab immédiatement en amont de la palmeraie de Ghardaïa ;
- En aval de Ghardaïa, nous rencontrons au Sud de Béni-Isguen, l'Oued N'Tissa qui traverse la palmeraie de cette dernière. A quelques centaines de mètres en aval de Béni-Isguen, nous rencontrons l'Oued Azouil dont le lit est occupé par les jardins de Bounoura ;
- Tout à fait en aval de la pentapole mozabite, nous rencontrons sur la rive droite l'oued Noumérate et sur celle de la gauche légèrement en amont de Zelfana, l'Oued Nessaimou ;
- Enfin, très en aval de l'oasis de Zelfana, nous avons l'Oued Hassei, alias l'Oued Ourillou qui draine la partie nord du bassin du M'Zab ;
- En outre, l'Oued M'Zab reçoit d'autres oueds de faible importance, appelés "chaâbats", tel que chaâbat Benganem sur la rive droite et celles de Bensmara et Azouil sur la rive gauche.

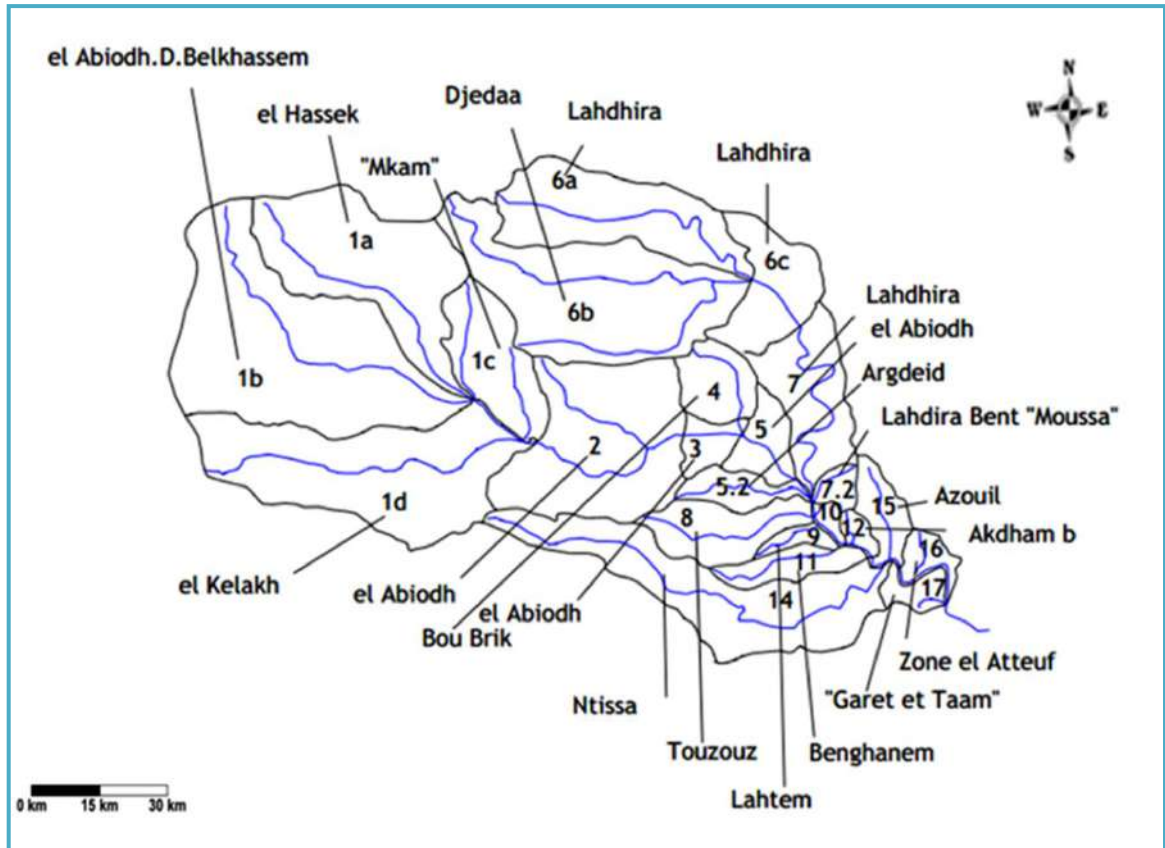


Figure II 8. Sous bassin versant de l'Oued M'Zab jusque l'exutoire de El Atteuf (D.P.A.T, 2010)

1.7.2. Ecoulement

D'après DADDI BOUHOUN (1997), les données rapportées par DUBIEF (1953) ; TESSIER (1965), il y a eu 67 jours de crue dans l'Oued M'Zab durant quarante ans, entre 1921 et 1961. Aussi, selon ROCHE (1996) ; A.N.R.H (2008), les cycles de crue récente sont de 15 jours de crue entre 1984-2020.

Les crues sont irrégulièrement espacées ; à certaines années nous comptons jusqu'à cinq mois ayant eu une ou plusieurs crues, tandis que les périodes de sécheresse peuvent s'étendre sur plusieurs années.

Les écoulements sont plus ou moins importants, parfois catastrophiques, comme le cas du 1^{er} octobre 2008 suite à une averse de 40,5 mm lorsque qu'une importante crue dévastatrice s'en est suivie sur l'Oued M'Zab. Cette crue exceptionnelle, avec un débit de $1300 \text{ m}^3/\text{s}$, est nettement supérieure à celle de 1991 qui a été évaluée à $900 \text{ m}^3/\text{s}$. Notons par ailleurs que c'est la troisième fois que la crue a atteint l'exutoire de Sebket Safioune, depuis 1901 et 1991 (A.N.R.H, 2008).



1.7.3. Gestion des eaux de crues

Les écoulements de l'Oued M'Zab sont perturbés au niveau des villes mozabites par une série de barrages. Ils font partie du système hydraulique mozabite. Cette organisation a pour but de (DUBIEF, 1953 ; BENSABAHA et *al.*, 2011) :

- Collecter les eaux qui ruissellent accidentellement sur les pentes abruptes qui bordent les palmeraies ;
- Dériver dans les jardins une partie des écoulements accidentels au moyen de barrages de dérivation et de canaux distributeurs ;
- D'arrêter l'eau et de la forcer à s'étaler, par des barrages de retenue, dénommés « Habbas » et au même temps remplir les puits qui vont alimenter la nappe phréatique.

1.7.3.1. Barrage de dérivation

Il y a deux barrages de dérivation au M'Zab, un en amont de la palmeraie de Ghardaïa, et l'autre sur l'Oued N'Tissa à l'amont de la palmeraie de Béni-Isguen (DADDI BOUHOUN, 1997). Ce sont des petites digues composées de plusieurs ouvertures verticales (Photo. 1). Chaque ouverture contient une vanne plate métallique pour la fermeture ou l'ouverture ; toutes les trois ou quatre ouvertures forment une entrée d'un canal souterrain pour transporter les eaux de crue vers les oasis (KHELIFA, 2008).



Photo 1. Barrage de dérivation de Bouchen en amont de la palmeraie de Ghardaïa



1.7.3.2. Barrage de retenue

Les barrages principaux de retenue sont au nombre de six sur l'Oued M'Zab ; ce sont, de l'amont en aval (DUBIEF, 1953 ; DADDI BOUHOUN, 1997) :

- Barrage Daya : dans la palmeraie de Daya Bendahoua ;
- Barrage Bouchenne : en amont de la palmeraie de Ghardaïa ;
- Barrage Tiziout : dans la palmeraie de Ghardaïa ;
- Habbas Djdid construit en 1897, situé à 2 Km environ au Nord de Ghardaïa, à la limite en aval de la palmeraie principale, il est long de 150 m et haut de 3 à 4 m ;
- Barrage de Mélika, il mesure 200 m de longueur et 9 m de hauteur. Il comprend un déversoir, permettant une retenue d'eau de 4m de profondeur au niveau de l'ouvrage, pouvant couvrir une superficie de 40 hectares environ ;
- Barrage d'El Atteuf, situé à 3 Km en aval de cette ville ; ouvrage d'une longueur de 800 m, dont 450 coupent normalement le lit de l'Oued et d'une hauteur de 3 à 5 m.

Il existe deux autres retenues sur l'Oued N'Tissa. Elles sont de l'amont en aval :

- Barrage N'Bahman Ben Kassi : situé à un kilomètre en amont de Béni-Isguen, une retenue en maçonnerie de 360 m environ de long et de 8 m de hauteur (Photo. 2) ;
- Barrage N'Ouqdach : construit au début de la palmeraie de Béni-Isguen pour protéger la ville contre les grandes crues, c'est une retenue de 120 m environ de long et d'une hauteur de 2 à 3 m.



Photo 2. Barrage de retenue Béni-Isguen (BENSAHA *et al.*, 2011)



Dans le cadre du projet d'assainissement et de protection contre les crues lancé en 2000 qui a pour objet la protection de la vallée du M'Zab contre les crues de l'Oued M'Zab grâce à (BONNARD & GARDEL, 2000) :

- L'édification d'ouvrages de retenue à l'amont sur les oueds El Abiod, El Haimeur et Bou Brik (Fig. II 9) ;
- Des travaux d'aménagement de protection contre les crues : endiguements, murs de berge, correction et recalibrage du lit de l'oued.

Ces ouvrages sont des digues dont la hauteur sur terrain naturel est respectivement de 15 m, 17 m et 9 m pour les sites d'El Abiod, El Haimeur et Bou Brik. Les débits relâchés pour une crue centennale sont respectivement de 20, 20 et 5 m³/s : ces débits sont délivrés par une vidange de fond constituée d'un puits protégé d'une grille largement dimensionnée, suivi d'un conduit bétonné de section approximative 1,5 m².

La construction de ces digues a diminué les jours des crues de l'Oued M'Zab malgré le volume de précipitation habituelle que fait l'écoulement de cet Oued.

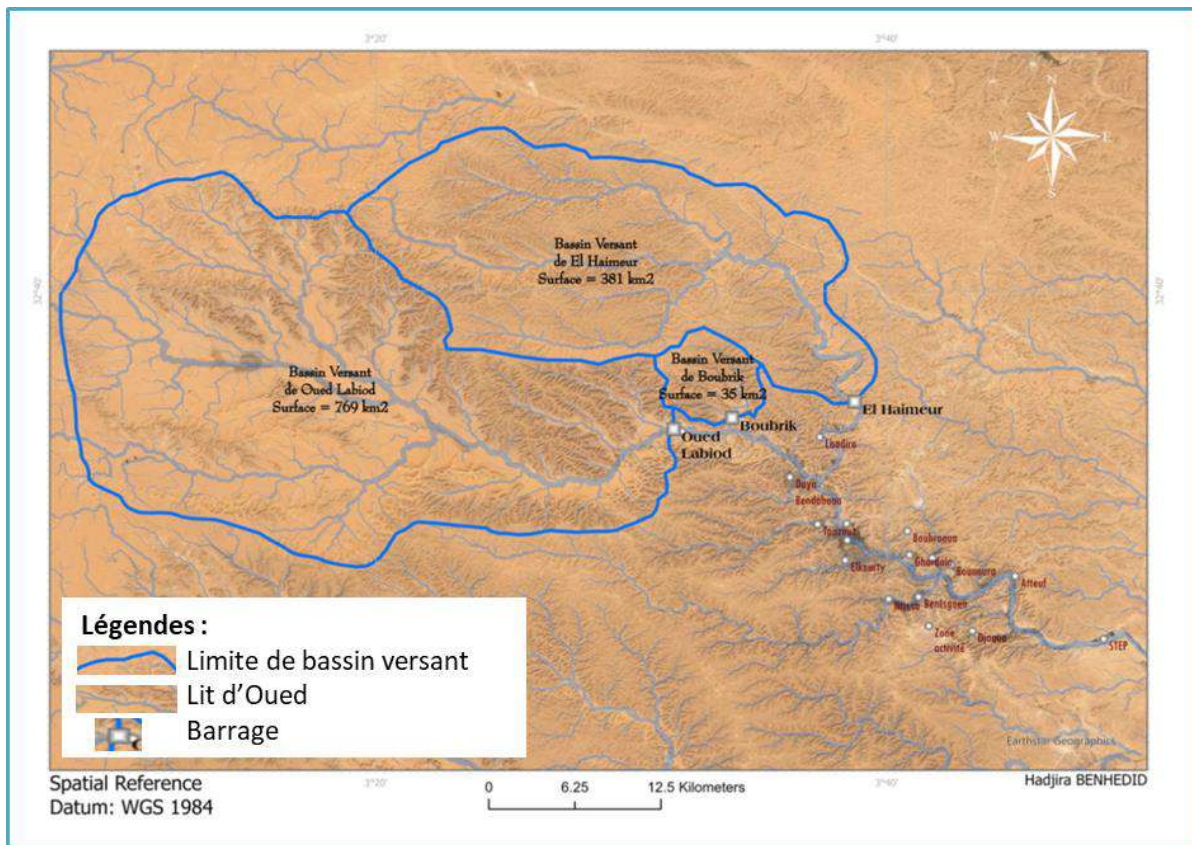


Figure II 9. Localisation des barrages et leurs bassins versants par rapport la vallée du M'Zab (BONNARD & GARDEL, 2000, modifiée)



1.8. Géologie

Le bassin versant du M'Zab fait partie de la plateforme saharienne, il se situe au Sahara septentrional.

Au centre, la dorsale du M'Zab se divise en deux grandes parties, la première à l'Ouest, datée du Crétacé moyen Turonien et la deuxième à l'Est, datée du Crétacé supérieur. L'Oued M'Zab traverse la dorsale, se composant d'alluvions quaternaires. À l'Ouest et au Sud-Ouest, attribué au Cénomaniens en grande partie, il est couvert par les dunes du grand Erg occidental ; puis à l'Est et au Nord-Est, attribué au Mio-pliocène (Fig. II 10).

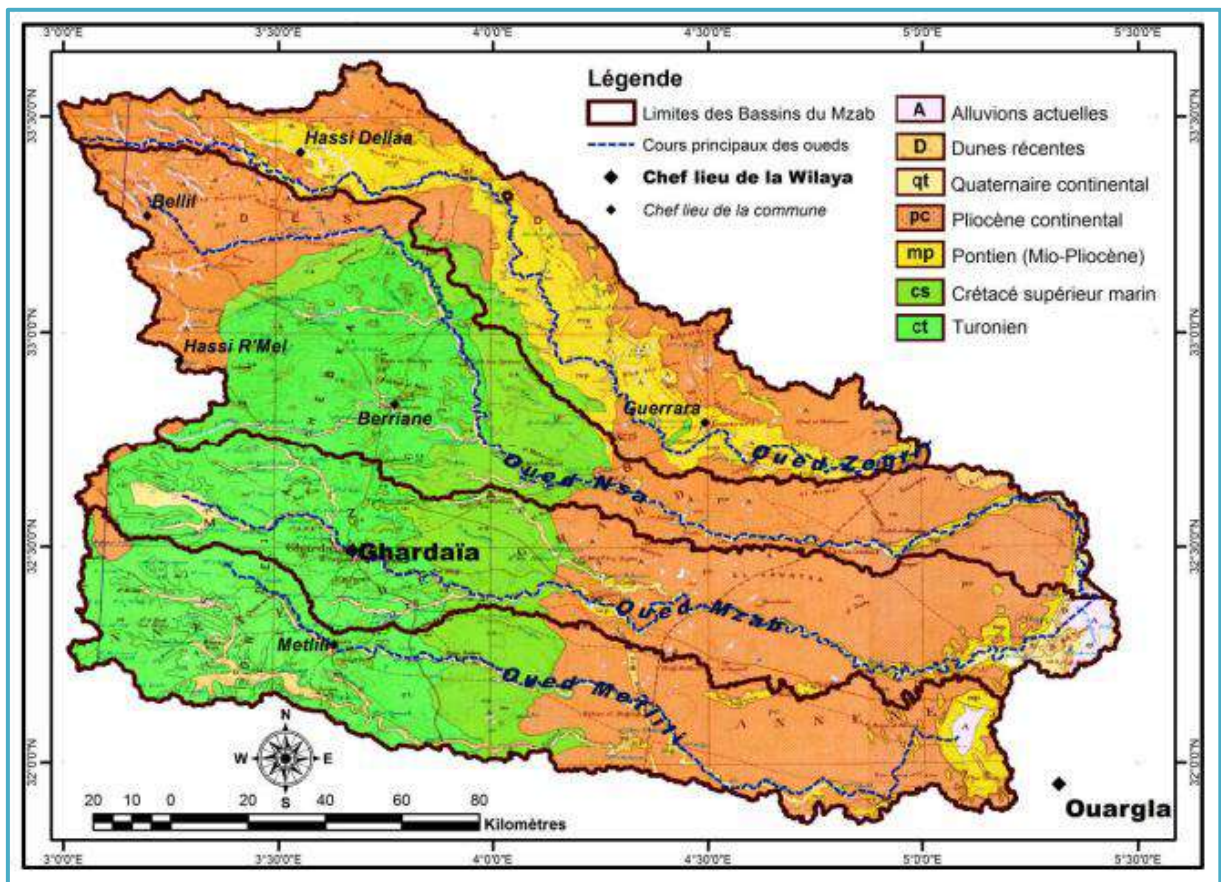


Figure II 10. Carte géologique du bassin du M'Zab (Extrait de S.C.G (1952), modifiée) (DJILI, 2018)

Au vu de la coupe géologique schématique (Fig. II 11) et la coupe lithologique d'un forage au niveau de la commune de Ghardaïa et un autre au niveau de l'El Atteuf (Fig. II 12 ; Fig. II 13), la vallée du M'Zab est formée de (A.N.R.H, 2003 ; A.N.R.H, 2007 ; A.N.R.H, 2010 ; A.N.R.H, 2011) :

- L'étage de l'Albien, représenté par une masse importante de sables fins à grès et d'argiles. Il abrite des ressources hydrauliques considérables, l'épaisseur est de l'ordre de 300 mètres ;



- Le Cénomaniens est une couche imperméable de 220 m formée d'argile verdâtre et de marne riche en gypse et en anhydrite ;
- Le Turonien est constitué de calcaire dolomitique massif. L'épaisseur de ses massifs calcaires est de l'ordre de 110 mètres, les premiers mètres de ces assises calcaires présentent des fissures dans lesquelles on peut trouver l'eau. Ces eaux ont pour origine l'infiltration de la nappe phréatique de l'oued M'Zab ;
- Les alluvions quaternaires formées de sables, galets et argiles tapissent le fond des vallées des oueds de la dorsale, d'une épaisseur de 20 à 35 mètres. Ces alluvions abritent des nappes superficielles (nappes phréatiques).

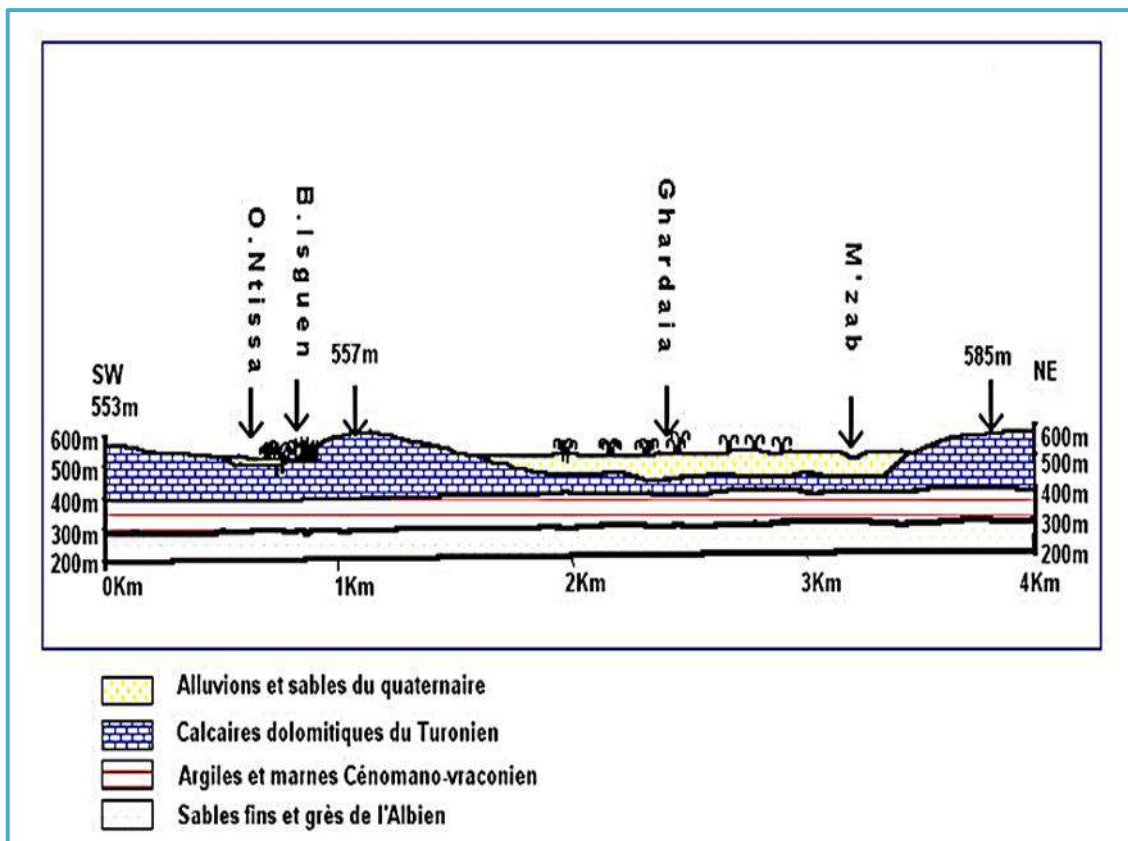


Figure II 11. Coupe géologique schématique de la vallée du M'Zab (A.N.R.H, 2003)

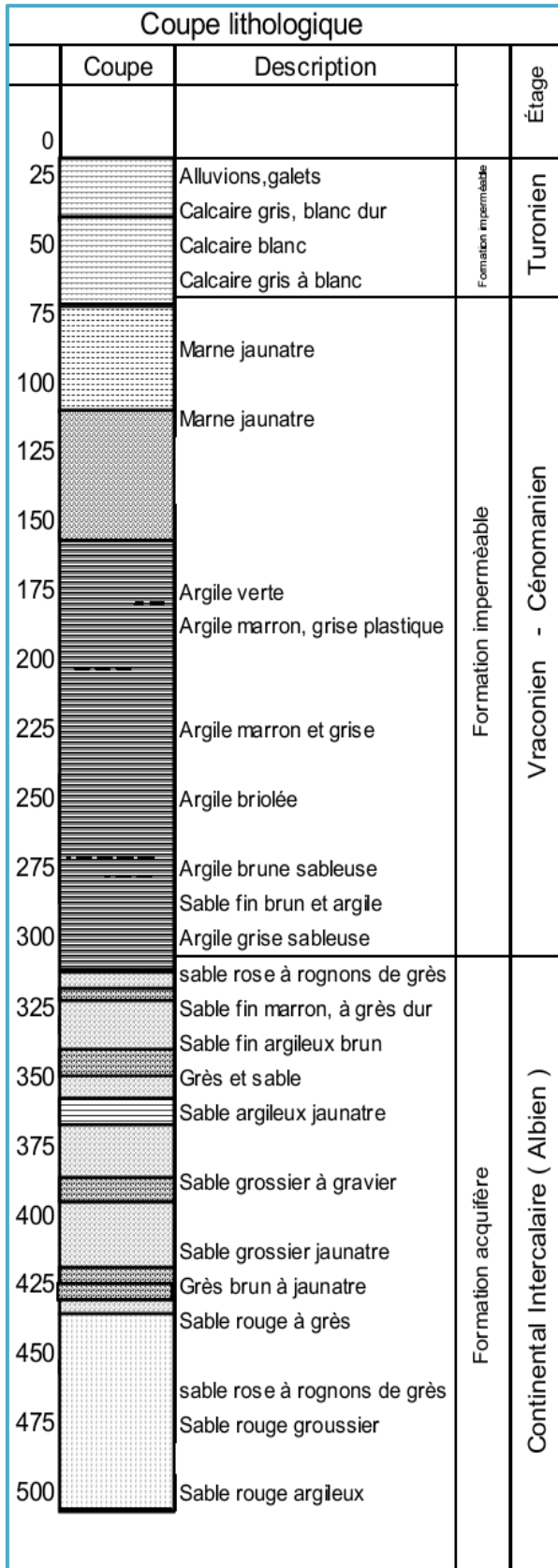


Figure II 12. Coupe lithologique de forage CNAS – MOUDJAHIDINE commune de Ghardaïa (A.N.R.H, 2009)

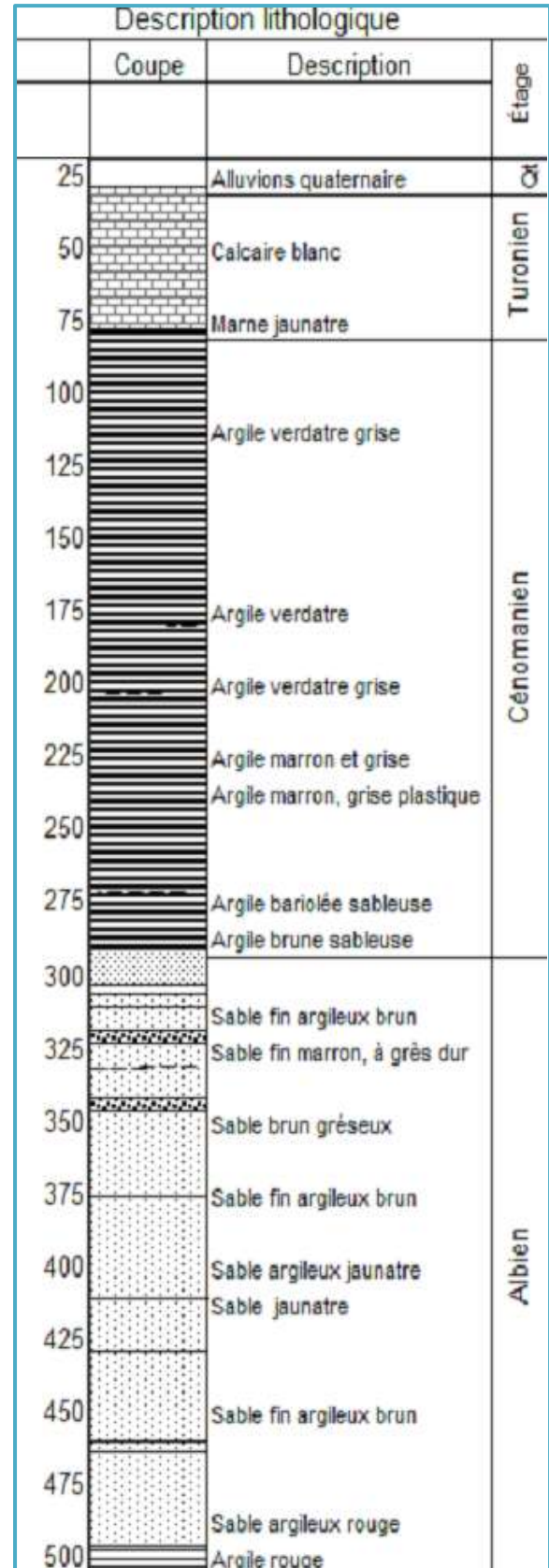


Figure II 13. Coupe lithologique de forage AHBAS ATTEUF (A.N.R.H, 2009)



1.9. Hydrogéologie

Les principales ressources en eau de la wilaya sont d'origine souterraine. Elles sont contenues dans deux types d'aquifères, classées par leurs profondeurs : l'aquifère superficielle d'alluvionnaire quaternaire (nappe phréatique), et l'aquifère profond, Continental Intercalaire (Albien).

1.9.1. Nappe phréatique

La nappe phréatique du M'Zab a une extension Nord-Sud, sous forme d'une large bande occupant l'essentiel de la partie Nord de la Chebka (B.N.E.D.E.R, 1988 in DADDI BOUHOUN, 1997). L'aquifère de cette nappe est formé d'alluvions du quaternaire, ces alluvions reposent sur les couches calcaires du turonien (A.N.R.H, 2003 ; A.N.R.H, 2005).

1.9.2. Nappe du Complexe Terminal

Le Complexe Terminal (C.T) couvre une superficie de 665.000 km², il regroupe plusieurs aquifères à formation géologiques différentes, d'âge Turonien, Sénonien, Eocène et Moi-Pliocène. Interconnectés entre eux, l'ensemble forme un même système hydraulique. Etant la limite de la nappe du C.T, elle est située plus à l'Est de la région du M'Zab et n'est pas captée avec succès dans la région de Ghardaïa (ACHOUR, 2014).

1.9.3. Nappe du Continental Intercalaire

Cette nappe représente la principale ressource en eau de la région. L'aquifère est composé de sables, grès et d'argiles sableuses, d'âge Albien. Selon la région, elle est captée à une profondeur, allant de 250 à 1000 m.

Suivant l'altitude de la zone et la variation de l'épaisseur des formations postérieures au continental intercalaire, elle est (A.N.R.H, 2010) :

- Jaillissante et admet des pressions en tête d'ouvrage de captage dans les zones de Zelfana, Guerrara, Hassi F'hel et Hassi Gara ;
- Exploitée par pompage dans les zones de Ghardaïa, Metlili, Berriane, Sebseb, Mansourah et certaines régions d'El Ménéea.

Les analyses chimiques d'échantillons des différentes localités de la wilaya de Ghardaïa montrent que les eaux, à l'exception de celles d'El Ménéea sont douces, avec une salinité de 370 mg/l, ne sont pas trop chargées avec un résidu sec, variant entre 1068 et 1840 mg/l, et présentent un faciès chimique de type sulfaté magnésien, et parfois sulfaté chloruré magnésien (A.N.R.H, 2005).

Le premier ouvrage exploitant la nappe albienne dans la région de Ghardaïa date du 01/05/1891 situé dans la vallée d'El Ménéea, avec une profondeur de 55,15 m (A.N.R.H, 2005), et le premier forage dans la nappe du C.I a été réalisé en 1939 à Ghardaïa. L'eau n'était



pas jaillissante, et il fallait la pomper (BERTIN & GAUTIER, 1952 in DADDI BOUHOUN, 1997).

La wilaya de Ghardaïa a connu une évolution rapide du nombre de forages captant la nappe de l'Albien. Le nombre qui était de 288 forages en 1999 est passé à 292 en 2002 et à 345 en 2005, pour atteindre les 691 forages en 2018 (Tabl. III ; Fig. II 14). Cette augmentation est due essentiellement au lancement des programmes de mise en valeur des terres agricoles à travers le territoire de la wilaya, ainsi que pour satisfaire les besoins en eau de la population grandissante (A.N.R.H, 2011 ; A.N.R.H, 2019 ; D.P.S.B, 2019).

Tableau III. Répartition des forages par commune avec les volumes d'exploitation (D.P.S.B, 2019)

Communes	Forages réalisés		Forages			Ouvrages de stockages			
	Nbre	Débit (l/s)	Mobilisés	Exploités	Débit m ³ /j	Château d'eau		Réservoirs	
						Nbre	Capacité m ³	Nbre	Capacité
Ghardaïa	40	1290	40	39	933	2	1350	23	25200
El-Ménéa	214	7086	214	214	6714	3	1100	3	4500
Daya	15	489	15	14	383	-	-	9	9000
Berriane	23	745	23	21	533	7	1560	6	10500
Metlili	35	1268	35	35	918	2	1000	18	21250
Guerrara	44	2055	44	44	1934	2	1000	4	7500
El-Atteuf	20	677	20	20	515	11	300	8	8700
Zelfana	37	1635	37	34	1500	2	1050	-	-
Sebseb	22	873	22	22	70	-	-	5	4450
Bounoura	19	644	19	17	442	2	1500	9	10600
Hassi F'Hel	73	3410	73	73	3395	1	200	1	1500
Hassi El-Gara	126	3408	126	125	3260,5	1	500	1	1000
Mansoura	23	745	23	21	533	1	300	3	3750
Total	691	24325	691	679	21830,5	24	9860	90	107950

Nbre : nombre

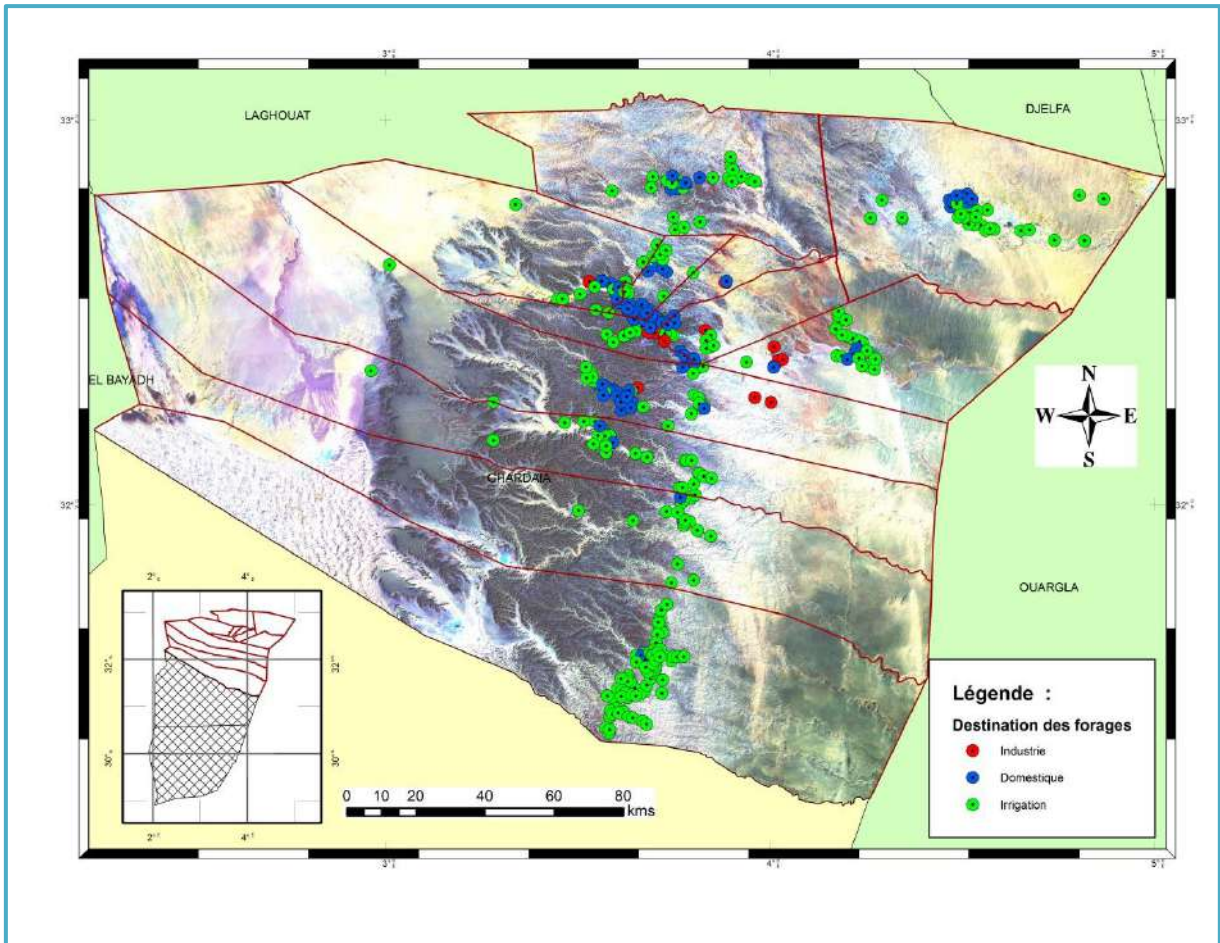


Figure II 14. Inventaire des forages d'eau au Nord de la région de Ghardaïa (A.N.R.H, 2019)

1.10. Assainissement

La région du M'Zab a bénéficié d'un projet d'assainissement lancé en 2000. Dans ce contexte, nous allons présenter la situation actuelle de l'assainissement dans cette région.

1.10.1. Collecte des eaux usées

La collecte des eaux usées était assurée par le système autonome. La maison traditionnelle de la vallée du M'Zab comportait une fosse d'évacuation qui recevait les eaux usées de celle-ci. Dès l'année 1983 elle était connue par la mise en place d'un réseau de collecte des eaux usées, pour les ksours de Ghardaïa, Melika, Béni Isguen et Bounoura, ainsi que pour les quartiers de Baba Saad, Mermed, Teniet El Maghez en et Dada Ali. Et pour El Atteuf et sa périphérie il faut 1985. Ce système de collecte des eaux usées est constitué d'ensemble ramifié de canalisations, permettant à chaque raccordement individuel d'être relié au collecteur principal, placé dans le lit de l'Oued M'Zab (BONNARD & GARDEL, 1996).

Le projet d'assainissement a prévu la mise en place d'un collecteur principal de 23 km de long et d'un diamètre, variant de 400 mm à 2 x 1000 mm pour les eaux usées (Fig. II 15),



depuis Daya Bendahoua jusqu'à la digue d'El Atteuf pour collecter des eaux usées, provenant des réseaux des divers quartiers au-delà de l'ensemble de la zone urbanisée pour l'horizon 2030. La mise en place de ce collecteur des eaux usées le long des agglomérations de la vallée de l'Oued M'Zab aura un impact positif sur la qualité des eaux de la nappe superficielle par la quasi suppression des infiltrations d'eaux usées vers cette nappe (BONNARD & GARDEL, 2000).

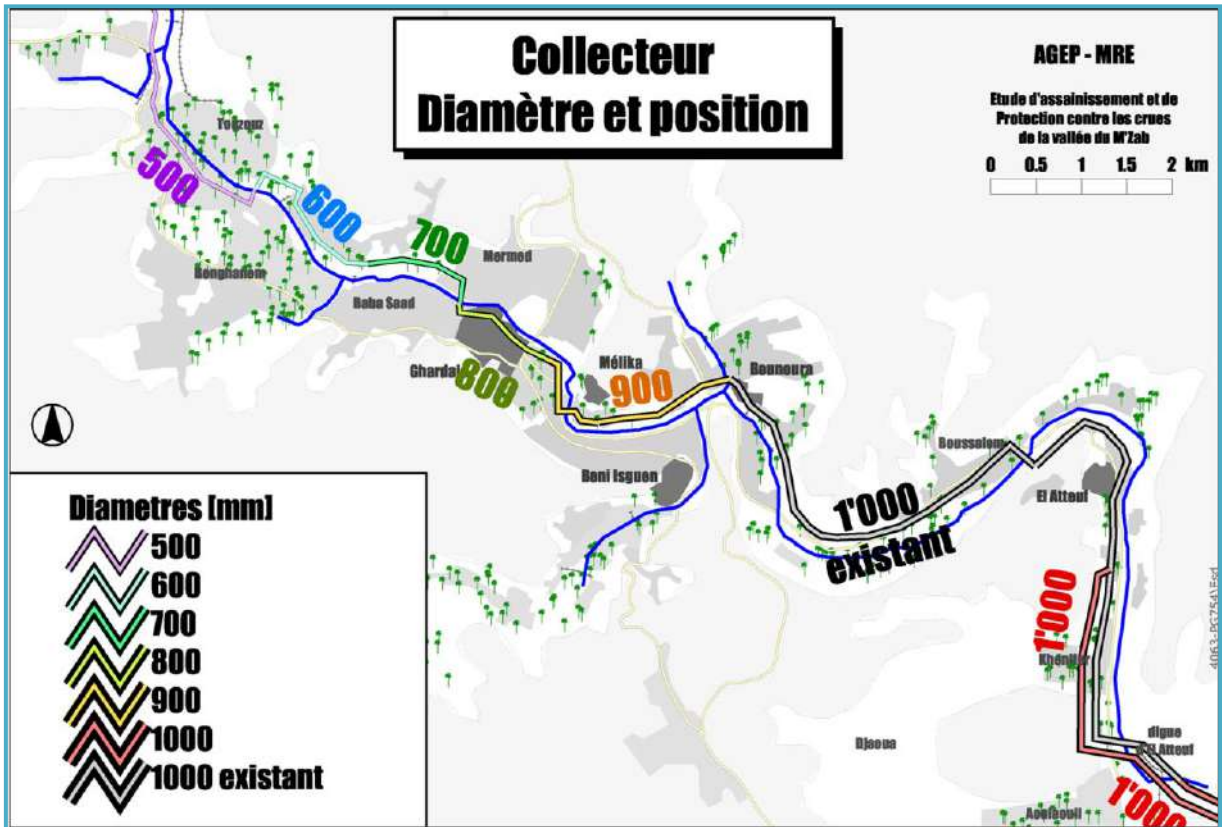


Figure II 15. Collecteur principal des eaux usées de la vallée du M'Zab (BONNARD & GARDEL, 2000)

Actuellement, les communes raccordées à la Station d'Épuration (S.T.E.P) sont : Daya Bendahoua, Ghardaïa, Bounoura et El Atteuf, par un réseau d'assainissement de type unitaire (eau usée et eau de pluie). Il est à noter que la commune de Daya Bendahoua est raccordée récemment dès 2020 où la collecte des eaux usées était effectué par des fosses septiques présentant un risque de la contamination da la nappe superficielle.

Malgré la réalisation de ce collecteur, il reste pas mal des points noirs liés au : colmatage de la conduite, débordement d'eaux au moment de fortes pluies, mauvais branchement à l'ovoïde, les tampons de regards endommagés...etc. Ces points noirs localisés par l'Office National d'Assainissement (O.N.A) dans les trois communes (Ghardaïa, Bounoura et El Atteuf) sont représentés dans l'annexe I (Annexe I) (O.N.A, 2019a).



1.10.2. Traitement des eaux usées

La S.T.E.P à boue activée a été mise en service en 1987. Elle est implantée en rive droite de l'Oued M'Zab, dans le lit majeur, juste à l'aval de Bounoura, pour assurer le traitement des effluents des deux communes Ghardaïa et Bounoura. Les ouvrages sont disposés de façon à permettre une réalisation compacte pour 180000 habitants, mais un tiers seul (pour 60000 habitants) a été construit. Cette station n'a fonctionné en fait que quelques dizaines d'heures, suite à la défaillance rapide des pompes de relèvement à cause de la charge en sable excessive dans les eaux, provenant du collecteur qui n'était pas étanche. Par la suite, cette station compte tenu de sa position dans le lit de l'oued et de l'absence de protection a été irrémédiablement endommagée par les crues (BONNARD & GARDEL, 1996 ; BONNARD & GARDEL, 2000).

Par ailleurs, la S.T.E.P de lagunage est mise en service en octobre 2012. Elle est située sur les plages de l'oued M'Zab à l'aval de la digue d'El Atteuf et Kef Dokhane (Fig. II 16). Elle est d'une surface totale de 33.97 ha et d'une capacité de traitement de 46 400 m³/j à l'horizon 2030. Elle est constituée de 18 bassins divisés en 2 niveaux, traitement primaire anaérobie et traitement secondaire biologique aérobie, et 10 lits de séchage (Fig. II 17) (S.T.E.P, 2013).

Les résultats moyens annuels des analyses des eaux usées avant et après épuration pendant les deux années 2017 et 2018 (Fig. II 18 ; II 19) (O.N.A, 2019b) montrent une efficacité relativement moyenne pour l'élimination de la charge organique pour la D.B.O₅, la D.C.O et faible pour les M.E.S, ce problème de faible réduction est causé par le développement rapide des algues. Pour la pollution azotée, ils montrent une faible élimination de l'ammonium, des nitrites et des nitrates, quant au phosphore total. Ces résultats ne respectent pas les normes de rejets des eaux (Annexe II) dans certains paramètres.

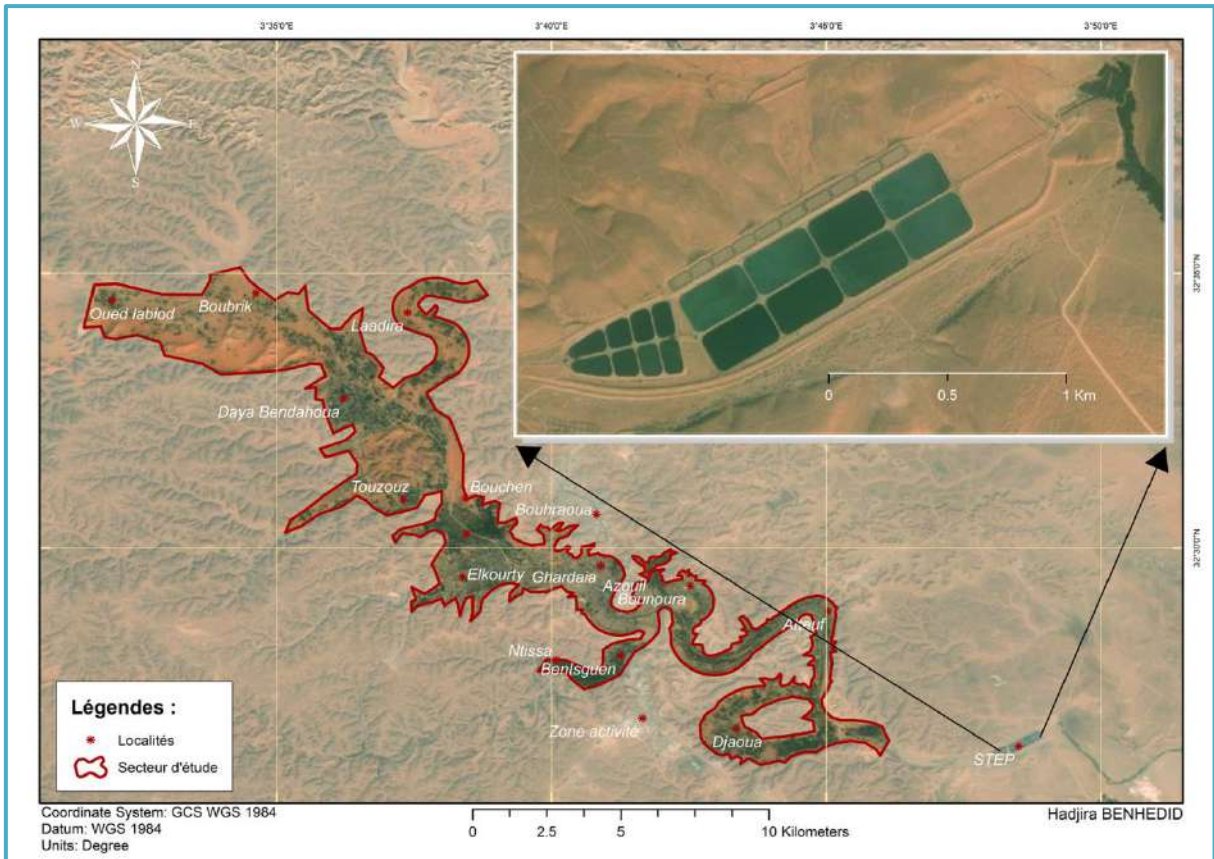


Figure II 16. Situation géographique de la S.T.E.P par rapport à la vallée du M'Zab

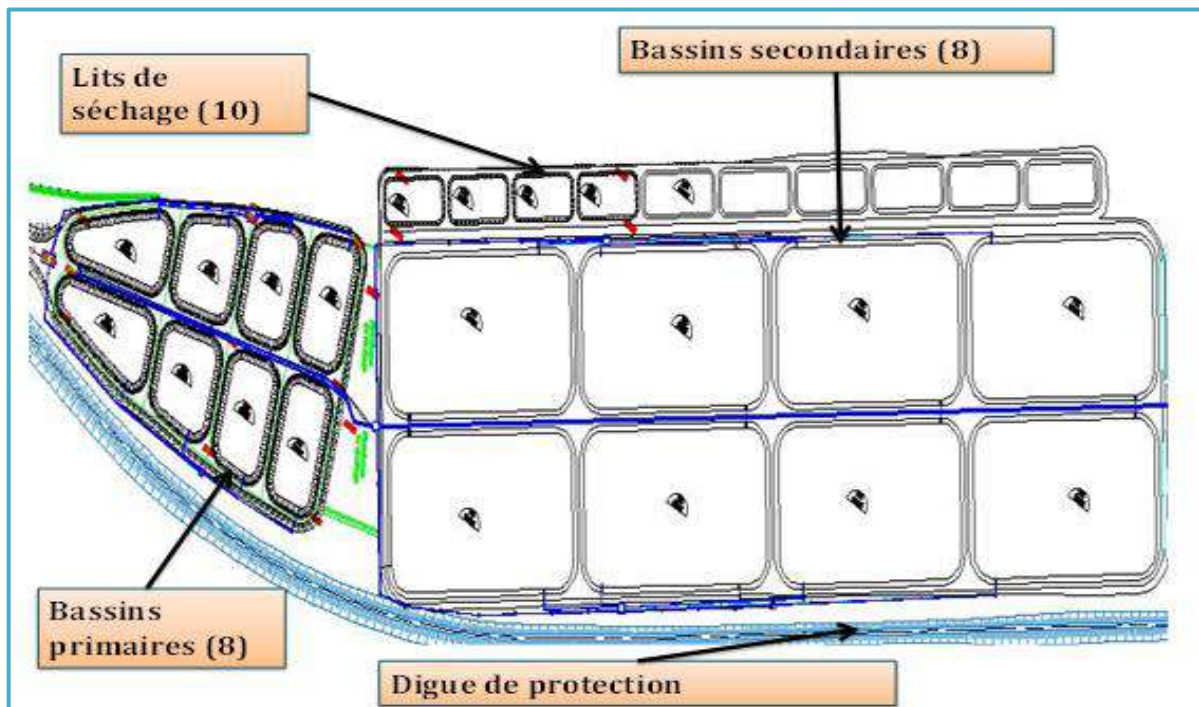


Figure II 17. Station d'épuration Kef Dokhane (BONNARD & GARDEL, 2000)

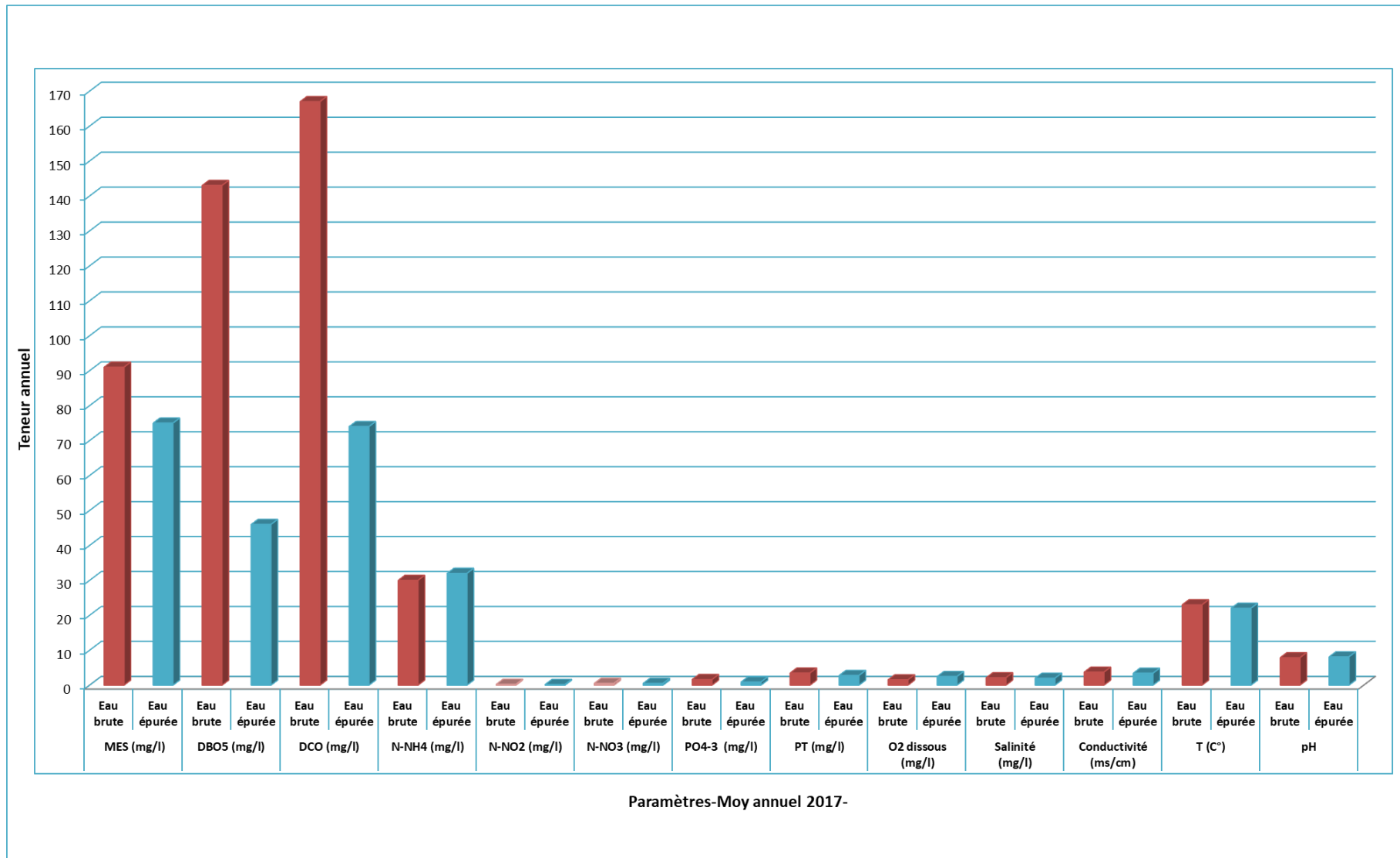


Figure II 18. Résultats moyens annuel des analyses des eaux usées brutes et épurées pendant l'année 2017 (O.N.A, 2019b)

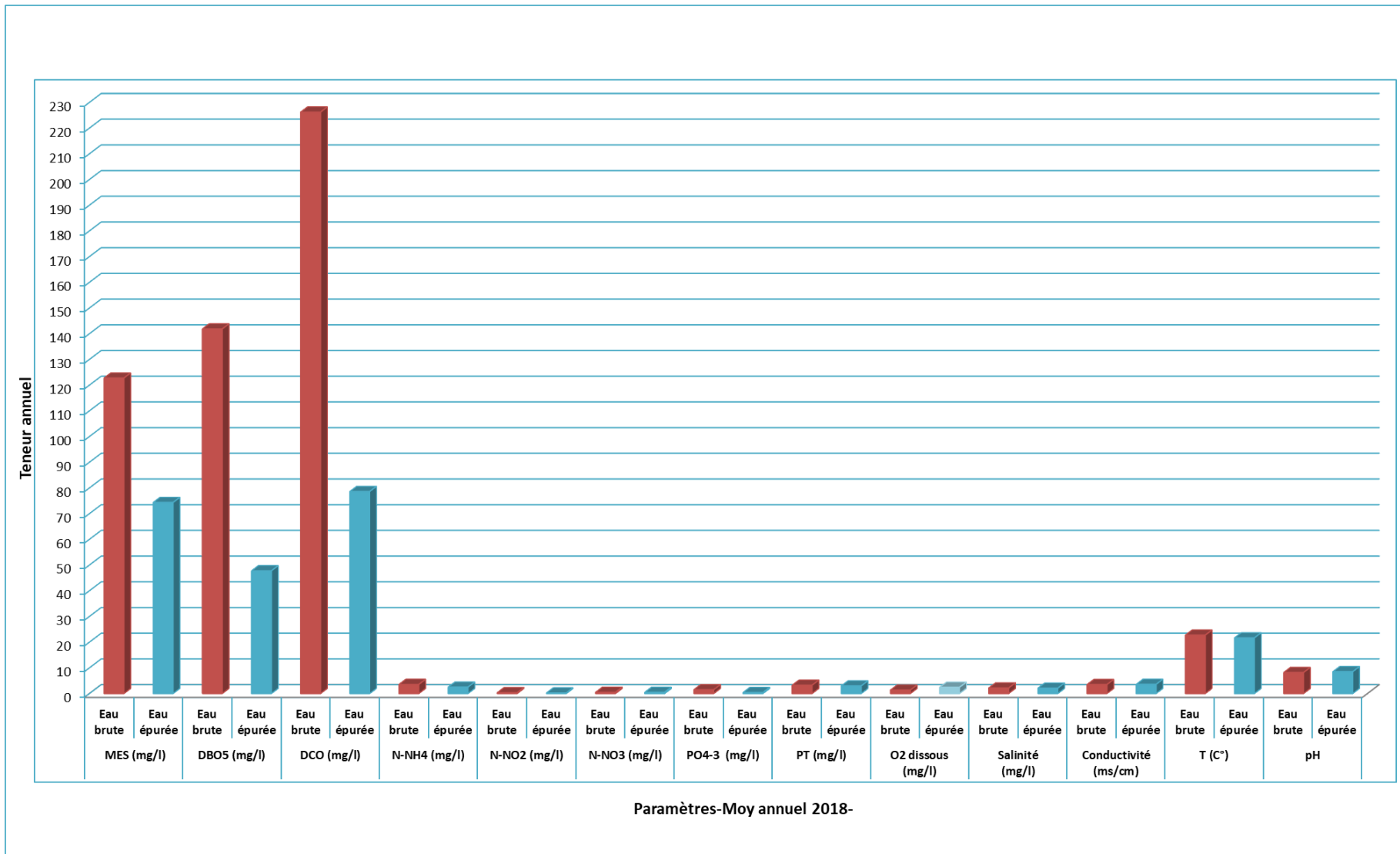


Figure II 19. Résultats moyens annuels des analyses des eaux usées brutes et épurées pendant l'année 2018 (O.N.A, 2019b)



1.10.3. Rejets des eaux usées épurées

Les eaux usées de quatre communes (Daya Bendahoua, Ghardaïa, Bounoura et El Atteuf) sont déversées après le traitement par lagunage vers le rejet final par deux collecteurs de diamètre 1000 mm. Les eaux épurées sont rejetées directement en aval de l'Oued M'Zab (Kef Dokhane).

Il existe dans la S.T.E.P un champ d'olivier comme une culture expérimentale cultivée depuis la mise en service de la S.T.E.P. Nous avons remarqué un véniel développement d'olivier suite à la qualité des eaux usées épurée non fiable qui sont par exemple chargées en huiles à cause de l'absence de dégraissage (Photo. 3 ; 4).



Photo 3. Culture expérimentale d'olivier-2017-**Photo 4.** Couche d'huiles dans la lagune-2017-

Aussi est-il utile de noter que le rejet des eaux usées épurées a engendré des effets avantageux du point de vue environnemental, par la création d'une zone humide qui a aggloméré des oiseaux migrateurs comportant plusieurs espèces viennent de s'installer au niveau des bassins du lagunage et de milieu récepteur telle que (*Aythya nyroca*, *Tadorna ferruginea*, *Tadorna tadorna*, *Gallinula chloropus*, *Himantopus himantopus*, *Tachybaptus ruficollis*, *Tringa sp.* et *Flamant rose*). On remarque également l'apparition de plusieurs plantes spontanées au sein du canal du rejet final et du milieu récepteur telles que *Halocnemums trobilaceum*, *Phragmites communis* et *Tamarix aphylla* (Photo. 5 ; 6).



Photos 5. Oiseaux observés au sein des bassins des lagunages d'après la Conservation des forêts Ghardaïa 2017



Photos 6. Végétation installée au sein de canal du rejet final et du milieu récepteur



1.11. Gestion des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab

La nappe phréatique est exploitée par des puits traditionnels présentant un intérêt très important dans le domaine agricole. Elle sert comme une source pour l'irrigation de la palmeraie de la vallée et sert également pour l'alimentation en eau potable à l'amont, où les eaux sont moins chargées (KHADRAOUI & TALEB, 2008).

Le nombre de puits creusés en 1900 est d'environ 3300 dans les palmeraies des sept villes du M'Zab (KHELIFA, 2008). Le recensement des puits agricoles par la Direction des Services Agricoles (D.S.A) en 2019 dans les communes de la wilaya de Ghardaïa montre un nombre total de 6270 avec un débit de 10465 l/s. 37,59 % des puits exploités ; lesquels sont localisés dans la vallée du M'Zab (Tabl. IV) (D.S.A, 2019).

Tableau IV. Inventaire des puits par commune (D.S.A, 2019)

Communes	Nombre de puits	Débit l/s
Ghardaïa	917	917
El Ménéa	200	400
Daya Bendahoua	662	662
Berriane	700	700
Metlili	1410	1421
Guerrara	590	1770
El Atteuf	385	770
Zelfana	03	9
Sebseb	692	2076
Bounoura	393	786
HssiLefhel	18	54
Hassi L'Gara	-	-
Mansourah	300	900
Total	6270	10465

Selon SAIDI (1983) ; KHELIFA (2008) ; GUEMARI (2009), les eaux de cette nappe étaient amenées autrefois à la surface du sol par traction animale. C'est un système de puisage ingénieux qui subsiste à la traction verticale de l'homme, la traction horizontale d'un animal. Le va-et-vient de l'animal qui tire les cordes, d'un bout à l'autre de la piste de halage, d'une longueur égale à la profondeur du puits, fait monter et descendre l'outre (guerba à tuyau ou delou) dans le puits, sa capacité est comprise entre 40 et 50 litres. Le tuyau étant maintenu relevé par la seconde corde, l'outre remonte remplie d'eau. Une fois arrivé à l'orifice, le tuyau s'abaisse et laisse couler l'eau du récipient dans un petit bassin (Photo. 7).

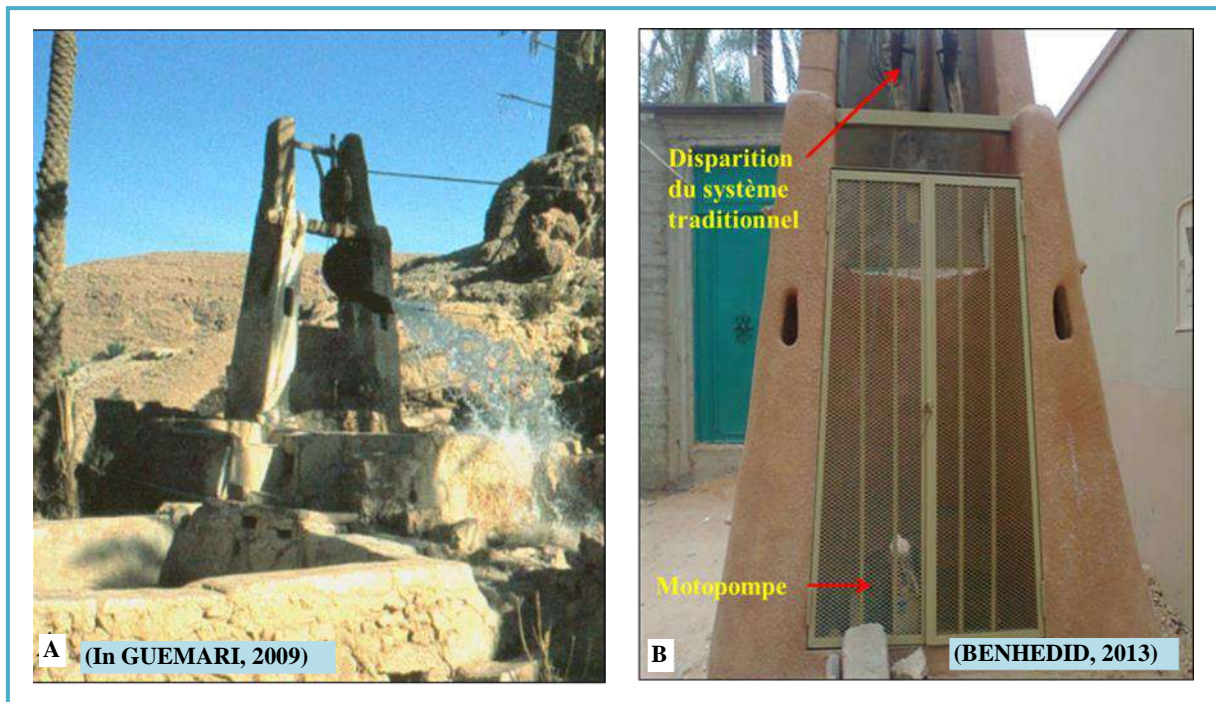


Photo 7. Système de puisage traditionnel (A) et par motopompe (B)

D'après KHELIFA (2008) ; GUEMARI (2009), depuis des centaines d'années, l'exploitation de ces puits a évolué d'un puisage traditionnel par traction animale (donc à débit modéré) à un pompage mécanique de fort débit (Photo. 7), provoquant ainsi une descente assez rapide, puis une remontée du niveau de l'eau à l'intérieur du puits. Cette dynamique serait la cause de l'érosion des parois de celui-ci, lorsqu'il y a une exploitation quasi quotidienne du puits.

Vu le fonçage des puits d'une façon anarchique par les citoyens, à travers la wilaya, la situation de cette nappe demeure incontrôlée par les services techniques de la Direction de l'Hydraulique de la Wilaya (D.H.W) et l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H). Ceci a des conséquences graves, engendrant la dégradation et la pollution de cette nappe.

1.11.1. Niveaux des eaux

Nos mesures de profondeurs de la nappe de l'année 2013 nous ont permis de réaliser deux cartes ; la première pour le niveau statique et la deuxième pour le niveau piézométrique (BNEHEDID, 2014).

1.11.1.1. Niveau statique

La carte de la profondeur de cette nappe (Fig. II 20) montre une variabilité de la profondeur d'un puits à un autre selon la topographie du terrain. D'une manière générale, la profondeur de cette nappe varie entre un minimum de 4 m enregistré au niveau des puits



mesurés au niveau de Bounoura et un maximum de 20,8 m au niveau du puits situé à Ghardaïa, avec une valeur moyenne générale de 11,73 m.

La comparaison de ces résultats avec ceux de VILLE (1872 in DADDI BOUHOUN, 1997) a donné les profondeurs moyennes de la nappe d'eau. Elle est de 28,55 m pour El Atteuf, de 32,23 m à Ghardaïa et de profondeur moyenne de 32,25 m à Bounoura, montrant qu'il y'a une remontée des eaux des puits entre 1861 et 2013 dans la vallée du M'Zab, surtout à Bounoura. Cette remontée est signalée par DADDI BOUHOUN (1997), depuis l'année 1991 à El Atteuf entre 7,06 et 7,77 m.

Selon l'A.N.R.H (2003), sous l'effet combiné de la baisse des prélèvements suite à l'exploitation de la nappe profonde et l'augmentation de sa recharge, cette nappe a tendance à remonter fortement. La profondeur de la nappe n'était plus que de 28 m à l'amont et de 4 à 6 m à l'aval de l'Oued.

L'étude de ACHOUR (2014) a montré que le niveau statique de la nappe phréatique varie entre 2,5 m au niveau de Bounoura et 26,94 m au niveau de Ghardaïa (Fig. II 21).

La remontée des eaux de la nappe est probablement dûe à l'alimentation de cette nappe par les eaux de pluie, les crues et l'infiltration des eaux d'irrigation et les eaux usées des fosses septiques, et les eaux usées déversées en aval du lit d'Oued.

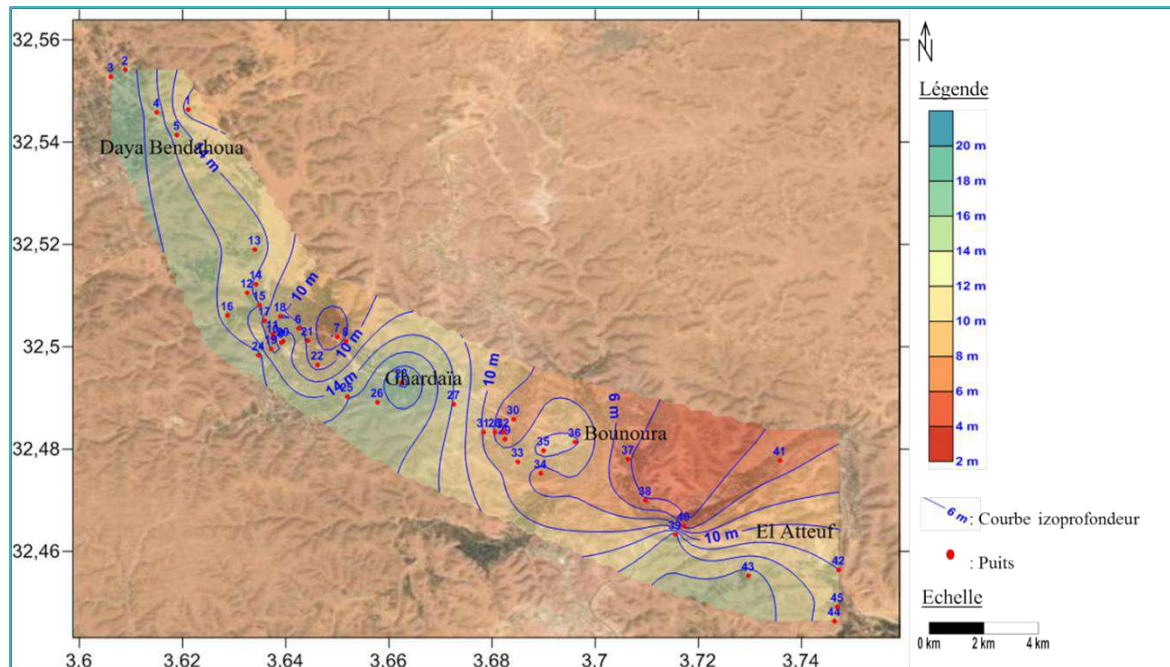


Figure II 20. Carte du niveau statique de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab de l'année 2013 (BENHEDID, 2014)

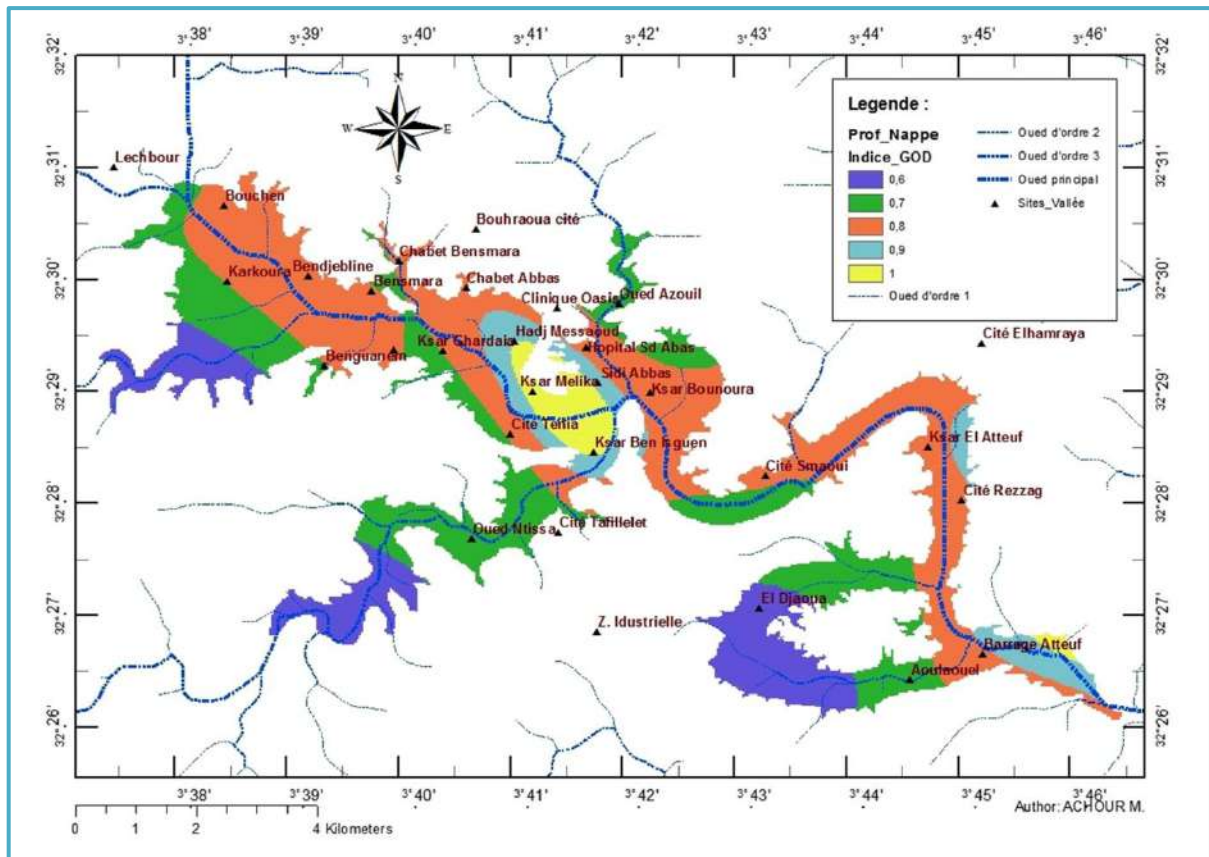


Figure II 21. Carte du niveau statique de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (Avril-mai 2011) (ACHOUR, 2014)

1.11.1.2. Piézométrie des eaux

L'observation de la carte piézométrique (Fig. II 22) permet de constater que l'écoulement souterrain se fait, de l'amont vers l'aval, suivant une direction du Nord-Ouest vers le Sud-Est. Elle varie d'une piézométrie de 520 m en amont à une piézométrie de 428,9 m en aval. Ces écoulements coïncident sensiblement avec le parcours de l'Oued M'Zab qui draine les eaux de surface. De ce fait, la pollution de la nappe peut être influencée par le sens de l'écoulement, en plus des sources de pollutions dans l'Oued M'Zab (BENHEDID, 2014).

