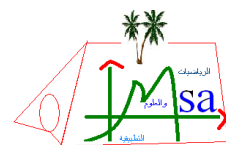




الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

مخبر الرياضيات و العلوم التطبيقية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

N° d'enregistrement

Université de Ghardaïa

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

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم هندسة الطرائق

Département de génie des procédés

THÈSE

Pour l'obtention du diplôme de Doctorat 3^{ème} cycle LMD

Domaine: Sciences et technologie

Filière: Génie des procédés

Spécialité: Génie des procédés

Etude de la variation spatio-temporelle des paramètres de qualité des eaux de la nappe phréatique de la région d'oued M'Zab. Elimination des phosphates par les graines d'olive activé

Soutenue publiquement le: 06 /06 /2022

Par

BENABDERRAHMANE Hadjer

Devant le jury composé de:

CHENINI Keltoum	MCA	Université de Ghardaïa	Présidente
BABA AMER Zohra	MCA	Université de Ghardaïa	Directrice de thèse
DJEHICHE Abdelkader	Professeur	Université de Laghouat	Examineur
DAOUD Djamel	DRA	URAER de Ghardaïa	Examineur
IDDOU Abdelkader	Professeur	Université d'Adrar	Examineur

Année universitaire:2021/2022

Dédicace

À ceux qui n'ont jamais cessé de se sacrifier pour mon avenir, À ceux à qui je dois mon bonheur et mes joies,

À mes très chers parents.

À mes chers frères pour leurs aides, leurs encouragements et leur présence à mes côtés pendant tout le parcours universitaire ;

À mes fidèles sœurs pour leur présence à tout moment et à leur soutien moral ;

À mon mari et ma chère fille ;

À tous mes neveux et nièces ;

À tous les membres des familles :

BENABDERRAHMANE , BENAMMARE , et

LASKAR

Sans exception.

Et à toutes mes amies.

✍ BENABDERRAHMANNE Hadjer

Remerciements

Louange à Allah, qui m'a donné la santé, la volonté et la patience afin que je puisse accomplir ce modeste travail.

Je tiens à remercier sincèrement et profondément ma promotrice M. BABA AMER Zohra de sa disponibilité, son encadrement, ses bonnes suggestions et tout l'effort qu'elle a consacré à l'amélioration de ce travail.

Mes vifs remerciements à: Mr. LASKAR Bekkar de m'avoir conseillé.

J'adresse aussi mes vifs remerciements aux membres du jury pour l'honneur qu'ils m'ont accordé en acceptant d'examiner ce travail afin de l'enrichir à travers leurs critiques et conseils.

Mes vifs remerciements à tous les techniciens de labo de l'Algérienne des eaux et la Laboratoire de Mathématiques et Sciences Appliquées. Ainsi qu'à tous ceux qui m'ont facilité le travail.

Merci à toute personne qui a contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail, que ce soit par ses conseils ou son soutien moral.

*✍.....**BENABDERAHMANNE Hadjer***

Résumé

Les ressources en eau dans la région d'oued M'Zab sont essentiellement les eaux souterraines. Ces derniers sont destinés à la consommation de la population, et à l'irrigation des périmètres agricoles.

Notre étude se focalise, premièrement sur l'évaluation spatio-temporelle de la qualité physico-chimique des eaux de la nappe phréatique dans la région d'oued M'Zab de Daia en amont jusqu'à Atteuf en aval pour les années 2016 et 2017, deuxièmement à l'utilisation d'un charbon actif à partir des grignons d'olive pour l'élimination de la pollution phosphatée.

L'étude de la variation spatio-temporelle des paramètres physico-chimique montre que les eaux de la nappe phréatique sont vulnérables à la pollution sous l'effet des facteurs naturels et anthropiques, et plus particulièrement la partie aval de la vallée au niveau de la région d'Atteuf. En effet, l'analyse des résultats de l'indice de qualité de l'eau (IQE) indique que la majorité des eaux sont appartiennent aux classes « bonne qualité », et « mauvaise qualité » pour les deux périodes d'échantillonnage. Tandis que, la totalité des eaux de qualité très mauvaise sont localisée au niveau de la région d'Atteuf.

D'autre part, une étude statistique a été réalisée en utilisant la méthode d'analyse par composantes principales (ACP), qui permet de déterminer les corrélations entre les éléments physico-chimiques (variables) et les ressemblances et les dissemblances entre les individus. Cette étude montre que la conductivité électrique présente une liaison significative avec le calcium, le magnésium, la dureté totale, le chlorure, et le sulfate, ceci est traduit la participation des ces éléments à la salinité des ces eaux.

Les essais d'adsorption des phosphates sur le charbon actif ont été réalisés en solutions synthétiques d'une concentration initiale de 5mg/L. Les résultats d'essais d'adsorption ont montré que le charbon actif est efficace pour l'élimination du phosphate et que la réaction d'adsorption est influencée par le temps de contact et la dose de charbon actif. L'équilibre d'adsorption est atteint au bout de 160 min, avec une quantité maximale adsorbée de 2,425 mg/g.

L'étude de la modélisation de la cinétique d'adsorption a révélé que les résultats expérimentaux sont bien décrits par le modèle de pseudo-second ordre. Enfin, les isothermes de Langmuir et Freundlich sont parfaitement ajustables aux résultats expérimentaux.

Mots clés : Oued M'Zab, eaux souterraines, indice de qualité de l'eau, Analyse par composantes principales, adsorption, phosphate, charbon actif.

Abstract

Water resources in the Wadi M'Zab region are essentially groundwater. The latter are intended for the consumption of the population, and for the irrigation of agricultural perimeters.

Our study focuses, firstly, on the spatio-temporal evaluation of the physico-chemical quality of groundwater in the region of Wadi M'Zab from Daia upstream to Atteuf downstream for the years 2016 and 2017, secondly, to the use of activated carbon from olive pomace for the elimination of phosphate pollution.

The study of the spatio - temporal variation of the physico-chemical parameters shows that the waters of the water table are vulnerable to pollution under the effect of natural and anthropogenic factors, and more particularly the downstream part of the valley at the level of the Atteuf region. Indeed, the analysis of the results of the water quality index (WQI) indicates that the majority of the waters belong to the "good quality" and "poor quality" classes for the two sampling periods. While, all of the waters of very poor quality are located in the Atteuf region.

On the other hand, a statistical study was carried out using the method of principal component analysis (PCA), which makes it possible to determine the correlations between the physico-chemical elements (variables) and the similarities and dissimilarities between individuals. This study shows that the electrical conductivity has a significant link with calcium, magnesium, total hardness, chloride, and sulfate; this is reflected in the participation of these elements in the salinity of these waters.

The phosphate adsorption tests on activated carbon were carried out in synthetic solutions with an initial concentration of 5mg/L. The results of adsorption tests showed that activated carbon is effective for the removal of phosphate and that the adsorption reaction is influenced by the contact time and the dose of activated carbon. Adsorption equilibrium is reached after 160 min, with a maximum amount adsorbed of 2.425 mg/g.

The study of the adsorption kinetics modeling revealed that the experimental results are well described by the pseudo-second-order model. Finally, the Langmuir and Freundlich isotherms are perfectly adjustable to the experimental results.

Keywords: M'Zab wadi, groundwater, variation, water quality index, principal component analysis, adsorption, phosphate, activated carbon.

ملخص

في منطقة واد ميزاب تعتبر المياه الجوفية من اهم الموارد المائية . هذه الأخيرة مخصصة لاستهلاك السكان و ري المحيطات الزراعية.

تركز دراستنا ، أولاً ، على التقييم المكاني والزمني للجودة الفيزيائية والكيميائية للمياه الجوفية في منطقة وادي مزاب من منطقة الضاية أعلى المنبع إلى منطقة العطف اسفل المصب خلال العامين 2016 و 2017 ، وثانياً على استخدام الكربون المنشط بناء على المخلفات النباتية لنواة الزيتون للقضاء على التلوث بالفوسفات .

توضح دراسة الاختلاف الزمني والمكاني للمعايير الفيزيائية والكيميائية أن مياه الطبقة السطحية معرضة للتلوث تحت تأثير عوامل طبيعية وبشرية، وعلى وجه الخصوص الجزء السفلي من الوادي على مستوى منطقة العطف. في الواقع، يشير تحليل نتائج مؤشر جودة المياه إلى أن غالبية المياه تنتمي إلى فئتي "نوعية جيدة" و "نوعية رديئة" لفترتي أخذ العينات. بينما تقع جميع المياه ذات الجودة الرديئة جدا في منطقة العطف.

من ناحية أخرى، تم إجراء دراسة إحصائية باستخدام طريقة تحليل المكونات الرئيسية، مما يجعل من الممكن تحديد الارتباط بين العناصر الفيزيائية والكيميائية (المتغيرات) وأوجه التشابه والاختلاف بين الأفراد. توضح هذه الدراسة أن التوصيل الكهربائي يظهر ارتباطاً كبيراً بالكالسيوم والمغنيسيوم والصلابة الكلية والكلوريد والكبريتات ، وينعكس ذلك في مشاركة هذه العناصر في ملوحة هذه المياه.

أجريت اختبارات امتزاز الفوسفات على الكربون المنشط في محاليل اصطناعية بتركيز اولي 5 ملجم / لتر. أظهرت نتائج اختبارات الامتزاز أن الكربون المنشط فعال في إزالة الفوسفات وأن تفاعل الامتزاز يتأثر بوقت التلامس وكمية الكربون المنشط. يتم الوصول إلى توازن الامتزاز بعد 160 دقيقة ، ومع أقصى قدر من الامتزاز 2.425 مجم / جم.

كشفت دراسة نمذجة حركية الامتزاز أن النتائج التجريبية موصوفة بشكل جيد بواسطة نموذج شبه الدرجة الثانية.

في الاخير تظهر معادلات لونغمير و فراندليش ان النتائج التجريبية تتوافق معها بشكل جيد .

الكلمات المفتاحية: واد ميزاب ، المياه الجوفية ، مؤشر جودة المياه ، تحليل المركبات الاساسية ، امتزاز ، الفوسفات
كربون منشط.

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Carte administrative de la wilaya d'étude [3].	6
Figure 2: Localisation de la vallée de M'Zab.	7
Figure 3: Bassin versant d'oued M'Zab [12].	9
Figure 4: Coupe schématique de la géologie de la région du M'Zab [17].	12
Figure 5: Coupe lithologique d'un forage d'eau souterraine dans la région de Daia [18].	12
Figure 6: Carte piézométrique de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab [23].	15
Figure 7: Carte d'occupation des sols du bassin du M'Zab [5].	15
Figure 8: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (Période : 2011-2020).	16
Figure 9: Les variations interannuelles des précipitations.	17
Figure 10: Les températures moyennes mensuelles.	17
Figure 11: Humidité moyenne mensuelle.	18
Figure 12: Diagramme ombrothermique de Gausson de la vallée du M'Zab. (Période : 2011-2020).	19
Figure 13: Etage bioclimatique de la région de Ghardaïa selon le climagramme d'Emberger.	20
Figure 14: Cycle de l'eau.	28
Figure 15: Découpage de l'Algérie en bassins hydrographiques. Échelle 1/12 000 000.	30
Figure 16: Domaines d'existence d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau microporeux.	33
Figure 17: Coupe schématique d'une olive [33].	35
Figure 18: Représentation schématique de la structure d'un charbon activé [42].	38
Figure 19: Représentation de la structure poreuse de charbon actif [44].	38
Figure 20: Localisation de la zone d'étude et des sites d'échantillonnage.	50
Figure 21: Interface graphique du programme déterminant l'indice de qualité de l'eau.	58
Figure 22: Exemple de calcul de l'indice de qualité d'un échantillon d'eau.	60
Figure 23: Protocole de préparation du charbon actif.	62
Figure 24: Carte de distribution spatiale de température des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2016.	76
Figure 25: Carte de distribution spatiale de température des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2017.	76
Figure 26: Carte de distribution spatiale de pH des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2016.	77
Figure 27: Carte de distribution spatiale de pH des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2017.	78
Figure 28: Carte de distribution spatiale de la conductivité électrique des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2016.	79
Figure 29: Carte de distribution spatiale de la conductivité électrique des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2017.	79
Figure 30: Carte de distribution spatiale de la turbidité des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2016.	80
Figure 31: Carte de distribution spatiale de turbidité des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2017.	81

Figure 32: Carte de distribution spatiale de résidu sec des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab phréatique pour l'année 2016.....	82
Figure 33: Carte de distribution spatiale de résidu sec des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2017.....	82
Figure 34: Carte de distribution spatiale de la dureté totale des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2016.....	83
Figure 35: Carte de distribution spatiale de la dureté totale des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2017.....	84
Figure 36: Carte de distribution spatiale de calcium des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2016.....	85
Figure 37: Carte de distribution spatiale de calcium dans des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2017.....	85
Figure 38: Carte de distribution spatiale de magnésium des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2016.....	86
Figure 39: Carte de distribution spatiale de magnésium dans des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2017.....	87
Figure 40: Carte de distribution spatiale de chlorure dans des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2016.....	88
Figure 41: Carte de distribution spatiale de chlorure dans des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2017.....	88
Figure 42: Carte de distribution spatiale des sulfates des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2016.....	89
Figure 43: Carte de distribution spatiale des sulfates des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2017.....	90
Figure 44: Carte de distribution spatiale d'ammonium des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2016.....	91
Figure 45: Carte de distribution spatiale d'ammonium des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2017.....	92
Figure 46: Carte de distribution spatiale de fer des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2016.....	92
Figure 47: Carte de distribution spatiale de fer des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2017.....	93
Figure 49: Carte de distribution spatiale de phosphate des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2017.....	94
Figure 50: Carte de distribution spatiale du nitrite des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2016.....	95
Figure 51: Carte de distribution spatiale du nitrite des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2017.....	95
Figure 52: La variation de l'indice de qualité de l'eau dans la région d'oued M'Zab (Daia, Ghardaïa, et Atteuf) pour l'année 2016.....	97
Figure 53: Carte de distribution spatiale de l'indice de qualité de l'eau des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2016.	98
Figure 54: La variation de l'indice de qualité de l'eau dans la région d'oued M'Zab (Daia, Ghardaïa, et Atteuf) pour l'année 2017.....	98

Figure 55: Carte de distribution spatiale de l'indice de qualité de l'eau des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2017.	99
Figure 56: Variabilité des facteurs de Charge pour l'année 2016.	101
Figure 57: Variabilité des facteurs de Charge pour l'année 2017.	101
Figure 58: Cercles de corrélation pour l'année 2016.	106
Figure 59: Cercles de corrélation pour l'année 2017.	107
Figure 60: Carte de distribution spatiale des Classes de l'eau d'irrigation, selon Ayers et Westcot, 1976 dans la région d'oued M'Zab pour l'année 2016.	110
Figure 61: Carte de distribution spatiale des Classes de l'eau d'irrigation, selon Ayers et Westcot, 1976 dans la région d'oued M'Zab pour l'année 2017.	110
Figure 62: Classification de l'eau pour l'irrigation selon le rapport d'absorption de magnésium dans la région d'oued M'Zab pour l'année 2016.	111
Figure 63: Carte de distribution spatiale des classes de l'eau pour l'irrigation selon le rapport d'absorption de magnésium dans la région d'oued M'Zab pour l'année 2016.	112
Figure 64: Classification de l'eau pour l'irrigation selon le rapport d'absorption de magnésium dans la région d'oued M'Zab pour l'année 2017.	112
Figure 65: Classification de l'eau pour l'irrigation selon le rapport d'absorption de magnésium dans la région d'oued M'Zab pour l'année 2017.	113
Figure 66: Analyse par MEB du charbon actif avec différents agrandissements.	121
Figure 67: Diffractogramme du charbon actif.	122
Figure 68: Influence du temps d'agitation sur l'adsorption du phosphore sur le charbon actif ($[\text{PO}_4^{-3}] = 5 \text{ mg/L}$, dose de CA = 1 g/l).	123
Figure 69: Modèle de pseudo-premier ordre pour la cinétique d'adsorption des phosphates sur charbon actif.	124
Figure 70: Modèle de pseudo-second ordre pour la cinétique d'adsorption des phosphates sur charbon actif.	125
Figure 71: Influence de la dose de charbon actif sur l'adsorption de phosphore sur le charbon actif.	126
Figure 72: Isothermes l'adsorption des phosphates sur le charbon actif.	127
Figure 73: Modèle des isothermes l'adsorption de phosphore sur le charbon actif par les équations de Freundlich.	128
Figure 74: Modèle des isothermes l'adsorption de phosphore sur le charbon actif par les équations de Langmuir.	130

LISTE DES TABLAUX

Tableau 1: Normes recommandées pour la qualité de l'eau potable, poids et poids relatif des paramètres 56

Tableau 2: Exemple des résultats d'analyses d'un échantillon d'eau. 59

Tableau 3: Statistiques élémentaires des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la région d'oued M'Zab pour l'année 2016. 74

Tableau 4: Statistiques élémentaires des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la région d'oued M'Zab pour l'année 2017. 75

Tableau 5: Valeurs propres et variabilité par chaque axe pour l'année 2016. 102

Tableau 6: Valeurs propres et variabilité par chaque axe pour l'année 2017. 102

Tableau 7: Matrice de corrélation pour l'année 2016. 103

Tableau 8: Matrice de corrélation pour l'année 2017. 104

Tableau 9: Tableau de corrélation pour l'année 2016. 105

Tableau 10: Tableau de corrélation pour l'année 2017. 108

Tableau 11: Classification de l'eau d'irrigation, selon Ayers et Westcot, 1976. 109

Tableau 12: Les analyses physico-chimiques du charbon actif. 119

Tableau 13: Résultats optimaux de la cinétique d'adsorption ($[\text{PO}_4^{3-}] = 5\text{mg/L}$), dose de CA=1g /L). 123

Tableau 14: Paramètres du modèle cinétique de pseudo-premier ordre pour l'adsorption du phosphate sur le charbon actif ($[\text{PO}_4^{3-}] = 5\text{mg/L}$), dose de CA=1g /L). 124

Tableau 15: Paramètres du modèle cinétique de pseudo-second ordre pour l'adsorption du phosphate sur le charbon actif ($[\text{PO}_4^{3-}] = 5\text{mg/L}$), dose de CA=1g /L). 126

Tableau 16: Résultats de la modélisation d'isotherme de Freundlich d'adsorption de phosphate sur charbon actif. 128

Tableau 17: Résultats de la modélisation d'isotherme de Langmuir d'adsorption de phosphate sur le charbon actif. 130

LISTE DES ABREVIATIONS

A.N.D.I : Agence Nationale de Développement de l'Investissement

A.N.R.H : Agence Nationale des ressources Hydrauliques

ACP : Analyse en composantes principales

ADE : Algérienne Des Eaux

ADN : Acide désoxyribonucléique

ADP : Adénosine diphosphate

ARN : Acide ribonucléique

ATP : Adénosine triphosphate

C : Classe

CA : Charbon actif

CE : Conductivité électrique

CI : Continental Intercalaire

CT : Complexe Terminal

D.P.A.T : Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire

DRX : Diffraction des rayons X

E.D.T.A : Acide éthylène diamine tétra-acétique

F : Factor

FAO : Organisation de l'agriculture et de l'alimentation

GPS: Global Positioning System

H⁺: Ions Hydrogène

IANOR : Institut Algérien de Normalisation

IQE : Indice de qualité de l'eau

MAR : Taux d'absorption de magnésium

Max : Valeur maximale

MEB : Microscope électronique à balayage

Min : Valeur minimale

n : Nombre des échantillons utilisées

P : Précipitation

p:Puits

P₂O₅ : Pentoxyde de phosphore

pH: Potentiel d'Hydrogène

Q₂ : Quotient pluviothermique

R : Rendement

T : Température

U.V : Ultraviolet

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	4
CHAPITRE 1 Etude du milieu physique	5
1.1 INTRODUCTION	6
1.2 SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	6
1.3 APERÇU GEOMORPHOLOGIQUE	8
1.3.1 Oued M'Zab	8
1.4 CADRE GEOLOGIQUE.....	10
1.4.1 Lithostratigraphie	10
1.5 APERÇU HYDROGEOLOGIQUE	13
1.5.1 Les ressources en eau dans la vallée	13
1.5.2 Piézométrie de la nappe phréatique.....	14
1.6 OCCUPATION DES SOLS DU BASSIN DU M'ZAB	14
1.7 CADRE CLIMATIQUE.....	16
1.7.1 Les précipitations	16
1.7.2 Le vent.....	17
1.7.3 La température.....	17
1.7.4 L'humidité.....	18
1.7.5 L'évaporation	18
1.7.6 Les diagrammes climatiques	18
1.7.7 Le diagramme d'Emberger.....	19
1.8 CONCLUSION	21
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	22
CHAPITRE 2 Etude bibliographique.....	25
2.1 INTRODUCTION	26
2.2 GENERALITES SUR LES EAUX	26
2.2.1 Connaissances sur l'eau	26
2.2.2 Formes de l'eau sur terre.....	27
2.2.3 Cycle de l'eau.....	27
2.2.4 Classement de l'eau	27
2.2.4.1 Eaux de surfaces.....	27

2.2.4.2	Eaux souterraines	28
2.2.4.3	Qualité des eaux souterraines	28
2.2.4.4	Pollution des eaux souterraines	29
2.2.5	Ressources en eau en Algérie	29
2.2.6	Ressources en eau dans le Sahara Algérien	31
2.2.7	Potabilité de l'eau	31
2.3	GENERALITE SUR LE PHENOMENE D'ADSORPTION	31
2.3.1	Phénomène d'adsorption	31
2.3.2	Mécanisme d'adsorption	32
2.3.3	Cinétiques d'adsorption.....	32
2.3.3.1	Modèle cinétique du pseudo premier ordre.....	33
2.3.3.2	Modèle cinétique du pseudo second ordre	34
2.3.4	Facteurs influençant le phénomène d'adsorption.....	34
2.4	ADSORBANT.....	35
2.4.1	Définition des grignons d'olives	35
2.4.2	Généralités sur les charbons actifs	36
2.4.3	Procédés de fabrication du charbon actif	36
2.4.4	L'activation physique	36
2.4.5	L'activation chimique	37
2.4.6	Structure et porosité d'un charbon actif.....	37
2.5	ADSORABAT.....	38
2.5.1	Le phosphore dans l'environnement	38
2.5.2	Cycle de phosphore	39
2.5.3	Rôle du phosphore.....	39
2.5.3.1	Dans l'environnement	39
2.5.3.2	Dans les milieux aquatiques.....	40
2.5.4	Les sources de phosphore en excès dans les eaux.....	40
2.5.5	Effet du phosphore sur la santé et l'environnement.....	40
2.6	CONCLUSION	42
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	43
	CHAPITRE 3 Matériels et méthodes	48
3.1	INTRODUCTION	49
3.2	EXECUTION DES PRELEVEMENTS.....	49

3.3	ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES.....	51
3.3.1	La température.....	51
3.3.2	Le pH.....	51
3.3.3	La conductivité électrique	51
3.3.4	La turbidité	52
3.3.5	Le résidu sec.....	52
3.3.6	La dureté totale.....	52
3.3.7	Le calcium	52
3.3.8	Le magnésium	53
3.3.9	Les chlorures	53
3.3.10	Les sulfates	53
3.3.11	Les phosphates	54
3.3.12	L'ammonium.....	54
3.3.13	Le fer	54
3.3.14	Les nitrites	55
3.4	INDICE DE QUALITE DE L'EAU	55
3.4.1	Interface de calcul de l'indice de qualité de l'eau.....	57
3.5	ETUDE STATISTIQUE.....	60
3.6	CARACTERISTIQUE DU CHARBON ACTIF ET L'ESSAI D'ADSORPTION .	61
3.6.1	Matière première	61
3.6.2	Préparation de la matière première.....	61
3.6.3	Carbonisation	61
3.6.4	Activation chimique	61
3.7	CARACTERISATION DE CHARBON ACTIF	63
3.7.1	Le pH.....	63
3.7.2	La porosité.....	63
3.7.3	Détermination de la teneur en eau.....	63
3.7.4	Taux de cendre	63
3.7.5	Densité apparente	64
3.7.6	Diffraction des rayons X (DRX)	64
3.7.7	Caractérisation microstructurale au microscope électronique à balayage	65
3.8	ETUDE D'ADSORPTION.....	65
3.9	CONCLUSION	66

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE	67
CHAPITRE 4 Variation des paramètres physico-chimiques: résultats et discussion	72
4.1 INTRODUCTION	73
4.2 ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE	73
4.2.1 Variation des paramètres physico-chimiques.....	73
4.2.2 La température.....	75
4.2.3 Le pH.....	77
4.2.4 La conductivité électrique	78
4.2.5 La turbidité	80
4.2.6 Le résidu sec.....	81
4.2.7 La dureté totale.....	83
4.2.8 Le calcium	84
4.2.9 Le magnésium	86
4.2.10 Les chlorures	87
4.2.11 Les sulfates	89
4.2.12 L'ammonium.....	90
4.2.13 Le fer	91
4.2.14 Les phosphates	93
4.2.15 Les nitrites	95
4.3 INDICE DE QUALITE DE L'EAU	96
4.4 ETUDE STATISTIQUE.....	99
4.4.1 Analyse en composantes principales.....	99
4.4.2 La matrice de corrélation.....	99
4.4.3 Diagonalisation de la matrice de corrélation.....	100
4.4.4 Etude de cercle de corrélation	105
4.5 EVALUATION DE QUALITE DES EAUX POUR L'IRRIGATION	108
4.5.1 Risque de salinisation.....	108
4.5.2 Taux d'absorption de magnésium (MAR)	111
4.6 CONCLUSION	113
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	115
CHAPITRE 5 Phénomène d'adsorption: résultats et discussion	118
5.1 INTRODUCTION	119
5.2 CARACTERISATION DU CHARBON ACTIF	119

5.2.1	Les caractéristiques physico- chimiques	119
5.2.2	Analyse spectrale du charbon actif.....	120
5.2.2.1	Analyse par microscopie électronique à balayage	120
5.2.2.2	Analyse par diffraction de rayon X (DRX)	121
5.3	CINETIQUE D'ADSORPTION DU PHOSPHATE	122
5.3.1	Effet du temps de contact	122
5.3.2	Détermination de l'ordre de la cinétique d'adsorption.....	123
5.3.2.1	Modèle de pseudo-premier ordre	124
5.3.2.2	Modèle de pseudo-second ordre.....	125
5.4	EFFET DE LA DOSE DE CHARBON ACTIF	126
5.5	ISOTHERME D'ADSORPTION	127
5.5.1	Isotherme de Freundlich.....	127
5.5.2	Isotherme de Langmuir	129
5.6	CONCLUSION	130
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	132
	CONCLUSION GENERALE	135
	Annexes.....	139
	ANNEXE 1 : ANALYSE DES EAUX : MODES OPERATOIRES.....	140
	ANNEXE 2 : CODE SOURCE DE L'INTERFACE DE CALCUL DE L'INDICE DE LA QUALITE DE L'EAU	145

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est une ressource naturelle précieuse et essentielle pour l'homme, les animaux et les plantes, utilisée à de multiples fins domestiques, industrielles et agricoles.

Les ressources en eau se constituent à partir des 45 000 km³ /an d'eau douce qui s'écoulent sur Terre, mais on estime que seulement 10 000 à 12 000 km³ /an sont utilisables. En effet, une partie de l'eau s'écoule en des lieux inhabités, une partie s'écoule trop vite pour être stockée (lors de crues) et une certaine quantité d'eau doit continuer à s'écouler au sein des écosystèmes naturels et des nappes souterraines [1].

En Algérie, les ressources en eau superficielles sont très faibles et limitées essentiellement à la partie du flanc septentrional de l'Atlas. Par contre, les ressources souterraines y sont abondantes mais sont très faiblement renouvelables et représentées par deux importants aquifères la nappe du Complexe Terminal et celle de la nappe du Continental Intercalaire, (nappes du Sahara septentrional). Le potentiel des ressources en eau renouvelables est localisé dans le Nord de l'Algérie qui englobe les bassins tributaires de la Méditerranée et les bassins fermés des Hauts Plateaux [2].

L'Algérie fait partie des pays méditerranéens les plus gravement exposés à la pénurie d'eau, en raison des besoins domestiques et publics, agricoles et industriels qui s'étaient accrus considérablement alors que le stock d'eau facilement relevable était gravement dénaturé par les phénomènes de rareté et de pollution [3,4].

Au cours des dernières décennies, la pollution de l'eau est devenue l'un des plus graves problèmes auxquels est confronté notre monde moderne. Cette pollution est due principalement à la hausse exponentielle de la population mondiale qui s'est accompagnée d'un développement économique accéléré dans les différents domaines. Cette civilisation galopante modifie considérablement la qualité de l'eau et de ce fait l'altération de la santé humaine. Donc la préservation et la gestion des eaux contre la pollution est un enjeu majeur pour assurer sa durabilité.

Dans cette même ordre d'idée, c'est-à-dire la gestion de l'eau, notre travail s'intéresse à l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines. Pour cela, nous avons choisie d'aborder notre étude dans la région de la vallée de M'Zab.

La zone d'étude est située au centre du Sahara Septentrional, à 600 km au sud-ouest d'Alger, ou elle repose aujourd'hui sur l'un des plus grands aquifères de la planète c'est la nappe du Continental Intercalaire. Avant la découverte de l'aquifère du Continental Intercalaire au début des années 1940, toute la vallée du M'zab était alimentée par la nappe

phréatique. Néanmoins, les eaux de cet aquifère sont aujourd'hui polluées, dont la cause principale est la pression de la croissance démographique, l'activité agricole et industrielle [5].

Il est donc intéressant de spécifier la qualité physico-chimique et son évolution dans le temps et dans l'espace; afin de donner l'indice de potabilité pour la consommation humaine et d'évaluer la qualité des eaux pour l'irrigation des périmètres agricoles d'une part, et dans l'autre part de trouver le technique de dépollution de ces eaux.

Un autre volet a fait l'objet d'étude dans ce travail, il s'agit de l'élimination de la pollution phosphatée.

Le phosphate est un nutriment essentiel pour la croissance des micro-organismes et, par conséquent, la présence par des concentrations dépassant 0,2 mg/L dans les réservoirs d'eau est connue pour stimuler la croissance des algues, réduisant l'oxygène dissous dans l'environnement aqueux, ce qui perturbe la chaîne alimentaire naturelle et entraîne également une détérioration de la qualité de l'eau [5]. Par conséquent, l'élimination des phosphates des eaux est indispensable pour la préservation de notre environnement.

Parmi les procédés utilisés pour le traitement des eaux en vue d'élimination des différents polluants est l'adsorption sur charbon actif.

Le charbon actif est l'adsorbant le plus communément employé, mais il reste très onéreux. Cela limite son utilisation dans les pays en voie de développement. Les recherches se sont alors orientées vers des procédés de traitement à base des matériaux naturels moins coûteux [6].

Notre objectif dans ce travail est de mettre en œuvre une méthodologie, basée sur :

- Des plans d'échantillonnage spatial et temporel sur quatre-vingt-quinze points d'eau souterraine, au cours des années 2016 et 2017.
- Des analyses physico-chimiques pour évaluer la qualité de ces eaux, afin d'estimer leur état,
- L'établissement des cartes d'évolutions spatiale et temporelle des paramètres physico-chimiques, ce qui permet de voir clairement la variation de la qualité des eaux de la nappe phréatique à travers la vallée d'oued M'Zab.
- Le traitement des données selon des outils statistiques en utilisant la méthode de calcul de l'indice de qualité de l'eau (IQE), que nous avons élaboré par un programme au langage python, l'analyse selon le risque de salinisation et le rapport d'absorption de magnésium, et aussi par l'analyse en composantes principales (ACP).

- Un essai de l'élimination de l'élément phosphate à partir des solutions synthétiques en utilisant la technique d'adsorption sur un charbon actif issue des grignons d'olive locaux.

Pour cela, nous avons structuré notre travail de recherche en cinq chapitres, en l'occurrence:

- Le premier chapitre, s'est porté sur l'étude du milieu physique de la zone d'étude, sa situation géographique, géomorphologique, géologique, et climatique.
- Le deuxième chapitre, est consacré à une approche bibliographique en premier lieu généralités sur les eaux. En deuxième lieu, des généralités sur le phénomène d'adsorption du phosphate (l'adsorbat) sur un charbon actif (l'adsorbant).
- Le troisième chapitre est consacré aux différents matériels et méthodes d'analyses utilisé pour l'évaluation de la qualité de l'eau, ainsi que le protocole expérimental que nous avons utilisé dans la préparation et la caractérisation du charbon actif, et les essais d'adsorption de phosphate.
- Le quatrième chapitre présente les résultats de l'analyse physico-chimique, l'indice de qualité de l'eau, l'analyse en composantes principales, le risque de salinité et le taux d'absorption de magnésium.
- Le cinquième chapitre comprend les résultats de l'utilisation du charbon actif dans l'élimination des phosphates.

Enfin, nous terminons par une conclusion générale, suivie par quelques perspectives futures qui peuvent enrichir notre travail.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Julien M. Les ressources en eau sur Terre : origine, utilisation et perspectives dans le contexte du changement climatique – un tour d’horizon de la littérature. Laboratoire d’économie de la production et de l’intégration internationale. 2007.
- [2] Masmoudi R. Etude de la fiabilité des systèmes de distribution d’eau potable en zones arides cas de la région de Biskra. Université Mohamed Khider – Biskra. 2009.
- [3] Zereg S., Boudoukha A., Benaabidate L. Impacts of natural conditions and anthropogenic activities on groundwater quality in Tebessa plain, Algeria. Sustainable Environment Research. Volume 28, Numéro 6. 2018.
- [4] Boubou N. Etude géo démographique et climatique de la problématique de l’eau en Algérie. Revue scientifique et technique. Journal de l’Eau et de l’Environnement. Volume 14, Numéro 26. 2015.
- [5] Remini B. Oued M’ZAB’S I.R.S development population and flood, life in harmony part 3: the genius of floodwater sharing. Larhyss Journal. Volume 17, Numéro 3. 2020.
- [6] Djidel T. Etude de la préparation d’un charbon actif à partir des grains d’olives et application sur des rejets industriels. Thèse de magister. Université Med-Boudiaf d’Oran. 2011.

CHAPITRE 1 Etude du milieu physique

1.1 INTRODUCTION

La vallée du M'Zab est située dans la partie centrale du Sahara septentrional aux portes du désert. Elle a été classée dans le patrimoine national en 1971 par l'état algérien puis patrimoine mondial en 1982 par UNESCO.

Dans ce chapitre, nous allons présenter une aperçue sur le milieu physique de la région d'oued M'Zab, notamment la situation géographique, aperçu géomorphologique, le cadre géologique, aperçu hydrogéologique, et le cadre climatique.

1.2 SITUATION GEOGRAPHIQUE

La région d'étude appartient sur le plan administratif à la wilaya de Ghardaïa, située à une distance de 600 Km de la capitale Algérienne et entre 4° et 7° de longitude Est et 35° et 36° de latitude Nord, avec une superficie de 86.560 km² et une population de 387 880 habitants par une densité de peuplement de 4,48 habitants/km² [1,2].

La wilaya de Ghardaïa est limitée au Nord par les Wilayas de Laghouat et de Djelfa, à l'Est par la Wilaya d'Ouargla, au Sud par la wilaya de Tamanrasset, à l'Ouest par la wilaya d'El Bayadh et d'Adrar (figure 1).

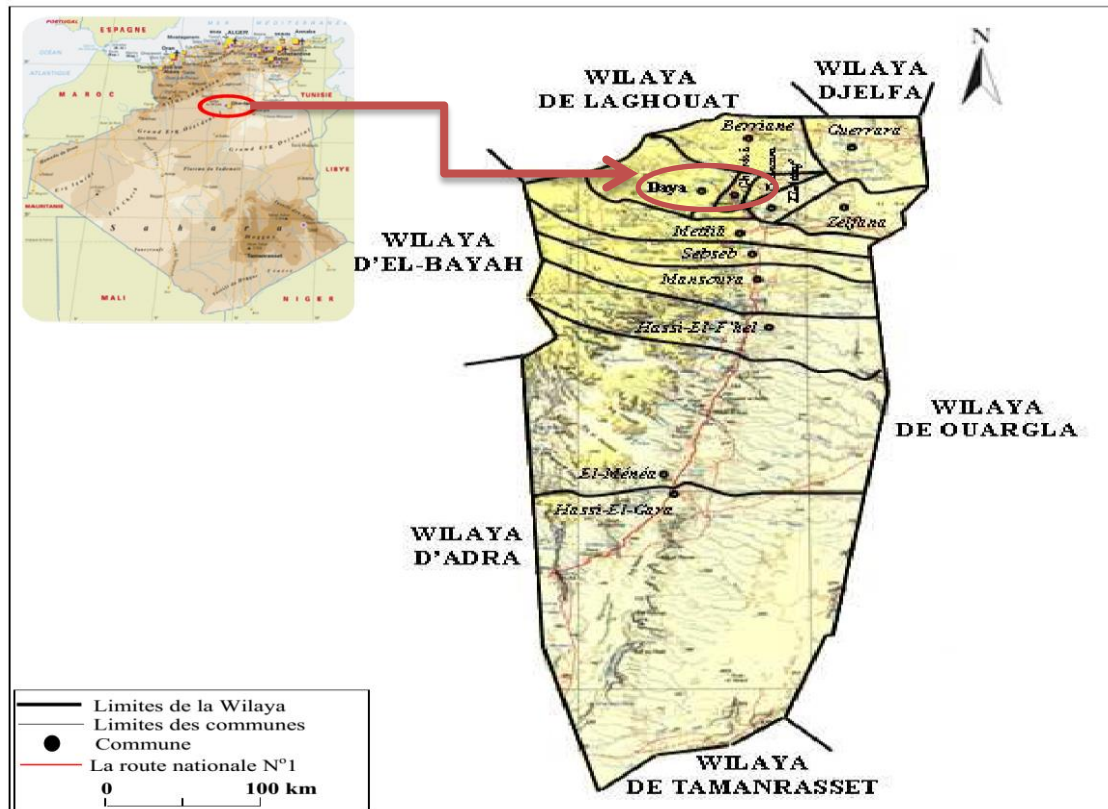


Figure 1: Carte administrative de la wilaya d'étude [3].

La vallée du M'Zab est comprise entre 32° 26' et 32° 31' de latitude Nord et 3° 37' et 3°46' de longitude Est. Elle est alignée approximativement Nord-Ouest, Sud-Est, en partant de Bouchen, zone de confluence de l'oued El Haimeur avec l'oued Touzouz, jusqu'à El Atteuf, dont la longueur est de 23,5 km. La largeur de la vallée varie entre 2,35 et 1,5 km en amont et diminue au fur et à mesure vers l'aval pour atteindre 0,55 km tout au sud de la ville d'El Atteuf.

La vallée du M'Zab est délimitée au Nord par la région de Daïas, au Sud, par El Golea, à l'Est, par Ouargla et à l'Ouest, par le Grand Erg Occidental [4].

La superficie de la vallée est de 5000 Km² et les altitudes diminuent progressivement de l'amont vers l'aval, 514 à 508 mètres à Bouchen, 505 à 485 mètres au niveau la ville de Ghardaïa, 455 à 450 mètres au niveau d'El Atteuf, et 435 mètres à Ahbas point le plus bas de l'oasis d'El Atteuf [5].



Figure 2: Localisation de la vallée de M'Zab.

1.3 APERÇU GEOMORPHOLOGIQUE

La dorsale du M'Zab est un plateau rocheux qui constitue la limite du bas-Sahara, dont l'altitude varie entre 300 et 800 mètres. Ce plateau crétacé est composé de calcaires durs à dolomie du turonien. Il se caractérise par une vaste étendue pierreuse et de roche de couleur brune et noirâtre (hamada) [6].

L'érosion pluviale au début du quaternaire a creusé dans l'étage supérieur de ce massif un réseau d'oueds complexe qui découpe la roche dans tous les sens (chebka). Ces oueds se déversent suivant l'inclinaison du plateau vers le bassin de Ouargla. La superstructure du sol est formée essentiellement de couches assez plates, d'une formation calcaire très silicifiée du turonien [7].

La région de Ghardaïa est jalonnée par un grand réseau d'oueds dont les principaux sont : oued M'Zab , oued Metlili, oued N'sa et oued Zegrir [8,9].

1.3.1 Oued M'Zab

La superficie du bassin du M'Zab est de 5000 km² environ. Ses contours sont imprécis dans la partie orientale. Limitée à Ghardaïa, point le plus bas généralement atteint par les crues, cette superficie se réduit à 1500 km². L'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 (l'exutoire du bassin) [10].

Les principaux affluents du M'Zab sont:

➤ En amont de Ghardaïa sur la rive gauche, Oued El-Haïmeur (dans la daïa Ben Dahoua) ; 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 à droite de Béni-Isguen, oued N'Tissa qui traverse la palmeraie de cette dernière, à gauche et à quelques centaines de mètres en aval du précédent nous trouvons Oued Azouil dans le lit duquel sont situés les jardins de Bounoura [11].



Figure 3: Bassin versant d'oued M'Zab [12].

Oued Zegrir

Oued Zegrir est l'un des grands Oueds qui traversent le Mzab. Il couvre une superficie de 4100 Km² et coule sur une longueur qui varie entre 270 Km et 300 Km selon l'importance de la crue. Il prend sa source à l'oued Ajerma au Nord - Ouest, à une altitude de 850m.

Oued Zegrir passe au nord de Berriane pour atteindre Guerrara en aval et se dirige vers le Sud –Est pour terminer son parcours à la vallée du Zgag [6].