Cette piézométrie est voisine à celle de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab d'avril 2008 qui montre un écoulement général des eaux de la nappe de Nord-Ouest de la vallée en amont, avec une piézométrie de 500 m, elle s'abaisse progressivement vers le Sud-Est pour atteindre la côte de 430 m en aval au niveau d'El Atteuf (BENSAHA *et al.*, 2011). Et à l'étude effectuée par ACHOUR (2014), entre 520,94 m et 434,5 m (Fig. II 23).

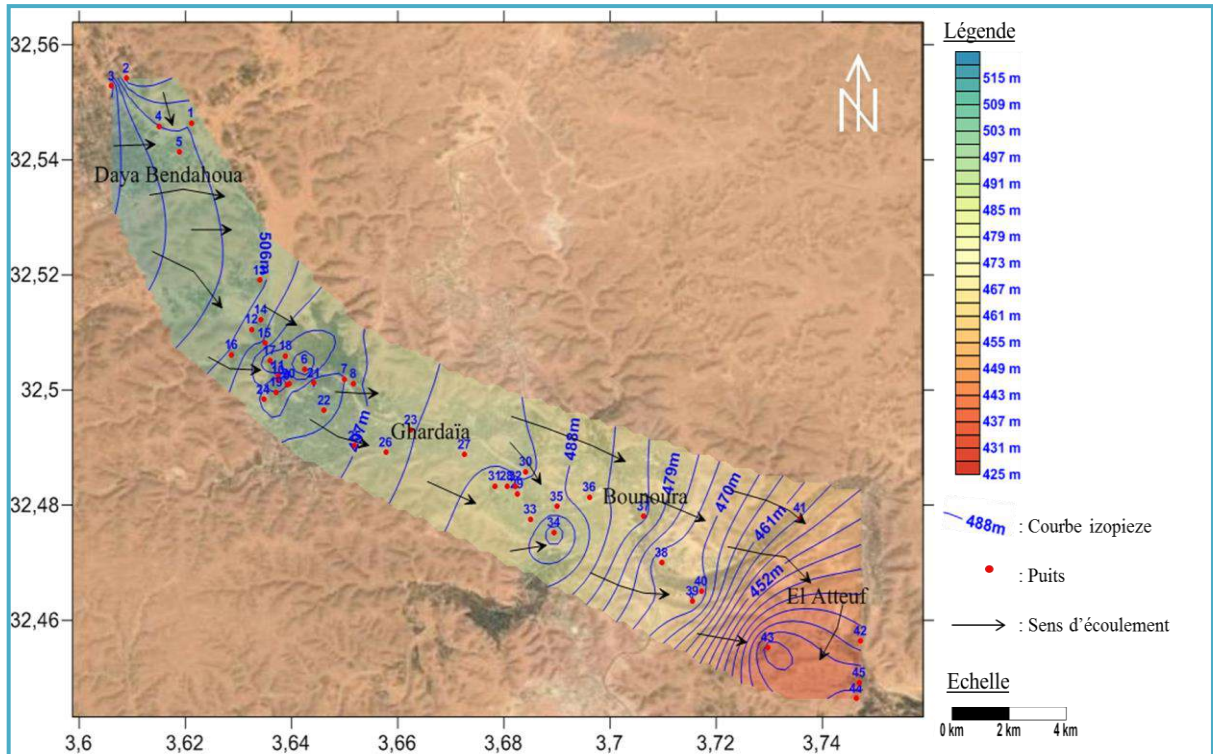


Figure II 22. Carte piézométrique de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab de l'année 2013 (BENHEDID, 2014)

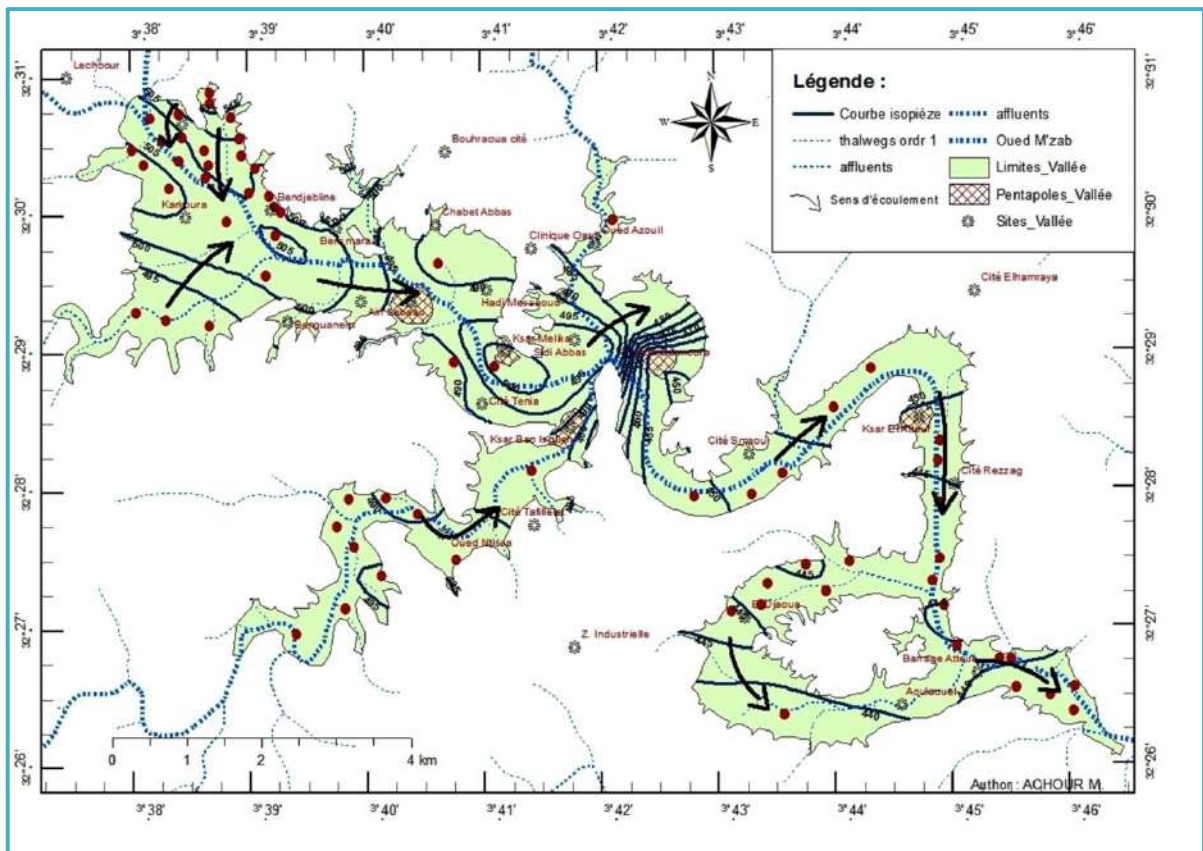


Figure II 23. Carte piézométrique de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (Avril-mai 2011) (ACHOUR, 2014)



1.11.2. Faciès des eaux

Les analyses effectuées par (DADDI BOUHOUN, 1997 ; A.N.R.H, 2003 ; REZZAG & BEN YAHKOUM, 2005 ; BOUHADDA & ZENTAR, 2006 ; TALEB BAHMED, 2008 ; HASSANI, 2009 ; MELLAK, 2009 ; BENZAYET, 2010 ; BENHEDID, 2014 ; BENSABA, 2015 ; BEGRA & TELLI, 2018) montrent que le faciès des eaux est variable, présentant une dominance dans certains puits d'éléments, comme les chlorures, les sulfates, le sodium, le calcium et le magnésium (Fig. II 24). La répartition spatiale des éléments chimiques est fort probablement influencée par la nature géologique des couches traversées par les puits, des fois riches en évaporites ou par une contamination anthropique agro-urbaine, favorisant l'augmentation de certains éléments, comme le potassium, les chlorures et les sulfates.

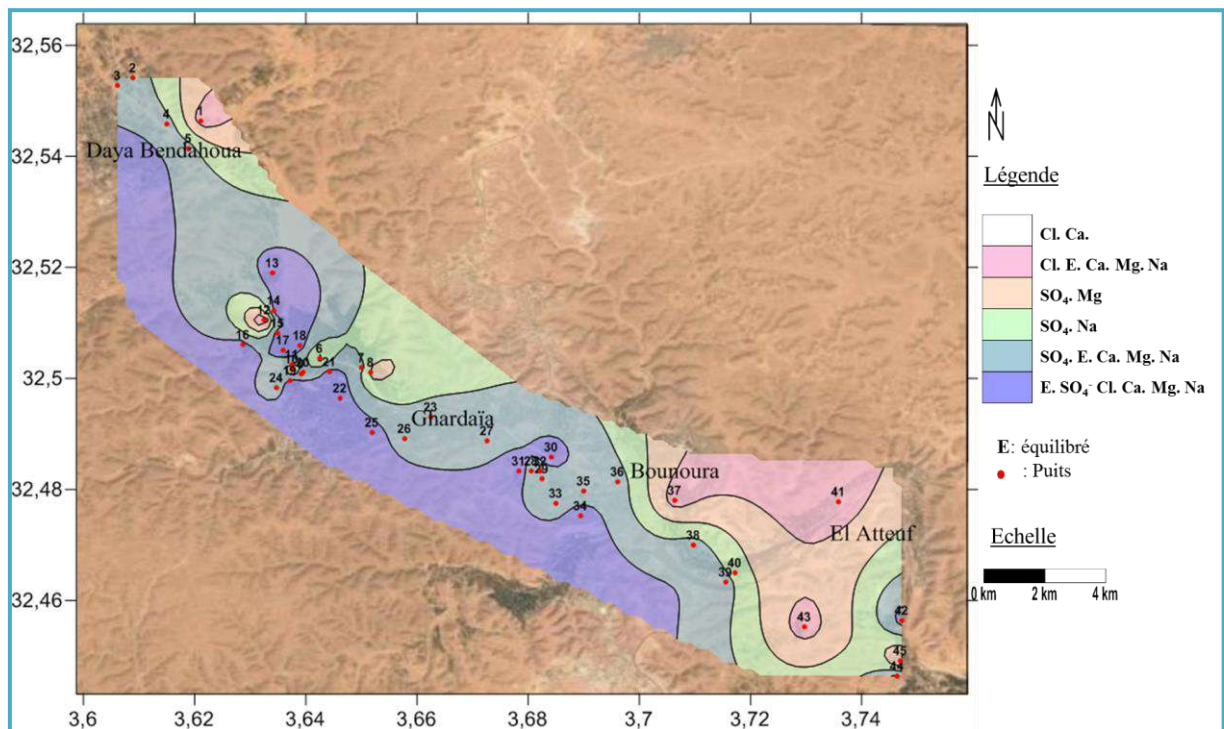


Figure II 24. Carte de répartition des faciès chimiques des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab de l'année 2013 (BENHEDID, 2014)

1.11.3. Vulnérabilité de nappe superficielle

L'étude de la vulnérabilité de nappe superficielle effectuée par ACHOUR (2014) a permis la réalisation d'une carte de vulnérabilité par le calcul de l'indice de vulnérabilité G.O.D fondée sur l'identification de trois paramètres : Type de nappe (Groundwater occurrence) « G » ; type d'aquifère en fonction de son degré de confinement (Overall aquifer class) « O » et la profondeur à la nappe (Depth to groundwater table) « D » (Fig. II 25). Cette carte relève la présence de quatre classes d'indice qui sont : aucune, modérée, forte et très forte, avec une prédominance nette de la classe forte. L'indice fort de la vulnérabilité dans ces



contrés d'après eux, est dû, vraisemblablement, à la faible profondeur de la nappe, comprise essentiellement entre 10 et 4 m, et d'autre part à la lithologie de la zone non saturée constituée principalement de sables moyens et grossier alluvionnaires très perméables, engendrant ainsi des conditions très favorables à l'infiltration de tout polluant de la surface vers la nappe.

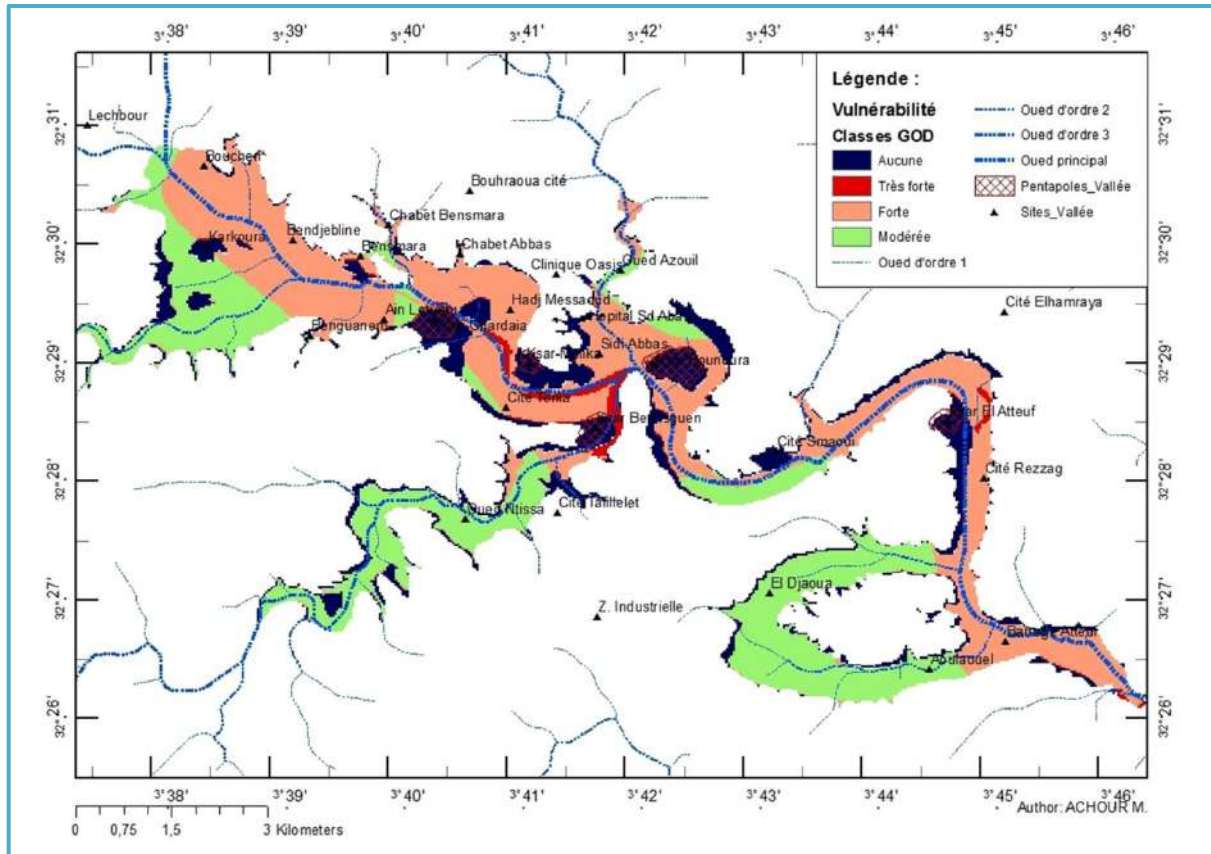


Figure II 25. Carte de l'indice de vulnérabilité de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (ACHOUR, 2014)

1.11.4. Problèmes de gestion

D'après BONNARD & GARDEL (1999), la situation sanitaire du lit de l'Oued M'Zab n'était pas acceptable. En de nombreux endroits, les eaux usées encombrant le lit de l'Oued et polluent la nappe phréatique ; ceci est dû à des raccordements défectueux des eaux usées au collecteur principal, à l'inexistence ou au mauvais fonctionnement du collecteur principal. Dans les zones où le collecteur principal n'était pas construit, des saignées ont été effectuées dans le lit de l'Oued pour canaliser les eaux usées ; ainsi, les rejets des eaux usées par fosses septiques de la zone de Daya Bendahoua.

Les études sur la qualité des eaux de la nappe superficielle réalisées dans différentes zones de la vallée du M'Zab et effectuées par (DADDI BOUHOUN, 1997 ; A.N.R.H, 2003 ; REZZAG & BEN YAHKOUM, 2005 ; BOUHADDA & ZENTAR, 2006 ; TALEB BAHMED, 2008 ; HASSANI, 2009 ; MELLAK, 2009 ; BENZAYET, 2010, BENHEDID,



2014, BENSABA, 2015 ; BEGRA & TELLI, 2018), montrent que les eaux de cette nappe sont classées polluées et non potables par rapport aux normes Algériennes et de l'O.M.S. Aussi la classification des eaux indique que ces eaux sont de qualité médiocre pour l'irrigation, présentant des risques de salinisation et d'alcalinisation des sols.

Notre travail de magister réalisé en hiver 2013 (BENHEDID, 2014), nous a montré que la nappe est soumise à une contamination agro-urbaine favorisant la pollution des eaux des puits par l'agriculture, les fosses septiques et les rejets des eaux usées. Ces dernières sont utilisées pour l'irrigation et comme eau de consommation humaine sans contrôle de qualité par les services concernés.

L'analyse des paramètres de pollution de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab montre des variations des concentrations de forme azotée, avec la dominance des nitrites en amont et en aval de l'Oued. Au centre de la vallée, la dégradation de la qualité des eaux est due essentiellement à la présence des nitrates (Fig. II 26), qui semble être liée d'une contamination organique d'origine variable, notamment par les eaux usées. Des fortes teneurs de la D.C.O indiquent une contamination organique des eaux, d'origine variable. Les eaux des nappes ne présentent pas une pollution phosphorée et en fer. Toutefois, les concentrations des phosphates augmentent en zones de fosses septiques.

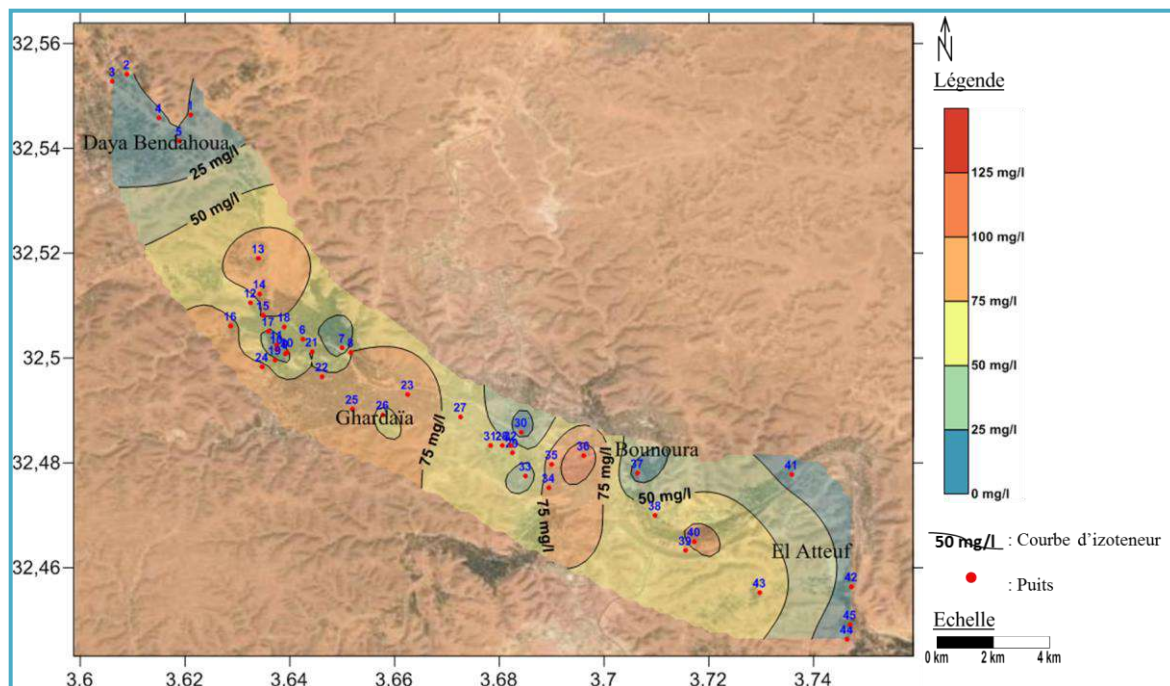


Figure II 26. Carte de la variation spatiale de NO_3^- des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab de l'année 2013 (BENHEDID, 2014)

La carte de la répartition spatiale de la pollution des eaux de la nappe superficielle (Fig. II 27), effectuée en fonction des paramètres de pollution et les paramètres chimiques qui



peuvent poser des effets négatifs sur la santé humaine selon les normes de l'O.M.S. Pour cela, la classification est effectuée selon les teneurs du NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , Fe^{++} , Cl^- , SO_4^{2-} , K^+ , Na^+ , et la D.C.O. Cette classification a fait apparaître quatre classes où « la classe 4, eau fortement polluée » représente les eaux avec des concentrations très élevées de polluants ; elle représente la majorité des eaux de la nappe de l'Oued, soit un pourcentage de 69 %. De ce fait, la nappe superficielle est polluée dans tout le long de l'Oued M'Zab, ce qui montre la dégradation de l'environnement ainsi que les risques d'utilisation de ces eaux notamment pour l'alimentation en eau potable.

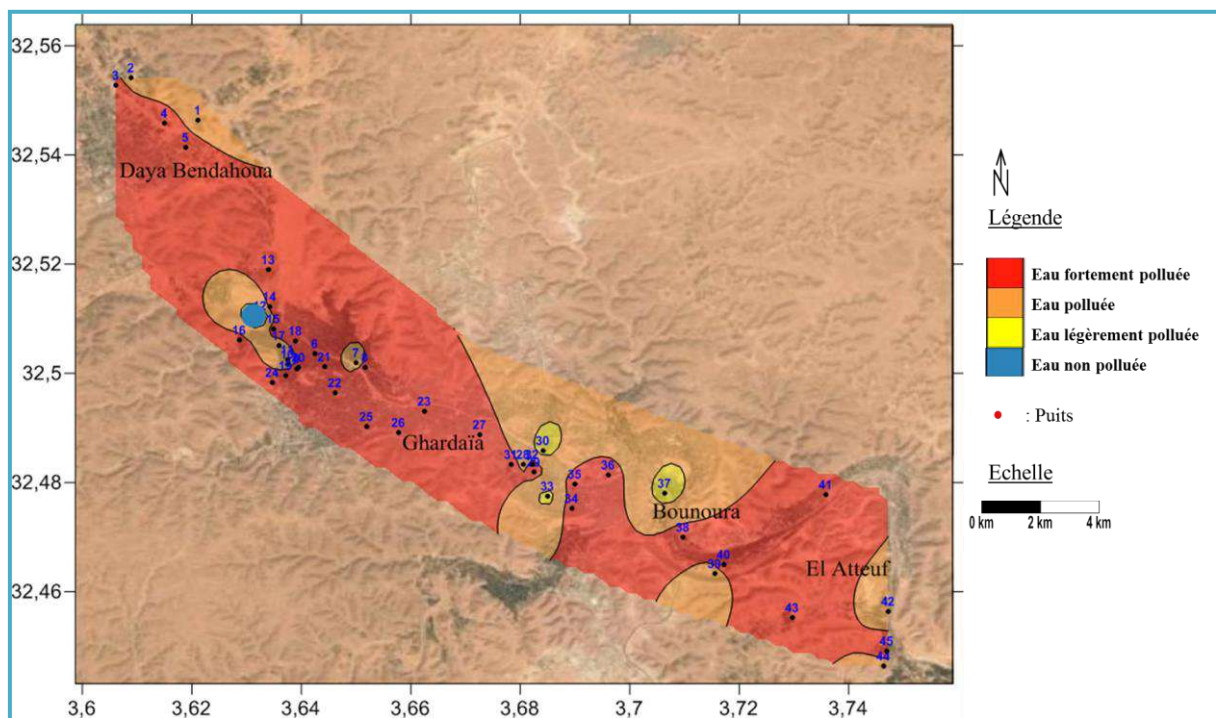


Figure II 27. Carte de la répartition spatiale de la pollution des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (BENHEDID, 2014)

Conclusion

La présentation de notre zone d'étude nous a montré une dégradation de la qualité des eaux de la nappe superficielle par les activités agricoles et urbaines dans la vallée du M'Zab, notamment par la pollution azotée. En raison du faible nombre d'études réalisées sur la qualité de cette nappe ainsi que le nombre de points de mesures d'eau restreint, les recherches n'ont pas été suffisamment approfondies, soulevant ainsi des ambiguïtés sur la variation de la pollution de cette nappe, de l'amont vers l'aval de l'Oued M'Zab.

Des études supplémentaires s'avèrent donc primordiales, d'où l'intérêt de notre travail de recherche qui vise à déterminer la variation spatio-temporelle et l'importance de la pollution azotée dans les eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab. Aussi, déterminer



les problèmes de dégradations posés et l'aptitude d'utilisation de ses eaux.

Les réponses à nos interrogations vont permettre de réaliser des cartes de risque de pollution azotée et de faire des recommandations d'aménagement afin d'améliorer le système d'assainissement et de préserver la ressource hydrique souterraine utilisée comme eau potable et en irrigation dans une perspective de développement durable des ressources hydriques sahariennes.

*Deuxième partie :
Matériels et méthodes*



Chapitre III. Matériels d'étude





Introduction

Dans la présentation du matériel d'étude, nous allons présenter les causes du choix de la zone d'étude d'Oued M'Zab, les critères de choix des stations et des sites d'études, et notamment la présentation des stations d'études.

1. Choix de la zone d'étude

Notre travail actuel de recherche est une suite au travail du magister (BENHEDID, 2014). La zone d'étude est située dans le tronçon le plus actif de l'Oued M'Zab de la wilaya de Ghardaïa (Fig. III 1). Celle-ci est caractérisée par une forte activité socio-économique agro-urbaine où nous avons constaté antérieurement des problèmes de pollution de la nappe superficielle, notamment la contamination azotée. Cette dernière constitue un danger pour les eaux de nappe d'intérêt agro-domestique.

2. Choix des stations d'étude

Les stations d'étude choisies représentent quatre communes situées dans le sens d'écoulements des eaux de l'Oued M'Zab de l'amont vers l'aval respectivement les communes : Daya Bendahoua, Ghardaïa, Bounoura et El Atteuf (Fig. III 2).

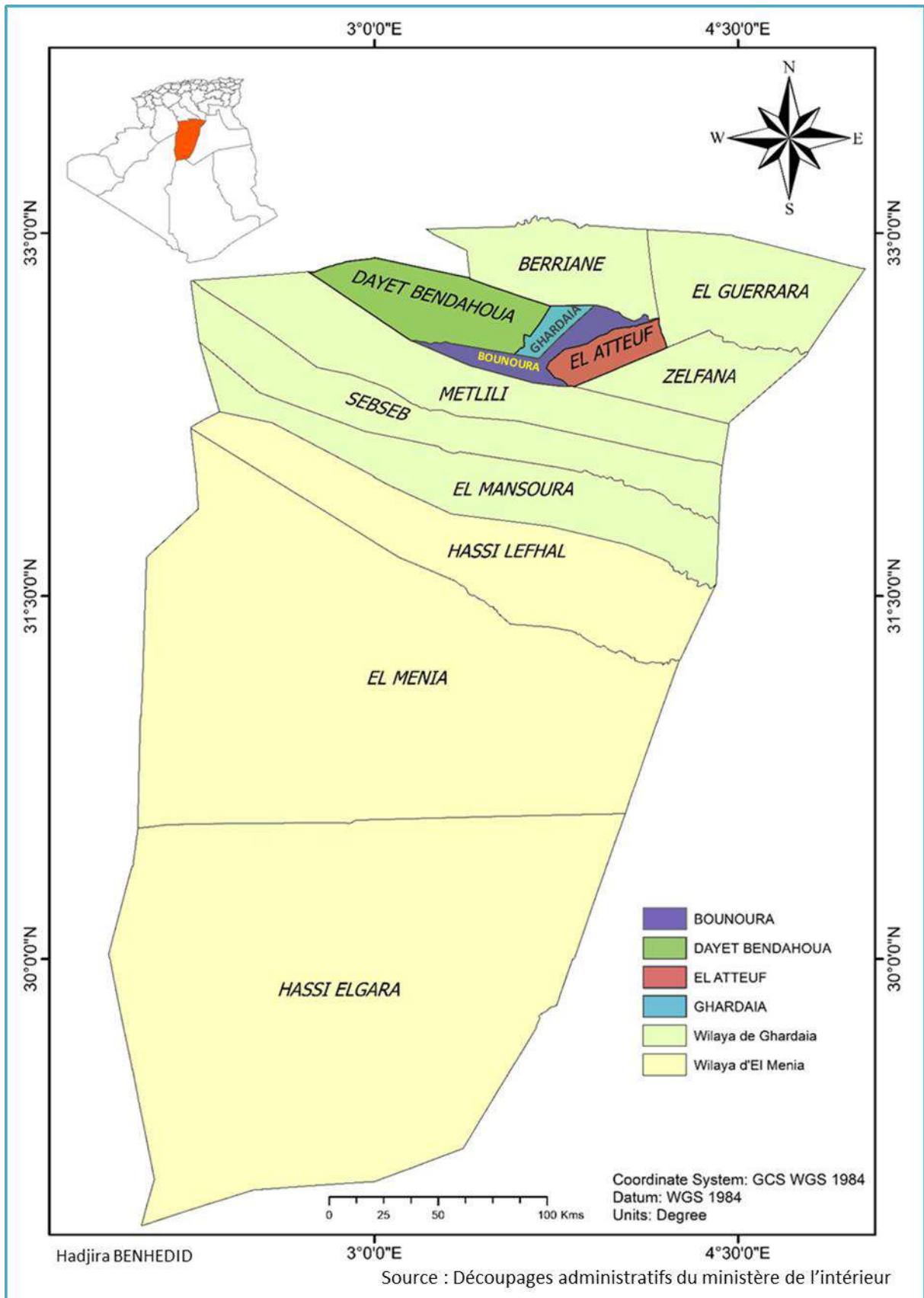


Figure III 1. Situation géographique de la zone d'étude

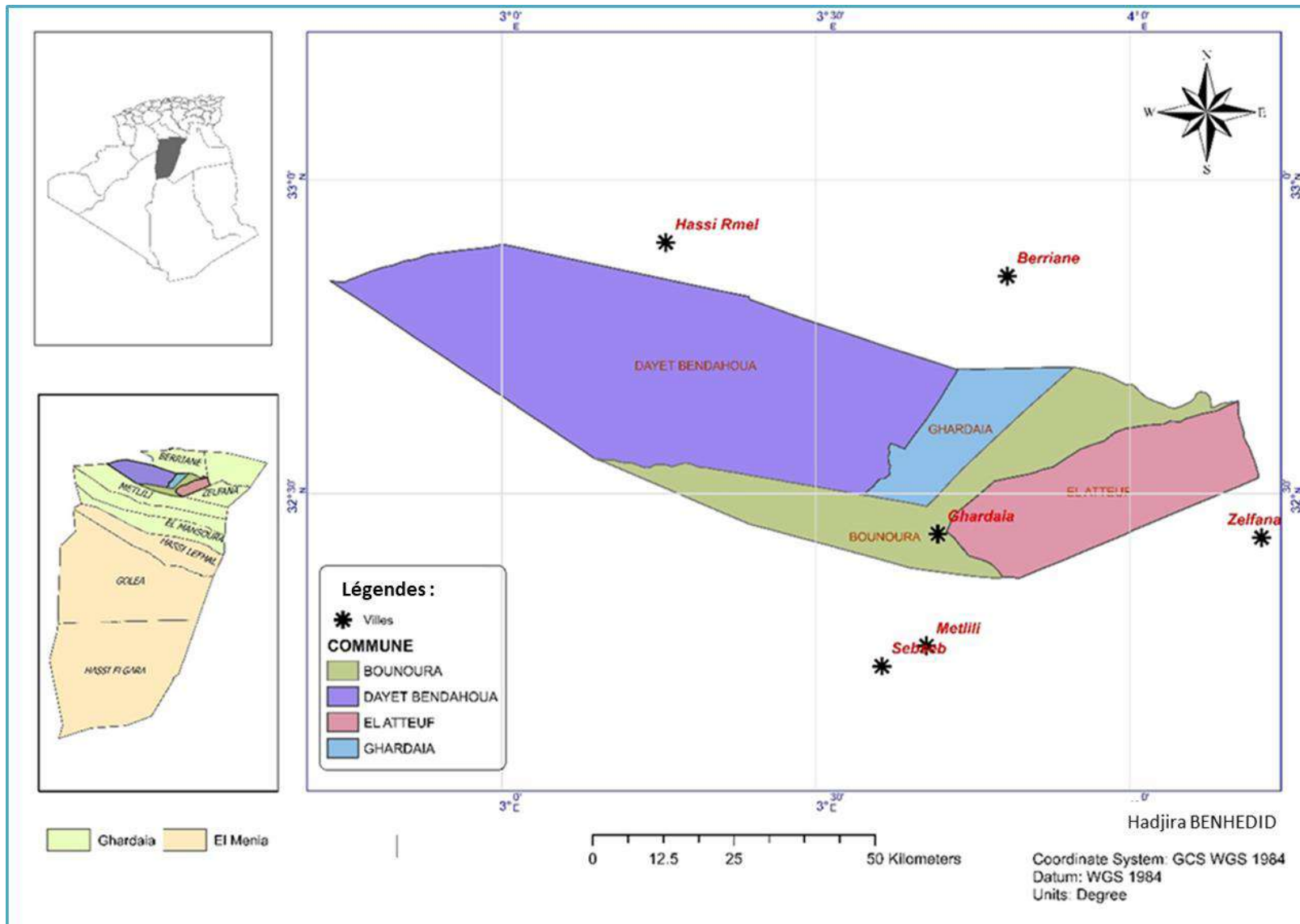


Figure III 2. Localisation des stations d'étude



3. Choix des sites d'étude

Nous avons échantillonné les eaux de la nappe superficielle sur quarante sites contenant des puits. Les sites choisis sont situés dans des zones agricoles, urbaines et agro-urbaines. Les sites sont répartis par rapport aux stations selon les critères suivants :

- L'aptitude de coopération des propriétaires ;
- Le fonctionnement des puits ;
- La répartition des puits dans les communes de l'amont vers l'aval de l'oued M'Zab ;
- Essayer d'échantillonner un nombre des puits proportionnelle à la surface des stations ;
- L'idée du maintien des mêmes puits échantillonnés au cours du travail de magister (BENHEDID, 2014) pour assurer le suivi de la qualité des eaux.

Le nombre des sites échantillonnés dans les stations de Daya Bendahoua, Ghardaïa, Bounoura et El Atteuf est respectivement de 8, 13, 9 et 10 (Fig. III 3 ; Photo. 8).

L'échantillonnage réalisé en 2013 a subi un changement pour deux raisons, à savoir l'abandon des sites à cause des incidents de trouble publique qu'a connu la wilaya de Ghardaïa et la suppression de certains sites à cause du non fonctionnement des pompes d'eaux. Nous avons éliminé 5 sites du nombre échantillonné en magister où le nombre de puits (P) est passé de 45 à 40 puits.

L'échantillonnage dans les stations se présente comme suit :

- **Station de Daya Bendahoua** : le nombre de puits est passé de 5 à 8 dont les puits P1, P2, P3, P4 et P8 sont situés dans les nouveaux sites et les puits P5, P6 et P7 correspondent respectivement aux puits P2, P4 et P5 précédemment échantillonnés en 2013 (Annexe III) ;
- **Station de Ghardaïa** : le nombre de puits est passé de 29 à 13 dont les puits de P9 à P21 correspondent respectivement aux puits P13, P12, P16, P15, P17, P18, P19, P22, P8, P23, P27, P31, P32 précédemment échantillonnés en 2013 ;
- **Station de Bounoura** : le nombre de puits est passé de 6 à 9 dont les puits P27, P28 et P29 sont situés dans les nouveaux sites et les puits P22, P23, P24, P25, P26 et P30 correspondent respectivement aux puits P29, P34, P35, P36, P37 et P39 précédemment échantillonnés en 2013 ;
- **Station d'El Atteuf** : le nombre de puits est passé de 5 à 10 dont les puits P31, P32, P33, P35, P36 et P37 sont situés dans les nouveaux sites et les puits P34, P38, P39 et P40 correspondent respectivement aux puits P41, P42, P43 et P45 précédemment échantillonnés en 2013.



Photo 8. Quelques puits des sites étudiés

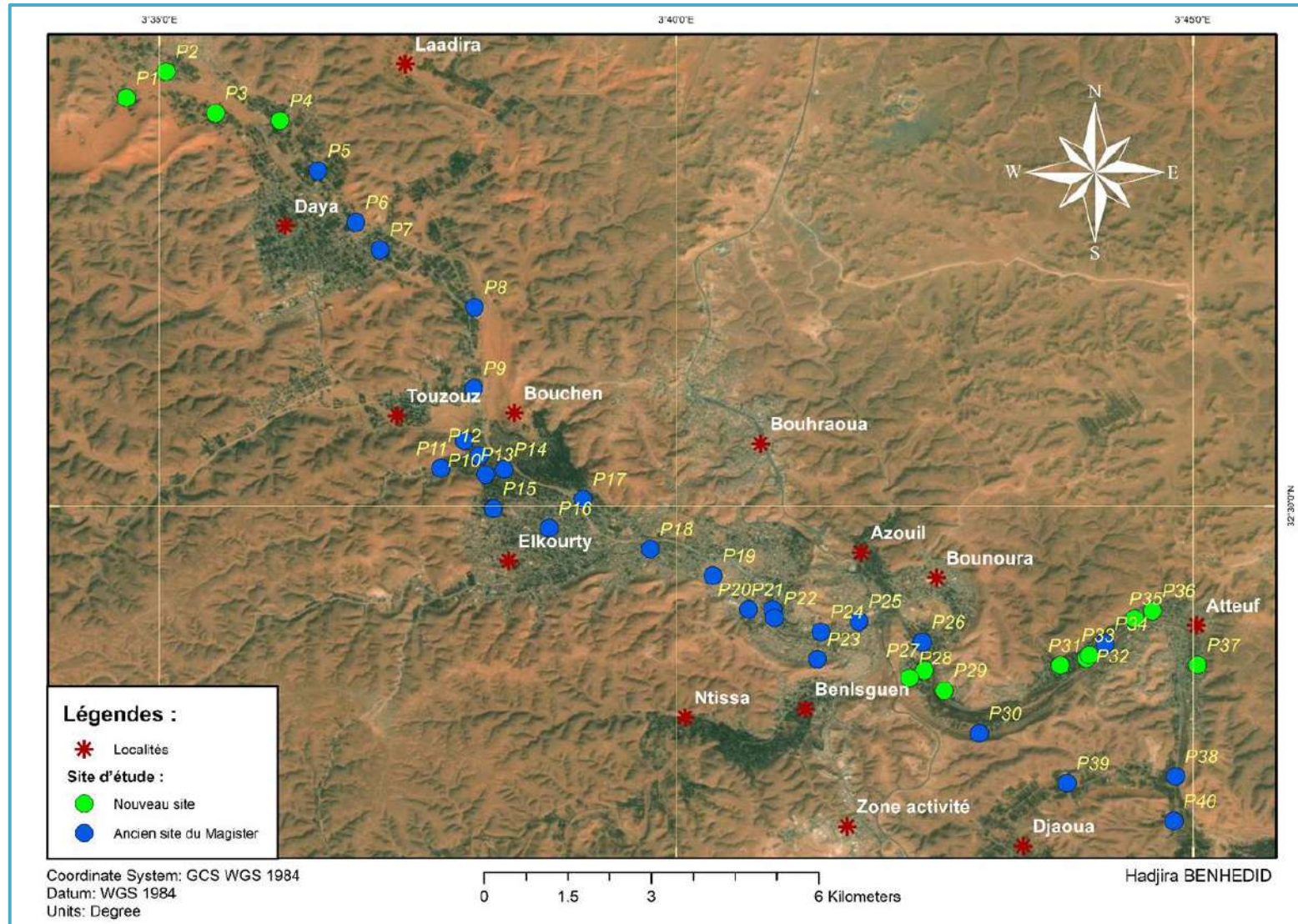


Figure III 3. Localisation des sites d'étude



4. Présentation des stations d'étude

4.1. Station de Daya Bendahoua

La commune de Daya Bendahoua est située à 10 Km au nord-ouest de la commune de Ghardaïa, chef-lieu de wilaya. Elle s'étend sur une superficie de 2234,94 Km², le chef-lieu de la commune est située entre une longitude de 3° 36' 20" Est, et une latitude de 32° 32' 13" Nord. Les terres agricoles occupent une superficie de 1105,89 Km², et la surface restante est de 1129,05 Km², répartie entre la zone urbaine et les terres non attribuées. La population de la commune est estimée à 15069 habitants en zone rurale (D.P.S.B, 2012 ; D.P.S.B, 2019).

La gestion des eaux conventionnelles dans cette commune se caractérise par l'existence de 15 forages, dont 14 sont exploités avec un débit de 383 m³/j, 8 forages d'alimentation en eau potable (A.E.P) et 6 forages pour l'irrigation (I.R.R). Le réseau d'alimentation en eau potable est d'une longueur de 72648 m. 662 puits traditionnels avec un débit 917 l/s (A.N.R.H, 2019 ; D.S.A, 2019 ; D.P.S.B, 2019). La gestion des eaux superficielles se fait par l'existence d'un barrage dans la palmeraie de Daya Bendahoua, et trois barrages de rétention construits récemment à l'amont sur les oueds El Abiod, El Haimeur et Bou Brik.

Les eaux non conventionnelles de type usé sont évacuées par un réseau d'assainissement de 49800 m de long raccordé récemment, dès 2020, avec un taux de 65 % et un volume des eaux usées rejetées de 1680 m³/j. Toutefois, la collecte des eaux usées était effectuée par des fosses septiques (O.N.A, 2020).



Photo 9. Site agricole « palmeraie » dans la station de Daya Bendahoua



4.2. Station de Ghardaïa

La commune de Ghardaïa, chef-lieu de wilaya, située à 600 km au sud d'Alger, est la capitale de la vallée du M'Zab. Elle couvre une superficie de 306,47 Km², le chef-lieu de la commune est situé entre une longitude de 3° 41' Est, et latitude de 32° 29' Nord. Les terres agricoles représentent une superficie de 147,55 Km², englobant une grande palmeraie, située au nord de la commune, et la surface restante de 158,92 Km² est répartie entre la zone urbaine et des terres non attribuées. La population de la commune est estimée à 132761 habitants dont 8249 habitants en zone rurale et 124512 habitants en zone urbaine (D.P.S.B, 2012 ; D.P.S.B, 2019).

La gestion des eaux conventionnelles dans cette commune se caractérise par l'existence de 40 forages dont 39 exploités avec un débit de 933 m³/j, 31 forages d'A.E.P, 3 forages d'I.R.R et 6 forages pour l'approvisionnement en eau industrielle (A.E.I). Le réseau d'alimentation en eau potable est d'une longueur de 313654 m. 917 puits traditionnels avec un débit 917 l/s (A.N.R.H, 2019 ; D.S.A, 2019 ; D.P.S.B, 2019). La gestion des eaux de crue est assurée par l'existence d'un barrage de dérivation en amont de la palmeraie de Ghardaïa et quatre barrages de retenue (barrage Bouchenne : en amont de la palmeraie de Ghardaïa, barrage Tiziout : dans la palmeraie de Ghardaïa, Habbas Djdid : à la limite en aval de la palmeraie et barrage de Mélika.

L'évacuation des eaux usées est assurée par un réseau d'assainissement de 283600 m de long, avec un taux de raccordement de 72 % (O.N.A, 2020).



Photo 10. Site agro-urbain « palmeraie habitée » dans la station de Ghardaïa



4.3. Station de Bounoura

La commune de Bounoura est située à 2 km à l'est du centre-ville de Ghardaïa ; le chef-lieu de la commune est limité par les coordonnées géographiques 32° 29' 10" Nord et 3° 42' 28" Est. Elle recouvre une superficie de 778,92 Km². Les terres agricoles couvrent une superficie de 386,27 Km², et la surface de 392,65 Km² est répartie entre la zone urbaine et les terres non attribuées. La population de cette commune est estimée à 43740 habitants dont 216 habitants en zone rurale et 43524 habitants en zone urbaine (D.P.S.B, 2012 ; D.P.S.B, 2019).

La gestion des eaux conventionnelles dans cette commune se caractérise par l'existence de 19 forages dont 17 exploités avec un débit de 442 m³/j, 11 forages d'A.E.P, 4 forages d'I.R.R et 2 forages d'A.E.I. Le réseau d'alimentation en eau potable est d'une longueur de 59851 m. 393 puits traditionnels avec un débit 786 l/s (A.N.R.H, 2019 ; D.S.A, 2019 ; D.P.S.B, 2019). En ce qui concerne la gestion des eaux de crue dans cette commune, il existe un barrage de dérivation sur l'Oued N'Tissa à l'amont de la palmeraie de Béni-Isguen et deux retenues sur l'Oued N'Tissa : barrage N'Bahman Ben Kassi : en amont de Béni-Isguen, et barrage N'Ouqdach : construit au début de la palmeraie de Béni-Isguen pour protéger la ville contre les grandes crues.

L'évacuation des eaux usées est assurée par un réseau d'assainissement de 76400 m de long, avec un taux de raccordement de 89 % (O.N.A, 2020).



Photo 11. Site agricole « palmeraie » dans la station de Bounoura



4.4. Station d'El Atteuf

La commune d'El Atteuf est située à 9 km à l'est de Ghardaïa. Elle s'étale sur une superficie de 717,01 km², le chef-lieu de la commune est située entre une longitude de 3° 44' 52" Est, et une latitude de 32° 28' 39" Nord. La superficie pour l'agriculture est de 155,04 Km², et la surface restante de 561,97 Km² est répartie entre la zone urbaine et les terres non attribuées. La population de la commune est estimée à 19518 habitants dont 391 en zone rurale et 19127 en zone urbaine (D.P.S.B, 2012 ; D.P.S.B, 2019).

La gestion des eaux conventionnelles dans cette commune se caractérise par l'existence de 20 forages exploités avec un débit de 515 m³/j, 10 forages d'A.E.P, 4 forages d'I.R.R et 6 forages d'A.E.I. Le réseau d'alimentation en eau potable présente une longueur de l'ordre de 69203 m, avec 385 puits traditionnels avec un débit de 770 l/s (A.N.R.H, 2019 ; D.S.A, 2019 ; D.P.S.B, 2019). La gestion des crues est assurée par l'existence d'un barrage de retenue, situé à 3 Km en aval de cette ville.

L'évacuation des eaux usées est assurée par un réseau d'assainissement de 47500 m de long avec un taux de raccordement de 89 % et un volume des eaux usées rejetées de 32750 m³/j acheminées vers la S.T.E.P de lagunage de Kef Dokhane en aval de cette commune pour traitement (O.N.A, 2020).



Photo 12. Site agricole « palmeraie » dans la station d'El Atteuf

Chapitre IV. Méthodes d'étude





Introduction

La méthode d'étude est consacrée à la présentation de l'approche méthodologique d'étude de la qualité des eaux de la nappe superficielle et de la variation spatio-temporelle de leurs pollutions azotées. Aussi, présenter les différentes méthodes utilisées dans les analyses physico-chimiques et bactériologiques des échantillons d'eau de puits.

1. Approche méthodologique

Notre approche méthodologique consiste à suivre la variation spatio-temporelle de la pollution azotée des eaux de la nappe superficielle à l'Oued M'Zab pour apprécier le niveau de la dégradation de la qualité des eaux. La pollution azotée a été constatée dans notre travail antérieur du magister.

Pour réaliser ce travail nous avons effectué les étapes suivantes :

Etape 1 : Caractérisation de la pollution initiale abiotique et biotique de la nappe superficielle :

- a. Etude physico-chimiques des eaux ;
- b. Etude bactériologiques des eaux.

Etape 2 : Etude de la variation spatio-temporelle de la pollution azotée et les paramètres liés à la pollution des eaux :

- a. Etude de variation des composés azotés ;
- b. Etude des paramètres liés à la pollution des eaux.

Etape 3 : Conclusion et recommandations d'aménagement par rapport aux problèmes posés.

1.1. Localisation des sites d'échantillonnage

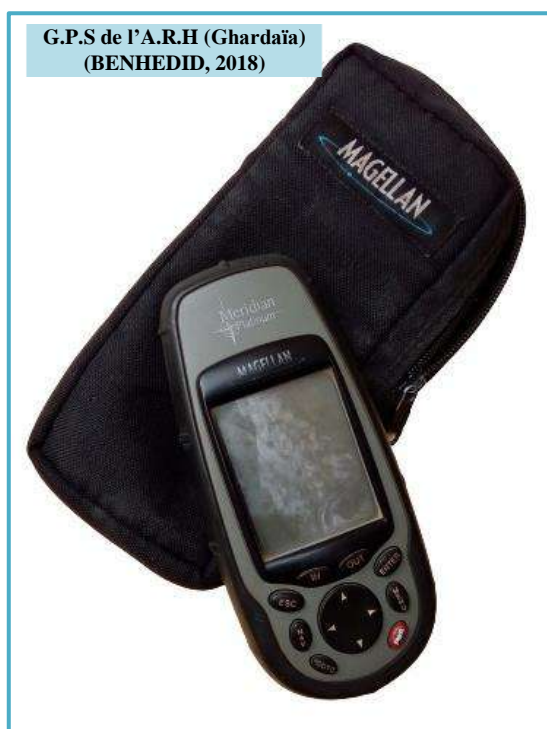
Les puits d'études sont repérés avant le prélèvement à l'aide d'un G.P.S (le Système de Positionnement Global) de marque « Meridian Platinum MAGELLAN » (Photo. 13), où nous avons enregistré les coordonnées géographiques de latitude (X), longitude (Y) et d'altitude (Z) (Tabl. V).

Le nombre des puits et la période d'échantillonnage varient en fonction des études réalisées. L'échantillonnage a duré deux ans entre 2017 et 2018.

**Tableau V.** Localisation des sites d'échantillonnage par G.P.S de marque « MAGELLAN »

Puits	X	Y	Z	Puits	X	Y	Z
P1	3,577996	32,565924	542	P21	3,682222	32,483333	495
P2	3,584378	32,570162	537	P22	3,6825	32,481944	499
P3	3,592357	32,563487	536	P23	3,689444	32,475278	499
P4	3,602755	32,562258	535	P24	3,69	32,479722	483
P5	3,608889	32,554167	534	P25	3,696111	32,481389	486
P6	3,615	32,545833	526	P26	3,706389	32,478056	468
P7	3,618889	32,541389	527	P27	3,706709	32,473472	469
P8	3,634141	32,532112	516	P28	3,70429	32,472273	485
P9	3,634017	32,519019	513	P29	3,7099	32,470241	470
P10	3,6325	32,510556	523	P30	3,715556	32,463333	469
P11	3,6287	32,506119	523	P31	3,72863	32,474289	463
P12	3,634925	32,508158	520	P32	3,73288	32,475372	462
P13	3,635922	32,505108	519	P33	3,733311	32,47594	463
P14	3,638925	32,505939	514	P34	3,735833	32,477778	459
P15	3,637175	32,4996	519	P35	3,740608	32,481844	459
P16	3,646192	32,496461	513	P36	3,743492	32,483089	459
P17	3,651667	32,501111	514	P37	3,750756	32,474353	459
P18	3,6625	32,493056	509	P38	3,747222	32,456389	450
P19	3,672603	32,488778	505	P39	3,729722	32,455278	457
P20	3,678333	32,483333	498	P40	3,746944	32,449167	452

X, Y en Degrés décimaux ; Z en mètre

**Photo 13.** Appareil G.P.S de marque « MAGELLAN »



1.2. Caractérisation de la pollution de la nappe superficielle

La caractérisation de la pollution de la nappe superficielle consiste à apprécier l'état initial de la qualité abiotique et biotique des eaux. Pour cela nous avons réalisé un diagnostic analytique sur quarante puits repartis à travers quatre stations d'étude. Les mesures physico-chimiques et bactériologiques vont permettre la caractérisation de la qualité des eaux, notamment la pollution azotée. Aussi parallèlement apprécier au cours des mesures la situation topographique (bordure, centre de l'Oued ; site agricole « palmeraie », urbain « habitation » ou agro-urbain « palmeraie habitée ») et les conditions environnementales par rapport à l'utilisation des eaux (usage agricole « irrigation », usage domestique « boisson, lavage, natation, ... » et usage agro-domestique « irrigation, boisson, lavage, natation, ... »), le mode d'assainissement (réseau d'assainissement, fosses septiques ou pas d'assainissement) et le rejet des eaux usées (permanent « habitants sédentaires » dans le réseau d'assainissement ou dans la fosse septique ; temporaire « habitants non sédentaires » dans le réseau d'assainissement ou dans la fosse septique). Ces dernières appréciations qualitatives peuvent avoir un impact sur la qualité des eaux.

1.2.1. Etude physico-chimique des eaux

L'étude physico-chimique a été réalisée au cours d'une campagne d'échantillonnage des eaux de la nappe superficielle effectuée pendant la période des hautes eaux (période hivernale), durant le mois de janvier à février 2017. La durée d'échantillonnage est conditionnée par les déplacements dans la vallée du M'Zab et la présence des propriétaires des sites de prélèvements, ainsi que la disponibilité des moyens d'analyse au laboratoire.

A travers cette étude nous avons déterminé la qualité physico-chimique et la classification des eaux par rapport aux normes nationales et internationales des eaux souterraines, des eaux potables et des eaux d'irrigation (Annexe IV ; V ; VI ; VII). L'étude comprend la détermination des paramètres physico-chimiques des eaux, particulièrement de la pollution azotée initiale. Les paramètres étudiés sont : le potentiel Hydrogène (pH), la conductivité électrique (C.E), les paramètres de pollution des eaux (la turbidité, l'azote total (N_{total}), l'ammonium (NH_4^+), le nitrite (NO_2^-), le nitrate (NO_3^-), le phosphore total P_{total} , les orthophosphates (PO_4^{-3}), la demande biologique en oxygène (D.B.O₅) et la demande chimique en oxygène (D.C.O)), les composées ioniques (le calcium (Ca^{++}), le magnésium (Mg^{++}), le sodium (Na^+), le potassium (K^+), le chlorure (Cl^-), les sulfates (SO_4^-) et les bicarbonates (HCO_3^-)).



Les prélèvements des échantillons des eaux sont effectués selon les normes de RODIER et *al.* (2009), mentionnant que cette opération est délicate, où à laquelle, le plus grand soin doit être apporté. Le mode de prélèvement conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau. Les prélèvements sont assurés par pompage ; on a attendu quelques minutes après démarrage pour évacuer les eaux stockées dans les conduites avant pompage, et assurer ainsi un échantillonnage d'eau représentatif de la période de mesures.

Les échantillons des eaux sont mis dans des flacons de 0,5 et 1,5 litre et étiquetés. Ils sont conservés dans une glacière pour assurer une conservation satisfaisante et transportés au laboratoire dans un délai court, ne dépassant pas 24 heures au maximum, selon les indications de RODIER et *al.* (2005).

La durée des prélèvements est conditionnée par les déplacements dans la vallée du M'Zab et la présence des propriétaires des sites de prélèvements, ainsi que la disponibilité des moyens d'analyses au laboratoire.

Les résultats des analyses physico-chimiques obtenus ont été représentés sous forme des cartes thématiques réalisées à l'aide du logiciel SIG **ArcGIS** version **10.8** développé par **E.S.R.I** (Environmental Systems Research Institute) (Fig. IV 1). Pour le fond des cartes, nous avons utilisé les images satellitaires panchromatiques S.P.O.T-7* (Système Probatoire d'Observation de la Terre) d'une résolution de 5 mètres (* Une série de satellites orbitaux développés par Airbus Defence and Space –A.D.S-. S.P.O.T-7 a été lancé en 30 juin 2014 à une altitude de 697 km).

Le krigeage ordinaire a été utilisé comme méthode d'interpolation spatiale des diverses données physico-chimiques. L'outil *Geostatistical Analyst* du programme ArcGIS nous a permis de calculer et d'ajuster les semi-variogrammes ; le modèle sphérique nous a donné un meilleur ajustement et une très bonne corrélation avec les valeurs mesurées.

Nous avons utilisé une coloration de bleu vers le rouge pour bien illustré la répartition spatiale de la pollution et les autres paramètres étudiés où les couleurs bleu et vert ne représentent aucun risque vers le rouge qui représente un risque très élevé.

Parallèlement, ces résultats sont représentés sous forme des graphes et des figures créés par Excel 2010. Aussi les résultats obtenus nous ont permis d'apprécier les faciès chimiques, et les risques de salinisation et de sodisation relatifs aux eaux d'irrigation.

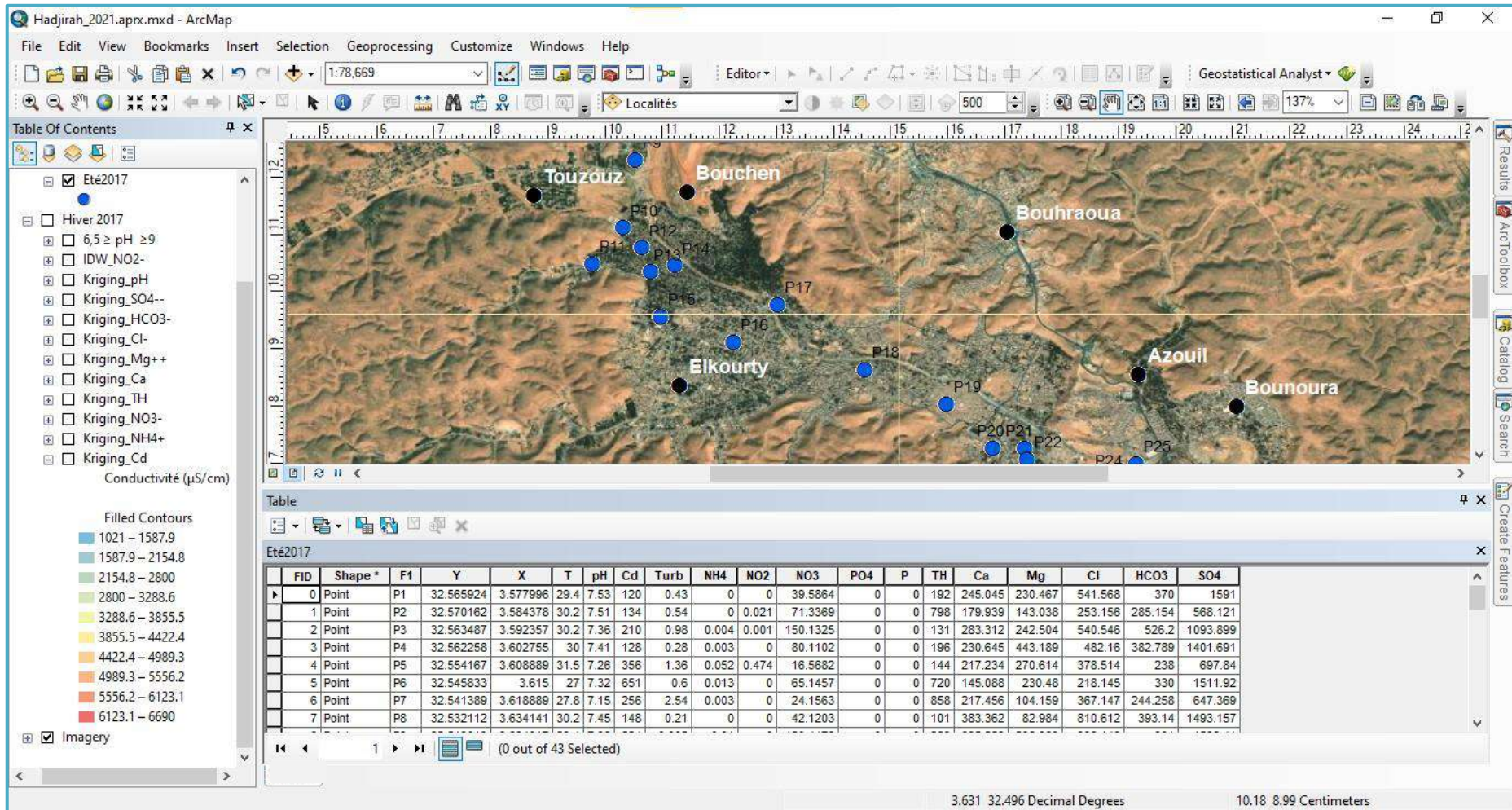


Figure IV 1. Traitement des données par l'utilisation du logiciel ArcGIS 10.8



Le faciès hydro-chimique est une indication sur l'aspect qualitatif des eaux souterraines, il est évalué par le diagramme de PIPER. La réalisation de ces diagrammes a été faite en utilisant le logiciel Diagrammes, conçu en 2009 au laboratoire d'hydrogéologie d'Avignon par SIMLER Roland.

Pour classer des eaux d'irrigation, nous avons utilisé la classification de RIVERSIDE en utilisant le logiciel Diagrammes. Le diagramme de ce dernier utilise les valeurs du Sodium Adsorption Ratio (S.A.R) en combinaison avec la C.E de l'eau.

Le S.A.R s'exprime à partir des concentrations (en meq/l) des ions Na^+ , Ca^{++} et Mg^{++} dans les eaux selon la formule suivante, BENHEDID et *al.* (2019a) :

$$S.A.R = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})/2}}$$

Encore, les résultats obtenus à travers cette étude sont traités statistiquement, en utilisant la méthode d'Analyse en Composantes Principales (A.C.P) et l'Analyse Factorielle des Correspondances (A.F.C) réalisées par Excel Stat, pour décrire et hiérarchiser les relations statistiques qui peuvent exister entre les individus et les variables étudiés.

1.2.2. Etude bactériologique des eaux

L'étude bactériologique des eaux vise à apprécier le niveau de contamination fécale anthropique. A cause de l'indisponibilité des moyens et des produits nécessaires pour les analyses au laboratoire, nous avons effectué des prélèvements d'eau pour la moitié des puits réparties sur tout l'Oued M'Zab, pendant la période des hautes eaux, durant le mois de février 2017, parallèlement à l'étude physico-chimiques. Les paramètres bactériologiques étudiés sont : les coliformes totaux et fécaux, les streptocoques totaux et fécaux, et les clostridium sulfite-réducteurs.

Les analyses bactériologiques des eaux sont effectuées après prélèvements des eaux dans des flacons en verre de 250 ml stérilisés au four Pasteur à 180 °C pendant une heure et 30 minutes. Les échantillons sont conservés dans une glacière et transportés au laboratoire pour être analysés.

Les résultats des analyses bactériologiques obtenus sont représentés sous forme de graphes créés par Excel 2010.

1.3. Etude de la variation spatio-temporelle de la pollution azotée et les paramètres liés à la pollution des eaux

Afin de déterminer la variation spatio-temporelle de la pollution azotée et les paramètres en relation avec la pollution des eaux de la nappe superficielle, nous avons ajouté



trois campagnes d'échantillonnage de la nappe superficielle, dont une campagne a été effectuée pendant les périodes des hautes eaux (hiver 2018 ; de janvier à février 2018) et deux campagnes ont été réalisées pendant les périodes de basses eaux (été 2017 et 2018 ; durant le mois de juillet 2017 et 2018).

L'étude consiste à étudier la variation des composés azotés et les paramètres liés à la pollution des eaux :

- Les composés azotés étudiés sont : le NH_4^+ , le NO_2^- et le NO_3^- ;
- Quelques paramètres liés à la pollution minérale des eaux : le pH, la C.E, la turbidité, le P_{total} , le PO_4^{-3} et les composés ioniques (le K^+ , le Cl^- et les SO_4^{--}).

Les résultats des analyses obtenus sont représentés sous forme des graphes conçus par Excel 2010 et sous forme des cartes réalisées grâce au logiciel ArcGIS 10.8 sur un fond des images satellitaires panchromatiques SPOT-7*. Aussi, les résultats sont traités statistiquement, en utilisant la méthode d'A.C.P et l'Analyse Factorielle Discriminante (A.F.D) réalisées par Excel Stat. L'A.F.D est une technique statistique visant à décrire, expliquer et prédire l'appartenance à des groupes prédéfinis (variables) d'un ensemble d'observations (individus) à partir d'une série de variables prédictives.

1.4. Conclusion et recommandations d'aménagement par rapport aux problèmes posés

Sur la base des résultats obtenus nous allons essayer de proposer des recommandations pour réduire la pollution des eaux et la pollution azotée en particulier par rapport au niveau de la pollution et les zones de risques, pour préserver la ressource hydrique souterraine utilisée comme eau potable et permettre ainsi la durabilité des ressources.

2. Méthodes d'analyses

Les différentes analyses physicochimiques et bactériologiques sont effectuées au niveau des laboratoires suivants :

- Laboratoire l'Algérienne Des Eaux (A.D.E) Ghardaïa, pour les analyses des différents paramètres physico-chimiques des quatre campagnes et bactériologiques ;
- Laboratoire l'A.D.E Ouargla, pour les analyses des paramètres (l'NH_4^+ , le NO_2^- , le NO_3^- , le P_{total} et l'PO_4^{-3}) d'été 2018 ;
- Laboratoire Géologie du Sahara, centre de recherche scientifique, université de Ouargla, pour le dosage de Na^+ et K^+ des quatre campagnes et les composées ioniques d'hiver 2017.



La détermination des paramètres étudiés est obtenue suivant les méthodes d'analyses suivantes :

2.1. Méthodes d'étude physico-chimiques

Les différents éléments physico-chimiques sont dosés comme suit :

2.1.1. pH : la mesure a été effectuée à l'aide d'un pH-mètre, de type W.T.W (Photo. 14).

2.1.2. Conductivité électrique : elle a été mesurée à l'aide d'un conductimètre, de type L.F. 538 (Photo. 15).

2.1.3. Turbidité : elle a été mesurée à l'aide d'un turbidimètre, de type 2100P (H.A.C.H) (Photo. 16). C'est la comparaison de la lumière diffusée et la lumière transmise par l'échantillon d'eau. Pour tout échantillon d'eau, la mesure de la lumière diffusée et de la lumière transmise permet la détection de matières non dissoutes, absorbant mais diffusant mal, qui passeraient inaperçues par la seule mesure de la lumière diffusée (I.S.O, 1984).



Labo. A.D.E (Ghardaïa) (BENHEDID, 2018)

Photo 14. pH-mètre

Photo 15. Conductimètre

Photo 16. Turbidimètre

2.1.4. Paramètres de la pollution : NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , P_{total} et PO_4^{3-} sont analysés par spectrophotomètre, de type ODYSSEY (H.A.C.H) (Photo. 17) :

2.1.4.1. Ammonium : mesurage spectrométrique du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite, en présence nitroprussiate de sodium, à une longueur d'onde d'environ 650 nm (I.S.O, 1986).

2.1.4.2. Nitrites : réaction des nitrites avec le diméthyle-2.6 phénol en présence des acides sulfuriques et phosphoriques, avec production du nitro-4diméthyle-2.6 phénol. Mesurage spectrométrique de l'absorbance du produit de la réaction à 324 nm et la lecture de la concentration en nitrite de la prise d'essai au moyen d'une courbe d'étalonnage (I.S.O, 1986).



2.1.4.3. Nitrates : En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage spectrométrique (RODIER et *al.*, 2005).



Photo 17. Spectrophotomètre, de type ODYSSEY (H.A.C.H)

2.1.4.4. Phosphore total : par oxydation au persulfate en milieu acide, de nombreux composés organiques sont minéralisés en orthophosphates. Une minéralisation plus énergique peut être effectuée avec un mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique (RODIER et *al.*, 2009).

2.1.4.5. Orthophosphates : en milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue, susceptible d'un dosage spectrométrique (RODIER et *al.*, 2009).

2.1.5. D.B.O₅ : la teneur en oxygène de l'eau est déterminée immédiatement après le prélèvement, puis à nouveau après un temps d'incubation de n jours à 20 °C. La différence entre les deux mesures correspond à la consommation d'oxygène, considérée dans ces conditions comme la demande biochimique en oxygène. Aucun apport de nutriments ou ensemencement par des micro-organismes n'est apporté à l'échantillon lors de cet essai (RODIER et *al.*, 2009).

2.1.6. D.C.O : il s'agit d'une oxydation chimique des matières réductrices contenues dans l'eau par excès de bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) en milieu acidifié par l'acide sulfurique (H_2SO_2), en présence de sulfate d'argent (Ag_2SO_4), et de sulfate de mercure. L'excès de dichromate de potassium est dosé par le sulfate de fer et d'ammonium ($HgSO_4$) (I.S.O, 1989).

2.1.7. Composées ioniques : les cations : les ions de Na^+ , K^+ sont analysés par le spectrophotomètre à flamme, T.H et les ions de Ca^{++} , Mg^{++} sont dosés par titrimétrie. Les



anions : les ions de Cl^- et HCO_3^- sont dosés par titrimétrie, l'ion de SO_4^{2-} est dosé par gravimétrie.

2.1.7.1. Titre hydrométrie : il est dosé par titrimétrie à l'E.D.T.A. Titrage par complexométrie du calcium et du magnésium avec une solution aqueuse de sel disodique d'acide éthylène-diamine tetra-acétique (E.D.T.A), à un pH de 10. Le mordant noir 11, qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des ions calcium et magnésium est utilisé comme indicateur (I.S.O., 1984).

2.1.7.2. Calcium : Titrimétrie à l'E.D.T.A. Titrage des ions Ca^{++} avec E.D.T.A à un pH compris entre 12 et 13. Le H.S.N, qui forme un complexe rouge avec le calcium, est utilisé comme indicateur (Photo. 18) (I.S.O, 1984).



Photo 18. Dosage des Ca^{++} par titrimétrie

2.1.7.3. Magnésium : le Mg^{++} peut être estimé par la différence entre la dureté totale et le calcium (RODIER et *al.*, 2009).

2.1.7.4. Sodium et potassium : le dosage se fait à l'aide d'un spectrophotomètre d'émission de flamme, de type JENWAY PFP7 (Photo. 19). Aspiration de l'échantillon dans une flamme de gaz, présentant une énergie thermique suffisante pour provoquer l'émission de radiations caractéristiques du Na^+ et du K^+ présents dans la solution. Mesure de l'intensité à une longueur d'onde de 589 nm pour le sodium et de 766,5 nm pour le potassium (I.S.O, 1993).



Photo 19. Spectrophotomètre d'émission de flamme, de type JENWAY PFP7

2.1.7.5. Chlorures : le dosage des Cl^- est effectué par titrimétrie. Réaction des ions chlorures avec des ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est précipité quantitativement. Addition d'un petit excès d'ions argent et formation du chromate d'argent, un rouge avec des ions chromate qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage (I.S.O, 1989).

2.1.7.6. Sulfates : le dosage des SO_4^{2-} est effectué par la méthode gravimétrie. Les ions sulfates sont précipités à l'état de sulfate de baryum et évalués gravi-métriquement (Photo. 20) (RODIER et *al.*, 2009).



Photo 20. Dosage des SO_4^{2-} par gravimétrie

2.1.7.7. Bicarbonates : le dosage des HCO_3^- est effectué par titrimétrie. Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué en présence d'un indicateur coloré (I.S.O, 1989).



2.2. Méthodes d'étude bactériologiques

Les analyses bactériologiques sont effectuées à l'aide des méthodes suivantes (Photo. 21) :

2.2.1. Recherche des coliformes totaux et fécaux : la méthode utilisée est la méthode de détermination du Nombre le Plus Probable (N.P.P) par inoculation de tubes en milieux liquides (fermentation en tubes multiples). Il s'agit d'un ensemencement de plusieurs dilutions de l'échantillon, chacune dans une série de tubes (série de 3), contenant un milieu de culture non véritablement sélectif, mais permettant de mettre en évidence la fermentation du lactose avec production de gaz ; ensuite, repiquer les tubes « positifs » sur un milieu liquide, contenant des sels biliaires ou des agents de surface, incubés à 44 °C pour les dénombrements de coliformes fécaux, respectivement (RODIER *et al.*, 2005).

2.2.2. Recherche des streptocoques totaux et fécaux : nous avons utilisé la même méthode que la précédente avec des milieux spécifiques pour les streptocoques (RODIER *et al.*, 2005).

2.2.3. Recherche des spores de Clostridium sulfito-réducteurs : nous avons effectué la méthode par incorporation en gélose. Après destruction des formes végétatives par chauffage à 80 °C, l'échantillon est incorporé à un milieu de base fondu, régénéré et additionné de sulfite de sodium et de sel de fer. La composition du milieu est établie pour tenir compte d'un volume déterminé d'eau incorporée. Il a fallu finalement incuber à 37 °C, faire une lecture après 24 heures puis une deuxième après 48 heures (RODIER *et al.*, 2009).



Photo 21. Analyses bactériologiques

*Troisième partie :
Résultats et discussions*



Chapitre V.
Caractérisation de la pollution de la
nappe superficielle





Introduction

Dans ce chapitre, nous faisons la présentation des résultats de nos enquêtes réalisées sur les sites d'étude, des résultats des analyses hydro-chimiques et biologiques, afin de caractériser la qualité abiotique et biotique des eaux, notamment la pollution azotée et la classification des eaux par rapport aux normes nationales et internationales des eaux souterraines, des eaux potables et d'irrigation.

1. Appréciation des conditions environnementales des sites d'étude

1.1. Localisations des puits

La figure de la localisation des puits (Fig. V 1) montre une répartition différente des puits entre les sites agricoles, agro-urbains et urbains pour les quatre stations :

- La station Daya Bendahoua : 75 % des puits de cette station se situent dans des endroits agricoles tandis que 25 % de ces puits se situent dans le site agro-urbain, duquel 87 % de ces sites sont situés aux bordures de l'Oued ;
- La station de Bounoura et El Atteuf : la majorité de ses puits se trouvent dans des zones agro-urbaines avec des pourcentages successifs de 89 % et 80 %, duquel 89 % des puits de Bounoura sont creusés aux bordures de l'Oued et de 80 % pour les puits creusés à l'El Atteuf ;
- Pour la station de Ghardaïa : les puits sont répartis entre les trois endroits avec des pourcentages voisins de 39 % de zones agricoles, 38 % agro-urbaines et 23 % urbaines, dont la majorité est située aux bordures de l'Oued avec un pourcentage de 85 % ;
- Pour toute la zone d'étude : on a signalé que 32 % des puits étudiés se localisent dans les palmeraies, 58 % dans les palmeraies habitées et de faible proportion pour le site urbain de 10 %, duquel 85 % sont creusés aux bordures de l'Oued M'Zab, où les risques de pollution de la nappe peuvent être essentiellement d'origine agricole et domestique. Aussi, la localisation des puits aux bordures de l'Oued agit sur la réalimentation et le renouvellement des eaux des puits par les crues.

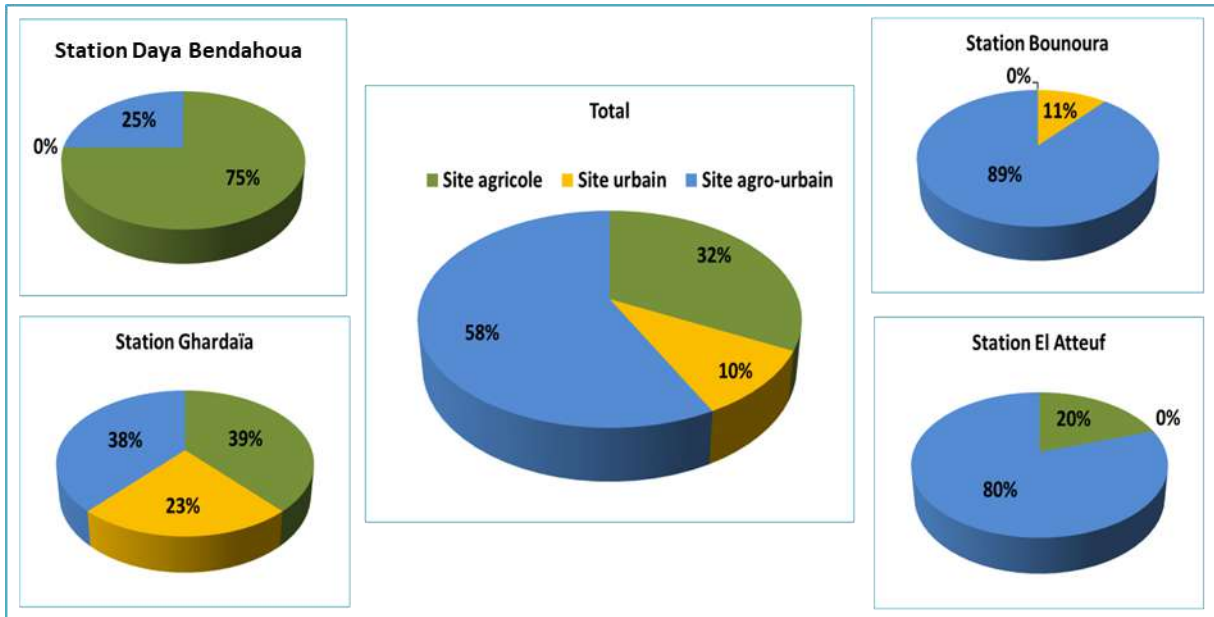


Figure V 1. Localisations des puits dans les sites d'étude

1.2. Type d'utilisation des eaux

L'usage des eaux des puits dépend de sa localisation, la figure V 2 montre que :

- Les eaux des puits étudiés dans la station de Daya Bendahoua représentent 75 % pour l'irrigation et 25 % pour l'usage agro-domestique (l'irrigation, la boisson et le lavage) ;
- La station de Bounoura montre que 46 % des puits sont utilisés pour l'irrigation, 31 % sont destinés à l'usage agro-domestique et 23 % pour l'usage domestique (la boisson et le lavage) ;
- La majorité des puits prospectés dans la station de Ghardaïa sont destinés à l'usage agro-domestique de 78 % et de 11 % pour l'usage agricole et de 11 % pour l'usage domestique (la boisson, le lavage et la natation) ;
- Les puits de la station d'El Atteuf sont destinés pour l'usage agro-domestique avec une proportion de 80 % et 20 % pour l'irrigation dans les sites agricoles ;
- Pour toute la zone d'étude, 53 % des puits étudiés sont destinés pour l'usage agro-domestique, 37 % destinés à l'irrigation et 10 % pour l'usage domestique. Nous avons remarqué que la majorité des puits sont utilisés pour l'irrigation dans les quatre stations d'études, justifiant ces localisations entre des sites agricoles et agro-urbains, sans négliger son utilisation domestique surtout sa consommation comme une eau potable, notamment dans les endroits signalés pollués auparavant telle la station de Bounoura.

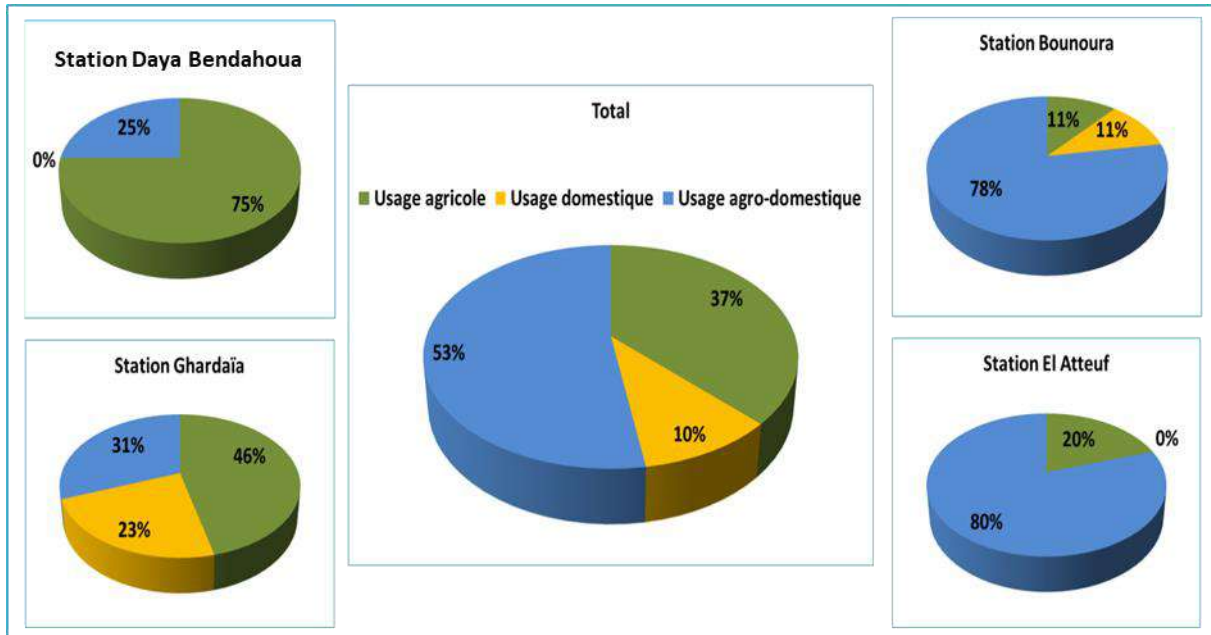


Figure V 2. Types d'utilisations des eaux dans les sites d'étude

1.3. Modes de collectes des eaux usées

Ce paramètre a pour but d'apprécier les effets de l'infiltration des eaux usées sur la pollution de la nappe superficielle à partir du mode de gestion des eaux usées par le réseau d'assainissement ou les fosses septiques (Fig. V 3) :

- 75 % des puits de la station de Daya Bendahoua se trouvent dans des zones agricoles où il n'y a pas d'assainissement. Le mode de collecte des eaux usées dans les localités agro-urbaines se fait par des fosses septiques avec 25 % ;
- 77 % des puits échantillonnés dans la station de Ghardaïa sont localisés dans des zones non raccordées au réseau d'assainissement. Ce pourcentage est justifié par la localisation de la majorité des puits (9 puits) dans la palmeraie de cette commune. Les 23 % restants représentent les puits situés dans des endroits raccordés au réseau d'assainissement ;
- La station de Bounoura avec 89 % des puits étudiés sont implantés dans des zones raccordées au réseau d'assainissement et 11 % par les fosses septiques ;
- 70 % des puits de la station d'El Atteuf sont situés dans des lieux raccordés au réseau d'assainissement et pour 30 % l'évacuation des eaux usées se fait par des fosses septiques.
- Dans notre zone d'étude, 45 % des puits se trouvent dans des endroits raccordés au réseau d'assainissement dans les zones urbaines. 40 % des puits étudiés sont localisés dans des sites non raccordés au réseau d'assainissement et 15 % des puits dans des localités dépourvues d'assainissement pour les zones agricoles.

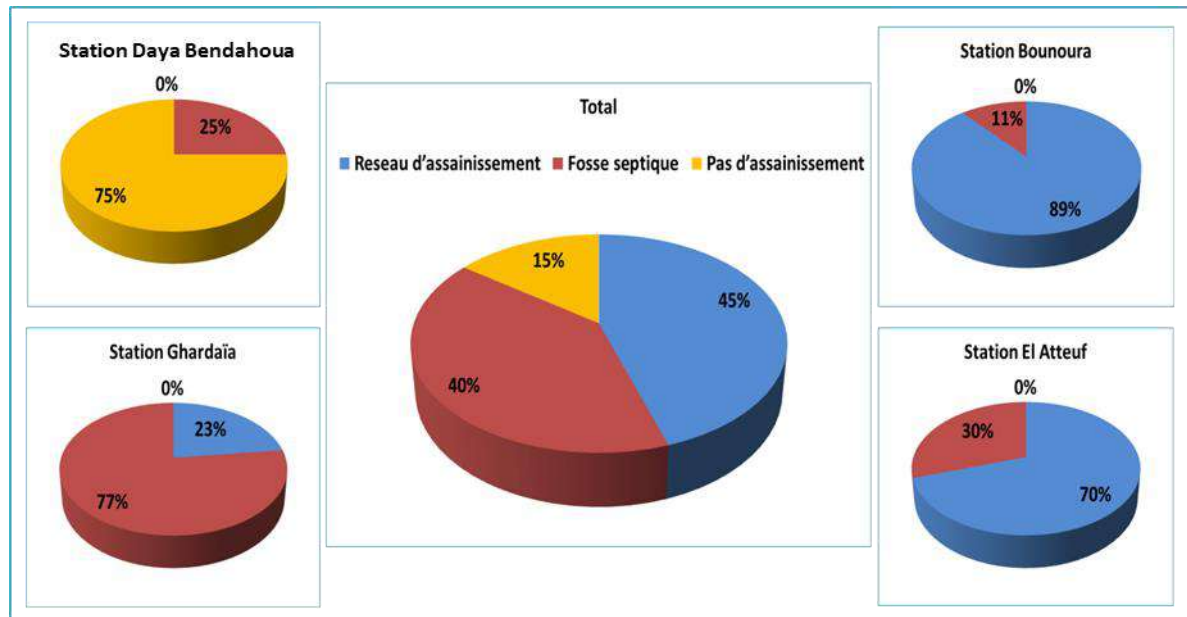


Figure V 3. Modes de collectes des eaux usées dans les sites d'étude

1.4. Rejets des eaux usées

La figure des rejets des eaux usées dans les sites d'étude montre que (Fig. V 4) :

- Pour la station de Daya Bendahoua, 75 % des puits étudiés se trouvent dans des localités agricoles, avec une absence de rejets des eaux usées domestiques, 12 % des puits prospectés se trouvent dans des sites avec un rejet permanent dans les fosses septiques, et 13 % des puits dans des zones avec des rejets temporaires dans les fosses septiques ;
- Pour la station de Ghardaïa, il y a 46 % des puits avec des rejets temporaires dans les fosses septiques et 46 % de rejets permanents. Puis, 23 % de rejets permanents dans le réseau d'assainissement ;
- Pour la station de Bounoura, 78 % des puits sélectionnés se trouvent dans des sites avec un rejet permanent dans le réseau d'assainissement, 11 % des puits se trouvent dans des endroits avec un rejet temporaire dans le réseau d'assainissement et 11% dans des zones, avec un rejet temporaire dans les fosses septiques ;
- Pour la station d'El Atteuf, 60 % des puits sélectionnés dans des sites avec un rejet permanent dans le réseau d'assainissement, 10 % avec un rejet temporaire dans le réseau d'assainissement, 20% dans des zones avec un rejet permanent dans les fosses septiques et 10 % dans des zones avec un rejet temporaire dans les fosses septiques
- Pour toute la zone d'étude, les puits localisés dans des lieux non raccordés au réseau d'assainissement représentant 23 % des puits dans des zones avec un rejet temporaire, et 17 % des puits sélectionnés avec un rejet permanent. Ce pourcentage représente un



risque d'une contamination potentielle de la nappe par l'infiltration des eaux usées, provenant des fosses septiques. Les puits situés dans des sites raccordés au réseau d'assainissement représentent 40 % des puits dans des sites avec un rejet permanent et 5 % des puits dans des zones avec un rejet temporaire. Les 15 % des puits restants se trouvent dans des sites non habités.

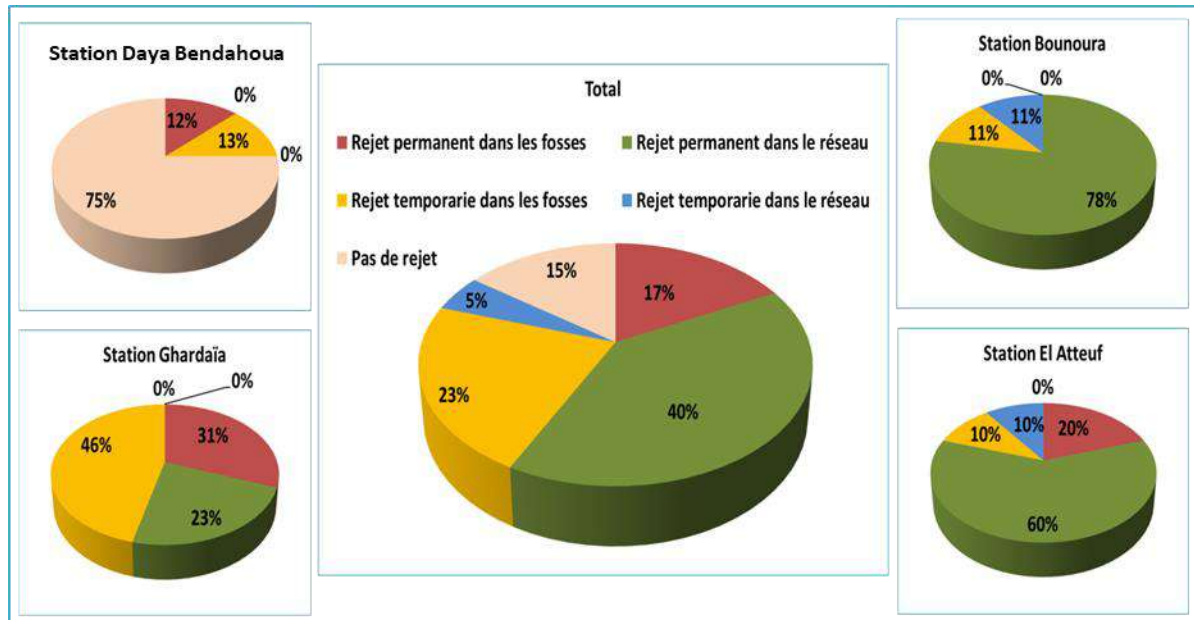


Figure V 4. Rejets des eaux usées dans les sites d'étude

2. Etude physico-chimique de la nappe superficielle

2.1. Potentiel d'Hydrogène

Le pH est un paramètre caractérisant l'acidité ou la basicité d'un milieu. C'est l'un des paramètres les plus importants de la qualité de l'eau (AMINOT & KEROUEL, 2004 ; RODIER *et al.*, 2005). Il influence la plupart des mécanismes chimiques et biologiques dans les eaux (DERWICH *et al.*, 2010).

La représentation graphique (Fig. V 5) des eaux de la nappe superficielle montre que les teneurs moyennes du pH sont très proches pour toutes les stations. Elles varient entre $7,278 \pm 0,289$ pour la station de Daya Bendahoua et $7,402 \pm 0,136$ pour la station d'El Atteuf.

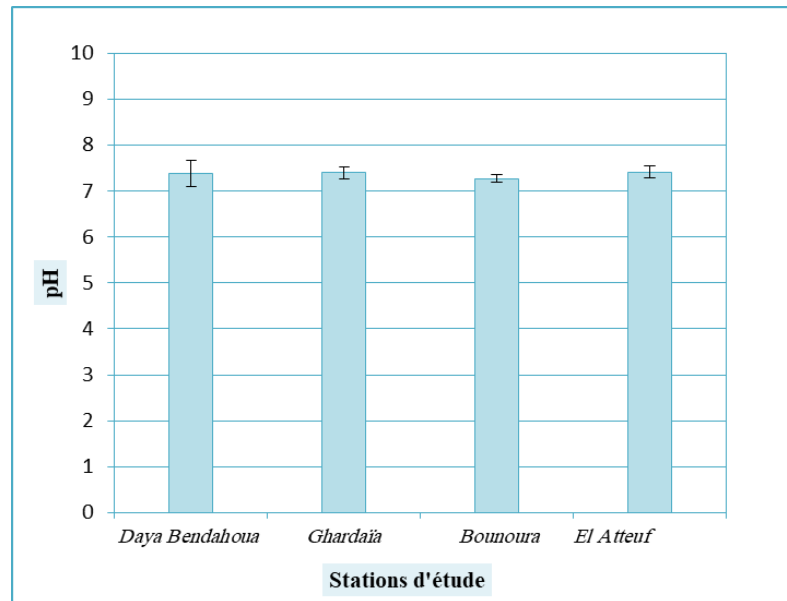


Figure V 5. pH moyenne des eaux dans les stations d'étude

La carte des teneurs du pH (Fig. V 6), montre une homogénéité de la variation spatiale dans tout l'Oued M'Zab, variant entre un minimum de 6,92 au niveau du puits P21 situé à Ghardaïa et un maximum de 7,77 dans le puits P2 situé à Daya Bendahoua, avec une moyenne de $7,346 \pm 0,23$ pour la totalité des puits.

La majorité des eaux prospectées ont des pH proches de la neutralité, se trouvant dans l'intervalle du pH caractéristique des eaux potables compris entre 6,5 et 9 selon l'Algérie et l'O.M.S (Annexe V ; VI), et l'intervalle du pH caractéristique des eaux souterraines compris entre 5,5 et 8 (Annexe VIII).

Selon RODIER *et al.* (2009), le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés.

La stabilité de la neutralité de l'eau de cette nappe pourrait résulter d'un équilibre entre les teneurs en dioxyde de carbone et les bicarbonates de calcium dissous (AÏT BOUGHROUS, 2007).

Les valeurs du pH obtenues et en comparaison avec notre étude de magister et autres études antérieures réalisées dans différentes zones de la vallée du M'Zab montrent un rapprochement avec celles de HASSANI (2009), dans la palmeraie de la ville de Ghardaïa $6,93 \leq \text{pH} \leq 7,78$ et de BENHEDID & DADDI BOUHOUN (2018), $6,809 \leq \text{pH} \leq 7,586$. De même, le pH de cette nappe est inférieur à celui de la nappe de Ouargla $7,5 \leq \text{pH} \leq 8$ (SLIMANI, 2016) et $7,6 \leq \text{pH} \leq 8,12$ (RECIQUI, 2020).

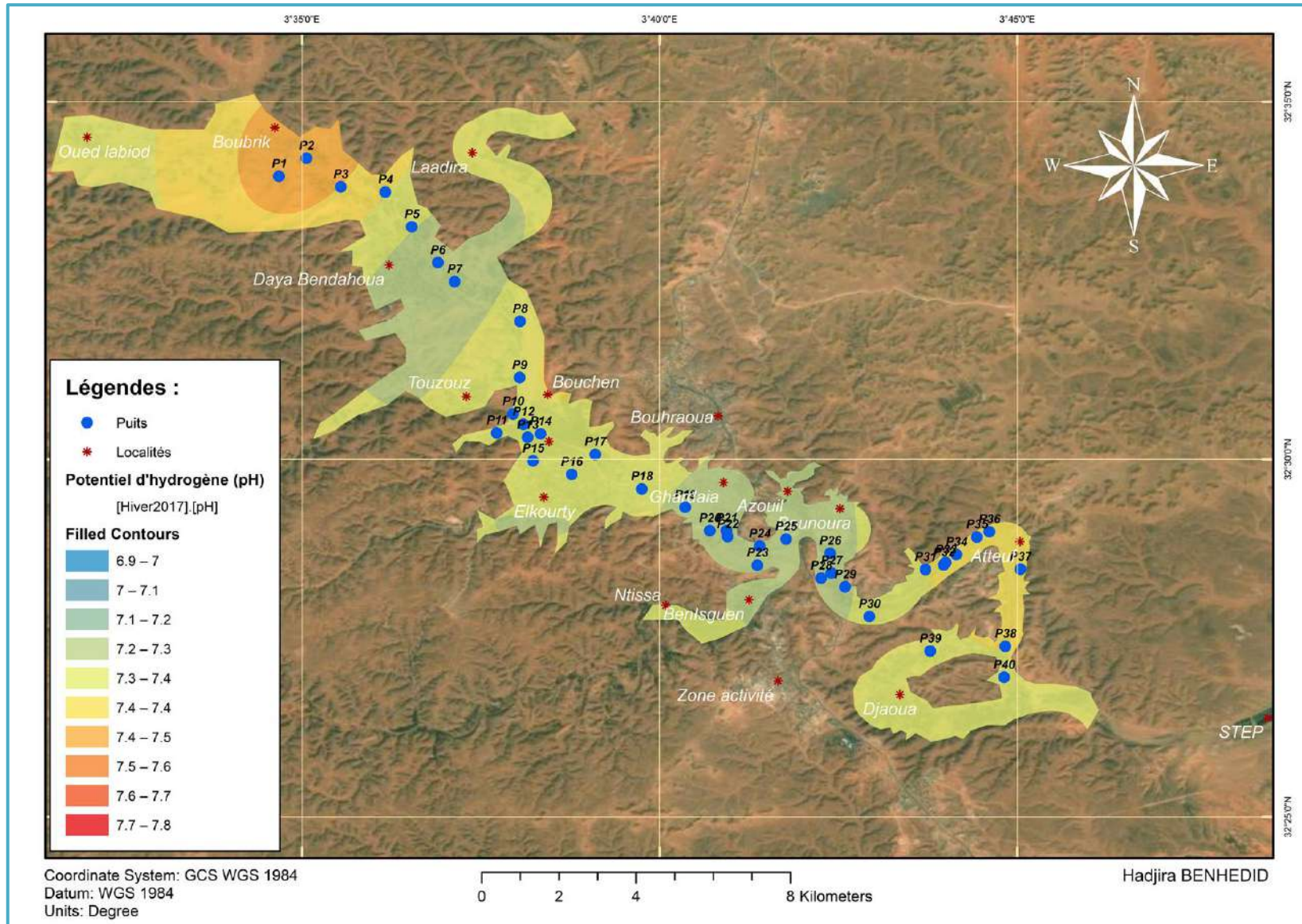


Figure V 6. Carte de la variation spatiale du pH des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab



2.2. Conductivité électrique

La mesure de la conductivité constitue une bonne appréciation du degré de minéralisation d'une eau où chaque ion agit par sa concentration et sa conductivité spécifique. La conductivité électrique traduit le degré de minéralisation globale, elle nous renseigne sur le taux de salinité (N'DIAYE *et al.*, 2013).

Les concentrations moyennes de la C.E des eaux souterraines analysées sont généralement très élevées pour les quatre stations, variant entre une valeur minimale $1935,25 \pm 1202,62 \mu\text{s/cm}$ pour la station de Daya Bendahoua et une valeur maximale de $5243 \pm 1049 \mu\text{s/cm}$ pour la station d'El Atteuf, avec un ordre croissant de l'amont vers l'aval de la vallée du M'Zab (Fig. V 7).

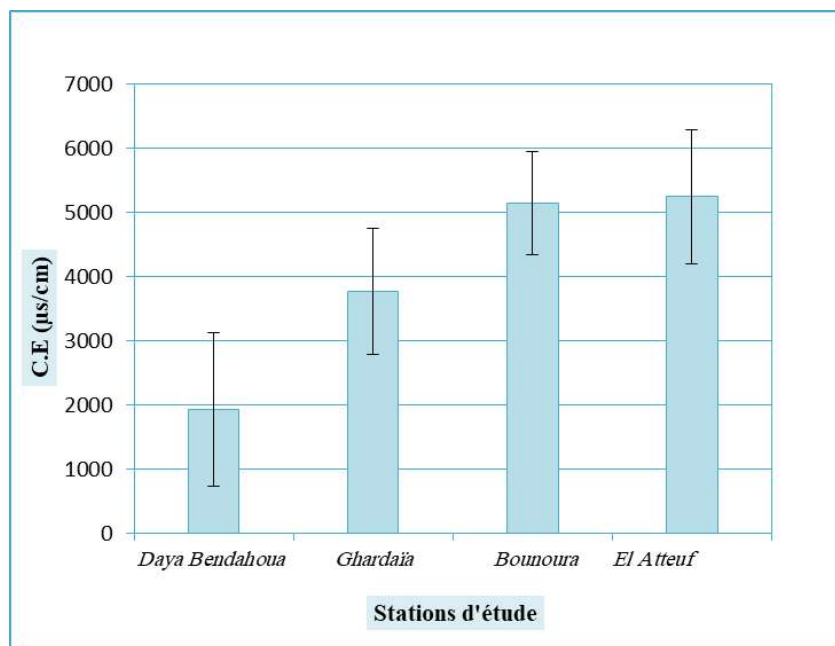


Figure V 7. C.E moyenne des eaux dans les stations d'étude

La carte de répartition des concentrations de la C.E (Fig. V 8) montre que la C.E des eaux varie dans un intervalle de $1021 \mu\text{s/cm}$ correspondant au puits P10 de Ghardaïa et $6690 \mu\text{s/cm}$ au niveau du puits P34 d'El Atteuf. Les eaux de cette nappe représentent une minéralisation généralement très élevée selon la C.E des eaux souterraines (Annexe IX), dépassant largement la valeur norme des eaux potables recommandée par l'Algérie ($2800 \mu\text{s/cm}$) et l'O.M.S ($1500 \mu\text{s/cm}$) (Annexe V ; VI).



La valeur minimale enregistrée dans le P10 montre une minéralisation moyenne de ces eaux, car il est localisé en amont du sens d'écoulement de la nappe et des habitations. Cela implique une faible contamination de ce puits, cette C.E dépend aussi au substrat géologique traversé par ce puits. Cependant, nous avons remarqué une légère augmentation de sa C.E par rapport notre étude de 2013 (908 $\mu\text{s}/\text{cm}$) (BENHEDID, 2014).

La valeur maximale de la salinité très élevée pour les eaux de puits P34 d'El Atteuf pourrait être due, soit à l'existence de formation géologique saline riche en évaporites dans le puits ou aux rejets des eaux usées déversées dans le lit de l'Oued en aval ou l'existence des fosses septiques. Cette valeur maximale est moins élevée par rapport à la C.E de puits P40 de Bounoura mesuré en 2013 de (9390 $\mu\text{s}/\text{cm}$) (BENHEDID, 2014).

La variation spatiale de la C.E des eaux montre une augmentation de l'amont vers l'aval, suivant le sens d'écoulement des eaux. Cette C.E a pour origine le lessivage des sels par irrigation et le rejet des eaux usées, ainsi que les couches géologiques traversées par les puits favorisent l'accumulation des sels dans la nappe.

Selon FRANK (2002), la conductivité dépend de la nature des ions dissous et de leurs concentrations. L'analyse d'A.C.P (Fig. V 9 ; Fig. V 10) montre que la salinité est corrélée positivement avec les teneurs des ions Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , Cl^- et SO_4^{--} indiquant leurs prédominances dans les eaux, notamment les eaux de la station de Bounoura ; alors que la salinité et ces éléments sont corrélés négativement avec le pH des eaux de Daya Bendahoua et Ghardaïa. L'étude de ces eaux montre que la salinité augmente de façon très hautement significative avec les teneurs des ions SO_4^{--} , Mg^{++} , Cl^- , Na^+ , Ca^{++} et K^+ (Annexe X), indiquant leurs prédominances dans les eaux.

Les valeurs de la C.E obtenues lors de notre étude sont proches de celles obtenues par HASSANI (2009), avec $862 \mu\text{s}/\text{cm} \leq \text{C.E} \leq 9210 \mu\text{s}/\text{cm}$ et de BENZAYET (2010), dans les eaux des puits, cas de l'Oued Labiod, avec un $586 \mu\text{s}/\text{cm} \leq \text{C.E} \leq 9720 \mu\text{s}/\text{cm}$. Par contre, elles sont inférieures par rapport à celles de la nappe phréatique de Sebkha Bamendil (Ouargla) ($39320 \mu\text{s}/\text{cm} \leq \text{C.E} \leq 207560 \mu\text{s}/\text{cm}$) (BOUTTELI, 2011) et de $2860 \mu\text{s}/\text{cm} \leq \text{C.E} \leq 169000 \mu\text{s}/\text{cm}$ des eaux de la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla (RECIQUI, 2020).

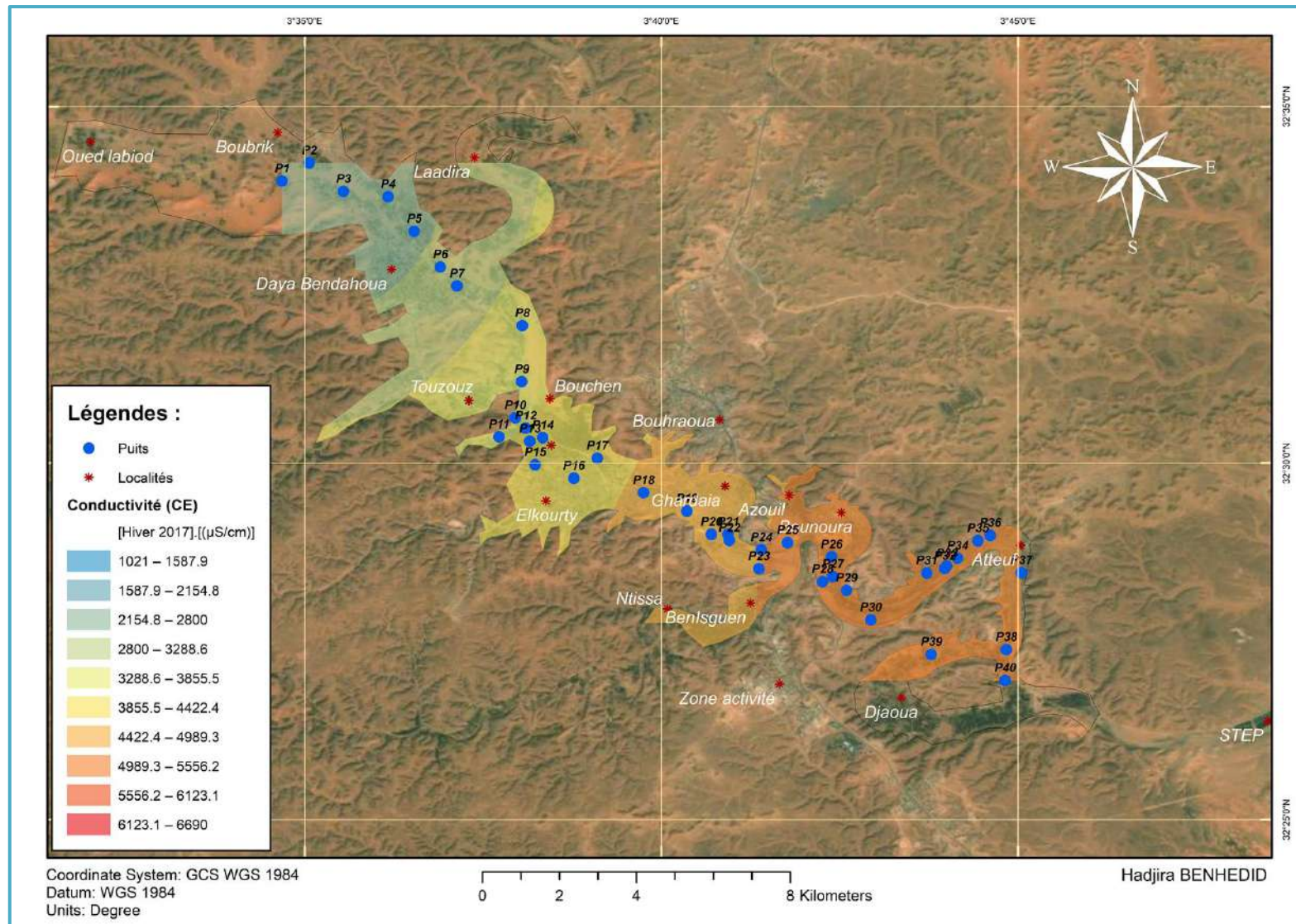


Figure V 8. Carte de la variation spatiale de la C.E des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab

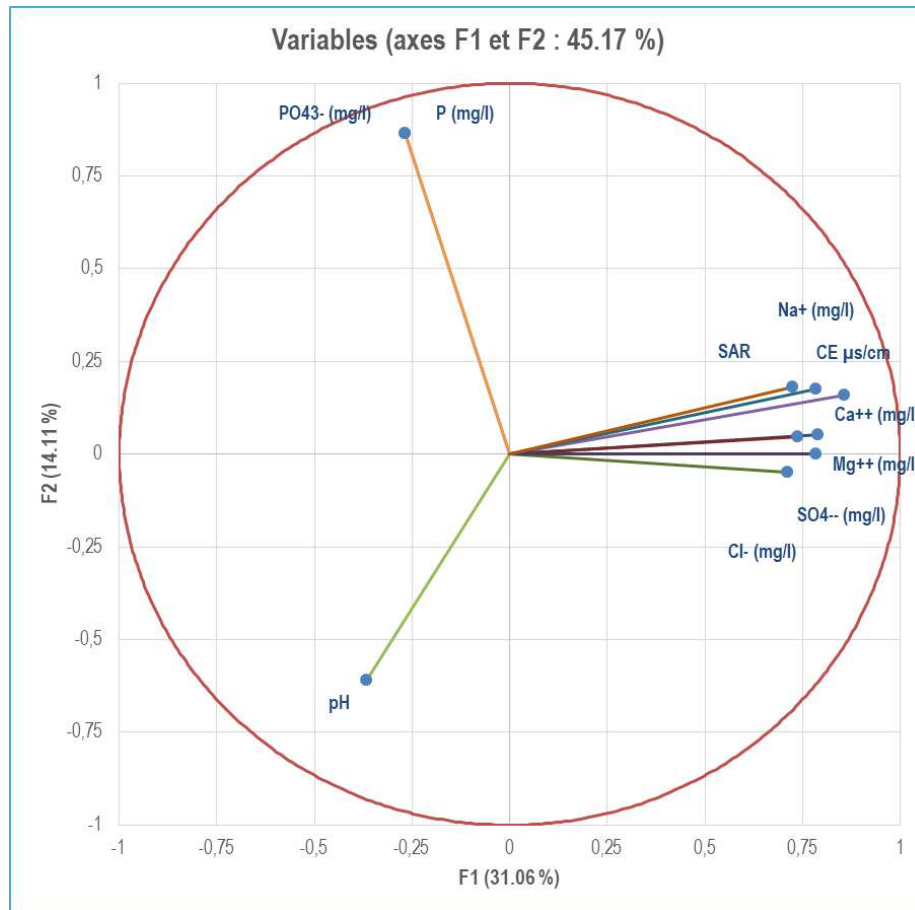


Figure V 9. Espace des variables de l'A.C.P d'hiver 2017

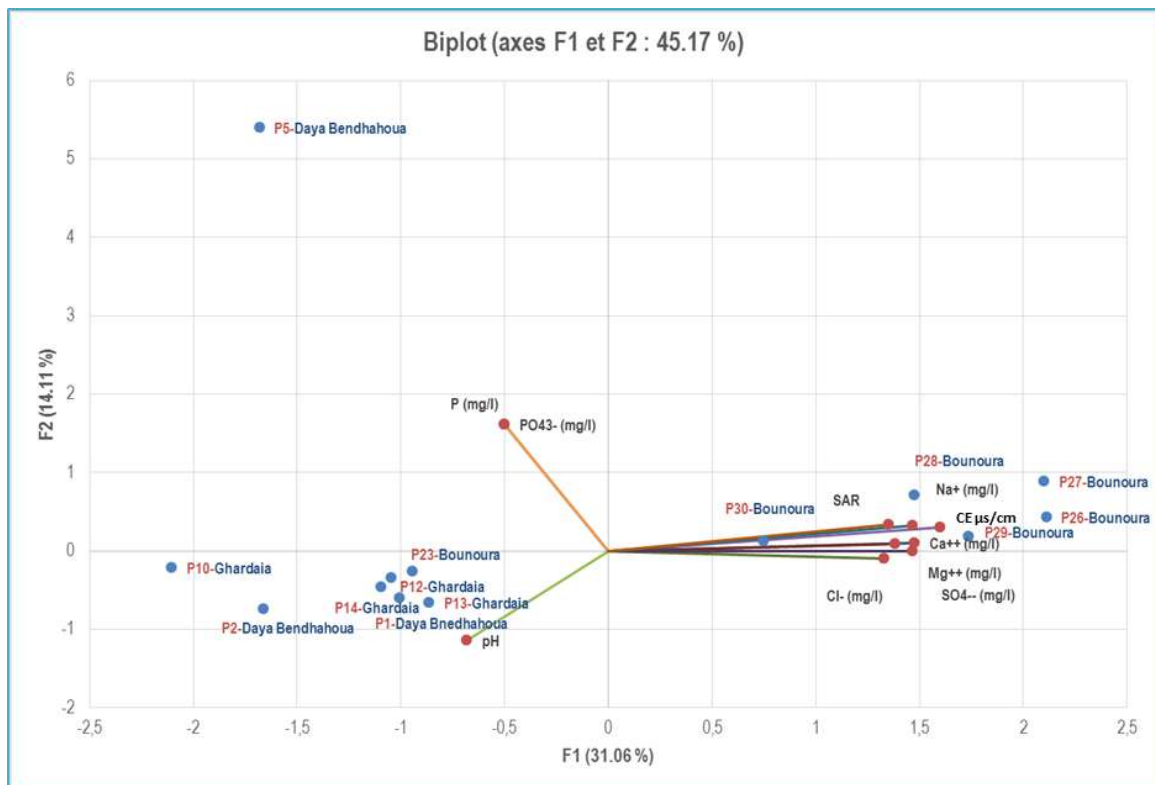


Figure V 10. Espace des individus et des variables de l'A.C.P d'hiver 2017



2.3. Turbidité

La turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes (FRANK, 2002). Techniquement, la turbidité correspond à la propriété optique de l'eau, permettant à une lumière incidente d'être déviée ou absorbée par des particules (I.N.S.P.Q, 2013).

D'après la figure (Fig. V 11), les teneurs moyennes de la turbidité de la nappe sont très faibles pour toutes les stations, variant dans un intervalle de $0,671 \pm 1,373$ N.T.U pour la station de Daya Bendahoua et $1,673 \pm 1,281$ N.T.U pour celle d'El Atteuf.

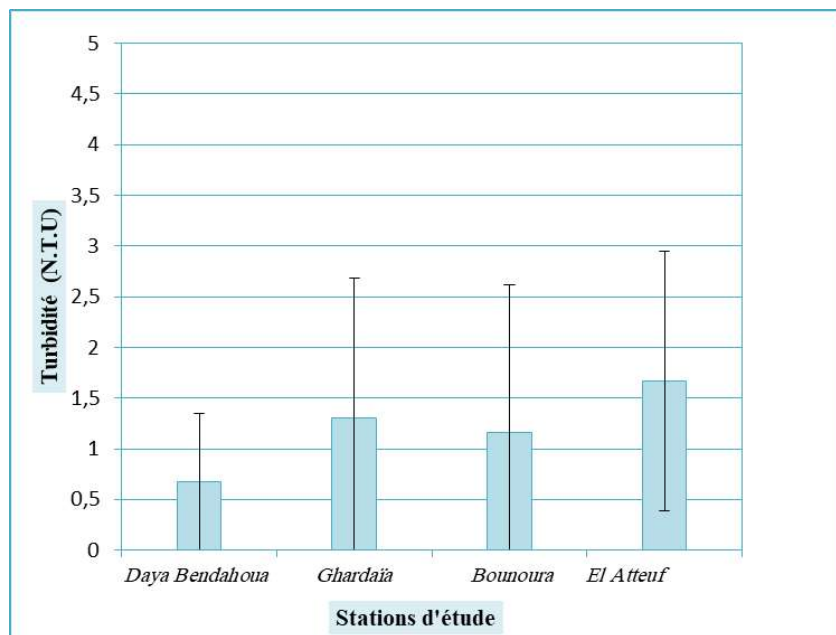


Figure V 11. Turbidité moyenne des eaux dans les stations d'étude

Selon la carte (Fig. V 12), les teneurs en turbidité montrent une homogénéité de la variation spatiale, où la majorité des puits des eaux analysées renferment des eaux claires (Annexe 11) et confirment la norme de la potabilité des eaux selon l'Algérie et l'O.M.S (5 N.T.U) (Annexe V ; VI), à l'exception des trois puits P20 et P21 situés à Ghardaïa et P24 à Bounoura, comportant des eaux légèrement troubles. La turbidité des eaux est comprise entre 0 et 7,71 N.T.U. La valeur minimale est située dans les trois puits P12 de Ghardaïa, P27 de Bounoura et P31 d'El Atteuf. La valeur maximale est observée dans le puits P24 de Bounoura, avec une moyenne de $1,209 \pm 1,781$ N.T.U pour la totalité des puits.

La turbidité des eaux de la nappe peut être causée par la présence de matières en suspension fine, comme l'argile, les limons et les microorganismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales, d'origine organique ou minérale (FRANK, 2002). Les sources de matières particulières peuvent être d'origine naturelle (acides humiques, particules provenant de la dégradation des végétaux ou de



l'érosion du sol), ou anthropique (rejets industriels, agricoles et urbains) (I.N.S.P.Q, 2013). Malgré le faible taux d'inertie entre les paramètres qualitatifs et quantitatifs étudiés dans l'A.F.C (Fig. V 13) celle-ci nous montre que la turbidité augmente dans les sites urbains à usage des puits domestiques. Ce niveau de turbidité est d'origine hydrogéologique, agricole et lié aux rejets urbains. La faible inertie dans l'A.F.C est due à la variation rapprochée des paramètres étudiés dans les localités de l'Oued M'Zab et les tendances observées sur le terrain qui sont vrai semblablement dus à d'autres facteurs non déterminés.

La turbidité nuit au taux de filtration et risque de diminuer l'efficacité de la désinfection, et aussi le contact entre les germes pathogènes et l'agent désinfectant étant défavorisé. L'un des buts primordiaux du traitement est de réduire la turbidité (MAIGA, 2005).

La turbidité de la nappe est proche de celle mesurée par REZZAG & BEN YAHKOUM (2005) ; HASSANI (2009), $0,12 \text{ N.T.U} \leq \text{Turbidité} < 10 \text{ N.T.U}$; BENHEDID (2014), $0,31 \text{ N.T.U} \leq \text{Turbidité} < 9,99 \text{ N.T.U}$. Elle est plus faible par rapport à celle des eaux de la nappe phréatique de Ouargla, avec un $11 \text{ N.T.U} \leq \text{Turbidité} \leq 27 \text{ N.T.U}$ (SLIMANI, 2006).

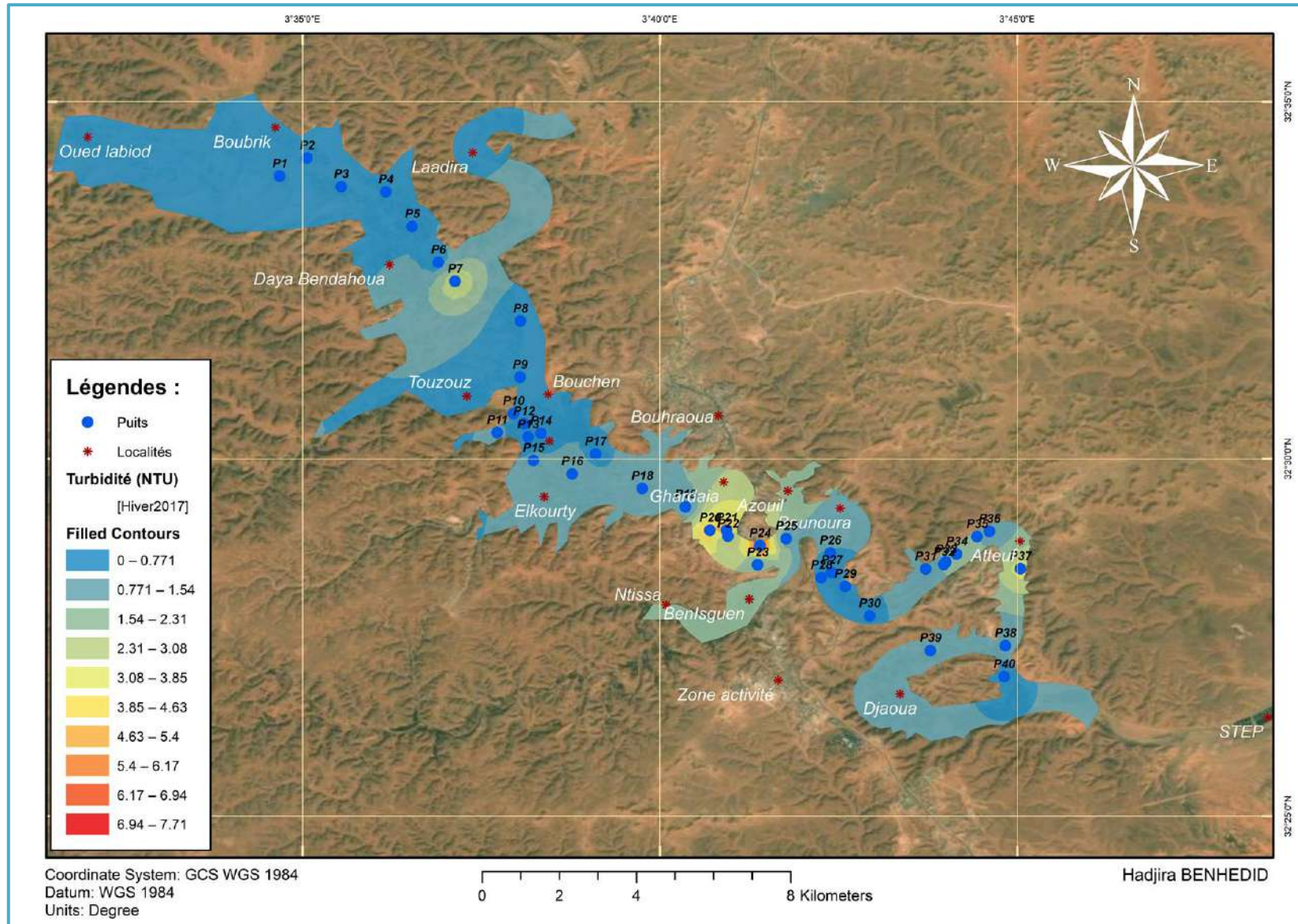


Figure V 12. Carte de la variation spatiale de la turbidité des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab

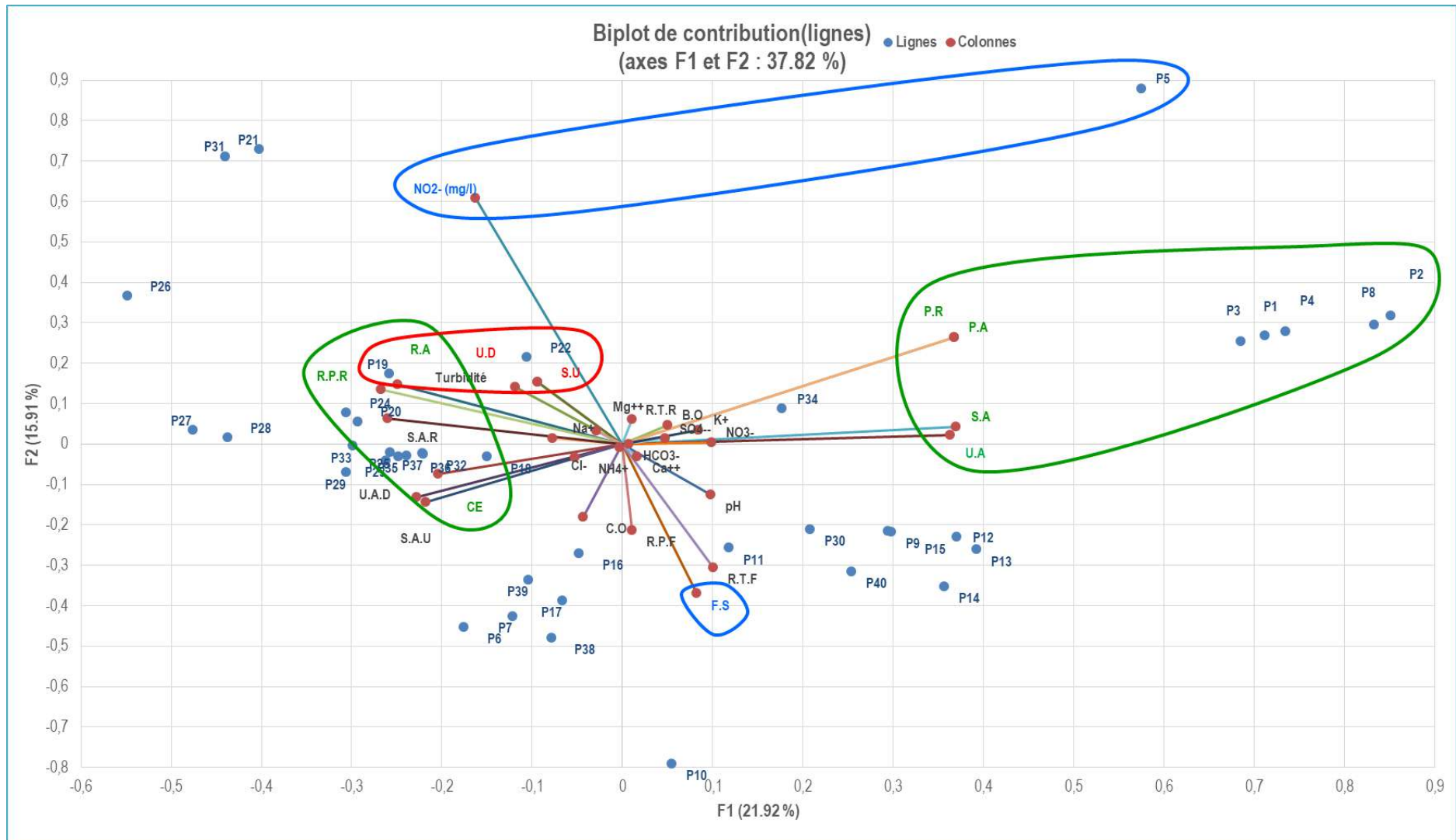


Figure V 13. Projection des individus et des variables sur le plan factoriel 1 et 2



2.4. Paramètres de la pollution chimique des eaux

2.4.1. Ammonium

L'ammonium constitue le produit de la réduction finale de substances organiques azotées et la matière inorganique dans les eaux et le sol. Il provient d'une part de l'excrétion des organismes vivants et d'autre part de la réduction et la biodégradation des déchets, sans négliger les apports d'origine domestiques, industrielle et agricole (DERWICH *et al.*, 2010).

Les teneurs moyennes d'ammonium obtenues sont très faibles ; elles varient entre un minimum de $0,012 \pm 0,013$ mg/l pour la station de Daya Bendahoua et un maximum de $0,079 \pm 0,012$ mg/l pour la station de Bounoura (Fig. V 14).

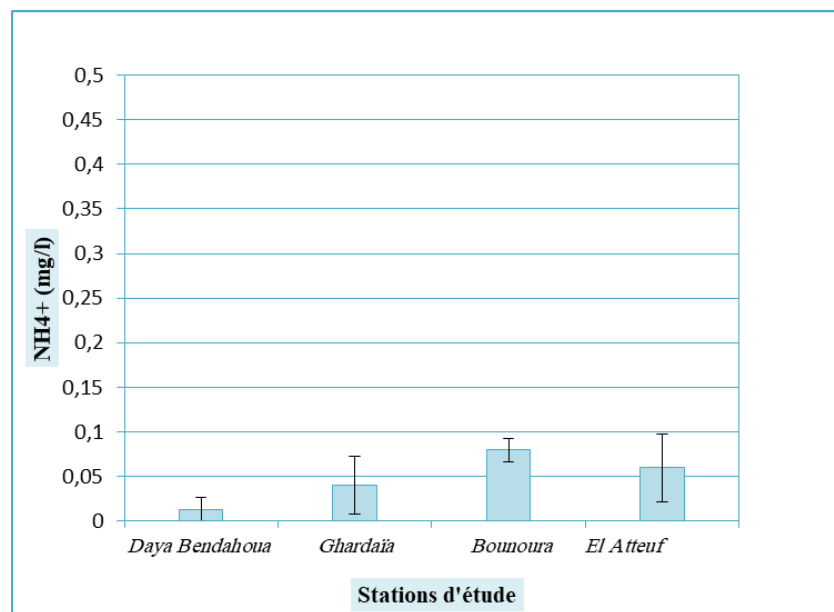


Figure V 14. NH₄⁺ moyenne des eaux dans les stations d'étude

Selon la carte (Fig. V 15), les teneurs d'ammonium présentent une homogénéité de la variation spatiale de ces teneurs. Ces valeurs oscillent entre un minimum de 0 mg/l enregistré dans les puits (P1, P2 et P5 de Daya Bendahoua et P11, P15, P18 de Ghardaïa) et un maximum de 0,143 mg/l enregistré au niveau du puits P39 d'El Atteuf, avec une moyenne de $0,048 \pm 0,039$ mg/l pour tous les puits. Ces concentrations ne dépassent en aucun cas la valeur norme européenne des eaux souterraines et la norme de l'eau potable selon l'Algérie et l'O.M.S (0,5 mg/l) (Annexe IV ; V ; VI), indiquant que cette eau peut être utilisée pour la consommation et ne présentant aucun effet sur la santé du consommateur du point de vue ammonium.

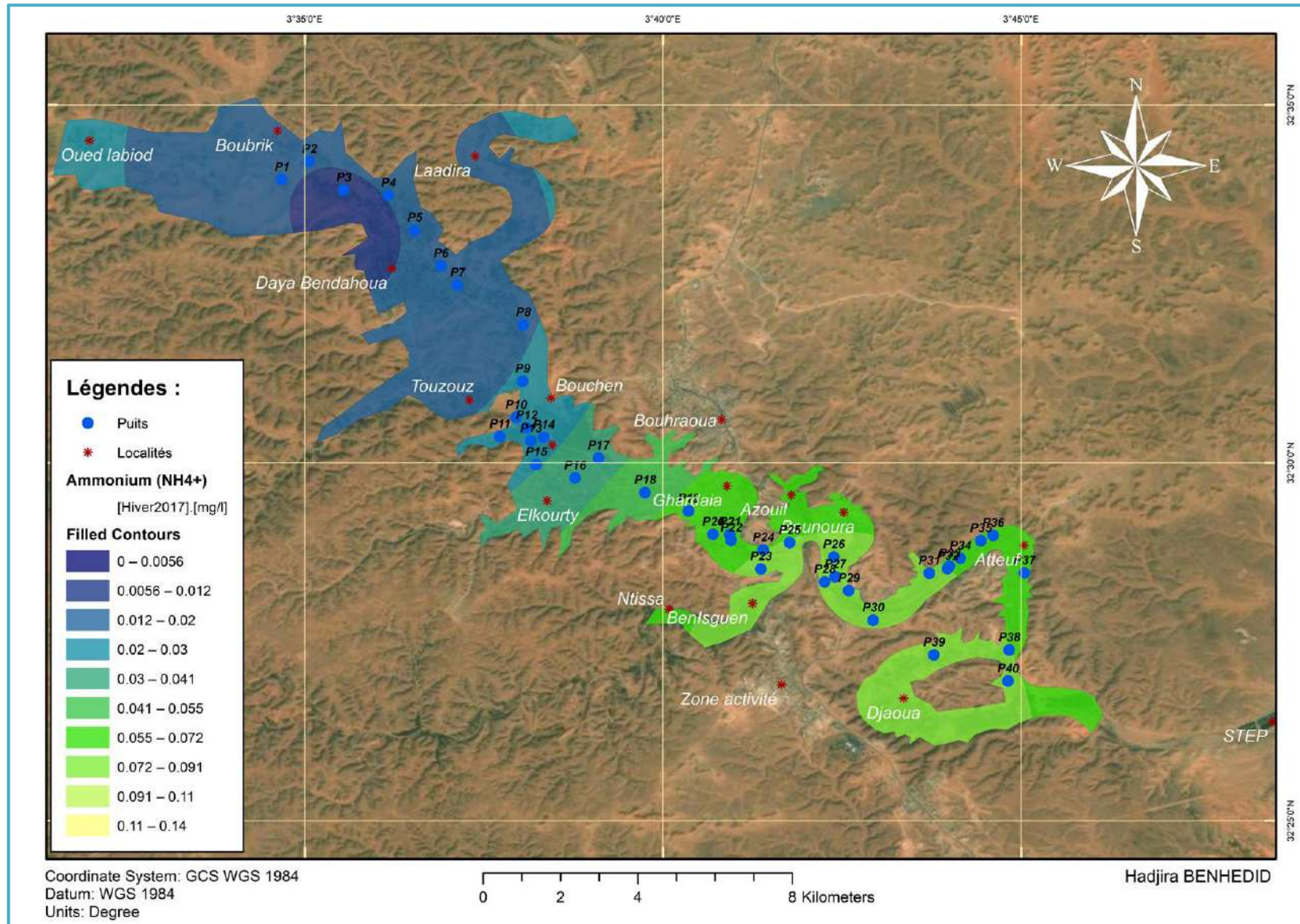


Figure V 15. Carte de la variation spatiale de NH₄⁺ des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab



La mise en évidence dans l'eau de teneurs importantes en ammonium implique une contamination récente par les matières organiques en décomposition. En profondeur, les eaux peuvent se charger en ions ammonium par réduction des nitrates sous l'action des bactéries autotrophes ou par les ions ferreux (RODIER *et al.*, 2005 ; DIB, 2009).

L'azote ammoniacal est assez souvent rencontré dans les eaux et se traduit habituellement par un processus de dégradation incomplète de la matière organique (FRANK, 2002). L'A.F.C, (Fig. V 13), apprécie que les teneurs d'ammonium les plus élevées sont observées dans les sites pourvus de fosses septiques avec un rejet permanent, où on a enregistré la teneur la plus élevée ; donc sa présence est due à la décomposition de matières organiques provenant des eaux usées.

Ces résultats semblent faibles par rapport aux valeurs obtenues par BENZAYET (2010), $0,04 \text{ mg/l} \leq \text{NH}_4^+ \leq 0,97 \text{ mg/l}$ et celles obtenues par BENHEDID (2014), $0,021 \text{ mg/l} \leq \text{NH}_4^+ \leq 0,569 \text{ mg/l}$. Les teneurs actuelles faibles de ce paramètre dans cette zone montrent une réduction de la pollution à cause de la réalisation du projet d'assainissement et de traitement dans la vallée. Ces résultats sont très faibles par comparaison aux valeurs élevées des deux puits d'El Atteuf en 1991, compris entre 12,6 mg/l et 46,08 mg/l, mesurés par DADDI BOUHOUN (1997).

Par contre, les résultats obtenus par SLIMANI (2006) montrent que la concentration de ce paramètre dans la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla dans les puits proches des rejets des eaux usées est très forte $7,50 \text{ mg/l} \leq \text{NH}_4^+ \leq 41,75 \text{ mg/l}$.

2.4.2. Nitrites

Les nitrites sont considérés comme étant des ions intermédiaires entre les nitrates et l'azote ammoniacal, ce qui explique les faibles concentrations rencontrées en milieu aquatique (BEN ABBOU *et al.*, 2014).

La représentation graphique des teneurs moyennes des nitrites des puits prospectés montre que la teneur moyenne la plus faible est pour les eaux de la station de Ghardaïa avec $0,0008 \pm 0,0015 \text{ mg/l}$ tandis que la plus haute est celle d'El Atteuf avec $0,0221 \pm 0,0373 \text{ mg/l}$ (Fig. V 16).

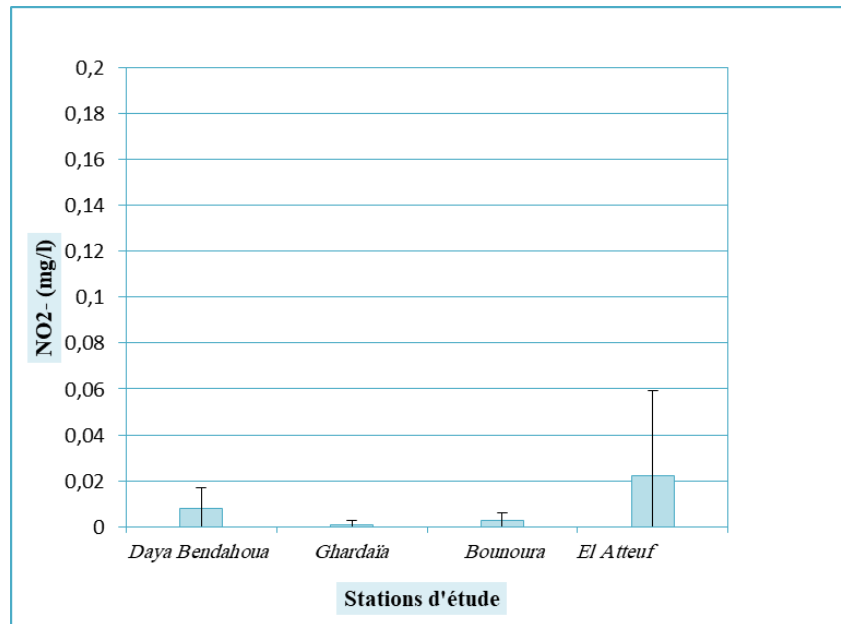


Figure V 16. NO₂⁻ moyenne des eaux dans les stations d'étude

La cartographie des concentrations des nitrites, (Fig. V 17), montre une homogénéité de la variation spatiale de ces teneurs ; elles sont variables d'une station à une autre, mais généralement inférieures à la norme de l'eau potable selon l'Algérie et l'O.M.S (0,2 mg/l) (Annexe V ; VI), excepté le puits P31 situé dans la station d'El Atteuf qui a une valeur maximale de 0,209 mg/l supérieure à la norme. La teneur des nitrites relativement élevée, selon BENGOUIMI et *al.* (2004) ; BELGHITI et *al.* (2013), correspondent à la réduction des nitrates en nitrites par les anaérobies, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac. Cela montre que ce dernier n'est pas valable pour l'alimentation en eau potable et représente un risque de méthémoglobinémie.

La méthémoglobinémie résulte de la transformation de l'hémoglobine en méthémoglobine, rendant le sang incapable de transporter l'oxygène jusqu'aux tissus (FAN et *al.*, 1987 ; MIQUEL, 2003). La méthémoglobinémie est une affection qui se manifeste par un manque d'oxygénation des tissus, se traduisant par des difficultés respiratoires et des vertiges (GALVEZ-CLOUTIER et *al.*, 2009 ; BENTOUATI & BOUZIDI, 2011).

Plus des deux quart (2/4) des puits (vingt-huit) analysés ont des concentrations nulles, selon GOUASMIA et *al.* (2016) ; cela peut s'interpréter par le fait que ces eaux soient une forme intermédiaire qui a tendance à s'oxyder en nitrates ou à se réduire en ammonium.

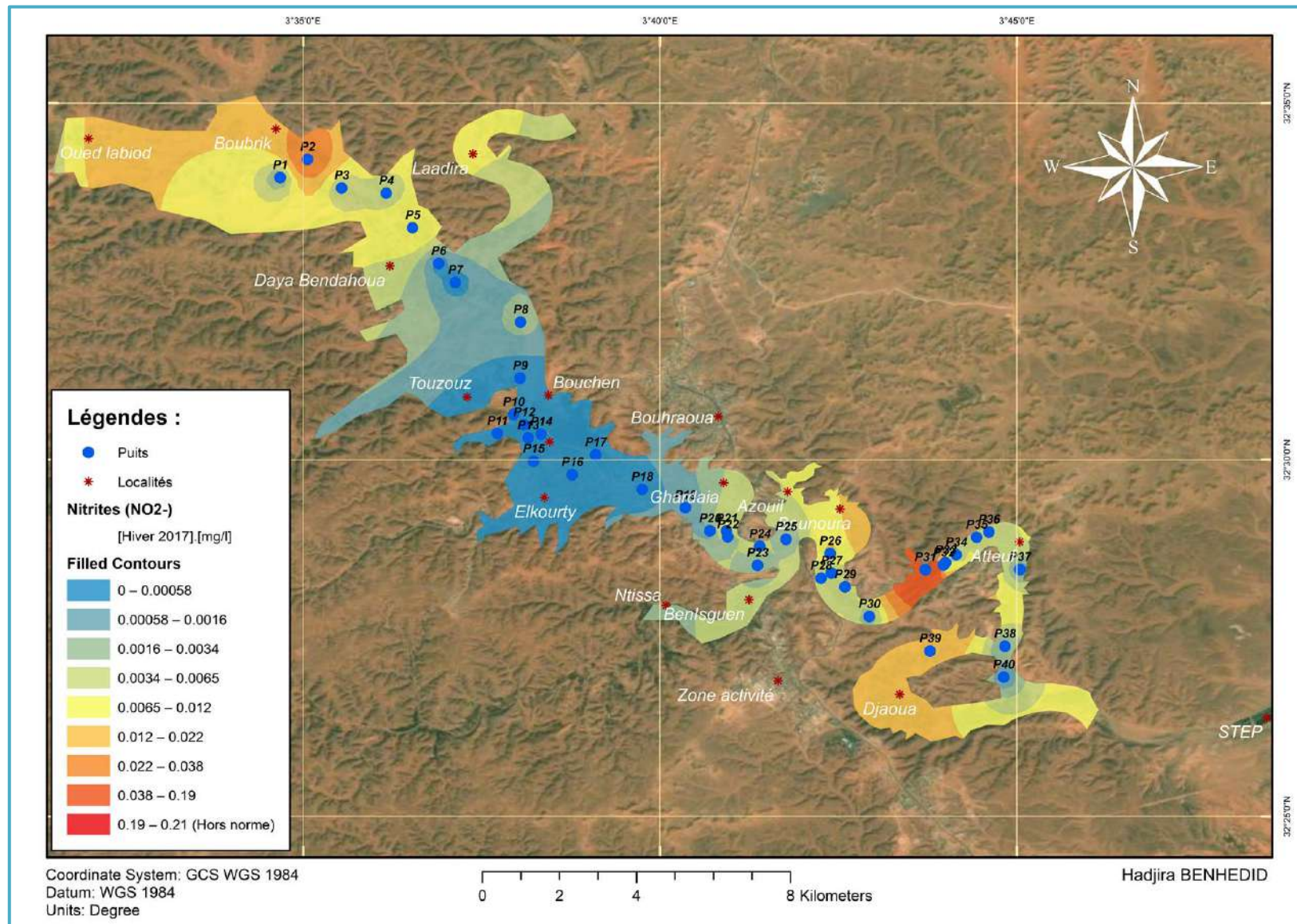


Figure V 17. Carte de la variation spatiale de NO₂⁻ des eaux de la nappe superficielle de l’Oued M’Zab



La valeur maximale enregistrée lors de notre étude est inférieure à celle des études antérieures réalisées dans la vallée, $0 \text{ mg/l} \leq \text{NO}_2^- \leq 0,3 \text{ mg/l}$ (REZZAG & BEN YAHKOUM, 2005), BENHEDID (2014), $0 \text{ mg/l} \leq \text{NO}_2^- \leq 2,72 \text{ mg/l}$ et BENHEDID & DADDI BOUHOUN (2019), $0 \text{ mg/l} \leq \text{NO}_2^- \leq 0,194 \text{ mg/l}$.

Toutefois, la valeur de $2,72 \text{ mg/l}$ mesurée en 2013 dans le puits P45 d'El Atteuf correspondant au puits P40 en hiver 2017 a une concentration de 0 mg/l . Selon DE VILLERS *et al.* (2005) d'une part et AÏT BOUGHROUS (2007) d'autre part, on ne rencontre les nitrites que lorsqu'il existe un déséquilibre au niveau de l'oxygénation et l'activité bactérienne. Des concentrations élevées en nitrites témoignent souvent de la présence de matières toxiques.

Les teneurs de nitrites dans la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla varient entre $0,03 \text{ mg/l} \leq \text{NO}_2^- \leq 0,07 \text{ mg/l}$ (SLIMANI, 2006), voire jusqu'à $0,4 \text{ mg/l}$ (DJIDEL, 2008).

2.4.3. Nitrates

Les nitrates constituent la forme azotée la plus dominante dans les nappes d'eau souterraine. Ils proviennent généralement de la décomposition de la matière organique par oxydation bactérienne des nitrites et constituent ainsi l'ultime produit de la nitrification (DERWICH *et al.*, 2010).

A partir de la figure (Fig. V 18), il apparaît que la forte teneur moyenne des nitrates est enregistrée au niveau de la station de Daya Bendahoua avec $66,178 \pm 31,352 \text{ mg/l}$, alors que la faible concentration est observée dans la station d'El Atteuf de l'ordre de $32,97 \pm 19,878 \text{ mg/l}$, avec un ordre décroissant de l'amont vers l'aval de la vallée du M'Zab.