Oued Metlili

Le bassin versant de Metlili est d'une superficie de 400 km² environ. L'oued a pour origine la confluence de deux principaux oueds ; El Botma et Gaa au méridien 03° 25' Est et la parallèle 32° 23' Nord à une altitude de 650 m, il parcourt environ 270 km de l'Ouest vers l'Est pour atteindre la dépression de sabkhet safioune à une altitude de 120 m dans la région

d'Ouargla. L'écoulement d'oued de Metlili est sporadique se manifestant à la suite de grandes averses orageuses [13].

Oued N'Sa

Le bassin versant couvre une superficie d'environ de 7800 km², il se situe au sud du Zegrir. Il prend sa source à Tilghemt qui culmine à cet endroit à 750m d'altitude et passe au Nord-Est du Berriane et se dirige vers le Sud où il reçoit l'apport de deux affluents, Soudan et Ballouh qui eux passent par la palmeraie de Berianne. Il continue son cours vers le Sud-Est pour atteindre la Sabkhet Safione, au nord d'Ouargla sur une longueur de 320 Km [6].

1.4 CADRE GEOLOGIQUE

La vallée d'oued M'Zab fait partie de la plateforme saharienne constituée d'un bouclier précambrien, n'émergeant des sédiments qu'ils surmontent que dans le Sahara Central (Massif du Hoggar) et le Sahara Occidental (Massif des Eglab). Elle est située sur les bordures occidentales du bassin sédimentaire du Bas Sahara, les terrains affleurant sont en grande partie attribués au Crétacé supérieur, composés principalement par des dépôts calcaires turoniens dolomitiques, qui forment un plateau sub-horizontal appelé couramment "la dorsale du M'Zab" [14, 15].

Ces affleurements sont de type [16]:

- Argiles verdâtres et bariolées à l'Ouest et le Sud-Ouest attribués au Cénomaniens,
- Calcaires massifs durs ; blanc grisâtre au centre, attribués au Turonien,
- Calcaires marneux et argiles gypseuses à l'Est, attribués au Sénonien,
- Sables rougeâtre consolidés à Est et au Nord-Est attribués au Miopliocène,
- Alluvions quaternaires tapissant le fond des vallées des oueds.

1.4.1 Lithostratigraphie

➤ L'Albien

L'étage Albien est le plus important aquifère dans la région. Il est constitué des sables fins à moyens et d'argile, avec une épaisseur de 500 mètres [5].

➤ Cénomaniens

L'épaisseur de l'étage Cénomaniens est de 220 mètres formé essentiellement par des argiles vertes, noirâtres et grises.

Des minces intercalations de couche calcaires et des intercalations de gypses massifs fibreux blancs et de l'anhydrite [5].

➤ **Turonien**

L'étage Turonien forme le plateau rocheux de la chebka de M'Zab (dorsale de M'Zab). Il est constitué de calcaire et calcaire dolomitiques très silicifiée [15,7].

➤ **Sénonien inférieure**

Le Sénonien inférieure est constitué des argiles marneuses à intercalations de banc important de gypse et d'anhydrite.

➤ **Sénonien supérieur**

Le Sénonien supérieur est composé des calcaires marneux à argile.

➤ **Mio-pliocène**

Cet étage est composé de dépôt des sables, d'argile et de calcaire gris, dont l'épaisseur est très variable.

➤ **Pliocène continental**

L'étage de Pliocène continental où la croute hamadienne est constitué des roches de calcaires (croute saharienne) [5].

➤ **Quaternaire**

L'étage est composé des alluvions, sables, et d'argiles tapissent le fond des vallées des oueds de la dorsale, avec une épaisseur varie entre 20 à 35 mètres. Ces alluvions abritent la nappe phréatique [15].

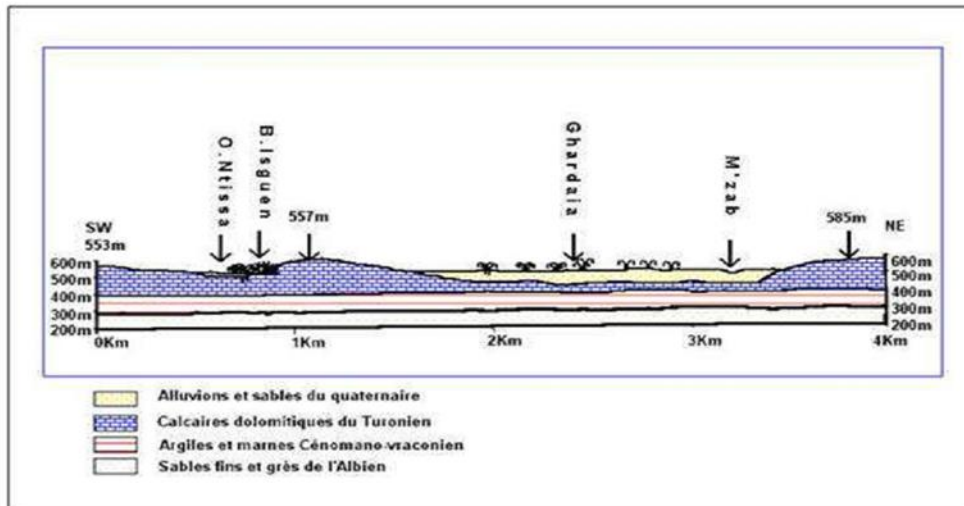


Figure 4: Coupe schématique de la géologie de la région du M'Zab [17].

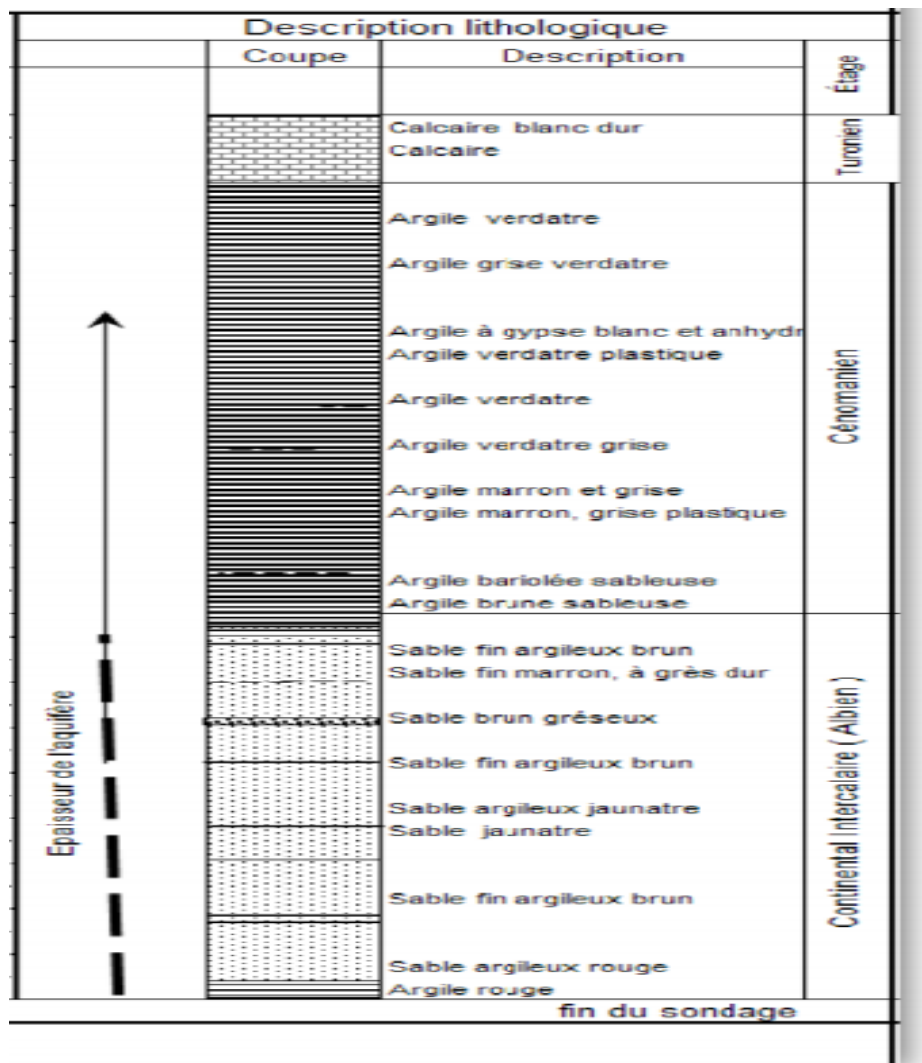


Figure 5: Coupe lithologique d'un forage d'eau souterraine dans la région de Daia [18].

1.5 APERÇU HYDROGEOLOGIQUE

Dans le Sahara, les ressources en eau de surface sont très rares. Seule une forte pluie de plusieurs heures peut provoquer la crue de l'Oued et cela n'arrive qu'une fois tous les deux ou trois ans en moyenne [19].

Les principales ressources en eau dans cette zone sont d'origine souterraine. Elles sont contenues dans deux types d'aquifères: l'aquifère superficiel d'alluvionnaire quaternaire, et l'aquifère profond du Continental Intercalaire [20].

1.5.1 Les ressources en eau dans la vallée

1.5.1.1 Les eaux de surfaces

Dans la région d'oued M'Zab, les eaux de surface sont rares et proviennent généralement des crues importantes de l'Oued M'Zab inondant la région de Ghardaïa.

L'étude des crues de l'oued M'Zab estime les débits de crue décennale et centennale à 205 et 722 m³/s. Les conséquences sont parfois catastrophiques et les dégâts sont souvent remarquables [21]. C'est ce qui s'est passé le 1^{er} Octobre 2008. Une intensité de pluie de 11mm s'est produite le jour de 28 Septembre. C'était le début d'une pluie torrentiel continue durant les trois jours qui ont suivie. L'intensité de pluie a été augmentée de 40,5 mm durant la journée du 29 Septembre. Durant la nuit du 29^{ème} au 30^{ème} qui suit, une forte averse s'est produite, dont le débit a été estimé à 150 mm/h. Dans le jour du 1er octobre une augmentation continue d'une valeur de 28,2 mm a induit une crue soudaine dévastatrice [22].

1.5.1.2 Les eaux souterraines

➤ Les eaux de la nappe phréatique

Les eaux de la nappe phréatiques sont contenues dans les alluvions des oueds [23]. La nappe phréatique est exploitée par des puits traditionnels, dont la profondeur varie entre 10 m et 55 m [6]. La recharge de cette nappe est assurée grâce à l'infiltration des pluies, elle est améliorée par des dispositifs ingénieux tels que les barrages retardant l'écoulement des crues d'oued M'Zab ou murettes concentrant et dirigeant le ruissellement nommé Fougaras.

La partie amont du bassin versant est drainée par les importants oueds Lahdhira et El Abiod, dont la longueur est de 50 à 60 km, et leur confluence donne naissance à l'oued M'Zab 7 km au Nord-Ouest de la ville de Ghardaïa. L'oued M'Zab reçoit ensuite successivement les apports des principaux cours d'eau suivants : en rive droite les

oueds Argdeïne et Touzzouz, les Chaabet Ben Lahtem puis Benghanem, et l'oued N'Tissa et en rive gauche les Chaabat Inireze, puis Azouil et Laït M'zaï [22].

➤ **Les eaux de la nappe Albienne**

Dans la région d'étude, la nappe du Continental Intercalaire draine, d'une façon générale, les formations gréseuses et grès-argileuses du Barrémien et de l'Albien. Elle est exploitée, selon la région, à une profondeur allant de 250 à 1000 m. L'alimentation de la nappe bien qu'elle soit minime, provient directement des eaux de pluie au piémont de l'Atlas Saharien en faveur de l'accident Sud-Atlasique, selon l'altitude de la zone et la variation de l'épaisseur des formations postérieures de Continental Intercalaire, la nappe du CI est jaillissante et admet des pressions en tête d'ouvrage de captage et elle est exploitée par pompage à des profondeurs importantes, dépassant parfois les 120 m [8].

1.5.2 Piézométrie de la nappe phréatique

Afin de déterminer le sens d'écoulement de la nappe phréatique, une campagne de mesure piézométrique s'est effectuée en Avril 2008 par l'ANRH au niveau de la vallée du M'Zab de l'amont vers l'aval, à partir de la région de Bouchène qui constitue la zone de confluence de l'oued Touzouz avec l'oued M'Zab jusqu'à la région d'El-Atteuf.

La carte de niveau piézométrique de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab (figure 6) montre un écoulement général des eaux du Nord-Ouest vers le Sud-Est le long du lit de l'oued. Il est identique aux écoulements de surface. D'une piézométrie de 500 m à Bouchen en amont, elle s'abaisse progressivement vers le Sud-Est pour atteindre la cote 430 m en aval au niveau d'El Atteuf, ce qui représente une pente d'environ 2,5 m/Km [23].

1.6 OCCUPATION DES SOLS DU BASSIN DU M'ZAB

L'occupation du sol montre que la majorité des activités sont concentrées au niveau de la vallée de M'Zab (figure 7). La concentration des oasis est localisée en amont et en aval de l'oued M'Zab, et au niveau des deux principaux affluents : oued Azouil et oued N'tissa. Les zones mixtes sont localisées le long du bassin et plus particulièrement au niveau des lits mineurs. Les zones urbaines sont localisées au niveau des vieux Ksars et s'étendent vers les oasis [24].

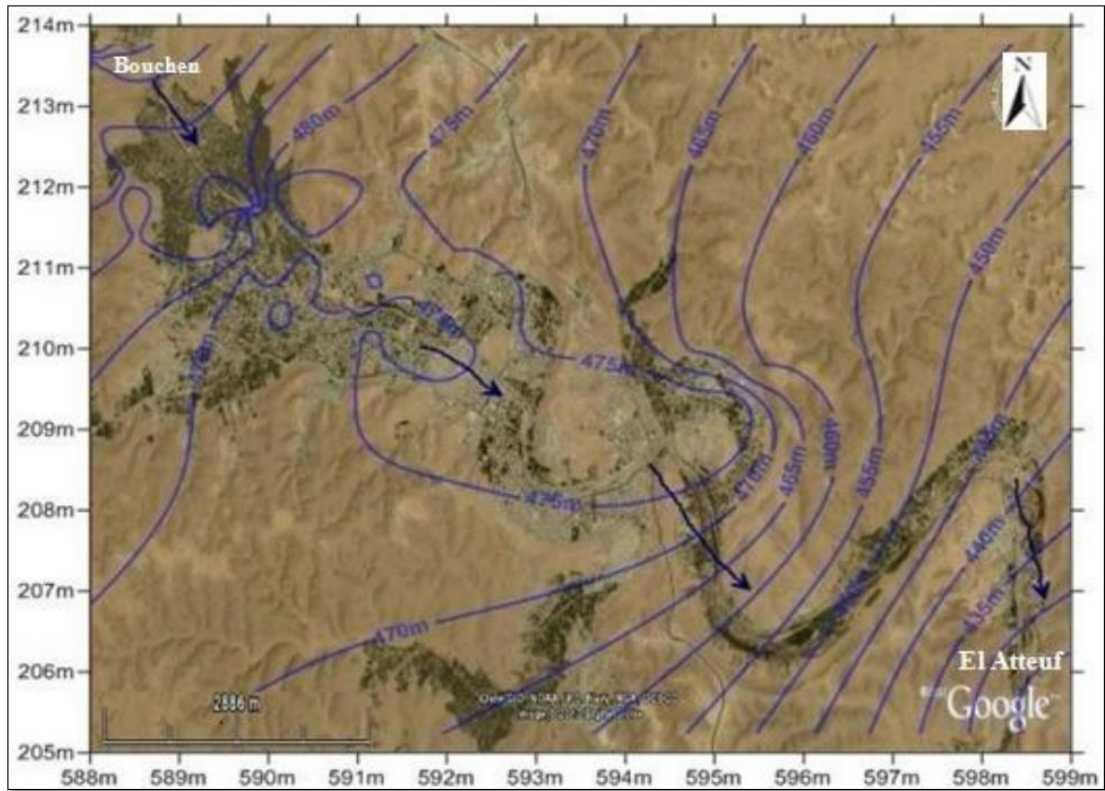


Figure 6: Carte piézométrique de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab [23].

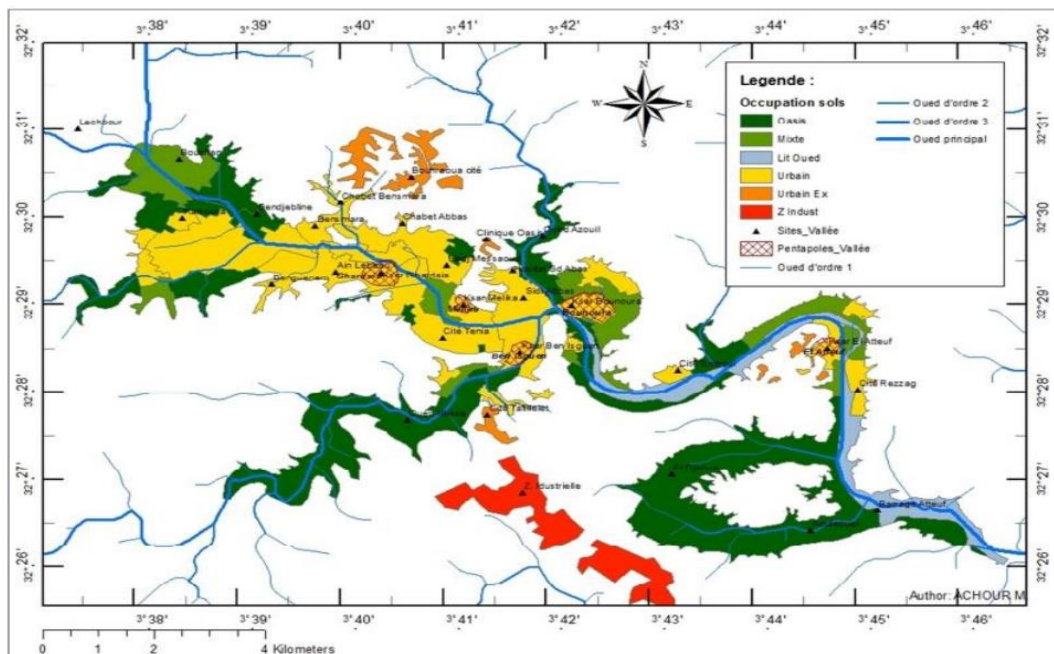


Figure 7: Carte d'occupation des sols du bassin du M'Zab [5].

1.7 CADRE CLIMATIQUE

La région du M'Zab est située dans le Sahara Septentrional et elle est soumise à un climat typiquement Saharien.

L'étude climatique a pour objectif de caractériser les différents paramètres climatiques tels que la précipitation, la température, l'humidité, le vent, et l'évaporation.

Les données sont fournies sur une durée de dix ans de 2011 à 2020 par la station météorologique de Ghardaïa.

1.7.1 Les précipitations

Comme dans le reste de l'ensemble saharien, le facteur dominant est ici la rareté des pluies. De plus, ces pluies se produisent le plus souvent sous la forme d'orages de printemps et d'automne, rarement comme des précipitations régulières et fines [18].

La hauteur moyenne maximum des précipitations pour la période de 10 ans (2011 - 2020) est enregistrée à l'année 2011 (148,8 mm / an) ;

La hauteur moyenne minimum des précipitations pour la période de 10 ans (2011 - 2020) est enregistrée à l'année 2016 (17,5 mm / an) ;

Les précipitations moyennes mensuelles de la période de 10 ans oscillent entre 0,1mm et 10,3mm ;

Les précipitations moyennes inférieures à 5 mm sont enregistrées au mois de janvier, février, juin, juillet, août, octobre, novembre, décembre ;

Les précipitations moyennes supérieures à 5 mm sont enregistrées au mois de mars, avril, mai, septembre.

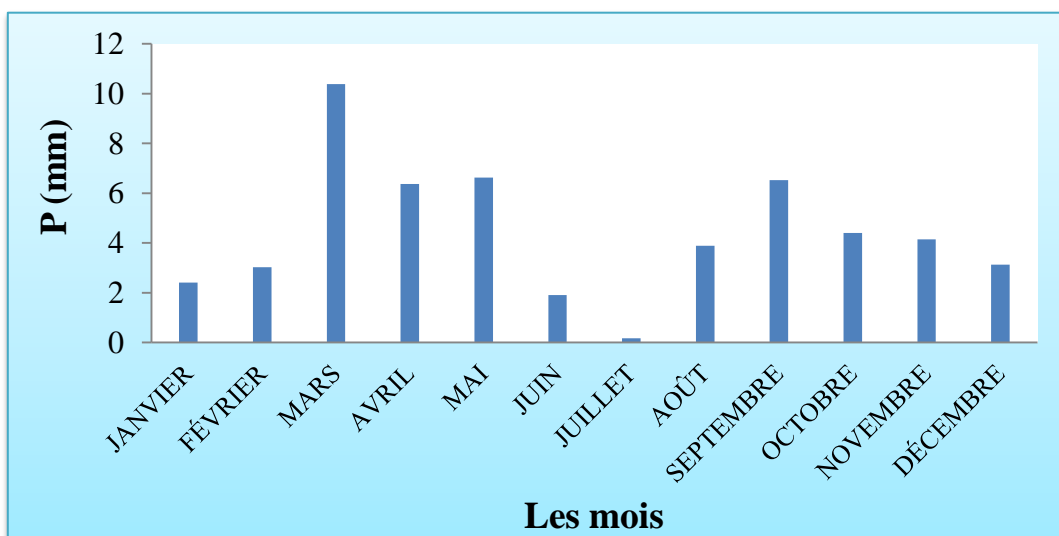


Figure 8: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (Période : 2011-2020).

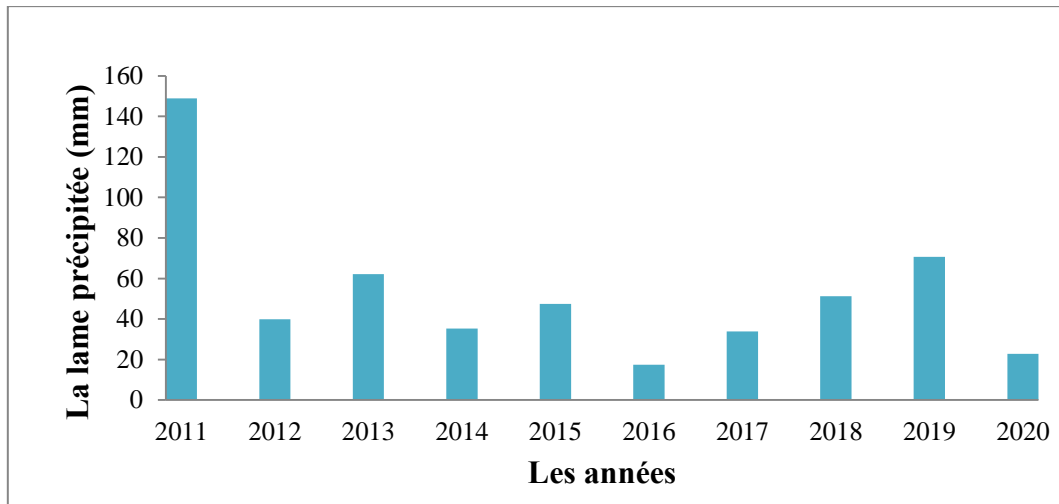


Figure 9: Les variations interannuelles des précipitations.

1.7.2 Le vent

En été, les vents dominants viennent du Sud-Est, sont chauds et fortes. En hiver, les vents sont froids et relativement humides et ils viennent du Nord-Ouest.

Les vents des mois de mars et mai entraînent des grosses tempêtes de sables et des écarts importants de température [7].

1.7.3 La température

D'après la figure 10, on observe que :

Les températures moyennes les plus élevées sont enregistrées au cours du mois de juin, juillet et août, avec maximum est de 33,7°C au mois de juillet ;

Les températures moyennes les plus basses sont enregistrées au cours du mois de décembre, janvier et février, avec un minimum de 14,3°C au mois de janvier.

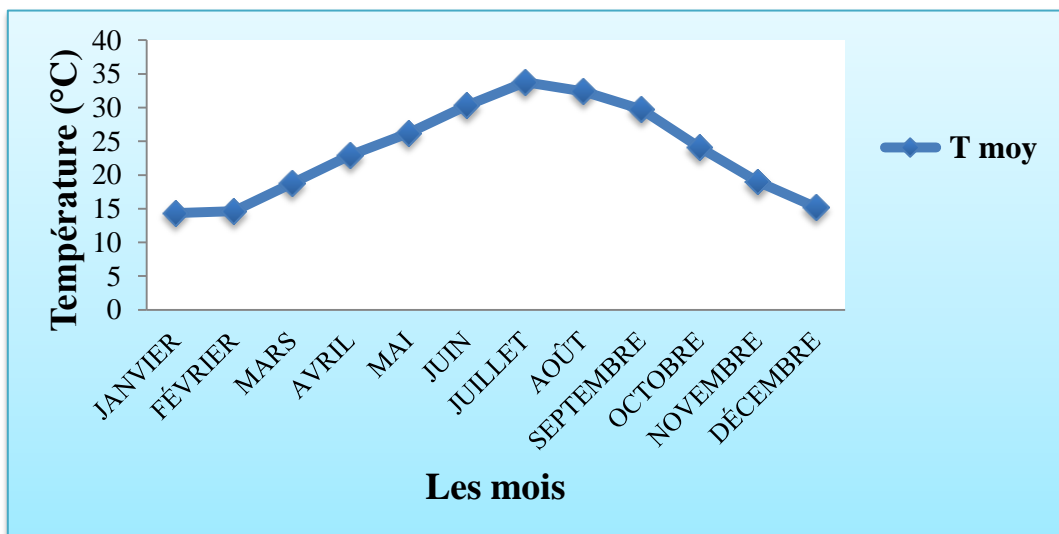


Figure 10: Les températures moyennes mensuelles.

1.7.4 L'humidité

D'après la figure 11, on remarque que :

L'humidité oscille entre 18,7 % et 52,4 %. L'humidité est très faible, Elle n'est supérieure à 50% que pour les mois de décembre et elle ne dépasse pas 30 % pour les mois de mai, juin, juillet et août (période de sécheresse).

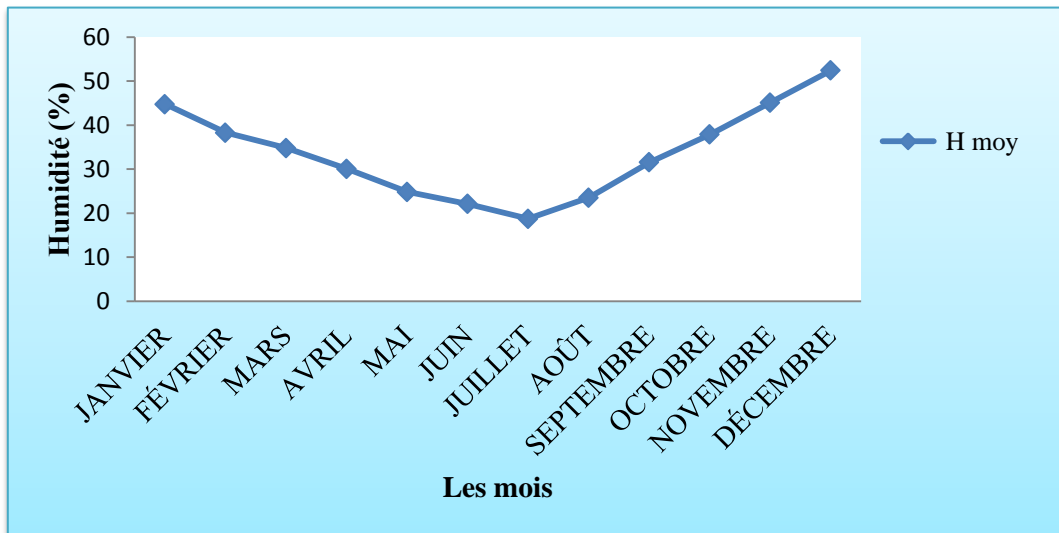


Figure 11: Humidité moyenne mensuelle.

1.7.5 L'évaporation

Dans la région de Ghardaïa, La quantité d'eau évaporée est influencée par le degré de température, les vents et les précipitations, elle augmente quand ceux-ci augmentent et vice versa.

L'évaporation annuelle est de l'ordre 3110 mm au niveau de la station de Ghardaïa ,dont les valeurs élevés d'évaporations sont enregistrées pendant les mois de juin, juillet et aout, avec un maximum de 452,4 mm pour la période de 2000 à 2010 pour le mois de juillet. Ainsi, les valeurs les moins élevé sont enregistrées au cours de mois de janvier [25].

1.7.6 Les diagrammes climatiques

1.7.6.1 Diagramme pluvio-thermiques

Un diagramme pluvio-thermique est une représentation graphique des températures et des précipitations moyennes mensuelles pour une station donnée, permet de mettre en évidence les périodes sèches et humides de l'année. Il comporte un axe horizontal où sont placés les 12 mois de l'année et deux axes verticaux, un à gauche

pour les précipitations et à droite pour les températures, selon des graduations standardisées : une graduation de l'échelle des précipitations correspond à deux graduations de l'échelle des températures ($P = 2T$) [26].

Le diagramme ombrothermique (figure 12) montre que :

- La saison sèche s'étale la totalité de l'année ;
- La courbe de pluie demeure largement au dessus de celle de la température.

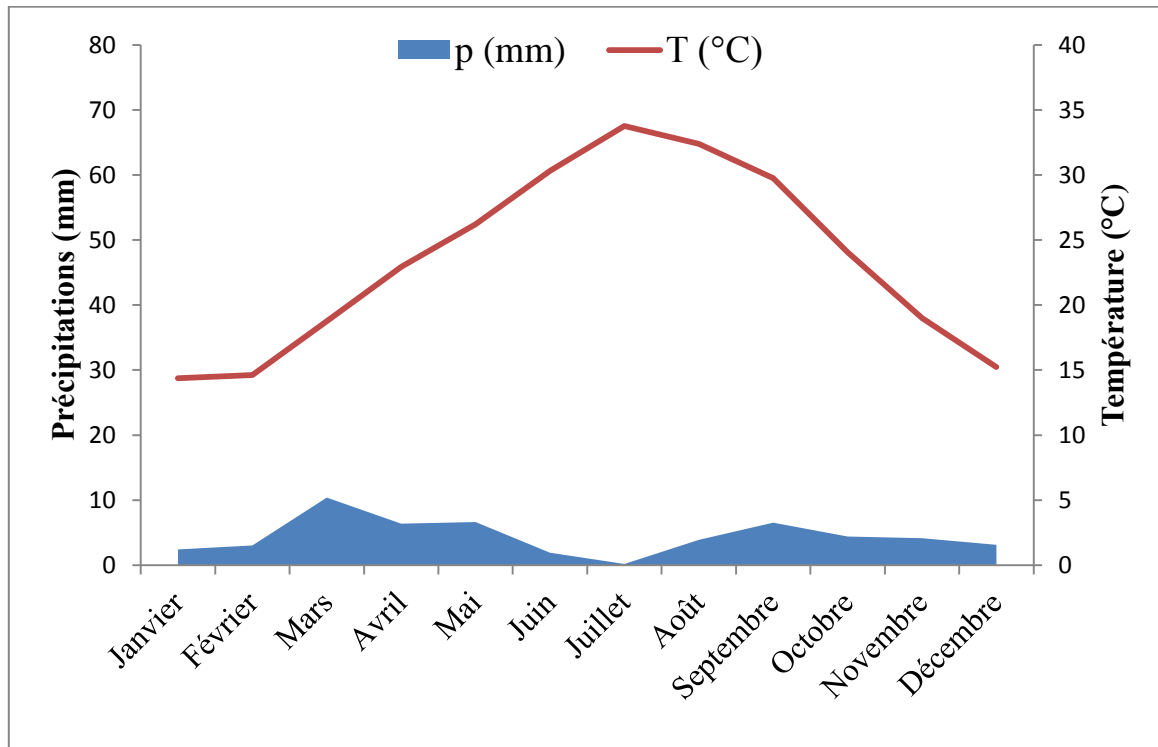


Figure 12: Diagramme ombrothermique de Gausson de la vallée du M'Zab. (Période : 2011-2020).

1.7.7 Le diagramme d'Emberger

1.7.7.1 Quotient pluviothermique et climagramme d'Emberger

Le quotient pluviothermique (Q_e) : établi par Emberger (1952, 1955), il permet de classer et de caractériser le climat méditerranéen, et est fréquemment utilisé en Afrique du nord. En fait, le climagramme d'Emberger présente des limites de séparation entre les différents étages bioclimatiques, ces limites ont été tracées là où le changement de la végétation a été observé [27].

L'indice bioclimatique d'Emberger prend en compte les précipitations annuelles, la moyenne des Maxima de température du mois le plus chaud (M en °C) et la moyenne des minima de température du mois le plus froid (m en °C) [28, 29].

Cet indice est donné par la formule [30, 31]:

$$Q_e = \frac{1000.P}{(M+m/2)(M-m)} \quad (1)$$

Où :

Q_e : quotient pluviothermique d'Emberger.

P : Moyenne des précipitations annuelles en mm.

M : Moyenne des Maxima du mois le plus chaud en °K.

m : Moyenne des minima du mois le plus froid en °K.

En Algérie, Stewart (1969, 1975) a montré que le quotient pluviothermique Q_3 après simplification du Q_2 d'Emberger, peut s'écrire [32, 31]:

$$Q_3 = \frac{3,43.P}{M-m} \quad (2)$$

Avec: M et m en °C.

Le quotient Q_3 des données climatiques obtenues durant la période de 2011 à 2020 de la région de Ghardaïa est égal à 6,63.

La valeur Q_3 reportée sur le climagramme d'Emberger montre que la région d'étude se situe dans l'étage bioclimatique saharien à hiver chaud (figure 13).

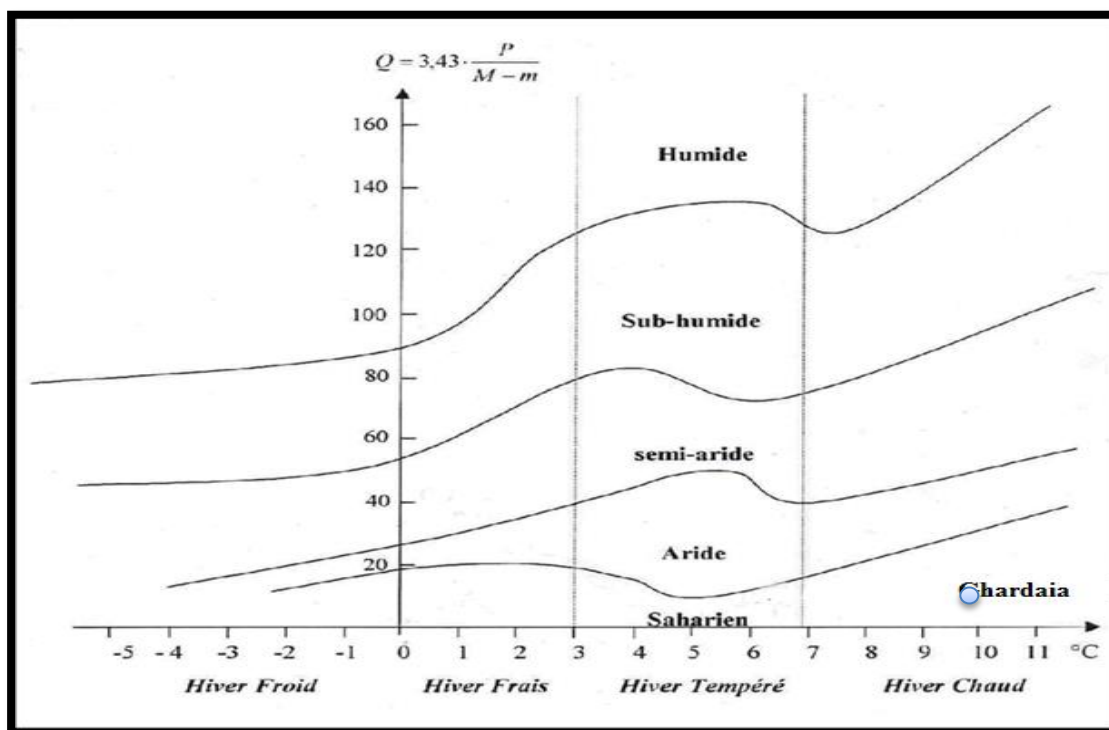


Figure 13: Etage bioclimatique de la région de Ghardaïa selon le climagramme d'Emberger.

1.8 CONCLUSION

La région d'étude est située sur les bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Sahara, sur un grand plateau sub-horizontal calcaire d'âge Turonien communément appelé « la dorsale du M'Zab ».

Les ressources en eaux de la région du M'Zab sont essentiellement souterraines, qui ont pour l'origine de deux types d'aquifères: l'aquifère superficiel d'alluvionnaire quaternaire, et l'aquifère profond ; Continental Intercalaire.

Le climat de la région d'oued M'Zab est typiquement saharien, caractérisé par la rareté des pluies, dont les précipitations moyennes mensuelles oscillent entre 0,1mm et 10,3mm. Les températures moyennes les plus élevées sont enregistrées au cours du mois de de juin, juillet et août, et les plus basses sont enregistrés au cours du mois de décembre, janvier et février. D'autre, l'humidité est très faible, elle ne dépasse pas 60 %.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] A.N.D.I. Rapport Agence Nationale de Développement de l'Investissement, Ghardaïa, Algérie. 2015.
- [2] D.P.A.T. Rapport Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire, Ghardaïa, Algérie. 2008.
- [3] A.N.R.H. Rapport Agence Nationale des ressources Hydrauliques, Direction régionale Sud Ouargla. 2003.
- [4] Korichi R. Contribution à la caractérisation du peuplement de Mantodea de quelques milieux sahariens (Sahara septentrional est-algérien). Thèse doctorat. Université d'Ouargla. 2019.
- [5] Achour M. Vulnérabilité et protection des eaux souterraines en zone aride : Cas de la vallée du M'Zab (Ghardai-Algérie). Mémoire de magister. Université d'Oran. 2014.
- [6] Cherifi B. Etudes d'anthropologie historique et culturelle sur le M'Zab. Thèse doctorat. Université Paris-VIII Vincenne-Saint –Denis. 2003.
- [7] Abonneau J. Prehistoire du M'Zab (Algerie–wilaya de Laghouat). Thèse doctorat. Université de Paris I. 1983.
- [8] A.N.R.H. Inventaire des forages d'eau et enquête sur les débits extraits de la wilaya de Ghardaïa, Direction régionale Sud Ouargla. 2011.
- [9] Charles A. Le M'Zab et les M'Zabites. Paris. 1888.
- [10] Ould Baba SY, M. . Recharge et paléorecharge du système aquifère du Sahara Septentrional. Thèse doctorat. Université de Tunis El Manar. 2005.
- [11] Kouzrit D. L'eau et l'espace agraire dans la vallée du M'Zab : cas de la palmeraie de Ghardaïa. Thèse magister. Université d'Ouargla. 2016.
- [12] Yamani K., Hazzab A., Sekkoum M., Slimane T. Mapping of vulnerability of flooded area in arid region. Case study: area of Ghardaïa-Algeria. Modeling earth systems and environment. Volume 2, Numéro 147. 2016.
- [13] Achour M., Ouaisi Sekout B. Etude hydrogéologique de la nappe phréatique de la vallée Metlili (Ghardaïa). Rapport ANRH. 2003.
- [14] Kebili M., Bouselsal B., Gouaidia L. Etude hydrogéologique de l'aquifère de continental intercalaire (CI) dans la région de Ghardaïa (Sud Algérie). Séminaire International sur l'Hydrogéologie et l'Environnement. Ouargla. 2019.
- [15] A.N.R.H. Rapport Agence Nationale des ressources Hydrauliques, Ghardaïa, Algérie 12 P. 2012.

- [16] A.N.R.H. Inventaire des forages et enquête sur les débits extraits de la nappe albienne dans la Wilaya de Ghardaïa. DRS. Ouargla. 2011.
- [17] Benabderrahmane H., Baba Amer Z. Water wells quality assessment using water quality index for the purposes of drinking of M'Zab wadi region. Journal of fundamental and applied sciences. Volume 13, Numéro 1. 2021.
- [18] A.N.R.H. Rapport de fin du sondage, Rapport de Shaolin, Ghardaïa, 63P. 2009.
- [19] Projet delta. Développement des systèmes culturels territoriaux aux délégations Algériennes. Plan d'action, Cas de Ghardaïa.
- [20] Benhedid H., Daddi Bouhoun M., F Benbrahim F., Chaabna A., et Djidel M. Risque de salinisation et d'alcalinisation des sols par les eaux d'irrigation de l'aquifère superficiel à oued M'Zab (Algérie). Volume 10, Numéro 2. Revue Agriculture. 2019.
- [21] Mihoub R. Essais d'interprétation des anomalies hydrogéothermales de la région de Ghardaïa, Algérie. Thèse doctorat. Université des Frères Mentouri Constantine 1. 2017.
- [22] Boulaghmen F., Benouar D. Etude Globale Pluridisciplinaire de la Stratégie de Gestion des Risques d'Inondation dans le Sud de l'Algérie: Le cas de Ghardaïa, le 1^{er} Octobre 2008 "Avant -Pendant-Après". Algerian Journal of Environmental Science and Technology December Edition. Volume 5, Numéro 3. 2019.
- [23] Bensaha H., Bensaha L., Achour M. 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 ?. Université de Provence, France. 2011.
- [24] Oulad Naoui N. Contribution à l'étude hydrologique du bassin versant de l'oued M'ZAB (Sud- Est de l'Algérie). Thèse doctorat. Université Amar Telidji - Laghouat. 2018.
- [25] P.D.A.U. Rapport Plan directeur d'Amenagement Urbain, APC de Ghardaïa. 2014.
- [26] Chebbah L., Kabour A. Impact de la retenue d'un barrage sur le régime climatique local : cas de Beni Haroun (Est algérien). Larhyss journal. Numéro 33. 2018.
- [27] Rouabhi A. Implications des changements climatiques dans l'agriculture et le développement durable : Cas des hautes plaines sétifiennes. Thèse doctorat. Université Ferhat Abbas Sétif 1. 2013.
- [28] Mhirit O. Le grand livre de la forêt marocaine. Mardaga. 1999.
- [29] Claude C. Interprétation hydrique de la notion d'étage de végétation selon L. Emberger : application au Maroc (Meteoric water and Emberger's vegetation levels in Morocco). Bulletin de l'Association de Géographes Français. 1979.