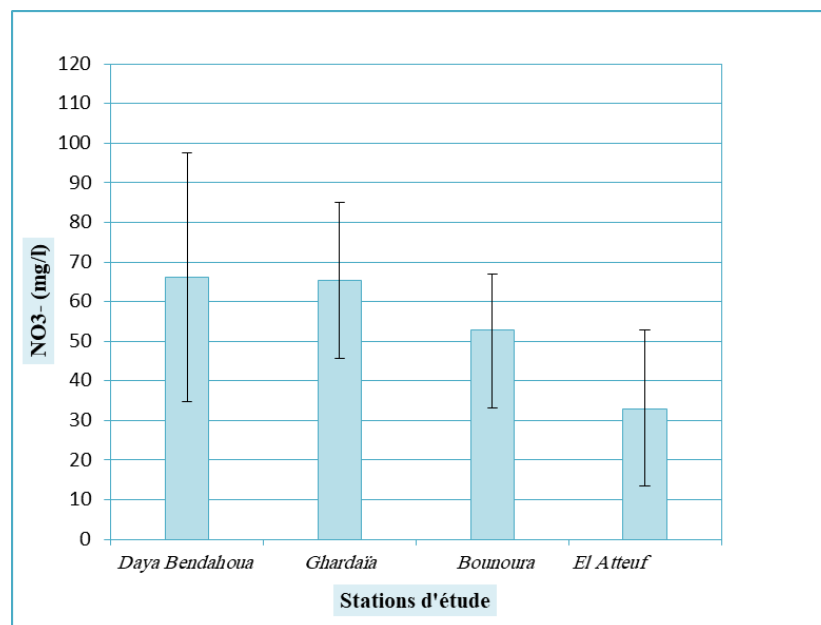


Figure V 18. NO₃⁻ moyenne des eaux dans les stations d'étude



L'examen de la carte (Fig. V 19) présente des variations spatiales claires des teneurs en nitrates. Les valeurs maximales sont observées en amont et au centre de la vallée ; par contre, les valeurs minimales sont remarquées en aval de l'Oued M'Zab. Ces ions évoluent d'une manière inverse par rapport aux nitrites. Elles balancent entre une valeur minimale de 14,2646 mg/l au niveau du puits P36 d'El Atteuf et une valeur maximale de 143,4655 mg/l correspondant au puits P3 de Daya Bendahoua, donnant une moyenne générale de $54,594 \pm 30,503$ mg/l.

Plus d'un tiers (1/3) des puits (dix-sept puits) ont des concentrations qui semblent bien inférieures à la norme européenne des eaux souterraines et la norme de l'eau potable selon l'Algérie et l'O.M.S (50 mg/l) (Annexe IV ; V ; VI), tandis que les autres puits dépassent cette norme, qui représente une menace de leur réduction en nitrites et de la formation de méthémoglobine, représentant une toxicité à long terme (I.N.S.P.Q, 2013 ; RODIER *et al.*, 2005). Ces teneurs élevées peuvent provenir, soit de l'oxydation des nitrites d'origine anthropique, soit des activités agricoles. Selon AHOUSSE *et al.* (2013), l'origine des nitrates dans une eau souterraine peut être multiple. Les nitrates sont très souvent issus des activités agricoles (engrais, élevage industriel). Ils peuvent avoir une origine urbaine liée à une infiltration des eaux usées domestiques dans le sol, des eaux des égouts, des fosses septiques, des latrines et aussi provenir de la décomposition de la matière organique. Aussi, BELGHITI *et al.* (2013) annonce que les nitrates sont présents dans l'eau par lessivage des produits azotés dans le sol, par décomposition des matières organiques ou des engrais de synthèse ou naturels.

D'après I.N.S.P.Q (2013), les nitrates sont très solubles dans l'eau ; ils migrent donc aisément dans la nappe phréatique, lorsque les niveaux excèdent les besoins de la végétation. Pour cela, les zones de grande perméabilité sont beaucoup plus exposées à la pollution, car les ions nitrates s'infiltrent rapidement. L'A.F.C (Fig. V 13, 96 p) montre que les nitrates augmentent dans les zones agricoles avec un usage agricole des eaux des puits.

De même, la répartition des nitrates peut être liée, dans certains cas, à la profondeur de la nappe, ce qui entraîne la réduction des nitrates en nitrites dans les puits profonds. Elle est liée aussi au sens d'écoulement des eaux et la profondeur des puits (Fig. II 19 ; II 20). On peut constater bien que dans les endroits où les eaux circulent à une vitesse plus ou moins importante avec des puits profonds, les concentrations sont moins élevées, alors que dans les endroits où le gradient hydraulique est faible avec des puits moins profonds on remarque une augmentation dans les teneurs.

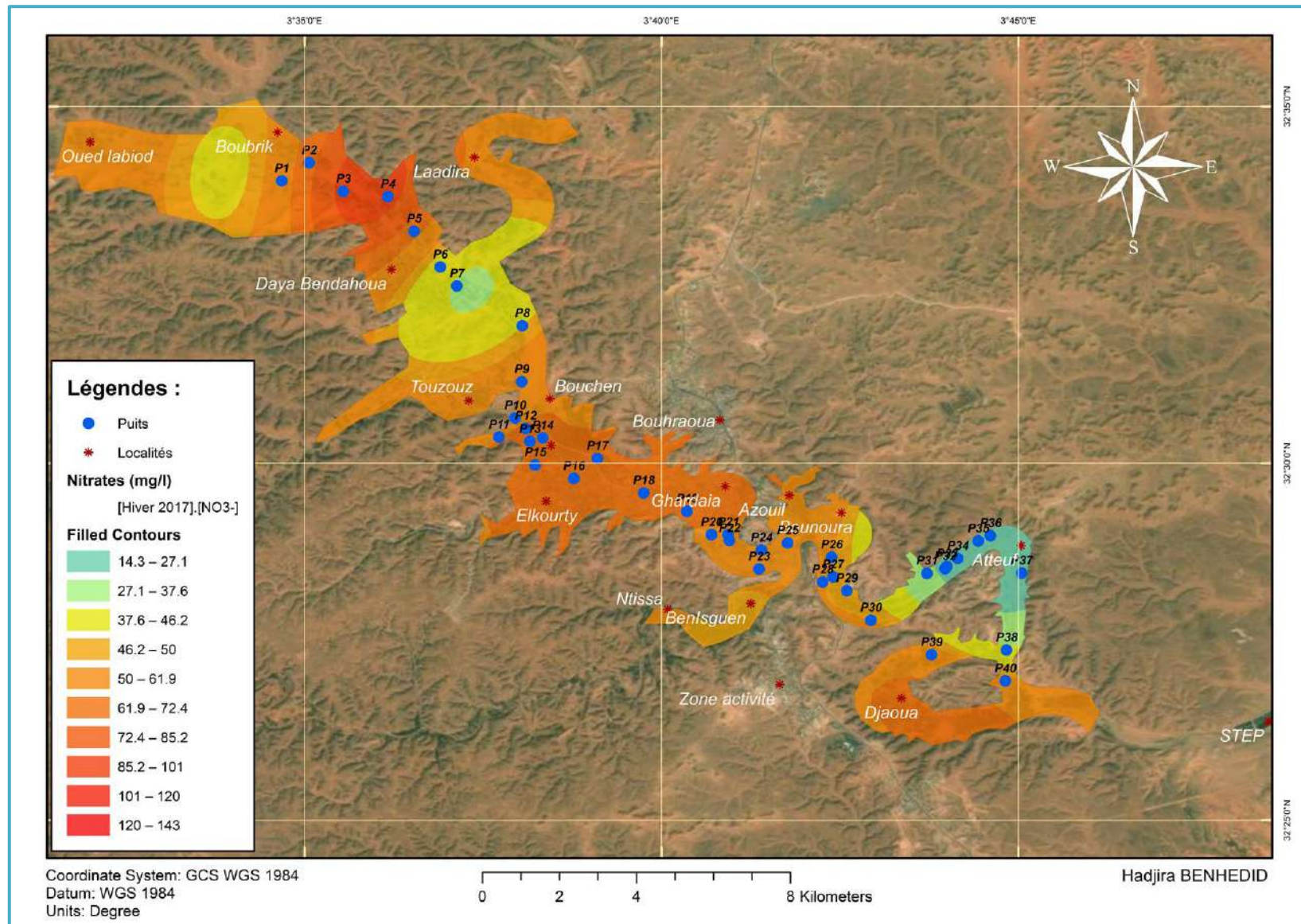


Figure V 19. Carte de la variation spatiale de NO_3^- des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab



Bien que les nitrates n'aient pas d'effets toxiques directs sauf à des doses élevées, ils se transforment facilement par réduction bactérienne en nitrites et de la formation de méthémoglobine, représentant une toxicité à long terme (I.N.S.P.Q, 2013 ; RODIER *et al.*, 2005 ; BOUDERKA *et al.*, 2016). Selon LAAOUAN *et al.* (2016), les nitrates et nitrites ne sont pas cancérigènes s'ils ne dépassent pas les normes de l'O.M.S, mais leur transformation possible en composés N-nitroso dans l'eau ou les aliments avant l'ingestion, ou dans l'organisme après ingestion, pourrait augmenter le risque de cancer et de malformation du fœtus (tératogénicité) chez l'être humain.

Nos résultats restent supérieurs aux valeurs obtenues en 2013 par BENHEDID (2014), $0,171 \text{ mg/l} \leq \text{NO}_3^- \leq 124,509 \text{ mg/l}$, malgré la suppression de certains points noirs sources de la contamination des eaux de la nappe superficielle par les eaux usées et le processus de traitement des eaux par la station d'épuration par lagunage naturel en aval de l'Oued M'Zab. Toutefois, la valeur maximale cette fois-ci est observée au niveau de la station de Daya Bendahoua où nous avons obtenu des teneurs très faibles pour cette station en 2013. Tandis que le puits P36 de la station de Bounoura qui avait enregistré la valeur 124,509 mg/l, dans cette étude a 84,3472 mg/l. De même, cette situation prouve l'origine agricole des nitrates par l'utilisation des engrais chimiques et des fumiers organiques dans les zones agricoles.

Cependant, nos teneurs sont très élevées par rapport à celles enregistrées durant les années deux milles, de l'ordre de $1,86 \text{ mg/l} \leq \text{NO}_3^- \leq 32 \text{ mg/l}$ (REZZAG & BEN YAHKOUM, 2005), de $0 \text{ mg/l} \leq \text{NO}_3^- \leq 23,48 \text{ mg/l}$ (TALEB BAHMED, 2008), de $0,03 \text{ mg/l} \leq \text{NO}_3^- \leq 12,4 \text{ mg/l}$ (HASSANI, 2009) et de $0 \text{ mg/l} \leq \text{NO}_3^- \leq 22,29 \text{ mg/l}$ (BENZAYET, 2010). Ces différences sont probablement liées à plusieurs facteurs, dont notamment la source de contamination, la période, les points de mesures ainsi que la dynamique chimique de l'azote.

Les teneurs des nitrates dans la nappe du M'Zab restent inférieures aux teneurs enregistrées par DJIDEL (2008) au niveau de la nappe phréatique de Ouargla, estimées entre 5,4 mg/l et 270 mg/l.

2.4.4. Phosphore total et orthophosphates

Le phosphore peut exister dans les eaux à l'état dissous ou en suspension. Le phosphore total dissous comprend le phosphore organique (phospholipides et phosphoprotéines), et le phosphore inorganique qui lui-même inclut les orthophosphates et les polyphosphates (BADIA GONDARD, 2003 ; RODIER *et al.*, 2009).

Au vu de la carte (Fig. V 20 ; V 21) qui montre une homogénéité des variations de phosphore total et des Orthophosphates, toutes leurs teneurs dans les eaux des puits échantillonnés sont au-dessous de la norme européenne des eaux souterraines de phosphore



total (1,15 mg/l) et de l'eau potable de phosphore selon l'Algérie et l'O.M.S (5 mg/l ; 0,5 mg/l) (Annexe IV ; V ; VI), indiquant que cette eau peut être utilisée pour la consommation et ne présentant aucun effet sur la santé du consommateur du point de vue phosphore total et orthophosphates.

Tous les puits ont des teneurs nulles, excepté le puits P5 de Daya Bendahoua qui a une concentration maximale de P_{total} et PO_4^{-3} , avec des valeurs respectives de 0,011 mg/l et 0,001 mg/l. Leur présence dans ce puits situés dans des endroits non raccordés au réseau d'assainissement est probablement liée à la décomposition de la matière organique, provenant des eaux usées.

Le phosphate peut se trouver sous différentes formes oxydées, en milieu aqueux ; ces formes tendent vers la forme orthophosphates dès que le pH varie de 5 à 8 (DJIDEL, 2008). Pour cela, nous avons remarqué que les teneurs des orthophosphates équivalent aux teneurs de phosphore total. Alors que l'A.C.P (Fig. V 9 ; Fig. V 10, 92 p) montre que le P_{total} et l' PO_4^{-3} ne sont pas liés avec le pH des eaux de Daya Bendahoua et Ghardaïa.

Les Orthophosphates ont le plus souvent une origine urbaine (composants des détergents) ou agricole (lessivage d'engrais). Ils sont comme les nitrates, un nutriment majeur des végétaux, qui peuvent, dans les milieux aquatiques, entraîner leur prolifération à partir de 0,2 mg/l. On considère généralement que les variations des concentrations des phosphates constituent l'élément limitant des phénomènes d'eutrophisation (REFEA, 2003).

Les phosphates peuvent être d'origine naturelle (produit de décomposition de la matière vivante, lessivage des minéraux), mais à l'heure actuelle, leurs présences dans les eaux sont plutôt d'origine artificielle (engrais, détergents, industrie chimique...) (BREMOND & PERRODON, 1976 ; AÏT BOUGHROUS, 2007).

La teneur en orthophosphates des eaux de la nappe est inférieure à celle enregistrée par les études des différentes zones de la vallée, par BENZAYET (2010), $0 \text{ mg/l} \leq \text{PO}_4^{-3} \leq 0,64 \text{ mg/l}$, HASSANI (2009), $0 \text{ mg/l} \leq \text{PO}_4^{-3} \leq 2,57 \text{ mg/l}$ et BENHEDID et *al.* (2019b), $0 \text{ mg/l} \leq \text{PO}_4^{3-} \leq 0,139 \text{ mg/l}$. Aussi sont-elles inférieures par rapport à celles des eaux de la nappe phréatique de Ouargla $0,4 \text{ mg/l} \leq \text{PO}_4^{-3} \leq 0,86 \text{ mg/l}$ (SLIMANI, 2006) et $0,01 \text{ mg/l} \leq \text{PO}_4^{-3} \leq 0,7 \text{ mg/l}$ (DJIDEL, 2008).

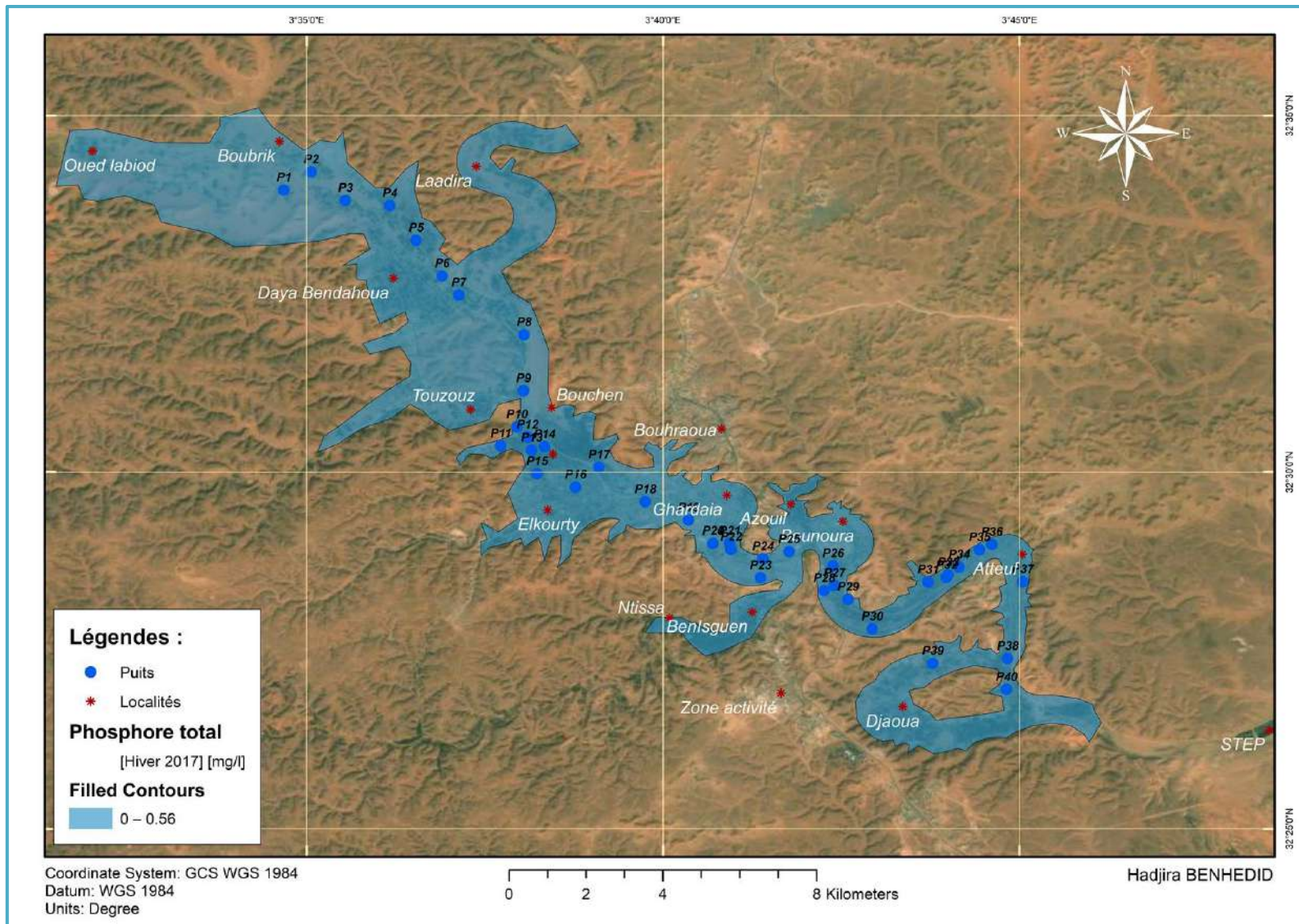


Figure V 20. Carte de la variation spatiale de P_{total} des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab

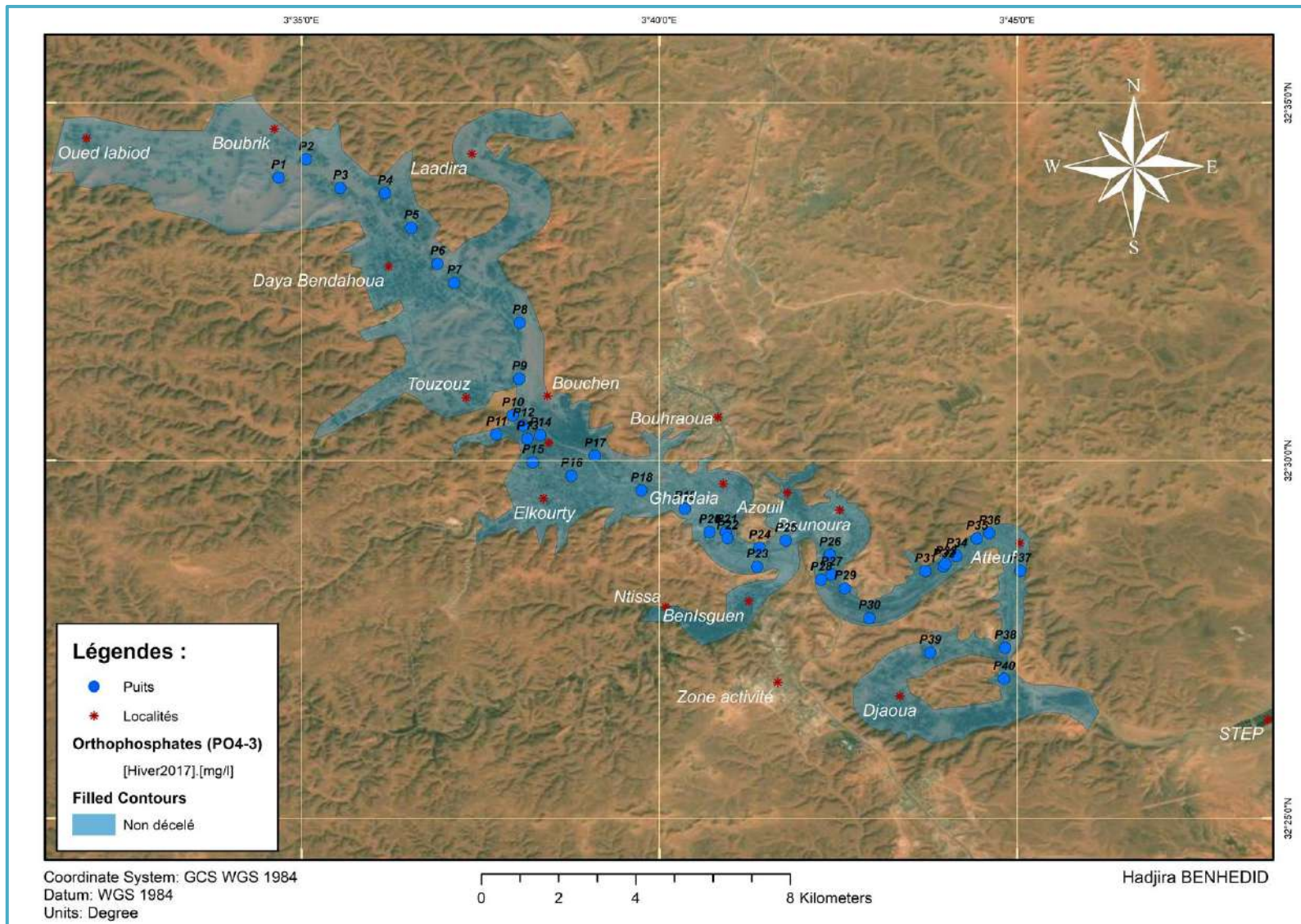


Figure V 21. Carte de la variation spatiale de PO₄⁻³ des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab



2.5. Paramètres de la pollution organique des eaux

2.5.1. Demande biologique en oxygène

La demande biologique en oxygène (D.B.O) est la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour qu'ils décomposent les déchets biologiques en dioxyde de carbone, en eau et en minéraux (RAVEN *et al.*, 2009). Elle permet d'évaluer corrélativement les matières biodégradables présentes dans les eaux (BLIEFERT & PERRAUD, 2003).

Au vu du graphe (Fig. V 22), les valeurs moyennes de D.B.O₅ sont faibles dans toutes les stations d'études. Les valeurs moyennes minimales sont mesurées dans les stations de Daya Bendahoua de $2,608 \pm 0,365$ mg/l et d'El Atteuf $2,6914 \pm 0,7044$ mg/l, alors que les valeurs moyennes maximales sont enregistrées au niveau des stations de Ghardaïa avec $3,9544 \pm 2,4967$ mg/l et de Bounoura avec $3,3728 \pm 0,7089$ mg/l.

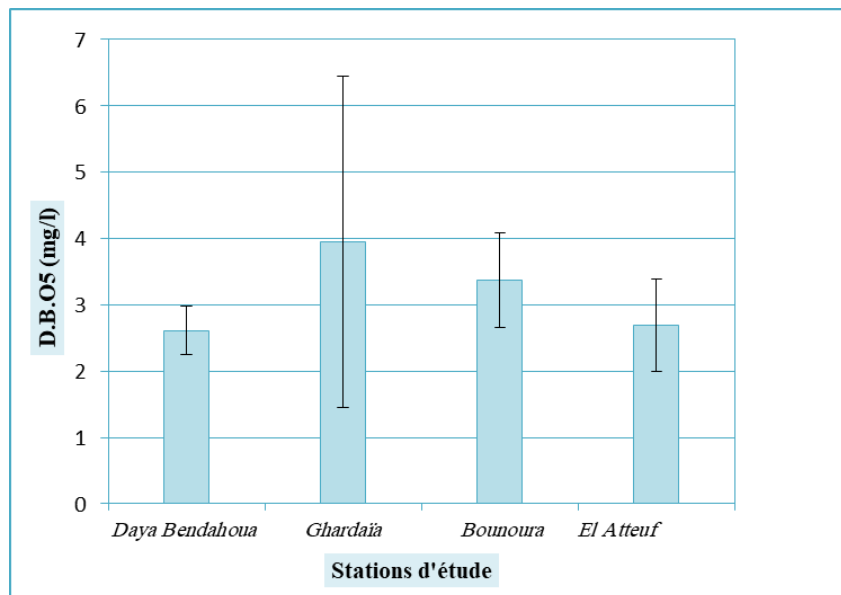


Figure V 22. D.B.O₅ moyenne des eaux dans les stations d'étude

La cartographie des concentrations de D.B.O₅ (Fig. V 23) est variable d'un puits à un autre ; elles oscillent entre 1,1 mg/l qui correspond au puits P33 d'El Atteuf et 15,19 mg/l pour le puits P11 de Ghardaïa, avec une moyenne de $3,2528 \pm 2,4783$ mg/l pour la totalité des puits. La plupart des teneurs de D.B.O₅ dans les eaux des puits échantillonnés sont au-dessous de la norme de l'eau potable selon l'O.M.S (3 mg/l) (Annexe VI), indiquant que cette eau est de bonne qualité du point de vue D.B.O₅ et elle est moins altérée par les matières organiques biodégradables.

Ces constatations sont proches de celles de REZZAG & BEN YAHKOUM (2005), qui a signalé des teneurs, variant de 0 à 12 mg/l, et celles de HASSANI (2009), dans la palmeraie de Ghardaïa $6 \text{ mg/l} \leq \text{D.B.O}_5 \leq 10 \text{ mg/l}$.



L'indice de pollution organique (I.P.O), calculé à partir des concentrations de quatre paramètres (DBO_5 , PO_4^{-3} , NH_4^+ et NO_2^-), permet de classer les eaux de la nappe étudiée sur une échelle à 5 niveaux de pollution organique (Annexe 12). La carte de la variation spatiale de l'I.P.O, a fait apparaître trois classes (Fig. V 24) :

- **Classe 5, pollution organique nulle** : elle renferme des eaux des puits pauvre en matière organique, d'une I.O.P de 5 à 4,6. Elle représente la majorité des eaux de la nappe, soit un pourcentage de 82 % ;
- **Classe 4, pollution organique faible** : elle se caractérise par les eaux avec une faible teneur en matière organique, d'une I.P.O de 4,5 à 4. Elle représente un pourcentage de 14 % pour la totalité des puits ;
- **Classe 3, pollution organique modérée** : cette classe représente les eaux qui contiennent une quantité modérée de la matière organique, d'une I.P.O de 3,9 à 3, elle ne représente que 4 % de l'ensemble des puits.

De ce fait, la majorité des eaux de la nappe superficielle étudiée ne représente pas une pollution organique dans tout le long de l'Oued M'Zab. Cela montre que ces eaux sont loin des sources de pollution par les eaux usées domestiques riches en matière organique, ainsi que la période hivernale (évaporation moindre et dilution par pluviométrie). Une pollution organique faible occupe quelques puits de la station de Ghardaïa. Une pollution modérée occupe un puits dans la station d'El Atteuf.

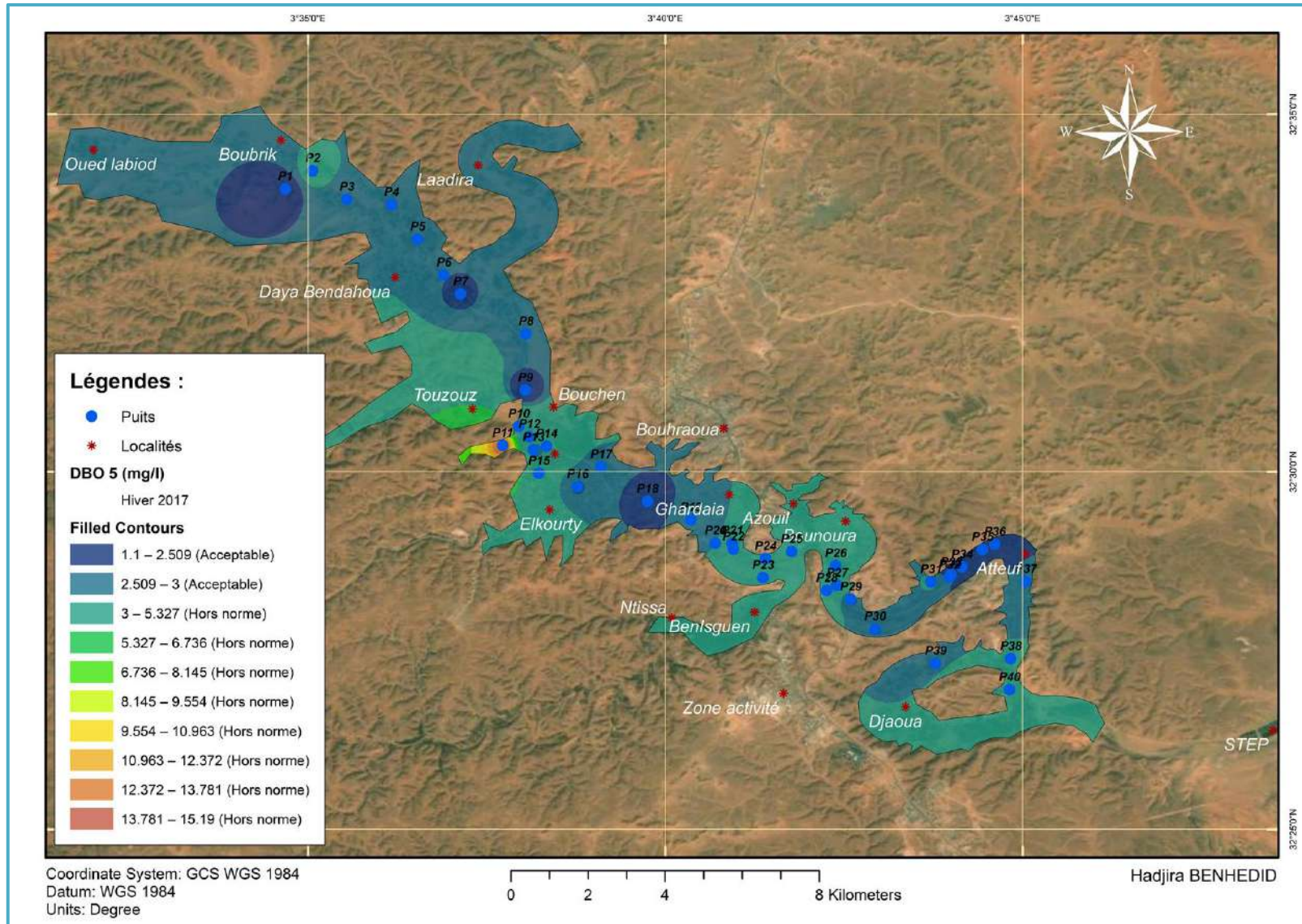


Figure V 23. Carte de la variation spatiale de D.B.O₅ des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab

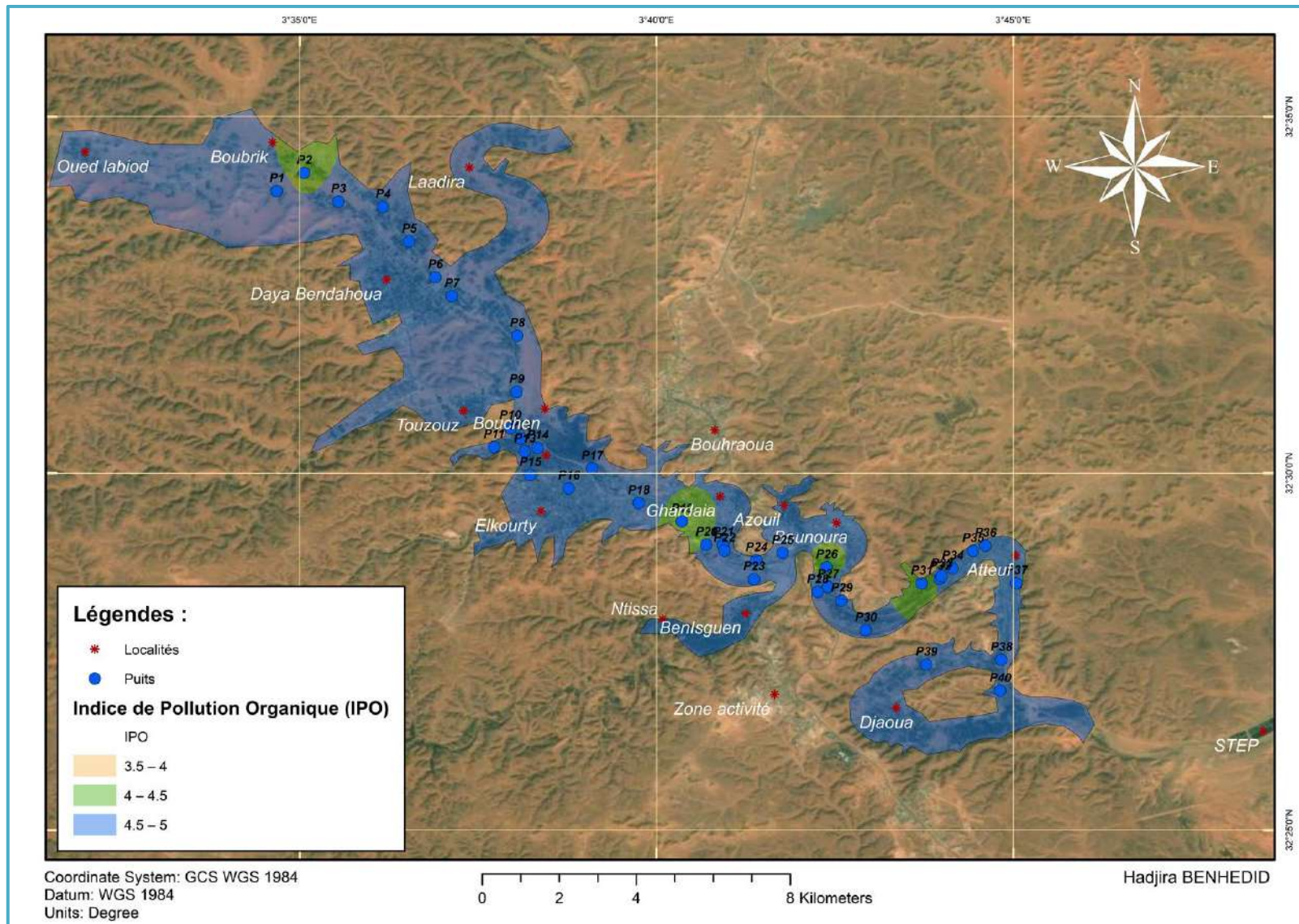


Figure V 24. Carte de la variation spatiale de l’I.P.O des eaux de la nappe superficielle de l’Oued M’Zab



2.5.2. Demande chimique en oxygène

La demande chimique en oxygène (D.C.O) correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation par voie chimique, effectuée à l'aide d'un oxydant puissant, des composés organiques présents dans l'eau (FRANK, 2002 ; DE VILLERS *et al.*, 2005). Elle permet une estimation de la concentration en matière organique, sa mesure ne fait pas la différence entre la matière organique biodégradable et non biodégradable (BLIEFERT & PERRAUD, 2003 ; RODIER *et al.*, 2005).

Les teneurs moyennes de la D.C.O obtenues oscillent entre $11,764 \pm 1,628$ mg/l pour la station de Daya Bendahoua et $17,844 \pm 11,221$ mg/l pour la station de Ghardaïa (Fig. V 25).

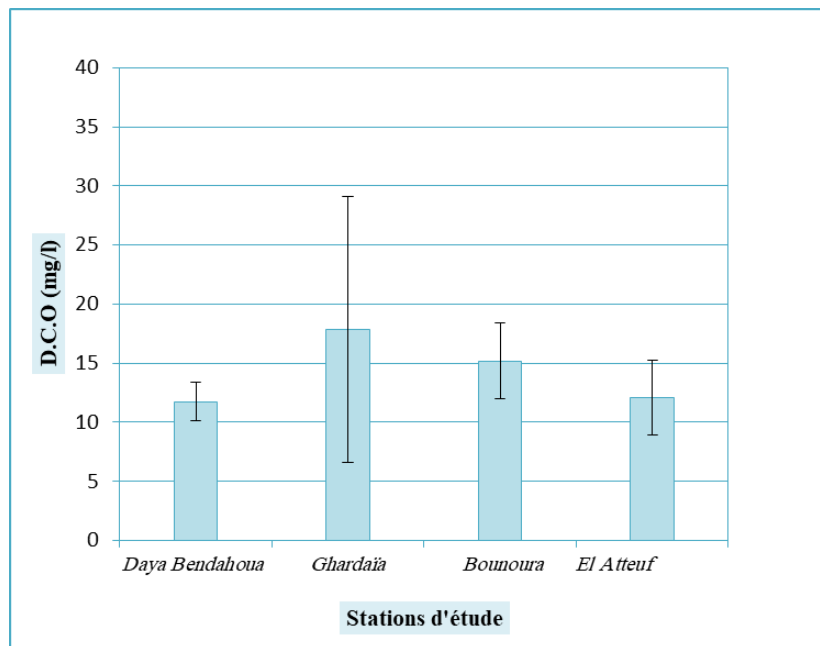


Figure V 25. D.C.O moyenne des eaux dans les stations d'étude

La figure (V 26) montre que la répartition de la D.C.O varie d'un puits à un autre ; ces valeurs oscillent entre un minimum de 4,98 mg/l enregistré dans le puits P33 d'El Atteuf et un maximum de 68,34 mg/l enregistré au niveau du puits P11 de Ghardaïa avec une moyenne de $14,661 \pm 11,141$ mg/l pour tous les puits. Ces teneurs sont compatibles avec la norme de l'eau potable selon l'O.M.S (30 mg/l) (Annexe V), excepté le puits P11 de Ghardaïa.

La D.C.O peut être réalisée plus rapidement que la D.B.O (oxydation forcée) et donne une image de la matière organique présente, même quand le développement des micro-organismes est impossible (présence d'un toxique par exemple) (REFEA, 2003).

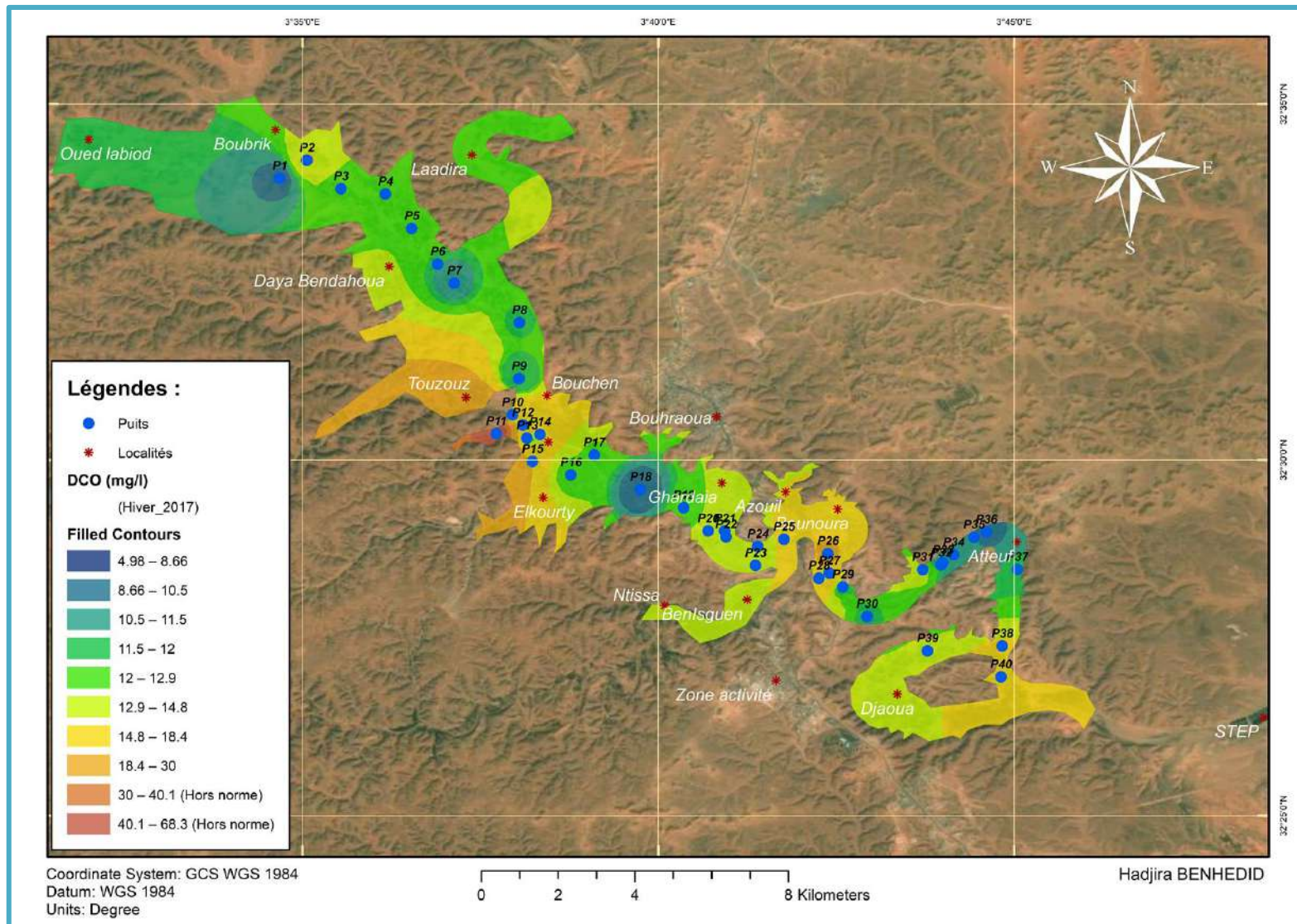


Figure V 26. Carte de la variation spatiale de D.C.O des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab



Les valeurs du rapport D.C.O/ D.B.O₅ d'une eau nous permettent d'avoir une idée sur sa biodégradabilité. La notion de la biodégradabilité représente la capacité d'une substance ou son aptitude à être décomposée par les micro-organismes (bactéries, champignons...) (OUALI, 2001).

La variation spatiale du rapport D.C.O/ D.B.O₅ montre un indice de biodégradabilité (I.B) de l'intervalle de 3 à 4 (Annexe XIII). Cela indique que tous les puits étudiés de la nappe superficielle sont considérés comme faiblement biodégradables (Fig. V 27), et pauvres en matière organique.

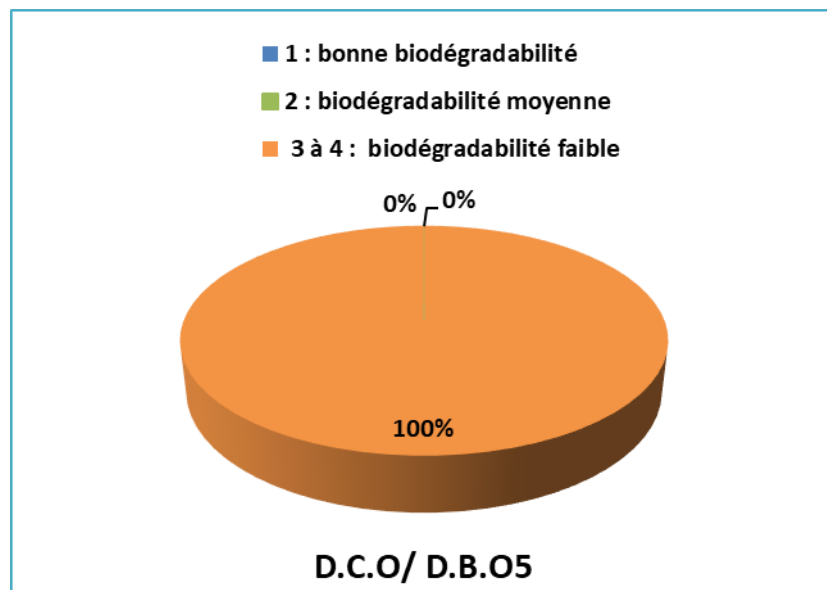


Figure V 27. Indice de la biodégradabilité des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab

Par comparaison, nos résultats sont inférieurs à ceux enregistrés par BENHEDID (2014), $20 \text{ mg/l} \leq \text{D.C.O} \leq 111,165 \text{ mg/l}$; cela montre un rabattement au niveau de la pollution de ces eaux par les composés organiques. Nous notons également qu'ils sont inférieurs aux maximums obtenus par HASSANI (2009) dans la palmeraie de Ghardaïa $10,208 \text{ mg/l} \leq \text{D.C.O} \leq 675,36 \text{ mg/l}$.

2.6. Compositions ioniques des eaux

La cartographie de la composition ionique étudiée (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^- et HCO_3^-) (Fig. V 28 ; V 29 ; V 20 ; V 31 ; V 32 ; V 33 ; V 34) montre que d'une manière générale, la répartition spatiale de ces éléments varie de l'amont vers l'aval de l'Oued M'Zab suivant l'écoulement des eaux souterraines de cette nappe et qui coïncident sensiblement avec le parcours de l'Oued M'Zab qui draine les eaux de surface. Cette variation spatiale est fort probablement influencée par la nature géologique des couches traversées par les puits, des fois riches en évaporites ou par une contamination anthropique agro-urbaine, favorisant



l'augmentation de certains éléments, comme le potassium, les chlorures et les sulfates. Les concentrations de ces éléments sont élevées et dans la majorité des cas au-dessus des normes de potabilité selon l'Algérie et l'O.M.S.

2.6.1. Cations solubles

L'observation de la carte des teneurs de **calcium** (Fig. V 28) montre que les teneurs de calcium varient d'un point à un autre ; la plupart des points prospectés ont un taux de calcium relativement supérieur à la norme de potabilité des eaux de l'Algérie et de l'O.M.S (200 mg/l) (Annexe V ; VI). Nous avons mesuré une teneur maximale de 624,879 mg/l au niveau du puits P26 à Bounoura et une valeur minimale de 96,192 mg/l au niveau du puits P10 à Ghardaïa.

La présence des ions Ca^{++} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles : soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3), soit la dissolution des formations gypseuses (CaSO_4) (DEBIECHE, 2002 ; GOUAIDIA, 2008).

Ces constatations sont proches de celles de TALEB BAHMED (2008), qui a signalé des teneurs, variant de 88,18 à 823,24 mg/l, celles de BENZAYET (2010), avec des mesures qui oscillent entre 93,63 et 616,11 mg/l et celles de BENHEDID (2014), avec des teneurs variant entre 80,16 mg/l et 633,264 mg/l. Les valeurs du calcium observées par MECHERI (2009), au niveau des eaux phréatiques de la cuvette de Ouargla variant entre 481 et 1242 mg/l et de BOUHANNA (2021), de 3345,7 à 4261,9 mg/l sont plus élevées par rapport aux teneurs dans la nappe de la vallée du M'Zab.

Le calcium joue un rôle essentiel dans la constitution des squelettes et des coquilles, et dans les phénomènes de perméabilité cellulaire. Il est concentré par les organismes à partir de l'eau ou des aliments. Il ne peut en aucun cas poser des problèmes de potabilité (AÏT BOUGHROUS, 2007).

La carte de **magnésium** (Fig. V 29) montre que dans l'ensemble des puits échantillonnés, les teneurs de magnésium sont très variables d'un puits à l'autre. Ces teneurs sont très élevées et généralement au-dessus de la norme de l'eau potable selon l'O.M.S (150 mg/l) (Annexe VI). Elles sont reflétées par l'enregistrement d'un minimum de 14,976 mg/l au niveau de puits P10 pour la station de Ghardaïa et d'un maximum de 430,156 mg/l enregistré au niveau de puits P37 de la station d'El Atteuf.

Les origines des ions de Mg^{++} sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite) (DEBIECHE, 2002 ; GOUAIDIA, 2008 ; BOUTTELI, 2011 ; NOUAYTI et *al.*, 2015).



L'A.C.P (Fig. V 9 ; Fig. V 10, 92 p) montre que le Mg^{++} est positivement liée avec les teneurs du Ca^{++} . Dans toute la zone d'étude, le Mg^{++} augmente significativement avec les teneurs des ions Ca^{++} (Annexe X).

Nos résultats représentent des teneurs proches aux études antérieures de $36 \text{ mg/l} \leq Mg^{++} \leq 528 \text{ mg/l}$ (REZZAG & BEN YAHKOUM, 2005). Or, elles sont inférieures à la valeur maximale de $816,48 \text{ mg/l}$ enregistrée dans le puits P40 de Bounoura $12,15 \text{ mg/l} \leq Mg^{++} \leq 816,48 \text{ mg/l}$ (BENHEDID, 2014). Ces teneurs sont très faibles par rapport à la valeur maximale mesurée par DJIDEL (2008) au niveau de la nappe phréatique de Ouargla $70 \text{ mg/l} \leq Mg^{++} \leq 20000 \text{ mg/l}$.

La cartographie des concentrations du **sodium** (Fig. V 30) montre des variations spatiales claires du sodium où nous avons observé des valeurs maximales au centre et à l'aval de l'Oued M'Zab. Ces concentrations dépassent les normes de l'Algérie et de l'O.M.S (200 mg/l) (Annexe V ; VI). Ces valeurs sont comprises entre $58,333 \text{ mg/l}$ dans le puits P10 de la station de Ghardaïa et $1541,666 \text{ mg/l}$ dans le puits P27 de la station de Ghardaïa.

Une consommation élevée de sodium peut causer des problèmes chez les personnes qui ont un régime appauvri en sel en raison de problèmes d'hypertension, cardiaques ou rénaux (M.E.N.E, 2008).

L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution de l'Halite ($NaCl$) (BOUTTELI, 2011). Indépendamment de la lixiviation des formations géologiques contenant du chlorure de sodium, le sel peut provenir de la décomposition des sels minéraux, comme les silicates de sodium et d'aluminium (RODIER *et al.*, 2005).

Ces teneurs sont plus élevées par rapport à l'étude de HASSANI (2009), qui a enregistré des concentrations variant entre 30 et 375 mg/l au niveau de la palmeraie de Ghardaïa, mais qui restent inférieurs par rapport à ceux de l'étude de BENHEDID (2014), comprise entre $42,857$ et 2875 mg/l . Ainsi, par les résultats obtenus par BOUTTELI (2011), $5600 \text{ mg/l} \leq Na^+ \leq 68141,67 \text{ mg/l}$ pour la nappe de Sebkhata Bamendil.

Selon la carte de répartition de **potassium** (Fig. V 31), la majorité des eaux de cette nappe ont une concentration de potassium compatible à la norme algérienne et de l'O.M.S des eaux potables (12 mg/l) (Annexe V ; VI). Ces teneurs oscillent entre $3,454 \text{ mg/l}$ au niveau du puits P27 et $20,454 \text{ mg/l}$ au niveau du puits P22 de Ghardaïa.

Selon DEBIECHE (2002) ; GOUAIDIA (2006) ; BOUTTELI (2011), le potassium provient essentiellement des évaporites, en l'occurrence la Sylvite (KCl), ou par l'altération des argiles potassiques, des formations silicatées (gneiss, schiste) et de la dissolution des engrais chimiques (NPK). La présence de cet élément peut être également liée au déversement des eaux usées domestiques.

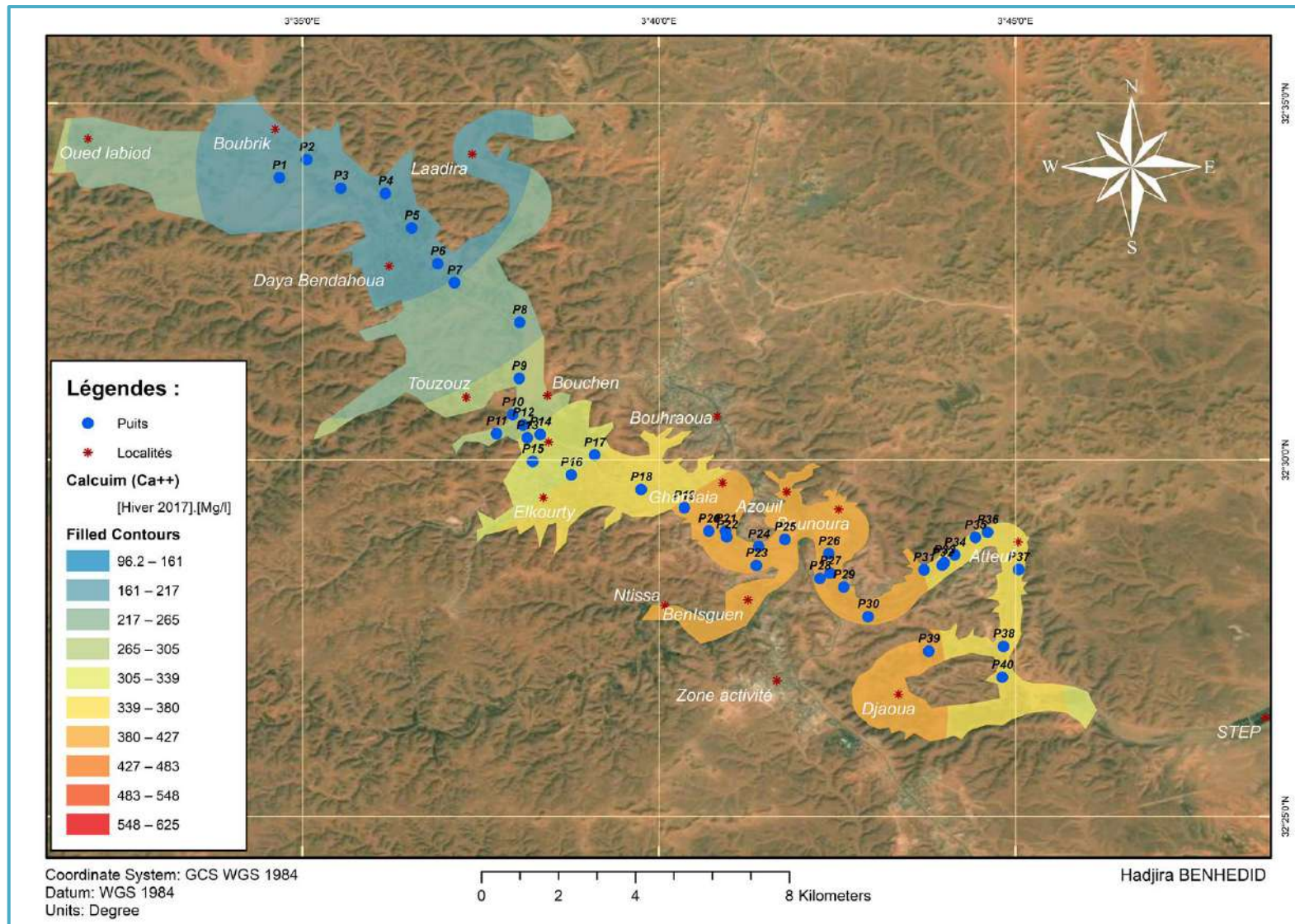


Figure V 28. Carte de la variation spatiale de Ca⁺⁺ des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab

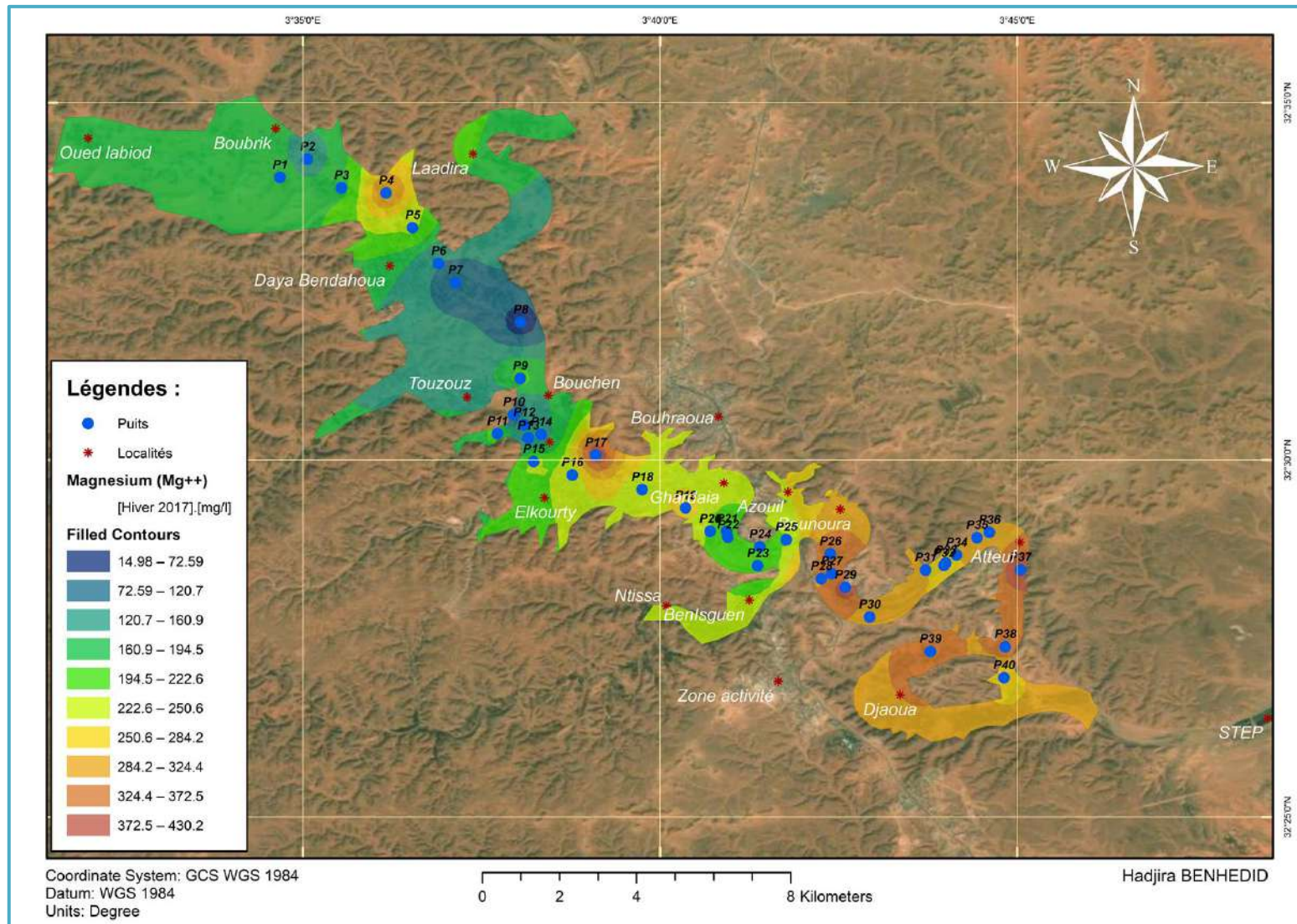


Figure V 29. Carte de la variation spatiale de Mg⁺⁺ des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab

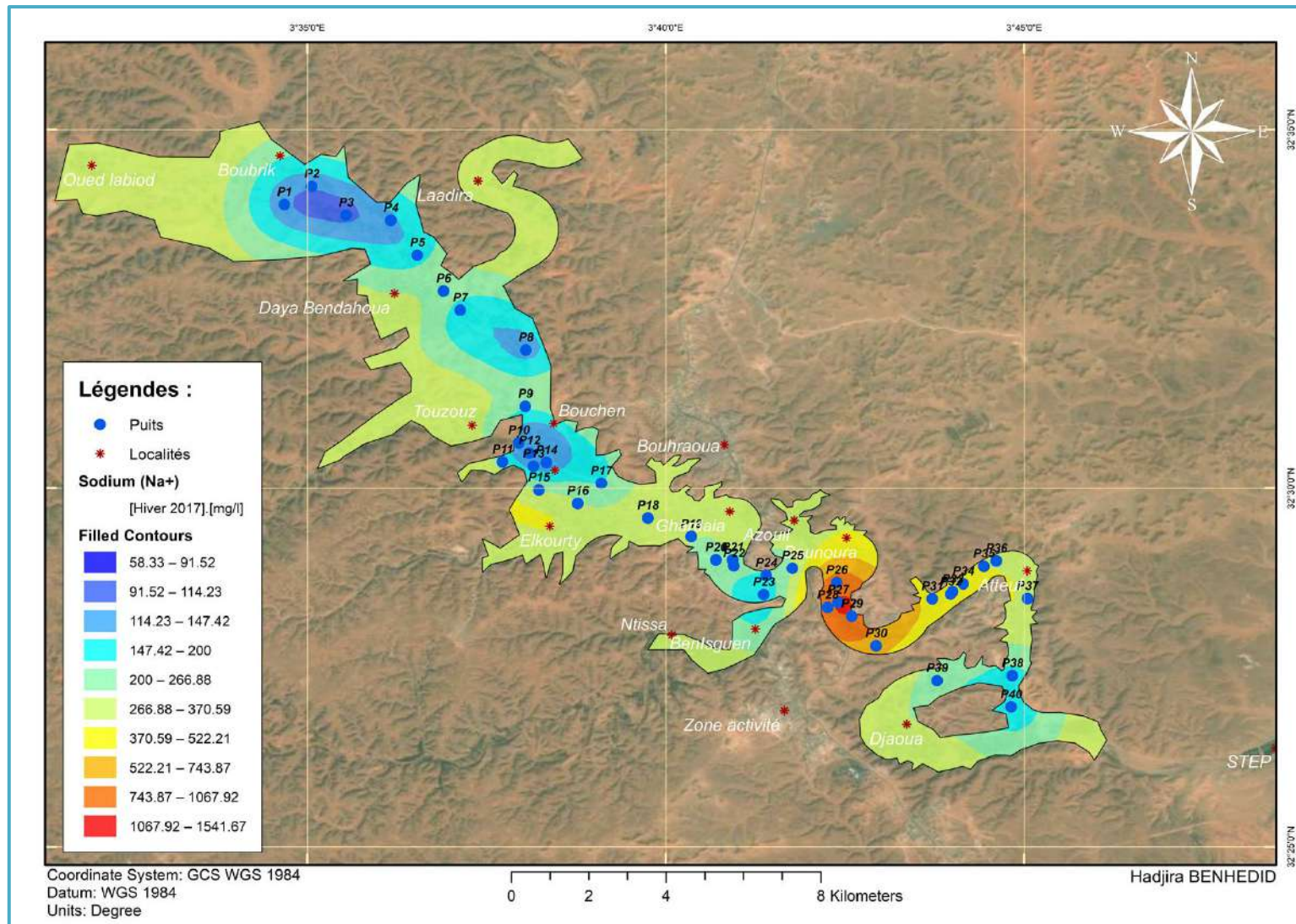


Figure V 30. Carte de la variation spatiale de Na⁺ des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab

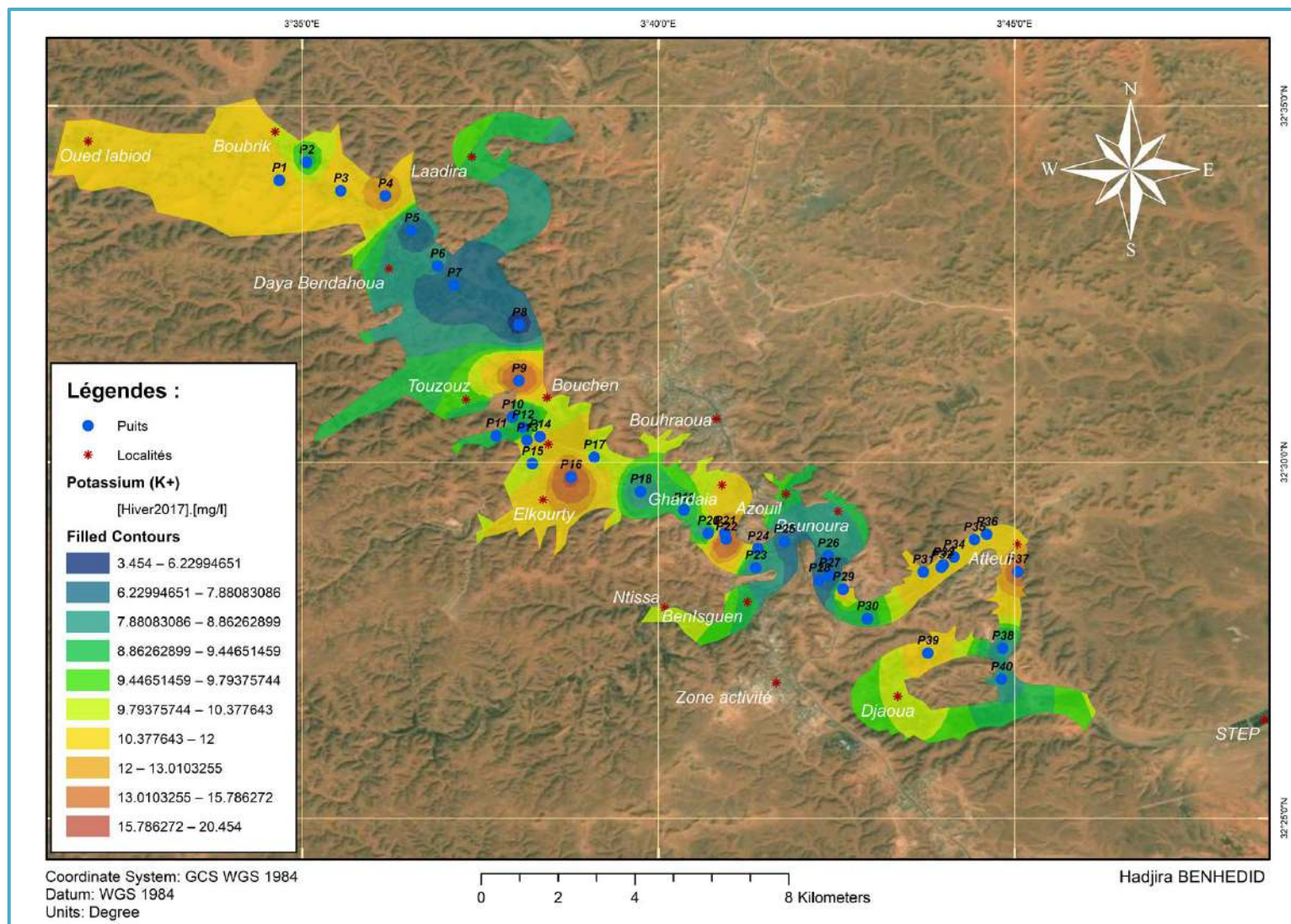


Figure V 31. Carte de la variation spatiale de K⁺ des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab



Nos résultats de K^+ sont au-dessous d'intervalle de ceux de REZZAG & BEN YAHKOUM (2005) ; BENHEDID (2014), où ils ont signalé des teneurs de $3 \text{ mg/l} \leq K^+ \leq 90 \text{ mg/l}$ et $8,333 \text{ mg/l} \leq K^+ \leq 91,66 \text{ mg/l}$. Ainsi, de l'intervalle signalé par DJIDEL (2008), au niveau de la nappe phréatique de Ouargla $20 \text{ mg/l} \leq K^+ \leq 10000 \text{ mg/l}$.

2.6.2. Anions solubles

La carte de la répartition du **chlorure** (Fig. V 32) montre des teneurs du chlorure généralement plus élevées et dépassent la norme européenne des eaux souterraines (150 mg/l), et la norme de l'eau potable selon l'O.M.S (250 mg/l) et celle de l'Algérie (500 mg/l) (Annexe IV ; V ; VI). Dans le puits P39 de El Atteuf, nous avons noté la teneur la plus élevée 2367 mg/l. Alors que la teneur le plus faible a été enregistrée dans le puits P10 de Ghardaïa avec 145,379 mg/l.

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution (N'DIAYE *et al.*, 2013).

Dans toute la zone d'étude, les chlorures augmentent de manière significative avec les teneurs des sulfates et du sodium (Annexe X), ce qui indique que ces derniers ont les mêmes origines. L'A.F.C (Fig. V 13, 96 p) montre qu'en plus de son origine naturelle dans cette nappe, il existe une augmentation artificielle de ce paramètre par les eaux usées.

Ces teneurs sont proches à celles obtenues par BENZAYET (2010), observées dans l'Oued Labiod $73,84 \text{ mg/l} \leq Cl^- \leq 2483,58 \text{ mg/l}$ et celles obtenues par BENHEDID (2014), $141,81 \text{ mg/l} \leq Cl^- \leq 2169 \text{ mg/l}$. La teneur des chlorures dans la nappe superficielle de l'Oued M'Zab est supérieure à sa concentration dans la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla obtenue par DJIDEL (2008), $200 \text{ mg/l} \leq Cl^- \leq 400 \text{ mg/l}$. Par contre, elle est au-dessous des valeurs enregistrées par MECHERI (2009), $340 \text{ mg/l} \leq Cl^- \leq 59620 \text{ mg/l}$.

Une consommation prolongée d'une eau contenant 1000 mg/l de chlorure peut être préjudiciable aux personnes atteintes de maladie cardiovasculaires et rénales (BENRAIS, 1995). Pour un usage agricole, les teneurs en chlorures peuvent limiter certaines cultures. Dès que sa teneur dépasse une certaine valeur, le chlore est absorbé par les racines et s'accumule dans les feuilles. Il provoque des brûlures débutant à la pointe des feuilles âgées et progressant vers l'arrière, en suivant les bords du limbe (RODIER *et al.*, 2009).

La carte (Fig. V 33) représente des teneurs très élevées en **sulfates** dans la plupart des puits prospectés, surtout en aval de l'Oued, où elles sont supérieures à la norme européenne des eaux souterraines (250 mg/l), et la norme de l'eau potable selon l'O.M.S (250 mg/l) et l'Algérie (400 mg/l) (Annexe IV ; V ; VI), excepté le puits P10 ayant une valeur relativement



faible. Les teneurs des sulfates varient dans un intervalle borné par une limite inférieure de 17,58 mg/l, notée dans le puits P10 de Ghardaïa, et une limite supérieure de 2465,789 mg/l mesurée dans le puits P26 de Bounoura.

D'après AÏTBOUGHROUS (2007) ; GOUAIDIA (2008) ; BOUTTELI (2011), la présence des ions sulfatés dans l'eau est liée, d'une part, à la dissolution des formations gypseuses, et d'autre part, au déversement des eaux usées. L'A.C.P (Fig. V 9 ; Fig. V 10), montre que le SO_4^- est positivement liée aux les Cl^- .

La comparaison de nos résultats avec les études antérieures réalisées dans différentes zones de la vallée du M'Zab montre une variation des valeurs minimales et maximales à celles qui sont mesurées $80,16 \text{ mg/l} \leq \text{SO}_4^- \leq 2597,3 \text{ mg/l}$ (REZZAG & BEN YAHKOUM, 2005), $339,53 \text{ mg/l} \leq \text{SO}_4^- \leq 3076,34 \text{ mg/l}$ au niveau d'El Atteuf (TALEB BAHMED, 2008), et $6,384 \text{ mg/l} \leq \text{SO}_4^- \leq 4021,458 \text{ mg/l}$ (BENHEDID, 2014). Les concentrations des SO_4^- dans la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla sont très élevées ($1000 \text{ mg/l} \leq \text{SO}_4^- \leq 31000 \text{ mg/l}$) (DJIDEL, 2008).

La présence des sulfates en quantités supérieures à 300 mg/l peut entraîner dans certaines conditions l'altération des matériaux de construction (corrosion des réservoirs de stockage) et accélère la corrosion du fer (RODIER et *al.*, 2005). Un taux élevé de sulfate dans l'eau cause des diarrhées à l'être humain, et aussi, il peut causer une agression de la flore intestinale (BENTOUATI & BOUZIDI, 2011).

Selon la carte de répartition des **bicarbonatées** (Fig. V 34), on observe qu'ils sont très variables d'un puits à l'autre. Dans le puits P36 d'El Atteuf, les teneurs en HCO_3^- sont les plus élevées de 642,48 mg/l. Alors que les teneurs les plus faibles ont été enregistrées dans le puits P24 de Bounoura avec 120,332 mg/l. La majorité de ces teneurs ne dépassent pas la norme de l'eau potable selon l'O.M.S (500 mg/l) (Annexe VI), sauf les deux puits P36 et P37 d'El Atteuf qui ont des teneurs relativement élevées, ces concentrations sont relativement élevées, ce qui peut être dû à la dissolution des calcaires en bicarbonates. Selon DEBIECHE (2002), la présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire) par des eaux chargées en gaz carbonique. Cela semble probable pour nos eaux, car la relation est significative entre Mg^{++} et Ca^{++} ; et entre le Mg^{++} et les HCO_3^- (Annexe X).

Ces concentrations sont supérieures à celles obtenues par HASSANI (2009), $161,5 \text{ mg/l} \leq \text{HCO}_3^- \leq 475 \text{ mg/l}$ et celles de BENHEDID (2014), $10 \text{ mg/l} \leq \text{HCO}_3^- \leq 450 \text{ mg/l}$, mais inférieures à la valeur maximale signalée par DJIDEL (2008), au niveau de la nappe de Ouargla $50 \text{ mg/l} \leq \text{HCO}_3^- \leq 1000 \text{ mg/l}$.

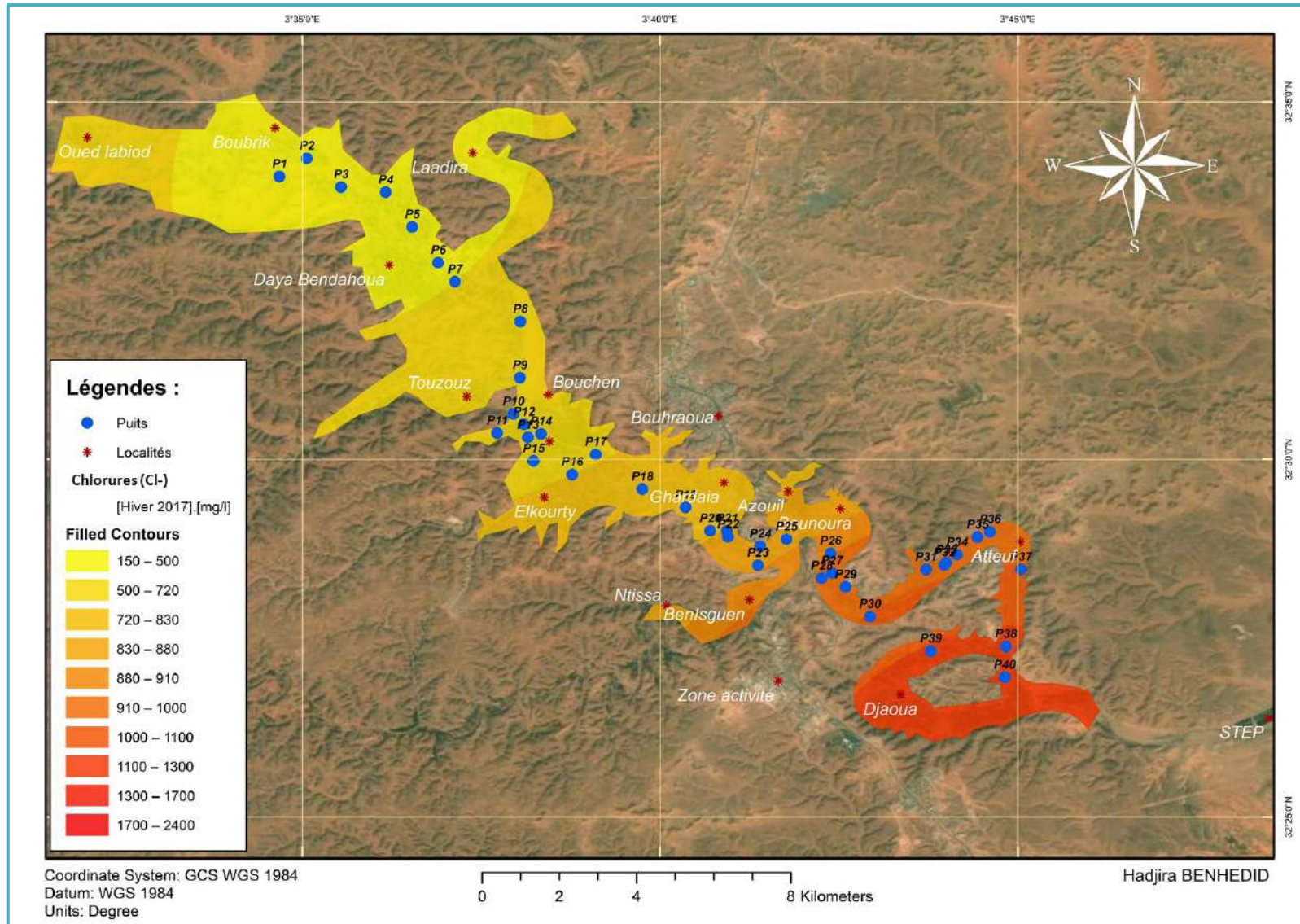


Figure V 32. Carte de la variation spatiale de Cl⁻ des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab

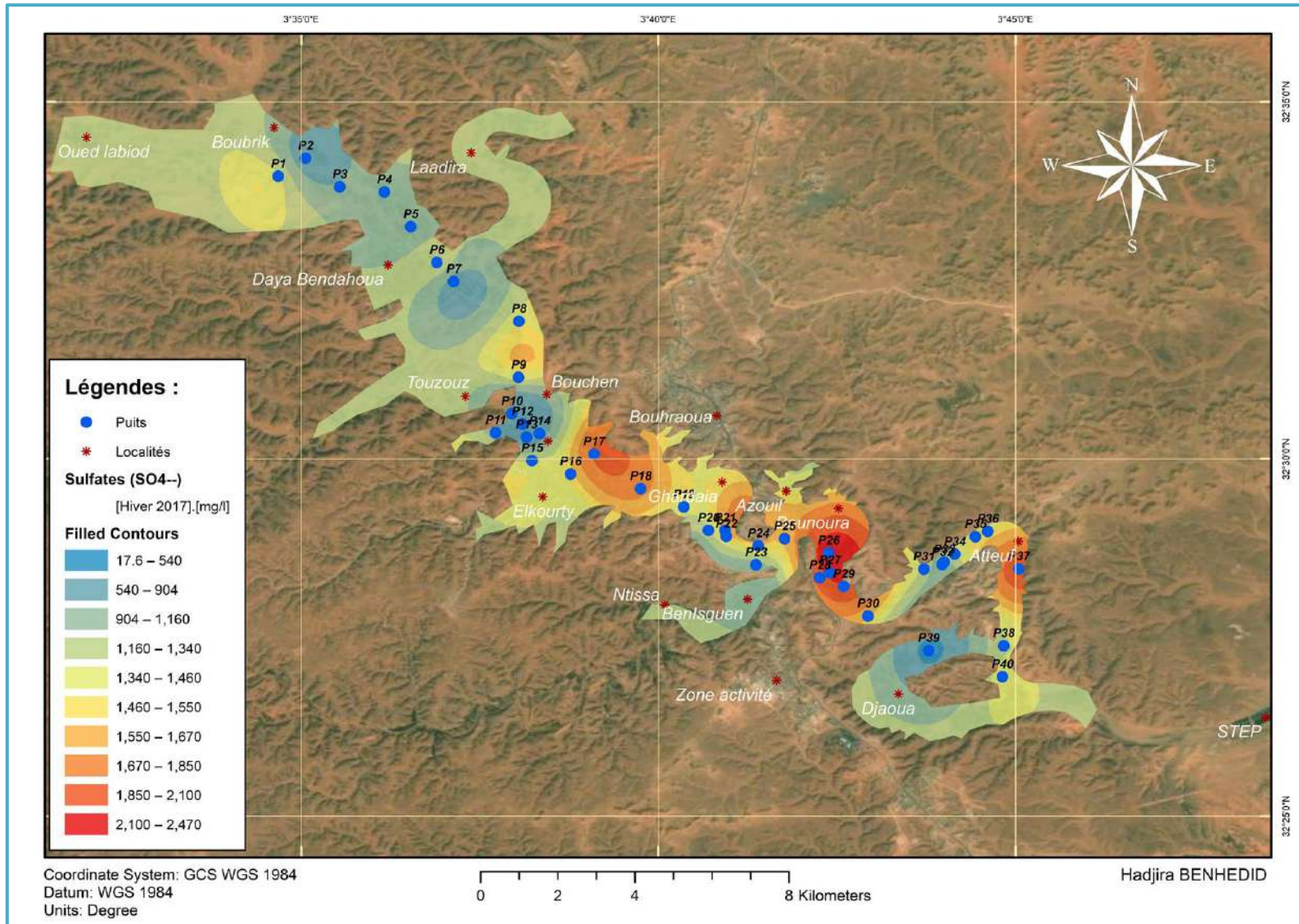


Figure V 33. Carte de la variation spatiale des SO₄²⁻ des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab

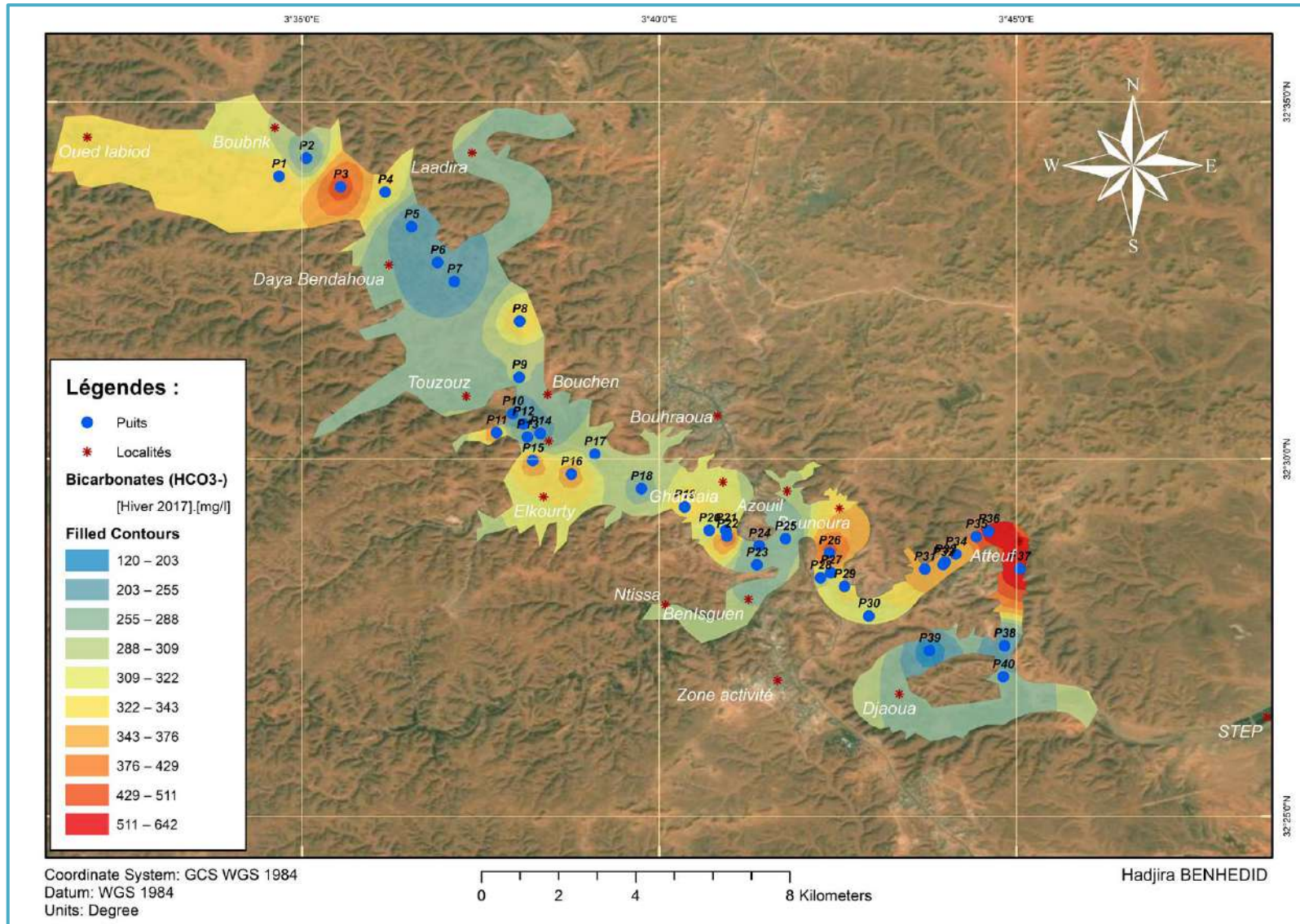


Figure V 34. Carte de la variation spatiale des HCO₃⁻ des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab



2.6.3. Faciès chimiques des eaux

Pour mieux déterminer le faciès chimique des eaux de la région d'étude, une représentation graphique sur le diagramme triangulaire de PIPER a été effectuée à partir des résultats analytiques obtenus.

La présentation des résultats des analyses hydro-chimiques pour tous les puits sur ce type de diagramme (Fig. V 35 ; V 36) a permis d'avoir une approche globale sur les faciès chimiques des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab. Cette représentation a montré des grandes variations des faciès dans la vallée du M'Zab qui peuvent être d'origine géologique ou anthropique. Nous remarquons en général que le faciès cationique des eaux de la nappe étudiée est dominé, soit par le sodium, le calcium ou le magnésium. Mais en général, nous constatons un équilibre entre ces cations avec des proportions variables. De même, le faciès anionique est dominé, soit par les sulfates ou les chlorures, mais en général, il est sulfaté.

En amont de l'Oued M'Zab (station Daya Bendahoua), une dominance sulfatée magnésienne.

Au centre de l'Oued (station de Ghardaïa et de Bounoura), la dominance est entre le faciès sulfaté équilibré calcique magnésien et sodique, et du faciès sulfaté magnésien.

En aval de l'Oued M'Zab, une dominance sulfatée équilibrée calcique magnésienne et sodique.

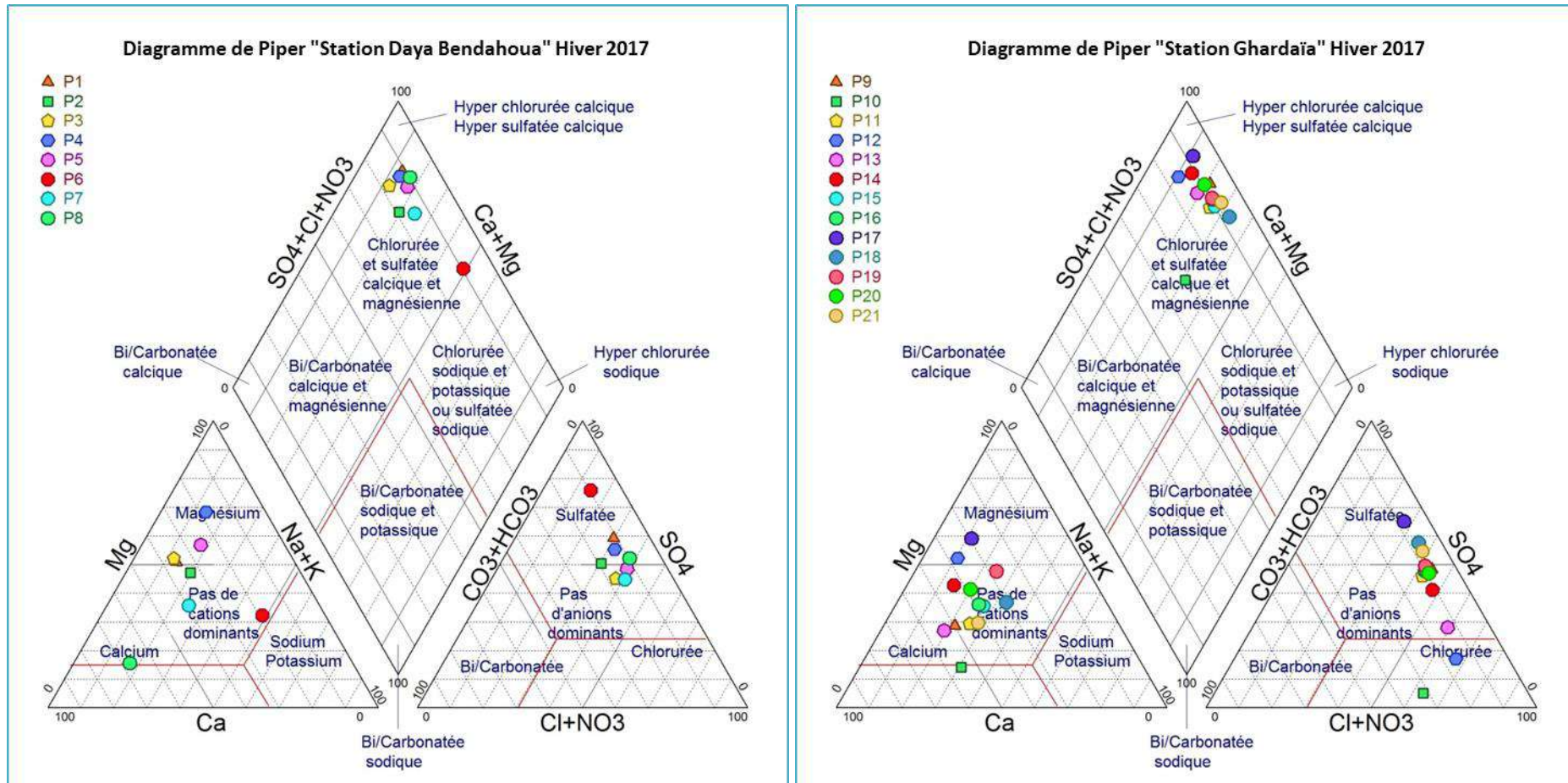


Figure V 35. Faciès chimique des eaux d'après le diagramme de PIPER

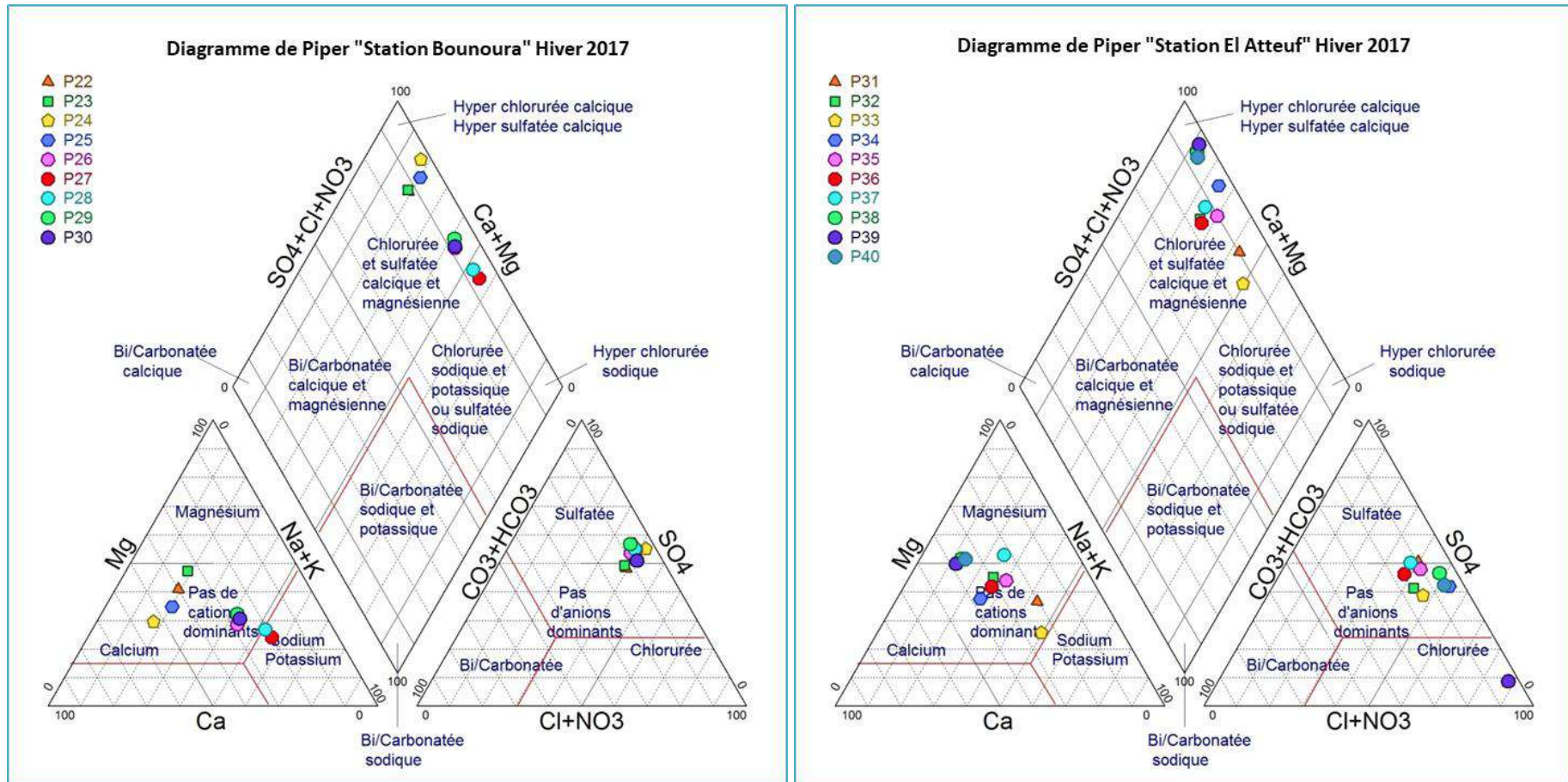


Figure V 36. Faciès chimique des eaux d'après le diagramme de PIPER



2.7. Aptitude des eaux à l'irrigation

Pour évaluer la qualité de ces eaux pour l'irrigation et les influences de ces eaux sur les sols et les cultures dans cette région, nous avons étudié la salinité et la sodicité.

2.7.1. Salinité de l'eau

Selon MERMOUD (2006), la salinisation est le processus d'accumulation des sels à la surface du sol et dans la zone racinaire qui occasionne des effets nocifs sur les végétaux et le sol. Il s'en suit une diminution des rendements et, à terme, une stérilisation du sol.

La classification de la salinité des eaux, donnée par le laboratoire de RIVERSIDE et modifiée par DURAND (1983), montre la présence de trois classes suivantes (Tabl. VI ; Fig. V 37) :

- **Classe C3 ($750 < C.E < 2250 \mu S/cm$)** : elle représente six échantillons seulement sur l'ensemble des points des eaux analysées avec un pourcentage de 20 %, avec un pourcentage de 75 % dans la station de Daya Bendahoua pour les puits P1, P2, P3, P4, P7 et P8 et les deux puits P10 et P12 de Ghardaïa. Ce sont des eaux inutilisables pour les sols à drainage restreint. Même avec un bon drainage, des pratiques spéciales de contrôle de la salinité peuvent être nécessaires et les plantes ayant une bonne tolérance aux sels peuvent seules être cultivées ;
- **Classe C4 ($2250 < C.E < 5000 \mu S/cm$)** : elle comporte seize puits, soit un pourcentage de 40 % ; ce qui montre que les eaux de cette nappe ont une très forte salinité. Ces eaux sont inutilisables normalement, à l'exception des sols très perméables avec un bon drainage, et l'eau d'irrigation appliquée en excès pour assurer un fort lessivage du sol. Les plantes cultivées devront être très tolérantes aux sels ;
- **Classe C5 ($5000 < C.E < 20000 \mu S/cm$)** : l'addition de cette classe par DURAND (1983), pour tenir compte des eaux sahariennes très salines qui sont supérieures à 5000 $\mu S/cm$, la limite des 20000 a été choisie en tenant compte de la tolérance du palmier dattier. Elle représente la moitié des points situés dans la station d'El Atteuf avec 50 % et 56 % pour les puits de Bounoura, alors qu'elle représente 40 % de l'ensemble des puits.

Les eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab représentent, en général, des eaux à salinité très forte, 40 % des puits, 40 % des eaux à salinité excessive et 20 % des eaux à forte salinité. Cette situation traduit l'effet de la lithologie, d'une part, et l'effet anthropique d'autre part (augmentation des concentrations des ions par les rejets des eaux usées).

D'après DADDI BOUHOUN (1997) ; COUTURE (2004), la C.E élevée des eaux pourrait provoquer un excès des sels solubles dans le sol, et engendrer ainsi une diminution de



l'absorption de l'eau par les plantes (phénomène de la pression osmotique), et par conséquent, une réduction de la croissance végétale en fonction de la tolérance des cultures à la salinité.

Tableau VI. Classes de salinité des eaux d'irrigation dans la vallée du M'Zab

Salinité Stations	C3 Forte salinité		C4 Très forte salinité		C5 Salinité excessive	
	Nombre de puits	%	Nombre de puits	%	Nombre de puits	%
Daya Bendahoua	6	75	1	12,5	1	12,5
Ghardaïa	2	15	6	46	5	39
Bounoura	0	0	4	44	5	56
El Atteuf	0	0	5	50	5	50
Total	8	20	16	40	16	40

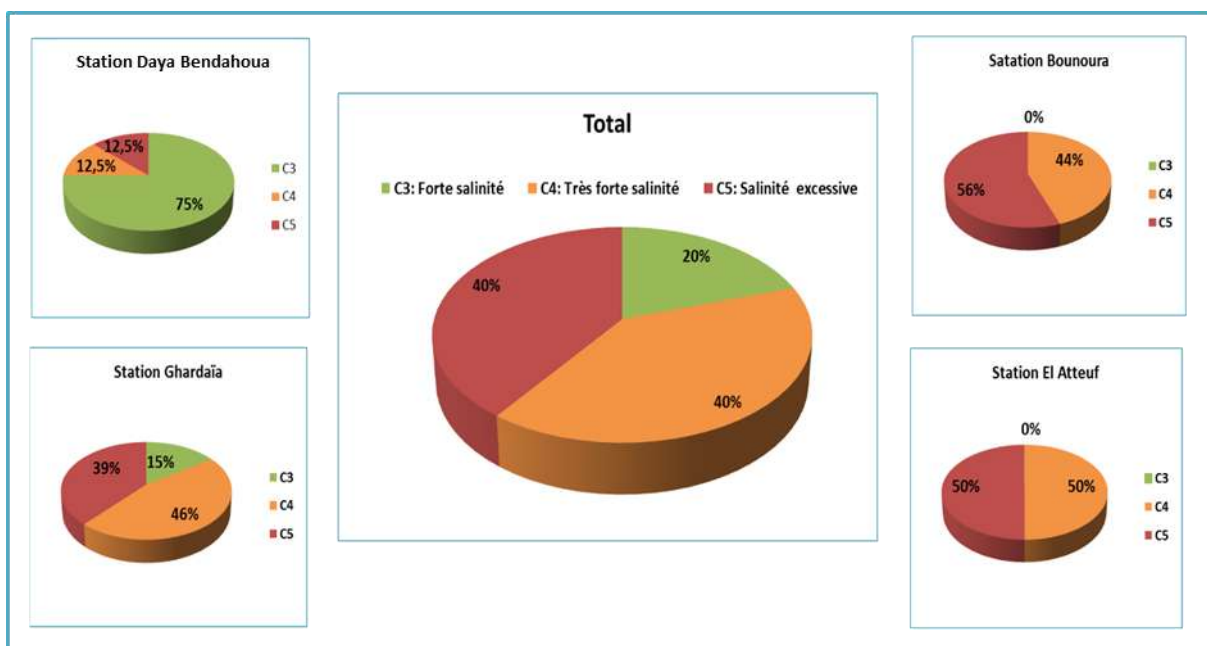


Figure V 37. Classes de salinité des eaux d'irrigation des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab

2.7.2. Sodicité des eaux

Selon CHEVERRY (1972), la fixation du sodium sur le complexe du sol, d'où le processus d'alcalinisation, avec ses conséquences éventuelles sur les propriétés du sol, la dispersion des argiles, la dégradation de la structure, la perte de perméabilité et l'asphyxie du milieu.

La classification de RIVERSIDE, permet de déterminer le risque d'alcalinisation par classe en fonction du S.A.R et de la C.E des eaux sur le diagramme de RIVERSIDE (Fig. V 39 ; V 40). Elle montre la présence des quatre classes suivantes (Tabl. VII ; Fig. V 38) (DURAND, 1983) :



- **Classe S1** : la moitié des puits appartient à cette classe avec un pourcentage de 52 %, notamment les eaux du puits de Daya Bendahoua avec 87 %. Ce sont des eaux utilisables pour l'irrigation de presque tous les sols avec peu de danger d'alcalinisation ;
- **Classe S2** : elle ne représente que 30 % du nombre total des points d'eau. Le danger d'alcalinisation du sol est appréciable dans les sols à texture fine et à forte capacité d'échange. Cette eau est utilisable sur les sols à texture grossière ou les sols organiques ayant une bonne perméabilité ;
- **Classe S3** : cette classe représente des eaux pouvant provoquer l'apparition d'une alcalinité dangereuse dans la plupart des sols ; leur emploi exigera un bon drainage, fort lessivage, addition de matière organique, représentant 13 % des puits ;
- **Classe S4** : le danger d'alcalinisation est très fort, de telles eaux sont utilisables pour l'irrigation si leur faible salinité permet l'addition de calcium soluble ou si le sol en contient suffisamment. Elle ne représente que deux puits P27 et P28 de Bounoura avec un pourcentage de 5 %.

Tableau VII. Classes de la sodicité des eaux de l'aquifère superficiel de l'Oued M'Zab

Stations Sodicité	Daya Bendahoua		Ghardaïa		Bounoura		El Atteuf		Total	
	Nbre	%	Nbre	%	Nbre	%	Nbre	%	Nbre	%
S1	7	87	6	46	4	45	4	40	21	52
S2	1	13	7	54	0	0	4	40	12	30
S3	0	0	0	0	3	33	2	20	5	13
S4	0	0	0	0	2	22	0	0	2	05

Nbre : Nombre de puits

L'emploi d'une eau d'irrigation riche en sodium se traduit généralement par une accumulation du sodium dans le sol. Les modifications qui peuvent apparaître dans le sol sont fonction des fréquences d'irrigations (AYERS & WESTCOT, 1988 in DIB, 2009). Les cultures absorbent le sodium en même temps que l'eau, et celui-ci se concentre dans les feuilles, tandis que l'eau s'échappe par transpiration. Il peut en résulter une toxicité si l'accumulation du sodium atteint une concentration, dépassant la tolérance de la culture. Les symptômes caractéristiques en sont les brûlures et le roussissement du feuillage, ainsi qu'une nécrose des tissus situés sur le bord des feuilles. Souvent, la toxicité par le sodium se modifie et s'atténue en présence du calcium (DIB, 2009).

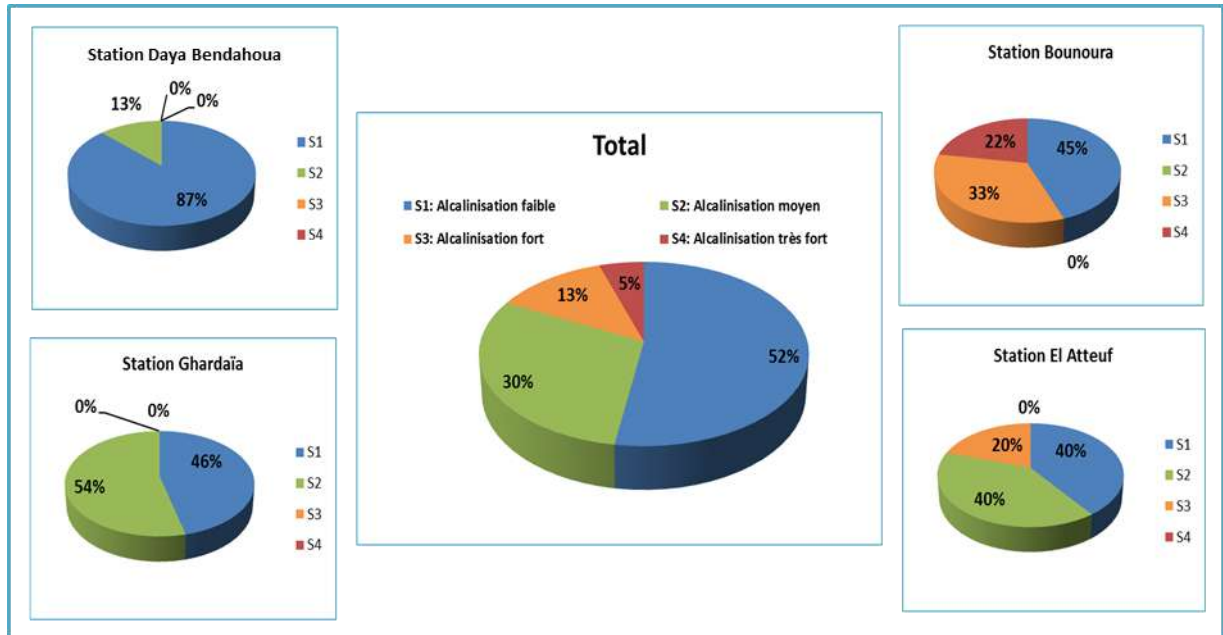


Figure V 38. Classes de la sodicité des eaux de la nappe superficielle de l’Oued M’Zab

2.7.3. Classification des eaux d’irrigation

Les diagrammes de RIVERSIDE (Fig. V 39 ; V 40) parallèlement à la détermination du risque de l’alcalinisation permettent de donner la classification des eaux d’irrigation en fonction des paramètres mesurés de la C.E et du S.A.R. Ils nous ont permis de détecter huit classes d’eau dans la vallée du M’Zab, comme suit (Tabl. VIII) :

- **Classe C3-S1** : cette classe renferme des eaux de forte salinité avec un danger d’alcalinisation faible. Elle ne représente que huit puits avec un pourcentage de 20 % des puits ;
- **Classe C4-S1** : elle représente les eaux de très forte salinité avec un danger d’alcalinisation faible, avec 27 % des points des eaux analysées ;
- **Classe C4-S2** : elle représente les eaux de très forte salinité avec un danger d’alcalinisation moyen. Elle représente deux puits seulement de la station Ghardaïa avec 5 % des puits ;
- **Classe C4-S3** : elle représente les eaux de très forte salinité avec un danger d’alcalinisation fort. Elle comporte trois puits, soit un pourcentage de 8 % ;
- **Classe C5-S1** : elle renferme des eaux d’une salinité excessive avec un danger d’alcalinisation faible. Elle représente deux puits, soit 5 % de l’ensemble des puits ;
- **Classe C5-S2** : elle renferme des eaux d’une salinité excessive avec un danger d’alcalinisation moyen, d’un pourcentage de 25 % ;



- **Classe C5-S3** : avec un pourcentage de 5 % pour l'ensemble des puits, avec 22 % pour Bounoura, ce sont des eaux d'une salinité excessive avec un danger d'alcalinisation fort ;
- **Classe C5-S4** : cette classe est rencontrée aux deux puits à Bounoura et ne représente que 5 % des puits, ce sont des eaux d'une salinité excessive, avec un danger d'alcalinisation très fort.

Les eaux en général présentent un risque de salinisation pour les sols, ce qui exige une bonne conduite de l'irrigation qui permet le lessivage des sels, afin d'éviter le stress salin pour les cultures. Le danger d'alcalinisation est moyen avec un risque de toxicité sodique possible pour les cultures sensibles.

Tableau VIII. Classes des eaux de l'aquifère superficielle de l'Oued M'Zab

Stations Classes des eaux	Daya Bendahoua		Ghardaïa		Bounoura		El Atteuf		Total	
	Nbre	%	Nbre	%	Nbre	%	Nbre	%	Nbre	%
C3-S1	6	75	2	15	0	0	0	0	8	20
C4-S1	1	12,5	4	31	3	34	3	30	11	27
C4-S2	0	0	2	15	0	0	0	0	2	5
C4-S3	0	0	0	0	1	11	2	20	3	8
C5-S1	0	0	0	0	1	11	1	10	2	5
C5-S2	1	12,5	5	39	0	0	4	40	10	25
C5-S3	0	0	0	0	2	22	0	0	2	5
C5-S4	0	0	0	0	2	22	0	0	2	5

Nbre : Nombre des puits

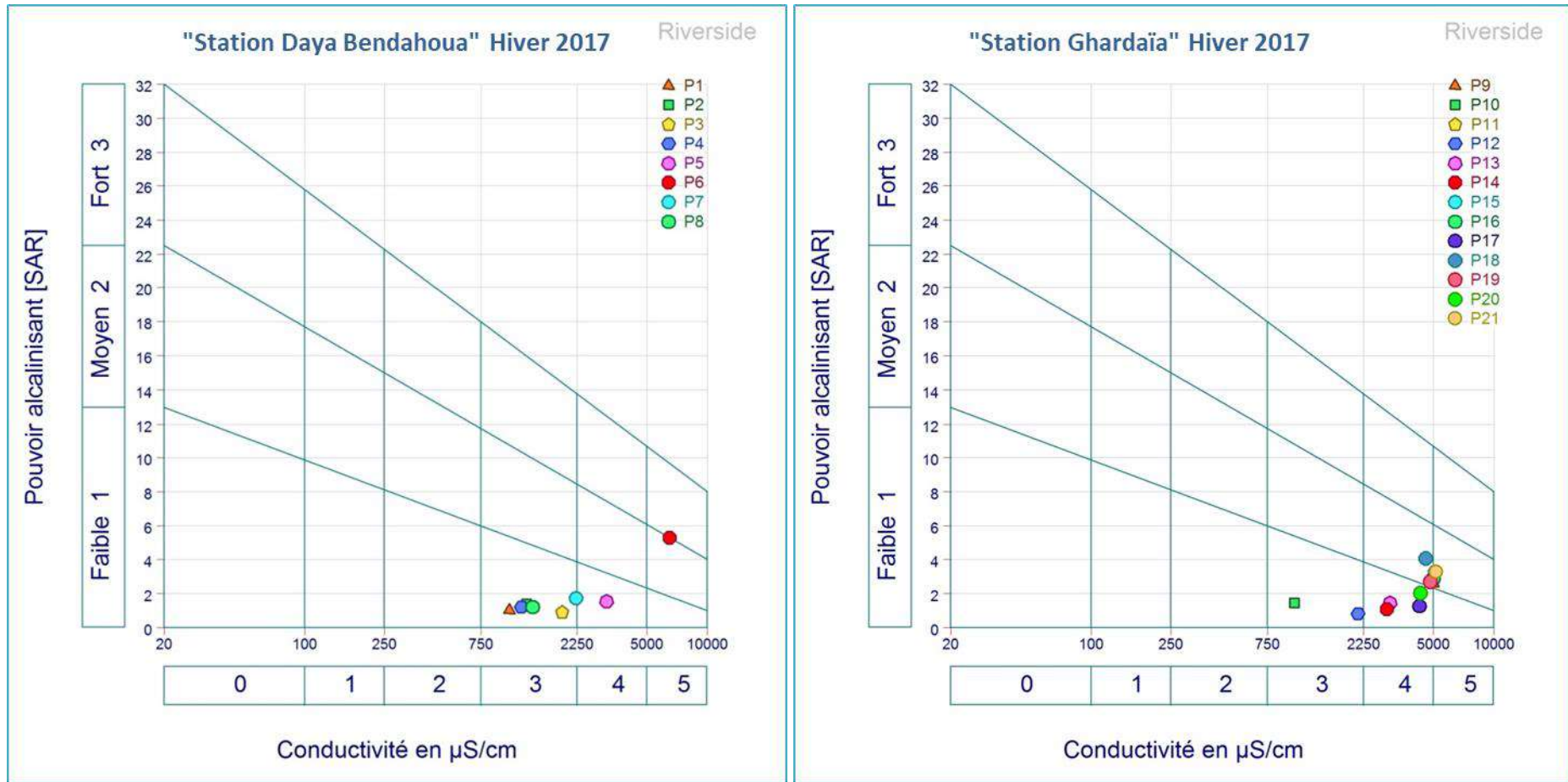


Figure V 39. Qualité des eaux d’irrigation dans la station de Daya Bendahoua et Ghardaïa en fonction de la C.E et du S.A.R

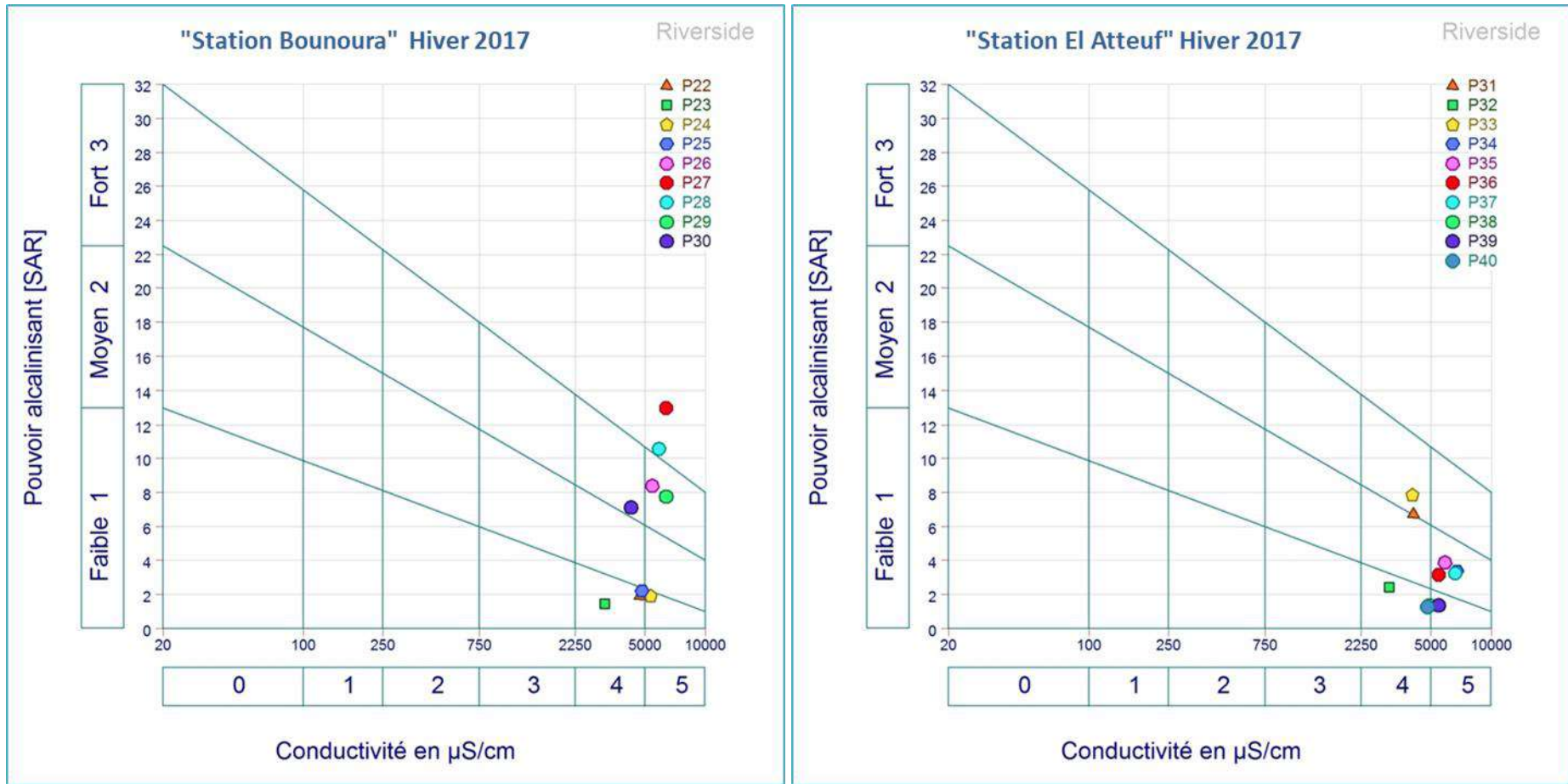


Figure V 40. Qualité des eaux d’irrigation dans la station de Bounoura et d’El Atteuf en fonction de la C.E et du S.A.R



3. Etude microbiologiques de la nappe superficielle

Les résultats des analyses des bactéries indicatrices de la contamination fécale effectuées sur vingt puits répartis sur le long de l'Oued M'Zab indiquent la présence de coliformes totaux et fécaux, de streptocoques totaux et fécaux et l'absence des clostridium (Fig. V 41 ; V 42). Cela confirme la contamination de la nappe superficielle par les eaux usées, provenant des fosses septiques et par l'infiltration de ces eaux déversées directement dans le lit d'Oued M'Zab.

3.1. Coliformes totaux et fécaux

Les coliformes totaux (C.T) sont utilisés depuis très longtemps comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau. Elles sont des bactéries en forme de bâtonnet, aérobies ou anaérobies facultatives (I.N.S.P.Q, 2013). Les coliformes fécaux (C.F) ou coliformes thermotolérants, sont un sous-groupe des coliformes totaux. Ils sont des bactéries anaérobiques facultatives, à Gram négatif, asporulées, en forme de bâtonnet. L'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est l'*Escherichia coli* (*E. coli*). La présence de coliformes fécaux témoigne habituellement d'une contamination d'origine fécale (I.N.S.P.Q, 2013 ; C.E.A.E.Q, 2014).

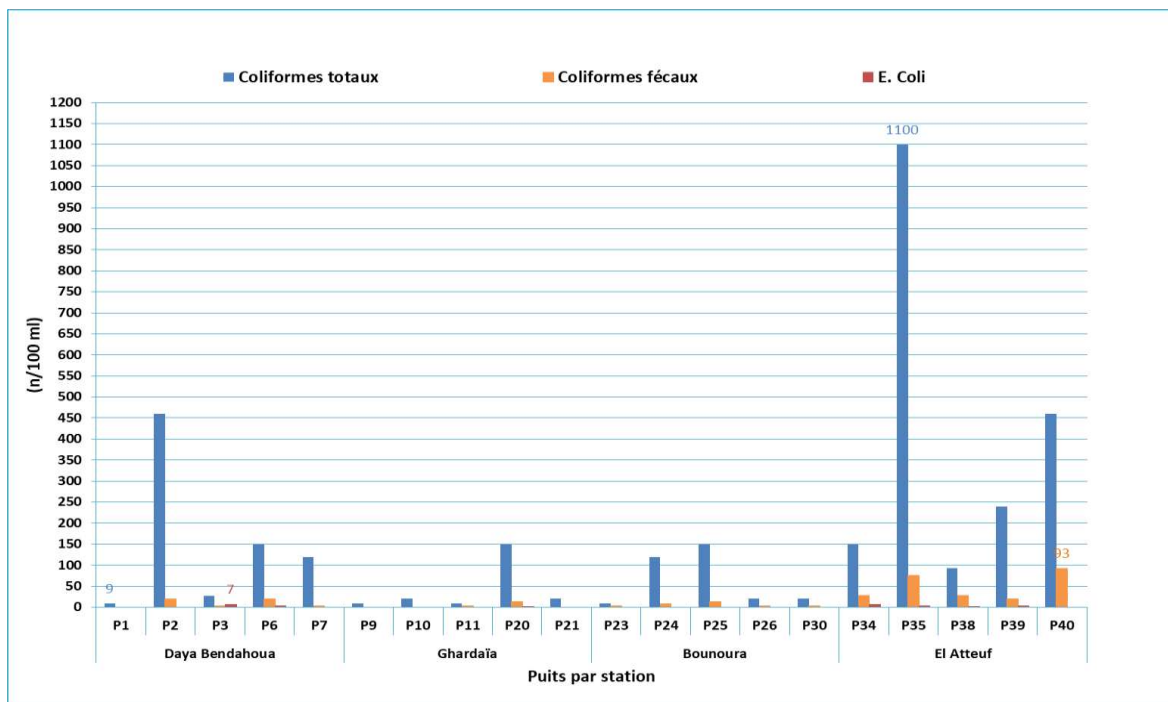


Figure V 41. Résultats des analyses bactériologiques de C.T, C.F, et E.Coli

Les teneurs de coliformes totaux oscillent entre 9 et 1100 germes/ 100 ml, et dépassent la valeur norme de l'eau potable selon l'O.M.S et l'Algérie (Annexe V ; VI). Elles sont très variables d'un puits à un autre, mais généralement très élevées dans le puits P35 d'El Atteuf (Fig. V 41).



Les teneurs de coliformes fécaux sont généralement présentes dans la plupart des puits, contaminés par les eaux usées, et dépassent la norme des eaux potables (Annexe V ; VI), excepté les puits P1, P9, P10 et P21 qui ne sont pas contaminés par ces bactéries. Les teneurs varient dans un intervalle de 0 et 93 germes/ 100 ml (Fig. V 41).

La majorité des points analysés sont dépourvus de E. Coli, or on a noté une valeur maximale dans les puits P3 et P34 de 7 germes/ 100 ml (Fig. V 41). L'O.M.S (2004) énonce que la présence d'E. Coli apporte la preuve incontestable d'une pollution fécale récente. Selon AYAD & KAHOUL (2016), l'espèce E.coli permet de mettre en évidence une pollution d'origine fécale. Ce germe provient exclusivement des intestins d'animaux à sang chaud, y compris les humains et sa présence est l'indicateur le plus précis de la contamination fécale. Cette contamination serait due au fumier, aux fosses septiques, aux latrines et aux déchets de toute nature existants dans les terrains avoisinants les puits.

Les concentrations très élevées de ces coliformes sont observées dans les endroits non raccordés au réseau d'assainissement. Leur présence indique une contamination de la nappe par des matières fécales, provenant des fosses septiques et des rejets des eaux usées non traitées. De même, dans les zones agricoles par l'utilisation des fumiers organiques des animaux, ce qui montre un risque sanitaire d'origine microbienne.

3.2. Streptocoques totaux et fécaux

Le terme "streptocoques fécaux" désigne les streptocoques généralement présents dans les fèces de l'homme et des animaux. Ils se présentent sous forme de cocci, Gram positif (O.M.S, 1994).

Le nombre de streptocoques totaux oscille entre 0 et 210 germes/100 ml, sa présence est observée dans tous les puits analysés, excepté les puits P10, P23 et P26 qui ne sont pas contaminés. En ce qui concerne les streptocoques fécaux, leur présence est dans la majorité des puits, sauf les puits P10, P20, P23 et P26 (Fig. V 42). Cela indique que ces eaux sont impropres pour la consommation en eau potable vis-à-vis de ces germes et peuvent créer des risques sanitaires.

3.3. Clostridium Sulfito-réducteurs

Les bactéries du genre Clostridium sont des bacilles à Gram positif, anaérobies strictes, mobiles sporulantes, catalase négative (FRANCK, 2002). Les Clostridium sulfito-réducteurs sont souvent considérés comme des témoins de la pollution fécale. La forme spore, beaucoup plus résistante que les formes végétatives des coliformes fécaux et des streptocoques fécaux, permettrait ainsi de déceler une pollution fécale ancienne ou intermittente (RODIER *et al.*, 2009).



Les résultats des analyses obtenus montrent l'absence de Clostridiiums sulfito-réducteurs dans tous les puits analysés.

Les Clostridiiums sulfito-réducteurs étant pratiquement toujours présents dans les rivières et les sols, leur absence dans une nappe sous-jacente, et surtout l'absence de leurs spores, de moindre taille, plus difficiles à retenir, constituent un bon signe de l'efficacité de la filtration naturelle (RODIER *et al.*, 2009).

L'absence de Clostridium sulfito-réducteur (Fig. V 42) signifie une efficacité de la filtration naturelle. La présence des spores d'anaérobies sulfito-réducteurs dans une eau naturelle fait penser à une contamination fécale, et en l'absence de bactéries Coliformes, à une contamination déjà ancienne (O.M.S, 1994). L'absence de Clostridium dans les eaux des puits échantillonnés prouve que la pollution n'est pas ancienne.

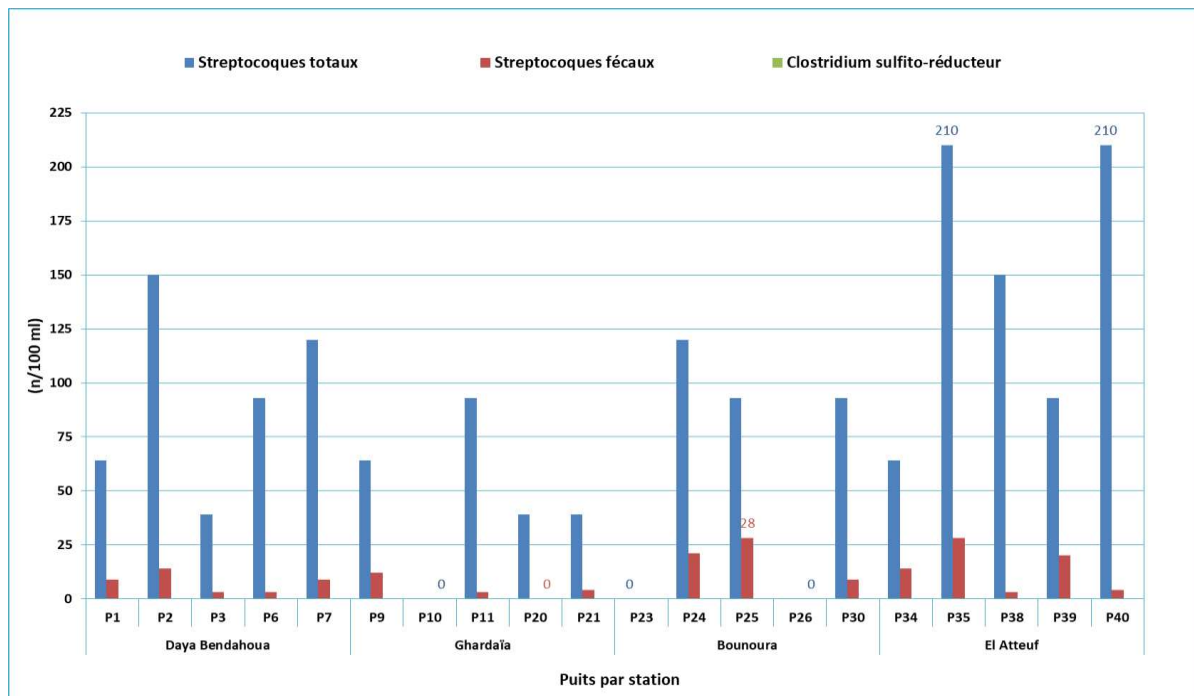


Figure V 42. Résultats des analyses bactériologiques de S.T, S.F et Clostridium sulfito-réducteur

Le dénombrement des bactéries indicatrices de la contamination fécale, montre la diminution du taux de ces bactéries avec la préservation de l'absence totale des Clostridiiums par rapport à notre étude en 2013 (BENHEDID, 2014). La réduction de la charge de ces bactéries prouve le rabattement de la contamination de la nappe superficielle par les eaux usées. Aussi les propriétaires des puits ont déclaré qu'ils ajoutent la chaux dans les puits de façon aléatoire et par quantités non déterminées dans le but de les désinfecter. En notant aussi que la contamination fécale est nulle dans certains puits, selon DJIDEL (2008), due à une stérilité par la très forte salinité des eaux.



Conclusion

La caractérisation spatiale de la qualité hydro-chimique et biologique des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab pendant la période des hautes eaux, a permis de constater des variations dans les paramètres étudiés.

Les eaux sont claires, proches de la neutralité et fortement salines augmentant avec un ordre croissant de l'amont vers l'aval suivant le sens d'écoulement des eaux. Le faciès des eaux est variable, de dominance cationique sodique ou calcique ou magnésique ou équilibrée et de dominance anionique chlorurée ou sulfatée. La répartition spatiale des éléments chimiques est fort probablement influencée par la nature géologique des couches traversées par les puits, des fois riches en évaporites ou par une contamination anthropique agro-urbaine, favorisant l'augmentation de certains éléments, comme le potassium, les chlorures et les sulfates.

La classification agricole des eaux indique qu'elles présentent une qualité médiocre pour l'irrigation, notamment en aval de l'Oued à Bounoura et El Atteuf, à cause des risques de salinisation et d'alcalinisation des sols.

L'analyse des paramètres de pollution des eaux montre des variations des concentrations de forme azotée, avec la dominance des nitrates dans la majorité des puits étudiés, témoignant d'une forte nitrification. Celle-ci reste liée à la présence de conditions physico-chimiques favorisant l'activité des nitrobacters et nitrosomonas, notamment l'oxygénation des eaux. Les teneurs de la D.B.O₅ et D.C.O indiquent une moyenne contamination organique des eaux, d'origine variable.

Les eaux ne présentent pas une pollution phosphorée. Toutefois, les concentrations des phosphates augmentent en zones de fosses septiques.

Les analyses bactériologiques confirmant la contamination de la nappe par les eaux usées. L'absence des spores de bactéries, de type Clostridium sulfito-réducteur prouve que la pollution des eaux est récente dans la vallée du M'Zab.

L'étude chimique et bactériologique des eaux de la nappe montre une pollution importante dans la vallée. La majorité des eaux sont non potables selon les normes de l'Algérie et de l'O.M.S. L'emplacement des puits contaminés doit être signalé et interdit pour la consommation humaine. Ces résultats montrent une dégradation des ressources hydriques souterraines par les activités agricoles et urbaines.

Par contre la comparaison de ces résultats par rapport à nos résultats réalisés en 2013 (BENHEDID, 2014), montre un rabattement de la charge de la pollution de NH₄⁺, de NO₂⁻ et de D.C.O. Ce rabattement peut être expliqué par la suppression de certains points noirs



sources de la contamination des eaux de la nappe superficielle par les eaux usées et le processus de traitement des eaux par la station d'épuration par lagunage en aval de l'Oued M'Zab. Alors que, les teneurs de NO_3^- restent supérieures aux valeurs obtenues antérieurement, ce qui montre aussi l'origine agricole des nitrates.

Les données à la basse montrent que les eaux de cette nappe ne présentent pas une pollution phosphorée et nous avons constaté une diminution des concentrations dans les dernières mesures où la plupart de ces teneurs sont nulles. En ce qui concerne le dénombrement des bactéries indicatrices de la contamination fécale, on remarque aussi la diminution du taux de ces bactéries et l'absence totale des Clostridiums. La réduction de la charge de ces bactéries prouve la réduction de la contamination de la nappe superficielle par les eaux usées.

Chapitre VI.
Etude de la variation spatio-temporelle
de la pollution azotée





Introduction

Ce chapitre est consacré pour présenter la variation spatio-temporelle de la pollution azotée et les paramètres liés à la pollution des eaux de la nappe superficielle à travers les résultats des quatre campagnes hivernales et estivales de l'année 2017 et 2018.

1. Ammonium

Au vu du graphe (Fig. VI 1), on remarque que d'une manière générale les valeurs moyennes de NH_4^+ augmentent en hiver par rapport à l'été dans toutes les stations d'étude avec une moyenne maximale de $0,079 \pm 0,012$ mg/l en hiver 2017 pour la station de Bounoura et une moyenne générale maximale de $0,05 \pm 0,035$ mg/l pour tous les puits d'étude. Excepté la station de Daya Bendahoua avec un minimum diminué temporellement jusqu'à $0,001 \pm 0,002$ mg/l en été 2018.

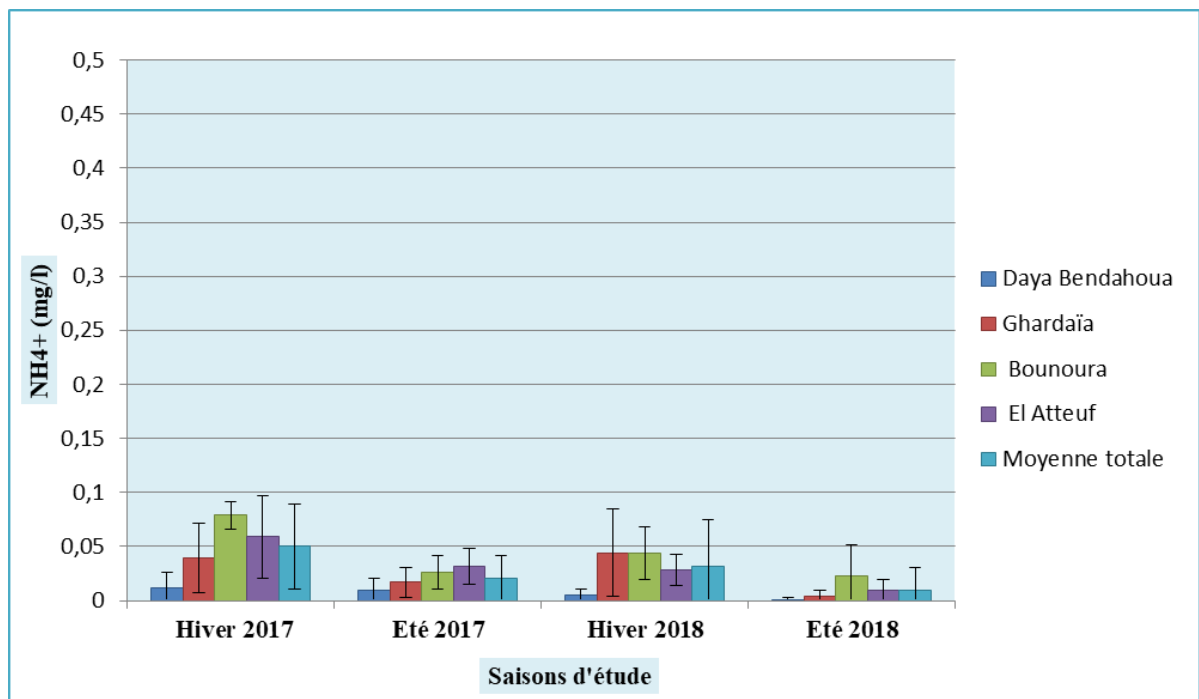


Figure VI 1. Variation spatio-temporelle de NH_4^+ moyenne des eaux à travers les stations d'étude

- La carte de répartition de NH_4^+ en été 2017 (Fig. VI 2 ; VI 3) montre qu'en cette période, les concentrations d'ammonium confirment la norme européenne des eaux souterraines et la norme de l'eau potable selon l'Algérie et l'O.M.S. Ces concentrations sont diminuées dans tous les points étudiés par rapport à ses teneurs pendant la campagne d'hiver 2017 (Fig. V 15, 98 p ; Fig. VI 2) dans laquelle l'A.F.D, (Fig. VI 6 ; VI 7 ; VI 8 ; VI 9) affirme que le NH_4^+ est un facteur caractérisant des eaux de la station de Bounoura en hiver 2017.



La diminution des teneurs de NH_4^+ peut être expliquée par la diminution des sources de NH_4^+ ou bien par sa transformation rapide en NO_2^- en présence de température ambiante et du pH.

- La carte de répartition de NH_4^+ **en hiver 2018**, (Fig. VI 2 ; VI 4), montre qu'en cette période existe une élévation de ses teneurs dans les trois stations d'étude (Ghardaïa, Bounoura et El Atteuf), mais ne dépassant pas les normes. Alors qu'à Daya Bendahoua, l'amont de l'Oued M'Zab, on remarque un rabatement de ces teneurs.
- La carte de répartition de NH_4^+ **en été 2018**, (Fig. VI 2 ; VI 5), confirme la diminution d'ammonium en été, dans tous les points échantillonnés. Ces concentrations sont très faibles voire nulles dans certains puits.