[30] Mokhtari N., Mrabet R., Lebailly P., Bock L. Spatialisation des bioclimats, de l'aridité et des étages de végétation du Maroc. Revue Marocaine des sciences agronomiques et vétérinaires. Volume 2, N°muro 1. 2014.

[31] Kaabeche M. Les relations climat-végétation dans le bassin du Hodna (Algérie). Acta Botanica Gallica. 1996.

[32] Meddour R. Bioclimatologie, phytogéographie et phytosociologie en Algérie : Exemple des groupements forestiers et préforestiers de la Kabylie Djurdjurenne. Thèse doctorat. Université de Mouloud Mammeri Tizi Ouzou. 2010.

CHAPITRE 2 Etude bibliographique

2.1 INTRODUCTION

Les ressources en eau représentent l'un des besoins les plus essentiels à la vie et l'une des principales richesses sur lesquelles repose toute action de développement économique et social. La Terre possède d'importantes ressources en eau, sous de nombreuses formes et qualités, dans divers stocks et flux du cycle hydrologique. Globalement, la planète possède un stock d'environ 1,4 milliard de kilomètres cubes d'eau, dont la grande majorité (près de 97 %) est de l'eau salée dans les océans. Les stocks d'eau douce les plus limités du monde sont estimés à environ 35 millions de kilomètres cubes [1].

La qualité de l'eau se détériore en raison de divers facteurs tels que la pollution industrielle et agricole des lacs et des rivières, le gaspillage de l'eau, la pollution des eaux souterraines,

La pollution des eaux souterraines constitue un risque permanent de limitation des ressources en eaux. Donc, la protection et la préservation de ces ressources sont une nécessité de premier ordre.

L'adsorption sur charbon actif est un procédé pour retenir divers contaminants chimiques dans l'eau. Ce phénomène est très utilisé dans les usines de production d'eau potable.

Ce chapitre s'articule sur l'étude bibliographique, qui porte des généralités sur les eaux, un aperçu sur le phénomène d'adsorption sur charbon actif, et enfin une notion générale sur la pollution des eaux par les matières phosphatées.

2.2 GENERALITES SUR LES EAUX

2.2.1 Connaissances sur l'eau

L'eau est un corps incolore, inodore, et insipide, sa formule chimique est H_2O [2]. Henry Cavendish a réalisé sa synthèse par l'inflammation explosive de l'hydrogène dans l'air en 1781. Cependant les résultats de ses expériences ne furent clairement interprétés qu'après l'année 1783 lorsque Meusnier et Antoine Lavoisier affirment que l'eau n'est pas un élément de formule H_2O mais plutôt un corps composé d'hydrogène et d'oxygène. Joseph Louis Gay Lussac et Alexander Von Humboldt en 1805 ont montré, en réalisant la synthèse eudiométrique de l'eau, qu'il est composé d'un volume d'oxygène et de deux volumes d'hydrogène [3].

2.2.2 Formes de l'eau sur terre

L'eau recouvre 72 % de la surface de la terre, sous différentes formes :

- Liquide, dans les océans, les fleuves, les lacs, les rivières.....
- Gazeuse, sous forme de vapeur d'eau dans l'air.
- Solide, sous forme de glace dans les glaciers, dans la banquise, les icebergs.....

La circulation de l'eau au sein des différents compartiments terrestres est décrite par le cycle de l'eau [4].

2.2.3 Cycle de l'eau

L'eau est le vecteur principal du déplacement de tous les éléments minéraux ou organiques. Le cycle de l'eau est un facteur essentiel pour que l'eau puisse rester une ressource disponible pour les êtres vivants.

Ce dernier peut être considérablement affecté lorsque nous polluons l'approvisionnement en eau de surface ou souterraine

De l'océan à la terre, le cycle de l'eau est principalement lié à l'évaporation, celle-ci générant de la vapeur d'eau qui est transportés sur les continents sous forme de pluie. Cette étape présente l'originalité de ne déplacer que l'eau dans l'atmosphère .En effet, lors de l'évaporation la quasi-totalité des minéraux reste dans l'océan. Ceci conduit à une concentration des éléments minéraux dans l'eau de mer.

L'eau retourne à l'océan en suivant deux voies : les eaux de surface ou les eaux souterraines [5].

2.2.4 Classement de l'eau

Selon sa source, l'eau peut être divisée en eau souterraine et eau de surface. Les deux types d'eau peuvent être exposés à des risques de contamination provenant d'activités agricoles, industrielles et domestiques, qui peuvent inclure de nombreux types de polluants tels que les métaux lourds, les pesticides, les engrais, les produits chimiques dangereux et les huiles [6].

2.2.4.1 Eaux de surfaces

Les eaux de surfaces englobent toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents. Elles ont pour origine, soit des nappes souterraines dont l'émergence constitue une

source, soit les eaux de ruissellement. Ces eaux se rassemblent en cours d'eau, caractérisés par une vitesse de circulation appréciable.

Les eaux de surfaces peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (lacs) ou artificielles comme les retenues de barrages où peut apparaître une grande hétérogénéité de la qualité selon la profondeur [7].

2.2.4.2 Eaux souterraines

L'eau qui se trouve sous le niveau du sol et qui remplit soit les fractures du socle rocheux, soit les pores présents dans les milieux granulaires tels les sables et les graviers. L'eau souterraine circule en profondeur dans les formations géologiques qui constituent l'espace souterrain.

L'eau souterraine provenant des précipitations s'infiltrate dans le sol, circule verticalement jusqu'à la zone de saturation (nappe phréatique) et se déplace vers la zone naturelle de résurgence (les cours d'eau) située en aval [8].

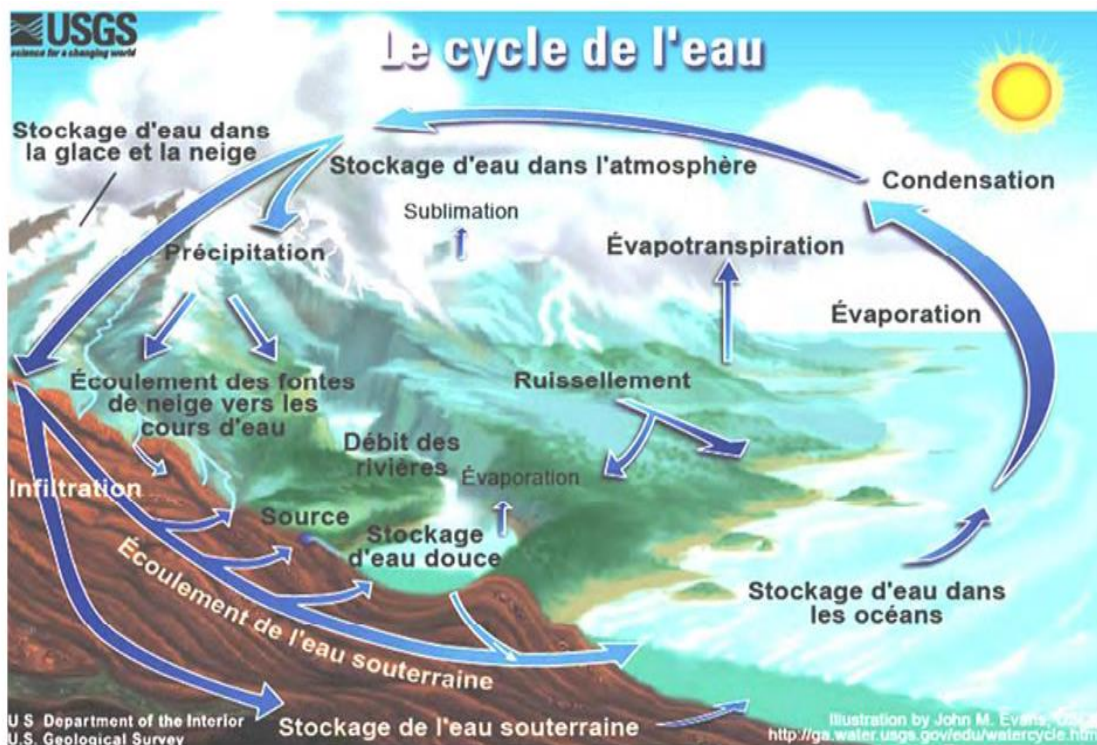


Figure 14: Cycle de l'eau.

2.2.4.3 Qualité des eaux souterraines

Au fur et à mesure que les ans s'écoulent, la population s'accroît en s'accéléran, augmente de plus en plus ses besoins unitaires en eau, pour elle-même et pour toutes ses

activités, agriculture, industrie, etc. Elle distrait de l'hydrosphère des quantités de plus en plus croissantes d'eau dont une grande partie, ce qui est pire, a pour fonction d'entraîner les déchets de ses productions [9].

Les modifications de la qualité des eaux souterraines sont causées directement ou indirectement par diverses activités de l'homme. Les influences directes émanent de substances naturelles ou artificielles qui sont introduites par l'homme dans le cycle géochimique de la terre et atteignent finalement la zone des eaux souterraines. Les influences indirectes doivent être considérées comme les changements de qualité qui se produisent sans addition de substances par l'homme dans les processus hydrologiques, physiques et biochimiques. Des transitions se produisent entre les influences directes et indirectes, par ex. lorsqu'elle est rechargée artificiellement et filtrée sur les berges, l'eau de rivière contenant des constituants nocifs se mélange aux eaux souterraines [10].

La préservation et la sauvegarde de cette ressource est donc une nécessité (sur le plan qualitatif et quantitatif) qui concerne à la fois ses usages et sa valeur environnementale [11].

2.2.4.4 Pollution des eaux souterraines

La pollution est une modification des propriétés physico-chimiques et biologiques de l'eau, limitant ou empêchant son utilisation dans les diverses applications où elle joue normalement un rôle [12].

La pollution des eaux est une notion qui est en constante évolution. Elle constitue aujourd'hui une véritable menace pour l'environnement et bien sûr pour la santé humaine [13].

La pollution des eaux superficielles est très perceptible, attire de suite l'attention sur les dangers et les mesures à prendre pour la combattre. Par contre la pollution des eaux souterraines est moins apparente, de telle sorte que la tendance générale est de la négliger. Mais elle n'en est pas moins dangereuse, car elle atteint les ressources les plus précieuses par leur qualité et la nature de leurs réserves [9].

2.2.5 Ressources en eau en Algérie

L'Algérie compte 17 bassins-versants. Les ressources en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables [14].

En Algérie, et pour ce qui concerne le découpage hydrographique, le territoire a été divisé en 1996 en cinq régions hydrographiques (figure 15) :

- 1 : Oranie Chott-Chergui,

- 2 : Chellif- Zahrez,
- 3 : Algerois- Hodna- Soummam,
- 4 : Constantinois- Seybouse –Mellegue,
- 5 : Sahara

Les ressources en eau, menacées par les activités humaines, industrielles et agricoles, et par le réchauffement climatique, qui sont devenues un enjeu majeur, auquel l'État Algérien attache aujourd'hui une très grande importance. Toutefois, il faut admettre que les ressources en eau en Algérie sont limitées, vulnérables et inégalement réparties [15].

En Algérie, Les disponibilités en eau sont estimées à 17 milliards de m³ par an dont 12 milliards de m³ dans les régions Nord (ressources souterraines 2 milliards de m³, ressources superficielles 10 milliards de m³) et 5 milliards de m³ dans le Sud. Sachant que toutes les ressources souterraines du Nord sont mobilisées en plus de 70% des ressources superficielles [16].



Figure 15: Découpage de l'Algérie en bassins hydrographiques. Échelle 1/12 000 000.

2.2.6 Ressources en eau dans le Sahara Algérien

Au Sahara, les ressources en eaux de surfaces sont localisées dans l'Atlas saharien, et dans les régions de Hoggar et Tassili.

De plus, les crues sont rares et proviennent du grands Atlas marocain et du versant des Aurès.

Les ressources en eau souterraine constituée par les eaux renouvelables localisées dans les inféro-flux du versant Sud des Aurès, le Hoggar et Tassili à l'Est et la région de Bechar et Tindouf à l'Ouest .Ainsi, les eaux non renouvelables représentées par deux grands réservoirs des deux bassins sédimentaires, le complexe Terminal et le continental Intercalaire [17].

2.2.7 Potabilité de l'eau

L'eau est un élément essentiel à la vie sur cette planète. Chez les humains, chaque individu consomme environ 150 litre d'eau par jour. Il est alors évident que les qualités physiques, chimiques et microbiologiques de l'eau de consommation peuvent affecter la santé [18].

La potabilité de l'eau et la qualité chimique des eaux sont en fonction de la teneur des différents éléments chimiques et biologiques. Avant tout traitement de potabilisation, la ressource en eau doit satisfaire à un certain nombre d'exigences pour être utilisée en vue de produire de l'eau destinée à la consommation humaine.

La qualité de l'eau brute conditionne fortement le choix de la filière de traitement de l'eau. On considère une eau potable quand elle ne présente pas de risques pour la santé humaine [19].

2.3 GENERALITE SUR LE PHENOMENE D'ADSORPTION

2.3.1 Phénomène d'adsorption

L'adsorption est une interaction entre une molécule (adsorbat) et la surface d'un solide (adsorbant). C'est donc un processus qui se produit à l'interface solide/gaz et ou liquide, conduisant à un changement de phase du soluté ou à la transformation d'une surface solide.

L'adsorption implique des phénomènes de diffusion et d'interactions entre la surface de l'adsorbant et les molécules adsorbables. Elle sera favorisée sur des matériaux ayant d'importante surface spécifique et une forte densité de groupements fonctionnels en surface. Il existe deux modes d'adsorption, la physisorption et la chimisorption.

La physisorption résulte d'une interaction physique électrostatique entre l'adsorbat et l'adsorbant. Les liaisons molécule-surface sont de type « Van der Waals » de faible énergie, en général entre 40 kJ/mol et 100 kJ/mol.

La chimisorption résulte de l'établissement d'une liaison chimique entre l'adsorbat et l'adsorbant dont l'énergie de liaison est supérieure à 40 kJ/mol. Il y a formation de liaison de type covalente via les sites spécifiques de la surface [20].

2.3.2 Mécanisme d'adsorption

Le phénomène d'adsorption se décompose en plusieurs étapes [21]. La figure suivante (figure16) représente un matériau (adsorbant) avec les différentes étapes dans lesquels peuvent se trouver les molécules organiques ou inorganiques qui sont susceptibles de rentrer en interaction avec le solide.

Le soluté va passer par plusieurs étapes :

- 1- Transfert de l'adsorbat du cœur de la phase liquide vers le film lié à l'adsorbant solide par diffusion ;
- 2- Transfert diffusionnel de l'adsorbat à travers le film liquide vers la surface externe de l'adsorbant [22] ;
- 3- Transfert de la matière dans la structure poreuse de la surface extérieure des grains vers les sites actifs (Transfert intragranulaire de la matière) ;
- 4- Réaction d'adsorption au contact des sites actifs, une fois adsorbée, la molécule est considérée comme immobile [23].

2.3.3 Cinétiques d'adsorption

La cinétique d'adsorption permet de déterminer le temps nécessaire à la mise en équilibre entre le soluté et l'adsorbant [24] et de mettre en place le mécanisme de la réaction, une connaissance des équations de vitesse pour expliquer le système réactionnel est nécessaire [25].

La cinétique dépend des affinités entre l'adsorbant et l'adsorbat, des conditions opératoires et leurs propriétés. La cinétique est limitée par les mécanismes de transport de matière, et elle se fait en plusieurs étapes successives à savoir la convection, la diffusion interne et la diffusion externe [26].

Plusieurs modèles cinétiques sont développés dans la littérature, les plus utilisés sont décrits par les modèles de pseudo-premier ordre et de pseudo-second ordre [27].

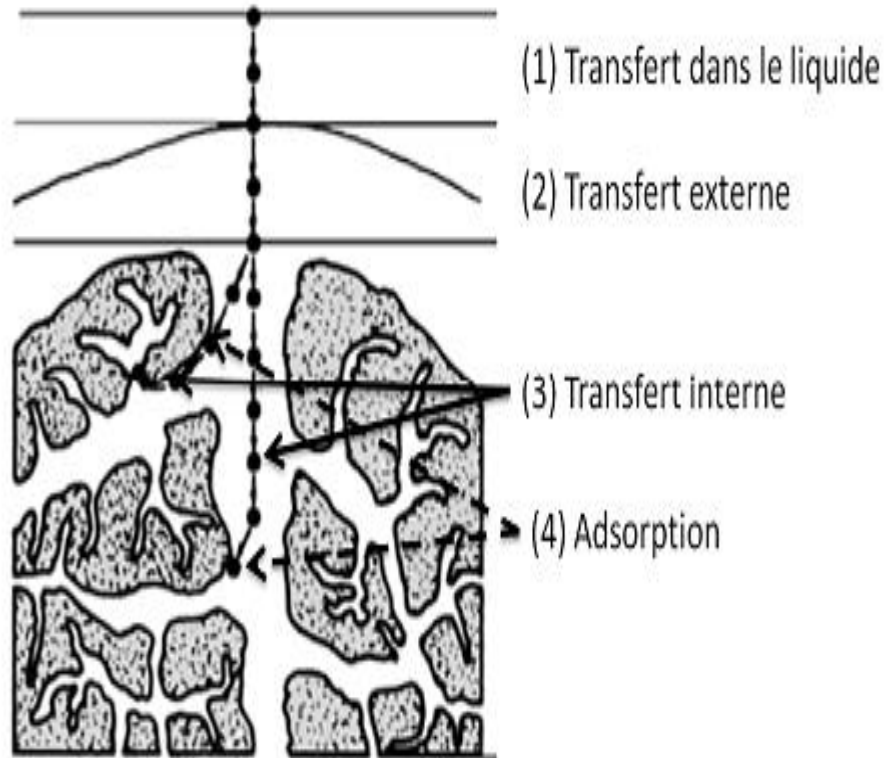


Figure 16: Domaines d'existence d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau microporeux.

2.3.3.1 Modèle cinétique du pseudo premier ordre

Ce modèle cinétique a été proposé par Lagergren et suppose que la vitesse d'adsorption à un instant t est proportionnelle à la différence entre la quantité adsorbée à l'équilibre et celle à l'instant t [25].

$$\frac{dq_t}{dt} = K_1(q_e - q_t) \quad (3)$$

q_t : Quantité adsorbée à un temps t en (mg/g)

q_e : Quantité adsorbée à l'équilibre en (mg/g)

k_1 : Constante de vitesse de premier ordre (min^{-1})

Après intégration et l'application des conditions aux limites ($t=0, q_t=0$) et ($t=t, q=q_t$), l'équation devient :

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{K_1 \cdot t}{2,303} \quad (4)$$

2.3.3.2 Modèle cinétique du pseudo second ordre

L'équation du pseudo second ordre est souvent utilisée avec succès pour décrire la cinétique de la réaction de fixation des polluants sur l'adsorbant. Ce modèle du pseudo second ordre permet de caractériser les cinétiques d'adsorption en prenant en compte à la fois le cas d'une fixation rapide des solutés sur les sites les plus réactifs et celui d'une fixation lente sur les sites d'énergie faible [25].

$$\frac{dq_t}{dt} = K_2 (q_e - q_t)^2 \quad (5)$$

q_t : Quantité adsorbée à un temps t en (mg/g).

q_e : Quantité adsorbée à l'équilibre en (mg/g).

k_2 : Constante de vitesse du pseudo-second ordre en ($\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$).

L'intégration de l'équation 5 donne :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 \cdot q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (6)$$

2.3.4 Facteurs influençant le phénomène d'adsorption

Le phénomène d'adsorption est influencé par les paramètres suivants :

➤ Natures de l'adsorbant

L'adsorption d'une substance donnée croît avec la diminution de la taille des particules de l'adsorbant, ce qui permet aux composés de la solution de pénétrer dans les capillaires de la substance, donc la subdivision de la particule du solide influe directement sur les pores de ce dernier ainsi que sur sa surface spécifique qui va être développée [28].

➤ Natures de l'adsorbat

Pour qu'il y'ait une bonne adsorption il faut qu'il y'ait d'abord une affinité entre le solide et le soluté [28].

Les solides polaires adsorbent préférentiellement les corps polaires, et les solides apolaires adsorbent les corps apolaires. L'affinité pour les substrats croît avec la masse moléculaire de l'adsorbat. L'adsorption est plus intense pour les corps qui ont relativement plus d'affinité pour le soluté que pour le solvant [29].

➤ Influence du pH

Le pH est un paramètre prédominant dans le processus d'adsorption. Il affecte directement l'état de charge de l'adsorbant et de l'adsorbat. Son effet sur la rétention des contaminants est souvent étudié. Dans la plupart des cas, le pH faible favorise l'adsorption des anions alors que le milieu alcalin favorise celle des cations [24].

➤ Influence de la température

L'adsorption est un processus global résultant de plusieurs processus à l'interface solide-liquide. Elle peut être exothermique, endothermique ou athermique. Elle est donc conditionnée par la température. Ainsi, l'augmentation de la température favorise les processus de chimisorption alors que son abaissement favorise l'adsorption physique [30].

2.4 ADSORBANT

2.4.1 Définition des grignons d'olives

Ce sont des résidus solides obtenus après extraction de l'huile d'olive [31]. Cette extraction est réalisée de deux façons : par pression ou par centrifugation. Les grignons provenant d'une huilerie équipée de presses hydrauliques contiennent environ 28% d'humidité et 7 à 10 % d'huile résiduelle [32].

Il renferme la plus grande partie de la matière sèche de l'olive, constituée essentiellement de l'épicarpe du fruit (pellicule), le mésocarpe (pulpe ou chair de l'olive) et l'endocarpe (coque et amandon de noyau) (figure 17) [33].

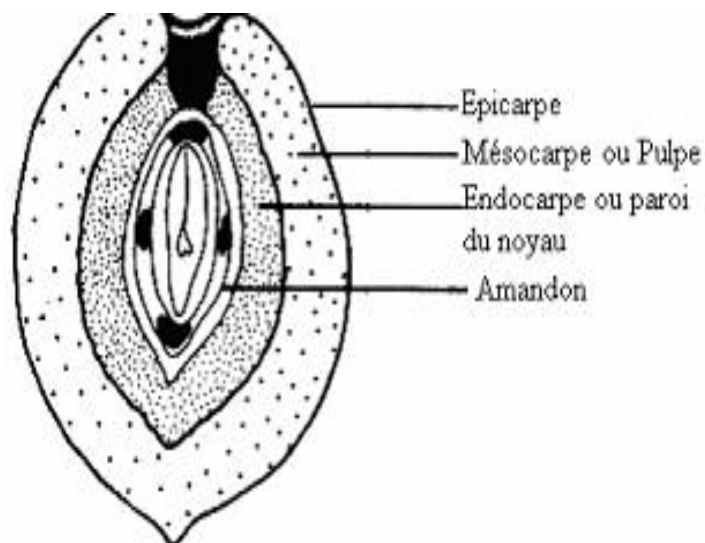


Figure 17: Coupe schématique d'une olive [33].

2.4.2 Généralités sur les charbons actifs

Les charbons actifs sont les premiers matériaux adsorbants utilisés à l'échelle industrielle notamment pour la décoloration de sirop de sucre en Angleterre dès 1794 [34].

De par ses propriétés médicinales, il était déjà employé dans l'Égypte antique.

Le charbon actif est un matériau noir principalement sous forme granulaire ou pulvérulente composé essentiellement de matière carbonée à structure poreuse [35,36].

La surface spécifique de charbon actif est très grande, elle est typiquement d'environ $1000 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ et peut aller jusqu'à $2000 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ [26] et cette caractéristique unique est responsable de ses propriétés d'adsorption.

Le charbon activé est l'adsorbant le plus utilisé dans le traitement des eaux polluées [35]. Il est capable d'adsorber une large variété de substances sur leur surface interne, il est en conséquence appelé adsorbant [37].

Le charbon actif peut être préparé à partir de toute matière solide contenant une grande proportion de carbone, souvent par carbonisation [38].

2.4.3 Procédés de fabrication du charbon actif

Le charbon actif peut être préparé à partir de matériaux divers, tels que le bois, la paille, la houille et les résidus de pétrole. Cependant depuis quelques dizaines d'années l'utilisation de précurseurs végétaux particulièrement les sous-produits de la biomasse (coque de noix de coco, noyaux de cerise et d'olive...) et des industries agroalimentaires pour la production de charbon actif est de plus en plus importante. Actuellement, l'utilisation du charbon actif est principalement associée à leur grande surface spécifique. Leurs propriétés adsorbantes dépendront de la nature du précurseur, des conditions opératoires de préparation et plus particulièrement de l'étape d'activation [39].

2.4.4 L'activation physique

L'activation physique se déroule en deux étapes : la carbonisation de la matière première et l'activation du carbonisat obtenu lors du premier traitement thermique. L'étape de carbonisation permet l'élimination des atomes autres que le carbone (N, H, O, S) contenus dans la matière première pour donner un matériau carboné avec une structure poreuse rudimentaire appelée carbonisat. Ce processus est réalisé dans une atmosphère inerte à des températures élevées (comprises entre 600°C et 900°C en fonction de la matière-première) [40].

L'étape d'activation est le deuxième traitement thermique oxydant dans le procédé d'activation physique. L'activation physique est une oxydation ménagée du carbonisat réalisée à haute température (entre 700°C et 1000°C) par un gaz oxydant pendant un temps donné en fonction de la porosité désirée. Les plus utilisés sont la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone.

2.4.5 L'activation chimique

L'activation chimique est généralement réalisée en plusieurs étapes mais elle ne comporte qu'un seul traitement thermique. Dans un premier temps, il s'agit de mettre en contact l'agent activant et la matière première. Les agents oxydants les plus utilisés sont l'acide sulfurique (H_2SO_4), l'acide phosphorique (H_3PO_4), la potasse (KOH) et le chlorure de zinc ($ZnCl_2$).

Les mélanges solides obtenus subissent un traitement thermique, sous un flux de gaz inerte (généralement l'azote), de la température ambiante à des températures comprises entre 500°C et 900 °C. Les conditions du traitement thermique dépendent du précurseur et de l'agent activant utilisé. Le charbon actif est ensuite lavé (par exemple à l'hydroxyde de sodium, NaOH) puis rincé à l'eau distillée jusqu'à l'obtention d'un filtrat neutre. La porosité du charbon actif dépend du temps d'activation, du pourcentage massique de l'agent activant, de la température et de la nature de l'agent activant [41].

2.4.6 Structure et porosité d'un charbon actif

La surface d'un charbon actif est composée d'un arrangement irrégulier et aléatoire de feuillets proches d'une structure de type graphène dont les interstices correspondent aux pores du charbon (Figure 18,19). Un pore est une cavité profonde et étroite existant dans un matériau qui débouche obligatoirement à la surface du matériau et est accessible à un fluide [42].

Les pores, dans les charbons actifs, sont dispersés sur une large gamme de taille et de forme.

Les pores sont classés par leur taille en 3 groupes :

- les macropores ayant un diamètre moyen supérieur à 50 nm,
- les mésopores avec un diamètre compris entre 2 et 50 nm, et
- les micropores ayant un diamètre inférieur à 2 nm.

Le rôle des macropores des charbons actifs est de faciliter la diffusion des polluants dans les porosités internes et l'adsorption de molécules de polluants de grandes tailles. Pour le traitement d'effluents liquides, les charbons actifs mésoporeux sont plus efficaces car la

diffusion en phase liquide dans la porosité nécessite des diamètres de pores plus importants. Les charbons actifs riches en micropores ont des surfaces spécifiques élevées et sont particulièrement utilisés pour des procédés de purification des gaz [43].



Figure 18: Représentation schématique de la structure d'un charbon activé [42].

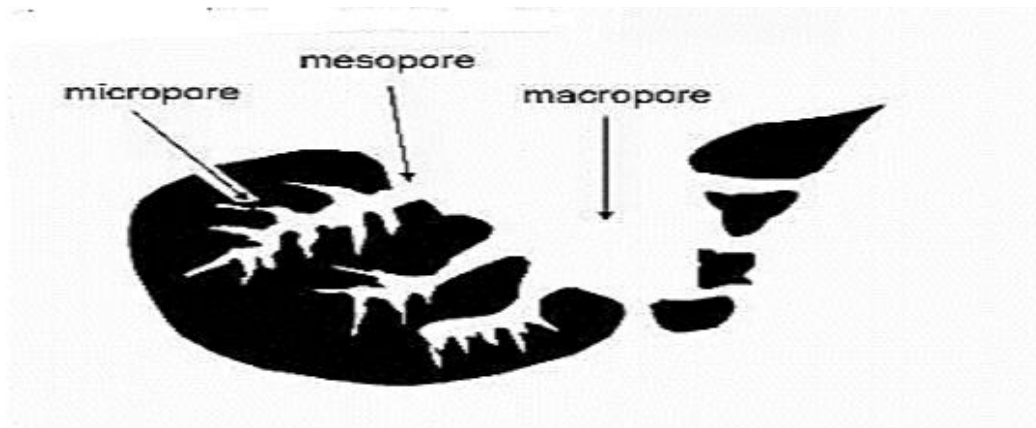


Figure 19: Représentation de la structure poreuse de charbon actif [44].

2.5 ADSORBAT

2.5.1 Le phosphore dans l'environnement

La découverte du phosphore remonte à 1669 par l'alchimiste Hambourgeois Henning Brandt. Cependant, le phosphore est identifié dans l'apatite qu'en 1779 par Torben Bergman et Joseph Louis Proust [45].

La lithosphère est la source ultime de tout le phosphore de la biosphère. Bien que l'apatite soit l'un des minéraux primaires les plus facilement altérés, le phosphore est parmi les minéraux les moins biodisponibles. Ceci est dû au fait que les formes du phosphore dans la biosphère sont faiblement solubles, immobiles ou rendues inaccessibles pour d'autres raisons [46].

Les phosphates présents dans l'eau, on distingue couramment :

- Les orthophosphates (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}), qui sont des sels minéraux de l'acide phosphorique (H_3PO_4) ;
- Les polyphosphates, qui correspondent à des molécules plus complexes de phosphates minéraux;
- Les phosphates organiques, qui correspondent à des molécules de phosphates associées à des molécules à bases carbonées, comme dans la matière organique vivante ou morte (animaux, végétaux, microorganismes, etc.).

La détermination des concentrations en phosphates dans une matrice quelconque (eau, sol, aliment), suivant les cas, la teneur en phosphates est exprimée en grammes de PO_4 , de P_2O_5 ou de P par litre [47].

2.5.2 Cycle de phosphore

Le cycle de phosphore, parmi les cycles biogéochimiques majeurs en ce sens qu'il ne possède pas de phase gazeuse [15].

Pour les êtres vivants, le stock de phosphore minéral disponible est entièrement contenu dans la lithosphère (apatites, dépôts sédimentaires). Il est mis en solution par altération chimique puis introduit dans les eaux continentales par érosion et lessivage.

Dans les écosystèmes terrestres, le phosphore minéral en solution est absorbé par les végétaux. S'en suit une succession de phases organiques et minérales. Le phosphore introduit dans les écosystèmes aquatiques est acheminé par les fleuves aux zones côtières et fertilise les eaux littorales qui, de ce fait, sont, généralement très productives en phytoplancton et algues marines. Par son ouverture sur les fonds océaniques, le cycle naturel du phosphore n'est pas complètement bouclé [48].

2.5.3 Rôle du phosphore

2.5.3.1 Dans l'environnement

Le phosphore est un élément important à la vie. Il intervient dans le processus de

synthèse des protéines, par sa présence dans les acides nucléiques tels l'ARN et l'ADN, et également dans le cycle de production d'énergie au sein de la cellule, par sa présence dans les molécules d'ADP et d'ATP. Chez les animaux, et en particulier dans le corps humain, on peut noter en plus la présence du phosphore dans les os, les dents, les nerfs, etc. [16,49].

2.5.3.2 Dans les milieux aquatiques

Le phosphore se trouve dans le milieu aquatique sous deux formes dissoute et particulaire. La forme particulaire présente les composés phosphorés associés à la matière organique et aux minéraux du sol. La forme dissoute correspond principalement aux phosphates (PO_4^{3-}) qui constitue la forme minérale directement disponible pour les végétaux aquatiques. Le phosphore n'est pas toxique mais il provoque l'eutrophisation lorsqu'il est en excès dans l'eau [50].

Le phosphate est la forme sous laquelle le phosphore peut être assimilé par les êtres vivants, en particulier les algues. La prolifération de ces dernières présente de nombreux effets néfastes. Par ailleurs, certaines algues peuvent produire des substances qui empoisonnent le zooplancton, les poissons, les oiseaux aquatiques, le bétail et les humains. Présentes à forte densité, les algues font augmenter les coûts de traitement de l'eau potable à la suite d'une mauvaise odeur et un goût désagréable [15,51].

2.5.4 Les sources de phosphore en excès dans les eaux

Les sources à l'origine des excès de phosphore dans les eaux :

- Les sources ponctuelles qui se définissent par une émission de phosphore qui est indépendante des conditions météorologiques, mais elles sont en fonction des activités anthropiques incluant les activités domestiques (assainissement collectif, individuel), agricoles (rejets des déjections animales), industrielles (rejets d'usines).
- Les sources diffuses sont liées aux épisodes pluvieux c'est-à-dire que le phosphore est mobilisé par les écoulements superficiels lors des pluies [52].

2.5.5 Effet du phosphore sur la santé et l'environnement

Les besoins quotidiens de l'être humain en phosphore sont de l'ordre de 1 à 3 grammes, sa carence peut entraîner une faiblesse, anorexie et des douleurs osseuses.

Chez les sujets sensibles, l'intoxication au phosphate cause un dérèglement du métabolisme, en bloquant la sécrétion de l'hormone noradrénaline des glandes

surrénales, laquelle commande et règle le flux des excitations nerveuses cérébrales. Ce qui conduit à un dérèglement du comportement humain [53].

Le phosphore est un élément essentiel à la croissance des plantes et la productivité agricole. L'engrais fournit généralement le besoin en phosphore de la culture. À cause de la demande progressive de cultures à haute valeur ajoutée, les agriculteurs utilisent les fertilisants en quantités déraisonnables. Ces fertilisants ne sont pas totalement consommés par les végétaux de ce fait, à long terme, cette pratique augmente l'accumulation de phosphore dans le sol et il est transféré lors d'épisodes pluvieux dans les rivières, cours d'eau, les lacs [54,52].

L'eutrophisation s'accélère dans un corps d'eau, qui est le résultant d'activités humaines qui génèrent des déchets résidentiels, eaux usées non traitées ou partiellement traitées, ruissellement agricole, polluants urbains, etc.

Par ailleurs, les eaux usées ou déchets résidentiels, consistant en principalement des détergents contenant du phosphate, qui est la source majeure de nutriments dans les plans d'eau qui peut stimuler la croissance des algues [55].

Lorsque la croissance des algues est excessive, d'autres formes de vie aquatique sont menacées. Les proliférations d'algues limitent l'utilisation récréative en réduisant la clarté de l'eau et les qualités esthétiques [56] et pourrait changer la valeur récréative des masses d'eau et nuire aux activités connexes telles que la natation et la pêche. Son impact sur la qualité de l'eau potable pourrait être grave, potentiellement dangereux pour la santé humaine, donc le traitement de l'eau peut être plus difficile et coûteux. Par conséquent, l'eau potable doit être protégée contre l'eutrophisation [57].

Les conséquences principales de l'eutrophisation sont :

La multiplication des algues et du plancton qui réduit le passage de la lumière, accroît la consommation d'oxygène et s'accompagne d'une modification profonde de la faune, tant en quantité qu'en qualité. L'évolution peut aller de l'élimination de certaines espèces (les espèces nobles disparaissent alors au profit d'autres indésirables) jusqu'à la cessation de la vie aquatique [58].

La modification des paramètres physico-chimiques du milieu suivant le développement de la situation, on passera d'un système oligotrophe à un système mésotrophe pour aboutir à un système eutrophique caractérisé par une anaérobiose généralisée.

Quelles que soient, ces modifications ont une incidence, directe ou indirecte, sur l'homme. La dégradation des qualités organoleptiques de l'eau (odeur, saveur, turbidité, couleur...) bouleverse les conditions d'utilisation, ne serait-ce qu'en raison de son aspect inesthétique (putréfaction) [58].

2.6 CONCLUSION

L'eau est la première et la précieuse ressource naturelle qui constitue le principal constituant des écosystèmes. Les ressources en eaux englobent les eaux souterraines et les eaux de surfaces.

L'accès à l'eau est devenu une préoccupation mondiale, en raison de la rareté et de l'inégale répartition et de la pollution d'eau. Cette pollution peut avoir des origines diverses tel que la pollution industrielle, agricole, domestique, et la pollution accidentelle. Donc, il est nécessaire de prendre et de mettre en œuvre des mesures dès que possible et nous devons utiliser cette ressource avec précaution.

L'adsorption est l'une des techniques adoptées pour le traitement de l'eau et des effluents industriels.

Le charbon actif a été utilisé comme un adsorbant pour l'élimination des différents polluants en raison de sa grande surface spécifique, poreuse structure et de bonnes propriétés d'adsorption.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Peter H. G., Meena P. Peak water limits to freshwater withdrawal and use. Proceedings of the national academy of science. Volume 107, Numéro 25. 2010.
- [2] Baba Amer Z. L'analyse de l'eau physico-chimie, microbiologie .Université de Ghardaïa. 2014.
- [3] Bechki M. K. Préparation et caractérisation du charbon actif à partir des noyaux du palmier dattier et des coquilles des noix. Thèse doctorat. Université Kasdi Merbah – Ouargla. 2018.
- [4] Pendoue M. Polarité du champ magnétique terrestre et inversion de la polarité du champ magnétique terrestre la reconstruction de la croix et les deux modes de communication. Ed. Lulu.com.2019.
- [5] Olivier A. Chimie et pollutions des eaux souterraines. Lavoisier. 2015.
- [6] Hassan Omer N. Water Quality Parameters. Water Quality - Science, Assessments and Policy, Ed. Kevin Summers, IntechOpen. 2019.
- [7] Degrémont, S. A. Mémento technique de l'eau. Le tome 1, 2. Degrémont Suez .2005.
- [8] Myrand D. Guide technique : captage d'eau souterraine pour des résidences isolées, Québec, P04. 2008.
- [9] Henri S. J. La pollution des eaux souterraines. Actes du Colloque de Moscou, Août 1971: International association of hydrological sciences-association internationale des sciences hydrologiques publication. 1975.
- [10] Matthess, G. Effects of man's activities on groundwater quality / Les effets des activités de l'homme sur la qualité des eaux souterraines. Hydrological Sciences Bulletin .1976.
- [11] Quevauviller P. Protection des eaux souterraines - législation européenne et avancées scientifiques. Lavoisier. 2010.
- [12] Fried J.J. Groundwater Pollution. Elsevier. 1975.
- [13] Drouiche A., Zahi F., Debieche T. H., Mahdid S., Ghechem A., Lasmia H. Caractérisation hydrogéologique et hydrochimique des eaux de la zone marécageuse d'el-kennar (jijel, n-e algérien). Algrie- équipement. Numéro 60. 2019.
- [14] Kadi A. La gestion de l'eau en Algérie, hydrological sciences journal. 1997.
- [15] Guergueb M., A Ferhat A. La gestion des eaux en Algérie: Vers un nouveau paradigme Water management in Algeria : Towards a new paradigm. Journal of Advanced Economic Research, El oued University, El oued, Algeria. Volume 6, Numéro 1. 2021.

- [16] Metahri M.S. Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou. Thèse doctorat .Université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. 2012.
- [17] Khadraoui A., Taleb S. Qualité des eaux dans le sud Algérien. Khayam. Constantine. 2008.
- [18] Couillard D., Lafrance P., Lessard S. Evaluation de la qualité organoleptique de l'eau potable dans le réseau de distribution de East-Broughton (Beauce) et suggestion d'un procédé de traitement. Rapport scientifique. Université de Québec .1992.
- [19] Khadraoui A., Taleb S. Qualité des eaux dans le Sud algérien (Potabilité – Pollution et impact sur le milieu). 2012.
- [20] Mechakra H. Dégradation d'un polluant organique (herbicide) photocatalysée par des matériaux inorganiques vierges et dopés par la lumière artificielle et solaire en solution aqueuse .Thèse doctorat. Université frères Mentouri Constantine. 2016.
- [21] Guiza S., Bagane M. Étude cinétique de l'adsorption du rouge de Congo sur une bentonite. Revue des sciences de l'eau. Volume 26, Numéro 1. 2013.
- [22] Assoumani A. Adsorption des perturbateurs endocriniens lors de la potabilisation : développement d'une méthodologie d'obtention des paramètres d'équilibre et cinétique, Thèse doctorat. Université de Rennes1 .2009.
- [23] Khelifi O. Etude de l'adsorption du nickel et du cuivre sur un charbon actif préparé à partir des boues de station d'épuration .Thèse Doctorat. Université de Guelma .2018.
- [24] Bentahar Y. Caractérisation physico-chimique des argiles marocaines: application à l'adsorption de l'arsenic et des colorants cationiques en solution. Thèse doctorat. Université Côte d'Azur. 2016
- [25] Ho Y.S., McKay G. Application of kinetic models to the sorption of copper (II) on to peat. Adsorption Science & Technology. Volume 20, Numéro 8. 2002.
- [26] Miguet M. Adsorption de COV issus d'eaux souterraines et régénération des charbons actifs par voie solaire. Thèse Doctorat. Université de Perpignan. 2015.
- [27] Zeboudj S., Loucif Seiad M., Namane A., Hank D., Hellal A. Elimination du phénol : couplage de l'adsorption sur charbon actif et la biodégradation par pseudomonas aeruginosa. Revue de microbiologie industrielle, sanitaire, et environnementale. 2014.
- [28] Zeghidi M. S. Synthèse d'un matériau bimétallique et applications organique et inorganique. Thèse de magister. Université Mohamed Boudiaf Oran. 2017.