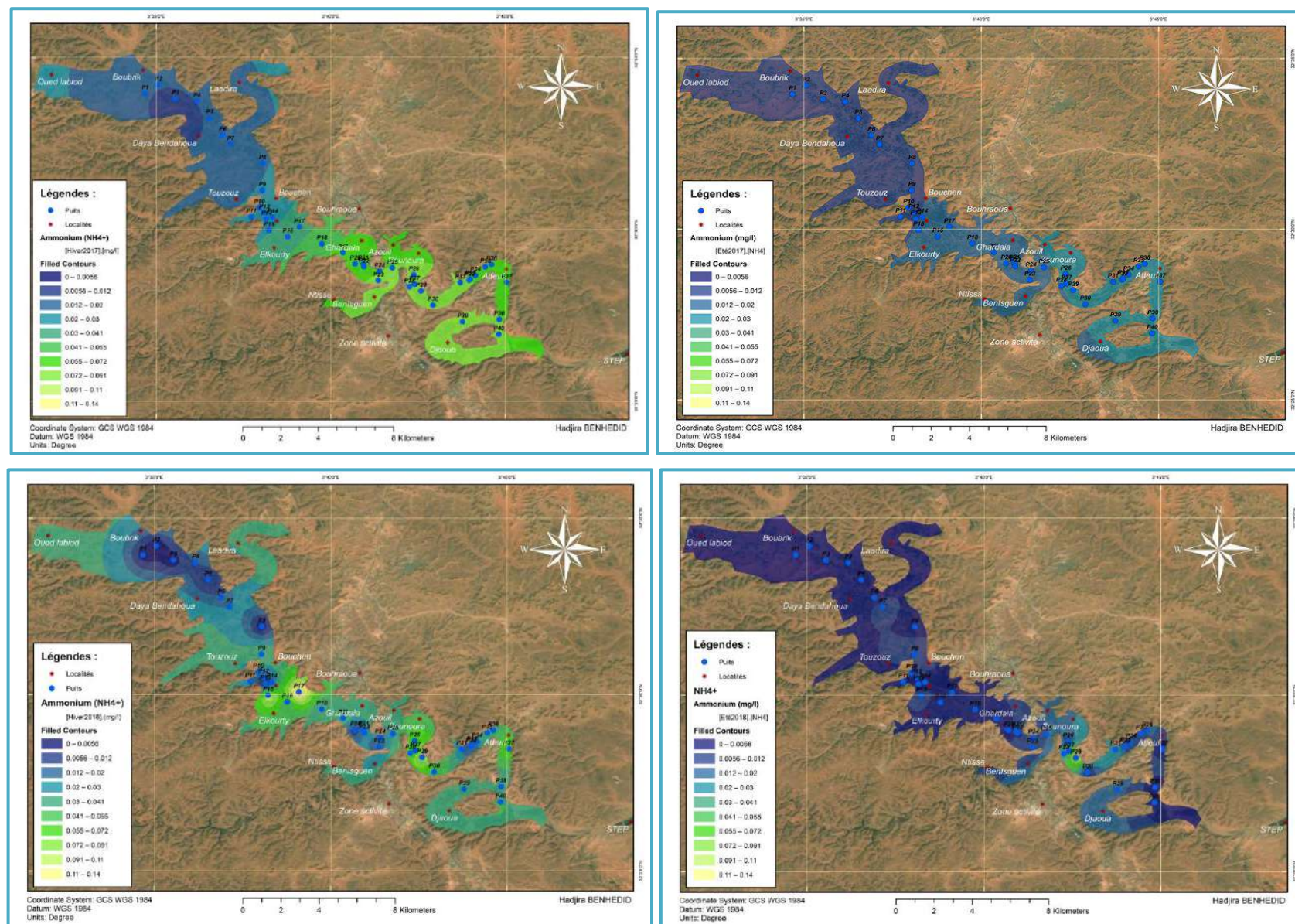


Figure VI 2. Cartes de la variation spatio-temporelle de NH_4^+ des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (2017- 2018)

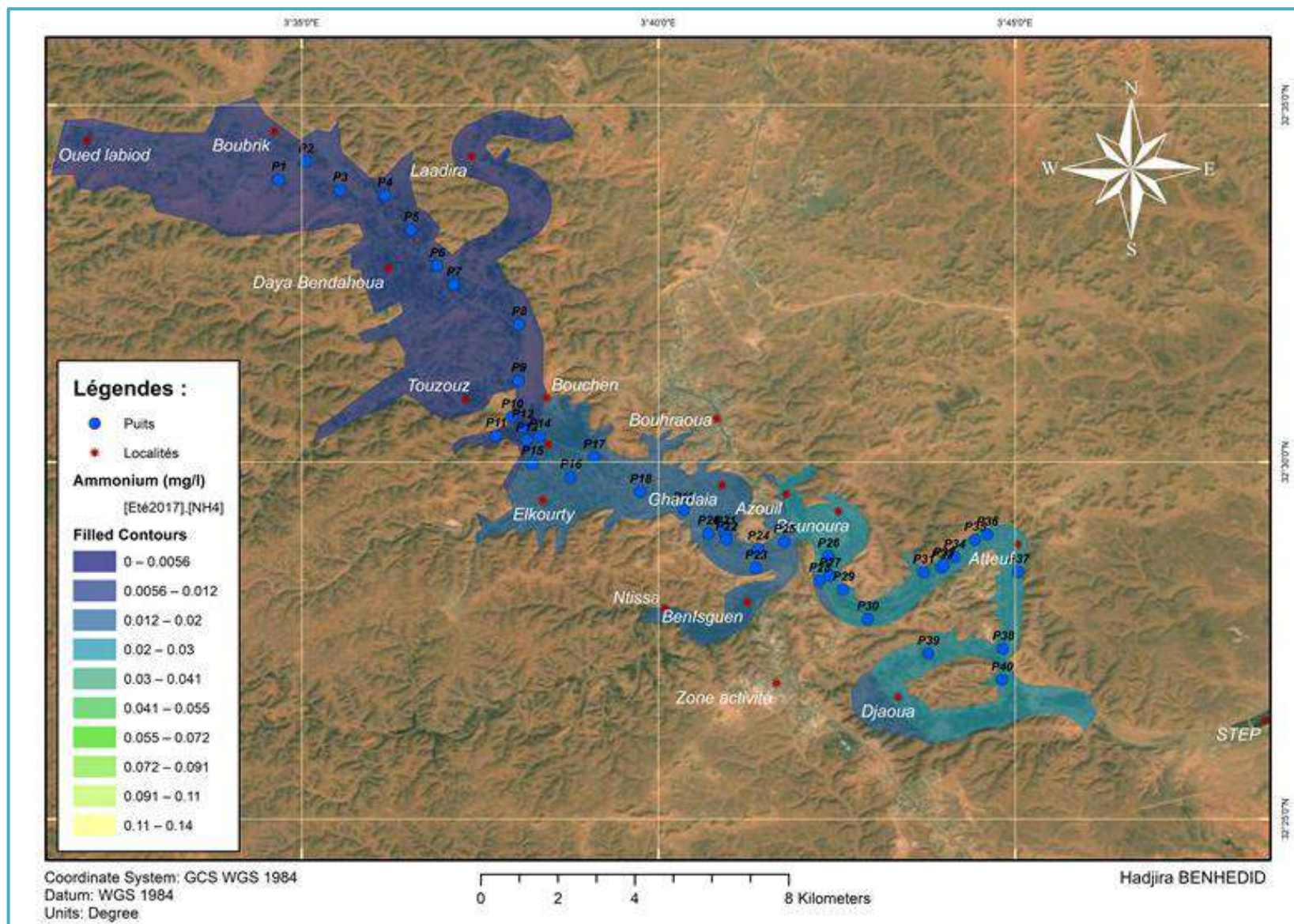


Figure VI 3. Carte de la variation spatiale de NH_4^+ des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (été 2017)

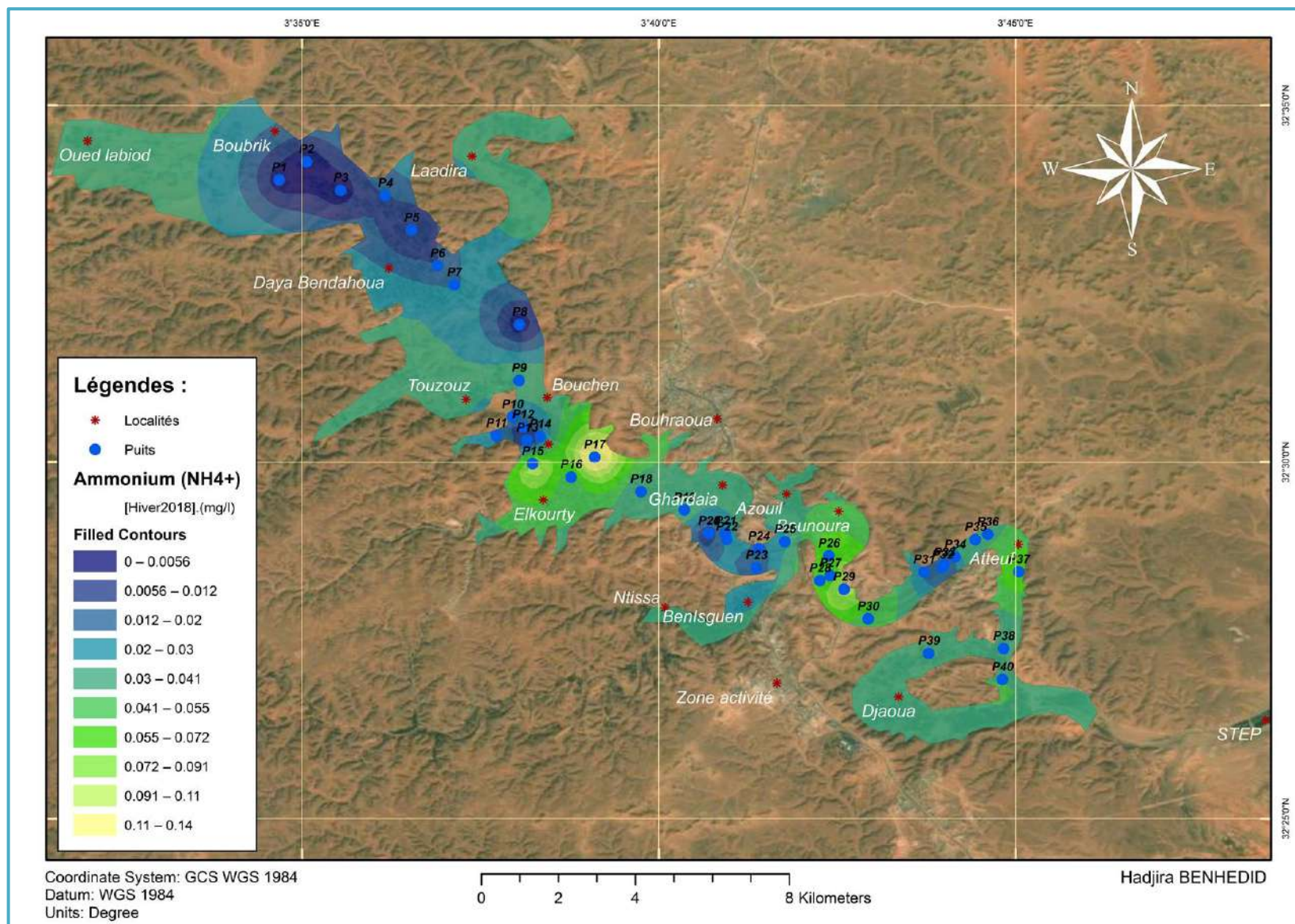


Figure VI 4. Carte de la variation spatiale de NH₄⁺ des eaux de la nappe superficielle de l’Oued M’Zab (hiver 2018)

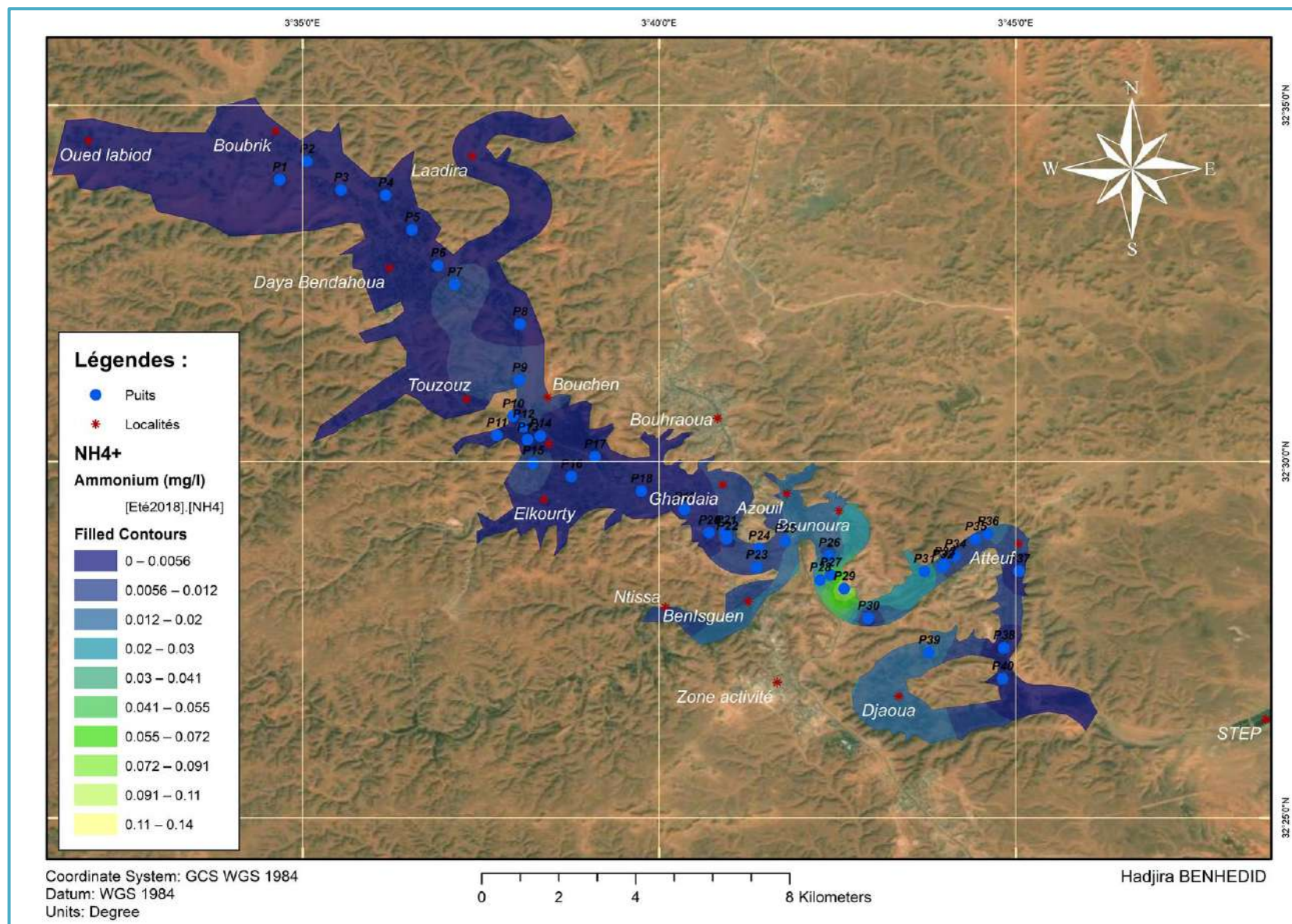


Figure VI 5. Carte de la variation spatiale de NH₄⁺ des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (été 2018)

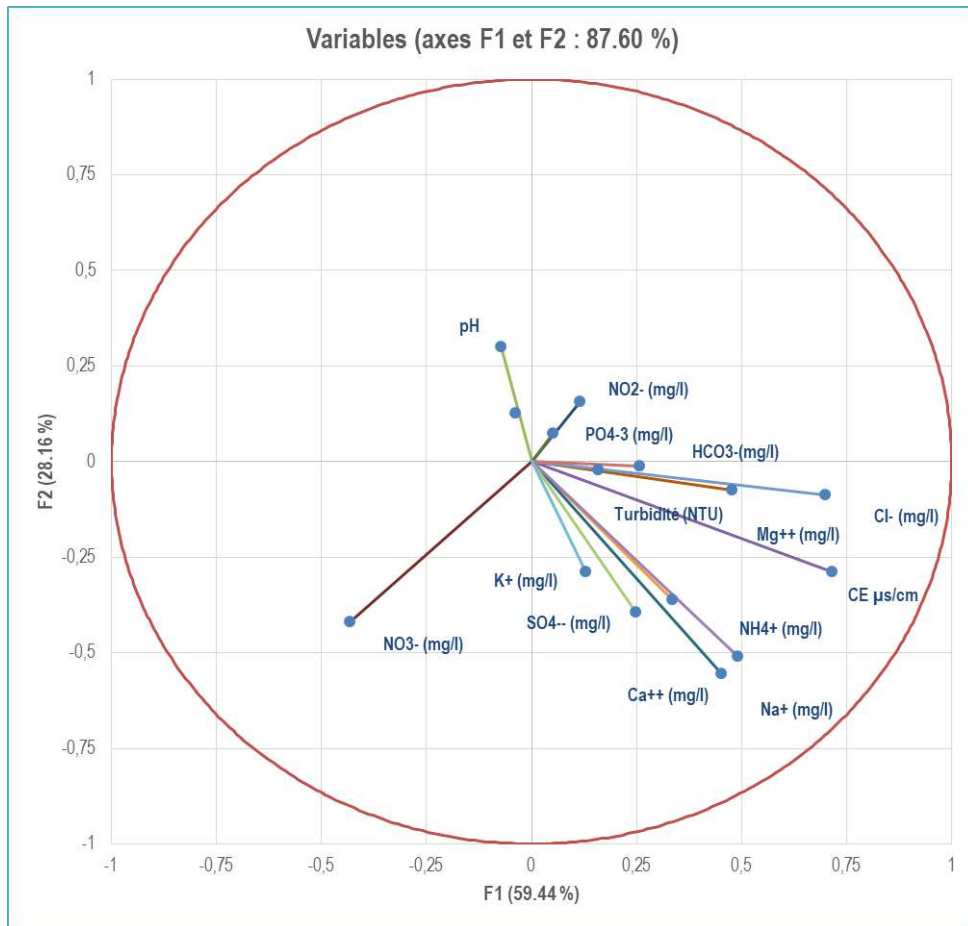


Figure VI 6. Espace des variables de l'A.F.D des stations



Figure VI 7. Barycentres des variables

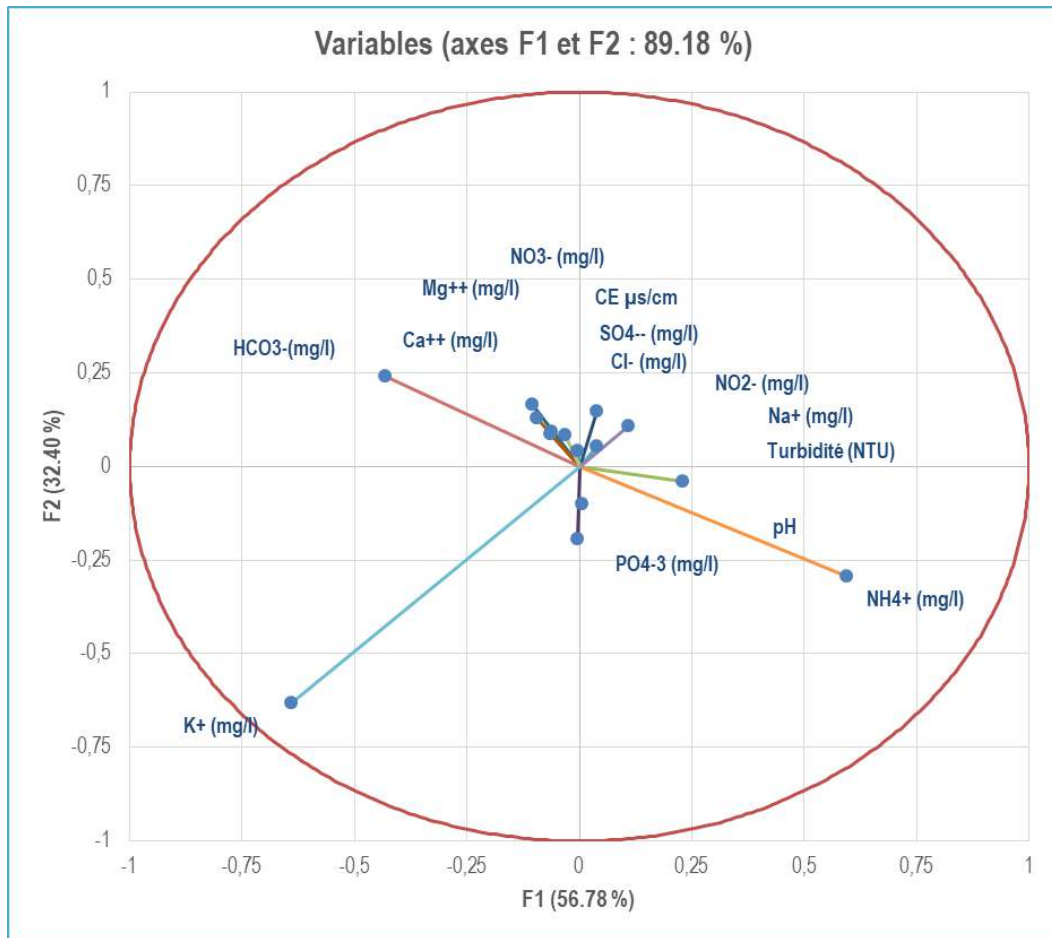


Figure VI 8. Espace des variables de l'A.F.D des saisons

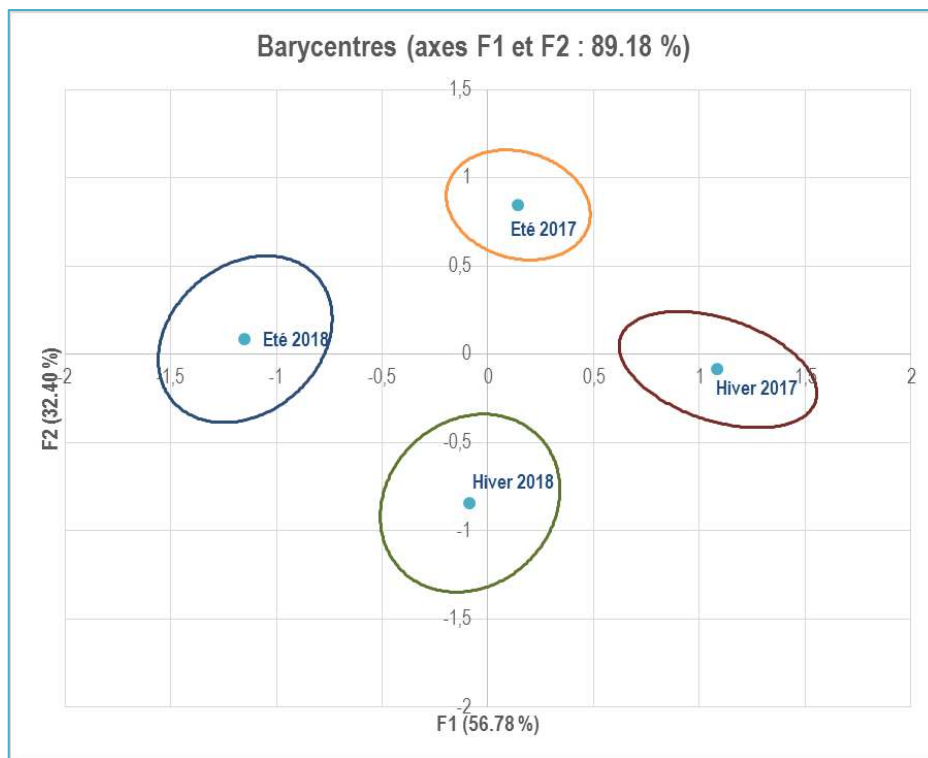


Figure VI 9. Barycentres des variables



2. Nitrites

Selon la figure (Fig. VI 10), les teneurs moyennes de NO_2^- sont variables d'une station à une autre et d'une campagne à une autre. Ces teneurs sont plus faibles en hiver 2017 et plus élevées en hiver 2018. Tandis qu'elles sont plus élevées en été 2017 avec un maximum moyenne de $0,2824 \pm 0,421$ mg/l pour la station d'El Atteuf (cette forte teneur moyenne est due à la concentration la plus élevée dans le puits P33 de 2,3 mg/l), et un maximum moyenne générale $0,0861 \pm 0,144$ mg/l. Elles sont plus faibles en été 2018 avec un minimum moyenne de $0,0014 \pm 0,0012$ mg/l pour la station de Bounoura et un minimum moyenne générale de $0,0018 \pm 0,0011$ mg/l pour tout l'Oued M'Zab.

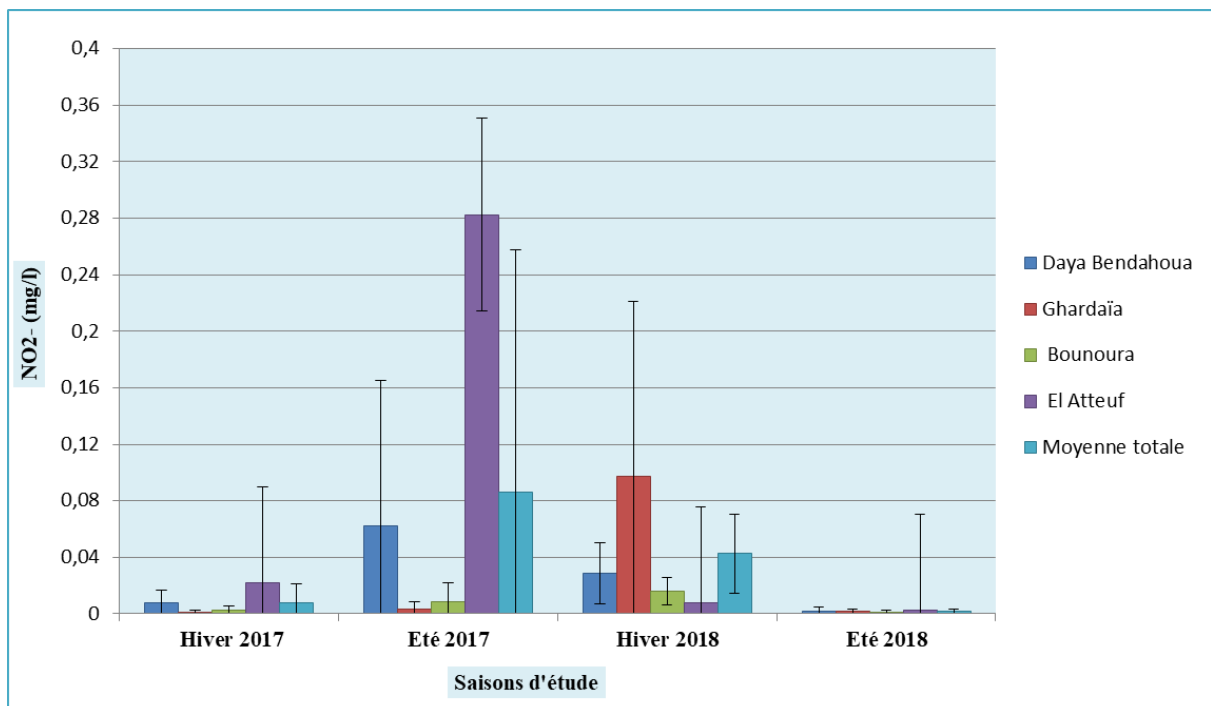


Figure VI 10. Variation spatio-temporelle de NO_2^- moyenne des eaux à travers les stations d'étude

- La carte de répartition de NO_2^- en été 2017, (Fig. VI 11 ; VI 12), montre qu'en cette période, les teneurs des nitrites sont augmentées dans certains puits étudiés par rapport ses teneurs en hiver 2017 (Fig. V 17, 101 p ; Fig. VI 11). Ces ions évoluent d'une manière inverse par rapport à l'ammonium. Cette augmentation dépasse la norme de l'eau potable selon l'Algérie et l'O.M.S dans quelques puits en amont et en aval de l'Oued M'Zab (station de Daya Bendahoua et d'El Atteuf), surtout la teneur maximale dans le puits P33 de 2,3 mg/l. L'analyse d'A.F.D, (Fig. VI 6 ; VI 7 ; VI 8 ; VI 9), confirme que le NO_2^- est un facteur discriminant des eaux de la station d'El Atteuf en été 2017.



- La carte de répartition de NO_2^- en hiver 2018 (Fig. VI 11 ; VI 13) montre qu'en cette période, la répartition des concentrations en nitrites présente des variations claires où on a constaté une augmentation de ces teneurs au centre de l'Oued dans la station de Ghardaïa et un rabattement de ces teneurs en aval dans la station d'El Atteuf.
- La carte de répartition de NO_2^- en été 2018 (Fig. VI 11 ; VI 14) montre qu'en cette période les concentrations en nitrites sont faibles ne dépassant pas les normes.

Cette étude montre que la variation spatio-temporelle de NO_2^- ne dépend ni des saisons ni de l'espace où nous avons constaté des teneurs dépassant les normes parfois en hiver et d'autres fois en été ; parfois en amont, au centre ou en aval de l'Oued. Elle est probablement due aux teneurs d'ammonium et aux mécanismes de la nitrification d'ammonium en nitrites.

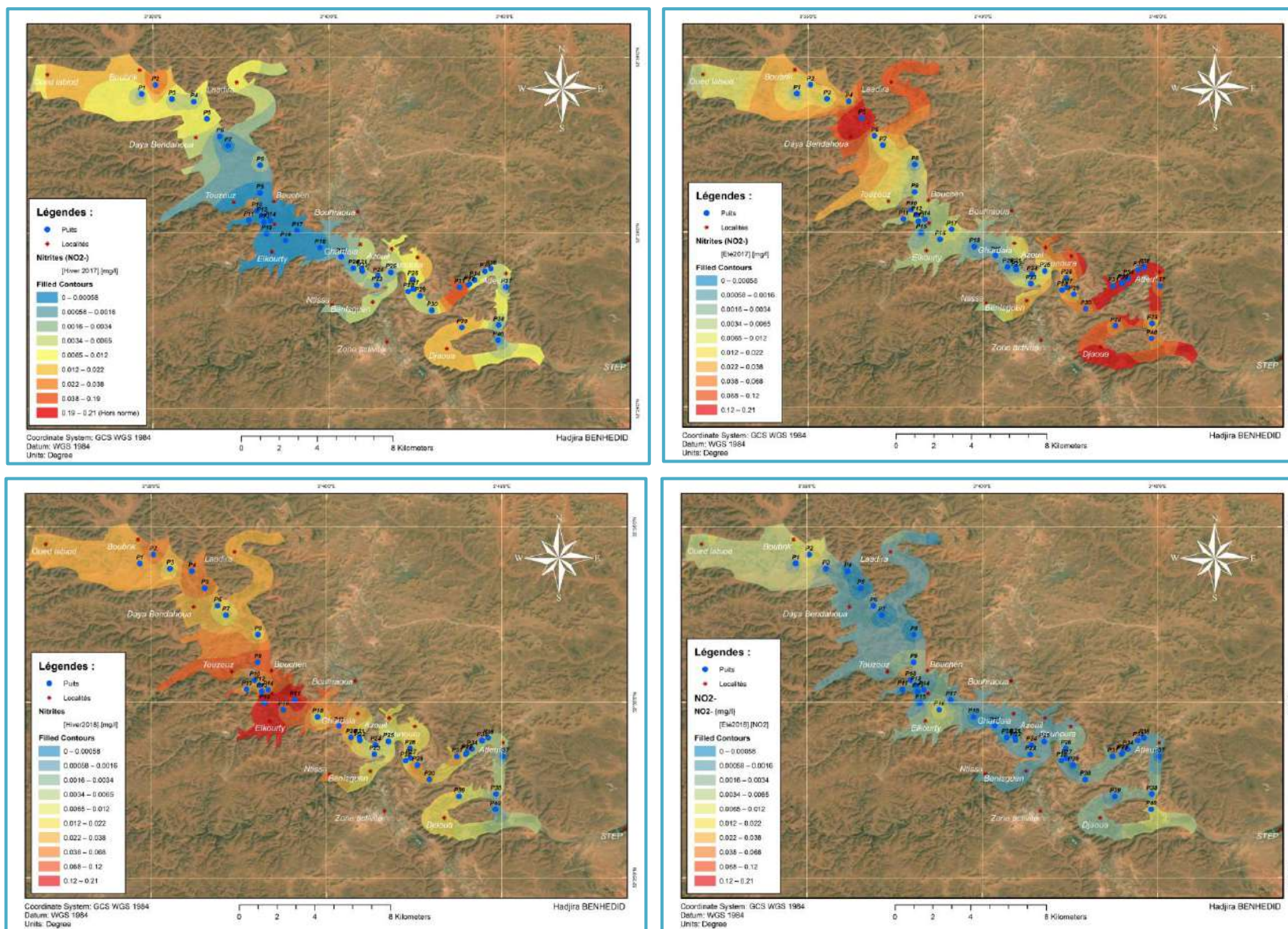


Figure VI 11. Cartes de la variation spatio-temporelle de NO₂⁻ des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (2017- 2018)

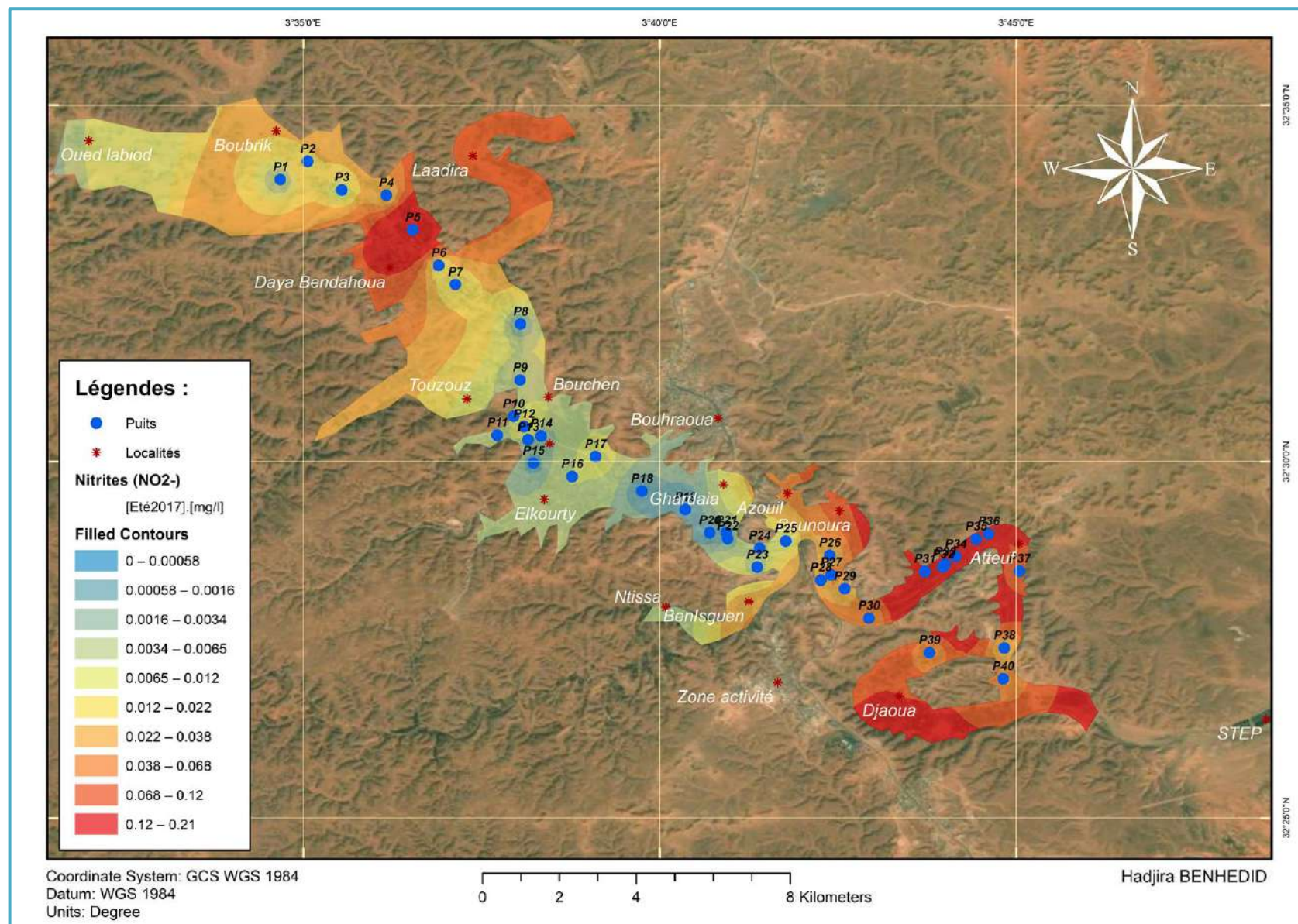


Figure VI 12. Carte de la variation spatiale de NO₂⁻ des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (été 2017)

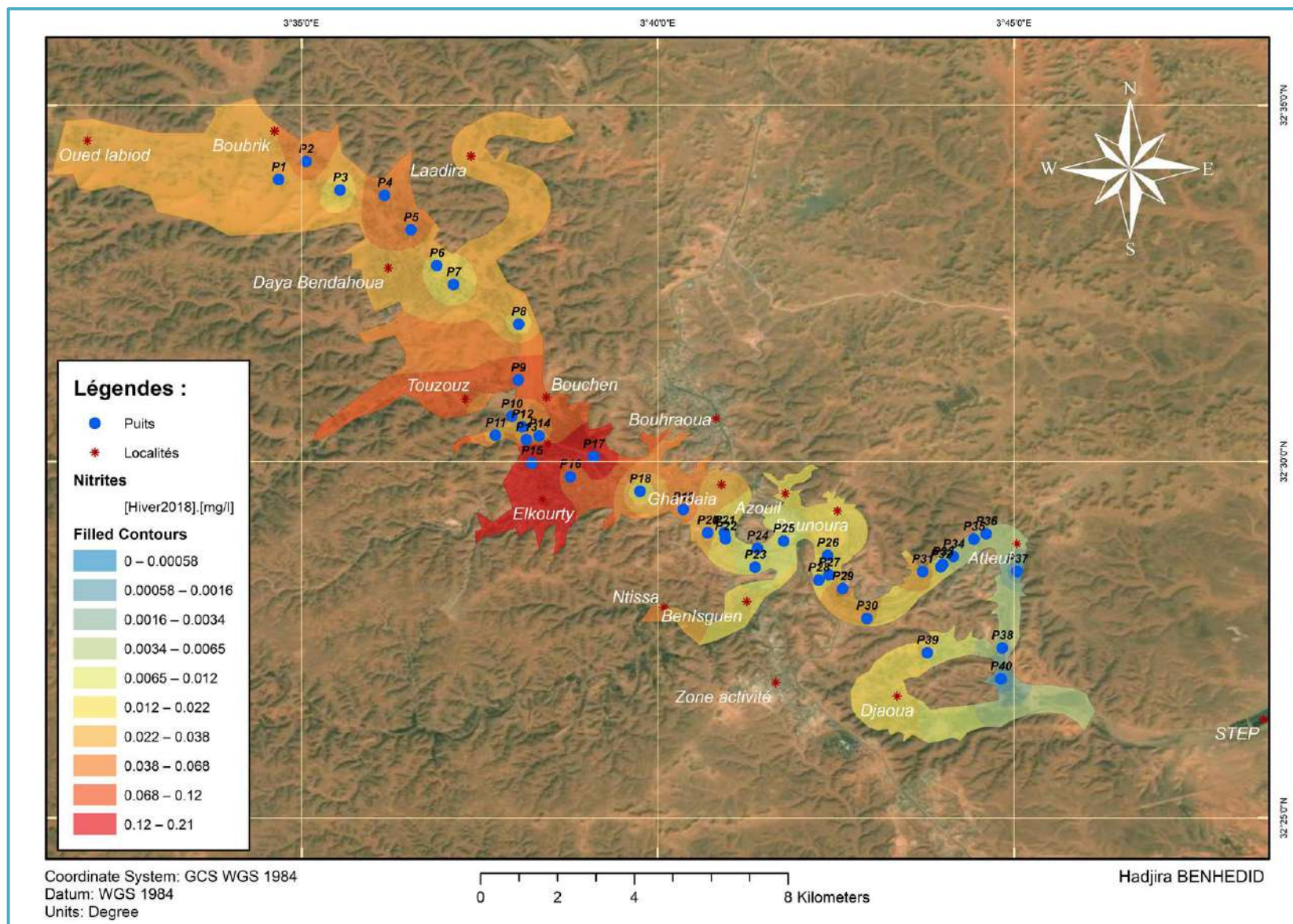


Figure V 13. Carte de la variation spatiale de NO_2^- des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (hiver 2018)

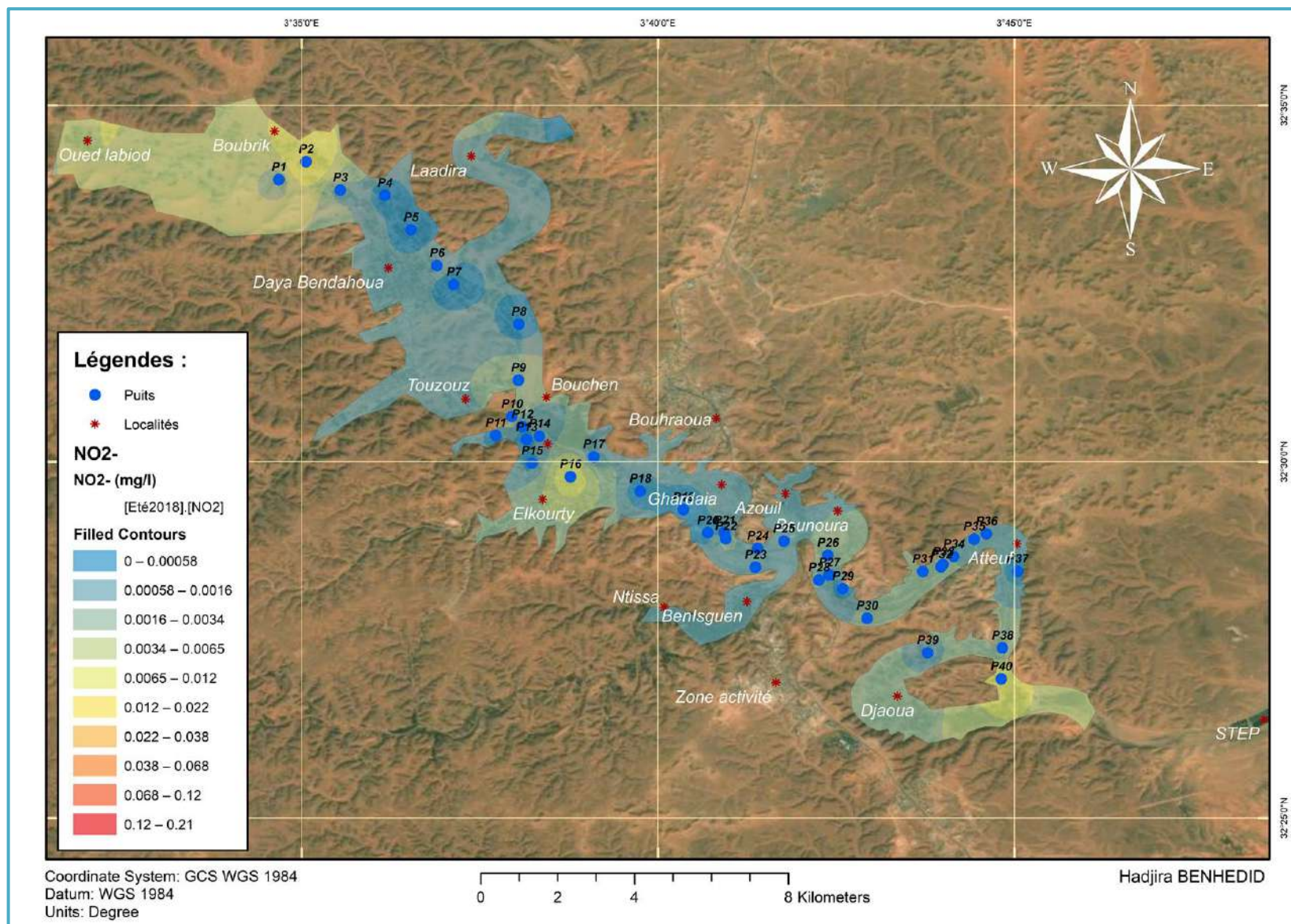


Figure V 14. Carte de la variation spatiale de NO₂⁻ des eaux de la nappe superficielle de l’Oued M’Zab (été 2018)



3. Nitrates

Les concentrations moyennes de NO_3^- sont d'une manière générale moins élevées en hiver et plus élevées en été avec des concentrations moyennes semblables entre les stations d'étude avec une moyenne générale minimale de $55,095 \pm 23,350$ mg/l en hiver 2017 et une moyenne générale maximale $60,69 \pm 24,227$ mg/l en été 2017. Excepté la station d'El Atteuf qui, elle enregistre les plus faibles teneurs moyennes pendant les quatre campagnes d'étude de l'ordre de $32,97 \pm 19,878$ mg/l en hiver 2017 (Fig. VI 15).

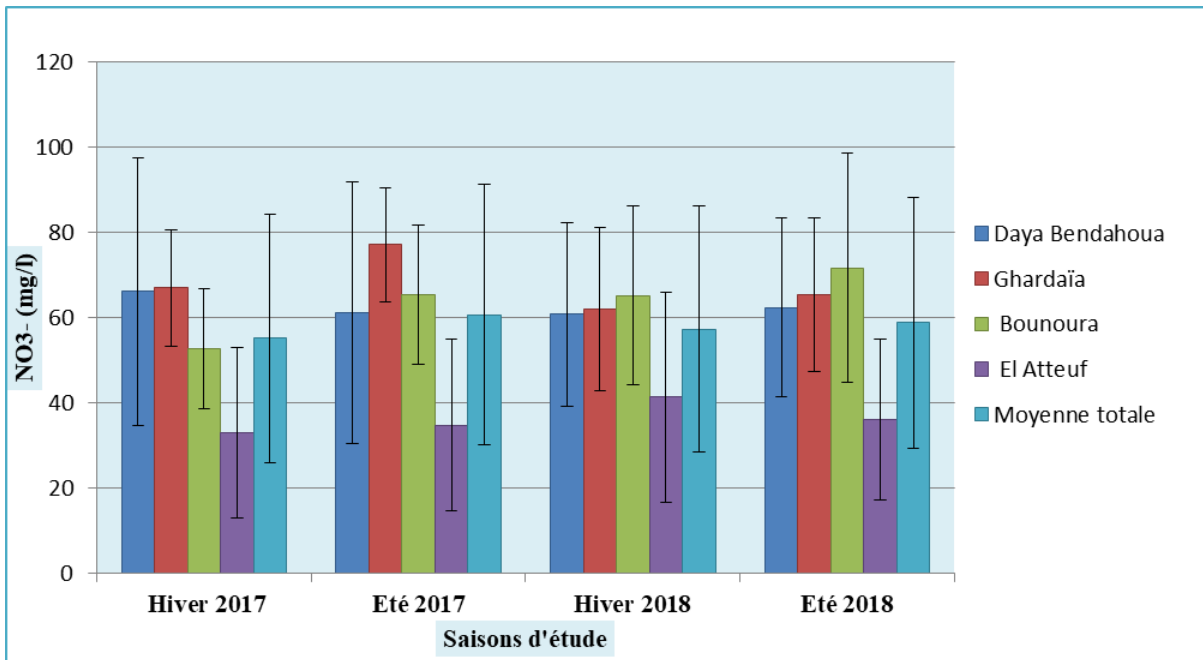


Figure VI 15. Variation spatio-temporelle de NO_3^- moyenne des eaux à travers les stations d'étude

- La carte de répartition de NO_3^- en été 2017 (Fig. VI 16 ; VI 17) montre une augmentation des teneurs des nitrates dans la majorité des puits prospectés par rapport à ses concentrations en hiver 2017 (Fig. V 19, 104 p ; Fig. VI 16), où pour la plupart des points on observe un dépassement de la norme européenne des eaux souterraines et la norme de l'eau potable selon l'Algérie et l'O.M.S. Cette situation peut être expliquée par la contamination des eaux de la nappe par les eaux usées et les retours d'eau d'irrigation vers la nappe. Aussi, cette augmentation peut être liée à l'augmentation de la C.E en été (concentration des teneurs des ions), en ajoutant également la sédentarisation des propriétaires des puits avec leurs familles dans ces palmeraies non raccordées au réseau d'assainissement. L'analyse d'A.F.D, (Fig. VI 6 ; VI 7 ; VI 8 ; VI 9, pp 149-150), montre que le NO_3^- est un facteur caractérisant des eaux de la station de Ghardaïa en été 2017.



- La carte de répartition de **NO₃⁻ en hiver 2018** (Fig. VI 16 ; VI 18) démontre qu'en hiver les teneurs des nitrates diminuent inversement aux concentrations des nitrites ce qui montre que les processus de la nitrification sont accélérés en été et ralentis en hiver à cause des conditions climatiques. Malgré cette diminution, la majorité de ces teneurs restent non conformes aux normes.
- La carte de répartition de **NO₃⁻ en été 2018** (Fig. VI 16 ; VI 19) confirme l'augmentation des teneurs des nitrates en période estivale, où ses concentrations dépassent généralement 50 mg/l et notamment dans la station de Bounoura, qui peuvent atteindre plus de 100 mg/l.

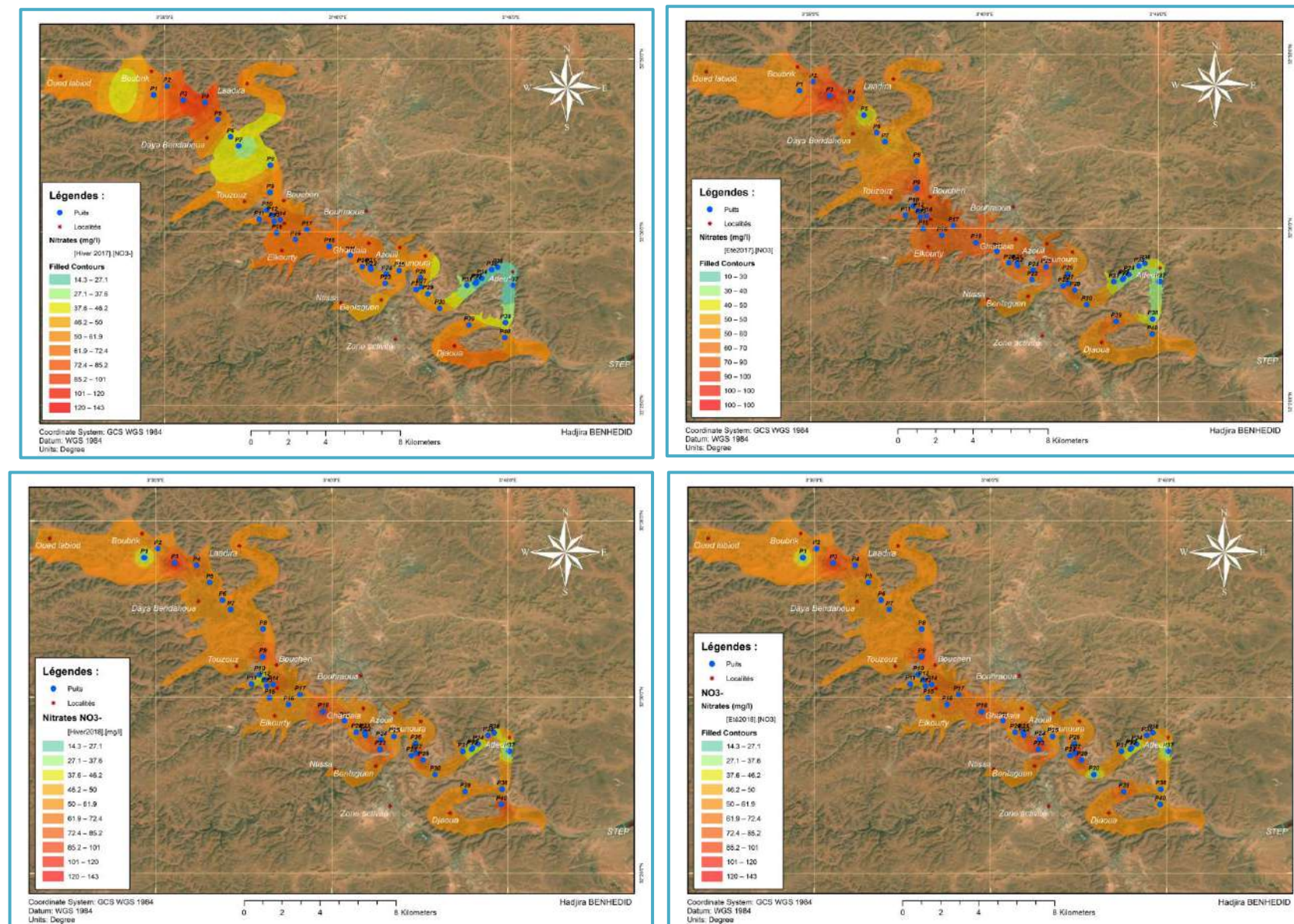


Figure VI 16. Cartes de la variation spatio-temporelle de NO_3^- des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (2017- 2018)

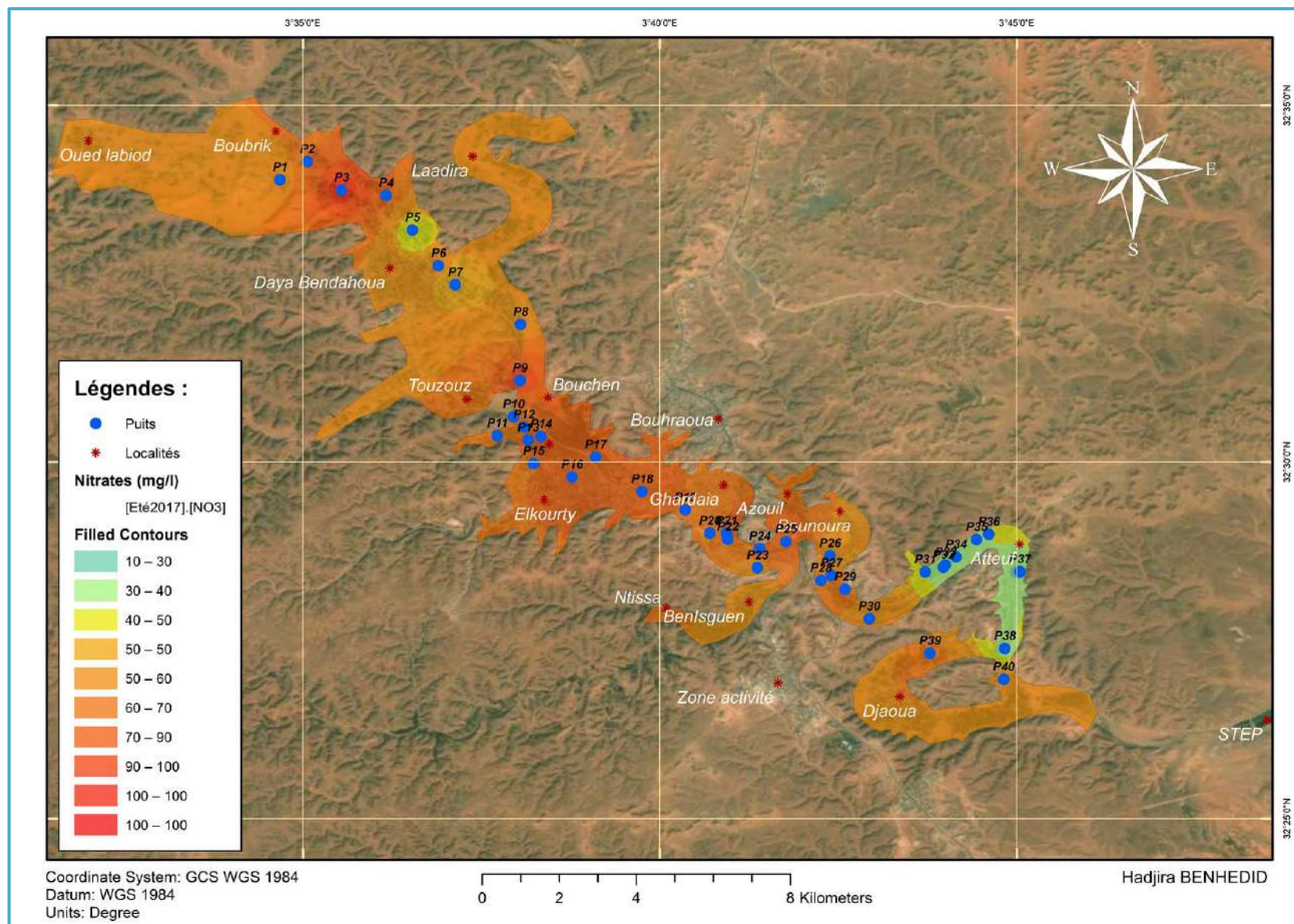


Figure VI 17. Carte de la variation spatiale de NO_3^- des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (été 2017)

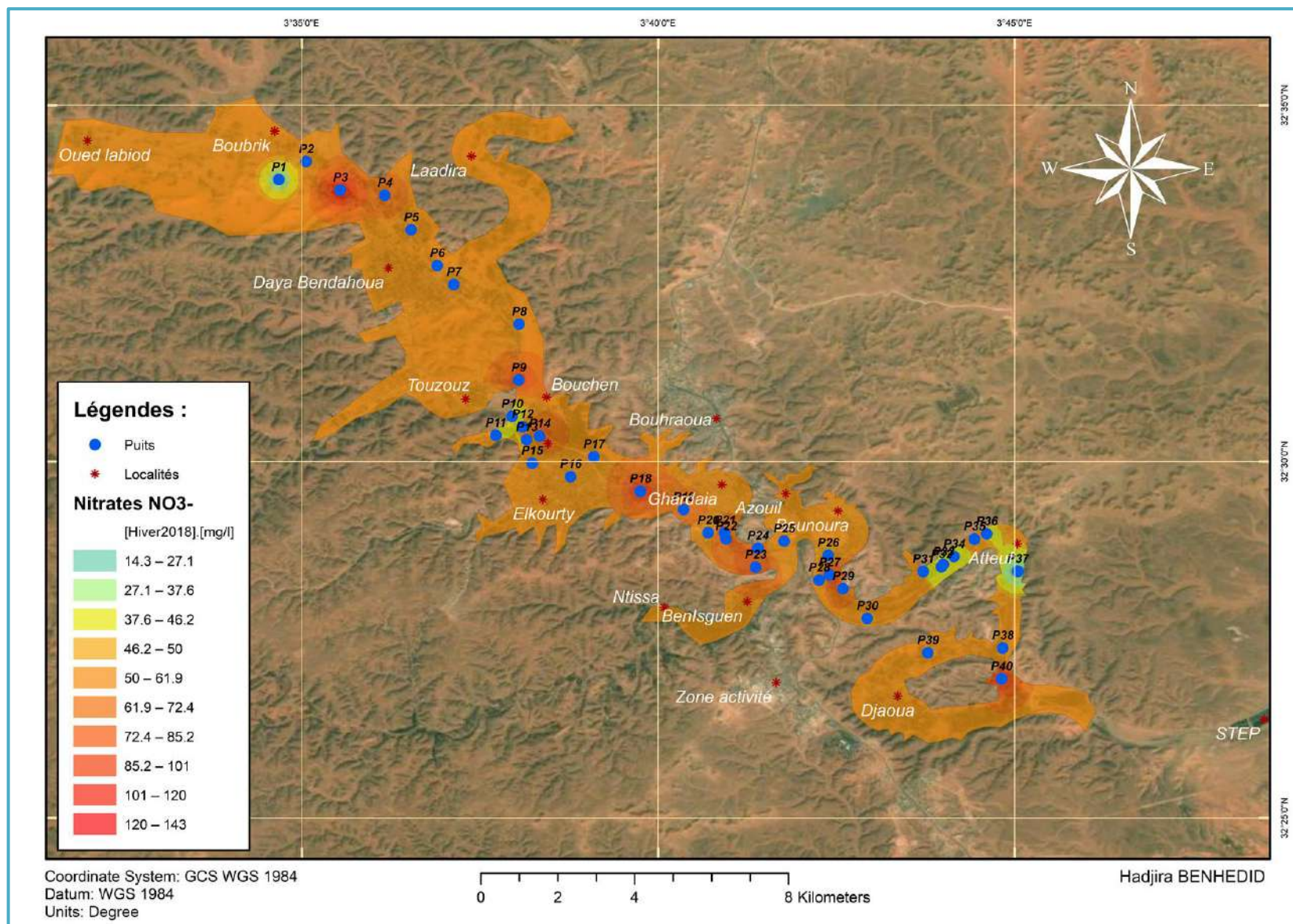


Figure VI 18. Carte de la variation spatiale de NO₃⁻ des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (hiver 2018)

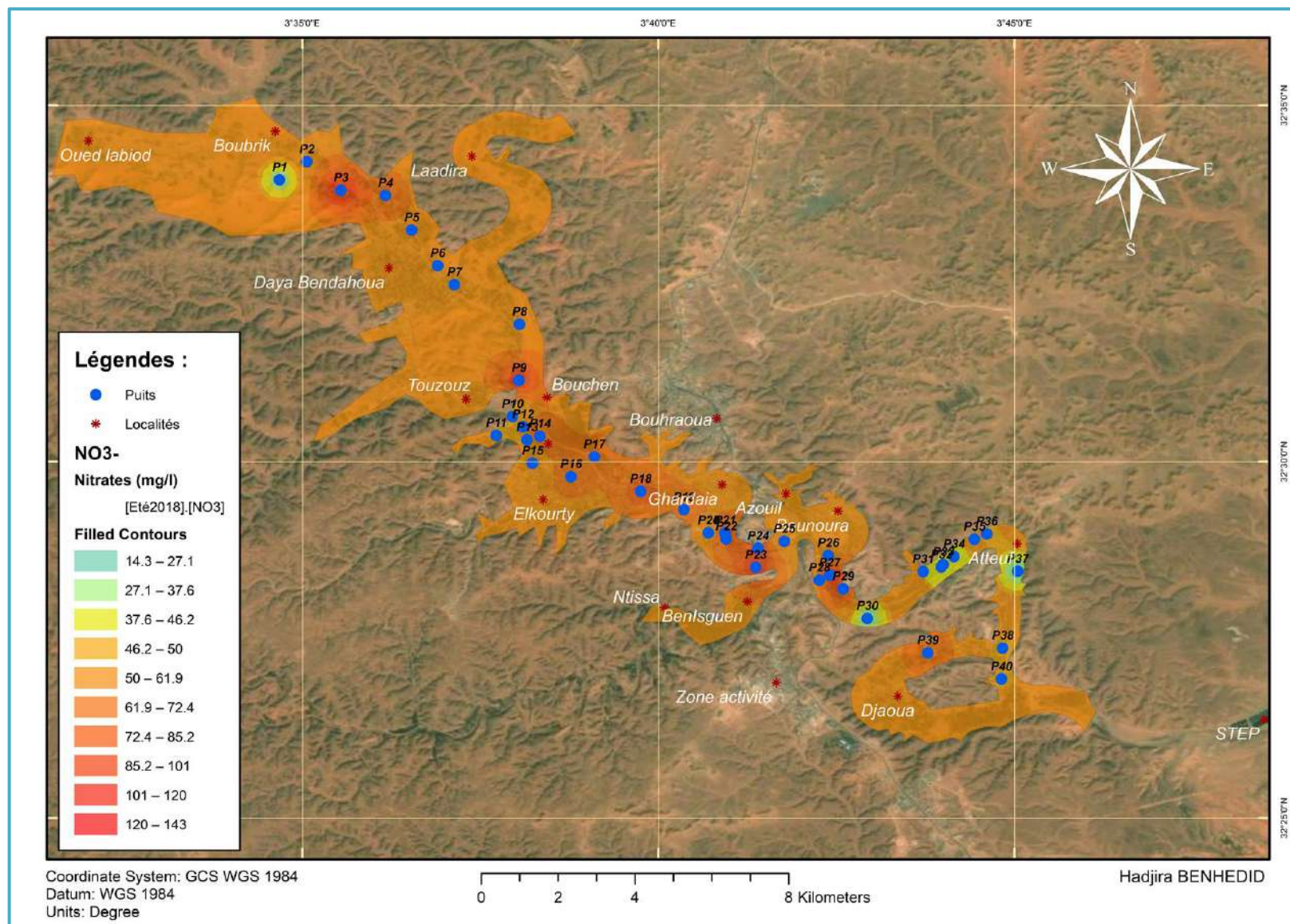


Figure VI 19. Carte de la variation spatiale de NO_3^- des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (été 2018)



4. Orthophosphates

Les valeurs moyennes d'orthophosphates sont très faibles pour les quatre stations et campagnes d'étude ; ces teneurs ont été augmentées en été 2017 et en hiver 2018 avec une moyenne maximale de PO_4^{-3} de $0,099 \pm 0,145$ mg/l au niveau de la station de Daya Bendahoua et d'une moyenne générale maximale de PO_4^{-3} de $0,05075 \pm 0,07633$ mg/l notée en hiver 2018. Tandis que ces teneurs sont nulles en été 2018 (Fig. VI 20).

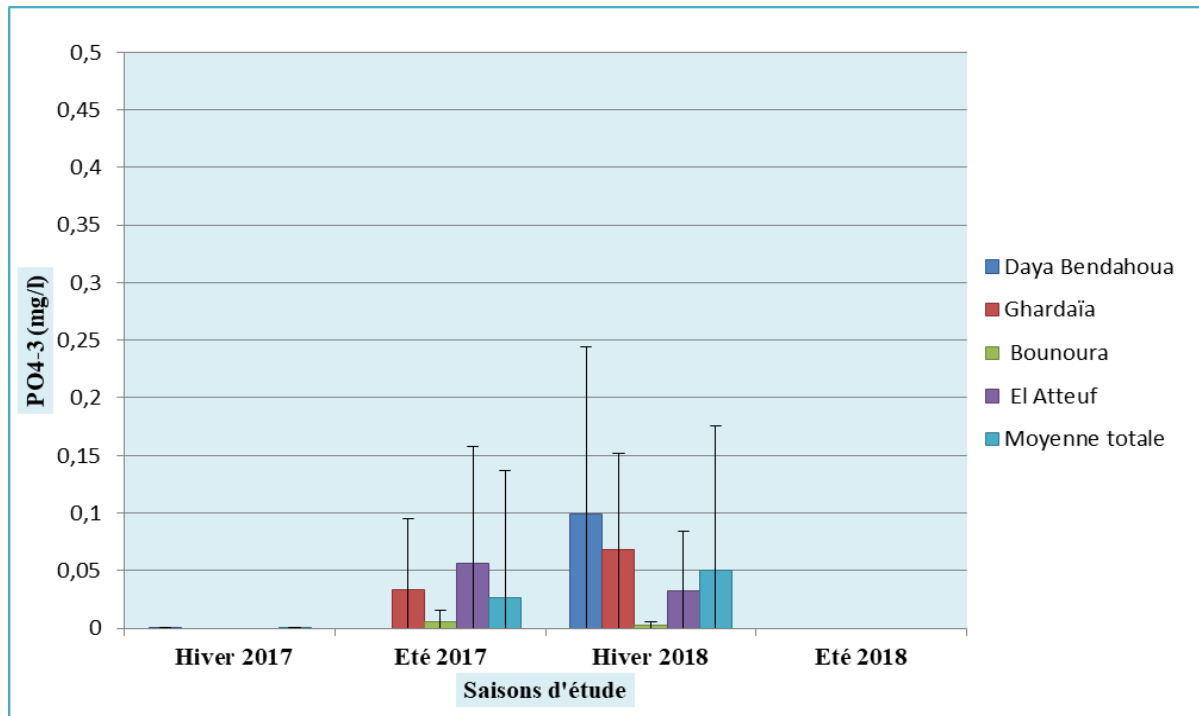


Figure VI 20. Variation spatio-temporelle de PO_4^{-3} moyenne des eaux à travers les stations d'étude

D'une manière générale, l'étude de la variation spatio-temporelle de phosphore total et d'Orthophosphates des eaux de la nappe superficielle montre que ces eaux ne sont pas phosphorées et compatibles à la norme de l'eau potable selon l'Algérie et l'O.M.S :

- Les cartes de répartition de PO_4^{-3} en été 2017 (Fig. VI 21 ; VI 22) montrent une légère augmentation de leurs teneurs dans quelques puits des stations de Ghardaïa et Bounoura par rapport à leurs concentrations en hiver 2017 (Fig. V 21, 108 p ; VI 26). Cette augmentation est probablement liée à la décomposition de la matière organique, provenant des eaux usées. Ces valeurs ne dépassent en aucun cas la valeur norme de l'eau potable selon l'Algérie et l'O.M.S.
- Les cartes de répartition de PO_4^{-3} en hiver 2018 (Fig. VI 21 ; VI 23) montrent une augmentation des teneurs de PO_4^{-3} dans certains puits pour les quatre stations d'étude. Cette augmentation est plus loin au seuil limite de l'eau potable selon l'Algérie et



l'O.M.S. L'analyse d'A.F.D, (Fig. VI 6 ; VI 7 ; VI 8 ; VI 9, pp 149-150), indique que le PO_4^{-3} est un facteur caractérisant des eaux de la station d'El Atteuf et il est discriminant en hiver 2018.

- Les cartes de répartition de **PO_4^{-3} en été 2018**, (Fig. VI 21 ; VI 24), montrent l'absence total de PO_4^{-3} dans tous les puits d'étude, indiquant que les eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab ne représente aucun risque de pollution du point de vue orthophosphates.

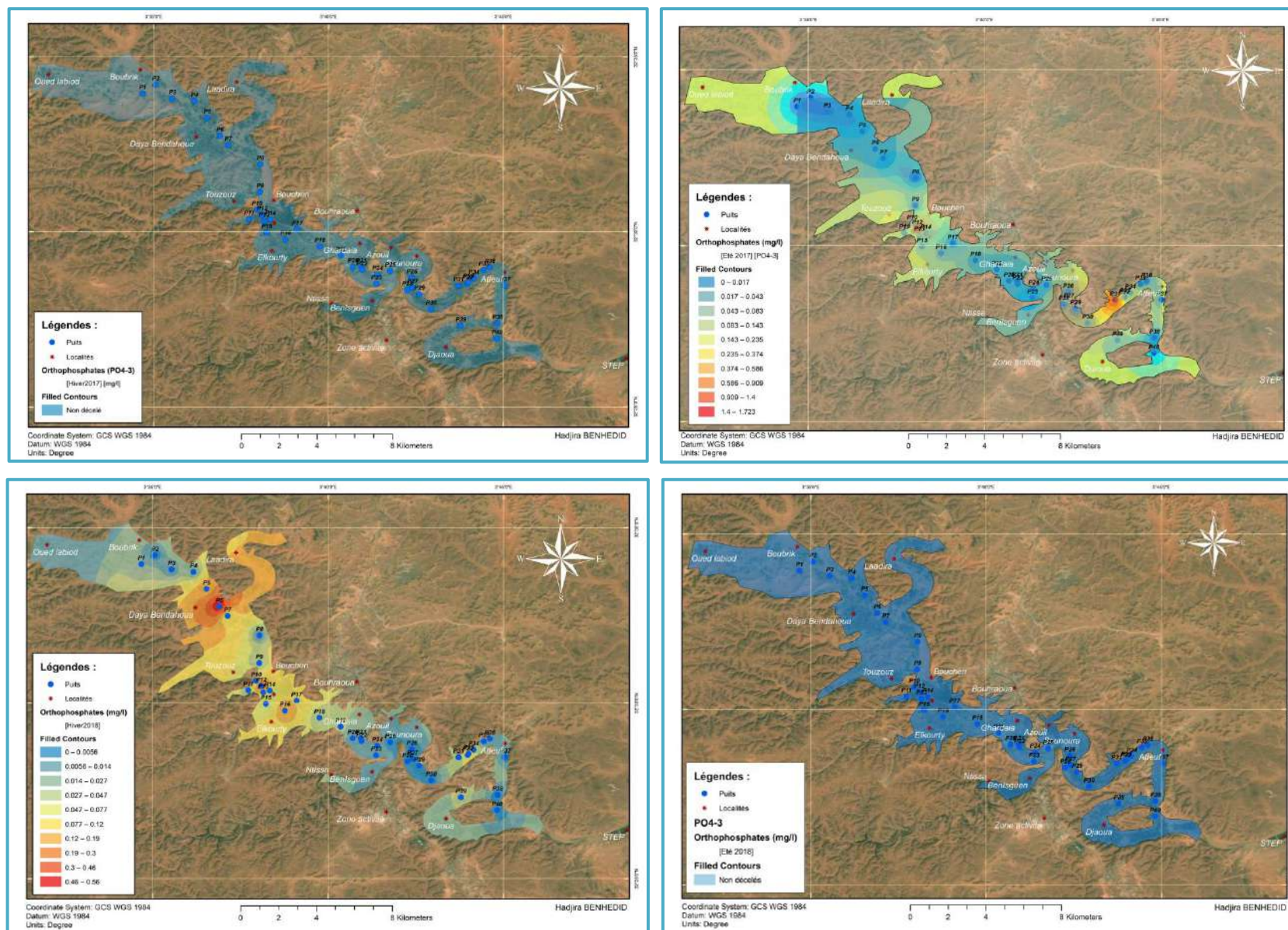


Figure VI 21. Cartes de la variation spatio-temporelle de PO₄⁻³ des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (2017- 2018)

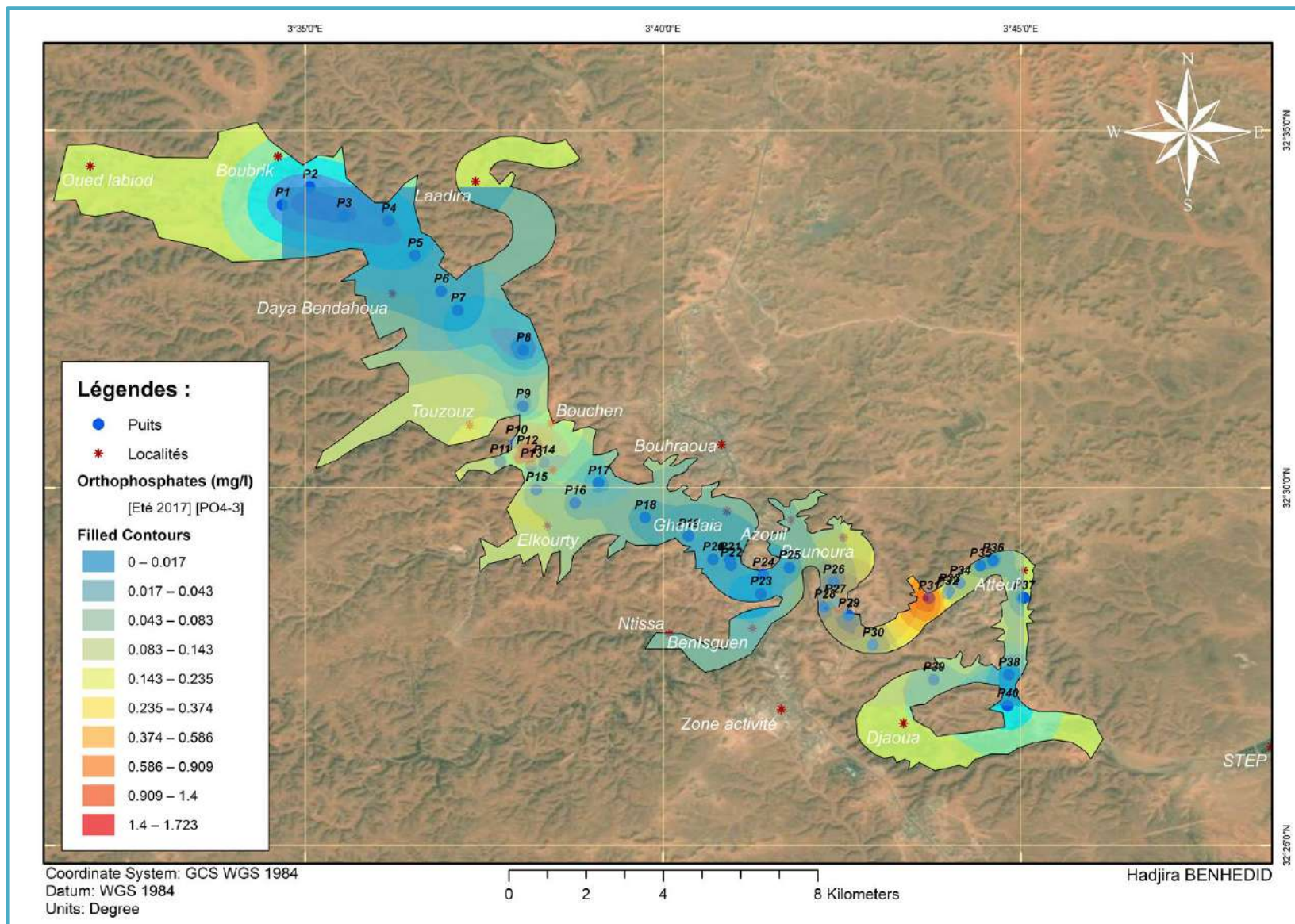


Figure VI 22. Carte de la variation spatiale de PO_4^{3-} des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (été 2017)

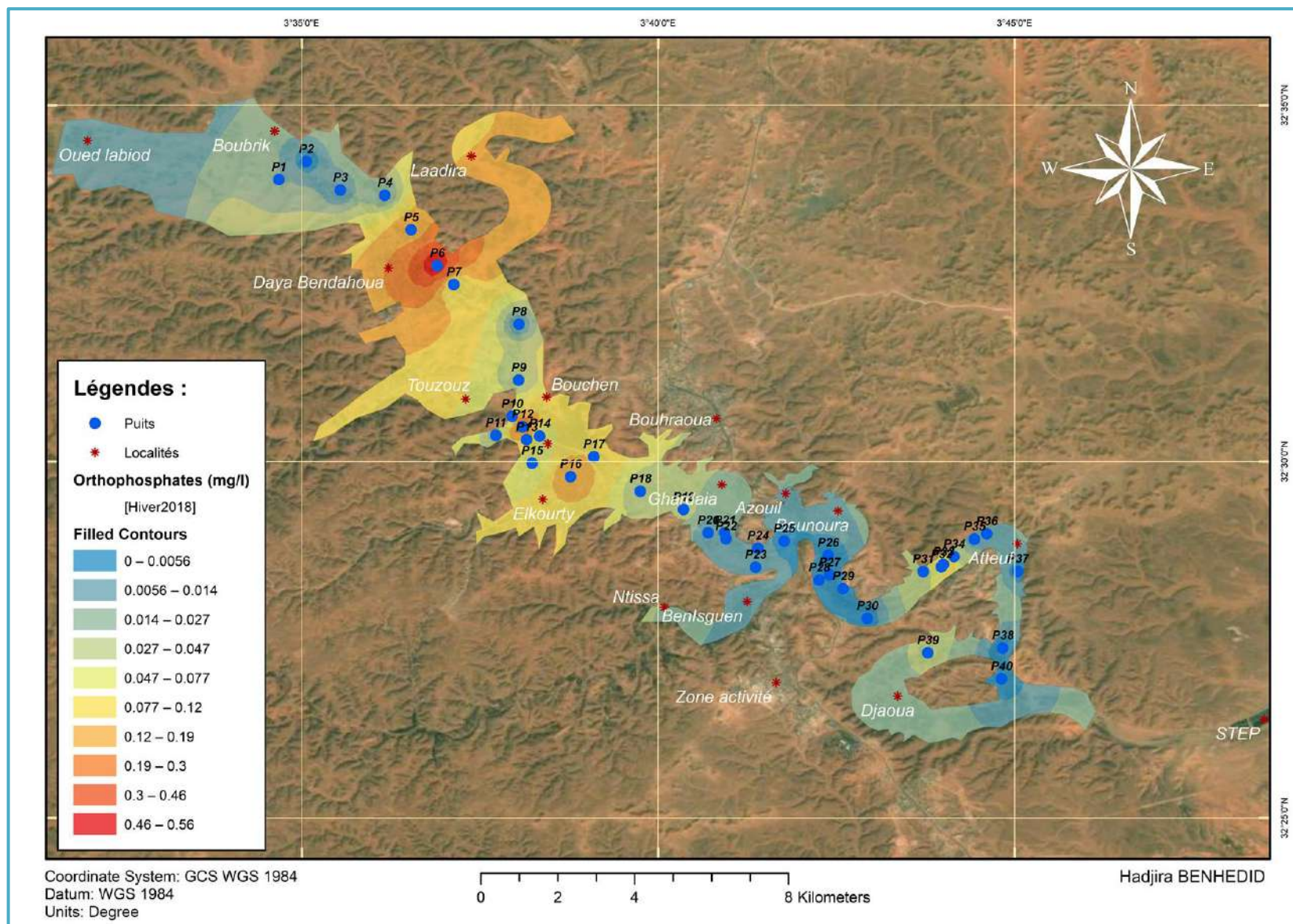


Figure VI 23. Carte de la variation spatiale de PO_4^{-3} des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (hiver 2018)

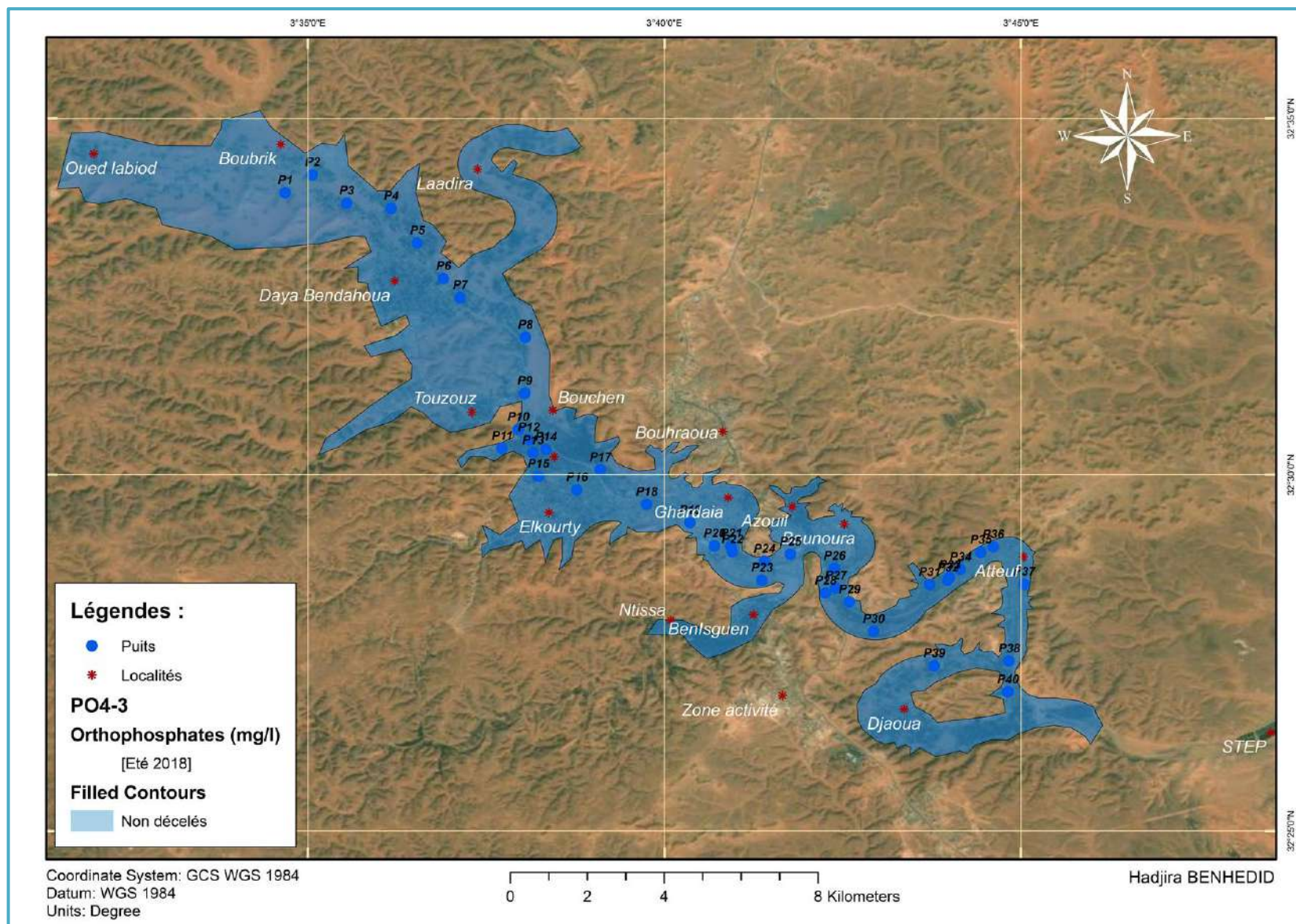


Figure VI 24. Carte de la variation spatiale de PO_4^{-3} des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab (été 2018)



5. Potentiel d'Hydrogène

D'après la figure (Fig. VI 25), les teneurs moyennes du pH des eaux de la nappe superficielle, sont très proches pour toutes les stations pendant les quatre campagnes d'étude, excepté la teneur moyenne du pH pour la station de Bounoura en été 2018 de $6,503 \pm 1,118$ qui peut avoir une influence sur les mécanismes chimiques et biologiques dans les eaux.