- [29] Temmar A. Synthèse d'un support polypyrrole intercalé dans la bentonite. Applications à l'élimination des métaux lourds (Cr^{6+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+}). Université M'hamed Bougara-Boumerdes. 2016.
- [30] Zeghache H. Etude de l'adsorption des colorants sur un matériau poreux «charbon actif». Thèse doctorat. Université Larbi Ben M'hidi Oum-El-Bouaghi. 2019.
- [31] Bouderbala S., Al-hiti M. K., Mahdad N., Bouchenak M. Effet des grignons d'olive sur l'activité de la lécithine : cholestérol acyltransférase, chez le rat soumis à un régime enrichi en cholestérol. Nutrition & Santé. Volume 4, Numéro 2. 2015.
- [32] Konstas A.S. Les grignons d'olive et leurs carbonisations. Volume 41, Numéro 1. Revue Oléagineux. 1986.
- [33] Bataiche I. Recherche de nouvelles potentialités de *Yarrowia lipolytica*, isolé de différents milieux naturels pour des applications biologiques. Thèse doctorat. Université Constantine 1. 2014.
- [34] Sekirifa M.L., Hadj-Mahammed M. Etude comparative de la capacité adsorbante d'un charbon actif issu de noyaux de dattes et un charbon actif commercial. Sciences & Technologie. Volume 0, Numéro 23. 2005.
- [35] Guedidi H. Préparation et modification de carbones activés pour l'adsorption de polluants organiques émergents : molécules pharmaceutiques et liquides ioniques. Thèse doctorat. Université de Tunis El Manar. 2015.
- [36] Patrick A., Gildas K. G., Dongui B., Bamba D., Yolou F. S., Trokourey A. Études de la porosité, de la surface spécifique et des fonctions de surface de charbons actifs préparés après carbonisation artisanale des coques de noix de coco. Les technologies de laboratoire. Volume 8, Numéro 34. 2014.
- [37] Belaid O. Utilisation d'un charbon actif préparé à partir des noyaux de dattes locales dans l'épuration des eaux usées urbaines. Influence de la variété de dattes. Thèse doctorat. Université de Kasdi Merbah - Ouargla. 2017.
- [38] Trachi M., Bourfis N., Benamara S., Gougam H. Préparation et caractérisation d'un charbon actif à partir de la coquille d'amande (*Prunus amygdalus*) amère. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement. Volume 18, Numéro 4. 2014.
- [39] Vagner C. Caractérisation de surface d'adsorbants carbones et étude des équilibres et cinétiques d'adsorption en phase gazeuse. Thèse doctorat. Université de Metz. 2003.
- [40] Fernandez Ibañez E. Etude de la carbonisation et l'activation de précurseurs végétaux durs et mous. Thèse doctorat. Université de Granada. 2002.

- [41] De Oliveira Penalver T.F. Etude d'un procédé de dépollution basé sur le couplage ozone/charbon actif pour l'élimination des phtalates en phase aqueuse. Alimentation et Nutrition. Thèse doctorat. Université d'Orléans, 2011.
- [42] Ronan Guillosoy : Elimination des micropolluants organiques dans les eaux résiduaires urbaines par adsorption sur charbon actif : compréhension des processus et implications opérationnelles. Thèse doctorat. Université Paris-Est. 2019.
- [43] Cedric Telegang C. Matériaux carbonés multifonctionnels à porosité contrôlée à partir des ressources végétales tropicales : application au traitement de l'eau par photocatalyse. Thèse doctorat. Université de Perpignan .2017.
- [44] Anbia M., Amirmahmoodi S. Removal of Hg (II) and Mn (II) from aqueous solution using nanoporous carbon impregnated with surfactants. Arabian Journal of Chemistry. Volume 6, Numéro 1. 2016.
- [45] Vanden Bossche H. Devenir du phosphore apporte sur les sols et risques de contamination des eaux de surface. Cas des boues de stations d'epuration. Thèse doctorat. Université Rennes 1.
- [46] Zerki N. Apport de la chimiometrie pour l'analyse et l'interpretation de quelques parametres physicochimiques influençant la repartition des metaux lourds, des elements nutritifs et des anions dans les eaux de l'oued de bouregreg. Thèse doctorat. Universite Mohammed V – Rabat. 2013.
- [47] Banas D., Lata J.C. Les phosphates. Université Paris-Sud. Laboratoire d'Ecologie, Systématique et Evolution. 2006.
- [48] Némery J. origine et devenir du phosphore dans le continuum aquatique de la seine des petits bassins amont à l'estuaire : Rôle du phosphore échangeable sur l'eutrophisation. Thèse doctorat. Université Paris VI. 2003.
- [49] Goëbau N. Assimilation et effets d'apports foliaires de phosphore et de calcium sur l'équilibre minéral de parcelles de vignes du Languedoc-Roussillon. Sciences du Vivant [q-bio]. 2017.
- [50] Benkaddour B. Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Chélif (Algérie). Thèse doctorat. Université Perpignan. 2018.
- [51] Jerbi N.A.G. Eutrophisation et dynamique du phosphore et de l'azote en Seine: un nouveau contexte suite à l'amélioration du traitement des eaux usées. Thèse doctorat. Université Paris VI. 2015.

- [52] De Nardi F. Excès de Phosphore et de Matières organiques naturelles dans les eaux de retenues: diagnostic et remèdes Cas du lac de Ribou à Cholet. Thèse doctorat. Université d'Angers. 2009.
- [53] Ouakouak A. Elimination du cuivre, des nitrates et des phosphates des eaux par adsorption sur différents matériaux. Thèse doctorat. Université de Mohamed Khider – Biskra. 2017.
- [54] Mylavarapu R. Impact of Phosphorus on Water Quality. EDIS. Université de Florida, 2009.
- [55] Tamot S., Sharma P. Physico-chemical status of upper lake (Bhopal, India) water quality with special reference to phosphate and nitrate concentration and their impact on lake ecosystem. Asian Journal Of Experimental Sciences. Volume 20, Numéro 1. 2006.
- [56] Shock C.C., Pratt K., Station M.E. Phosphorus effects on surface water quality and phosphorus TMDL development. In Western nutrient management conference. 2003.
- [57] Nhapi I., Siebel M.A., Gijzen H.J. The impact of urbanisation on the water quality of Lake Chivero, Zimbabwe. Water and Environment Journal. Volume 18, Numéro 1. 2004.
- [58] Rodier J., Legube B., Merlet N., Brunet R. Analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Dunod, 9^{éd.} Paris. 2009.

CHAPITRE 3 Matériels et méthodes

3.1 INTRODUCTION

L'objectif de ce chapitre est de présenter les techniques analytiques ainsi que les protocoles expérimentaux utilisés.

Dans la première partie de ce chapitre, nous avons présenté la méthode d'échantillonnage et la zone d'étude. Puis, nous avons décrit les différents paramètres physico-chimiques à analyser, ainsi que les techniques de traitement des données que nous avons élaborés sous le langage python.

Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous avons présenté les différentes techniques analytiques utilisées pour l'élaboration de charbon actif. Pour ce faire, nous allons entamer les méthodes de préparation de la matière première, la carbonisation, l'activation chimique et la caractérisation de charbon actif. Ensuite, en terminant par les protocoles expérimentaux utilisés dans l'étude de l'adsorption du phosphate sur le charbon actif.

Les différentes caractérisations et les essais d'adsorption ont été réalisés au centre de recherche et développement Sonatrach wilaya de Boumerdes.

3.2 EXECUTION DES PRELEVEMENTS

L'échantillonnage d'une eau souterraine comprend différentes étapes telles que la préparation du prélèvement, le prélèvement proprement dit, le conditionnement et le stockage de l'échantillon avant l'analyse [1].

Le prélèvement des échantillons est l'une des étapes les plus importantes pour l'évaluation de la qualité de l'eau. Il est donc essentiel que l'échantillonnage soit effectué avec prudence et de la technique afin d'éviter toutes les sources possibles de contamination.

Les échantillons d'eau doivent être prélevés dans des récipients propres en matière plastique (polyéthylène), rincés plusieurs fois avec l'eau à analyser, puis fermés hermétiquement sans laisser de bulles d'air dans le flacon [2].

Les flacons doivent être clairement identifiés à l'aide d'étiquettes adhésives indiquant: le numéro de l'échantillon, le nom du point de prélèvement, et la date et l'heure du prélèvement.

Le stockage des échantillons constitue la dernière étape de l'échantillonnage. Il s'agit des conditions d'entreposage de l'échantillon durant son transport vers le laboratoire et jusqu'au moment de l'analyse. La lumière, une température élevée, trop basse (congélation) ou fluctuante, ainsi que la durée d'entreposage, sont des paramètres qui influencent négativement la qualité du stockage.

Les échantillons d'eau ont été transportés dans une glacière et conservés à une température d'environ 4 °C selon la procédure de Rodier (2009) [3,4 ,5].

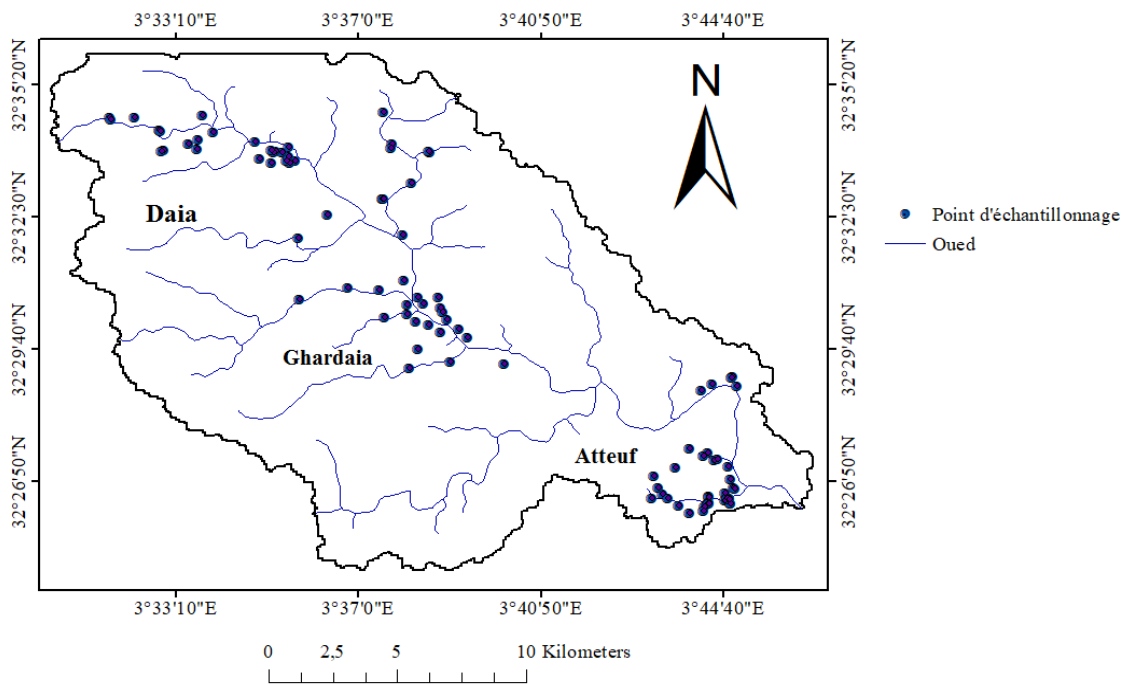
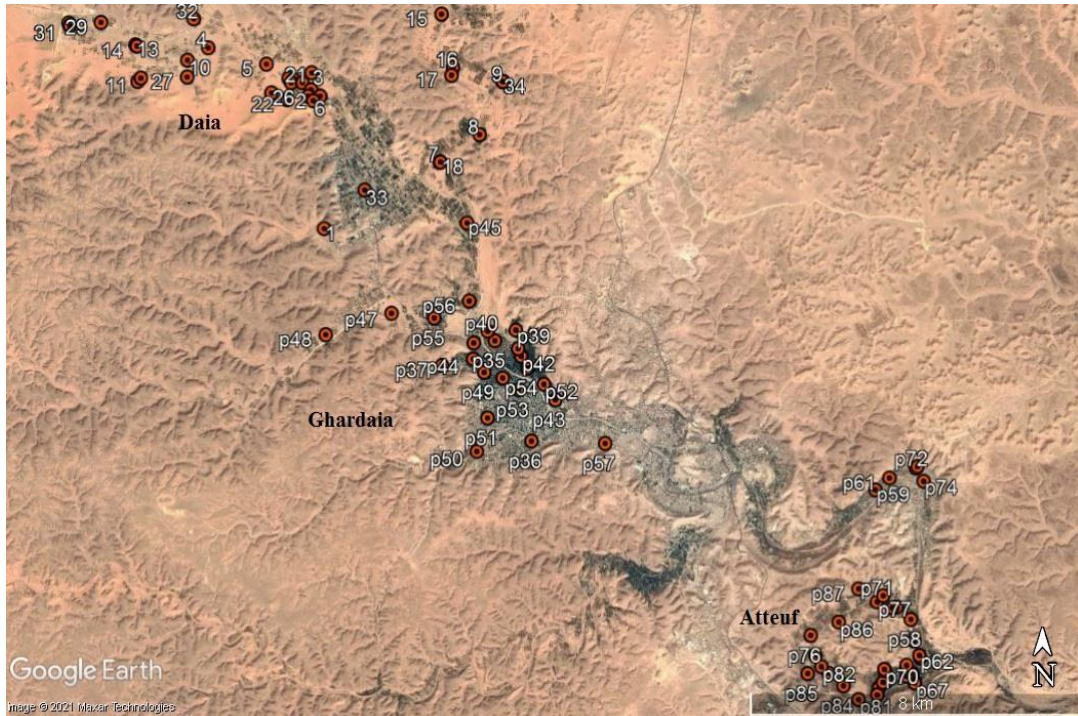


Figure 20: Localisation de la zone d'étude et des sites d'échantillonnage.

La zone d'échantillonnage compte 95 puits répartis au niveau de la vallée d'oued M'Zab de Daia en amont de la vallée, jusqu'à la région d'Atteuf en aval de la vallée et durant l'année 2016 et 2017. Les coordonnées géographiques de ces points de prélèvement ont été mesurées sur terrain à l'aide d'un GPS.

La figure 20 représente la localisation de la zone d'étude et les points d'échantillonnage.

3.3 ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

Les mesures physico-chimiques et les analyses chimiques nous avons effectuées au niveau du laboratoire de l'Algérienne des eaux (ADE) unité de Ghardaïa et laboratoire de l'université de Ghardaïa.

3.3.1 La température

La température de l'eau est un facteur important du fait qu'elle régit la presque totalité des réactions physiques, chimiques et biologiques [6].

Un changement de température s'accompagne généralement d'une modification au sens inverse des autres paramètres notamment la viscosité et la solubilité des gaz, en particulier de l'oxygène [7].

La mesure de la température a été réalisée à l'aide d'un multi paramètre.

3.3.2 Le pH

Le potentiel d'hydrogène (pH) mesure la concentration en ions H^+ de l'eau et traduit ainsi la balance entre acides et bases sur une échelle logarithmique de 0 à 14. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques. La mesure de pH a été réalisée à l'aide d'un pH-mètre [8].

3.3.3 La conductivité électrique

La conductivité électrique désigne la capacité de l'eau à conduire un courant électrique. Elle est déterminée par la teneur en substances dissoutes, la charge ionique, la capacité d'ionisation, la mobilité et la température de l'eau. Par conséquent, la conductivité électrique renseigne sur le degré de minéralisation d'une eau. Elle a été mesurée à l'aide d'un conductimètre [9,4].

3.3.4 La turbidité

La turbidité de l'eau est due à la présence de matériaux solides en suspension qui réduisent sa transparence [2].

Elle exprime la quantité de matières en suspension (microorganismes, algues, macromolécules organiques) qui sont à l'origine du trouble de l'eau. La turbidité s'exprime en Unité Formazin (FTU) ou en unité Néphélobimétrie (NTU). Elle a été mesurée à l'aide d'un turbidimètre [10].

3.3.5 Le résidu sec

La détermination des résidus permet d'estimer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau. La détermination du résidu sur l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension, c'est le résidu total. Si l'eau est filtrée préalablement à la mesure, le résidu correspond alors aux matières dissoutes [11].

Une certaine quantité d'eau bien mélangée est évaporée dans une capsule tarée à une température de 180°C. Le résidu desséché est ensuite pesé [5].

3.3.6 La dureté totale

La dureté totale d'une eau indique globalement sa teneur en ions alcalino-terreux, en particulier les ions calcium (Ca^{+2}) et magnésium (Mg^{+2}) [3].

Le dosage de la dureté totale se fait par la méthode de compleximétrie. Titration avec une solution d'E.D.T.A en utilisant un indicateur qui forme avec le calcium et de magnésium un complexe rouge foncé ou violet, c'est le mordant noir [12].

3.3.7 Le calcium

L'ion calcium est issu essentiellement de la dissolution de calcite, dolomite, et du gypse [13].

Le dosage de calcium se fait par la méthode complexométrique. Titration par complexométrie du calcium avec une solution aqueuse de sel disodique d'acide éthylène-diamine tétracétique (EDTA). L'acide calcéone carboxylique qui forme un complexe rouge avec le calcium, est utilisé comme un indicateur [12].

3.3.8 Le magnésium

C'est un élément qui accompagne souvent le calcium. La mise en solution de cet ion dans l'eau prend beaucoup de temps, il provient de la dissolution des roches magnésiennes, dolomitiques et des minéraux ferromagnésiens, il provient aussi des formations métamorphiques tels que les micaschistes[14].

Le magnésium est un élément indispensable pour la croissance. A partir d'une concentration de 100 mg/L et pour des sujets sensibles, le magnésium donne un goût désagréable à l'eau [15].

Le magnésium peut être estimé par la différence entre la dureté totale et la dureté calcique.

3.3.9 Les chlorures

Le chlorure est présent à l'état naturel dans les eaux souterraines en raison de l'altération météorique et la lixiviation des roches sédimentaires et des sols, ainsi que de la dissolution des dépôts de sel, la concentration des chlorures dans l'eau dépend de l'origine de l'eau, du terrain traversé et de la composition chimique des sols et des roches qui sont en contacts avec les sources en eau [16].

Les chlorures peuvent avoir des origines diverses :

- Apports par les pluies,
- Intrusion marine,
- Pollutions organiques absorbés par le sol, et peuvent donc se déplacer sur de longues distances [17].

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate argent [18].

3.3.10 Les sulfates

Les sulfates (SO_4^{2-}) proviennent du ruissellement ou d'infiltration dans les terrains à gypse et par l'oxydation des sulfures en sulfates dans les déchets miniers. Les principales sources industrielles sont les effluents des tanneries, des ateliers de décapage métallique, des usines de textile et des fabriques de pâtes et papiers. Les ions sulfates sont très solubles et leur concentration est très variable dans les eaux naturelles [10].

La méthode de dosage se fait par gravimétrie. Les ions SO_4^{2-} sont précipités à l'état de sulfate de baryum et évalués par gravimétrie [12]. En présence de baryum, les sulfates

précipitent à l'état de sulfate de baryum maintenu en suspension homogène au moyen de polyvinylpyrrolidone. Pour éviter la précipitation des carbonates, chromates, phosphates et oxalate de baryum, la réaction est effectuée en milieu acide [5].

3.3.11 Les phosphates

Le phosphate est un élément nutritif primaire nécessaire au fonctionnement normal de nombreux organismes de l'écosystème. Cependant, présence d'un excès de phosphate dans les systèmes aquatiques conduit à l'eutrophisation qui peut favoriser la croissance d'algues nuisibles et diminuer la quantité d'oxygène dissous dans l'eau et qui exacerbe l'inquiétude concernant la détérioration de la qualité de l'eau et de l'équilibre écologique global [19].

Le principe de dosage de phosphate se fait en milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les ortho phosphate donne un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrophotométrie. Certain forme organique pouvant être hydrolysée à la cour de l'établissement de la coloration et donner des ortho phosphates, le développement de la coloration est accéléré par l'utilisation d'un catalyseur, le tartrate double d'antimoine et de potassium [20].

3.3.12 L'ammonium

Les ions ammonium sont le premier résidu minéral issu de la dégradation de la matière organique azotée du sol par le processus d'ammonification. Ils sont apportés, entre autre par les effluents d'élevages qui les libèrent en se dégradant. Les ions ammonium constituent un excellent indicateur de la pollution des eaux par les rejets organiques d'origine agricole, domestique et industrielle et ont des effets tant sur l'environnement que sur la santé des populations [21].

La mesure par spectrométrie : le compose bleu formé par la réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitrospentacyanoferrate (III) de sodium [12].

3.3.13 Le fer

L'utilisation du fer est largement appliquée sous forme d'acier dans la construction et aussi utilisé dans l'industrie technologique sous forme de fer métallique et d'oxydes depuis des décennies pour fixer des informations analogiques ou numériques sur des supports appropriés (bandes magnétiques, disquettes , cassettes audio ...). Le fer est un des nutriments

qu'on retrouve dans les aliments, parce que cet élément est essentiel pour l'homme et les autres organismes [22].

La présence de fer dans l'eau peut avoir une origine naturelle comme le lessivage des terrains argileux ou industrielle, dans les industries métallurgiques ou sidérurgiques [23].

Après oxydation en milieu acide, le fer est réduit à l'état ferreux et dosé par spectrométrie en utilisant la coloration rouge donnée par les sels ferreux avec la phénanthroline 1,10 [5].

3.3.14 Les nitrites

L'existence d'une grande quantité des ions nitrites dans l'eau potable cause un état d'abaissement de pression chez les adultes et un état de suffocation à cause du manque d'oxygène dans le sang chez les nouveaux nés [11].

La diazotation de l'amino-4-benzènesulfonamide par les nitrites en milieu acide et sa copulation avec le dichlorure de N-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane donne un complexe coloré pourpre susceptible d'un dosage spectrométrique [5].

3.4 INDICE DE QUALITE DE L'EAU

Au milieu du vingtième siècle, la qualité de l'eau a été catégorisée par Horton en 1965 [24]. Puis en 1970, Brown et al. développé un indice général de la qualité de l'eau (IQE) [25]. En 1982, Steinhart et al. appliqué un nouvel indice de qualité de l'environnement pour résumer les informations techniques sur l'état et les tendances de l'écosystème des Grands Lacs [26-29].

Les indices de qualité de l'eau est un instrument mathématique qui donnent une valeur unique à la qualité de l'eau .L'indice de qualité de l'eau traduit la liste des constituants et les concentrations des échantillons d'eau en une seule valeur. On peut alors comparer différents échantillons pour évaluer la qualité d'eau sur la base de la valeur de l'indice de qualité de l'eau de chaque échantillon [30].

L'indice de qualité de l'eau est basés sur des schémas de classification appropriés, déterminés par chaque méthodologie individuelle, ces scores correspondent à des classes de qualité spécifiques (souvent de 1 à 5), chacune exprimant une condition de qualité spécifique, telle que « excellente », « bonne » , «mauvaise», «très mauvaise», et «non potable» qualité de l'eau [31, 32].

De nombreux chercheurs, à l'échelle mondiale, ont mis en œuvre des études de l'indice de qualité de l'eau (IQE) afin d'étudier la fiabilité de ces outils dans différentes

conditions locales [8]. Dans le même temps, plusieurs scientifiques ont tenté d'appliquer différents indice de qualité de l'eau dans un certain plan d'eau afin d'évaluer leurs performances comparatives [33].

L'indice de qualité de l'eau utilisée dans cette étude est la méthode de l'indice arithmétique pondéré du paramètre [8], en utilisant les normes de qualité de l'eau recommandées par l'Algérie [34] comme illustré dans le tableau 1.

Tableau 1: Normes recommandées pour la qualité de l'eau potable, poids et poids relatif des paramètres

paramètres physico-chimiques	Norme Algérienne (V_s)	Poids (w_i)	Poids relatif (W_i)
pH	8.5	3	0,07
Conductivité électrique ($\mu\text{s/cm}$)	2800	3	0,07
Turbidité (NTU)	5	2	0,046
Résidu sec (mg/L)	2000	2	0,046
Calcium (mg/L)	200	2	0,046
magnésium (mg/L)	150	2	0,046
Dureté totale (mg/L)	500	3	0,07
Chlorure (mg/L)	500	3	0,07
Sulfate (mg/L)	400	3	0,07
Ammonium (mg/L)	0.5	5	0,116
Fer (mg/L)	0.3	5	0,116
Phosphate (mg/L)	0.5	5	0,116
Nitrite (mg/L)	0.1	5	0,116

L'indice de qualité de l'eau est obtenu à partir de la relation suivante [35]:

$$IQE = \sum_{i=1}^n SI_i \quad (7)$$

Où:

SI_i : Sous-index de l' $i^{\text{ème}}$ paramètre.

Le sous-index (SI_i) et le poids relatif (W_i) sont calculés en utilisant les équations suivantes:

$$SI_i = W_i \cdot q_i \quad (8)$$

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{j=1}^n w_j} \quad (9)$$

Où :

W_i : le poids relatif de l' $i^{\text{ème}}$ paramètre

w_i : le poids de l' $i^{\text{ème}}$ paramètre (entre 2 et 5).

q_i : échelle d'évaluation de la qualité de l' $i^{\text{ème}}$ paramètre.

L'échelle d'évaluation de la qualité (q_i) est obtenue à partir de la relation:

$$q_i = 100 \cdot \left(\frac{v_a - v_i}{v_s - v_i} \right) \quad (10)$$

Où:

v_a : valeur réelle présente du ($i^{\text{ème}}$) paramètre à un puits d'échantillonnage donné, v_i : valeur idéale (0 pour tous les paramètres sauf le pH qui est de 7,0), v_s : valeur standard.

3.4.1 Interface de calcul de l'indice de qualité de l'eau

L'indice de qualité de l'eau (IQE) est considéré comme la méthode la plus efficace pour mesurer la qualité de l'eau. Un certain nombre de paramètres de qualité de l'eau sont inclus dans une équation mathématique pour évaluer la qualité de l'eau, en déterminant la pertinence de l'eau pour la consommation [36].

Afin de calculer et classier les eaux, nous avons élaboré un programme informatique sous le langage Python. Ce programme exploite deux package très populaires nommés NumPy et PyQt5.

➤ Langage python

Le langage de programmation Python a été créé en 1989 par Guido van Rossum [37], aux Pays-Bas. C'est un langage à typage dynamique à haut niveau de structures de données. La première version publique de ce langage a été publiée en 1991 et la dernière version de Python est la version 3. Plus précisément, la version 3.10.1 a été publiée en Décembre 2021.

Parmi les avantages de Python [38] :

- C'est un langage de programmation libre.
- il dispose de nombreux modules de calcul scientifique permettant d'aborder efficacement un problème scientifique

- C'est un langage très riche par des outils interactifs permettent de le transformer en un environnement de travail complet et facile d'utilisation pour l'informatique scientifique.

➤ **Package NumPy**

NumPy est un package de base pour le calcul scientifique avec Python et en particulier pour l'analyse de données. En fait, cette bibliothèque est la base de plusieurs packages mathématiques et scientifiques de Python, parmi eux, la bibliothèque pandas. Cette bibliothèque, spécialisée pour l'analyse de données, est entièrement développée en utilisant les concepts introduits par NumPy. En fait, les outils intégrés fournis par la bibliothèque Python standard pourraient être trop simples ou inadéquats pour la plupart des calculs d'analyse de données [39].

➤ **Package PyQt5**

PyQt5 est un package dédié pour la création d'interfaces utilisateur graphiques pour le langage Python. Il est implémenté sous la forme de plus de 35 modules d'extension et permet à Python d'être utilisé comme langage de développement d'applications alternatif à C++ sur toutes les plates-formes comme Windows, iOS et Android [40].

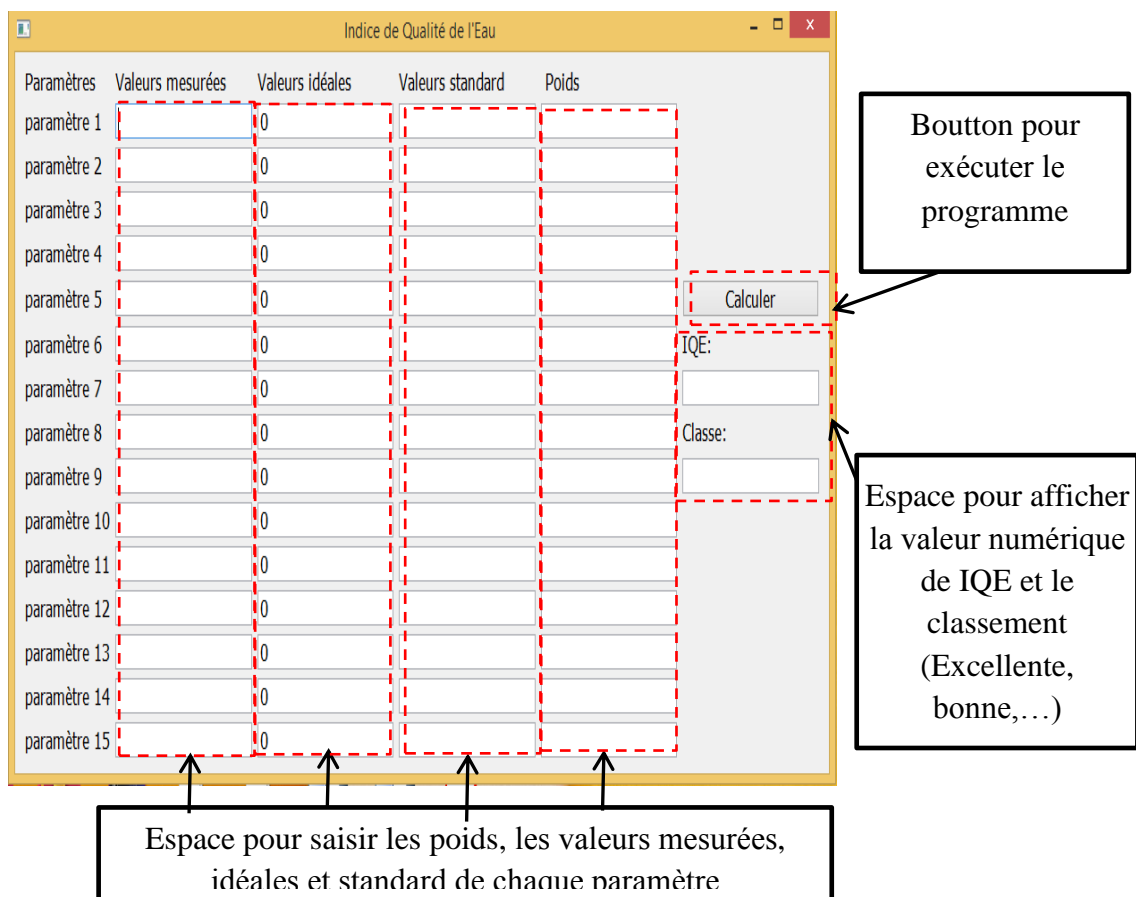


Figure 21 :Interface graphique du programme déterminant l'indice de qualité de l'eau.

Ce programme informatique permet de calculer l'indice de qualité de l'eau selon la méthode arithmétique pondérée et selon la norme Algérienne de potabilité.

Après avoir exécuté l'application, l'interface utilisateur de calcul de l'indice de qualité s'affiche. L'utilisateur doit entrer les valeurs des paramètres physico-chimique de l'échantillon d'eau et les valeurs idéales et standard sont liées à la norme utilisé (Algérien, organisation mondiale de la santé, Indien, ...).

Une fois les données sont saisies pour les différents paramètres, le bouton "Calculer" permet de calculer immédiatement l'indice de qualité de l'eau, donc la valeur de l'indice de qualité de l'eau et la classe de l'échantillon d'eau est affichée à la zone d'affichage.

Par la suite, nous donnons un exemple réel dans le cas de 13 paramètres. Les résultats d'analyses d'un échantillon d'eau sont montrés dans le tableau suivant:

Tableau 2: Exemple des résultats d'analyses d'un échantillon d'eau.

Paramètres	Identification	Valeurs mesurées
Paramètre 1	pH	6.81 mg/L
Paramètre 2	Conductivité électrique	1765 μ s/cm
Paramètre 3	Turbidité	0.23 NTU
Paramètre 4	Résidu sec	1905 mg/L
Paramètre 5	Calcium	435 mg/L
Paramètre 6	magnésium	231 mg/L
Paramètre 7	Dureté totale	2231 mg/L
Paramètre 8	Chlorure	208 mg/L
Paramètre 9	Sulfate	1254 mg/L
Paramètre 10	Ammonium	0.008 mg/L
Paramètre 11	Fer	0 mg/L
Paramètre 12	Phosphate	0 mg/L
Paramètre 13	Nitrite	0 mg/L

La figure suivante (figure 22) présente les résultats du calcul à partir des données de l'exemple ci-dessus. Le résultat de calcul montre que la valeur de l'indice de qualité est égale 90,49 et le bouton "classe" montre que l'échantillon d'eau est de bonne qualité.

Paramètres	Valeurs mesurées	Valeurs idéales	Valeurs standard	Poids	
paramètre 1	6.81	7	8.5	3	
paramètre 2	1765	0	2800	3	
paramètre 3	0.23	0	5	2	
paramètre 4	1905	0	2000	2	
paramètre 5	435	0	200	2	Calculer
paramètre 6	463	0	150	2	IQE:
paramètre 7	2231	0	500	3	90.49
paramètre 8	208	0	500	3	Classe:
paramètre 9	1254	0	400	3	Bonne qualité
paramètre 10	0.008	0	0.5	5	
paramètre 11	0	0	0.3	5	
paramètre 12	0	0	0.5	5	
paramètre 13	0	0	0.1	5	
paramètre 14		0			
paramètre 15		0			

Figure 22: Exemple de calcul de l'indice de qualité d'un échantillon d'eau.

3.5 ETUDE STATISTIQUE

La statistique est une méthode qui consiste à réunir des données chiffrées sur des ensembles nombreux, puis à analyser et à interpréter ces données [41].

Dans notre étude, l'analyse statistique des données physico-chimiques est basée sur la description quantitative, le minimum, le maximum, la médiane, la moyenne, la variance, l'écart type et le coefficient de variation. Elle est aussi basée sur l'analyse en composantes principales, qui fait partie des analyses descriptives multivariées. Elle permet d'analyser des tableaux de données numériques quantitatives pour en réduire la dimensionnalité en trouvant un nouvel ensemble de variables plus petit que l'ensemble des variables, qui néanmoins contient la plupart de l'information. Les composantes principales sont obtenues par diagonalisation de la matrice des corrélations bivariées [42].

L'étude statistique a été réalisée, à l'aide d'un programme sous le langage Python (packages : NumPy et sklearn).

L'analyse en composantes principales permet de classer et de traiter les informations relatives aux paramètres physico-chimiques effectués au cours de la période d'étude par l'établissement des corrélations entre l'ensemble des variables de la région d'oued M'Zab .

L'analyse en composantes principales est effectuée sur une matrice des données constituées de 95 prélèvements et 14 variables (la température, le pH, la conductivité électrique, la turbidité, le résidu sec, le calcium, le magnésium, la dureté totale, le chlorure, le sulfate, le fer, l'ammonium, le phosphate, et le nitrite) [43].

3.6 CARACTERISTIQUE DU CHARBON ACTIF ET L'ESSAI D'ADSORPTION

L'objectif de cette partie est de présenter les méthodes de préparation et de caractérisation pour obtenir un charbon actif à base des grignons d'olives dans le première temps, ensuite d'investiguer la capacité de charbon actif dans l'adsorption du phosphate.

3.6.1 Matière première

Les grignons d'olives utilisées dans cette étude sont des déchets issus de l'huilerie, et qui sont collectées au niveau de la zone agriculture de la région d'Oued Metlili, Ghardaïa, Algérie.

3.6.2 Préparation de la matière première

Les grignons d'olives bruts sont lavés plusieurs fois avec l'eau du robinet et à l'eau bouillante pour éliminer les poussières et les impuretés jusqu'à l'obtention d'une eau de rinçage claire, puis rincés à la fin par l'eau distillée.

Les échantillons sont séchés à l'étuve à 105°C pendant 24 heures. Ensuite, ces grignons d'olives sont broyés par un broyeur et tamisés par un tamiseur de type (BeraTest, ISO 3310-1 BS410-1) [44]. Les particules sont conservées dans des flacons fermés hermétiquement [45].

3.6.3 Carbonisation

La matière première obtenue après séchage subi une carbonisation dans un four à moufle à une température de 400 °C pendant une durée de temps de 30 minute. Cette étape permet l'obtention d'un matériau carboné [46].

3.6.4 Activation chimique

Après carbonisation, le carbone est séparé de la substance inorganique activant en dissolvant cette dernière par un lavage approprié. Le chlorure de zinc et l'acide phosphorique sont les agents activant les plus couramment utilisés [47].

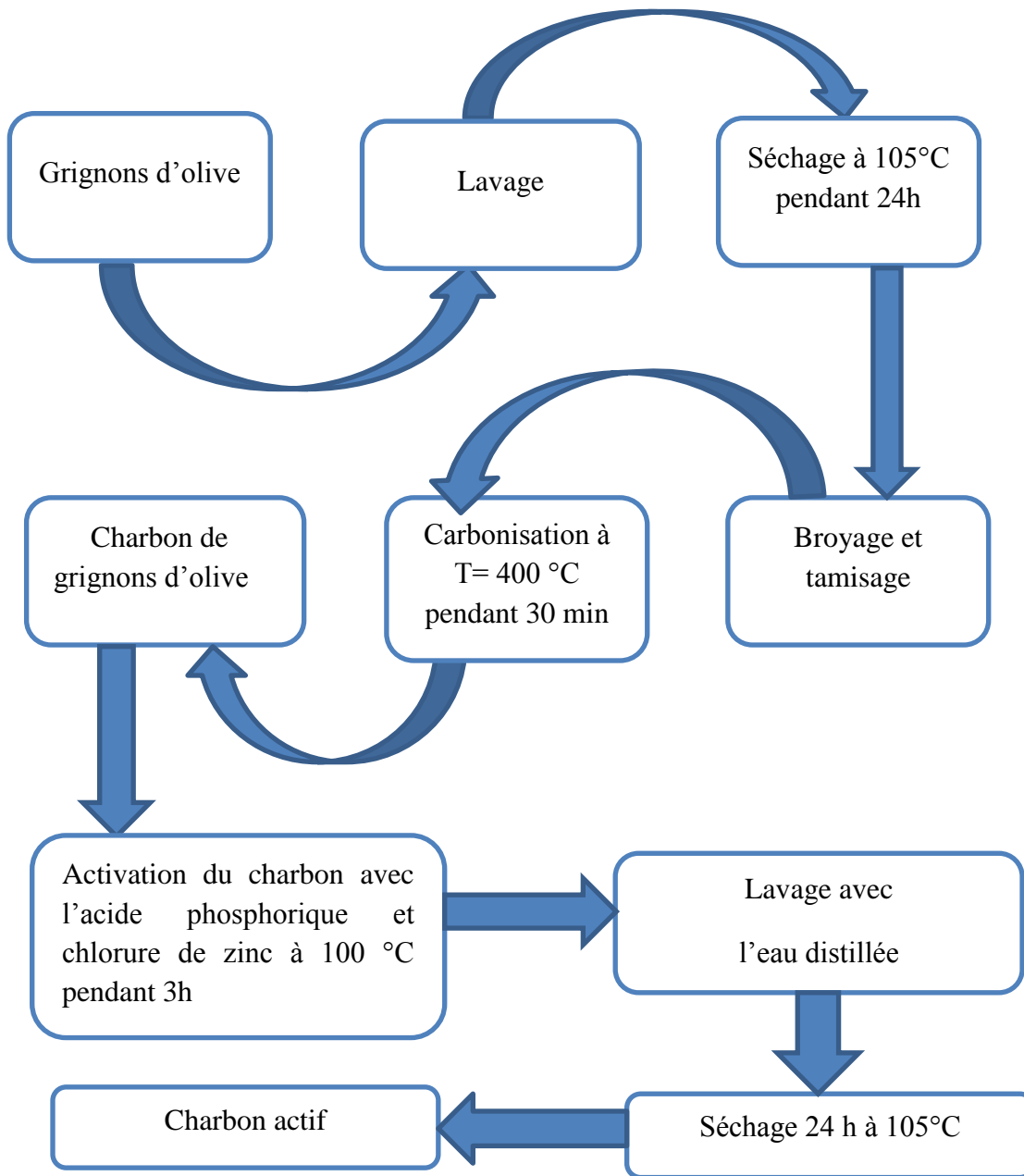


Figure 23: Protocole de préparation du charbon actif.

Dans cette étude, l'activation chimique s'est inclinée sur le mélange de chlorure de Zinc $ZnCl_2$ (2N) et l'acide phosphorique H_3PO_4 (3N). Ensuite, on introduit le mélange charbon et agents activant dans un ballon muni d'un réfrigérant sous une agitation thermique pendant 3 h ($T=100^\circ C$). Après cette étape, le charbon actif est lavé à l'eau distillée pour éliminer l'excès d'agent activant [48] jusqu'à ce que le pH de la solution de lavage soit égal à 7. Puis, le charbon obtenu est séché à l'étuve à une température de $105^\circ C$ pendant 24 h (figure 23).

3.7 CARACTERISATION DE CHARBON ACTIF

3.7.1 Le pH

Le pH du charbon actif a été déterminé en immergeant 1g d'échantillon dans un volume de 100 ml d'eau distillée et en agitant le mélange pendant 1 h, ensuite on mesure le pH à l'aide d'un pH-mètre [49].

3.7.2 La porosité

La mesure de la porosité consiste à mettre dans une éprouvette, une masse de charbon actif m_1 équivalente à un volume V_1 de 1 ml à laquelle est ajouté du méthanol jusqu'à atteindre, un volume totale V_{totale} de 2 ml correspondant à une masse totale m_t . La porosité est calculée au moyen de l'équation suivante [50] :

$$\varepsilon (\%) = \left[\frac{\left(\frac{m_t - m_1}{\rho_{\text{méthanol}}} \right) - V_2}{V_{\text{totale}}} \right] \times 100 \quad (11)$$

Où :

$$V_2 = V_{\text{totale}} - V_1 \quad (12)$$

$\rho_{\text{méthanol}}$: masse volumique du méthanol (g/cm^3).

3.7.3 Détermination de la teneur en eau

L'humidité ou encore teneur en eau d'un échantillon est le rapport entre la masse d'eau contenue dans l'échantillon à sa masse anhydre. L'humidité se détermine en soumettant un échantillon de masse connue à une dessiccation à l'étuve à une température de 105°C jusqu'à masse constante. L'humidité peut s'exprimer en pourcentage [51].

$$H\% = \frac{(m_0 - m_1) \cdot 100}{m_0} \quad (13)$$

Où :

m_0 : la masse totale humide de l'échantillon (g).

m_1 : la masse anhydre correspondante (g).

3.7.4 Taux de cendre

La cendre est le résidu issu de la combustion complète du charbon. Elle est constituée principalement de matière minérale comme la silice, l'aluminium, le fer, le magnésium et le calcium. La présence de cendre dans le charbon activé est considérée comme une impureté,

donc indésirable. Les valeurs typiques de la teneur en cendres doivent être dans la gamme de 5 à 6%. Une masse m de charbon est placée dans un creuset puis déposée dans un four à 650°C jusqu'à ce qu'il n'y est plus de perte de masse détectable. Cela se produit après 7h [52].

Le taux de cendre est calculé par la formule suivante :

$$\text{Taux de cendre} = \left(\frac{m_i - m_f}{m_i} \right) \times 100 \quad (14)$$

Où :

m_i et m_f sont respectivement la masse de charbon avant et après passage au four.

3.7.5 Densité apparente

L'échantillon du charbon actif a été placé dans un cylindre gradué, tapoté plusieurs fois jusqu'à volume constant puis pesé.

La densité apparente a été calculée comme le rapport du poids de l'échantillon à son volume [53].

3.7.6 Diffraction des rayons X (DRX)

La diffraction des rayons X est une technique d'étude, sans contact, utilisée couramment pour identifier les espèces minérales d'une matrice solide. Cette méthode est largement utilisée pour identifier la structure cristalline ainsi que l'orientation des cristallites des couches minces étudiées. Elle permet également de discriminer des espèces minérales de même composition chimique mais de structures cristallines différentes, telles que l'aragonite et la calcite [54].

Le principe de la diffraction de rayons X repose sur la loi de Bragg :

$$n \lambda = 2 d \sin\theta \quad (15)$$

où

λ : est la longueur d'onde des rayons X utilisés,

d : le distance entre les plans réticulaires,

θ : l'angle du faisceau incident et

n : l'ordre de diffraction.

Le rayonnement incident est diffracté par les plans réticulaires si le matériau est cristallin et le rayonnement converge en un point situé sur le cercle de focalisation. Un

balayage d'angle de diffraction est obtenu à l'aide d'un goniomètre où l'échantillon plan effectue une rotation avec un mouvement uniforme de vitesse angulaire v , tandis que le détecteur avec sa fente réceptrice placée sur le point de focalisation tourne autour de l'échantillon avec une vitesse $2v$ [55].

3.7.7 Caractérisation microstructurale au microscope électronique à balayage

La microscopie électronique à balayage (MEB) est une technique de microscopie électronique basée sur le principe des interactions électrons-matière capable de produire des images en haute résolution de la surface d'un échantillon. Le principe du MEB consiste en un faisceau d'électrons balayant la surface de l'échantillon à analyser qui en réponse réémet certaines particules. Ces particules sont analysées par différents détecteurs qui permettent de reconstruire une image en trois dimensions de la surface [56].

3.8 ETUDE D'ADSORPTION

Les essais de l'adsorption de phosphate sur le charbon actif ont été effectués par l'utilisation d'une solution mère de phosphate monopotassique (KH_2PO_4) avec une concentration de 1000 mg/L.

Les suspensions sont préparées par l'ajout sous agitation une dose de 1g /l de charbon actif dans la solution synthétique de phosphate de concentration fixe de 5mg/L pendant un temps de contact de 10 à 200 min.

Après agitation, les suspensions ont été centrifugées et immédiatement filtré au moyen d'une pompe de filtration sous vide, ensuite les surnagent ont été analysés à l'aide d'un spectrophotomètre U.V à une longueur d'onde de 720 nm.

La quantité adsorbée et le rendement d'élimination du phosphate ont été calculés à l'aide des équations (16) et (17) suivantes [57]:

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t) \cdot V}{M} \quad (16)$$

$$R\% = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100 \quad (17)$$

Où :

C_0 : la concentration initiale au temps t (mg/L) ;

C_t : la concentration finale (mg/L) ;

V : le volume de la solution en contact avec l'adsorbant (L) ;

M : la masse de l'adsorbant (g).

3.9 CONCLUSION

En conclusion, nous avons effectué des campagnes de prélèvement sur quatre-vingt – quinze points d'eau souterraines situés dans la vallée d'oued M'Zab pour l'analyse physico-chimique durant les années 2016 et 2017. Ce chapitre dans la première partie présente la zone d'échantillonnage, les détails des méthodes du dosage des éléments physico-chimiques et la présentation du programme que nous avons développé pour calculer l'indice de la qualité de l'eau et pour interpréter nos résultats.

La deuxième partie de ce chapitre, décrit les différentes méthodes d'analyses utilisées pour l'élaboration du charbon actif et les techniques de la caractérisation du matériau utilisé qui est à base des déchets végétales des grignons d'olive. Enfin, nous avons présenté les protocoles expérimentaux afin d'étudier le phénomène d'adsorption du phosphate dans des solutions synthétique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] Bertho C. Procédures d'échantillonnage des eaux souterraines en vue d'une analyse microbiologique. Etat de l'art. Rapport final BRGM /RP-56405-FR. 2008.
- [2] Fondation nationale de la santé. Manuel pratique d'analyse de l'eau. 4 éd. Brésil: Funasa. 2013.
- [3] Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage. Guide pratique : échantillonnage des eaux souterraines. Berne. 2003.
- [4] Abboudi A., Tabyaoui H., El Hamichi F. Etude de la qualité physico-chimique et contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de guigou, Maroc. European scientific journal. Volume 10, Numéro 23. 2014.
- [5] Rodier J., Legube B., Merlet N., Brunet R. Analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Dunod, 9 éd. Paris. 2009.
- [6] Balloy Mwanza P., Katond J.P., Hanocq P. Evaluation de la qualité physico chimique et bactériologique des eaux de puits dans le quartier spontané de Luwoshi (RD Congo).Tropicultura.Volume 37, Numéro 2. 2019.
- [7] Ben Abbou M., Fadil F., El Haji M., Zemzami M. Impact anthropique sur la qualité des eaux souterraines du bassin versant de l'oued Taza (Maroc). European scientific journal. Volume 10, Numéro 5. 2014.
- [8] Benabderrahmane H., Baba Amer Z. Water wells quality assessment using water quality index for the purposes of drinking of M'Zab wadi region. Journal of fundamental and applied sciences.Volume 13, Numéro 1. 2021.
- [9] Nouayti N., Khattach D., Hilali. M. Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc). Journal of materials and environmental science. Volume 6, Numéro 4. 2015.
- [10] Nehme N. Evaluation de la qualité de l'eau du bassin inférieur de la rivière du Litani, Liban : approche environnementale.Thèse doctorat.Université de Lorraine. 2014.
- [11] Baba Amer Z. L'analyse de l'eau physico-chimie, microbiologie .Université de Ghardaïa. 2014.
- [12] Rodier J. L'analyse de l'eau naturelle, eaux résiduaires, eau de mer. 8^{ème} éd, Dénod. Paris. 1996.
- [13] Thierrin J. contribution à l'étude des eaux souterraines de la région de Fribourg (Suisse occidentale). Thèse doctorat. Université de Neuchâtel. 1990.

- [14] Gaagai A. Etude de l'évolution de la qualité des eaux du barrage de Babar (Sud-Est Algérien) et l'impact de la rupture de la digue sur l'environnement. Université Mostefa Ben boulaïd –Batna 2.Thèse doctorat. 2017.
- [15] Chaouki M., Zeddouri A., Siboukeur H., Laaouar M. Etude de la pollution chimique des eaux souterraine (cas des eaux non potables) de la région d'Ouargla, sud-est Algerien. International journal of environment and water. Volume 2, Numéro 5. 2013.
- [16] Al-qawati M., Azami Idrissi Y., Alemad A., Belhaili I., Marc I., Baichouti F., El Kharrim K., Belghyti D. Analyse et Contrôle de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la région Sidi Allal Tazi-Gharb-Maroc. International journal of innovation and applied studies. Volume 13, Numéro 2. 2015.
- [17] Courtois N. Ressources en eaux souterraines en zone de socle de la Vandée-Aspects qualitatifs.BRGM/RP-50394-FR. 2000.
- [18] Benkaddour B. Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Chélif (Algérie). Thèse doctorat. Université de Perpignan. 2018.
- [19] Rashid M., Price N.T., Gracia Pinilla M. Á., O'Shea K. E. Effective removal of phosphate from aqueous solution using humic acid coated magnetite nanoparticles.Water Research.Volume 123. 2017.
- [20] Chaden M. H. Evaluation de la qualité de l'eau du bassin supérieur de la rivière du Litani, Liban : approche hydrogéochimique.Thèse doctorat. Université de Lorraine. 2014.
- [21] Romuald Brice B. K. Élimination des ions ammonium de solutions aqueuses par la silice mésoporeuse (SBA-15) fonctionnalisée avec des groupements organiques acides.Thèse doctorat.Université Laval Québec Canada. 2014.
- [22] Matías Miguel S. A. Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers Approches géochimique, minéralogique et hydrochimique. Planète et Univers [physics].Thèse doctorat. Université Paul Sabatier - Toulouse III. 2008.
- [23] Belhadj M. Z. Qualité des eaux de surface et leur impact sur l'environnement dans la Wilaya de Skikda. Thèse doctorat. Université Mohamed Khider Biskra. 2017.
- [24] Horton RK. An index number system for rating water quality, Journal of the water pollution control federation.1965.
- [25] Brown R., Mccleiland N., Deiniger R., Oconnor M. Water quality index-crossing the physical barrier. In: Proceedings of international conference on water pollution research, Jerusalem.1972.

- [26] Steinhart C.E., Schierow L. J., Sonzogni W.C. An environmental quality index for the Great lakes. Journal of the American water resources association. Volume18, Numéro 6 .1982.
- [27] Tirkey P., Bhattacharya T., Chakraborty S. Water quality indices- important tools for water quality assessment: a review. International journal of advances in chemistry. Volume 1, Numéro 1, 2013.
- [28] Shweta T., Bhavtosh S., Prashant S., Rajendra D., Water quality assessment in terms of water quality index. American journal of water resources. Volume 1, Numéro 1. 2013.
- [29] Mititelu Ionuș O. Water quality index -assessment method of the motru river water quality (Oltenia, Romania). Annals of the university of Craiova, Series Geography. 2010.
- [30] Abbasi T., Abbasi S.A. Water quality indices. Elsevier. 2012.
- [31] Miller W.W., Joung H.M., Mahannah C.N., Garret J.R. Identification of water quality differences in nevada through Index application. Journal of environment quality. Volume 15, Numéro 3.1986.
- [32] Gummadi S. Determination of water quality index for groundwater of Bapatla mandal, Guntur district, Andhra Pradesh, India. International journal of engineering research and technology. Volume 3, Numéro3. 2014.
- [33] Ioanna Z., Vassilios Tsihrintzis A., Georgios Gikas D. Comparative Assessment of Various Water Quality Indices (WQIs) in Polyphytos Reservoir-Aliakmon River, Greece . Proceedings. Volume 2, Numéro 11. 2018.
- [34] Normes Algeriennes (N.A). Norm. Al. 1992, 6360, éd. IANOR.
- [35] Guettaf M., Maoui A., Ihdene Z. Assessment of water quality: a case study of the Seybouse River (North East of Algeria). Applied water science. Volume 7. 2014.
- [36] Akter T., Jhohura F.T., Akter F. et al. Water Quality Index for measuring drinking water quality in rural Bangladesh: a cross-sectional study. J Health Popul Nutr. Volume 35, Numéro 4 .2016.
- [37] Van Rossum, G., Drake, F.L., An Introduction to Python. Network Theory Limited. 2011.
- [38] Langtangen, H. P., A primer on scientific programming with Python. Springer. Volume 6. 2014.
- [39] Nelli F. Python data analytics. Apress Media, California. 2018.
- [40] Willman J. Modern PyQt. Apress, Berkeley, CA. 2021.
- [41] Bahouayila B. Cours de statistique descriptive. DEUG. Congo-Brazzaville. 2016.

- [42] Sadat A.W., N’Goran E. B. Z., Siaka S., Parinet B. Intérêt de l’analyse multidimensionnelle pour l’évaluation de la qualité physico-chimique de l’eau d’un système lacustre tropical : cas des lacs de Yamoussoukro (Côte d’Ivoire). *Journal of applied biosciences*. Volume 38. 2011.
- [43] El Morhit M. Hydrochimie, éléments tracés métalliques et incidences écotoxicologiques sur les différentes composantes d’un écosystème estuarien (Bas Loukkos). Thèse doctorat. Université Mohammed V – Agdal Rabat. 2009.
- [44] Trachi M., Bourfis N., Benamara S., Gougam H. Préparation et caractérisation d’un charbon actif à partir de la coquille d’amande (*Prunus amygdalus*) amère. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*. Volume 18, Numéro 4. 2014.
- [45] Shawal Nasria N., Jibrila M., Abbas M., Zainib A., Mohsina R., Usman Daduma H., Murtala M.A. Synthesis and characterization of green porous carbons with large surface area by two step chemical activation with KOH. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*. Volume 67, Numéro 4. 2014.
- [46] Tchakala I., Bawa L.M., Djaneye-Boundjou G., Doni K.S., Nambo, P. Optimisation du procédé de préparation des Charbons Actifs par voie chimique (H_3PO_4) à partir des tourteaux de Karité et des tourteaux de Coton. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. Volume 6, Numéro 1. 2012.
- [47] Nkania N. Utilisations de charbons actifs dans des procédés d’adsorption de Composés Organiques Volatils et des procédés de catalyse dans l’eau. Thèse doctorat, Université d’Artois. 2010.
- [48] Guedidi H. Préparation et modification de carbones activés pour l’adsorption de polluants organiques émergents: molécules pharmaceutiques et liquides ioniques. Thèse doctorat. Université de Tunis El Manar. 2015.
- [49] Daoud M., Benturki O. Activation d’un charbon à base de noyaux de jujubes et application à l’environnement. Adsorption d’un colorant de textile. *Séminaire International Sur Les Energies Nouvelles Et Renouvelables*. 2014.
- [50] Egwaikhide P.A., Akporhonor E.E., Okieimen F.E. Utilization of coconut fibre carbon in the removal of soluble petroleum fraction polluted water. *International Journal of Physical Sciences*. Volume 2, Numéro 2. 2007.
- [51] Chaouch N. Utilisation des sous-produits du palmier dattier dans le traitement physico-chimique des eaux polluées. Thèse doctorat. Université Hadj Lakhdar – Batna. 2014.

- [52] Chouchene A. Etude expérimentale et théorique de procédés de valorisation de sous-produits oléicoles par voies thermique et physico-chimique. Alimentation et Nutrition. Thèse doctorat. Université de Haute Alsace - Mulhouse, 2010.
- [53] Abo Essis A., Yobouet Yao A., Kouakou Yao U., Trokourey A. Optimisation de la préparation de charbons activés à base d'épis de maïs et caractérisation physico-chimique. *International Journal of Innovation and Applied Studies* . Volume 29, Numéro 4. 2020.
- [54] Mudoga, H. L., Yucel, H., Kincal, N. S. Decolorization of sugar syrups using commercial and sugar beet pulp based activated carbons. *Bioresource Technology*. Volume 99, Numéro 9. 2008.
- [55] Ouakouak A. Elimination du cuivre, des nitrates et des phosphates des eaux par adsorption sur différents matériaux .Thèse doctorat. Université Mohamed Khider – Biskra. 2017.
- [56] Lapuerta S. Etude de la corrosion du fer à l'interface de différents milieux (eau, air) soumis à l'irradiation de protons. Thèse doctorat. Université Claude Bernard-Lyon I. 2005.
- [57] Kouadio D.L., Diarra M., Tra B.T., Akesse D.P., Soro B.D, Aboua K.N., Meite L., Kone M., Dembele A., Traore K.S. Adsorption du colorant textile Jaune 11 sur du charbon actif issu de la coque d'arachide. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. Volume 26, Numéro 4. 2019.
- [58] Mekonnen D.T., Alemayehu E., Lennartz B. Removal of phosphate ions from aqueous solutions by adsorption onto leftover coal. *Water*. Volume 12, Numéro 5. 2020.

**CHAPITRE 4 Variation des paramètres physico-chimiques:
résultats et discussion**

4.1 INTRODUCTION

Le but de cette étude hydrochimique est de déterminer les caractéristiques physico-chimiques des eaux afin de déterminer leurs origines, et de suivre leur évolution dans l'espace et dans le temps. Il sera également étudié la qualité des eaux souterraines vis-à-vis de la potabilité et pour l'irrigation.

Pour cela, un certain nombre des cartes ont été élaborées à l'aide du logiciel ArcGIS, puis nous avons développé un programme sous le langage python pour le calcul et la classification de l'indice de qualité de l'eau, et l'étude statistique comprend l'analyse par composantes principales, l'étude du rapport de l'absorption de magnésium et le risque de salinité.

Ces outils serviront de base pour l'interprétation générale des résultats de mesures des paramètres physico-chimiques.

4.2 ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE

4.2.1 Variation des paramètres physico-chimiques

Les tableaux suivants présentent les résultats des statistiques élémentaires des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la nappe phréatique de la région d'oued M'Zab pour 95 points d'échantillonnages de l'année 2016 et 2017 (tableau 3 ,4).

D'après les résultats d'analyse, on remarque que le pH moyen est de l'ordre de 7,14 pour la première période d'échantillonnage et de l'ordre 7,4 pour la deuxième période d'échantillonnage, ce qui indique une faible variation temporelle.

La nappe phréatique de cette région se caractérise par une conductivité électrique moyenne de 2583,9 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et de 3021,1 $\mu\text{s}/\text{cm}$ pendant les deux séries d'échantillonnages. La valeur moyenne de la conductivité de la période 2017 dépasse la norme Algérienne de la potabilité. Les teneurs moyennes des éléments : résidu sec, calcium, magnésium, dureté totale, chlorure, et les sulfates sont au-dessus de la norme Algérienne de la potabilité.

Le coefficient de variation supérieur à 50 % témoigne d'une certaine inhomogénéité dans l'amplitude des teneurs entre les valeurs minimales et maximales traduisant une grande déviation autour de la moyenne. Tandis que, le coefficient inférieur à 50% indique une faible variation autour de la moyenne de l'ensemble des observations.

Les tableaux 3 et 4, montrent que le coefficient de variation de la température, le pH, le calcium, la dureté totale, est inférieur à 50% pour les deux séries d'échantillonnage. Ceci

est dû à une répartition assez régulière de la concentration de ces éléments dans l'espace. Par contre, les autres paramètres tel que la conductivité électrique, la turbidité, le résidu sec, le magnésium, le chlorure, le sulfate, l'ammonium, le phosphate, et le nitrite présentent des coefficients de variations supérieur à 50 %, qui peut être expliqué par la grande variabilité de la concentration de ces éléments [1].

Tableau 3: Statistiques élémentaires des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la région d'oued M'Zab pour l'année 2016.

paramètres physico-chimiques	Nombre des puits	Min	Max	Moyenne	Variance (Unité) ²	Ecarttype (Unité)	Coefficient de variation
T	95	16	17,7	16,73	0,216	0,47	0,028
pH	95	6,7	8,02	7,14	0,105	0,319	0,045
CE	95	119	8700	2583,97	3041403,6	1753,21	0,678
Turbidité	95	0,1	2,3	0,615	0,513	0,720	1,170
Résidu sec	95	100,7	8000	2247,44	3430764,9	1862,059	0,829
Ca ²⁺	95	83	678,3	305,604	18542,68	136,894	0,448
Mg ²⁺	95	33,3	1408,3	375,714	58205,15	242,534	0,646
TH	95	466,2	3729,4	1705,72	667566,75	821,382	0,482
Cl ⁻	95	89,3	2386,26	735,65	361252,18	604,233	0,821
SO ₄ ²⁻	95	21	3000,05	1189,72	560619,18	752,717	0,633
NH ₄ ⁺	95	0	0,24	0,051	0,003	0,059	1,166
Fe ²⁺	95	0	0,14	0,008	0,001	0,025	2,983
PO ₄ ³⁻	95	0	0,12	0,005	0	0,019	3,944
NO ₂ ⁻	95	0	0,097	0,015	0,002	0,031	2,119

T en °C, EC en (µs/cm), Turbidité en NTU, résidu sec, Ca²⁺, Mg²⁺, TH, Cl⁻, SO₄²⁻, NH₄⁺, Fe²⁺, PO₄³⁻, NO₂⁻ en (mg/L).

Tableau 4: Statistiques élémentaires des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la région d’oued M’Zab pour l’année 2017.

Paramètres physico-chimiques	Nombre des puits	Min	Max	Moyenne	Variance (Unité) ²	Ecarttype (Unité)	Coefficient de variation
T	95	13	16,9	15,59	0,673	0,82	0,0526
pH	95	6,6	8,4	7,402	0,197	0,443	0,060
CE	95	142	9983	3021,168	3529941	1878,814	0,625
Turbidité	95	0,1	3,4	0,704	0,69	0,831	1,186
Résidu sec	95	105	8944	2612,6	4213445	2052,668	0,790
Ca ²⁺	95	99,66	801,6	380,257	25114,9	158,477	0,419
Mg ²⁺	95	38,28	1585,5	451,452	78620,1	280,393	0,615
TH	95	549,4	4600	2066,995	867289,4	931,284	0,453
Cl ⁻	95	108	2567	854,4	411204,1	641,252	0,755
SO ₄ ²⁻	95	22,92	4669,8	1383,923	773798,9	879,658	0,639
NH ₄ ⁺	95	0	0,27	0,059	0,004	0,064	1,104
Fe ²⁺	95	0	0,202	0,016	0,001	0,036	2,237
PO ₄ ³⁻	95	0	0,75	0,017	0,005	0,103	5,802
NO ₂ ⁻	95	0	0,099	0,023	0,003	0,051	2,002

T en °C, EC en (µs/cm), Turbidité en NTU, résidu sec, Ca²⁺, Mg²⁺, TH, Cl⁻, SO₄²⁻, NH₄⁺, Fe²⁺, PO₄³⁻, NO₂⁻ en (mg/L).

4.2.2 La température

D’après les cartes des figures 24 et 25 ci-après, les valeurs de la température varient entre 16 °C et 17,7 °C pour l’année 2016 et entre 13 °C et 16,9 °C pour l’année 2017. Ces valeurs sont inférieures à la valeur guide de la norme Algérienne de potabilité (25°C) et ne présente pas des grandes variations d’un puits à l’autre.

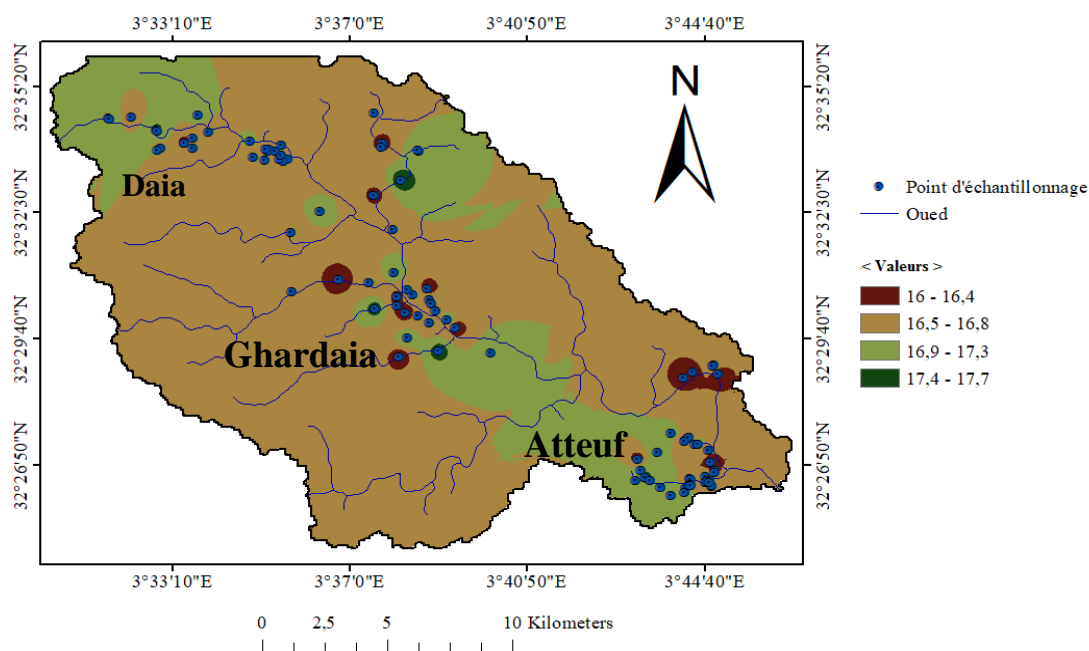


Figure 24: Carte de distribution spatiale de température des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2016.

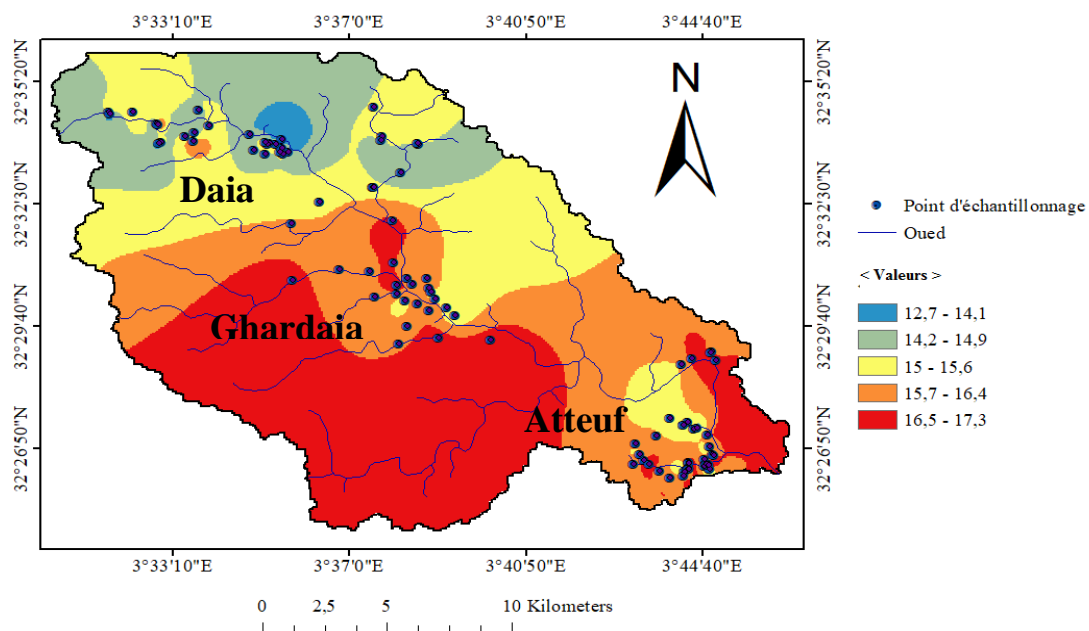


Figure 25: Carte de distribution spatiale de température des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2017.

4.2.3 Le pH

Dans notre région d'étude, les cartes de la distribution spatiale (figure 26,27) montrent que les valeurs de pH oscillent entre 6,7 et 8,02 pendant l'année 2016, où la valeur maximale est localisée au niveau de l'aval de la vallée (puits 81) dans la région d'Atteuf. Pour la période 2017, la valeur de pH varie entre 6,6 et 8,4. Ces valeurs sont enregistrées au niveau du puits 86 et 57 qui appartient à la région d'Atteuf et Ghardaïa respectivement.

Pour les différents points analysés, la majorité des eaux des puits sont légèrement basiques, et d'une faible variation. Ils sont tous conformes aux normes Algérienne de la potabilité (6,5 – 8,5).

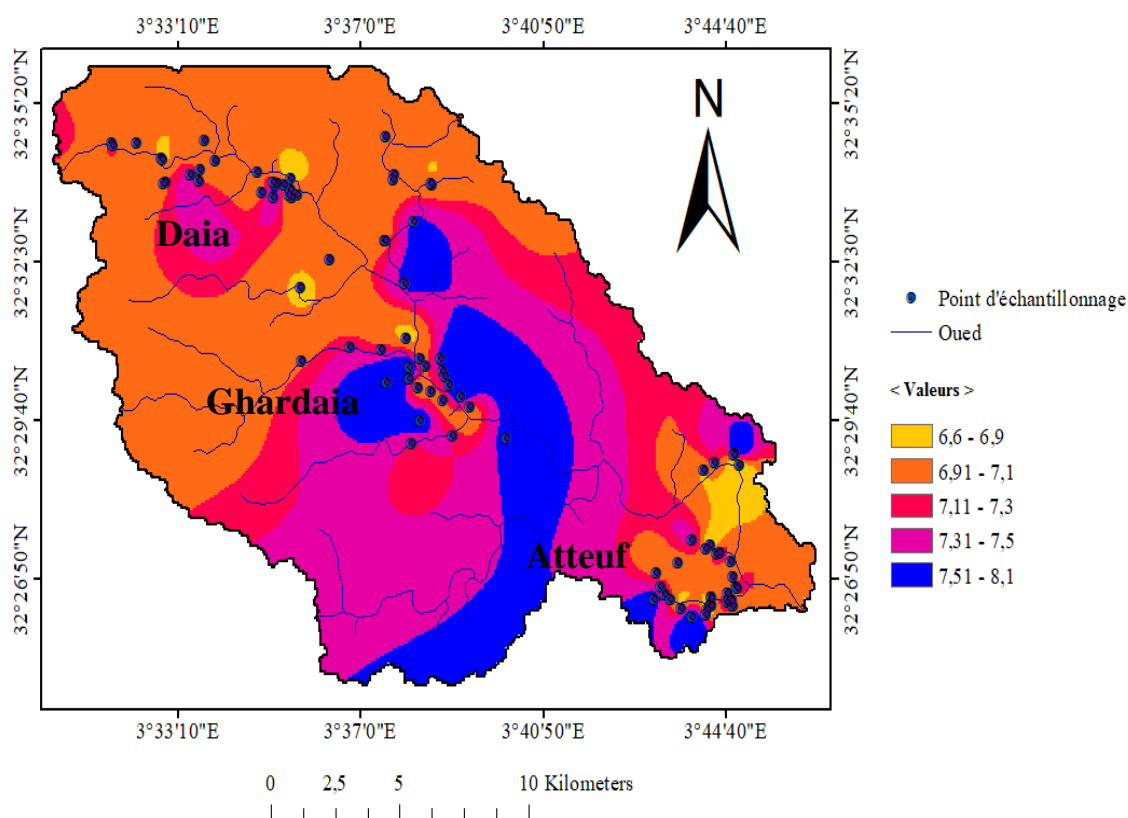


Figure 26: Carte de distribution spatiale de pH des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2016.

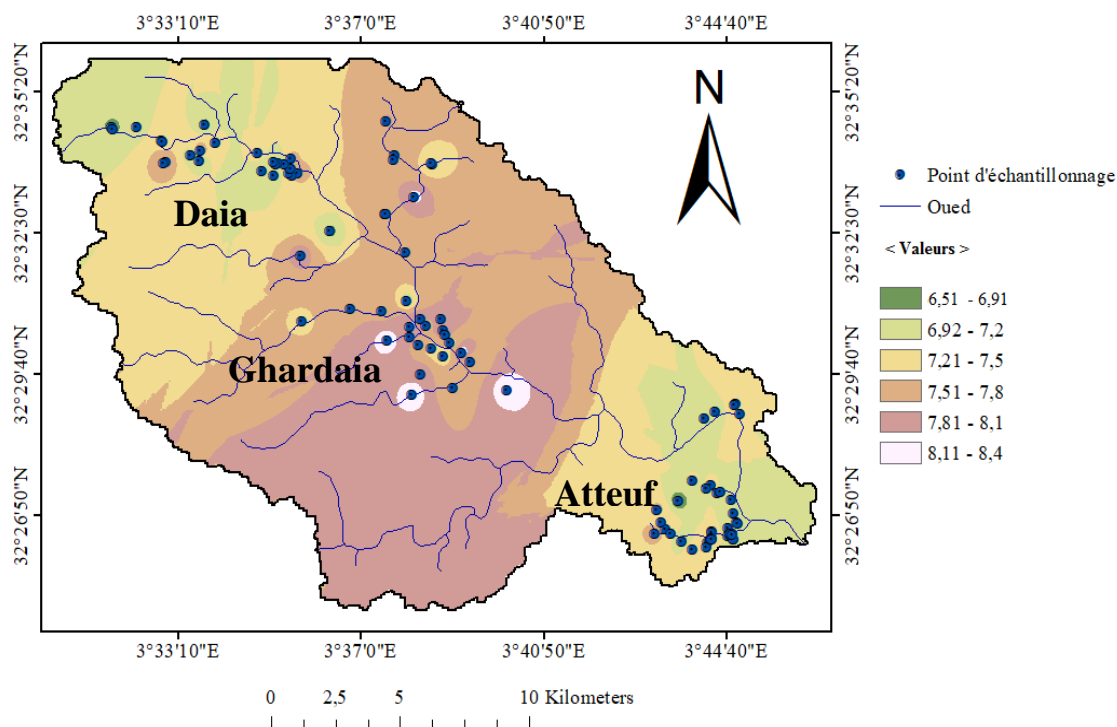


Figure 27: Carte de distribution spatiale de pH des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2017.

4.2.4 La conductivité électrique

Les deux figures suivantes (figure 28,29) présentent la variation spatiale de la conductivité électrique dans la région de la vallée d'oued M'Zab.

Les valeurs de la conductivité électrique pour l'année 2016, varient entre 119 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et 8700 $\mu\text{s}/\text{cm}$ au niveau de la région d'Atteuf pour les puits 85 et 87 respectivement, et entre 142,4 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et 9982,9 $\mu\text{s}/\text{cm}$ pour la deuxième campagne d'échantillonnage.

Au niveau des régions de Daia et de Ghardaïa, les valeurs de la conductivité électrique des puits analysés indiquent une minéralisation moyennement élevée. Par ailleurs, les valeurs de la conductivité électrique sont plus élevées dans la région d'Atteuf, avec 62 % ,67% des puits analysés dépassent la norme Algérienne de la potabilité ce qui implique une salinité d'eau élevée, ceci est due aux taux élevés des ions chimiques dans les eaux de ces puits situés en aval de la nappe, et aussi l'utilisation des fertilisants dans les pratiques agricoles [2].

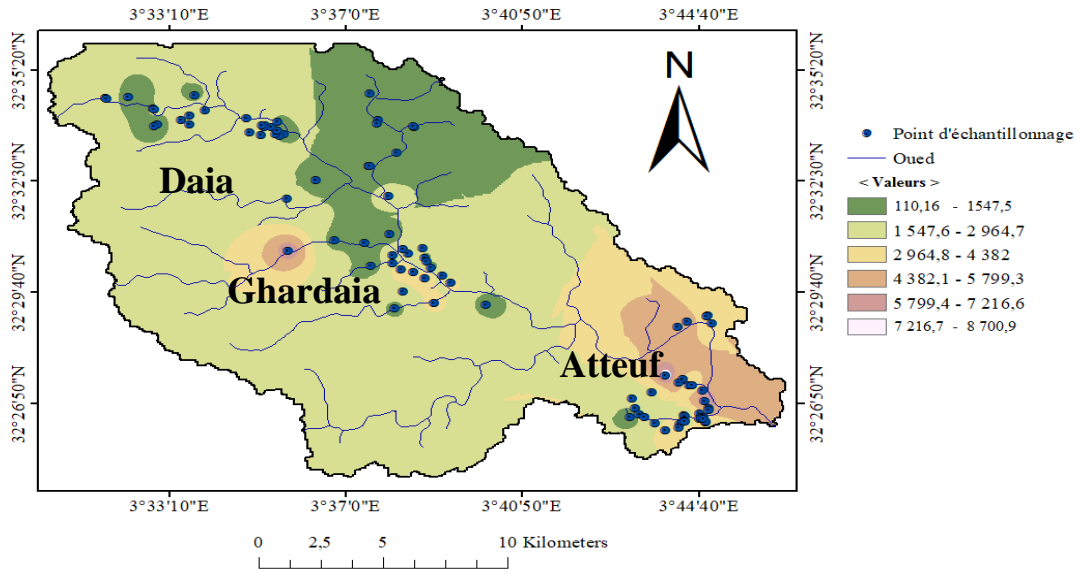


Figure 28: Carte de distribution spatiale de la conductivité électrique des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2016.

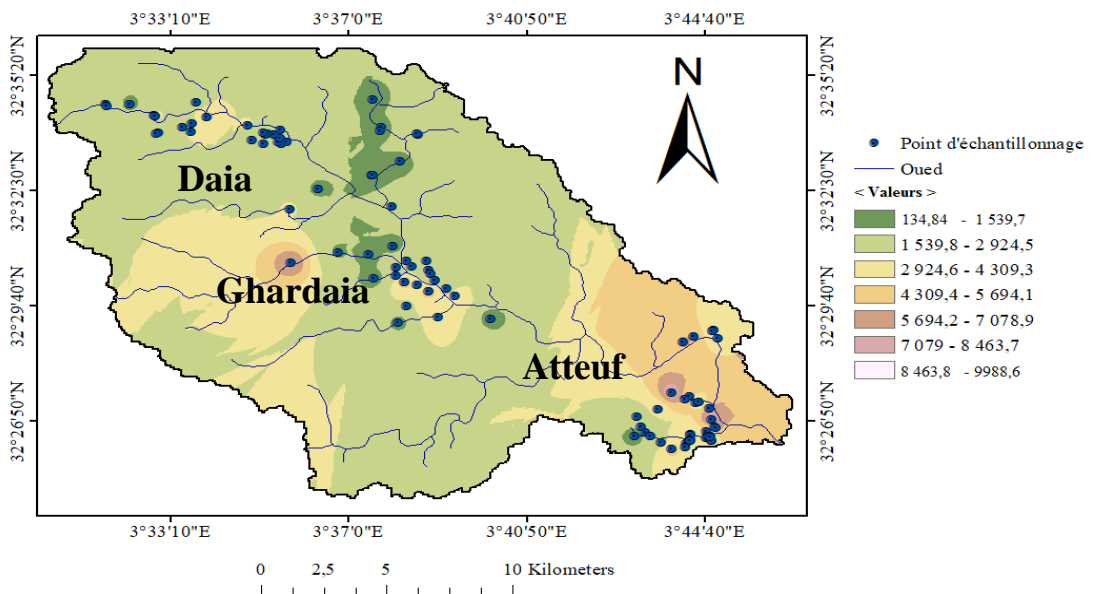


Figure 29: Carte de distribution spatiale de la conductivité électrique des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2017.

4.2.5 La turbidité

Les cartes suivantes présentent les variations spatiales de la turbidité dans la vallée d'oued M'Zab (figure 30, 31).

D'après les cartes, on observe que tous les points analysés sont au-dessous de la norme Algérienne de la potabilité (5 NTU), dont la valeur maximale est égale à 3,4 NTU. Cette valeur est localisée au niveau du puits 68 dans la région d'Atteuf. Ainsi la valeur minimale est enregistrée au niveau du puits 89 pour l'année 2016, et qui est de l'ordre de 0,1 NTU.