Cette étude montre l'homogénéité de la variation spatio-temporelle du pH des eaux de la nappe superficielle à Oued M'Zab.

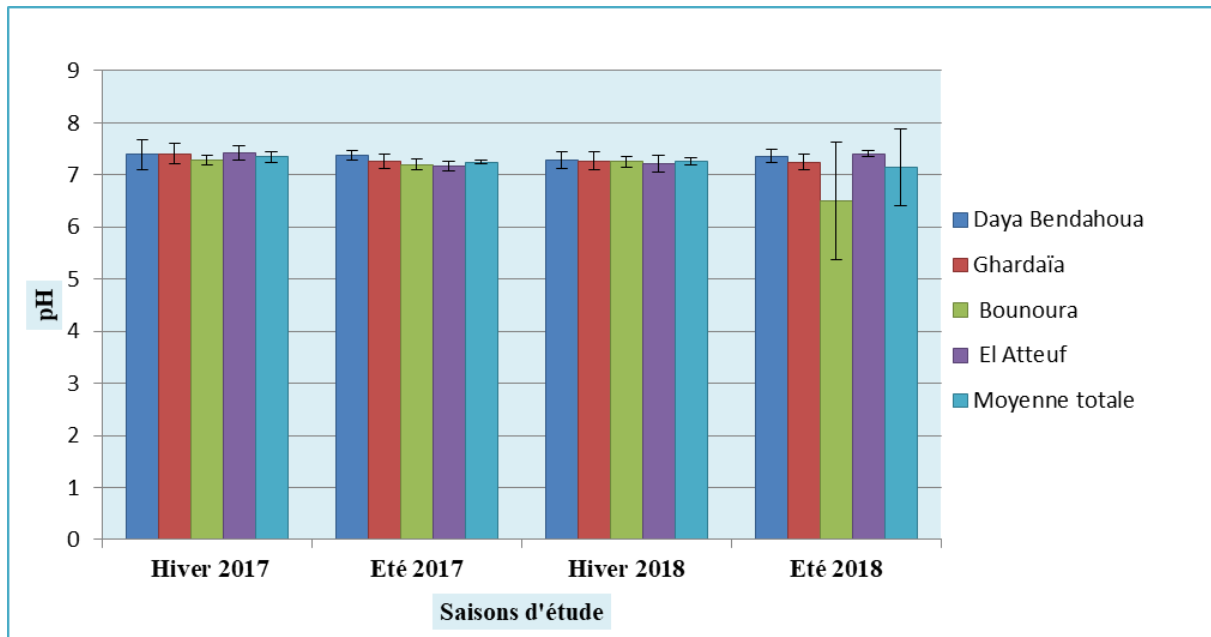


Figure VI 25. Variation spatio-temporelle du pH moyenne des eaux à travers les stations d'étude

6. Conductivité électrique

La représentation graphique (Fig. VI 26), montre que les teneurs moyennes de C.E des eaux augmentent avec un ordre croissant entre les stations d'étude, de l'amont vers l'aval de l'Oued M'Zab pendant les quatre campagnes d'étude avec une augmentation de la C.E en été par rapport en hiver dans chaque station d'étude avec un maximum de $5345,6 \pm 949,48 \mu\text{s/cm}$ pour la station d'El Atteuf en été 2018. Tandis qu'on a constaté une élévation temporelle des teneurs de la C.E des eaux pour la station de Daya Bendahoua. Alors qu'en général les teneurs moyennes de la C.E augmentent de l'amont vers l'aval avec une augmentation saisonnière en été par rapport en hiver.

L'accroissement de la charge saline pendant la saison sèche est lié étroitement à l'élévation de la température et de l'évapotranspiration dans cette période. Aussi, le pompage excessif des eaux d'irrigation dans certains puits peut conduire à la concentration des sels, et



tandis que le faible pompage ou la non utilisation des puits en hiver favorise la diminution de la salinité des eaux (évaporation moindre et dilution d'origine pluviale).

L'A.C.P global (Fig. VI 27 ; Fig. VI 28), montre que la salinité est positivement liée à la teneur des ions Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , Cl^- et SO_4^{--} indiquant leurs prédominances dans les eaux.

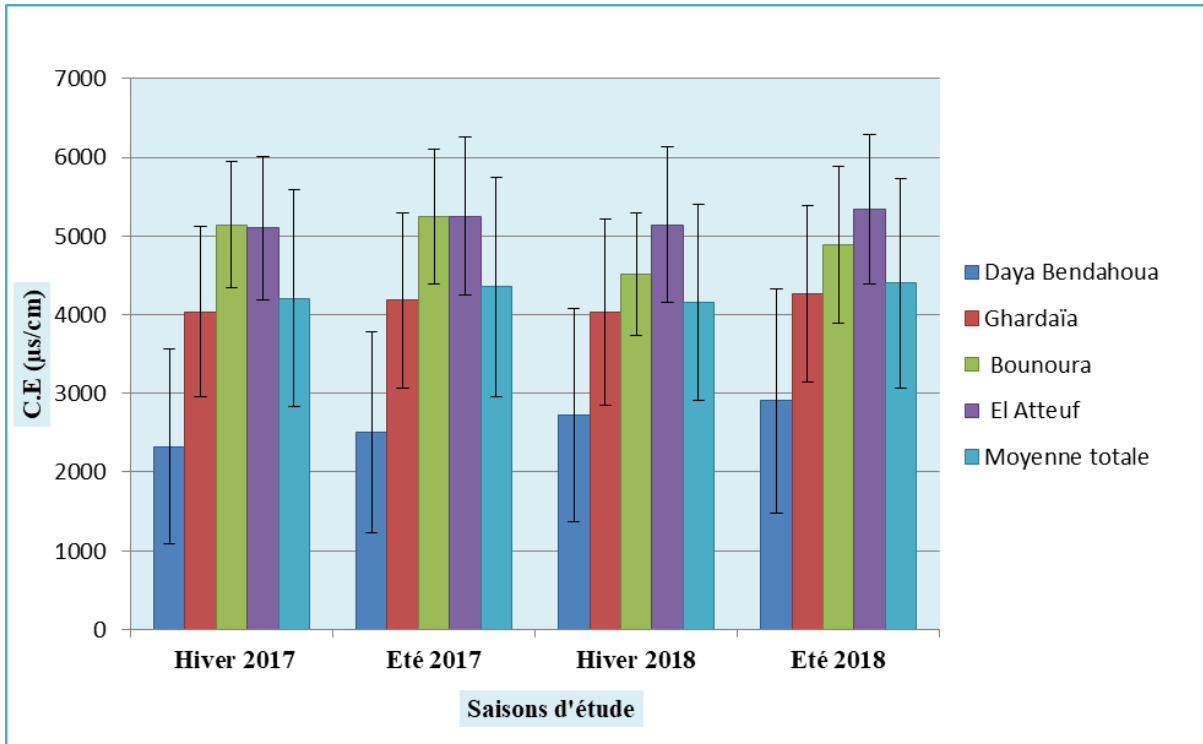


Figure VI 26. Variation spatio-temporelle de C.E moyenne des eaux à travers les stations d'étude

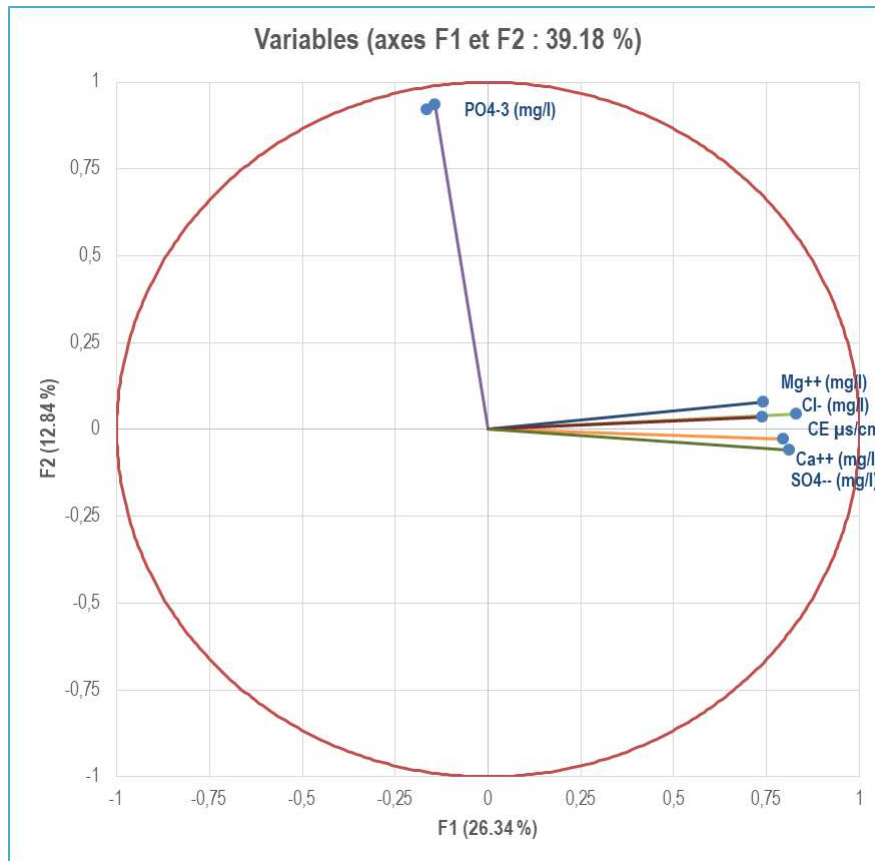
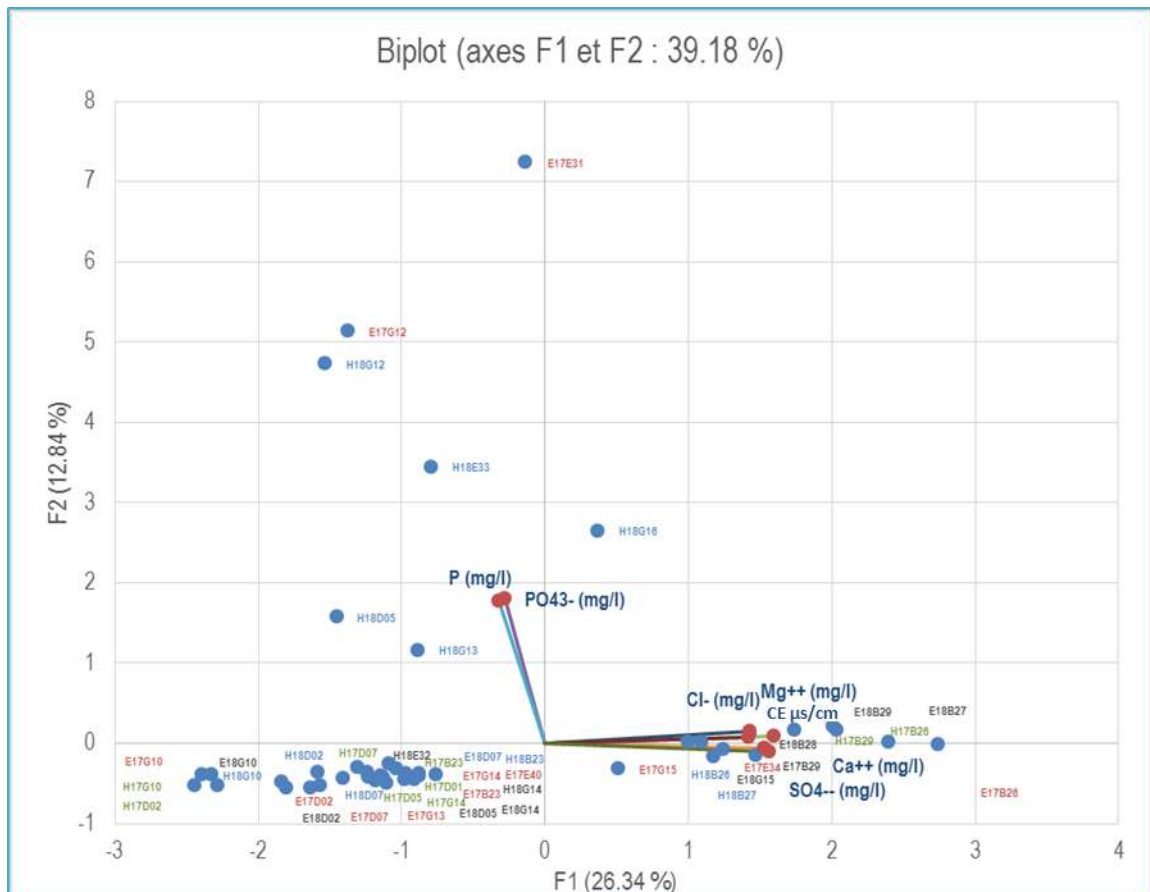


Figure VI 27. Espace des variables de l'A.C.P global





7. Turbidité

Les teneurs moyennes de la turbidité obtenues sont très variables entre les stations d'étude et entre les campagnes d'études mais d'une manière générale la turbidité des eaux augmente en été plus qu'en hiver. Elles restent très faibles dans tous les points d'étude avec une moyenne maximale en été 2017 pour la station de Ghardaïa de $1,78 \pm 1,586$ N.T.U et une moyenne maximale générale en été 2017 de l'ordre de $1,402 \pm 1,041$ N.T.U pour tous les puits prospectés. Alors que les eaux de la station de Daya Bendahoua sont les plus claires avec des valeurs des turbidités moyennes les plus faibles par rapport aux autres stations (Fig. VI 29).

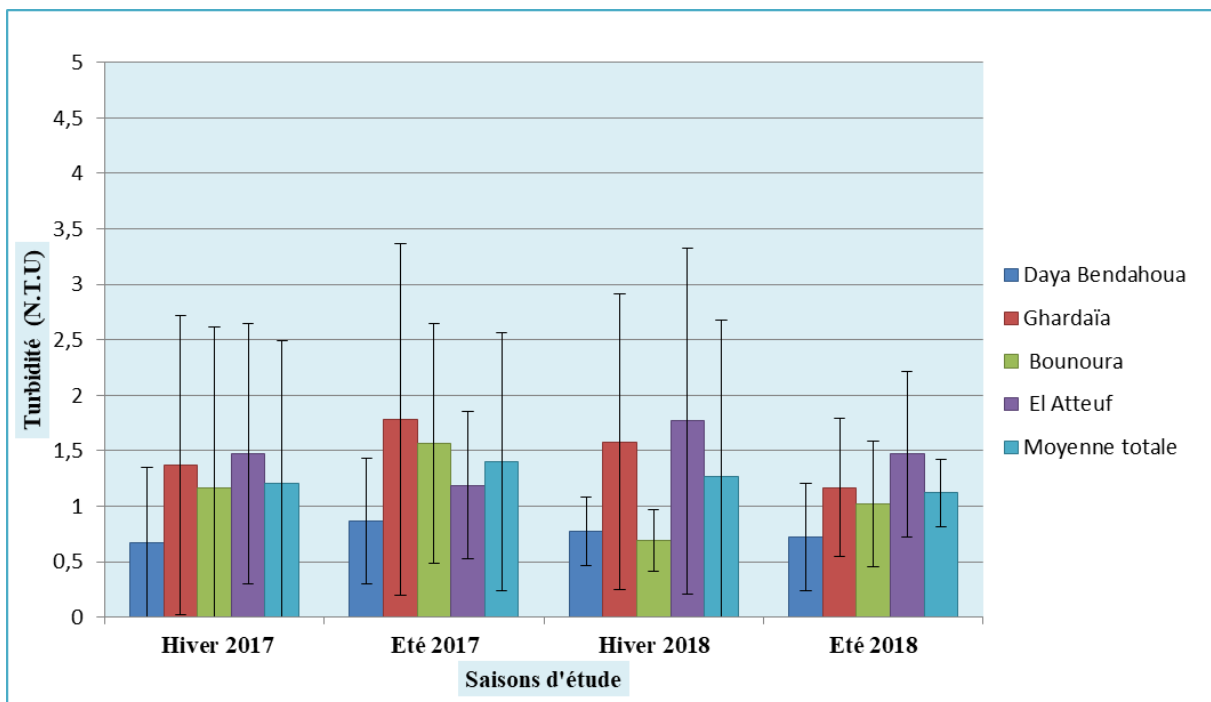


Figure VI 29. Variation spatio-temporelle de la turbidité moyenne des eaux à travers les stations d'étude

8. Chlorures

D'après la figure (Fig. VI 30), les teneurs moyennes des Cl^- des eaux augmentent avec un ordre croissant, de l'amont vers l'aval de l'Oued M'Zab pendant les quatre campagnes d'étude avec une augmentation des Cl^- pendant la période estivale dans la plupart des stations d'étude. Les valeurs maximales enregistrées au niveau d'El Atteuf avec un maximum moyen de $1101,9512 \pm 344,6756$ mg/l en hiver 2018.

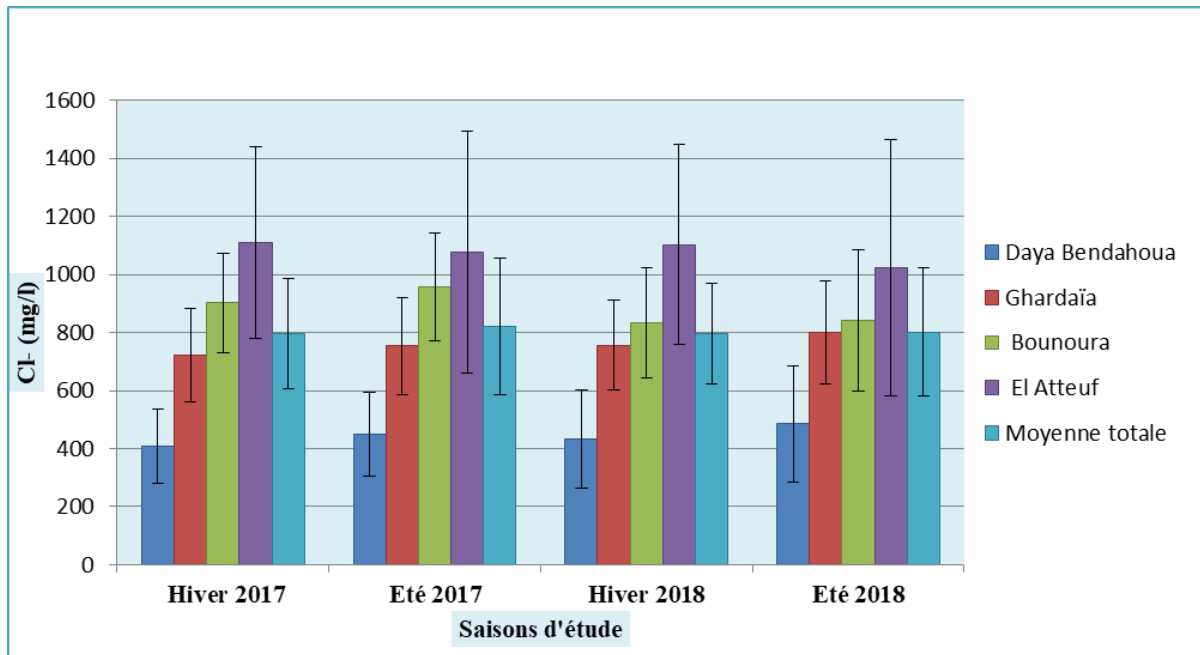


Figure VI 30. Variation spatio-temporelle de Cl^- moyenne des eaux à travers les stations d'étude

9. Sulfates

Au vu de la figure (Fig. VI 31), les concentrations moyennes des SO_4^{2-} des eaux augmentent avec un ordre croissant de l'amont vers l'aval de l'Oued M'Zab pendant les quatre campagnes d'étude avec une augmentation des SO_4^{2-} pendant la période estivale dans la plupart des stations d'étude. Tandis que la teneur maximale moyenne est enregistrée au niveau de la station de Bounoura de l'ordre de $1747,807 \pm 440,335$ mg/l en été 2017 et d'une moyenne maximale générale de $1324,883 \pm 512,252$ mg/l en été 2018 pour tous les puits. L'A.C.P global (Fig. VI 22 ; Fig. VI 23) montre que les SO_4^{2-} sont positivement liés avec les Cl^- . L'analyse d'A.F.D, (Fig. VI 6 ; VI 7 ; VI 8 ; VI 9, pp 149-150), signale que les SO_4^{2-} et les Cl^- sont des facteurs caractérisant des eaux de la station de Bounoura et ils sont discriminants en été 2017.

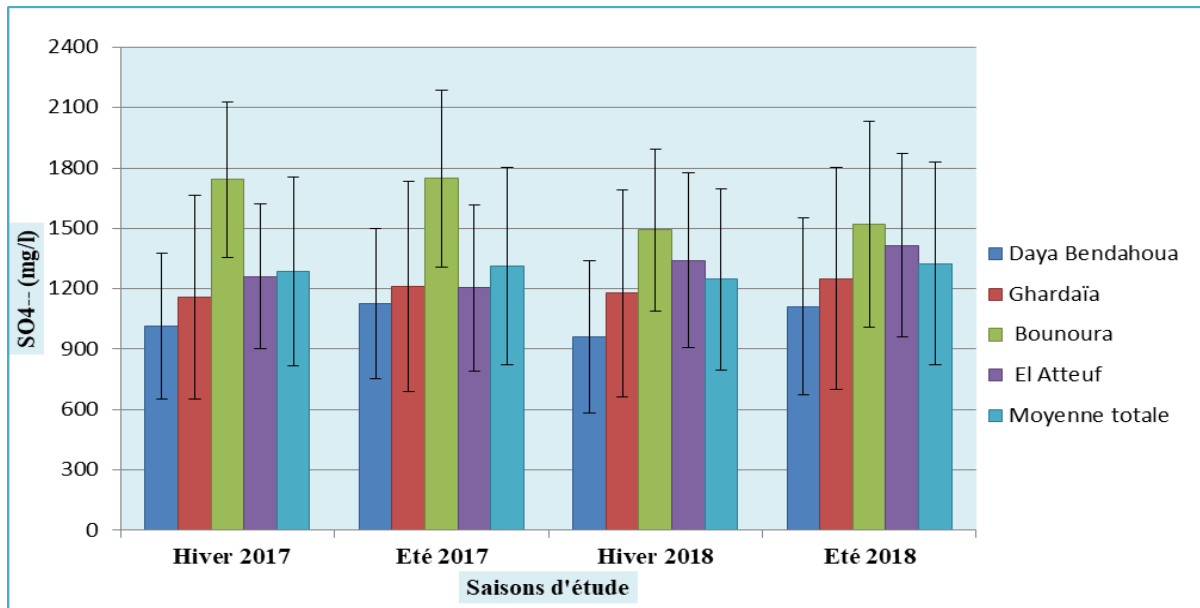


Figure VI 31. Variation spatio-temporelle de SO₄²⁻ moyenne des eaux à travers les stations d'étude

10. Potassium

La représentation graphique (Fig. VI 32) montre que le K⁺ a des teneurs moyennes voisines entre les stations d'étude et pendant les quatre campagnes d'étude avec une augmentation pendant la période d'été 2018 avec un maximum de 20,234±6,023 mg/l pour la station de Bounoura et d'une moyenne générale de 16,631±5,012 mg/l en été 2018 pour tous les points d'étude. L'analyse d'A.F.D, (Fig. VI 6 ; VI 7 ; VI 8 ; VI 9, pp 149-150), montre que le K⁺ est un facteur caractérisant des eaux de la station de Bounoura et il est discriminant en hiver 2018.

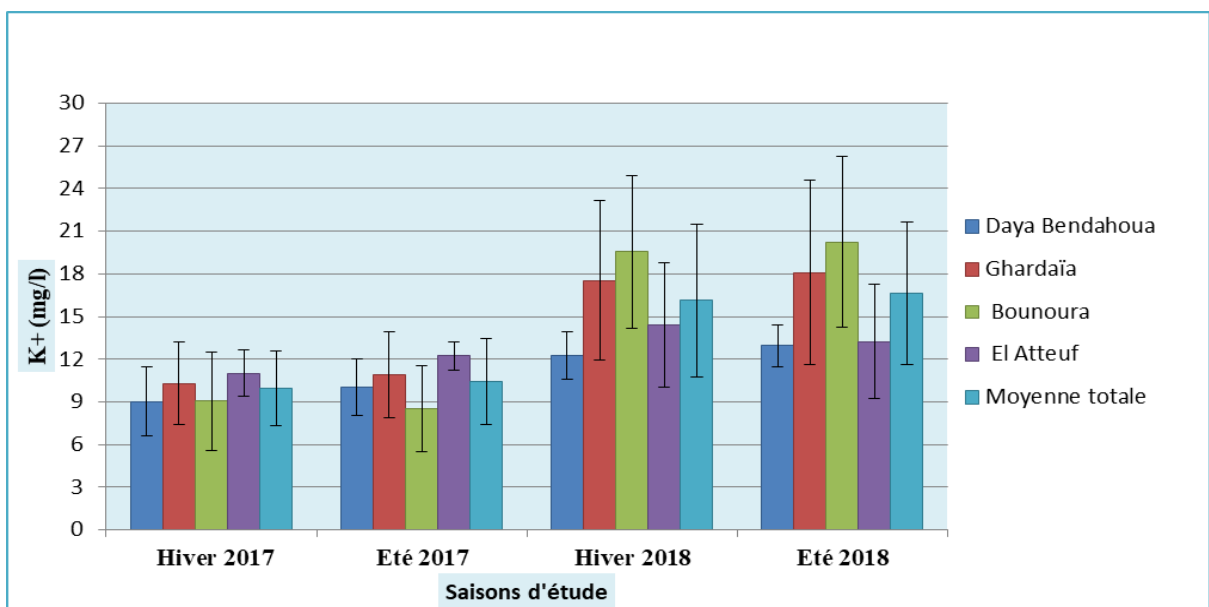


Figure VI 32. Variation spatio-temporelle de K⁺ moyenne des eaux à travers les stations d'étude



Conclusion

L'étude de la variation spatio-temporelle de la pollution azotée et les paramètres en relation avec la pollution azotée des eaux de la nappe superficielle à l'Oued M'Zab nous a permis de constater une variation spatiale et saisonnière entre ces paramètres.

Cette étude montre l'homogénéité de la variation spatio-temporelle du pH des eaux, qu'il reste proche de la neutralité. Une légère augmentation de la turbidité en été restant très faible dans tous les points d'étude.

La salinité des eaux augmente avec un ordre croissant de l'amont vers l'aval avec une augmentation saisonnière en été par rapport en hiver dans chaque station d'étude, dépassant généralement les normes. Cette augmentation est liée étroitement à l'élévation de la température et de l'évapotranspiration dans cette période.

Concernant les composés azotés, l'ammonium augmente en hiver plus qu'en été dans toutes les stations d'étude. Ces concentrations sont très faibles et au-dessous les normes. Sa diminution en période estivale peut être expliquée par sa transformation rapide en nitrite en présence de température ambiante et du pH.

Les teneurs des nitrites sont variables d'une station à une autre et d'une campagne à une autre avec une augmentation en été ; ces ions évoluent d'une manière inverse par rapport à l'ammonium. Cette augmentation dépasse les normes dans quelques puits en amont et en aval de l'Oued M'Zab. Elle est probablement fonction des mécanismes de la nitrification d'ammonium en nitrites.

Les concentrations des nitrates montrent une augmentation des teneurs des nitrates en été dans la majorité des puits prospectés par rapport en hiver, la plupart des points dépassant les normes. Cette situation peut être expliquée par la contamination des eaux de la nappe par les eaux usées et les retours d'eau d'irrigation vers la nappe. Aussi, cette augmentation peut être liée à l'augmentation de la C.E en été, en ajoutant également la sédentarisation des propriétaires des puits avec leurs familles dans les palmeraies non raccordées au réseau d'assainissement.

L'étude de la variation spatio-temporelle d'orthophosphates des eaux montre que ces eaux ne sont pas phosphorées et compatibles aux normes, avec une légère augmentation de leurs teneurs dans quelques puits parfois en hiver et d'autres fois en été ; tandis que ces teneurs sont nulles en été 2018.

Conclusion générale





Conclusion générale

Au terme de cette étude, nous constatons que les eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab sont soumises à une contamination agro-urbaine favorisant la pollution des eaux des puits par l'agriculture, les fosses septiques et les rejets des eaux usées. Ces dernières sont utilisées pour l'irrigation et comme eau potable sans contrôle de sa qualité par les services concernés, nécessitant des suivis et des études plus approfondies.

La caractérisation spatiale de la qualité hydro-chimique et biologique des eaux de la nappe superficielle pendant la période des hautes eaux a permis de constater des variations dans les paramètres étudiés.

Les eaux sont claires, proches de la neutralité et fortement salines, augmentant avec un ordre croissant de l'amont vers l'aval suivant le sens d'écoulement des eaux. Le faciès des eaux est variable, présentant une dominance dans certains puits d'éléments, comme les chlorures, les sulfates, le sodium, le calcium et le magnésium, d'origine naturelle, géologique et anthropique agro-urbaine, dont le chlorure et le sodium sont classés toxiques. Les chlorures et les sulfates peuvent être le résultat d'altération minérale et d'activité anthropique.

Les analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux montrent une pollution azotée variable dans la nappe superficielle de l'Oued M'Zab, de l'amont vers aval. Elle est issue de la contamination organique d'origine variable, notamment par les eaux usées remontant à un temps très proche dans la vallée du M'Zab. Les eaux ne présentent pas une pollution phosphorée. Toutefois, les concentrations des phosphates augmentent en zones de fosses septiques. Les teneurs de la D.B.O₅ et D.C.O indiquent une moyenne contamination organique des eaux, d'origine variable.

Les analyses bactériologiques confirment la contamination de la nappe par les eaux usées. L'absence des spores de bactéries, de type Clostridium sulfito-réducteur prouve que la pollution des eaux est récente dans la vallée du M'Zab.

La classification des eaux indique que celles-ci sont de qualité médiocre pour l'irrigation, présentant un risque pour la salinisation et l'alcalinisation des sols. Les eaux de la nappe sont classées polluées dans la vallée et non potables par rapport aux normes Algériennes et de l'O.M.S.

Le suivi spatio-temporel des eaux montre une légère augmentation du pH, de la turbidité et des teneurs d'orthophosphates pendant la période estivale. Alors, il est mis en évidence un accroissement de la charge saline et de la pollution azotée, notamment les nitrates dépassant souvent les seuils de potabilité ; ce qui constitue sans aucun doute un risque pour les habitants consommateurs de ces eaux.



La comparaison de ces résultats par rapport à nos résultats réalisés en 2013 (BENHEDID, 2014) montre un rabatement de la charge de la pollution de NH_4^+ , de NO_2^- et de D.C.O. Ce rabatement peut être expliqué par la suppression de certains points noirs sources de la contamination des eaux de la nappe superficielle par les eaux usées et le processus de traitement des eaux par la station d'épuration par lagunage en aval de l'Oued M'Zab. Alors que, les teneurs de NO_3^- restent supérieures aux valeurs obtenues antérieurement ; ce qui montre aussi l'origine agricole des nitrates. Les données à la basse montrent que les eaux de cette nappe ne présentent pas une pollution phosphorée et nous avons constaté une diminution des concentrations dans les dernières mesures où la plupart de ces teneurs sont nulles. En ce qui concerne le dénombrement des bactéries indicatrices de la contamination fécale, on remarque aussi la diminution du taux de ces bactéries et l'absence totale des Clostridiiums. La réduction de la charge de ces bactéries prouve la réduction de la contamination de la nappe superficielle par les eaux usées.

Notre étude montre une dégradation des ressources hydriques souterraines par les activités agricoles et urbaines dans la vallée du M'Zab. Pour prendre en charge rapidement ce problème, un ensemble de mesures s'avèrent nécessaires à savoir :

- Le lancement d'un travail de sensibilisation auprès des citoyens sur la pollution hydrique et les risques sur l'environnement agro-urbain ;
- La mise en place d'une charte d'utilisation des eaux qui définit l'usage agro-domestique de ces eaux par rapport à leurs niveaux de pollution ;
- La mise en place d'un dispositif de surveillance du niveau statique et de la qualité des eaux de cette nappe par l'A.D.E, l'A.N.R.H ou par l'O.N.A pour trouver les solutions adéquates de lutte contre la remontée de ces eaux et leurs pollutions ;
- La conception d'un plan d'aménagement hydraulique pour la vallée du M'Zab. Il va servir à améliorer le réseau d'assainissement et le mode d'épuration. Il faut passer d'un traitement de lagunage naturel à un traitement biologique secondaire et tertiaire. Aussi le renforcement des infrastructures de la S.T.E.P par des ouvrages de prétraitement de déshuilage-dégraissage pour assurer un bon fonctionnement des lagunes et résoudre le problème de prolifération intensive des algues ;
- La réglementation de l'usage des fosses septiques en interdisant leurs utilisations dans les zones raccordées au réseau d'assainissement et en respectant les normes de construction de ces dernières dans les zones non raccordées ;



- La restauration et l'entretien des puits abandonnés et l'interdiction de jeter les déchets solides et liquides dans les puits ;
- La gestion rationnelle des eaux agro-urbaines va permettre de minimiser les quantités des eaux usées rejetées, la recharge de la nappe superficielle et sa contamination par les fertilisants agricoles ;
- L'étude de la réutilisation agricole des eaux épurées est à promouvoir en zones arides selon la réglementation de l'O.M.S. Cela permet de valoriser ces ressources hydriques et de réduire ainsi leurs impacts environnementaux.

Enfin, ce travail de recherche reste une contribution dans l'étude de la pollution des eaux de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab. Le développement de cet axe de recherche est recommandé pour assurer un meilleur diagnostic des problèmes liés aux conditions hydriques. Les résultats obtenus peuvent contribuer à évaluer les niveaux des problèmes posés et proposer les solutions adéquates. Pour cela, il est impératif de promouvoir la recherche scientifique en aménagement hydraulique dans une perspective de développement durable dans la vallée du M'Zab.

Références bibliographiques





- ACHOUR M., 2014.** Vulnérabilité et protection des eaux souterraines en zone aride, cas de la vallée du M'Zab, Mém magister, Université Oran, 143 p.
- AGNAN Y., 2013.** Bioaccumulation et bioindication par les lichens de la pollution atmosphérique actuelle et passée en métaux et en azote en France : sources, mécanismes et facteurs d'influence. Doctorat de l'université de Toulouse, 307 p.
- AHOUSSE K.E., IKOFFI Y.B., KOUASSI A.M., SORO G., BIEMI J., 2013.** Étude hydrochimique et microbiologique des eaux de source de l'ouest montagneux de la Côte d'Ivoire : Cas du village de Mangouin-Yrongouin (sous-préfecture de Biankouman). Journal of Applied Biosciences 63. ISSN 1997–5902, pp 4703–4719.
- AÏT BOUGHROUS A., 2007.** Biodiversité, écologie et qualité des eaux souterraines de deux régions arides du Maroc : le Tafilalet et la région de Marrakech. Thèse de doctorat. Sciences et Techniques des eaux. Hydrobiologie souterraine. Université Cadi Ayyad Marrakech. 207 p.
- AMINOT A. & KEROUEL R., 2004.** Hydrologie des écosystèmes marins : paramètres et analyses. Ed Ifremer, ISBN 2-84433-133-5, 336 p.
- A.N.A.T, 2003.** Schéma directeur des ressources en eau de la Wilaya de Biskra, Dossier 2, Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire, Algérie.
- A.N.R.H, 2003.** Note relative à l'étude de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab. Agence nationale des ressources hydrauliques direction régionale sud-Ouargla, 11 p.
- A.N.R.H, 2005.** Note relative aux ressources en eaux souterraines de la Wilaya de Ghardaïa, Rapport de l'Agence nationale des ressources Hydrauliques direction régionale sud-Ouargla, 19 p.
- A.N.R.H, 2007.** Notes relatives sur les ressources en eau de la wilaya de Ghardaïa, Agence nationale des ressources Hydrauliques direction régionale sud-Ouargla, 4 p.
- A.N.R.H, 2008.** Crue de Ghardaïa, Agence nationale des ressources Hydrauliques direction régionale sud-Ouargla, 9 p.
- A.N.R.H, 2009.** Rapport de fin du sondage. FORAGES DE RENFORCEMENT BERRIANE-DAYA-GHARDAIA-EL ATTEUF-METLILI, 66 p.
- A.N.R.H, 2010.** Note de synthèse sur les premières mesures piézométriques en utilisant les nouveaux piézomètres captant la nappe du Continental Intercalaire dans la wilaya de Ghardaïa, Agence nationale des ressources hydrauliques direction régionale sud-Ouargla, 13 p.
- A.N.R.H, 2011.** Inventaire des forages d'eau et enquête sur les débits extraits de la wilaya de Ghardaïa, Agence nationale des ressources Hydrauliques direction régionale sud-Ouargla, 16 p.



- A.N.R.H., 2019.** Gestion des ressources en eau souterraine dans la région de Ghardaïa, AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES. SECTEUR DE GHARDAIA, 10 p.
- ASSAAD A., 2014.** Pollution anthropique de cours d'eau : caractérisation spatio-temporelle et estimation des flux. Thèse de doctorat, Université de Lorraine, Ecole Doctorale Ressources Procédés Produits Environnement (RP2E), Spécialité de Génie des Procédés pour l'Énergie et l'Environnement, 226 p.
- AYAD W. & KAHOUL M., 2016.** Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de puits dans la région d'El-Harrouch (N.E-Algérie) [Assessment of physicochemical and bacteriological quality of Well water in the region of ElHarrouch (N.E-Algeria)]. J. Mater. Environ. Sci. 7 (4) (2016), ISSN : 2028-2508, CODEN: JMESCN, pp 1288-1297.
- AYERS R.S. & WESTCOT D.W., 1988.** La qualité de l'eau en agriculture. Bull. F.A.O. Irrig. Drain., 29, Rome, 180 p.
- BADIA GONDARD, F. 2003.** L'assainissement des eaux usées. Edition techniciennes, 115 p.
- BANTON O. & BANGOY L.M. 1999.** Transferts de masse et d'énergie. Dans Hydrogéologie, multiscience environnementale des eaux souterraines. Éditeurs: PUQ/AUPELF. Sainte-Foy, Québec, 460 p.
- BATES B.C., KUNDZEWICZ Z.W., WU S. & PALUTIKOF J.P., 2008.** Le changement climatique et l'eau, document technique publié par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Secrétariat du GIEC, Genève, 236 p.
- BAUMONT S., CAMARD J.P., LEFRANC A. & FRANCONI A., 2005.** Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile-de-France, 176 p.
- BEGRA M.I. & TELLI H., 2018.** QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE ET BACTERIOLOGIE DES EAUX SOUTERRAINES DE LA VALLEE DU M'ZAB. Mem master. Université de Ghardaia, 67 p.
- BELGHITI M.L., CHAHLAOUI A., BENGOUMI D. & 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, ISSN 1112-3680, n°14, Juin 2013), pp 21-36.
- BELHADJ M.Z., 2017.** Qualité des eaux de surface et leur impact sur l'environnement dans la Wilaya de Skikda. Thèse de Doctorat en sciences, Spécialité de Sciences Hydrauliques. Université Mohamed Khider Biskra, 172 p.



- BEN ABOU M., EI HAJI M., ZEMZAMI M., BOUGARNE L. & FADIL F., 2014.** Dégradation de la qualité des eaux de la nappe alluviale de l'Oued Larbaa par les déchets de la ville de Taza (Maroc) (International Journal of Innovation and Scientific Research, Vol. 10 No. 2 Oct. 2014), pp 282-294.
- BENGOUMI M., TRAOURE A. BOUCHRITI N., BENGOUMI D. et al., 2004.** Qualité de l'eau en aviculture .Revue trimestrielle d'information scientifique et technique – Volume 3 – N°1, Maroc, pp 5-25.
- BENHEDID H. & DADDI BOUHOUN M., 2018.** Characterization of superficial aquifer in Oued M'Zab (Northern Algerian Sahara). Advances in Sustainable and Environmental Hydrology, Hydrogeology, Hydrochemistry and Water Resources Proceedings of the 1st Springer Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG-1), Tunisia 2018, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-01572-5_63, pp 261-264.
- BENHEDID H. & DADDI BOUHOUN M., 2019.** Azoto-Phosphoric Potentials of Groundwater in the M'Zab Valley (Algeria). PONTE Journal International Journal of Sciences and Research, Vol. 75 | No. 6/1 | Jun 2019 DOI: 10.21506/j.ponte.2019.6.17, <http://www.pontejournal.net/mainpanel/abstract.php?TOKEN=gRkgF5411G&PID=PJ-ZMUYB>, pp 124-132.
- BENHEDID H., 2014.** Etude de l'impact des eaux usées sur la variabilité de la pollution des aquifères superficiels à Oued M'Zab, Mém magister, Université KASDI MERBAH Ouargla, 149 p.
- BENHEDID H., DADDI BOUHOUN M. & ACHOUR M., 2019b.** Variation de la pollution azotée et phosphorée de la nappe superficielle à Oued M'Zab. Journal of Advanced Research in Science and Technology ISSN: 2352-9989, Volume 6, Numéro 2, Pages 1090-1096, <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/98167>, pp 1090-1096.
- BENHEDID H., DADDI BOUHOUN M. , BENBRAHIM F. , CHAABNA A. & DJIDEL M., 2019a.** Risque de salinisation et d'alcalinisation des sols par les eaux d'irrigation de l'aquifère superficiel à Oued M'Zab (Algérie). REVUE AGRICULTURE, 10(2) : 84 – 91, (2019), <https://revue-agro.univ-setif.dz/volumes>, pp 84–91
- BENRAIS, 1995.** Contrôle et suivi de la qualité de l'eau trait type d'analyse à effectue semainière sur la qualité de l'eau et réglementation .Ghardaïa, 113 p.
- BENSAHA H., BENSAHA L. & ACHOUR M., 2011.** Réflexions pour préserver l'environnement : cas de la vallée du M'Zab. Colloque international Usages écologique, économiques et sociaux de l'eau agricole en Méditerranée: Quels enjeux pour quels services ? 20 au 21 janvier 2011, Université de Provence, France, 12 p.



- BENSAHA Z., 2015.** Evaluation hydrochimique des eaux phréatiques de la vallée du M'Zab par comparaison avec la région de Laghouat et d'Ouargla pour l'aptitude en alimentation potable et en irrigation. Mem master. Université de Ghardaia, 88 p.
- BENTOUATI L. & A. BOUZIDI., 2011.** Etude de la qualité des eaux souterraines de la wilaya de Setif (Science Lib Editions Mersenne : Volume 3, N ° 111207, ISSN 2111-4706, 2011), pp 1-10.
- BENZAYET B., 2010.** Evaluation hydrochimique des eaux souterraines de la vallée du M'Zab: Cas de Oued Labiod. MémIng. Ecole Nationale Supérieure Agronomique. Alger. 78 p.
- BERAUD J.F., 2001.** La protection des ressources en eau .Bull. Spéc .Eau .ENS Géologie, Nancy, pp 25-28.
- BERMAN T. & BRONK D.A., 2003.** Dissolved organic nitrogen: a dynamic participant in aquatic ecosystems. AQUATIC MICROBIAL ECOLOGY Aquat Microb Ecol. Vol. 31: 279–305, 2003, pp 279-305.
- BERNARD-VALETTE N., 2000.** Simulation des impacts sur les eaux souterraines de l'infiltration des eaux pluviales en milieu urbanisé : Application au cas de l'aquifère de l'Est Lyonnais. Thèse de doctorat. Lyon : INSA de Lyon, 2000, 339 p.
- BERTIN J. & GAUTIER M., 1952.** Le forage de Zelfana, sondage de reconnaissance albienne au Sahara. XIX Congrès Géo. Inter. Session d'Alger, pp 186-197.
- BLIEFERT C. & PERRAUD R., 2003.** Chimie de l'environnement : Air, Eau, Sols, Déchets. Edition de boeck, 324 p.
- B.N.E.D.E.R., 1988.** Etude des ressources du milieu pour la mise en valeur dans la Wilaya de Ghardaïa : Analyse de la situation actuelle, Alger, BNEDER, 164 p.
- BONNARD & GARDEL, 1996.** Etude d'assainissement et de protection contre les crues de la vallée de l'Oued M'Zab. Rapport de synthèse des données concernant l'assainissement. Association BG-ENHPC, 41 p.
- BONNARD & GARDEL, 1999.** Etude d'assainissement et de protection contre les crues de la vallée de l'Oued M'Zab. Rapport de synthèse sur les données de base. Association BG-ENHPC, 116 p.
- BONNARD & GARDEL, 2000.** Etude d'assainissement et de protection contre les crues de la vallée de l'Oued M'Zab. Etude d'impact. Association BG-ENHPC, 80 p.
- BOTHE H., FERGUSON S.J. & NEWTON W.E., 2007.** Biology of the nitrogen cycle. Elsevier B.V.,Amsterdam, The Netherlands, 427 p.
- 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). Mém de Magister en hydrogéologie environnemental et modélisation. Université d'Annaba, Algérie, 133 p.

BOUCHEMAL F., 2017. Diagnostic de la qualité des eaux souterraines et superficielles de la région de Biskra. Thèse de Doctorat en sciences, Spécialité Hydrauliques. Université Mohamed Khider Biskra, 179 p.

BOUDERKA N., SOUID A., LAKHILI F., LAHRACH A. & BENABDELHADI M., 2016. Evaluation De L'impact De La Pollution Agricole Sur La Qualité Des Eaux Souterraines De La Nappe Du Gharb (European Scientific Journal April 2016 édition vol.12, No.11 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431, 2016), pp 509-524.

BOUHADDA M. & ZENTAR S., 2006. Contribution à l'étude des caractéristiques physico-chimiques des eaux et leur impact sur la nappe phréatique. Mémoire Ing. Université Kasdi Merbah Ouargla, 70 p.

BOUHANNA A., 2014. Gestion des produits d'épuration des eaux usées de la cuvette de Ouargla et perspectives de leurs valorisations en agronomie saharienne. Mémoire de Magister. Université Kasdi Merbah de Ouargla, 177 p.

BOUHANNA A., 2021. Contribution à l'étude des impacts de la réutilisation agricole des eaux usées épurées sur la nappe phréatique : cas de la région de Ouargla- Thèse de Doctorat en Sciences En Agronomie Spécialité, Sciences Agronomiques, 193 p.

BOUSELSAL B. & KHERICI N., 2014. Effets de la remontée des eaux de la nappe phréatique sur l'homme et l'environnement : cas de la région d'El-Oued (SE Algérie). Afrique SCIENCE 10(3) (2014), ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.info>, pp 161-170.

BOUTELLI M.H., 2011. Salinité des eaux et des sols au niveau de la Sebkhha de Bamendil, caractérisation et conséquences sur l'environnement. Mém magister. Université de Kasdi Merbah- Ouargla, 90 p.

BRAHY V., 2013. L'eutrophisation et l'enrichissement en nutriments. Extrait du rapport etat.environnement.wallonie, pp 380-395.

BREMOND R. & PERRODON C., 1976. Paramètre de la qualité des eaux 2^{ème} Ed, 95 p.

BRONK DA., SEE J.H., BRADLEY P. & KILLBERG L., 2007. DON as a source of bioavailable nitrogen for phytoplankton. Biogeosciences, 4, pp 283–296.

BRUCE B.W. & MCMAHON P.B., 1966. Shallow ground-water quality beneath a major urban center : Denver, Colorado,USA. Journal of Hydrology, 1996, vol. 186, n°1-4, pp 129-151.



- CASTANY G., 1982.** Principes et méthodes de l'Hydrogéologie. Ed. Dunod. Paris, 236 p.
- C.E.A.E.Q, 2000.** Recherche et dénombrement des coliformes fécaux; méthode par filtration sur membrane. Centre d'expertise en analyse environnementale, Gouvernement du Québec, 24 p.
- C.E.A.E.Q, 2014.** Recherche et dénombrement des coliformes thermotolérants (fécaux) et confirmation à l'espèce *Escherichia coli* : méthode par filtration sur membrane. CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC. MA. 700 – Fec.Ec 1.0, Rév. 5, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, 2014, 20 p.
- CHEVERRY C., 1972.** Exemple d'application des travaux de l'U.S. Salinity laboratory (1963-1968) sur l'alcalinisation des sols soumis à l'action d'eaux bicarbonatées. Cah. O.R.S.T.O.M., Séri. Pédol, 10 (2), pp 193-203.
- COUTURE I., 2004.** Analyse d'eau pour fin d'irrigation MAPAQ Montérégie-Est. AGRIVISION 2003-2004, 8 p.
- COYNE A., 1879.** Le M'Zab. Ed. Adolphe Jourdan, Libraire-Editeur Alger, 41 p.
- DADDI BOUHOUN M., 1997.** Contribution à l'étude de l'évolution de la salinité des sols et des eaux d'une région saharienne : cas du M'Zab. Thèse Magister, El-Harrach, I.N.A, 180 p.
- DAJOZ R., 1982.** Précis d'écologie. Ed. Dunod. Paris, 621p.
- DE NARDI F., 2009.** Excès de phosphore et de matières organiques naturelles dans les eaux de retenues : diagnostic et remèdes Cas du lac de Ribou à Cholet, (Maine-et-Loire, France). Université d'Angers, 2009. Français, 280 p.
- DE VILLERS J., SQUILBIN M. & YOURASSOWSKY C., 2005.** Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface. Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement, 16 p
- DEBIECHE T.H., 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 Seybouse - Nord-Est Algérien). Thèse de doctorat. Univ. FRANCHE-COMTE, Spécialité de Sciences de la Terre (Hydrogéologie et Environnement), 199 p.
- DEGREMENT, 2005.** Mémento technique de l'eau. Tome 1. 10eme edition, 466 p.
- DELPLA I., JUNG A.V., BAURES E., CLEMENT M. & THOMAS O., 2009.** Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. Environment International Volume 35, Issue 8, November 2009, pp1225-1233.



- DERWICH E., BENAABIDATE L., ZIAN A., SADKI O. & BELGHITY D., 2010.** Caractérisation alluviale du haut Sebou en aval de sa confluence avec oued Fes. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 08, pp101-112.
- DIB I., 2009.** L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Gadaine- Ain Yaghout (Est Algérien). Mém magister. Université Hadj Lakhdar Batna, 127 p.
- DJIDEL M., 2008.** Pollution minérale et organique des eaux de la nappe superficielle de la cuvette de Ouargla (Sahara septentrional, Algérie). Thèse doctorat. Université de Badji Moukhtar Annaba, 164 p.
- DJILI B., 2018.** Contribution à l'étude des sols alluviaux des bassins du M'zab : Approche morpho-analytique, organisation spatiale et intérêt environnemental. Thèse doctorat. UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA, 223 p.
- D.P.A.T, 2010.** Annuaire statistique de la wilaya de Ghardaïa, direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire, 15^{ème} édition, volume I, 84 p.
- D.P.S.B, 2012.** Annuaire statistique de la wilaya de Ghardaïa, direction de la programmation et du suivi budgétaires, volume I et II, 140 p.
- D.P.S.B, 2019.** Annuaire statistique de la wilaya de Ghardaïa, direction de la programmation et du suivi budgétaires, 214 p.
- D.S.A, 2019.** Inventaire des puits dans la wilaya de Ghardaïa, Direction des Services Agricoles, 1 p.
- DUBIEF J., 1953.** Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Service des études scientifiques, Alger, 457 p.
- DUBIEF J., 1959.** Le climat du Sahara. Institut des recherches sahariennes. Mém. Institut des recherches sahariennes, tome I. Alger, 298 p.
- DUBIEF J., 1963.** Le climat du Sahara. Mém. Institut des recherches sahariennes. tome II. Alger, 262 p.
- DURAND J.H., 1983.** Les sols irrigables : Étude pédologique. Presse Universitaire de France. Collection. Ed. ACCT et CILF. Paris, 339 p.
- DUTIL, P., 1971.** Contribution à l'étude des sols et des paléosols du Sahara. Thèse doctorat. Univ. Strasbourg, 346 p.
- EDMUNDSA W.M., GUENDOOUZ A.H., MAMOU A., MOULLA A., SHANDA P. & ZOUARID K., 2003.** Groundwater evolution in the Continental Intercalaire aquifer of southern Algeria and Tunisia : trace element and isotopic indicators. Applied Geochemistry 18 (2003), pp805–822.



- FAN A.M., WILLHITE C.C. & BOOK S.A., 1987.** Evaluation of the nitrate drinking water standard with reference to infant methemoglobinemia and potential reproductive toxicity, *Regul Toxicol Pharmacol*,7(2), pp135-148.
- F.A.O, 1985.** Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage paper 29, Rev. 1., F.A.O, Rome.
- F.A.O, 2003.** Irrigation avec les eaux usées traitées, Manuel d'utilisation. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture. Bureau Régional pour le Proche Orient et Bureau sous régional pour l'Afrique du Nord, 68 p.
- FRANK R. 2002.** Analyse des eaux, Aspects réglementaires et techniques. Ed. Scérén CRDP AQUITAINE. Bordeaux, 171 p.
- FRIOUA S., 2014.** Localisation et caractéristiques des zones sources de pollution des ressources en eau de la ville de Biskra à l'aide de S.I.G. Mémoire de Master en Sciences de l'Eau et de l'Environnement. Université Mohamed Khider Biskra, Algérie, 79 p.
- GALVEZ-CLOUTIER R., IZE S. & ARSENAULT S., 2009.** La détérioration des plans d'eau : manifestation et moyens de lutte contre l'eutrophisation (Vecteur de l'environnement, Volume 35, Numéro 6, Novembre 2009), pp 18-37.
- GOUAIDIA L., 2008.** Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de Meskiana Nord-Est Algerien. Thèse doctorat. Université de BadjiMoukhtar Annaba, 130 p.
- GOUASMIA G., AMAROUAYACHE M., FRIHI H. & KARA M.H., 2016.** Caractérisation physico-chimique de trois lacs salés permanents de la vallée d'Oued Righ (Sahara septentrional, Algérie nord-est). *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, Vol. 71 (4), pp 330-341.
- GUEMARI F., 2009.** Etude des systèmes traditionnels de captages eaux et d'irrigation dans les oasis de la vallée de M'Zab, cas oasis de Metlili, Guerrara, Beni Izguene, Berraine et Bounoura. Mém magister. Université KASDI MERBAH Ouargla, 79 p.
- GUILLAUME J., 2008.** Influence des activités agricoles sur la pollution nitrique des eaux souterraines. Analyse par modélisation des impacts des systèmes de grande culture sur les fuites de nitrate dans les plaines alluviales. Thèse de doctorat. Université Toulouse III - Paul Sabatier, Discipline ou spécialité : Agrosystèmes, écosystèmes et environnement, 206 p.
- GUPTA D.B., 1992.** The importance of water resources for urban socioeconomic development. In *International Conference on Water and the Environment : Development Issues for the 21st Century*.



- HASSANI T., 2009.** Contribution à la caractérisation des eaux d puits de la palmeraie Est de la commune de Ghardaïa. Mém Ing. ENSP, 48 p.
- HOUICHITI R., 2018.** Dynamique de l'agriculture et sécurité alimentaire dans la région de Ghardaïa (Sahara septentrional algérien). Thèse doctorat. UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA, 186 p.
- IDDER T., 1998.** La dégradation de l'environnement urbain liée aux excédents hydriques au Sahara Algérien. Impact des rejets d'origine agricole et urbaine et technique de remédiations proposées. L'exemple de Ouargla. Thèse doctorat., Université d'Angers, 284 p.
- IDDER T., 2007.** Le problème des excédents hydriques à Ouargla : situation actuelle et perspectives d'amélioration. Sécheresse vol. 18, n° 3, pp161-167.
- IDDER T., IDDER A. & MENSOUS M., 2011.** Les conséquences écologiques d'une gestion non raisonnée des eaux agricoles dans les oasis du Sahara algérien (Cas de l'oasis de Ouargla). Atelier n° 3. Colloque international usages écologiques, économiques et sociaux de l'eau agricole en méditerranée : Quels enjeux pour quels services. Université de Provence, Marseille, 20-21 janvier 2011, 12 p.
- I.N.S.P.Q, 2013.** Fiches synthèses sur l'eau potable Institut national de santé publique du Québec et la santé humaine. Groupe scientifique sur l'eau, Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, Institut national de santé publique du Québec, 223 p.
- I.S.O, 1984.** Qualité de l'eau. NA 1653, ISO 6058. Ed. INAPI. Edition et diffusion, Alger, 4 p.
- I.S.O, 1986.** Qualité de l'eau. NA 1848, ISO 6332. Ed. INAPI. Edition et diffusion, Alger, 3 p.
- I.S.O, 1989.** Qualité de l'eau. NA752, ISO 5813. Ed. INAPI. Edition et diffusion, Alger, 5 p.
- I.S.O, 1993.** Qualité de l'eau. NA 2364, ISO 9964/3. Ed. INAPI. Edition et diffusion, Alger, 20 p.
- JOARDER M.A., RAIHAN F., ALAM J.B. & HASANUZZAMAN S., 2008.** Regression analysis of Groundwater quality data of Sunamjang District, Bangladesh International Jour. Environ Research 2 (3), pp 291- 296.
- J.O.R.A, 2006.** Décret exécutif n°06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels. Journal officiel de la république algérienne N° 26, 23 p.
- J.O.R.A, 2011.** Décret exécutif n°11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine. Journal officiel de la république algérienne N° 18, 34 p.



- J.O.U.E., 2006.** Directive n° 2006/118/CE du 12/12/06 sur la protection des eaux souterraines contre la pollution et la détérioration. J.O.U.E. n° L 372.
- KACI S., 2005.** Contribution à l'étude des potentialités de l'apiculture en milieu oasien : cas de la wilaya de Ghardaïa Mém. d'Ing., U.K.M. – Ouargla, 144 p.
- KHADRAOUI A. & TALEB S., 2008.** Qualité des eaux dans le sud algérien potabilité-pollution et impact sur le milieu. Ed.KHYAM, 367 p.
- KHELIFA A., 2008.** Etude du système ancestral de captage et de distribution des eaux dans l'oasis de Ghardaïa. Mém magister. Université KASDI MERBAH Ouargla, 75 p.
- KHENE B., 2013.** Dynamique des systèmes de production phoénicoles et promotion de la filière « dattes » : perspectives de développement - Cas de la région de Ghardaïa -. Thèse de doctorat. Ouargla : Université Kasdi Merbah, 228 p.
- KNOWLES R., 1982.** Denitrification. Microbiological Reviews, 46, pp 43-70.
- LAAOUAN M., ABOUHASSAN MA., BENGAMRA S., TALEB A., SOUABIL S. & TAHIRI M., 2016.** Etude comparative de la contamination des eaux souterraines des villes de Mohammedia, Temara et Dar Bouazza par les nitrates (Meseta marocaine) (J. Mater. Environ, Sci. 7 (4), ISSN : 2028-2508, CODEN: JMESCN, 2016), pp 1298-1309.
- LE HOUEROU H.N., 1995.** Considérations biogéographiques sur les steppes arides du nord de l'Afrique. Science et changements planétaires/Sécheresse, 6(2), pp 167-182.
- LES REJETS DE LA LAITERIE DE L'EDOUGH (ANNABAALGERIE) ET LES OBJECTIFS ENVIRONNEMENTAUX DES REJETS.** Thèse de doctorat. UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA, 203 p.
- MABROUKI Y., TAYBI A.F., BENZAAD H. & BERRAHOU A., 2016.** Variabilité spatio-temporelle de la qualité des eaux courantes de l'Oued Za (Maroc Oriental) [Spatiotemporal variability in the quality of running waters of the Oued Za (Eastern Morocco)] J. Mater. Environ. Sci. 7 (1) (2016) ISSN : 2028-2508 CODEN: JMESCN, pp 231-243
- MAIGA A.S., 2005.** Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDM.SA dans la ville de Bamako: évaluation saisonnière. Doctorat en Pharmacie université de Bamako, 71 p.
- MAKHOUKH M., SBAA M., BERRAHOU A. & VAN. CLOOSTER M., 2011.** Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielle de l'Oued Moulouya (Maroc oriental). Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 09, pp 149-169.
- MAMADOU L.M., 2010.** Impact des eaux usées sur la chimie et la microbiologie des sols : étude de cas à Pikine (Dakar, Sénégal). Ed universitaires européennes, 6 p.



- MARGAT J., 1998.** Les eaux souterraines dans le bassin méditerranéen. Ressources et utilisations. Ed. Plan Bleu et BRGM, Documents du BRGM, 282, 110 p.
- MECHERI B., 2009.** Influence de la nappe phréatique sur les ouvrages hydrauliques et Génie civil. Mém magister. Université KASDI Merbah, Ouargla, 110 p.
- MELLAK D., 2009.** Etude de la vulnérabilité de l'aquifère alluvionnaire de la vallée du M'Zab. Mém Ing. Hydraulique. Ecole Nationale Supérieure Polytechnique d'Alger, 91 p.
- M.E.N.E, 2008.** Sodium dans une goutte d'eau. Le ministère de l'Environnement de la Nouvelle-Écosse, 4 p.
- MERABET S., 2010.** Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux brutes et distribuées du barrage réservoir de Beni Haroun. Mém magister. Université Mentouri de Constantine, 92 p.
- MERMOUD A., 2006.** Cours physique du sol, Maitrise de la salinité des sols. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, pp 1-14.
- METAHRI M.S., 2012.** Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la STEP de la ville de Tizi-Ouzou. Thèse de doctorat. Université de MOULOUD MAMMARI de Tizi-Ouzou, 148 p.
- MIQUEL G., 2003.** La qualité de l'eau et de l'assainissement en France. Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, tome I, 198 p.
- MOULLA A.S. & GUENDOUCZ A., 2003.** Etude des ressources en eau souterraines en zones arides (Sahara algérien) par les méthodes isotopiques. Hydrology of the Mediterranean and Semiarid Regions (Proceedings of an international symposium held at Montpellier. April 2003). IAH S Publ.no.278.2003, pp 35-42.
- N'DIAYE A.D, MINT MOHAMED SALEM K. & OULD SID'AHMED OULD KANKOU M., 2013.** Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique de l'eau de la rive droite du fleuve Sénégal. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 12, Janvier 2013. pp 71-83.
- NEITSCH, S.L., ARNOLD, J.G. & WILLIAMS J.R., 2000.** Soil and Water Assessment Tool, User's manual, Temple, Texas, USDA-ARS, 468 p.
- 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) (2015), ISSN : 2028-2508, CODEN: JMESCN, pp 1068-1081.
- O.M.S, 1994.** Comité O.M.S. d'experts de la standardisation biologique. O.M.S. Série de rapports techniques. Quarante-quatrième rapport. Genève, 95 p.



- O.M.S, 2004.** Directives de qualité pour l'eau de boisson. 3^{ème} édition. Volume 1.Genève, 110 p.
- O.N.A, 2019a.** Points noirs localisés par l'O.N.A. Office Nationale de l'Assainissement, unité Ghardaïa, 18 p.
- O.N.A, 2019b.** Résultats d'analyse STEP de Ghardaïa. Office Nationale de l'Assainissement, unité Ghardaïa, 2 p.
- O.N.A, 2020.** Office Nationale de l'Assainissement, unité Ghardaïa, 4 p.
- O.N.M, 2018.** Données météorologiques de Ouargla 2007- 2017. Station météorologique de de Ouargla, 10 p.
- O.N.M, 2019.** Données météorologiques de Ghardaïa 2009- 2019. Station météorologique de Ghardaïa, 5 p.
- OUALI M., 2001.** Cours de procédés unitaires biologiques et traitements des eaux, Office des Publications Unitaires, Alger, 52 p.
- PNUE, 2002.** L'avenir de l'environnement mondial 3 (GEO-3) : le passé, le présent et les perspectives d'avenir. Londres, Royaume-Uni. Programme des Nations Unies pour l'environnement, 2002, 445 p.
- PNUE. 1991.** Pollution des eaux douces. Bibliothèque de l'environnement PNUE/GEMS. N° 6. Nairobi.
- QUEVAUVILLER P., 2010.** Protection des eaux souterraines, législation européenne et avancées scientifiques. Ed TEC&DOC. Paris, 427 p.
- RAVEN P.H, BERG L., HASSENZAHN D.M., 2009.** Environnement. Ed. De Boeck, 688 p.
- RECIQUI I., 2020.** Etude spatio-temporelle de l'impact des conditions hydriques sur la salinisation des sols au Sahara algérien (Cas de la cuvette de Ouargla). Thèse de doctorat en Hydraulique Option : Aménagement hydraulique en milieu aride, Université KASDI Merbah, 222 p.
- REFEA, 2003.** Les indicateurs de la qualité, analyses physico-chimiques, pp 1-4.
- REMINI B., 2010.** LA PROBLEMATIQUE DE L'EAU EN ALGERIE DU NORD. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 08, Juin 2010, pp 27-46.
- REZZAG K. & BEN YAHKOUM R., 2005.** Influence des eaux usées sur la nappe phréatique (cas de la vallée d'Oued M'Zab). Mémoire Ing, Ouargla, Université de Ouargla, 61 p.
- RISGAARD-PETERSEN N., LANGEZAAL A.M., INGVARSDEN S., SCHMID M.C., JETTEN M.S.M., OP DEN CAMP H.J.M., DERKSEN J.W.M., PINA-OCHOA E.,**



- ERIKSSON S.P., NIELSEN L.P., REVSBECH N.P., CEDHAGEN T. & VAN DER ZWAAN G.J., 2006.** Evidence for complete denitrification in a benthic foraminifer. *Nature*, 443, pp 93-96.
- ROCHE M.A., 1996.** Crue de projet de l'Oued M'Zab à Ghardaïa, Sahara Algérien.
- RODIER J., BAZIN C., CHAMBON P., BROUTIN J.-P., CHAMPSAUD H. & RODI L., 2005.** Analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8^{ème} édition. Ed Dunod, Paris, 1350 p.
- RODIER J., LEGUBE B. & MERLET N., 2009.** Analyse de l'eau. 9^{ème} édition. Ed. Dunod, Paris, 1526 p.
- ROUABHIA A., BAALI F., HANI A. & DJABRI L., 2009.** Impact des activités anthropiques sur la qualité des eaux souterraines d'unaquifère en zone semi-aride. *Sécheresse*, 2009, vol. 20, n°3, pp 279-285.
- ROUBATY J.L. & BOEGLIN J.C., 2007.** Caractérisation, classification et mesure. Pollution industrielle de l'eau. Techniques de l'Ingénieur. Ref. G1 210, 10 Janv. 2007.
- ROUVILLOIS-BRIGOL N., 1975.** Le pays de Ouargla (Sahara algérien) variations et organisation d'un espace rural en milieu désertique. Ed. Département de Géographie, Uni v. de Sorbonne, Paris, 316 p.
- SAIDI A., 1983.** Ingénieur Hydrologue « les systèmes de captage traditionnels dans les oasis sahariennes » Institut National des Ressources Hydrauliques, Alger.
- SARRAZIN V., CARRIERE A. & BARBEAU B. 2003.** Protocole québécois d'évaluation d'une eau souterraine sous l'influence directe des eaux de surface: Revue de littérature et développement d'un protocole provisoire. Projet PARDE, Dossier n° : 3331.24.02.02, Montréal : École Polytechnique de Montréal, pp 166.
- SAYAD L., 2015.** LE POUVOIR AUTOEPURATEUR DE L'OUED SEYBOUSE SUR
- S.C.G, 1952.** Carte géologique d'Algérie. Feuille d'Alger Sud. (1/500.000). S.C.G, Alger.
- SERVANT J.M., 1975.** Contribution à l'étude pédologique des terrains halomorphes. L'exemple des sols salés du Sud et Sud-Ouest de France. Thèse d'Etat. Université de Montpellier, 200 p.
- SLIMANI R., 2006.** Contribution à l'évaluation d'indicateurs de pollution environnementaux dans la région de Ouargla : Cas des eaux de rejets (agricoles et urbaines). Mém Magister. Université Kasdi Merbah Ouargla, 95 p.
- SLIMANI R., 2016.** Etude qualitative des ressources en eaux souterraines et cartographie de la vulnérabilité environnementale d'un aquifère au climat aride méditerranéen : cas de la cuvette de Ouargla, Algérie. Thèse de doctorat. Univ. Kasdi Marbah Ouargla, 155 p.