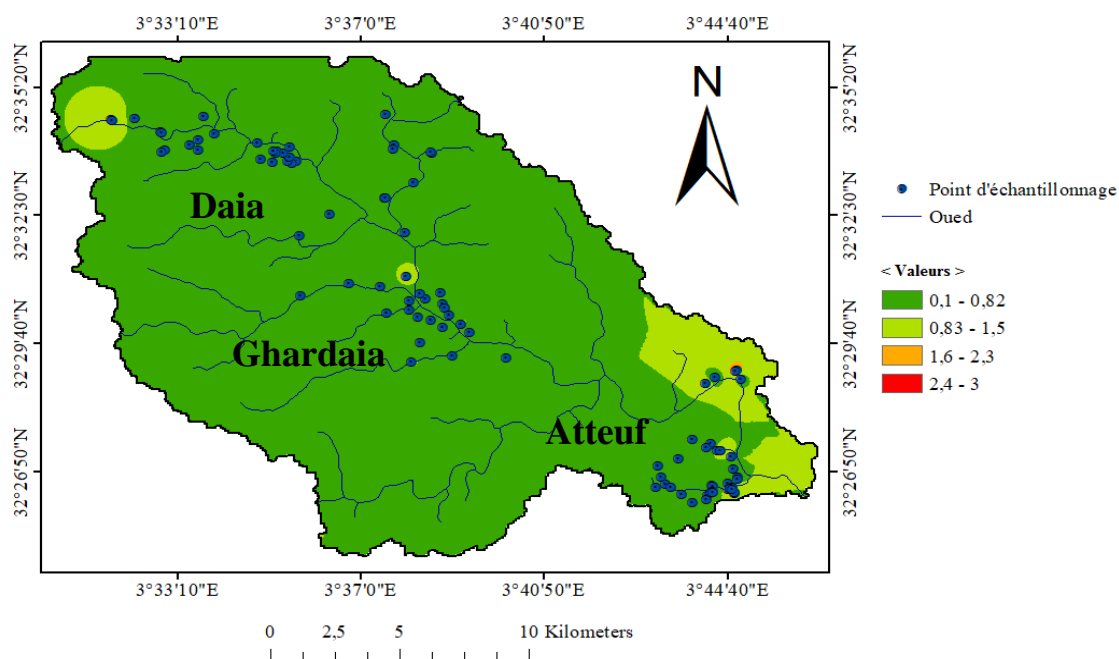


Figure 30: Carte de distribution spatiale de la turbidité des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2016.

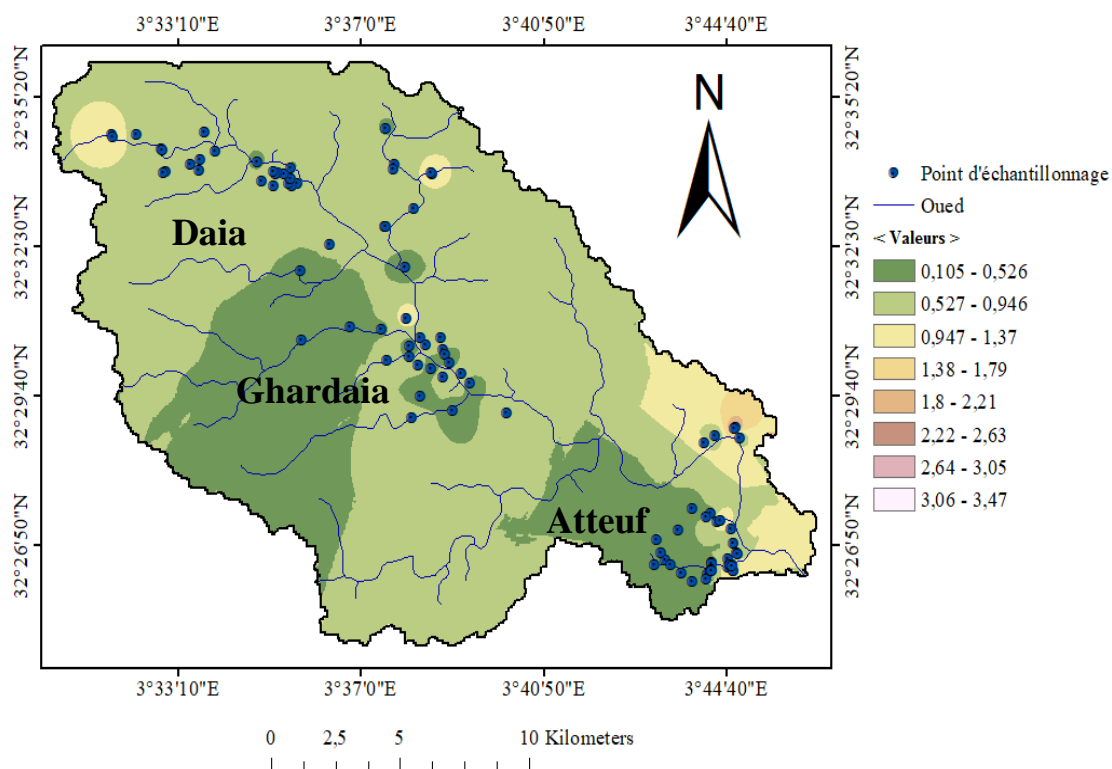


Figure 31: Carte de distribution spatiale de turbidité des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2017.

4.2.6 Le résidu sec

D'après les cartes de la distribution spatiale (figure 32,33), les concentrations des résidus secs des puits analysées varient entre 100,7 mg/L et 8000 mg/L durant l'année 2016 et de 105 mg/L à 8944 mg/L pour l'année 2017.

La valeur maximale du résidu sec est localisée au niveau du puits 62 dans la région d'Atteuf et pour l'année 2017, dont 57 % et 51% des puits analysés respectent la norme Algérienne de l'eau potable (2000 mg/L) pour les deux périodes d'échantillonnages respectivement.

Les concentrations élevées du résidu sec sont dus probablement à la dissolution des sels contenus dans le sol.

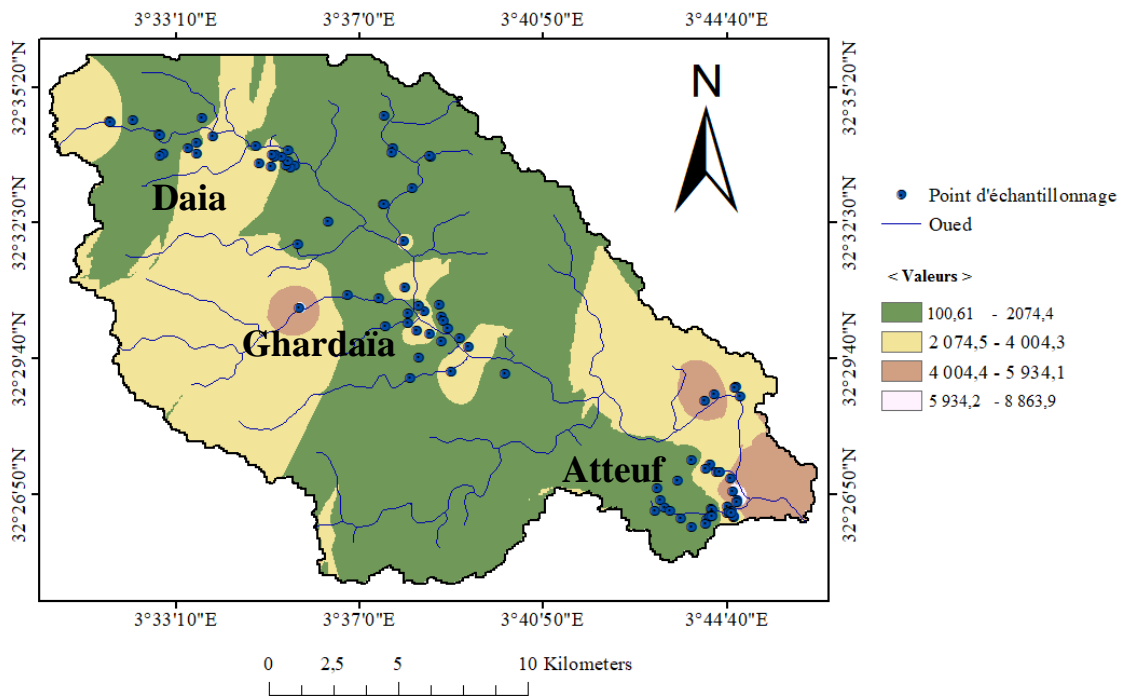


Figure 32: Carte de distribution spatiale de résidu sec des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab phréatique pour l'année 2016.

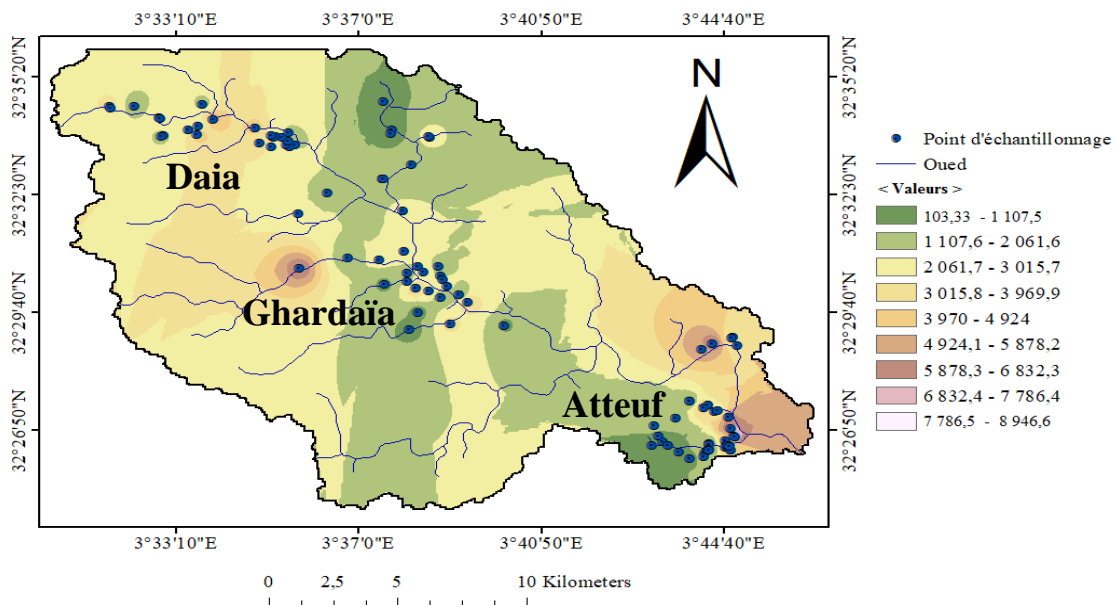


Figure 33: Carte de distribution spatiale de résidu sec des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2017.

4.2.7 La dureté totale

Les cartes des variations spatiales de la dureté totale des puits analysés (figure 34,35) montrent que la majorité des puits sont supérieures à la norme Algérienne de potabilité pour la première période d'échantillonnage.

Pour la deuxième période d'échantillonnage, on remarque que la totalité des puits sont supérieures à la norme Algérienne de potabilité (500 mg/L) et qui présentent des eaux très dures (supérieur à 300 mg /l), à l'exception du puits p37 qui est situé dans la région de Ghardaïa.

Cela est dû à la nature calcaire des terrains et au lessivage des ions calcium et magnésium dans les eaux souterraines [3].

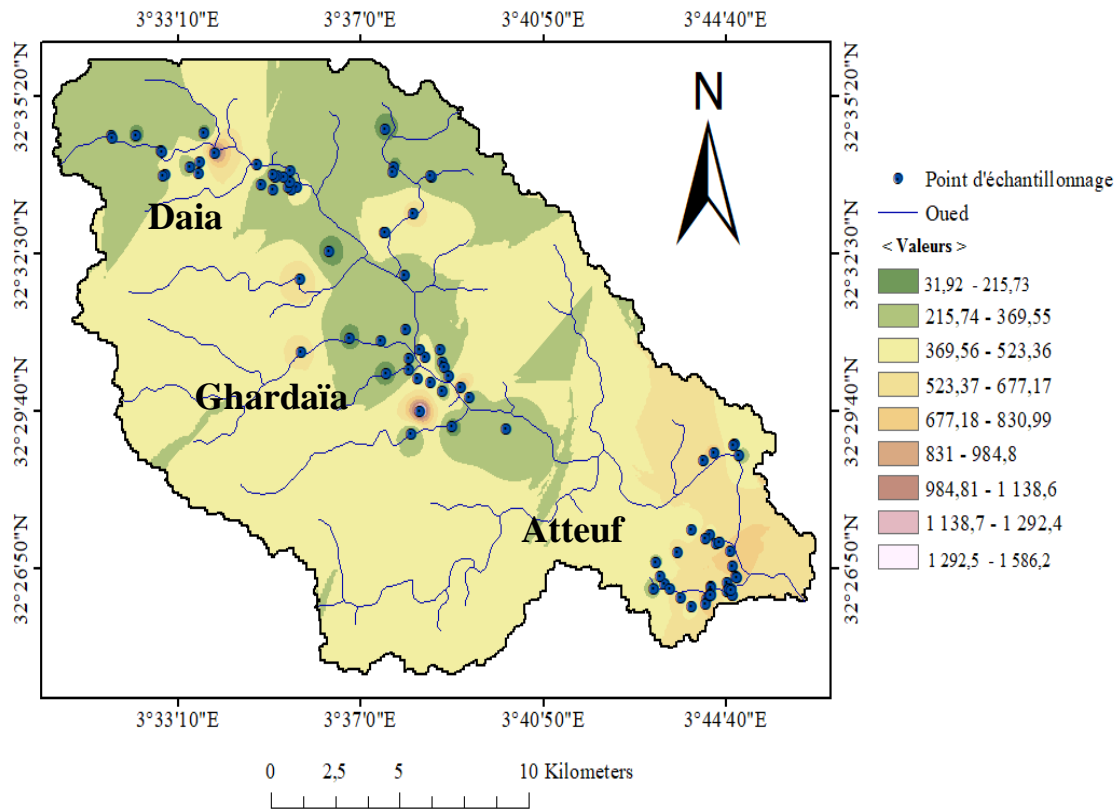


Figure 34: Carte de distribution spatiale de la dureté totale des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2016.

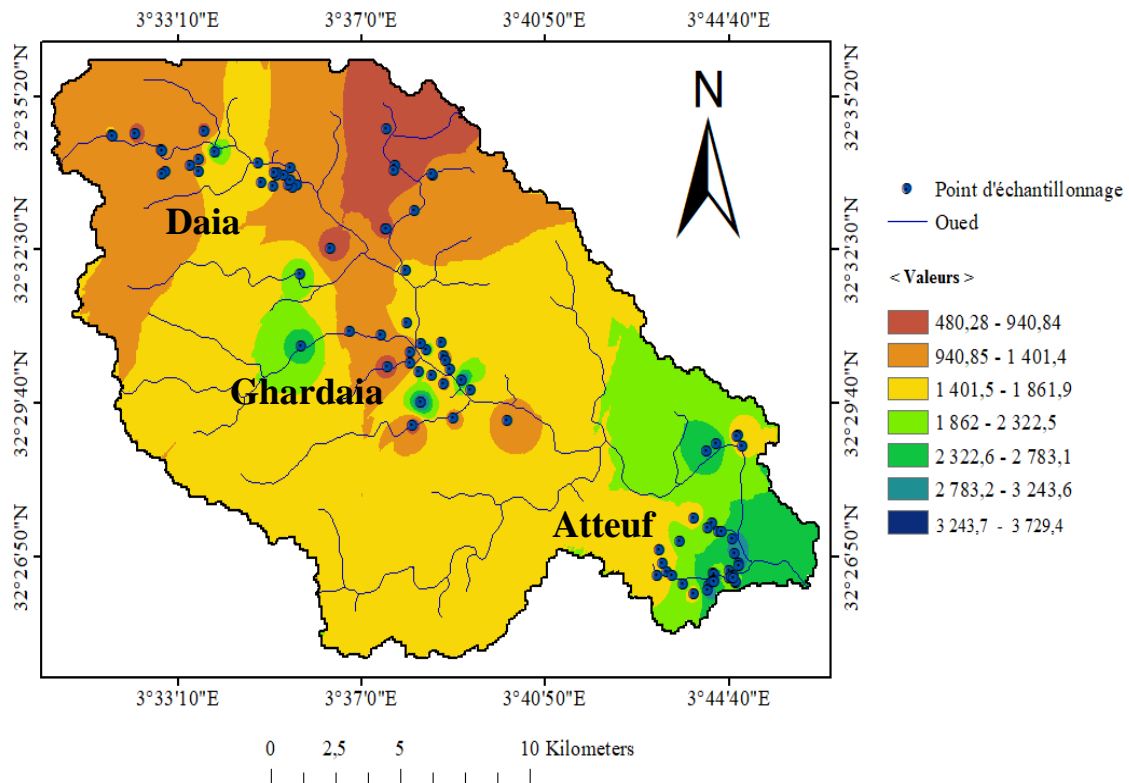


Figure 35: Carte de distribution spatiale de la dureté totale des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2017.

4.2.8 Le calcium

Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables et sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés (terrain calcaire ou gypseux) [4].

D'après les deux cartes (figure 36,37), les teneurs en calcium sont élevés avec un minimum de 83 mg/L au niveau du puits 17 et un maximum de 801,6 mg/L au niveau du puits 1.

D'autre part, les teneurs en calcium dépassent en majorité la norme Algérienne de la potabilité (200 mg/L) par un pourcentage de 76% et 87% pour les années 2016 et 2017 respectivement. Ces teneurs élevés pourraient impliquer par la dissolution de calcaires.

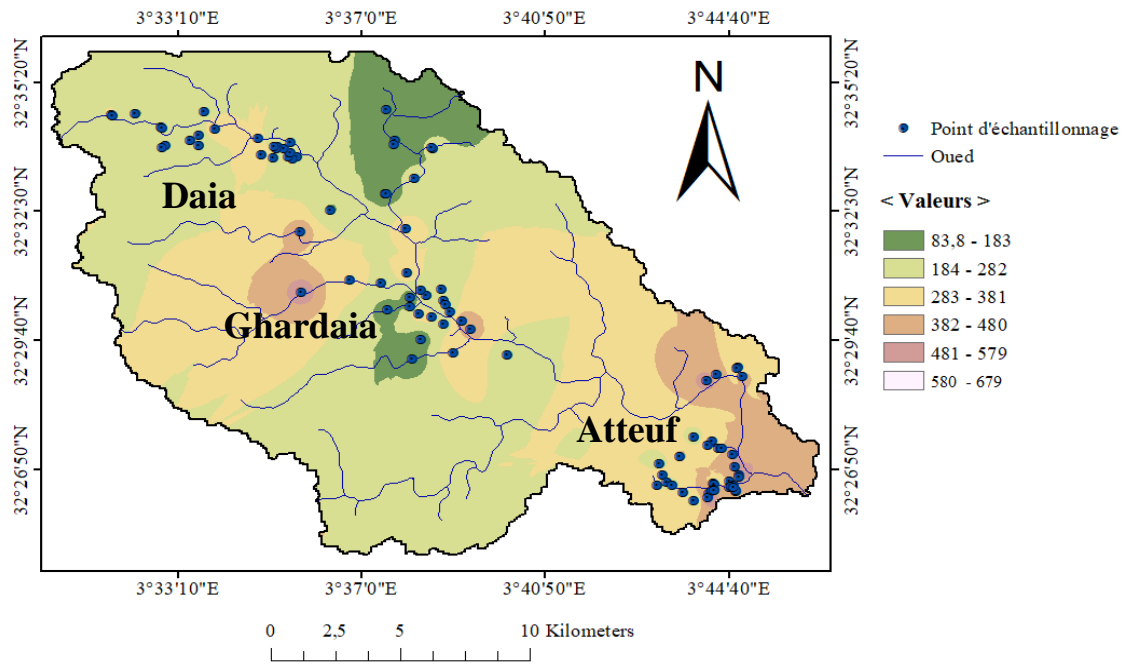


Figure 36: Carte de distribution spatiale de calcium des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2016.

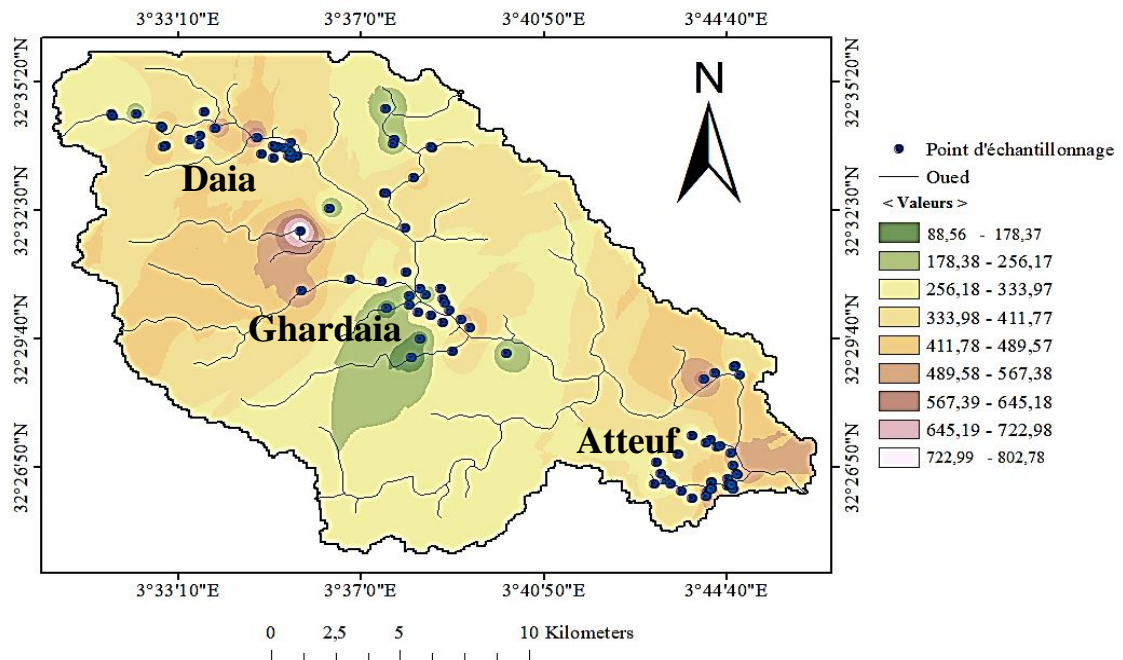


Figure 37: Carte de distribution spatiale de calcium dans des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2017.

4.2.9 Le magnésium

La source la plus commune du magnésium est l'érosion des roches, et les minéraux, comme la magnésite [5].

La concentration du magnésium oscille entre 33,3 mg/L à 1408,3 mg/L pour la première campagne et entre 38,2 mg/L à 1457,5 mg/L pour la deuxième campagne (figure 38,39).

Les valeurs des concentrations de magnésium dépassent la norme Algérienne de l'eau potable dans 86 % et 85 % des totalités des cas pour l'année 2016 et 2017 respectivement.

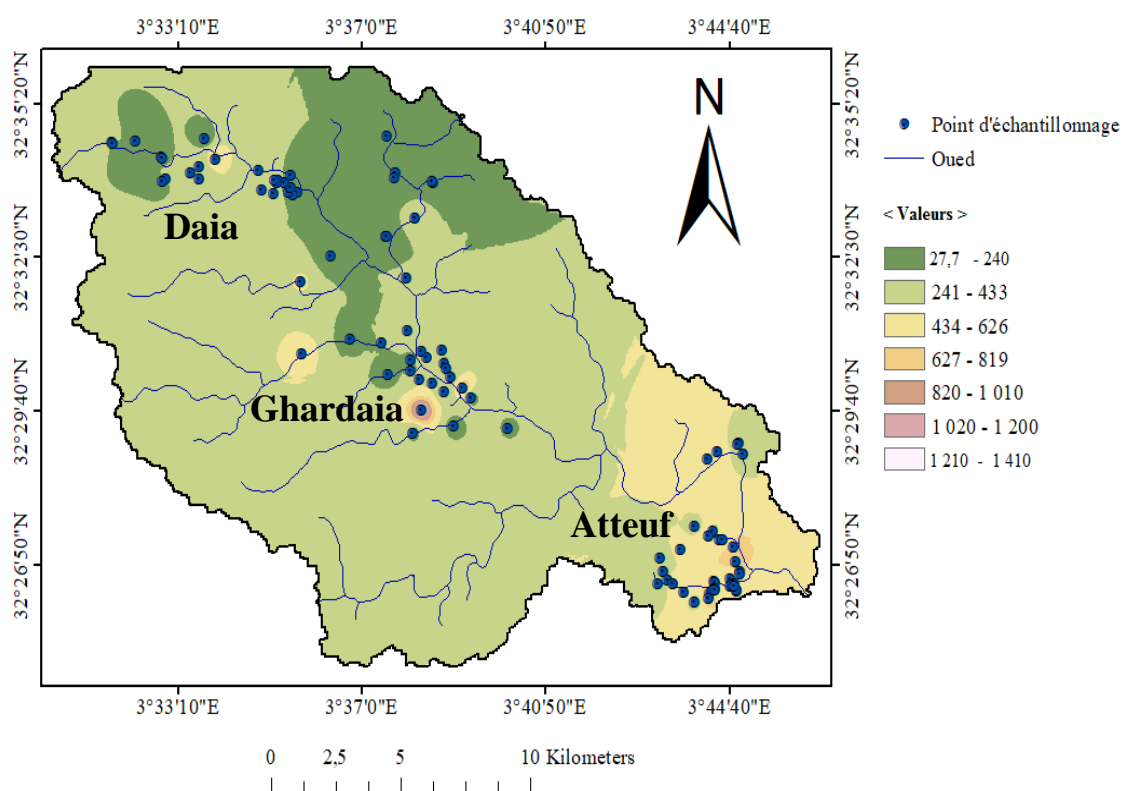


Figure 38: Carte de distribution spatiale de magnésium des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2016.

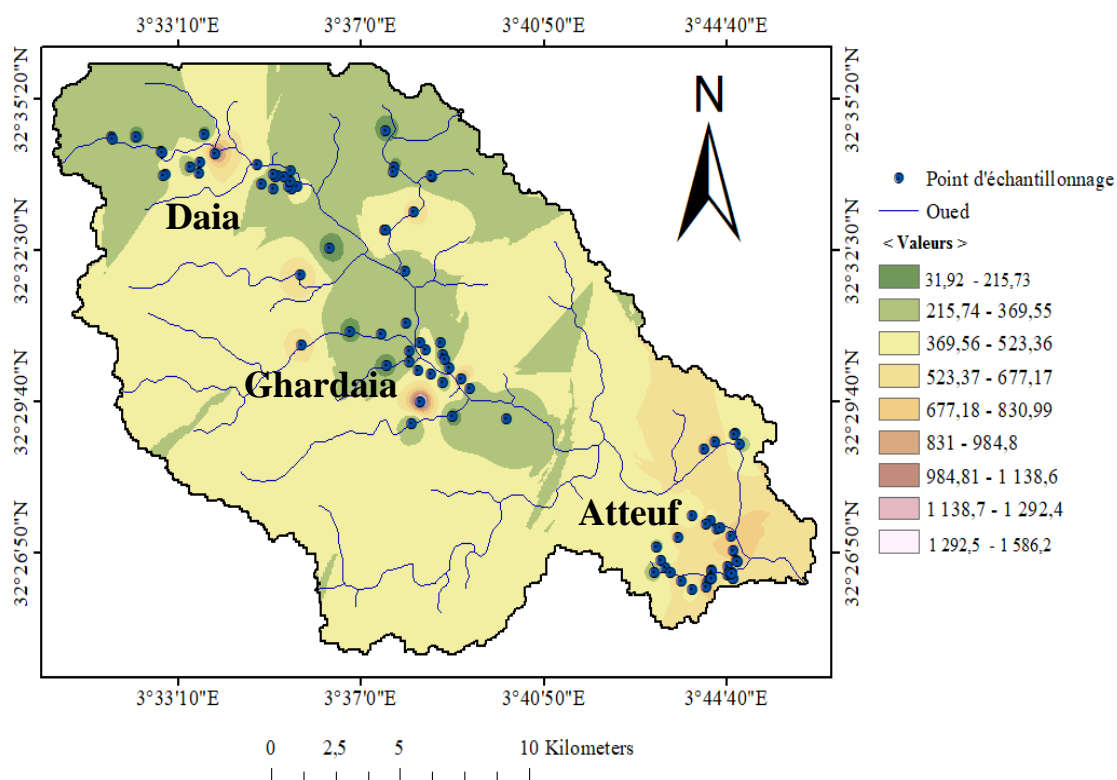


Figure 39: Carte de distribution spatiale de magnésium dans des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2017.

4.2.10 Les chlorures

La présence de chlorure dans les eaux est due le plus souvent à la nature des terrains traversés. On le retrouve dans presque toutes les eaux naturelles [6].

D'après les deux cartes (figure 40,41), les concentrations des chlorures durant les deux séries d'échantillonnage sont peu élevées en amont de la vallée (la région de Daia), tandis que les valeurs les plus élevées sont observées en aval de la vallée (la région d'Atteuf).

Les valeurs des teneurs des chlorures varient entre 89,3 mg/L et 2386,2 mg/L, et oscillent entre 108 mg/L et 2567 mg/L durant les deux périodes d'échantillonnages respectivement. Cela peut être causé par des sources de pollution telle que les fosses septiques et par des sources naturelles par lessivages des évaporites contenues dans les alluvions de l'Oued M'Zab.

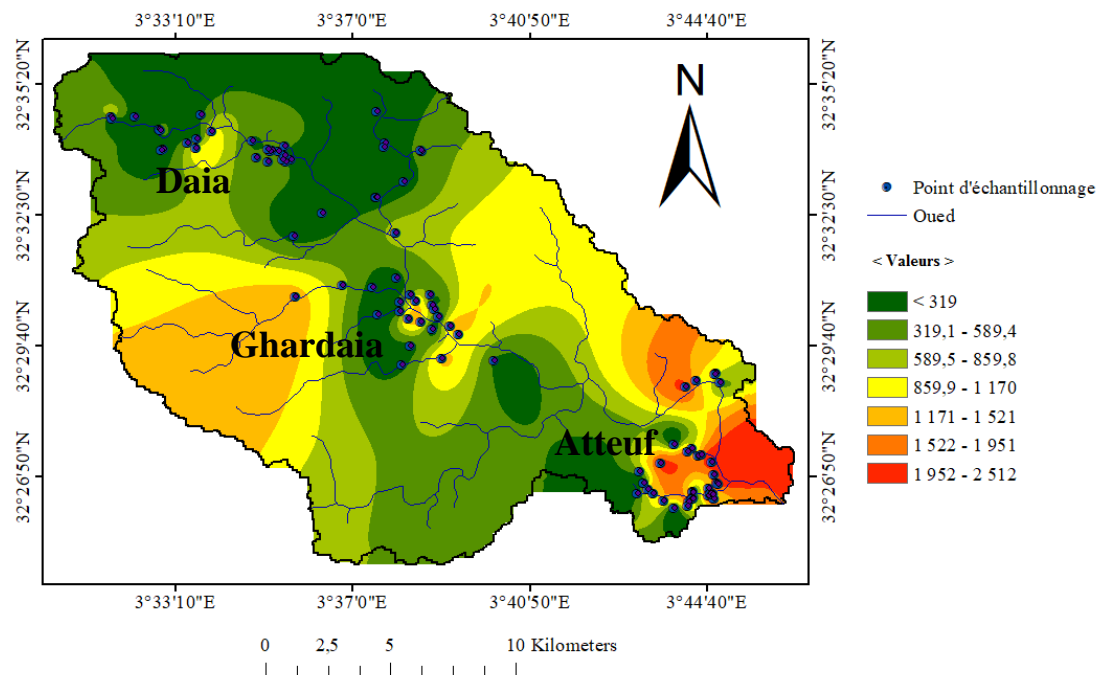


Figure 40: Carte de distribution spatiale de chlorure dans des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2016.

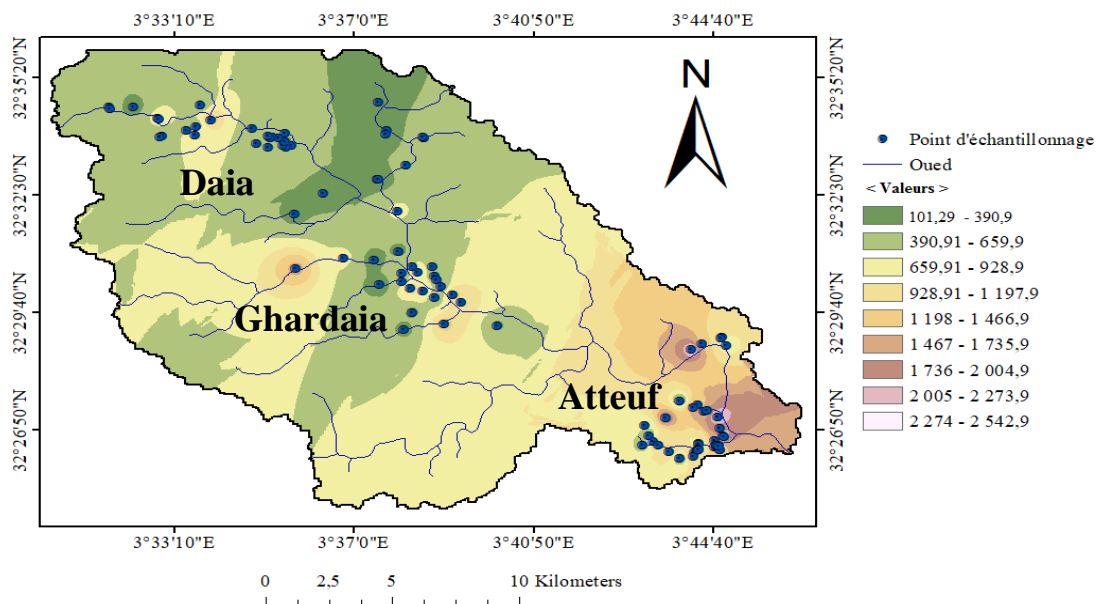


Figure 41: Carte de distribution spatiale de chlorure dans des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2017.

4.2.11 Les sulfates

La présence des sulfates dans les eaux souterraines peut être d'origine naturelle ou anthropique.

Sur l'ensemble des puits analysés (figure 42, 43), les concentrations du sulfate atteignent un maximum de 4669,8 mg/L qui est localisé au niveau du puits 16 et un minimum de 21mg /l qui est situé au niveau du puits 20 pendant les deux séries d'échantillonnage.

Les valeurs enregistrées dépassent la norme Algérienne (400 mg/L) avec plus de 83% et 91% pour les deux périodes d'échantillonnages respectivement. Ces taux élevés peuvent être dus à l'évaporation élevée et aux activités agricoles qui se manifestent par l'utilisation des pesticides, peuvent provoquer un enrichissement des eaux en sulfates [7].

En aval de la vallée, les concentrations des sulfates sont les plus élevées, cela est dû vraisemblablement, au niveau statique de la nappe qui est proche du sol d'une part, et suivant le sens d'écoulement de la nappe qui favorise l'acquisition des concentrations car les eaux souterraines s'écoulant le long de la direction de Nord -Ouest vers le Sud- Est sont progressivement chargées [8].

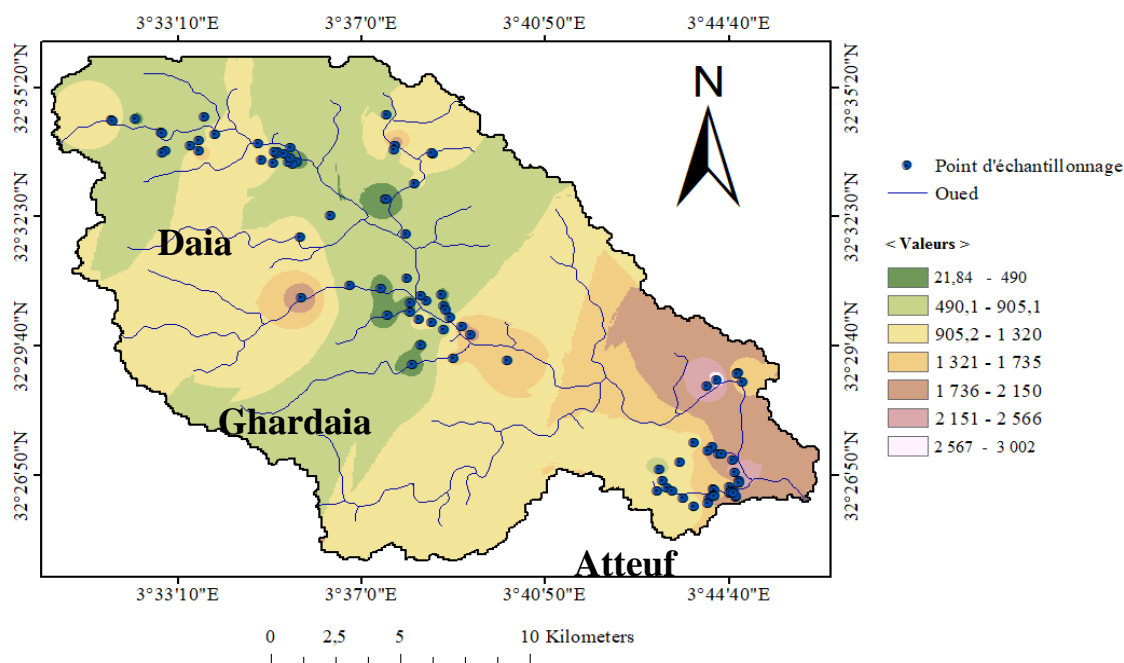


Figure 42: Carte de distribution spatiale des sulfates des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2016.

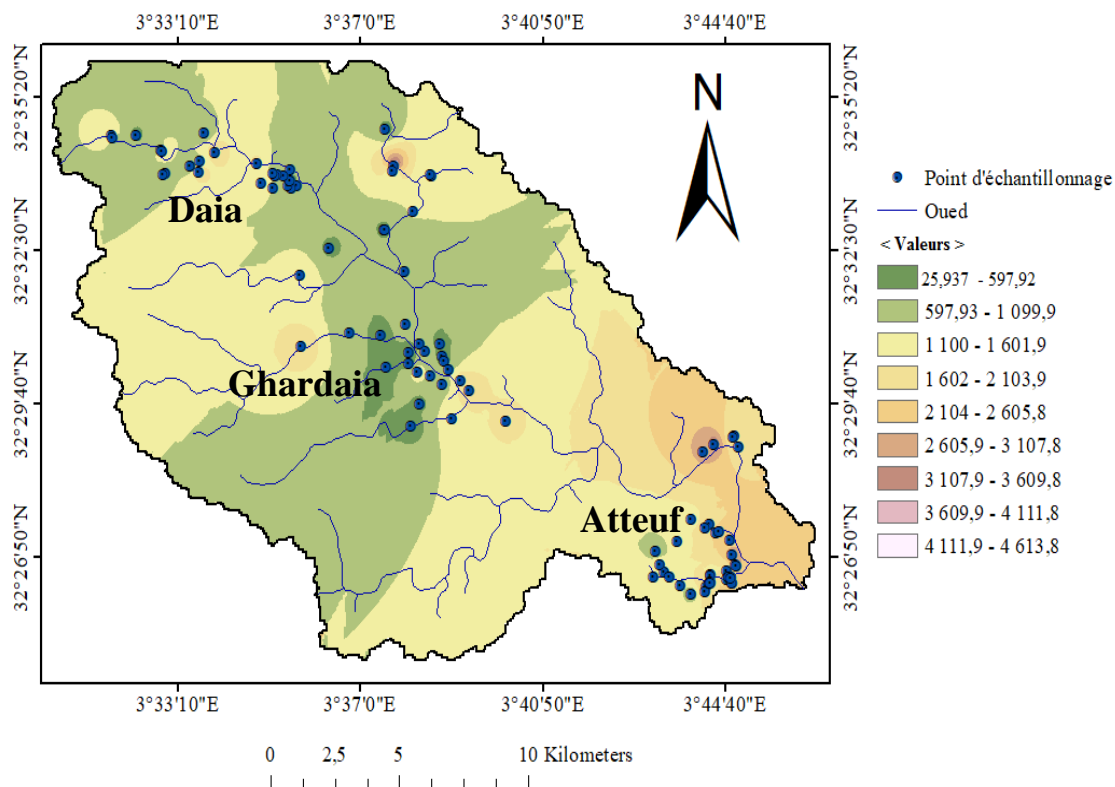


Figure 43: Carte de distribution spatiale des sulfates des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2017.

4.2.12 L'ammonium

Les concentrations élevées d'ammonium dans les eaux souterraines sont un indicateur courant d'impact anthropique, comme le lixiviat de décharge ou l'activité agricole.

L'ammonium peut également être présent dans les eaux souterraines par la décomposition de matières organiques naturelles [9].

Les figures suivantes (figure 44,45) montrent les résultats de la distribution spatiale d'ammonium dans la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2016 et 2017.

La valeur maximale est égale à 0,27 mg/L, cette dernière est enregistrée au niveau du puits 83 dans la région d'Atteuf. Ainsi, les concentrations des totalités des puits analysés sont au-dessous de la norme algérienne qui est de 0,5 mg/L.

4.2.13 Le fer

D'après les cartes des distributions spatiales du fer (figure 46, 47), on remarque que les valeurs de la concentration de fer de tous les points analysés sont largement inférieures à la norme Algérienne de la potabilité (0,3 mg/L), dont la valeur maximale égale à 0,202 mg/L au niveau du puits 14 dans la région de Daia.

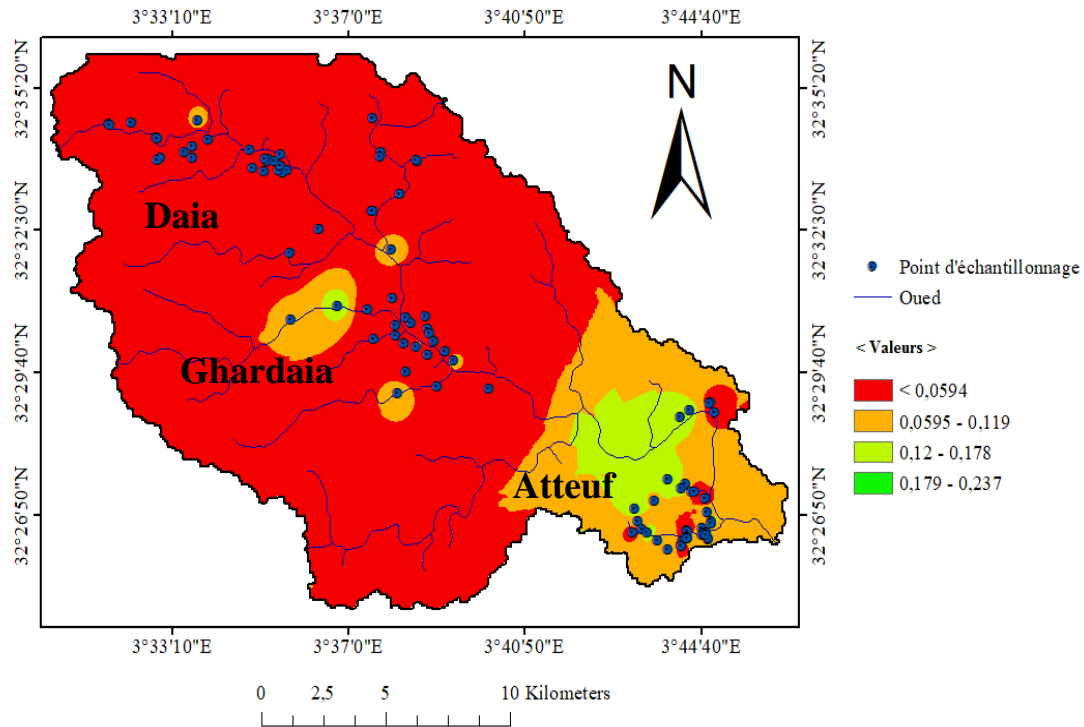


Figure 44: Carte de distribution spatiale d'ammonium des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2016.

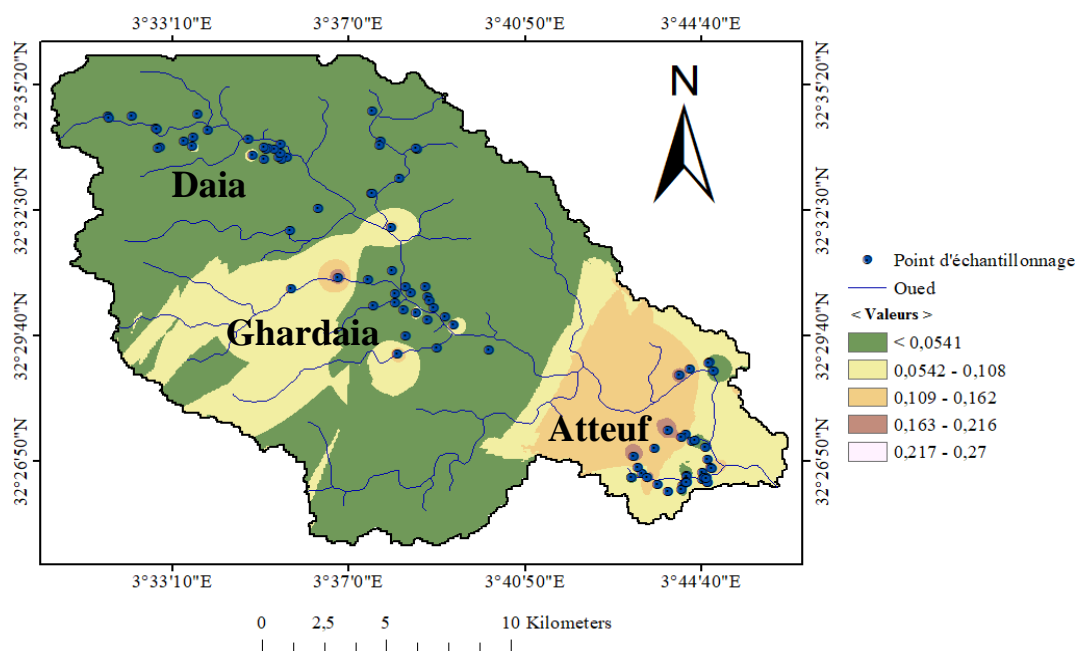


Figure 45: Carte de distribution spatiale d'ammonium des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2017.

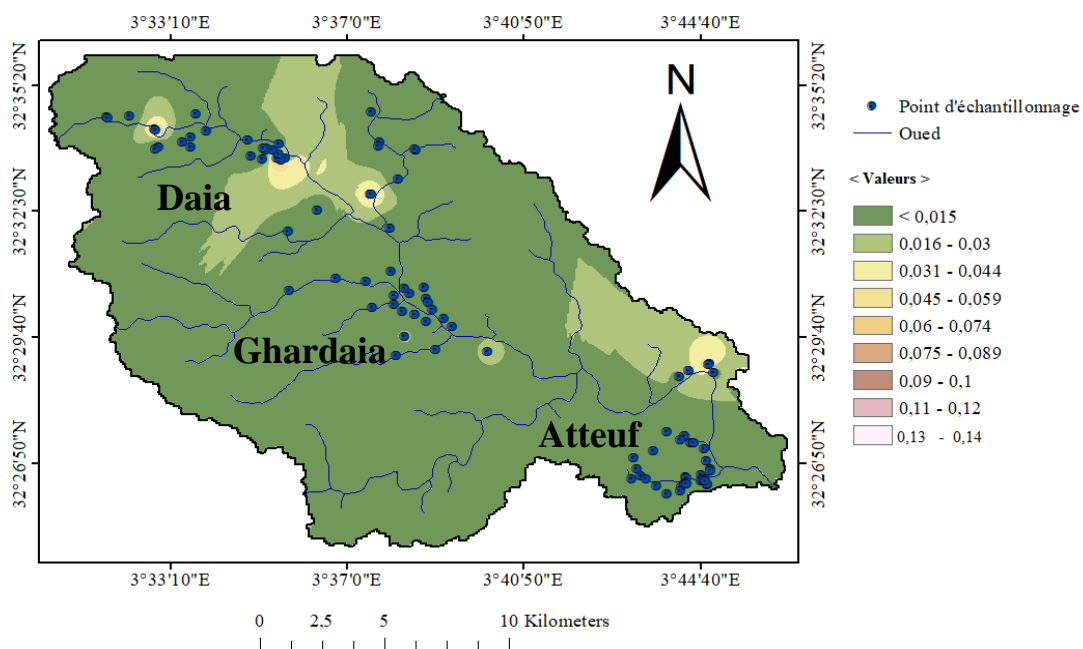


Figure 46: Carte de distribution spatiale de fer des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2016.

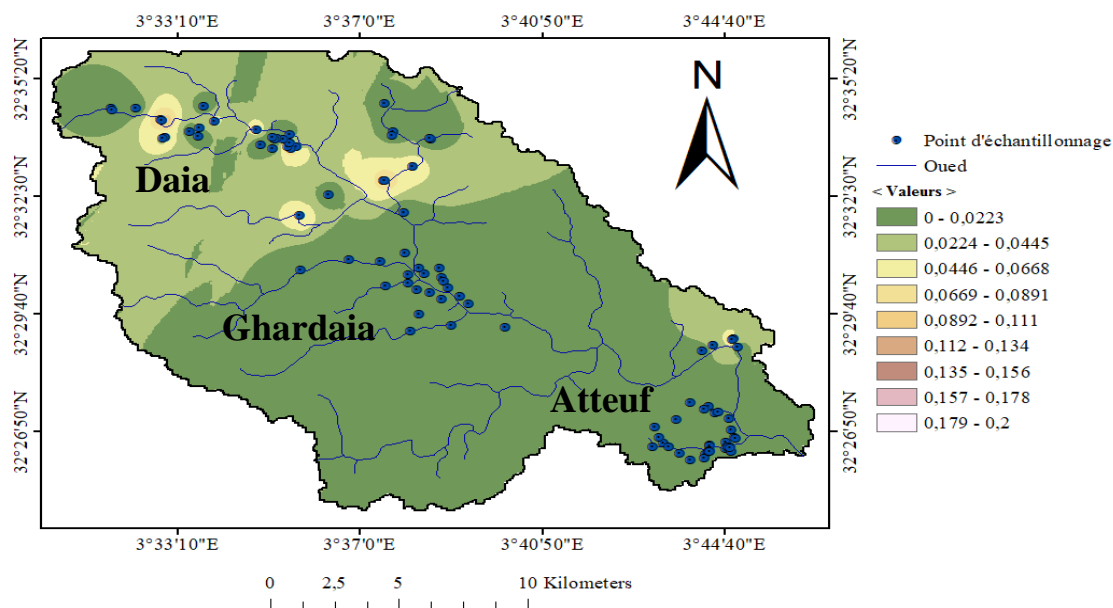


Figure 47: Carte de distribution spatiale de fer des eaux souterraines de la vallée d’oued M’Zab pour l’année 2017.

4.2.14 Les phosphates

Les cartes suivantes présentent les variations spatiales de phosphate dans la vallée d’oued M’Zab (figure 48,49).

Les concentrations de phosphate sont largement inférieure à la valeur admissible, à l’exception le puits 11 et le 62, ou elles ont atteint des concentrations de 0,67 mg/L et 0,75 mg/l respectivement. L’un situé en amont dans la région de Daia (Puits 11), et l’autre en aval au niveau d’El Atteuf (Puits 62). Ces valeurs dépassent la norme Algérienne de potabilité (0,5 mg/L) [10].

La cause de cette élévation est due probablement à la pollution de surface par l’utilisation abusive des fertilisants chimiques et les activités d’élevage pratiqué à la proximité de ces deux puits, ainsi que l’existence des fosses septiques et la dégradation du réseau d’assainissement [11].

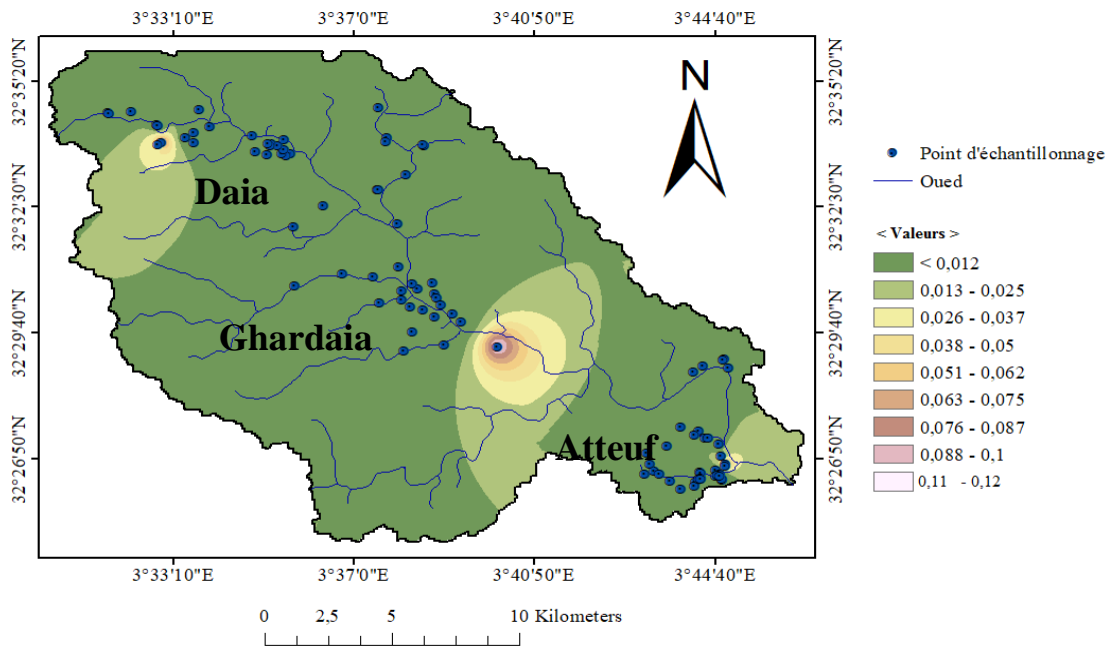


Figure 48: Carte de distribution spatiale de phosphate des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2016.

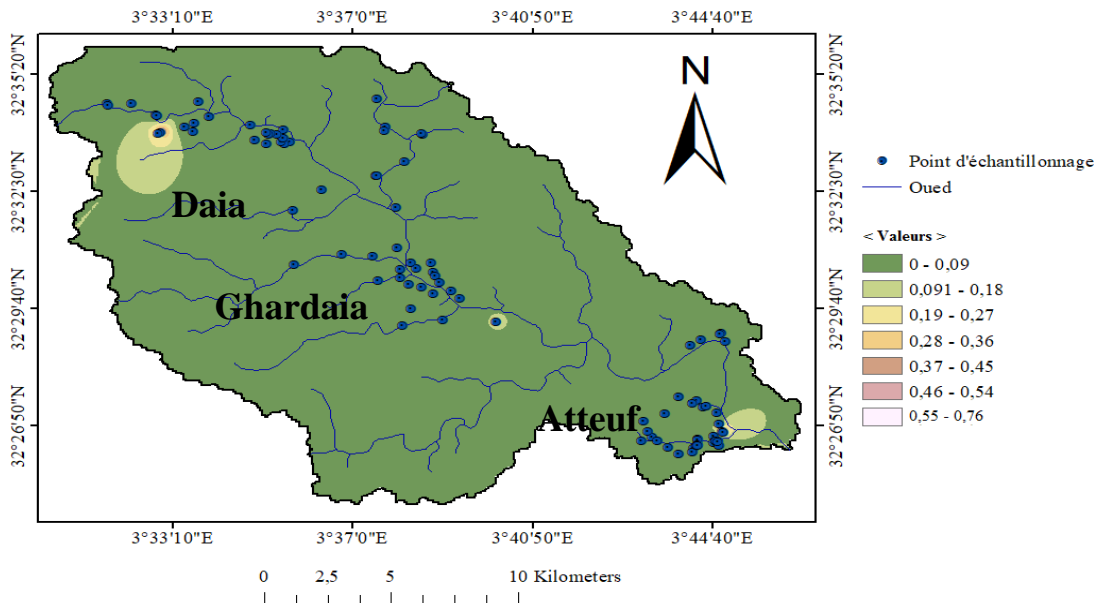


Figure 48: Carte de distribution spatiale de phosphate des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2017.

4.2.15 Les nitrites

D'après les cartes des distributions spatiales de nitrite (figure 50,51), les concentrations de tous les points d'analyses sont acceptables aux normes Algérienne de l'eau potable (0,1 mg/L), avec un maximum de 0,099 mg/L qui est localisé au niveau du puits 83 dans la région d'Atteuf.

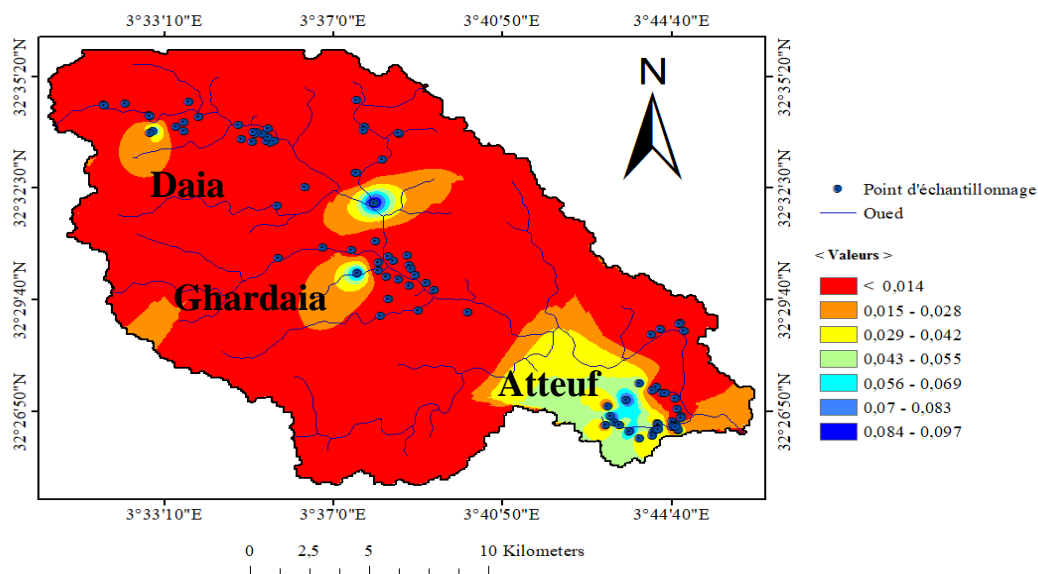


Figure 49: Carte de distribution spatiale du nitrite des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2016.

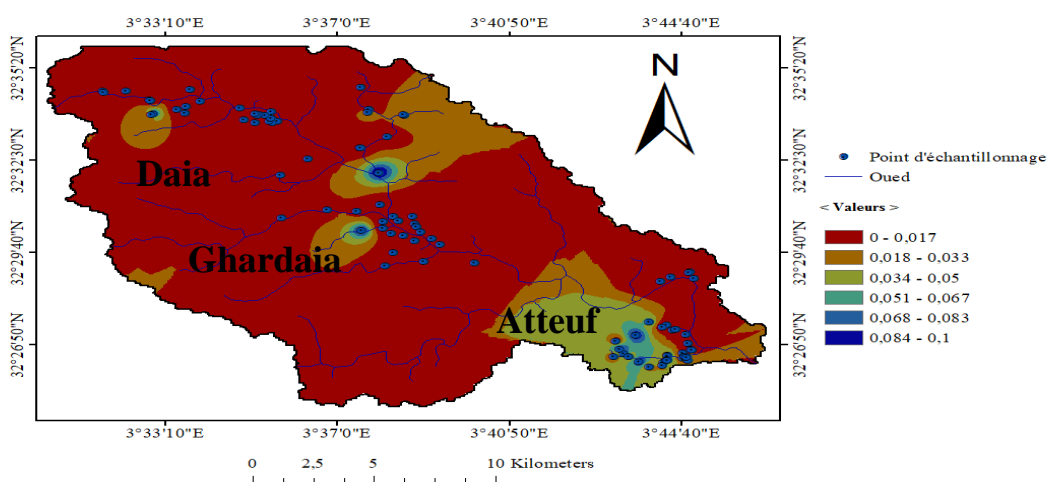


Figure 50: Carte de distribution spatiale du nitrite des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2017.

4.3 INDICE DE QUALITE DE L'EAU

L'objectif initial de l'indice de la qualité de l'eau est de classer les eaux en classes en agrégeant et en pondérant différentes données [3]. Les valeurs de IQE calculées sont classées en cinq catégories afin de déterminer l'état de la qualité de l'eau [12,13] comme suit : Excellent, Bonne, Mauvaise, Très mauvaise qualité de l'eau et Eau non potable, pour les classes de l'indice de qualité de l'eau (IQE) : 0-50, 50-100, 100-200, 200-300 et au-dessus de 300 respectivement [14].

La carte de la distribution spatiale et temporelle de l'indice de la qualité de l'eau pour la région d'oued M'Zab pendant les deux périodes d'échantillonnages (figure 53 et 55), montre que les valeurs de l'indice de qualité de l'eau varient entre 26,06 et 198,9 pour la première campagne et entre 31,13 à 226,4 pour la deuxième campagne.

D'autre part on constate que, pour 95 puits analysés et pendant l'année 2016, un pourcentage de 21%, 40%, et 39% des totalités des échantillons indiquent une classe « excellente qualité », « bonne qualité », et « mauvaise qualité » respectivement. En effet, la majorité des puits analysés d'excellente qualité sont apparues au niveau de l'amont de la vallée dans la région de Daia, en revanche la plupart des puits de mauvaise qualité sont situés à l'aval de la vallée dans la région d'Atteuf (figure 52).

La qualité des eaux pendant l'année 2017, a été classé comme « mauvaise qualité » par un pourcentage le plus élevé qui est de 46 %, avec 32%, 30%, et 68% des totalités des puits analysés de cette classe sont rencontrées au niveau de la région de Daia, Ghardaïa, et Atteuf respectivement. Par ailleurs, les autres classes « excellente qualité », « bonne qualité », et « très mauvaise qualité » sont présentées par les pourcentages suivants 12%, 37%, et 5% respectivement (figure 54).

Les valeurs élevées de l'indice de qualité de l'eau dépendent principalement des concentrations des paramètres chimiques suivants : les nitrites, le fer, le phosphate, et l'ammonium, en raison de son importance majeure dans l'évaluation de la qualité de l'eau [15].

La plupart des eaux des classes « mauvaise qualité », et « très mauvaise qualité » sont localisés dans la partie aval d'oued M'Zab dans la région d'Atteuf. De plus, nous signalons que les valeurs les plus élevées de l'indice de qualité de l'eau sont enregistrées durant la deuxième série d'échantillonnage. Cela est probablement dû à l'influence des activités humaines par l'utilisation intensive d'engrais et les fuites de fosses septique, et la

surexploitation des eaux souterraines. Ces derniers sont considérés comme ayant un impact plus important sur la détérioration de la qualité des eaux souterraines [16].

Nous avons constaté que les eaux de la nappe phréatique de la vallée d'oued M'Zab sont chagrées notamment en aval au niveau de la région d'Atteuf. Pour être utilisées elles nécessitent un certain degré de traitement, et doivent être également protégées contre les risques de contamination [15].

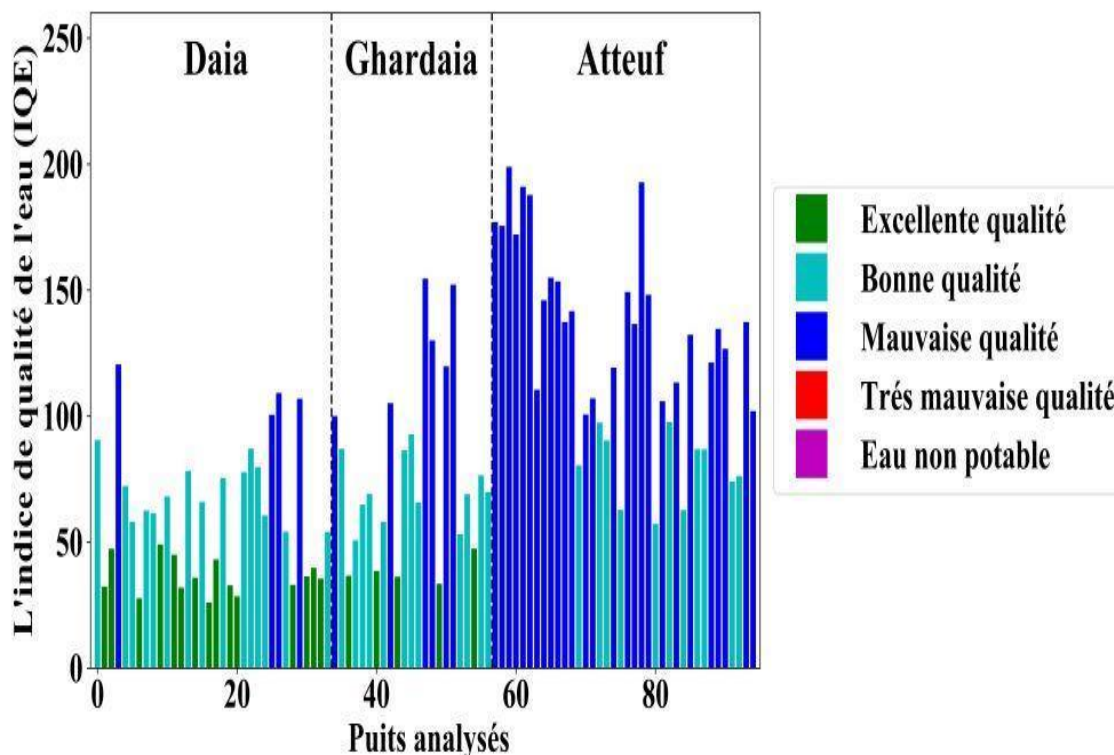


Figure 51: La variation de l'indice de qualité de l'eau dans la région d'oued M'Zab (Daia, Ghardaïa, et Atteuf) pour l'année 2016.

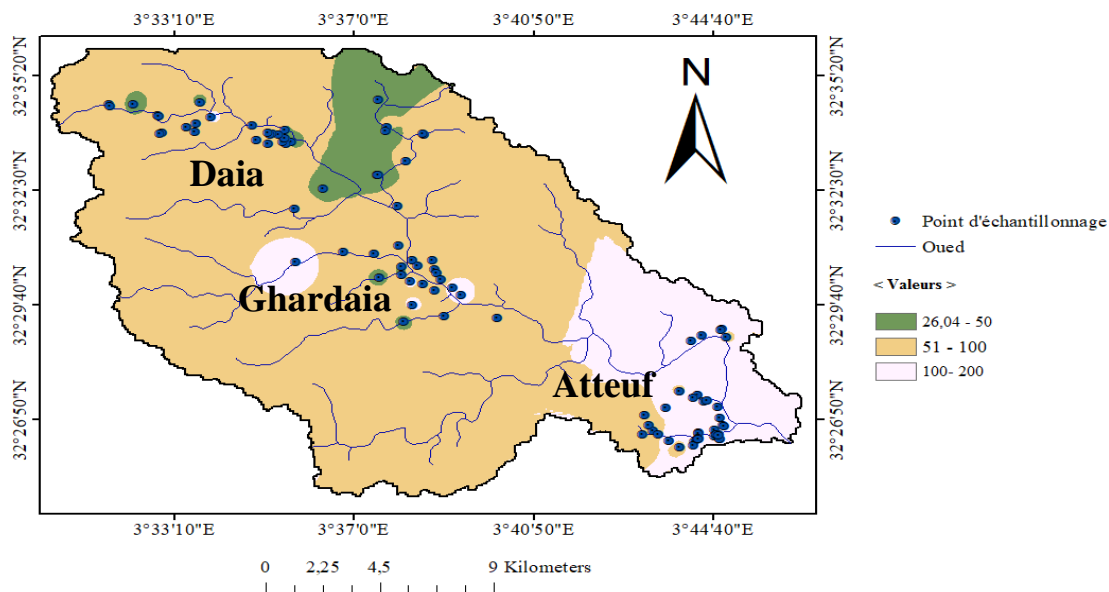


Figure 52: Carte de distribution spatiale de l'indice de qualité de l'eau des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2016.

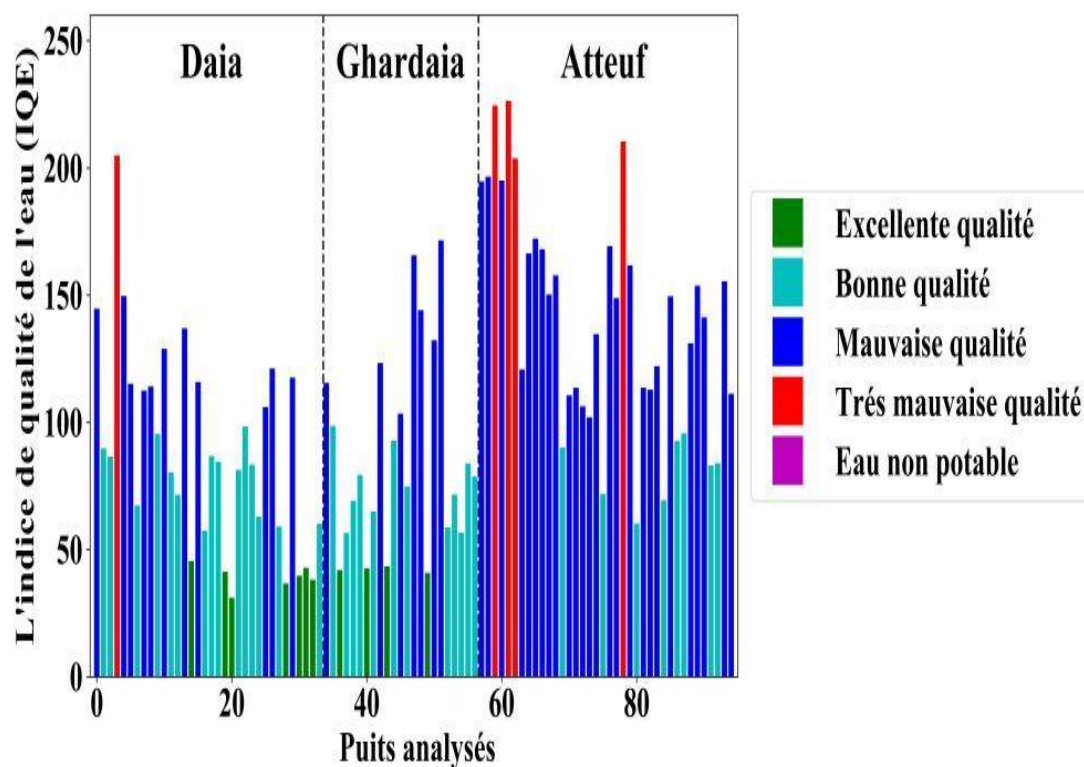


Figure 53: La variation de l'indice de qualité de l'eau dans la région d'oued M'Zab (Daia, Ghardaïa, et Atteuf) pour l'année 2017.

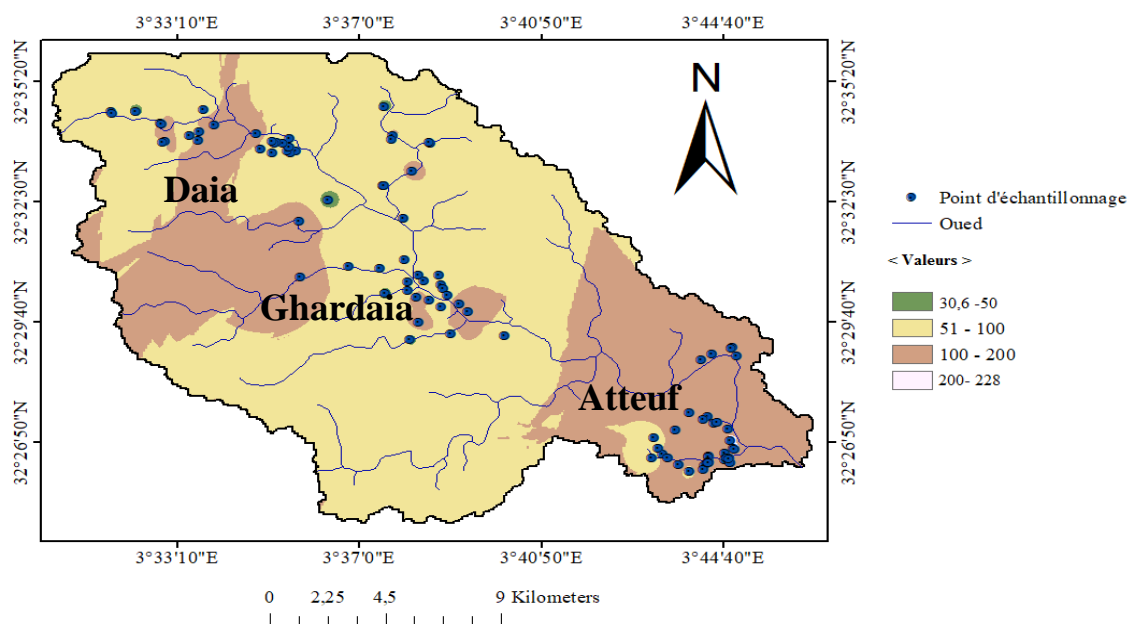


Figure 54: Carte de distribution spatiale de l'indice de qualité de l'eau des eaux souterraines de la vallée d'oued M'Zab pour l'année 2017.

4.4 ETUDE STATISTIQUE

4.4.1 Analyse en composantes principales

L'analyse en composantes principales permet de classer et de traiter les informations relatives aux paramètres physico-chimiques effectués au cours de la période d'étude par l'établissement des corrélations entre l'ensemble des variables de la région d'oued M'Zab .

L'analyse en composantes principales est effectuée sur une matrice des données constituées de 95 prélèvements et 14 variables (la température, le pH, la conductivité électrique, la turbidité, le résidu sec, le calcium, le magnésium, la dureté totale, le chlorure, le sulfate, le fer, l'ammonium, le phosphate, et le nitrite) [17].

4.4.2 La matrice de corrélation

Selon la formule de Student $R = \frac{2}{\sqrt{(n-1)}}$, le coefficient de corrélation r reporté dans le tableau (marqué en gras) est significative lorsque r égale ou supérieur à 0,20, sinon il est sans signification [18].

D'après le tableau 7 et le tableau 8, on remarque que la conductivité électrique est positivement corrélée avec le résidu sec, le calcium, le magnésium, la dureté totale, le chlorure, et le sulfate, pour les deux périodes d'échantillonnages.

La matrice de corrélation issue de cette ACP, montre que la conductivité électrique présente une liaison significative avec ces éléments, ceci peut traduire la participation de ces éléments à l'acquisition de la charge saline des eaux [1].

Les fortes corrélations s'observent entre le magnésium et la dureté totale, le calcium et la dureté totale, le résidu sec et le chlorure, la dureté totale et le chlorure, le chlorure et le sulfate, le calcium et le sulfate.

Les corrélations faibles sont entre la température et la conductivité électrique, l'ammonium et le nitrite, entre le pH et le calcium, et aussi entre l'ammonium et le résidu sec.

Le pH présente des corrélations négatives avec la conductivité électrique, le résidu sec, le chlorure, le sulfate, et l'ammonium durant l'année 2017 (tableau 8).

4.4.3 Diagonalisation de la matrice de corrélation

La diagonalisation de la matrice de corrélation a permis de calculer les facteurs de charges [18]. D'après le tableau 5,6 et la figure 56 et 57, on note que les trois premiers axes englobent la totalité de l'information par un pourcentage de 56,15 % et 54,05 % de la variabilité totale pour les années 2016 et 2017 respectivement.

Le premier axe F1 et pour la première année d'échantillonnage présente une valeur propre égale à 5,06, dont la variabilité cumulée est d'un pourcentage plus important qui est de 35,77 %. Pour l'année 2017, la valeur propre de l'axe F1 est égale à 4,67, avec un pourcentage important de 33,05 %. Ainsi, le deuxième axe F2 correspond à un pourcentage de 11,37 % et 11,26 %, ensuite l'axe F3 avec un pourcentage de 9,01% et 9,74% pour les deux années respectivement.

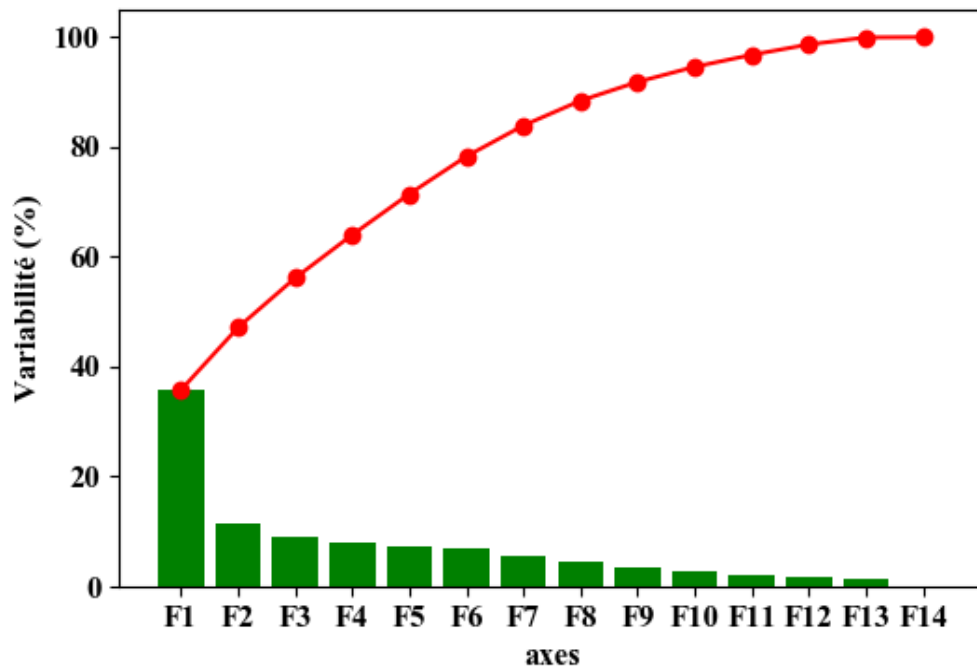


Figure 55: Variabilité des facteurs de Charge pour l'année 2016.

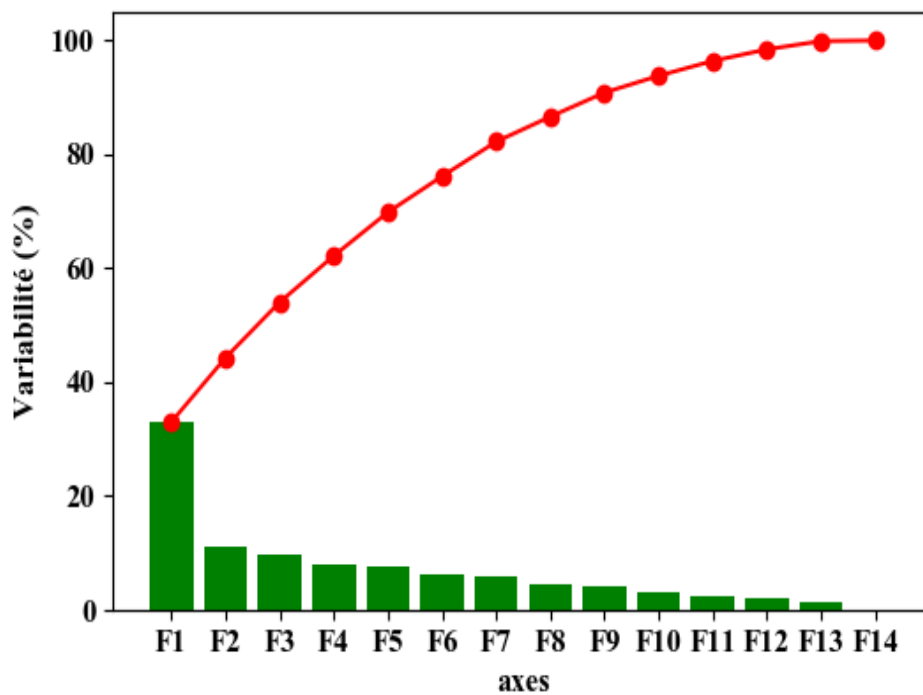


Figure 56: Variabilité des facteurs de Charge pour l'année 2017

Tableau 5: Valeurs propres et variabilité par chaque axe pour l'année 2016.

	Valeurs propres	Variabilité (%)	Variabilité cumulé (%)
F1	5,063	35,776	35,776
F2	1,609	11,372	47,148
F3	1,275	9,01	56,158
F4	1,112	7,856	64,014
F5	1,052	7,434	71,448
F6	0,969	6,847	78,295
F7	0,795	5,62	83,915
F8	0,64	4,522	88,437
F9	0,483	3,412	91,849
F10	0,389	2,751	94,6
F11	0,309	2,181	96,781
F12	0,267	1,888	98,669
F13	0,181	1,281	99,95
F14	0,007	0,05	100

Tableau 6: Valeurs propres et variabilité par chaque axe pour l'année 2017.

	valeurs propres	variabilité (%)	variabilité cumulé (%)
F1	4,677	33,05	33,05
F2	1,594	11,262	44,311
F3	1,379	9,746	54,057
F4	1,153	8,145	62,203
F5	1,082	7,645	69,847
F6	0,893	6,312	76,159
F7	0,86	6,074	82,233
F8	0,622	4,393	86,626
F9	0,597	4,222	90,849
F10	0,418	2,957	93,805
F11	0,368	2,601	96,406
F12	0,289	2,04	98,446
F13	0,204	1,445	99,89
F14	0,016	0,11	100

Tableau 7: Matrice de corrélation pour l'année 2016.

	T	pH	CE	Turbidité	Résidu sec	Ca ⁺²	Mg ⁺²	TH	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	NH ₄ ⁺	Fe ⁺²	PO ₄ ⁻³	NO ₂ ⁻
T	1													
pH	0,145	1												
CE	-0,208	-0,132	1											
Turbidité	-0,099	-0,059	-0,005	1										
Résidu sec	-0,385	-0,136	0,69	0,133	1									
Ca ⁺²	-0,112	-0,282	0,54	0,034	0,538	1								
Mg ⁺²	0,068	-0,039	0,483	-0,008	0,379	0,463	1							
TH	-0,003	-0,133	0,577	0,008	0,502	0,743	0,929	1						
Cl ⁻	-0,178	-0,146	0,656	0,103	0,713	0,678	0,58	0,708	1					
SO ₄ ⁻²	-0,126	-0,199	0,602	0,082	0,604	0,717	0,478	0,636	0,679	1				
NH ₄ ⁺	-0,236	-0,073	0,452	-0,068	0,309	0,351	0,159	0,254	0,397	0,377	1			
Fe ⁺²	-0,016	-0,149	-0,06	0,032	-0,047	0,047	-0,049	-0,022	-0,079	-0,022	-0,021	1		
PO ₄ ⁻³	-0,02	0,129	0,066	-0,022	0,178	0,037	0,04	0,044	0,071	0,126	0,063	-0,043	1	
NO ₂ ⁻	0,228	-0,034	-0,008	0,098	-0,196	0,118	0,195	0,185	0,086	0,079	0,186	-0,087	0,123	1

T en °C, EC en (µs/cm), Turbidité en NTU, résidu sec, Ca⁺², Mg⁺², TH, Cl⁻, SO₄⁻², NH₄⁺, Fe⁺², PO₄⁻³, NO₂⁻ en (mg/L).

Tableau 8: Matrice de corrélation pour l'année 2017.