- SOPHIA PORCHELVI R. & SELVAVATHI P., 2017.** Analysis of Ground Water Quality by Fuzzy Comprehensive Evaluation in Cauvery Delta Region, Tamil Nadu, India. American Journal of Mathematical Analysis. Vol. 5, No. 1, 2017, pp 1-6.
- S.T.E.P., 2013.** Présentation de la station d'épuration Ghardaïa. 15 p.
- STEWART P., 1969.** Un nouveau climagramme pour l'Algérie et son application au Barrage Vert. Bull. Soc. Hist. nat. Afr. Nord, 65 (1/2), 239-245.
- STREBEL O., DUYNISVELD W.H.M. & BÖTTCHER J., 1989.** Nitrate pollution of groundwater in western Europe. Agriculture, Ecosystems & Environment Volume 26, Issues 3-4, October 1989, pp 189-214.
- SYLVETTE AWOH A., 2006.** Influence d'un plan d'eau de surface sur la vulnérabilité de l'eau pompée d'un puits en milieu rural. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi, 217 p.
- TALEB BAHMED M., 2008.** Évaluation hydrochimique des eaux souterraines de la vallée du M'Zab (Cas d'El-Atteuf). MémIng, El Harrach, E.N.S.A, 70 p.
- TESSIER M., 1965.** Les crues d'oued au Sahara Algérien de 1950 à 1961. Bull. Inst. Rech. Saha., Alger, Tome XXIV, pp 1-7.
- VANDER BORGHT, 1993.**
- VILLE L., 1872.** Exploitation géologique du Béni-M'Zab, du Sahara et de la région des steppes de la province d'Alger. Ed. Imprimerie National, Paris, 540 p.
- WINIARSKI T., 2004.** Les eaux pluviales urbaines : Rôle du milieu souterrain. Habilitation à Diriger des Recherches. Lyon : INSA de Lyon- UCB Lyon 1, 2004, 118 p.
- WORSFOLD P.J., PHILIPPE MONBET P., TAPPIN A.D., FITZSIMONS M.F., STILES D.A. & MCKELVIE A.D., 2008.** Characterisation and quantification of organic phosphorus and organic nitrogen components in aquatic systems. Analytica Chimica Acta, Volume 624, Issue 1, 22 August 2008, pp 37-58. www.biogeosciences.net/4/283/2007/
- ZUMFT W.G., 1997.** Cell biology and molecular basis of denitrification. Microbiol. Mol. Biol. Rev., 61, pp 533-616.

Annexes





Annexe I. Points noirs localisés par l'O.N.A (O.N.A, 2019)



Figure I.1. Points noirs de la commune de Bounoura

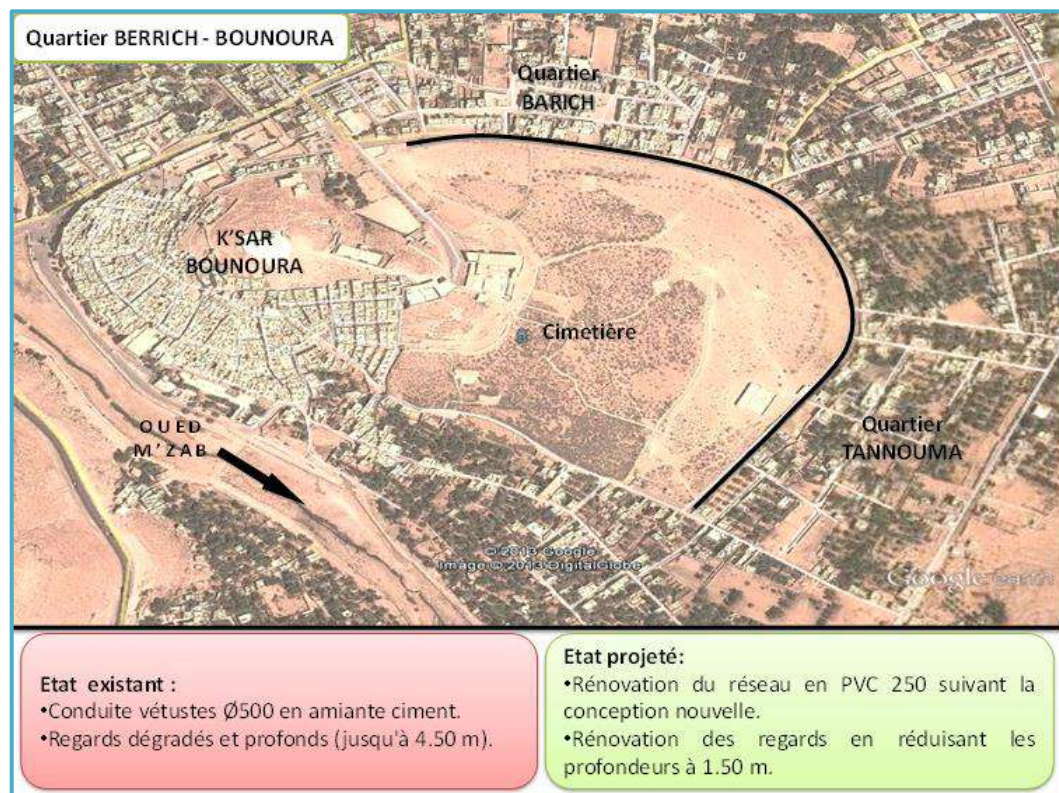


Figure I.2. Points noirs de la commune de Bounoura

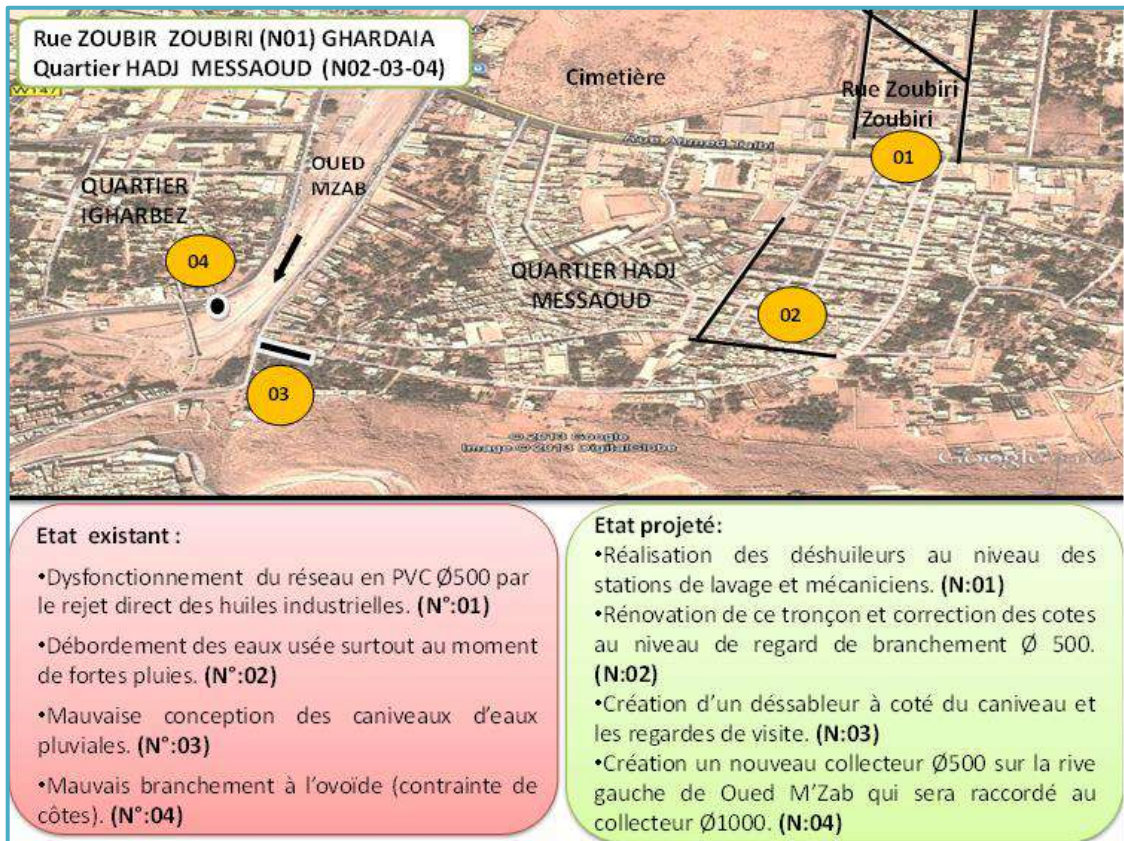


Figure I.3. Points noirs de la commune de Ghardaïa

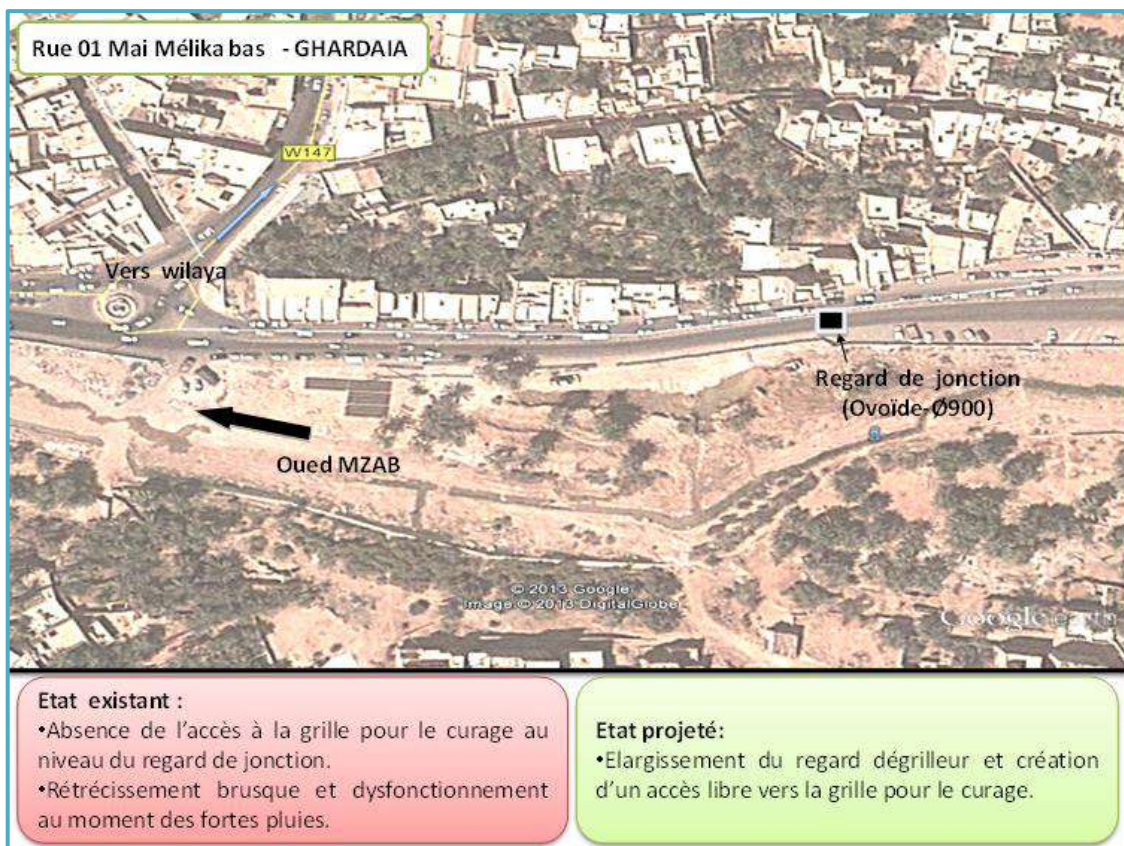


Figure I.4. Points noirs de la commune de Ghardaïa

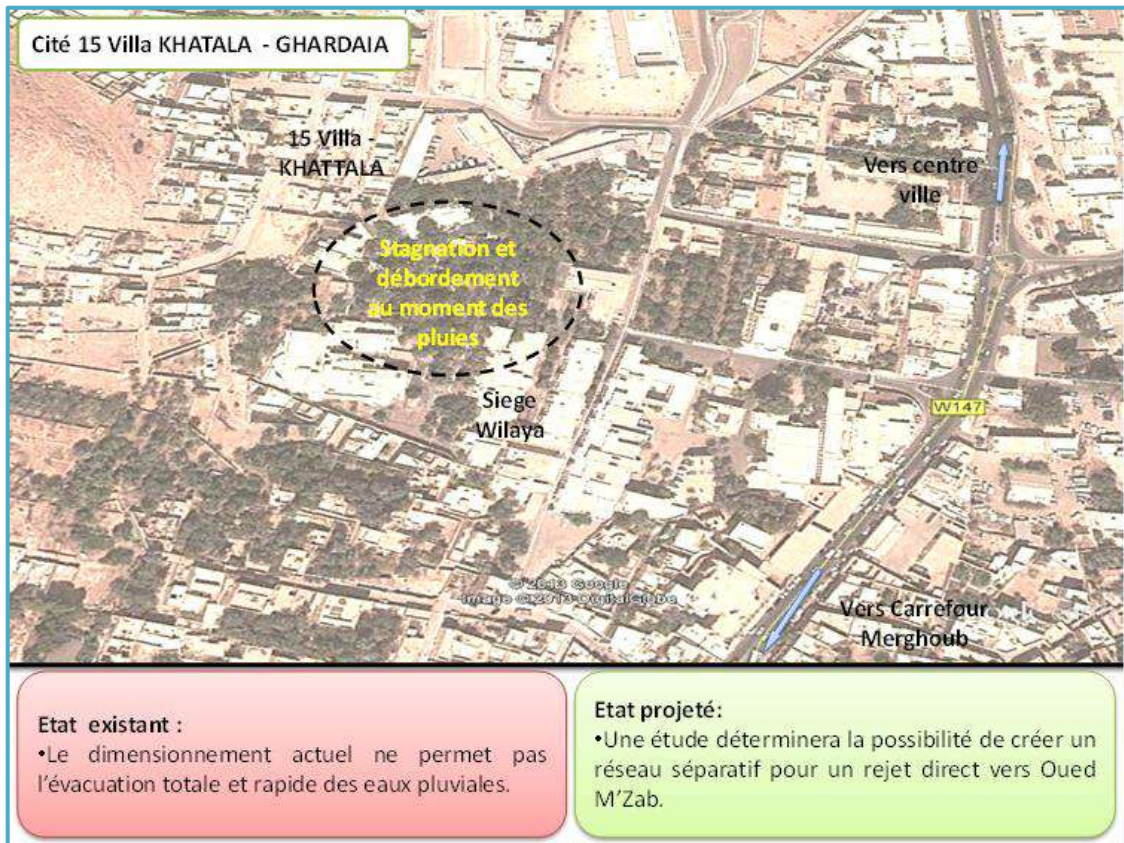


Figure I.5. Points noirs de la commune de Gharđaia

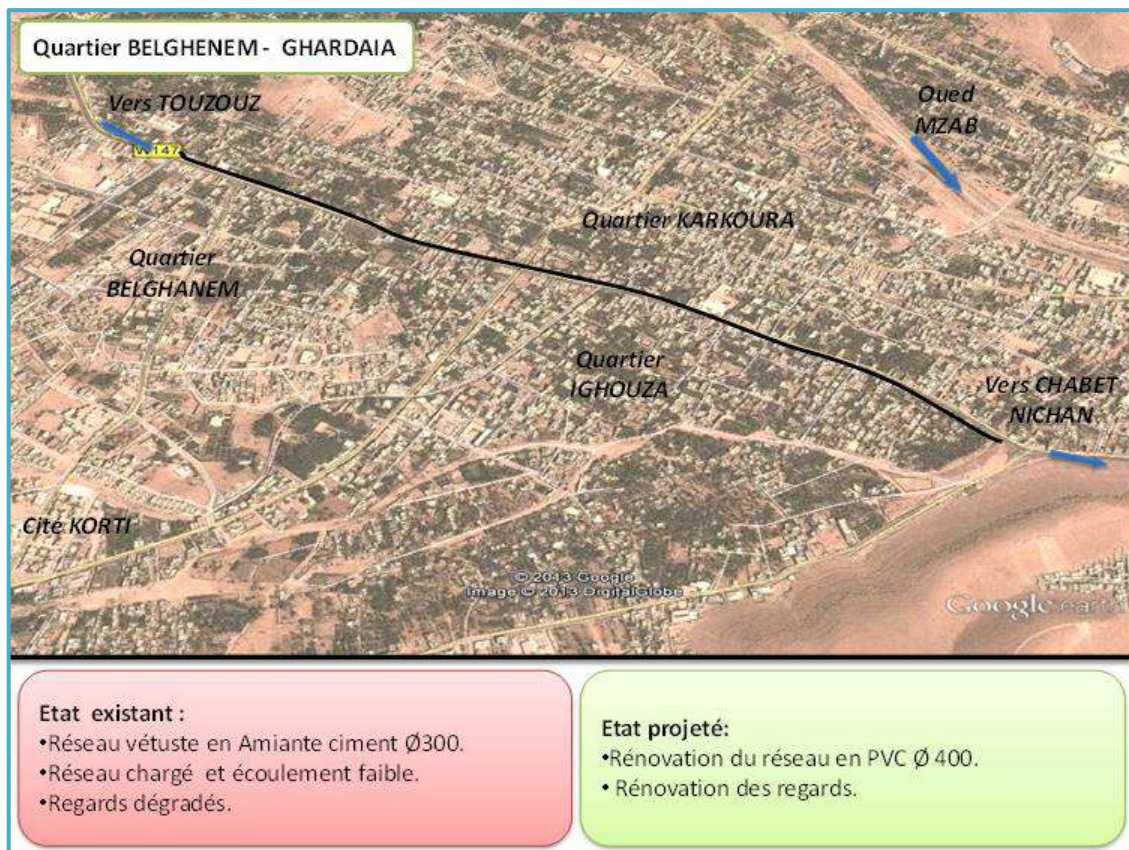


Figure I.6. Points noirs de la commune de Gharđaia

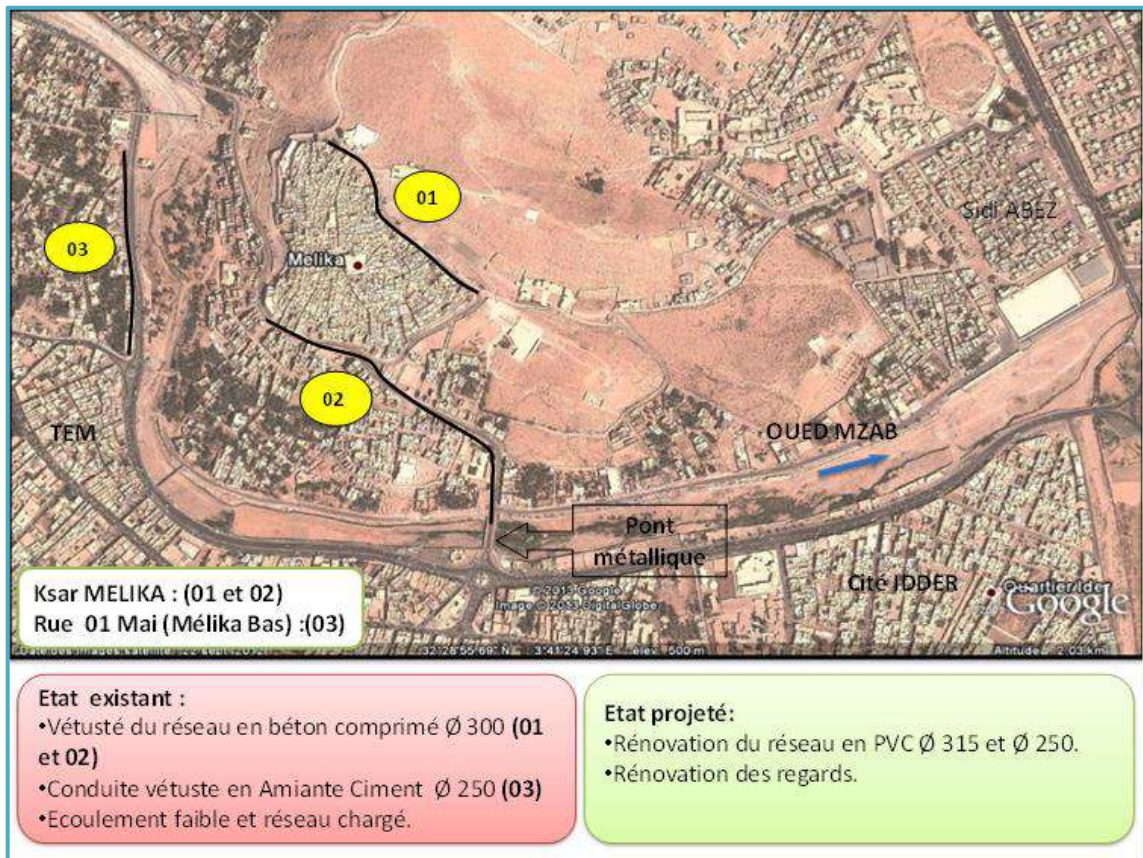


Figure I.7. Points noirs de la commune de Ghardaïa

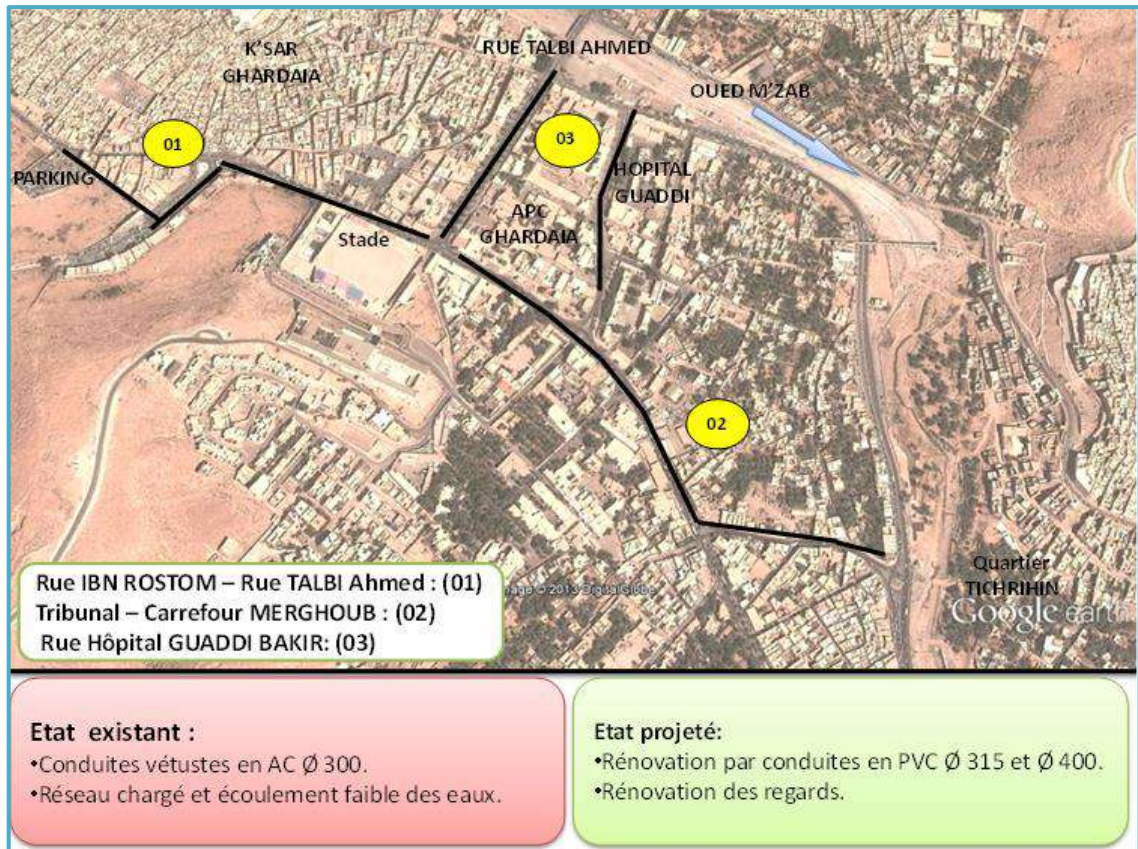


Figure I.8. Points noirs de la commune de Ghardaïa

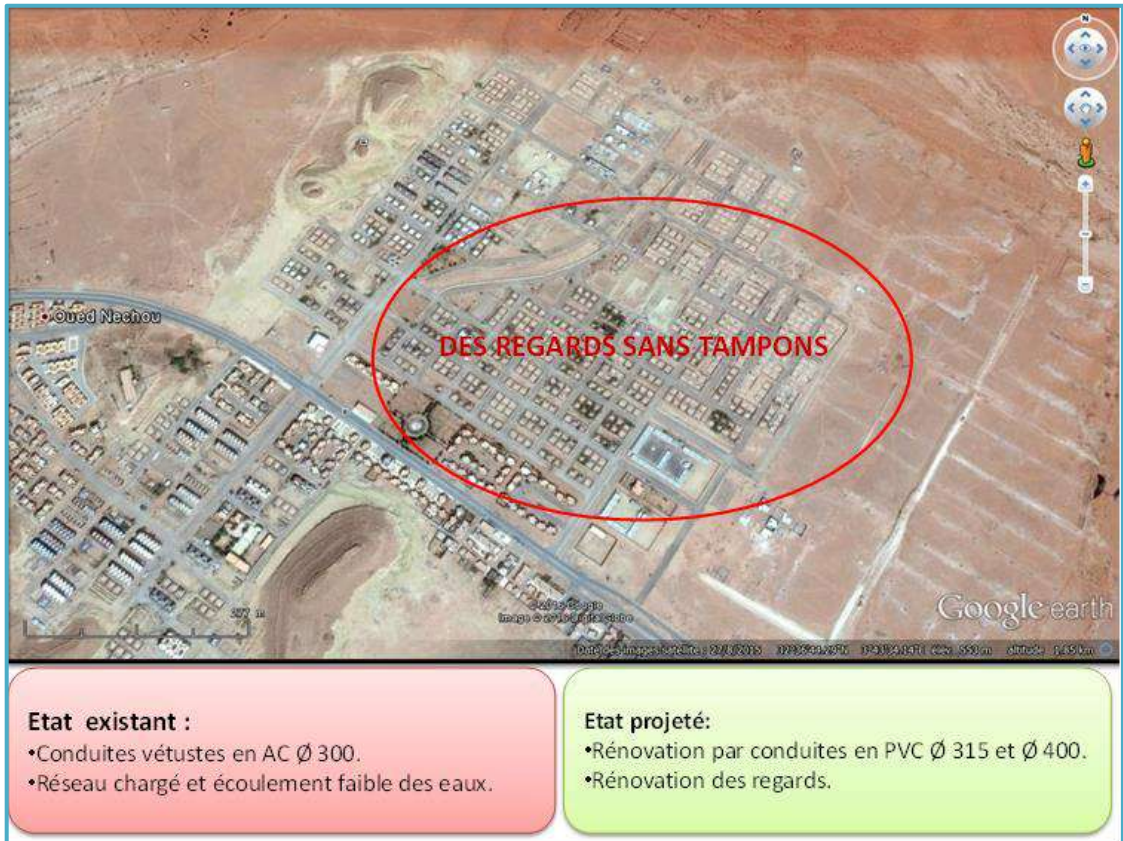


Figure I.9. Points noirs de la commune d'El Atteuf

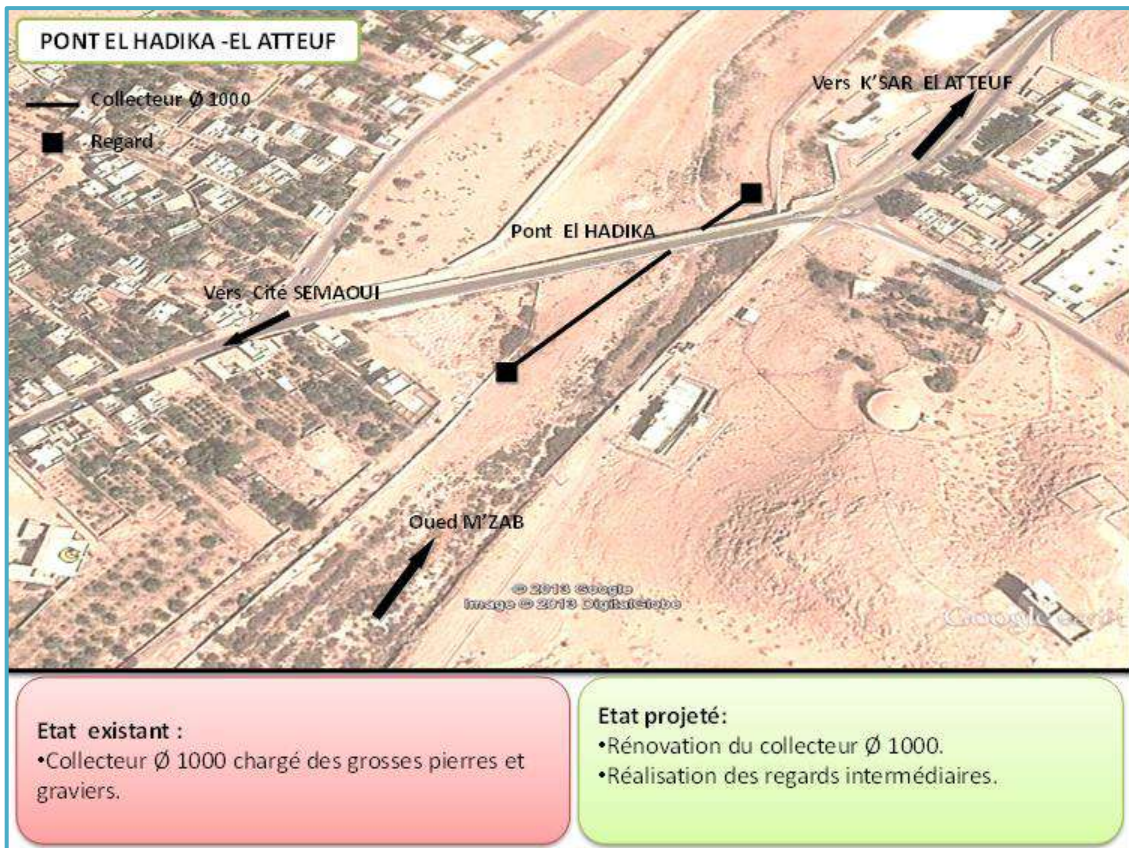


Figure I.10. Points noirs de la commune d'El Atteuf

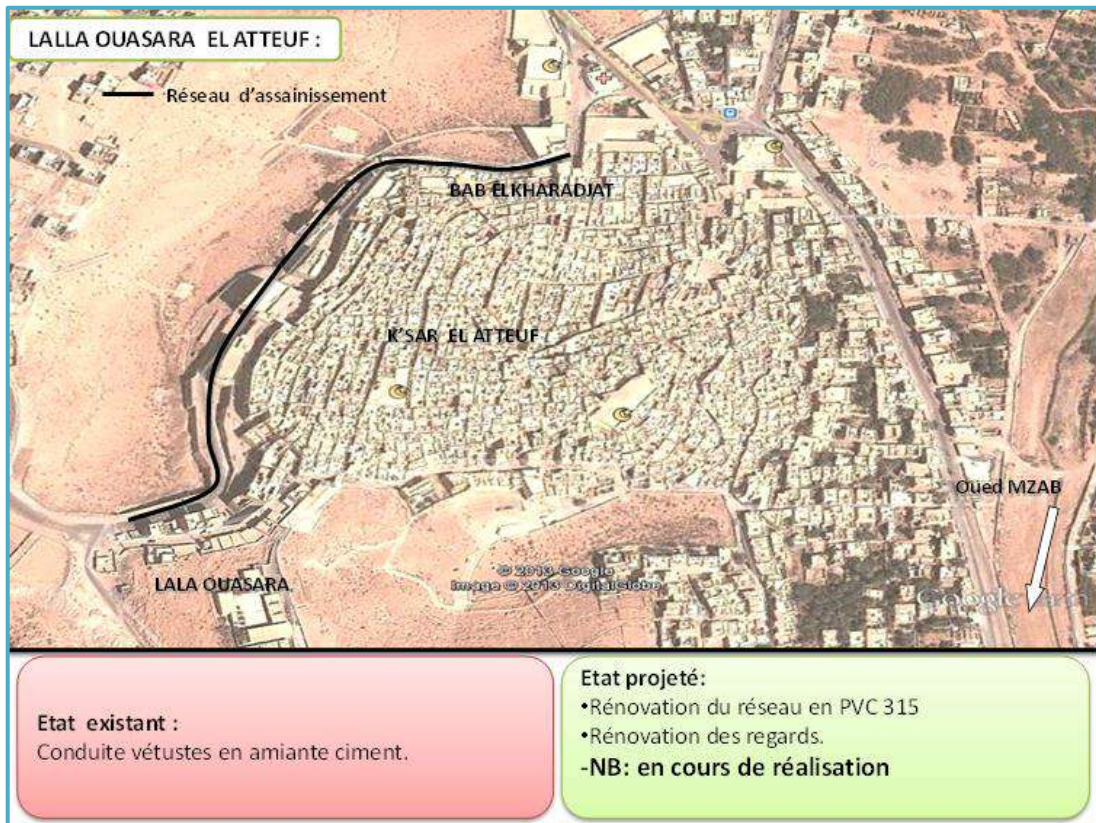


Figure I.11. Points noirs de la commune d'El Atteuf

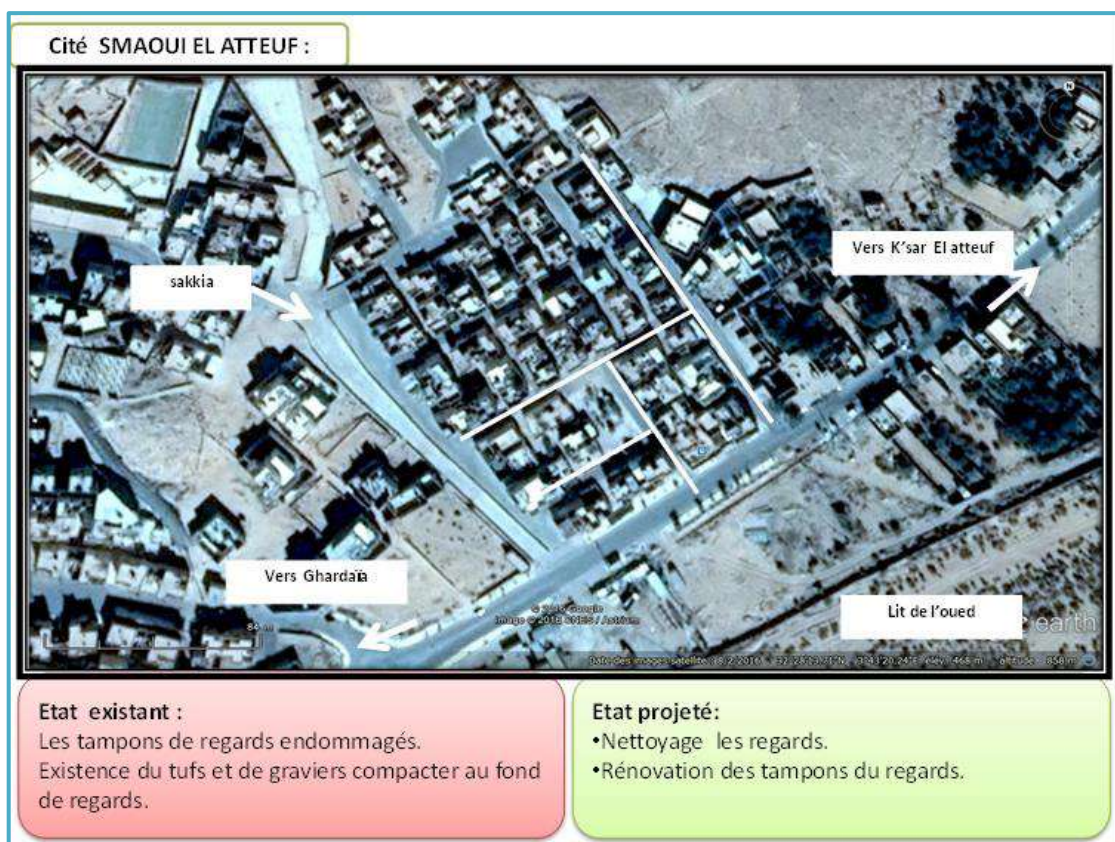


Figure I.12. Points noirs de la commune d'El Atteuf

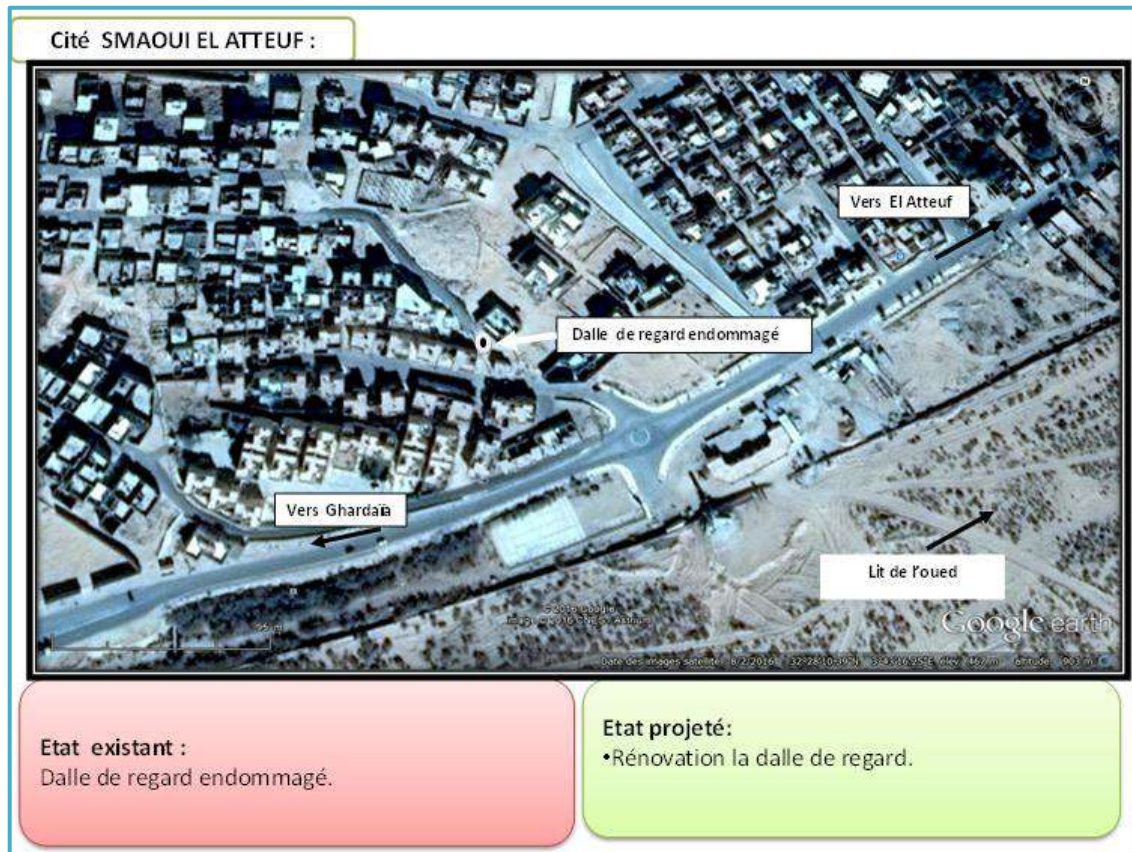


Figure I.13. Points noirs de la commune d'El Atteuf



Figure I.14. Points noirs de la commune d'El Atteuf



Annexe II. Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels (J.O.R.A, 2006)

Paramètre	Valeurs limites	Unités
Température	30	C°
pH	6,5 à 8.5	-
M.E.S	35	mg/l
Résidus secs	1 000	mg/l
D.B.O ₅	35	mg/l
D.C.O	120	mg/l
Azote kjeldahl	30	mg/l
Phosphates	2	mg/l
Phosphore total	10	mg/l
Cyanures	0,1	mg/l
Fluorure	1,5	mg/l
Aluminium	3	mg/l
Cadmium	0,2	mg/l
Fer	3	mg/l
Manganèse	1	mg/l
Mercure total	0,01	mg/l
Nickel total	0,5	mg/l
Plomb total	0,5	mg/l
Cuivre total	0,5	mg/l
Zinc total	3	mg/l
Huiles et grasses	20	mg/l
Hydrocarbures totaux	10	mg/l
Chrome total	0,5	mg/l



Annexe III. Localisation des puits de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab en 2013 (BENHEDID, 2014)

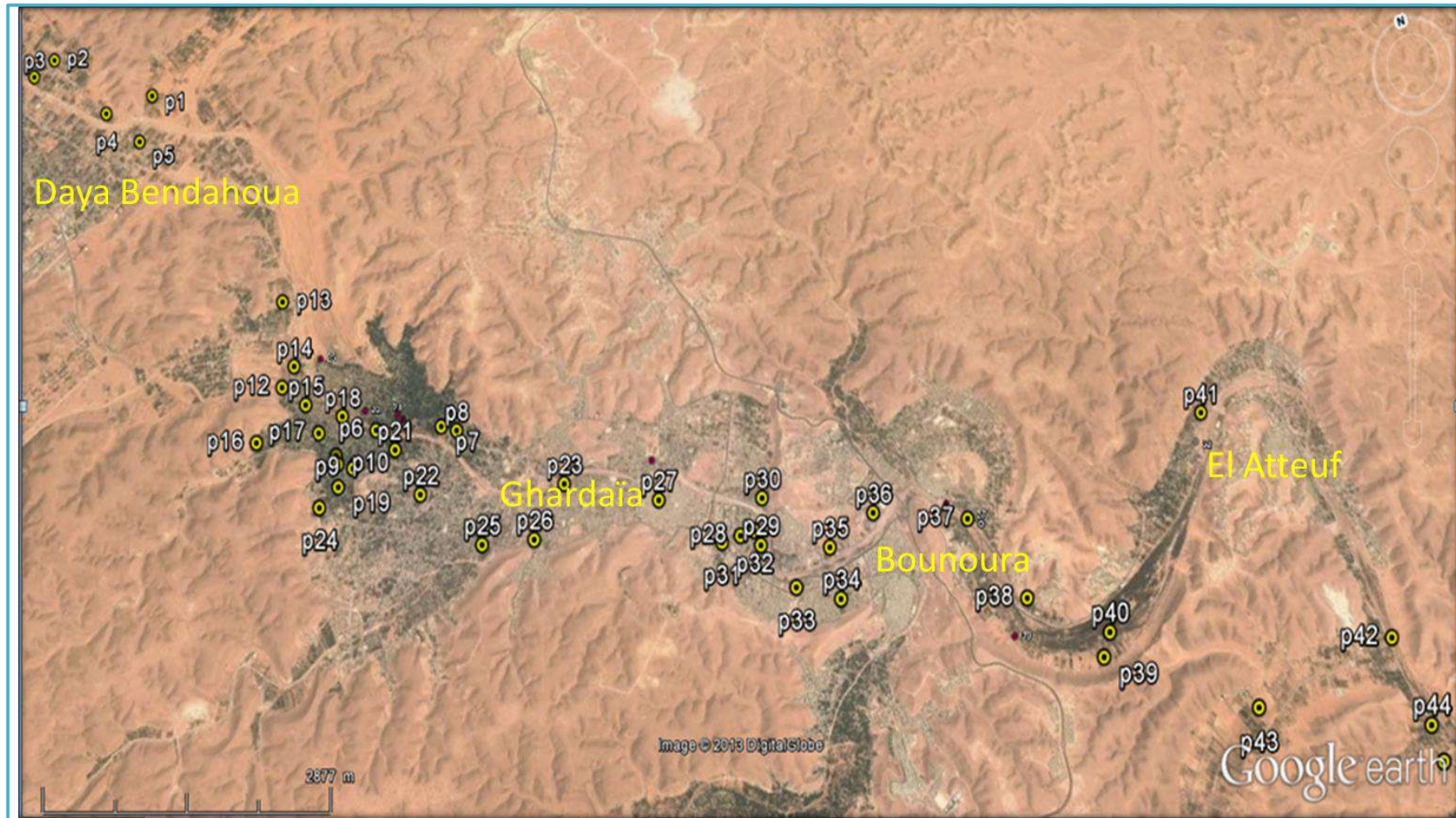


Figure III.1. Localisation des puits de la nappe superficielle de l'Oued M'Zab en 2013 (BENHEDID, 2014)



Annexe IV. Valeurs seuils applicables aux eaux souterraines selon la directive 2006/118/CE du Parlement européen et du Conseil de l'union Européenne du 12 décembre 2006 (J.O.U.E, 2006)

Polluants	Valeurs seuils	Unités
Ammonium	0,5	mg /l
Arsenic	10	µg/l
Cadmium	5	µg/l
Chlorures	150	mg/l
Chrome	50	µg/l
Cuivre	100	µg/l
Mercure	1	µg/l
Nickel	20	µg/l
Nitrates	50	mg/l
Phosphore total	1,15	mg/l
Plomb	10	µg/l
Sulfates	250	mg/l
Zinc	200	µg/l

Annexe V. Paramètres et valeurs limites de la qualité de l'eau de consommation humaine (J.O.R.A, 2011)

Groupe de paramètre	Paramètre	Unités	Valeurs limites
Paramètres chimiques	Aluminium	mg/l	0,2
	Ammonium	mg/l	0,5
	Baryum	mg/l	0,7
	Bore	mg/l	1
	Fer total	mg/l	0,3
	Fluorure	mg/l	1,5
	Manganèse	µg/l	50
	Nitrates	mg/l	50
	Nitrites	mg/l	0,2
	Oxydabilité	mg/l O ₂	5
	Phosphore	mg/l	5
	Arsenic	µg/l	10
	Cadmium	µg/l	3
	Cuivre	mg/l	2
	Cyanure	µg/l	70
	Mercure	µg/l	6
	Plomb	µg/l	10
	Zinc	mg/l	5
	Phénols	µg/l	0,5
Pesticides (totaux)	µg/l	0,5	
Paramètres organoleptiques	Couleur	mg/l platine	15
	Turbidité	N.T.U	5
	Odeur à 12°C	Taux dilution	4
	Saveur à 12°C	Taux dilution	4
	Alcalinité	mg/l en CaCO ₃	500



Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	Calcium	mg/l en CaCO ₃	200
	Chlorures	mg/l	500
	pH	Unité pH	≥6,5 et ≤9
	Conductivité à 20°C	µS/cm	2800
	Dureté	mg/l en CaCO ₃	200
	Potassium	mg/l	12
	Résidu sec	mg/l	1500
	Sodium	mg/l	200
	Sulfates	mg/l	400
	Température	°C	25
Paramètres microbiologiques	Escherichia coli	n/100 ml	0
	Entérocoques	n/100 ml	0
	Bactéries sulfitoréductrices y compris les spores	n/20 ml	0

Annexe IV. Normes de l'O.M.S pour l'eau potable (RODIER et *al.*, 2009)

Paramètres	Valeurs guides	Unités
Couleur	15	unités (mg/l Pt)
Turbidité	5	unités N.T.U
pH	6,5 et 9,5	-
Conductivité	1500	µS/cm
Résidus secs	1 000	mg/l
Ammonium	1,5	mg/l
Nitrate	50	mg/l
Nitrite	0,2	mg/l
D.B.O ₅	3	mg/l d'O ₂
D.C.O	30	mg/l d'O ₂
Chlorure	250	mg/l
Sodium	200	mg/l
Sulfates	250	mg/l
Fer	0,3	mg/l
Aluminium	0,2	mg/l
l'arsenic	0,01	mg/l
Baryum	0,7	mg/l
Bore	0,3	mg/l
Cadmium	3	µg/l
Chrome	0,05	mg/l
Cuivre	2	mg/l
Cyanures	0,07	mg/l
Fluorure	1,5	mg/l
Magnésium	150	mg/l
Manganèse	100	µg/l
Mercure	1	µg/l
Plomb	10	µg/l
Zinc	3	mg/l
Escherichia coli	0	nombre/100 ml
Entérocoques	0	nombre/100 ml
Clostridium sulfitoréducteur	0	nombre/100 ml



Annexe VII. Directive pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation (F.A.O, 1985 in F.A.O, 2003)

Problèmes potentiels en irrigation	Degré de restriction à l'usage		
	Aucun	Légère à modéré	Sévère
Salinité C.E (dS/m)	< 0,7	0,7–3	> 3
Toxicités des ions spécifiques			
Sodium (Na⁺)			
Irrigation de surface (S.A.R)	< 3	3-9	>9
Irrigation par aspersion (meq/l)	< 3	> 3	-
Chlorure (Cl⁻)			
Irrigation de surface (meq/l)	<4	4-10	> 10
Irrigation par aspersion (meq/l)	< 3	> 3	-
Bore (B) (mg/l)	<0,7	0,7-3	>3
Effets divers			
Azote (NO ₃ -N)(mg/l)	<5	5–30	>30
Bicarbonate (HCO ₃ ⁻) (meq/l)	<1,5	1,5-8,5	> 8,5
Ph	Gamme normale : 6,5-8,4		

Annexe VIII. Classification des eaux d'après leur pH (REFEA, 2003)

pH < 5	Acidité forte ; présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée ; majorité des eaux de surface
5.5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte

Annexe IX. Classification des eaux souterraines en fonction de la conductivité (DIB, 2009)

Conductivité électrique à 25°C (µs/cm)	Degrés de minéralisation
<45	Très faible
450-750	Faible
750-1500	Moyen
1500-2300	Moyennement élevé
2300-3000	Elevé
>3000	Très élevé



Annexe X. Matrice de corrélation (hiver 2017)

Variables	pH	CE (µs/cm)	Turbidité (NTU)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	PO ₄ -3 (mg/l)	P (mg/l)	Ca ⁺⁺ (mg/l)	Mg ⁺⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	SAR
pH	1	-0,466	-0,283	-0,121	0,062	-0,064	-0,258	0,258	-0,444	-0,083	-0,225	0,201	0,262	0,263	0,129	-0,262
CE (µs/cm)	-0,466	1	0,263	0,525	-0,057	-0,093	-0,102	0,102	0,660	0,617	0,606	0,190	0,648	0,550	0,154	0,527
Turbidité (NTU)	-0,283	0,263	1	-0,001	-0,100	-0,145	-0,041	0,041	0,270	-0,005	0,148	-0,151	0,125	0,126	0,068	-0,144
NH ₄ ⁺ (mg/l)	-0,121	0,525	-0,001	1	0,109	0,044	-0,198	0,198	0,394	0,373	0,599	0,098	0,260	0,386	0,061	0,348
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0,062	-0,057	-0,100	0,109	1	-0,079	0,025	0,025	-0,076	0,103	-0,009	0,008	0,001	0,148	0,103	0,172
NO ₃ ⁻ (mg/l)	-0,064	-0,093	-0,145	0,044	-0,079	1	-0,011	0,011	0,108	-0,057	-0,011	-0,130	0,002	0,155	0,195	-0,184
PO ₄ -3 (mg/l)	-0,258	-0,102	-0,041	-0,198	0,025	-0,011	1	1,000	-0,196	-0,020	-0,189	-0,164	0,189	0,103	-0,132	-0,103
P (mg/l)	-0,258	-0,102	-0,041	-0,198	0,025	-0,011	1,000	1	-0,196	-0,020	-0,189	-0,164	0,189	0,103	-0,132	-0,103
Ca ⁺⁺ (mg/l)	-0,444	0,660	0,270	0,394	-0,076	0,108	-0,196	0,196	1	0,488	0,676	0,082	0,587	0,495	0,210	0,396
Mg ⁺⁺ (mg/l)	-0,083	0,617	-0,005	0,373	0,103	-0,057	-0,020	0,020	0,488	1	0,610	0,317	0,608	0,506	0,199	0,411
Cl ⁻ (mg/l)	-0,225	0,606	0,148	0,599	-0,009	-0,011	-0,189	0,189	0,676	0,610	1	0,094	0,318	0,336	0,186	0,251
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	0,201	0,190	-0,151	0,098	0,008	-0,130	-0,164	0,164	0,082	0,317	0,094	1	0,397	0,228	0,384	0,207
SO ₄ ⁻ (mg/l)	-0,262	0,648	0,125	0,260	-0,001	0,002	-0,189	0,189	0,587	0,608	0,318	0,397	1	0,622	0,114	0,569
Na ⁺ (mg/l)	-0,263	0,550	-0,126	0,386	0,148	-0,155	-0,103	0,103	0,495	0,506	0,336	0,228	0,622	1	-0,150	0,984
K ⁺ (mg/l)	0,129	0,154	0,068	0,061	0,103	0,195	-0,132	0,132	0,210	0,199	0,186	0,384	0,114	0,150	1	-0,174
SAR	-0,262	0,527	-0,144	0,348	0,172	-0,184	-0,103	0,103	0,396	0,411	0,251	0,207	0,569	0,984	-0,174	1

Annexe XI. Classification des eaux en fonction de la turbidité (N.T.U Nephelometric Turbidity Unit) (REFEA, 2003)

Turbidité < 5 N.T.U	Eau claire
5 N.T.U < Turbidité < 30 N.T.U	Eau légèrement trouble
Turbidité > 30 N.T.U	Eau trouble

Annexe XII. Indice de pollution organique (I.P.O) (SAYAD, 2015)

N° Classes	NH ₄ ⁺ (mg N/L)	NO ₂ ⁻ (µg N/L)	D.B.O ₅ (mg O ₂ /L)	PO ₄ ⁻³ (µg P/L)
5	< 0,1	5	> 2	15
4	0,1 – 0,9	6 – 10	2 – 5	16 – 75
3	0,91 – 2,4	11 – 50	5,1 – 10	76 – 250
2	2,5 – 6	51 – 150	10,1 – 15	251 – 900
1	> 6	> 150	> 15	> 900

$$I.P.O = [D.B.O_5 + NH_4^+ + NO_2^- + PO_4^{-3}] / 4$$

Classes d'altération chimique de l'I.P.O :

Pollution Nulle	5,0 < I.P.O < 4,6 Pollution organique nulle
Pollution Faible	4,5 < I.P.O < 4,0 Pollution organique faible
Pollution Modérée	3,9 < I.P.O < 3,0 Pollution organique modérée
Pollution Forte	2,9 < I.P.O < 2,0 Pollution organique forte
Pollution Très Forte	1,9 < I.P.O < 1,0 Pollution organique très forte



Annexe XIII. Valeur du rapport D.C.O/ D.B.O₅ (OUALI, 2001) :

D.C.O / D.B.O₅ =1 → bonne biodégradabilité

D.C.O / D.B.O₅ =1.5 à 2 → biodégradabilité moyenne

D.C.O / D.B.O₅ =3 à 4 → biodégradabilité faible

Annexe XIV. Classification des eaux d'irrigation selon leurs conductivités électriques (DURAND, 1983)

Classes	C.E 25C° (µmhos/cm)	Salinité des eaux
C1	C.E < 250	Eau non saline
C2	250 < C.E < 750	Eau à salinité moyenne
C3	750 < C.E < 2250	Eau à forte salinité
C4	2250 < C.E < 5000	Eau à très forte salinité
C5	5000 < C.E < 20 000	Eau à salinité excessive

Annexe XV. S.A.R des eaux et risques d'alcalinisation des sols (SERVANT, 1975)

S.A.R	Alcalinisation
S.A.R ≤ 4	Pas d'alcalinisation
4 ≤ S.A.R ≤ 8	Faible alcalinisation
8 ≤ S.A.R ≤ 12	Alcalinisation moyenne
12 ≤ S.A.R ≤ 18	Forte alcalinisation
S.A.R > 18	Alcalinisation intense



Annexe XVI. Matrice des données des paramètres qualitatifs et quantitatifs pour l'analyse A.F.C (hiver 2017)

Stations	Puits	B.O	C.O	S.A	S.U	S.A.U	U.A	U.D	U.A.D	R.A	F.S	P.A	R.P.F	R.P.R	R.T.F	R.T.R	P.R	pH	C.E (µs/cm)	Turbidité (NTU)	NH4+ (mg/l)	NO2- (mg/l)	NO3- (mg/l)	Ca++ (mg/l)	Mg++ (mg/l)	Cl- (mg/l)	HCO3-(mg/l)	SO4-- (mg/l)	Na+ (mg/l)	K+ (mg/l)	S.A.R
		Daya Bendahoua	P1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	2	3	3	3	2	3	1
	P2	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	3	2	2	1	1	3	1	2	0
	P3	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	3	3	3	3	2	3	1	3	0
	P4	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	3	2	3	2	2	3	1	3	0
	P5	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2	3	2	3	2	1	3	1	1	0
	P6	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	2	2	0	0	0	3	2	2	1	1	3	2	1	1
	P7	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	1	2	1	3	1	1	0
Ghardaia	P8	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	2	3	0	3	2	3	1	1	0
	P9	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	3	2	0	0	0	3	3	3	3	2	3	2	3	0
	P10	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	3	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0
	P11	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	3	3	3	3	2	3	2	2	0
	P12	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	3	0	0	0	2	3	3	3	2	3	1	1	1	0
	P13	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	3	1	0	0	0	3	3	1	3	2	3	1	2	0
	P14	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	3	1	0	0	0	3	3	2	3	1	3	1	2	0
	P15	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	2	0	0	0	3	3	3	3	2	3	2	2	0
	P16	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	2	2	0	0	0	3	3	3	3	2	3	2	3	0
	P17	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	3	2	0	0	0	3	3	3	3	2	3	1	2	0
	P18	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2	2	0	0	0	3	3	3	3	2	3	2	1	1
	P19	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	3	2	0	1	0	3	3	3	3	2	3	2	1	0
	P20	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	3	2	1	0	0	3	3	3	3	2	3	1	1	0
	P21	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2	1	0	2	3	3	3	3	2	3	2	3	0
Bounoura	P22	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	3	2	0	0	0	3	3	3	3	2	3	1	3	0
	P23	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	3	2	0	0	0	2	2	2	3	2	3	1	1	0
	P24	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	2	2	1	0	0	3	3	3	3	1	3	2	2	0
	P25	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	2	2	0	0	0	3	3	3	3	1	3	2	1	0
	P26	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	2	2	0	0	2	2	3	3	2	3	2	1	2
	P27	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	2	2	0	0	0	3	3	3	3	2	3	2	0	3
	P28	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	2	2	0	0	0	2	3	3	3	2	3	2	0	2
	P29	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	2	2	0	0	0	3	3	3	3	2	3	2	3	1
	P30	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	3	2	0	0	0	2	3	3	3	2	3	2	2	1
El Atteuf	P31	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	3	2	0	0	4	2	3	3	3	2	3	2	3	1
	P32	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	3	1	0	0	0	1	3	3	3	2	3	1	2	0
	P33	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	3	2	0	0	0	1	3	3	3	2	3	2	3	1
	P34	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	2	2	0	0	0	2	3	3	3	1	3	2	2	0
	P35	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	3	2	0	0	0	1	3	3	3	2	3	2	2	0
	P36	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	3	2	0	0	0	1	3	3	3	3	3	2	2	0
	P37	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	3	2	0	0	0	1	3	3	3	3	3	2	3	0
	P38	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	3	2	0	0	0	1	3	3	3	1	3	1	1	0
	P39	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	2	2	0	1	0	3	3	3	3	1	2	1	2	0
	P40	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	3	2	0	0	0	3	3	3	3	2	3	1	1	0

	Localité des puits				
	(S.A) Site agricole	(S. A.U) Site agro-urbain	(S.U) Site urbain	(B.O) Bordure de l'Oued	(C.O) Centre de l'Oued
Non	0	0	0	0	0
Oui	1	1	1	1	1



Type d'utilisation des eaux			
	(U.A) Usage agricole	(U.D) Usage domestique	(U.A.D) Usage agro-domestique
Non	0	0	0
Oui	1	1	1

Mode de collecte des eaux usées			
	(R.A) Réseau d'assainissement	(F.S) Fosse septique	(P.A) Pas d'assainissement
Non	0	0	0
Oui	1	1	1

Rejet des eaux usées					
	(R.P.R) Permanent dans le réseau	(R.P.F) Permanent dans les fosses	(R.T.R) Temporaire dans le réseau	(R.T.F) temporaire dans les fosses	(P.R) Pas de rejet
Non	0	0	0	0	0
Oui	1	1	1	1	1

pH

0 : 6,8 < pH < 7 Légèrement acide
 1 : 7 ≤ pH < 7,1 Neutre
 2 : 7,1 < pH < 7,3 Légèrement alcalin
 3 : < 7,3 Alcalin

C.E (µs/cm)

0 : 750 < C.E < 2250 Eau à forte salinité
 1 : 2250 < C.E < 5000 Eau à très forte salinité
 2 : 5000 < C.E < 20 000 Eau à salinité excessive

NH₄⁺ (mg/l)

0 : < 0,1 Nulle
 1 : 0,1 – 0,9 Faible
 2 : 0,91 – 2,4 Moderée
 3 : 2,5 – 6 Forte
 4 : > 6 Très forte

NO₂⁻ (mg/l)

0 : < 0,005 Nulle
 1 : 0,006 – 0,01 Faible
 2 : 0,011 – 0,05 Moderée
 3 : 0,051 – 0,15 Forte
 4 : > 0,150 Très forte

NO₃⁻ (mg/l)

0 : < 5,0 Nulle
 1 : 5,0 – 30 Faible
 2 : 30-50 Moderée
 3 : > 50 Forte

PO₄³⁻ (mg/l)

0 : 0,015 Nulle
 1 : 0,016 – 0,075 Faible
 2 : 0,076 – 0,250 Moderée
 3 : 0,251 – 0,9 Forte
 4 : > 0,9 Très forte

Na⁺ (évalué par le S.A.R.)

0 : < 3 Aucun
 1 : 3 – 9 Légère
 2 : > 9 Sévère

K⁺ (mg/l)

0 : 0-05,0 Nulle
 1 : 5-9,0 Faible
 2 : 9,0-12 Moderée
 3 : plus de 12 Forte

S.A.R

0 : S.A.R ≤ 4 Pas d'alcalinisation
 1 : 4 ≤ S.A.R ≤ 8 Faible alcalinisation
 2 : 8 ≤ S.A.R ≤ 12 Alcalinisation moyenne
 3 : 12 ≤ S.A.R ≤ 18 Forte alcalinisation
 4 : S.A.R > 18 Alcalinisation intense

Ca⁺⁺ (mg/l)

0 : < 50 Aucun
 1 : 50 – 100 Légère
 2 : 100-200 Sévère
 3 : > 200

Mg⁺⁺ (mg/l)

0 : < 50 Aucun
 1 : 50 – 100 Légère
 2 : 100-150 Sévère
 3 : > 150

SO₄⁻ (mg/l)

0 : < 100 Aucun
 1 : 100 – 200 Légère
 2 : 200- 400 Sévère
 3 : > 400

HCO₃⁻ (mg/l)

0 : < 100 Aucun
 1 : 100 – 250 Légère
 2 : 250-500 Sévère
 3 : > 500

Cl⁻ (mg/l)

0 : < 150 Aucun
 1 : 150 – 250 Légère
 2 : 250-500 Sévère
 3 : > 500

Publications





1. Article de doctorat

1. Spatial variation of nitrogen pollution of the water table at Oued M'Zab (Northern Algerian Sahara). American Institute of Physics, AIP Conference Proceedings 1968, 020009 (2018); doi: 10.1063/1.5039168, <https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.5039168?class=pdf>.

2. Publications au cours de doctorat

Publications	
Année :	Titre/références complètes de la revue/du périodique :
2018	1. Characterization of superficial aquifer in Oued M'Zab (Northern Algerian Sahara). Advances in Sustainable and Environmental Hydrology, Hydrogeology, Hydrochemistry and Water Resources Proceedings of the 1st Springer Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG-1), Tunisia 2018, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-01572-5_63 .
2019	2. Azoto-Phosphoric Potentials of Groundwater in the M'Zab Valley (Algeria). PONTE Journal International Journal of Sciences and Research, Vol. 75 No. 6/1 Jun 2019 DOI: 10.21506/j.ponte.2019.6.17, http://www.pontejournal.net/mainpanel/abstract.php?TOKEN=gRkgF5411G&PID=PJ-ZMUYB .
2019	3. Variation de la pollution azotée et phosphorée de la nappe superficielle à Oued M'Zab. Journal of Advanced Research in Science and Technology ISSN: 2352-9989, Volume 6, Numéro 2, Pages 1090-1096, https://www.asjp.cerist.dz/en/article/98167 .
2019	4. Risque de salinisation et d'alcalinisation des sols par les eaux d'irrigation de l'aquifère superficiel à Oued M'Zab (Algérie). REVUE AGRICULTURE, 10(2) : 84 – 91, (2019), https://revue-agro.univ-setif.dz/volumes .
2021	5. Using GIS and Geostatistical Techniques for Mapping Piezometry and Groundwater Quality of the Albian Aquifer of the M'zab Region, Algerian Sahara. International Journal of Geosciences, Vol.12 No.3, March 2021, https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=107975 .

دراسة مكانية - زمانية للتلوث بالنيتروجين في المياه الجوفية السطحية في واد مزاب

يشكل تلوث المياه مشكلة رئيسية في المناطق الصحراوية. يهتم هذا البحث بدراسة التباين المكاني - الزماني للتلوث بالنيتروجين في المياه الجوفية السطحية في واد مزاب، ويهدف إلى تشخيص مدى انتشار التلوث وتحديد مدى ملاءمة استخدام المياه ومشاكل التدهور المطروحة.

يتألف أسلوبنا المنهجي من وصف نوعية المياه والرصد الموسمي (المنخفض المرتفع) لتلوث النيتروجين والعناصر المتصلة بتلوث النيتروجين، وتصنيف نوعية المياه في ضوء المعايير.

تبين النتائج الرئيسية التي تم التوصل إليها في إطار هذه الدراسة أن المياه الجوفية السطحية صافية وقريبة من المتعادل وتزداد ملوحة بشدة من أعلى الجرى إلى أسفلها بإتباع اتجاه تدفق المياه. التركيبة

الكيميائية للمياه متغيرة، وغالبا ما يكون كبريتي متوازن الكالسيوم المغنيسيوم والصوديوم. تبين التحاليل الكيميائية للمياه وجود تلوث متغير بالنيتروجين في المياه، من أعلى الجرى إلى

أسفله. $(\text{NH}_4^+ \text{ de } 0,048 \pm 0,039 \text{ mg/l} ; \text{NO}_2^- \text{ de } 0,007 \pm 0,033 \text{ mg/l} ; \text{NO}_3^- \text{ de } 54,594 \pm 30,503 \text{ mg/l})$.

وهو نتيجة للتلوث العضوي من مصادر مختلفة، بما في ذلك المياه المستعملة. الماء لا يظهر تلوث فوسفوري. وتشير مستويات D.C.O و D.B.O_5 إلى تلوث عضوي متوسط للمياه. النتائج البكتريولوجية تؤكد تلوث هذه المياه بمياه الصرف الصحي.

تصنف مياه الطبقة الجوفية السطحية بأنها ملوثة في الوادي وغير صالحة للشرب وفق للمعايير الجزائرية و منظمة الصحة العالمية. يشير تصنيف المياه أن هذه المياه من نوعية رديئة للري، عرضة لخطر التملح وقلوية التربة.

ويظهر الرصد المكاني-الزماني للمياه زيادة طفيفة في الأس الهيدروجيني، نسبة الكدر و الأورثوفوسفات خلال فترة الصيف. في حين أنه أظهر زيادة في كمية الأملاح والتلوث بالنيتروجين، لا سيما الترات، فإنه كثيرا ما يتجاوز عتبات صلاحية الشرب، مما يشكل بلا شك خطرا على السكان الذين يستخدمون هذه المياه.

يظهر بحثنا تدهورا في موارد المياه الجوفية في وادي مزاب. يوصى بشدة إجراء تقييم مستمر لنوعية هذه المياه ومعالجتها للحد من التركيزات المفرطة للملوثات الضارة بصحة الإنسان، و مشاريع تحفة أخرى ضرورية بهدف الحفاظ على نوعية المياه الجوفية من جميع أشكال التلوث.

الكلمات المفتاحية : مكاني-زماني، تلوث النيتروجين، مياه جوفية سطحية، واد مزاب.

Résumé

Etude spatio-temporelle de la pollution azotée des eaux de la nappe superficielle à Oued M'Zab

La pollution des eaux est une problématique qui s'impose en zone saharienne. Ce travail de recherche s'intéresse à l'étude de la variation spatio-temporelle de la pollution azotée des eaux de la nappe superficielle à Oued M'Zab. Il vise à effectuer un diagnostic sur l'extension de la pollution, déterminer l'aptitude d'utilisation des eaux et les problèmes de dégradations posés.

Notre approche méthodologique consiste à faire une caractérisation de la qualité des eaux et un suivi saisonnier (basses et hautes eaux) de la pollution azotée et les paramètres en relation avec la pollution azotée, ainsi que la classification de la qualité des eaux par rapport aux normes.

Les principaux résultats obtenus dans le cadre de cette étude montrent que les eaux de la nappe sont claires, proches de la neutralité et fortement salines augmentant avec un ordre croissant de l'amont vers suivant le sens d'écoulement des eaux. Le faciès des eaux est variable, présentant une dominance sulfatée équilibrée, calcique, magnésienne et sodique.

Les analyses chimiques des eaux montrent une pollution azotée variable dans la nappe, de l'amont vers l'aval $(\text{NH}_4^+ \text{ de } 0,048 \pm 0,039 \text{ mg/l} ; \text{NO}_2^- \text{ de } 0,007 \pm 0,033 \text{ mg/l} ; \text{NO}_3^- \text{ de } 54,594 \pm 30,503 \text{ mg/l})$.

Elle est issue de la contamination organique d'origine variable, notamment par les eaux usées. Les eaux ne présentent pas une pollution phosphorée. Les teneurs de la D.B.O_5 et la D.C.O indiquent une moyenne contamination organique des eaux. Les résultats bactériologiques confirment la contamination de la nappe par les eaux usées.

Les eaux de la nappe sont classées polluées dans la vallée et non potables par rapport aux normes Algériennes et de l'O.M.S. La classification des eaux indique qu'elles sont de qualité médiocre pour l'irrigation, présentant un risque pour la salinisation et l'alcalinisation des sols.

Le suivi spatio-temporel des eaux montre une légère augmentation du pH, de la turbidité et des orthophosphates pendant la période estivale. Alors, il est met en évidence un accroissement de la charge saline et de la pollution azotée, notamment les nitrates dépassant souvent les seuils de potabilité ; ce qui constitue sans aucun doute un risque pour les habitants consommateurs de ces eaux.

Notre recherche montre une dégradation des ressources hydriques souterraines dans la vallée du M'Zab. Il est vivement recommandé une évaluation continue de la qualité de ces eaux et un traitement pour réduire les concentrations excessives des éléments polluants nocifs à la santé humaine et d'autres aménagements sont nécessaires dans le but de préserver la qualité des eaux souterraines contre toutes formes de pollution.

Mots clés : Spatio-temporelle, pollution azotée, nappe superficielle, Oued M'Zab.

Summary

Spatio-temporal study of nitrogen pollution in surface water table in Oued M'Zab

Water pollution is a problem that is imposed in Saharan areas. This research is concerned with the study of the spatio-temporal variation of nitrogen pollution in surface water table in Oued M'Zab. It aims to make a diagnosis on the extension of pollution, determine the suitability of water use and the problems of degradation posed.

Our methodological approach consists of characterizing water quality and seasonal monitoring (low and high water) of nitrogen pollution and parameters in relation to nitrogen pollution, and the classification of water quality against standards.

The main results obtained in the framework of this study show that the waters of the aquifer are clear, close to neutrality and strongly saline increasing with an increasing order from upstream to following the direction of water flow. The facies of the water are variable, with a balanced calcium sulphate dominance of magnesium and sodium.

Water chemical analyses show variable nitrogen pollution in the water table, from upstream to downstream $(\text{NH}_4^+ \text{ of } 0,048 \pm 0,039 \text{ mg.l}^{-1} ; \text{NO}_2^- \text{ of } 0,007 \pm 0,033 \text{ mg.l}^{-1} ; \text{NO}_3^- \text{ of } 54,594 \pm 30,503 \text{ mg.l}^{-1})$.

It comes from organic contamination of various origin, especially from wastewater. The water does not have phosphorus pollution. The levels of D.B.O_5 and D.C.O indicate an average organic contamination of the waters. Bacteriological results confirming the contamination of the groundwater by wastewater.

The water table is classified as polluted in the valley and non-potable by Algerian and W.H.O standards. The water classification indicates that it is of poor quality for irrigation, presenting a risk for soil salinization and alkalization.

The spatio-temporal monitoring of the waters shows a slight increase in pH, turbidity and orthophosphates during the summer period. This shows an increase in saline loading and nitrogen pollution, in particular nitrates, often exceed the potability thresholds, this undoubtedly constitutes a risk for the inhabitants who consume these waters.

Our research shows a degradation of underground water resources in the M'Zab Valley. A continuous assessment of the quality of these waters and treatment to reduce excessive concentrations of pollutants harmful to human health is strongly recommended, and further development is needed to preserve water quality groundwater against all forms of pollution.

Keywords : Spatio-temporal, nitrogen pollution, surface water table, Oued M'Zab.