	T	pH	CE	Turbidité	Résidu sec	Ca ⁺²	Mg ⁺²	TH	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	NH ₄ ⁺	Fe ⁺²	PO ₄ ⁻³	NO ₂ ⁻
T	1													
pH	0,009	1												
CE	0,097	-0,321	1											
Turbidité	0,058	-0,121	-0,044	1										
Résidu sec	0,066	-0,386	0,662	0,103	1									
Ca ⁺²	-0,096	-0,171	0,399	0,005	0,458	1								
Mg ⁺²	0,007	-0,106	0,438	-0,014	0,365	0,42	1							
TH	-0,014	-0,134	0,498	-0,016	0,464	0,708	0,919	1						
Cl ⁻	0,173	-0,363	0,623	0,098	0,695	0,533	0,549	0,623	1					
SO ₄ ⁻²	0,152	-0,32	0,521	0,036	0,54	0,568	0,394	0,517	0,607	1				
NH ₄ ⁺	0,296	-0,2	0,388	-0,073	0,267	0,191	0,112	0,15	0,346	0,313	1			
Fe ⁺²	-0,088	0,109	-0,066	0,027	-0,003	0,221	0,064	0,137	-0,108	-0,006	-0,034	1		
PO ₄ ⁻³	0,096	0,007	0,109	-0,032	0,224	0,098	0,06	0,111	0,141	0,149	0,165	0,083	1	
NO ₂ ⁻	0,148	-0,05	-0,03	0,105	-0,24	0,045	0,17	0,129	0,046	0,038	0,185	-0,046	0,136	1

T en °C, EC en (µs/cm), Turbidité en NTU, résidu sec, Ca⁺², Mg⁺², TH, Cl⁻, SO₄⁻², NH₄⁺, Fe⁺², PO₄⁻³, NO₂⁻ en (mg/L).

4.4.4 Etude de cercle de corrélation

Le cercle de corrélation montre que les trois premiers facteurs F1 et F2 et F3 regroupent le maximum de l'information recherchée [19].

L'axe de facteur 1 dans le pôle positive, regroupe la plus part des variables tel que, la conductivité électrique, le résidu sec, le calcium, le magnésium, la dureté totale, le chlorure, le sulfate pour les deux séries d'échantillonnages. Alors on peut dire que cet axe présente l'axe de minéralisation.

Pour la première campagne d'échantillonnage, l'axe de facteur 2 est représenté par la température et le nitrite. Enfin, sur l'axe de facteur 3, le pH et le phosphate présentent une corrélation positive avec cet axe, tandis que le fer exprime une corrélation négative (figure 58, tableau 9).

Pour la deuxième campagne d'échantillonnage, sur l'axe de facteur 2, l'ammonium et la température sont corrélés négativement avec cet axe, alors que le fer est corrélé positivement avec cet axe. Ainsi, sur l'axe de facteur F3, les nitrites sont fortement corrélés avec cet axe (figure 59, tableau 10) [20].

Tableau 9: Tableau de corrélation pour l'année 2016.

	F1	F2	F3
T (°C)	-0,23	0,74	-0,13
pH	-0,23	0,24	0,64
CE (µs/cm)	0,80	-0,14	0,14
Turbidité(NTU)	0,07	-0,13	-0,21
Résidu sec (mg/L)	0,78	-0,39	0,19
Ca⁺² (mg/L)	0,83	0,04	-0,20
Mg⁺² (mg/L)	0,72	0,45	-0,07
TH (mg/L)	0,87	0,35	-0,13
Cl⁻ (mg/L)	0,88	-0,02	0,04
SO₄⁻² (mg/L)	0,83	-0,01	-0,02
NH₄⁺ (mg/L)	0,50	-0,13	0,20
Fe⁺² (mg/L)	-0,04	-0,18	-0,57
PO₄⁻³ (mg/L)	0,12	0,09	0,57
NO₂⁻ (mg/L)	0,11	0,65	-0,05

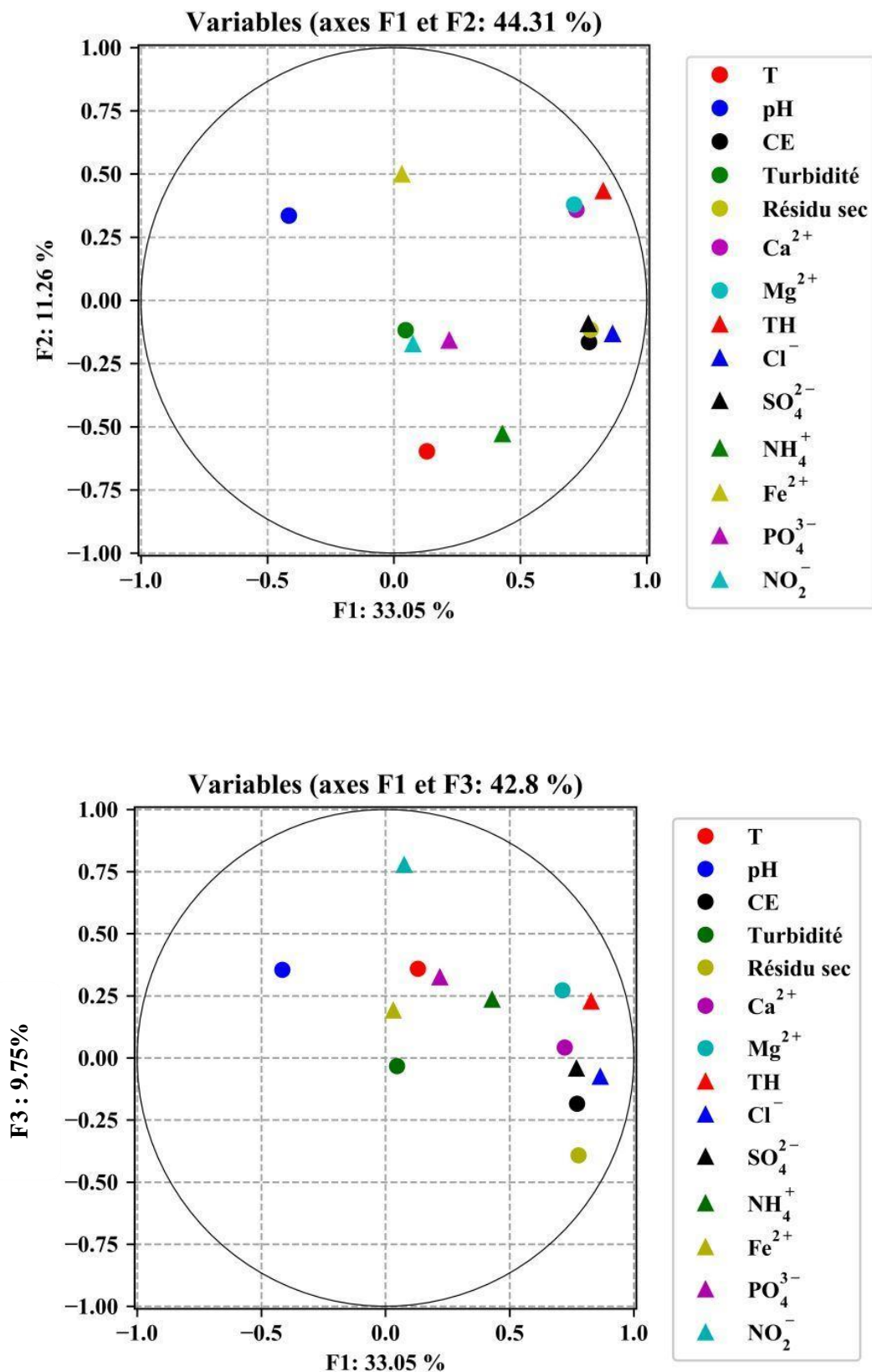


Figure 58: Cercles de corrélation pour l'année 2017.

Tableau 10: Tableau de corrélation pour l'année 2017.

	F1	F2	F3
T (°C)	0,13	-0,60	0,36
pH	-0,42	0,34	0,36
CE (µs/cm)	0,77	-0,17	-0,18
Turbidité(NTU)	0,05	-0,12	-0,03
Résidu sec (mg/L)	0,78	-0,12	-0,39
Ca⁺² (mg/L)	0,72	0,36	0,04
Mg⁺² (mg/L)	0,71	0,38	0,27
TH (mg/L)	0,83	0,43	0,23
Cl⁻ (mg/L)	0,86	-0,13	-0,08
SO₄⁻² (mg/L)	0,77	-0,09	-0,04
NH₄⁺ (mg/L)	0,43	-0,53	0,23
Fe⁺² (mg/L)	0,03	0,50	0,19
PO₄³⁻ (mg/L)	0,22	-0,16	0,32
NO₂⁻ (mg/L)	0,07	-0,17	0,78

4.5 EVALUATION DE QUALITE DES EAUX POUR L'IRRIGATION

4.5.1 Risque de salinisation

La salinisation est un terme générique caractérisant une augmentation progressive de la concentration des sels dans les sols sous l'influence d'apport d'eau d'irrigation salée, de l'aridité du climat ou de conditions hydrologiques particulières (lessivage insuffisant, proximité de la nappe...).

La salinité d'une eau d'irrigation est plus facilement accessible par la mesure directe de la conductivité électrique [21].

Les pratiques agricoles, en particulier la mise en place de systèmes d'irrigation, ne sont pas sans effet sur la qualité des eaux souterraines. Les eaux d'irrigation qui contiennent les sels minéraux ont en outre un impact sur les plantes et le sol, car ils peuvent perturber le développement des plantes, et causer des changements dans la structure du sol [22].

Afin de déterminer la qualité des eaux pour l'irrigation par le risque de salinisation, nous avons suivi la classification selon Ayers et Westcot 1976 [23].

Les résultats obtenus sont présentées sur les figures 60 et 61 et le tableau 11. Ces derniers montrent la présence de quatre classes :

Classe C1: cette classe est représentée par des faibles pourcentages de 3% et 1% (tableau 11). Les eaux qui appartient à cette classe sont satisfaisantes pour toutes les cultures;

Classe C2 : la classe C2 est généralement satisfaisante bien que quelques cultures sensibles seront affectées. Cette dernière est représentée par un pourcentage de 29% et 20% de l'ensemble des puits analysés;

Classe C3 : cette classe comporte des valeurs de conductivité électrique oscillent entre 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Elle est représentée par un pourcentage élevé de 38% et 39% des totalités des puits analysés. Les eaux de cette classe sont satisfaisantes pour la plupart des grandes cultures, mais des conditions de salinité vont se développer si le drainage et le lessivage ne sont pas adéquats ;

Classe C4 : les valeurs de la conductivité électrique dans cette classe sont supérieures à 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, dont 30% et 40% de l'ensemble des puits analysés sont appartiennent à cette classe, où les eaux sont inusables et non recommandée sauf si des cultures tolérantes sont cultivées comme les palmiers dattiers et si le drainage et le lessivage sont impératifs. En effet, la pluparts des points d'eaux de cette classe se trouvent au niveau de la région d'Atteuf (figure 60, 61), dont cet excès en sels est dû probablement à la l'infiltration des eaux industrielles et des eaux stagnantes à travers les couches géologiques [24].

Tableau 11:Classification de l'eau d'irrigation, selon Ayers et Westcot, 1976.

Classe de salinité	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Période 2016	Période 2017
C1	<750	3%	1%
C2	750-1500	29 %	20 %
C3	1500-3000	38 %	39 %
C4	>3000	30 %	40 %

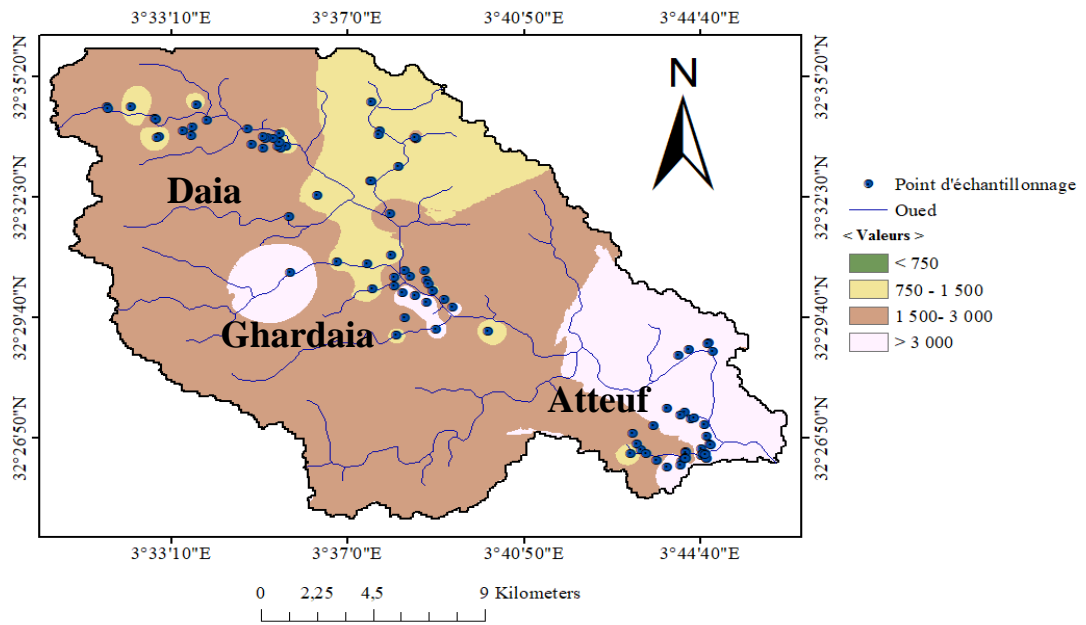


Figure 59: Carte de distribution spatiale des Classes de l'eau d'irrigation, selon Ayers et Westcot, 1976 dans la région d'oued M'Zab pour l'année 2016.

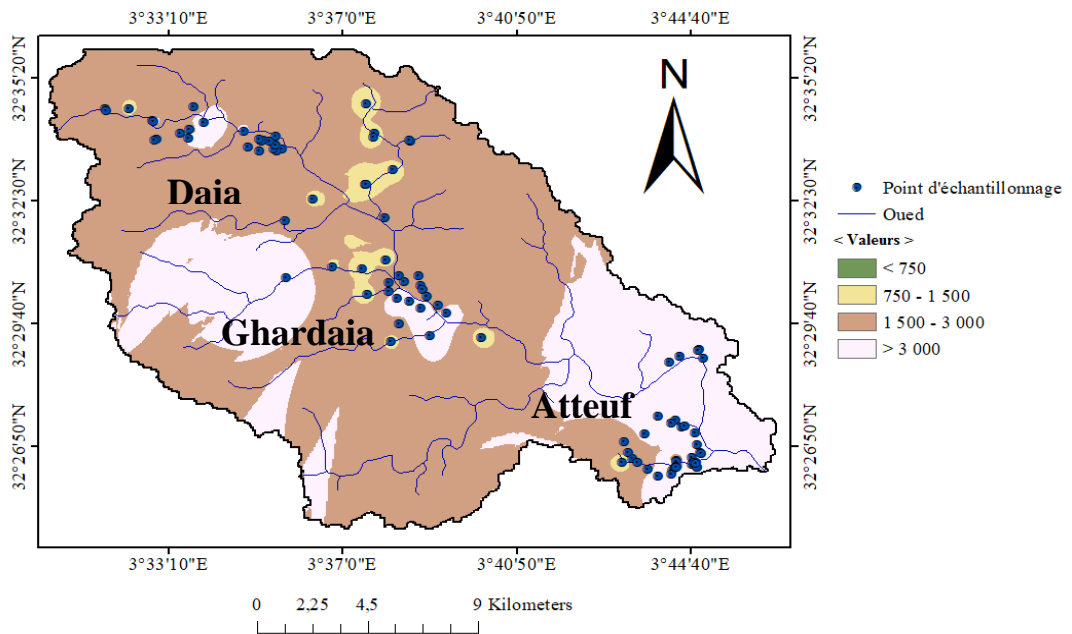


Figure 60: Carte de distribution spatiale des Classes de l'eau d'irrigation, selon Ayers et Westcot, 1976 dans la région d'oued M'Zab pour l'année 2017.

4.5.2 Taux d'absorption de magnésium (MAR)

La teneur en magnésium est considérée comme l'un des indicateurs les plus importants pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation. En effet, les sols contenant des niveaux élevés de magnésium échangeable présentent des problèmes d'infiltration du sol [25].

À des concentrations élevées de magnésium, les cultures sont affectées de manière néfaste car le sol devient plus salin. Les valeurs MAR supérieures à 50 sont considérées comme nuisibles et impropres à l'irrigation.

Le taux d'absorption du magnésium (MAR) a été calculé en utilisant l'équation suivante.

$$MAR\% = \frac{mg^{2+}}{mg^{2+}+ca^{2+}} \times 100 \quad (7)$$

Où toutes les concentrations de magnésium et de calcium sont exprimées en meq. l⁻¹ [26,27].

Les cartes de distribution spatiale des classes de l'eau pour l'irrigation selon le rapport d'absorption de magnésium dans la région d'oued M'Zab sont présentées dans les figures 63 et 65.

L'interprétation des résultats du rapport d'absorption de magnésium (MAR) indiquent 12%,15% de puits d'eau se prêtant à l'irrigation et 88 % ,85 % inapproprié à l'irrigation pour les deux périodes d'échantillonnages 2016 et 2017 respectivement (figure 62, 64).

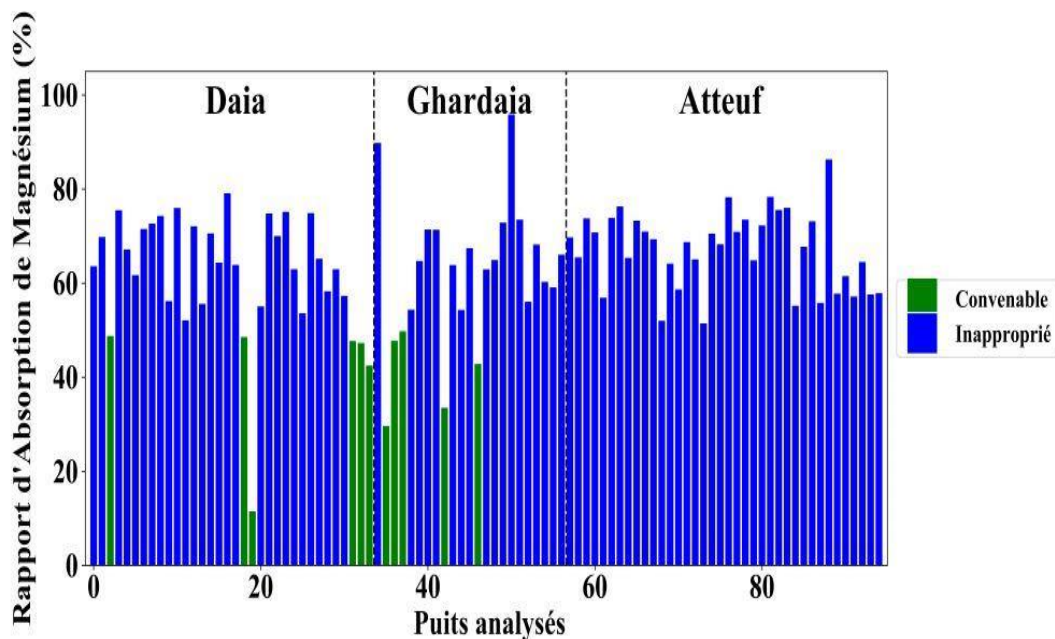


Figure 61: Classification de l'eau pour l'irrigation selon le rapport d'absorption de magnésium dans la région d'oued M'Zab pour l'année 2016.

Le rapport d'absorption magnésium montre une variation entre les années d'échantillonnages, et aussi entre l'amont et de l'aval de la vallée d'oued M'Zab, où 100% et 97% des puits analysée sont inapproprié à l'irrigation et présentent des valeurs de MAR supérieures à 50 au niveau de la région d'Atteuf pendant les deux années d'échantillonnages.

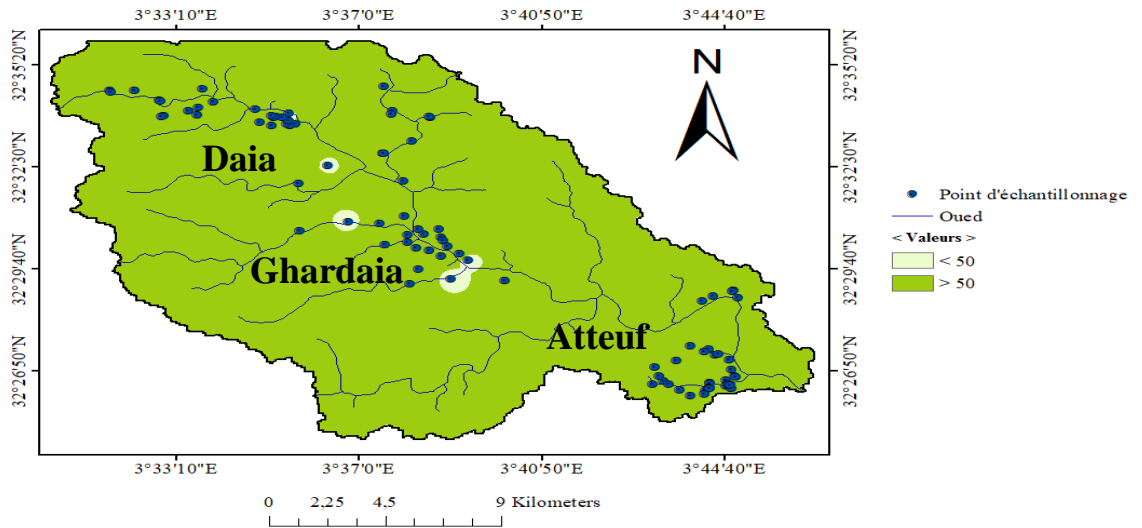


Figure 62: Carte de distribution spatiale des classes de l'eau pour l'irrigation selon le rapport d'absorption de magnésium dans la région d'oued M'Zab pour l'année 2016.

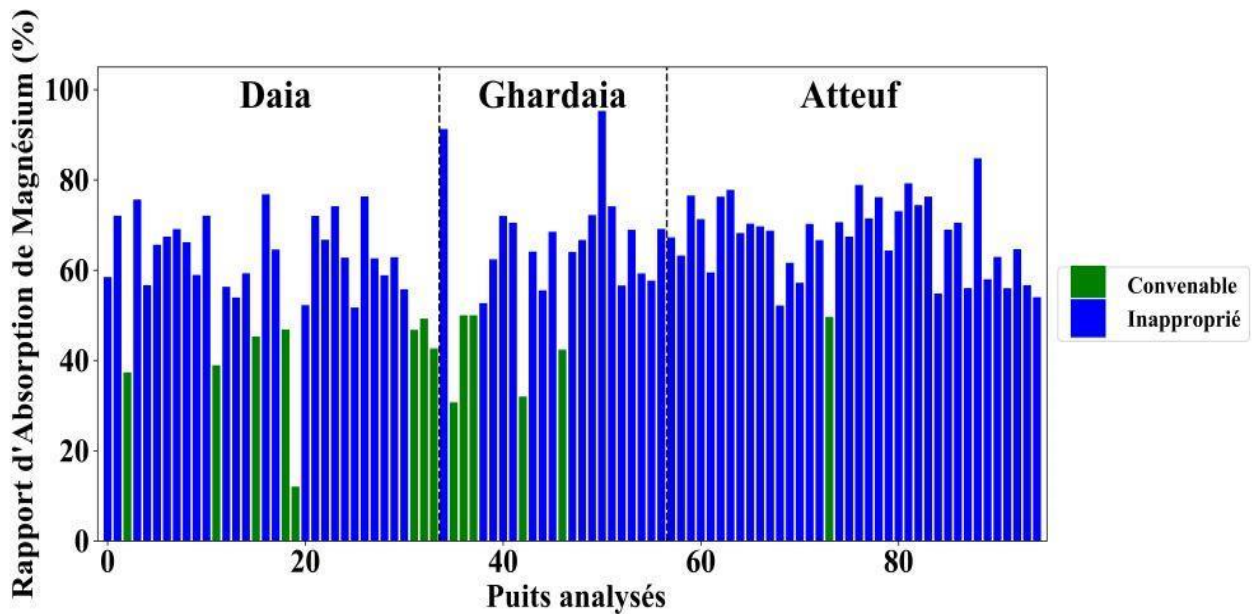


Figure 63: Classification de l'eau pour l'irrigation selon le rapport d'absorption de magnésium dans la région d'oued M'Zab pour l'année 2017.

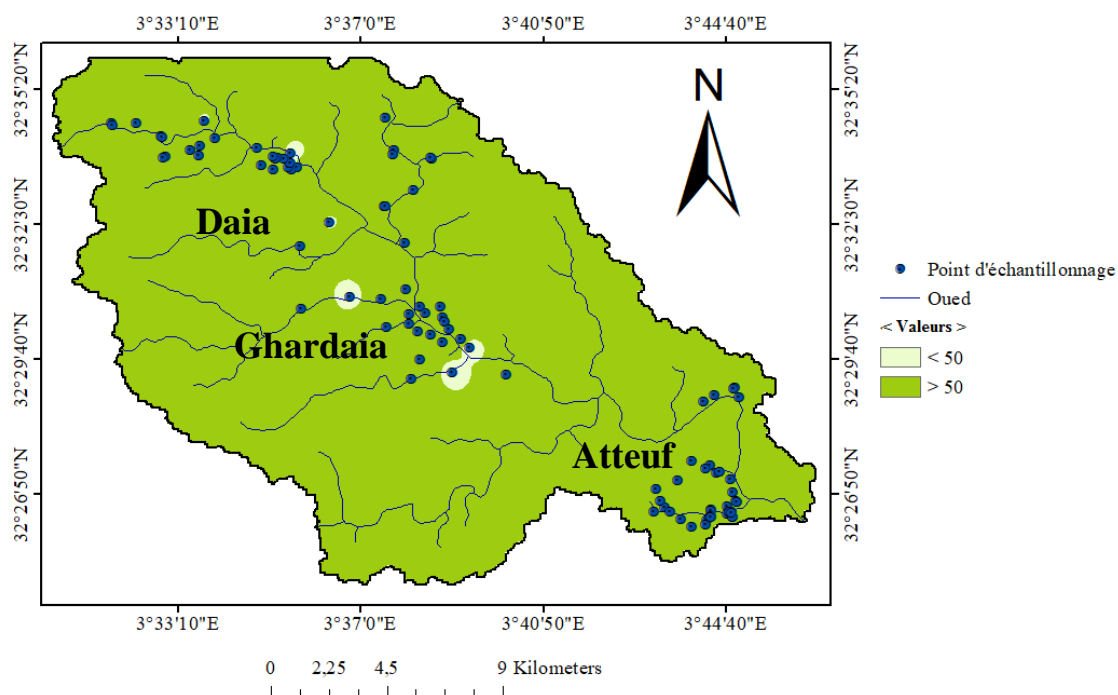


Figure 64: Classification de l'eau pour l'irrigation selon le rapport d'absorption de magnésium dans la région d'oued M'Zab pour l'année 2017.

4.6 CONCLUSION

L'évaluation de la variation spatio-temporelle de la qualité physico-chimique de la nappe phréatique de la région d'oued M'Zab pour l'année 2016 et 2017 montre que :

Les eaux de la nappe phréatique sont chargées en sels surtout dans la partie aval de la vallée au niveau de la région d'Atteuf, vu la concentration élevée de la conductivité électrique.

La majorité des puits analysés présentent des concentrations élevées en sulfate et chlorure et qui dépassent la norme Algérienne de potabilité.

Nous avons constaté que les taux élevés des sulfates est probablement dus à l'évaporation élevée et aux activités agricoles qui peuvent provoquer un enrichissement des eaux en sulfates. Tandis que, les concentrations élevées en chlorure peuvent être causé par des sources naturelles notamment le lessivage des évaporites contenues dans les alluvions de l'Oued M'Zab et des sources entropique comme l'utilisation intensive des engrais dans l'agriculture et les fosses septique.

La totalité des eaux analysées sont dure à très dur à cause de la concentration élevée des éléments calcium et magnésium.

Les éléments chimiques: fer, ammonium, et nitrite sont présentés à faible concentrations, à l'exception de l'élément phosphate, où la concentration dépasse la norme Algérienne de potabilité au niveau des puits 11 qui situé en amont de la vallée et le puits 62 situé en aval de la vallée.

L'interprétation des résultats de l'indice de qualité de l'eau a révélé que :

Sur l'ensemble des échantillons analysés 21%, 40%, et 39% sont apparues dans la classe « excellente qualité », « bonne qualité », et « mauvaise qualité » respectivement durant l'année 2016.

Les classes, « excellente qualité », « bonne qualité », « mauvaise qualité», et «très mauvaise qualité» sont présentées par des pourcentages de 12%, 37 %, 46% et 5% respectivement durant la période 2017.

La majorité des eaux de la classe « mauvaise qualité », et « très mauvaise qualité » sont situés dans la partie aval d'oued M'Zab dans la région d'Atteuf, ainsi les valeurs les plus élevés de l'indice de qualité de l'eau sont enregistrées durant la période 2017.

Les résultats de l'analyse en composantes principales montrent que la conductivité électrique est fortement corrélée avec le résidu sec, le calcium, la dureté totale, les chlorures, les sulfates pour les deux périodes d'échantillonnages, et les fortes corrélations sont enregistrées entre le magnésium et la dureté totale, le calcium et la dureté totale, le résidu sec et le chlorure, la dureté totale et le chlorure, le chlorure et le sulfate, le calcium et le sulfate.

Le cercle de corrélation montre que l'axe F1 regroupe la plupart des variables comprennent la conductivité électrique, le résidu sec, le calcium, le magnésium, la dureté totale, les chlorures, et les sulfates.

L'évaluation de la qualité des eaux pour l'irrigation selon le risque de salinité montre que, les classes C3 et C4 sont enregistrés par des pourcentages les plus élevés, dont la totalité des puits analysés de ces classes présentent des valeurs de la conductivité électrique supérieure à 1500 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

L'interprétation des résultats du taux d'absorption de magnésium a révélé que 88% et 85% des puits analysés sont inappropriés à l'irrigation pour les années 2016 et 2017 respectivement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Brinis N., Boudoukha A., Ahmed Hamel A. Analyse statistique et géochimique de la dynamique des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines du synclinal de Ghassira Algérie orientale. Larhyss journal. Numéro 22. 2015.
- [2] Achour S., Youcef L., Guergazi S. Qualité physico-chimique des eaux souterraines et superficielles du Sahara Septentrional oriental Algérien. L'Eau, l'Industrie, les Nuisances. Numéro 311. 2008.
- [3] Benabderrahmane H., Baba Amer Z. Water wells quality assessment using water quality index for the purposes of drinking of M'Zab wadi region. Journal of fundamental and applied sciences. Volume 13, Numéro 1. 2021.
- [4] Rodier J., Legube B., Merlet N., Brunet R. Analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Dunod, 9^{éd.} Paris. 2009.
- [5] Diab W. Étude des propriétés physico-chimiques et colloïdales du bassin de la rivière Litani, Liban. Thèse doctorat. Université de Lorraine. 2016.
- [6] Maoudombaye T., Ndoutamia G., Seid Ali M., Ngakou A. Etude comparative de la qualité physico-chimique des eaux de puits, de forages et de rivières consommées dans le bassin pétrolier de Doba au Tchad. Larhyss journal. Volume 12, Numéro 4. 2015.
- [7] Ben Abbou M., Fadil F., El Haji M., Zemzami M. Impact anthropique sur la qualité des eaux souterraines du bassin versant de l'oued Taza (Maroc). European scientific journal. Volume 10, Numéro 5. 2014.
- [8] Gouaidia L., Laouar MS., Défaflia N., Zenati Gouaidia N., Layachi. Origine de la minéralisation des eaux souterraines d'un aquifère dans une zone semi - aride, cas de la nappe de la Merdja, NORD - EST Algérien. International Journal of Environment & Water. Volume 6, Numéro 2. 2017.
- [9] Lingle, Derrick. Origin of High Levels of Ammonium in Groundwater, Ottawa County, Michigan". Theses. Western Michigan University. 2013.
- [10] Tir E., Deche M., Bounouira Y., Chedad A. Qualité physico-chimique et microbiologique de l'eau des sources de la commune de Tissemsilt « cas de Ain Loura et Ain Sfa ». Larhyss journal. Numéro 29. 2017.
- [11] Benkaddour B. Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Chélif (Algérie). Thèse doctorat. Université de Perpignan. 2018.

- [12] Gummadi S. Determination of water quality index for groundwater of Bapatla mandal, Guntur district, Andhra Pradesh, India. International journal of engineering research and technology. Volume 3, Numéro 3. 2014.
- [13] Sharma P., Meher P., Kumar A., Gautam Y., Mishra K. Changes in water quality index of Ganges river at different locations in Allahabad. Sustainability of water quality and ecology. Volumes 3 – 4. 2014.
- [14] Shaif M., Saleh K., Sanaa H. Gh. Al-Alaiy, Badr A.R. Application of water quality index to assessment of groundwater quality. University of Aden journal of natural and applied sciences. Volume 21, Numéro 1. 2017.
- [15] Ramakrishnalah C.R., Sadas Hivalah C., Ranganna G. Assessment of Water Quality Index for the groundwater in Tumkur Taluk, Karnataka state, India. Journal of chemistry. Volume 6 .2009.
- [16] Magesh N. S., Chandrasekar N. Evaluation of spatial variations in groundwater quality by WQI and GIS technique: a case study of Virudunagar District, Tamil Nadu, India. Arabian journal of geosciences. Volume 6. 2011.
- [17] El Morhit M. Hydrochimie, éléments tracés métalliques et incidences écotoxicologiques sur les différentes composantes d'un écosystème estuarien (Bas Loukkos). Thèse doctorat .Université Mohammed V - Agdal, Rabat. 2009.
- [18] Belksier M. S., Chaab S., Abour F. Qualité hydro chimique des eaux de la nappe superficielle dans la région de l'Oued Righ et évaluation de sa vulnérabilité à la pollution. Synthèse : Revue des Sciences et de la Technologie. Volume 32. 2016.
- [19] Eblin S. G., Sombo A. P., Soro G. M., Aka N., Kambiré O., Soro N. Hydrochimie des eaux de surface de la région d'Adiaké (sud-est côtier de la Côte d'Ivoire). Journal of applied biosciences. Volume 75. 2014.
- [20] Amrani S., Hinaje S. Utilisation des analyses hydrogéochimiques et des analyses en composantes principales (A.C.P) dans l'explication du chimisme des eaux souterraines de la nappe plio-quadernaire entre Timahdite et Almis Guigou (moyen Atlas, Maroc). Science Lib. Ed. Mersenne .2014
- [21] Marlet S., Job J.O. Processus et gestion de la salinité des sols. In : Tiercelin, J.R. Traité d'irrigation, seconde édition. Tec and Doc Lavoisier. 2006
- [22] Gouaidia L., Guefaifia O., Boudoukha A., Hemila M. L., Martin C. Évaluation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risques de dégradation des sols : exemple de la plaine de Meskiana (Nord-Est Algérien). Géographie physique et environnement. Volume 6. 2012.

- [23] Ayers R.S., Westcot D.W. La qualité de l'eau en agriculture .Bull .FAO N°29.Rome.1976.
- [24] Baba Amer Z., Taleb Bahmed M., Bouchlaghem S. Impact of industrial waste on the quality of ground water in the M'Zab valley. And Evaluation of the salinity of the ground water used for irrigation in the region of El Atteuf, South Algerian. Advances in environmental biology. Volume 10, Numéro 6. 2016.
- [25] Ayers R.S., Westcot D.W. Water quality for agriculture. FAO irrigation and drainage paper. 1994.
- [26] Zayre Ivonne G.A., Diego A., Padilla R., José A. R.L. Quality assessment of irrigation water related to soil salinization in Tierra Nueva, San Luis Potosí, Mexico. Revista Mexicana de ciencias geológicas. Volume 33, Numéro 3. 2016.
- [27] Davie K., Richard A., Jennie B., Enoch B.A. Analysis of water quality of selected irrigation water sources in Northern Ghana. Water Science and Technology: Water Supply. Volume 18, Numéro 4. 2017.

CHAPITRE 5 Phénomène d'adsorption: résultats et discussion

5.1 INTRODUCTION

L'objectif de cette partie est de présenter, premièrement les résultats expérimentaux des caractérisations physico-chimiques et structurales du charbon actif des grignons d'olive.

Deuxièmement, l'application de notre matériau dans l'adsorption du phosphate à partir des solutions synthétique des phosphates.

5.2 CARACTERISATION DU CHARBON ACTIF

La connaissance des différents propriétés physico-chimiques et structurales d'un matériau quel qu'il soit, est nécessaire pour contribuer à la compréhension de beaucoup de phénomènes comme l'adsorption [1].

5.2.1 Les caractéristiques physico- chimiques

Les résultats des analyses physico chimiques de charbon actif sont rassemblés dans le tableau 12.

Tableau 12: Les analyses physico-chimiques du charbon actif.

Analyses physico-chimiques	Charbon actif des grignons d'olives
Diamètre moyenne des particules	875µm
pH	7,4
La teneur en humidité (%)	0,07
La teneur en cendre (%)	2,06
La densité apparente	0,38 g/ml

Les résultats de la caractérisation physico-chimique du charbon actif à base de noyaux d'olives présentent:

- Un adsorbant de diamètre moyen égale à 875 µm, avec une valeur de pH neutre.
- La teneur en humidité est très faible.

La teneur en cendre est faible. Ce paramètre a un effet significatif sur la qualité du charbon actif. Il ressort qu'un taux de cendre élevé diminue la surface spécifique. Ces résultats montrent que le charbon actif à base des noyaux d'olives est de bon adsorbant [2].

5.2.2 Analyse spectrale du charbon actif

5.2.2.1 Analyse par microscopie électronique à balayage

Une étude morphologique, par observation au microscope électronique à balayage (MEB), a été réalisée afin d'analyser la structure des particules de charbon et leur texture [3].

Les images de MEB réalisées à différents échelles de 5 μ m à 500 μ m du charbon actif sont présentées sur la figure 66.

D'après les figures, on observe que le charbon actif présente une structure poreuse de différentes formes et diamètres avec un grossissement élevé. En outre, la surface de charbon actif est développée, cela permet d'augmenter la surface spécifique du charbon et, en conséquence, le nombre de sites actifs sur lesquels peuvent se fixer éventuellement les molécules [3,4].

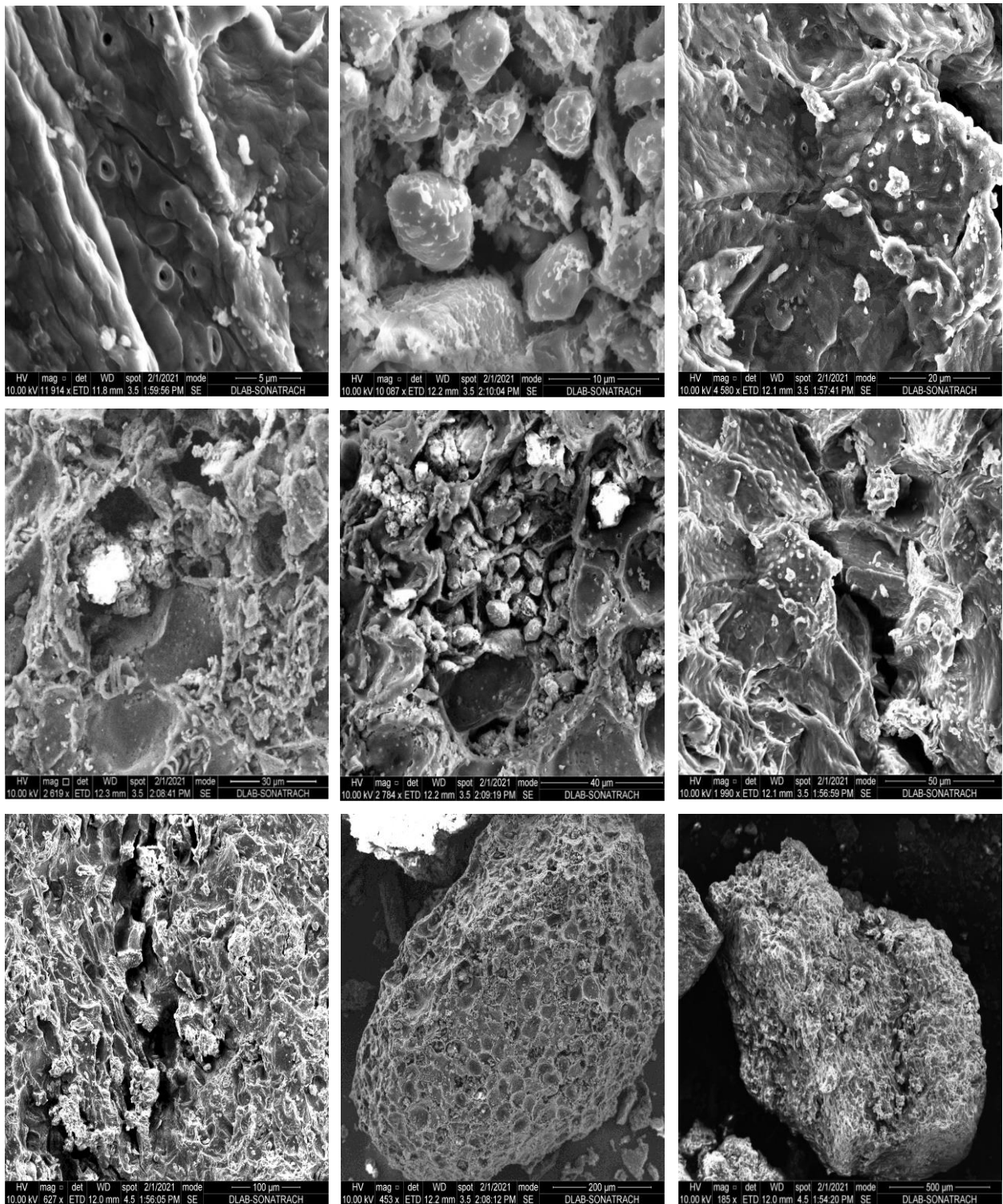


Figure 65: Analyse par MEB du charbon actif avec différents agrandissement.

5.2.2.2 Analyse par diffraction de rayon X (DRX)

Le diagramme de diffraction des rayons X (DRX) est un outil utile pour l'identification de la structure cristalline d'un matériau [5,6].

Les résultats de l'analyse par radiocristallographie du charbon actif montre la présence d'une phase amorphe (figure 67) :

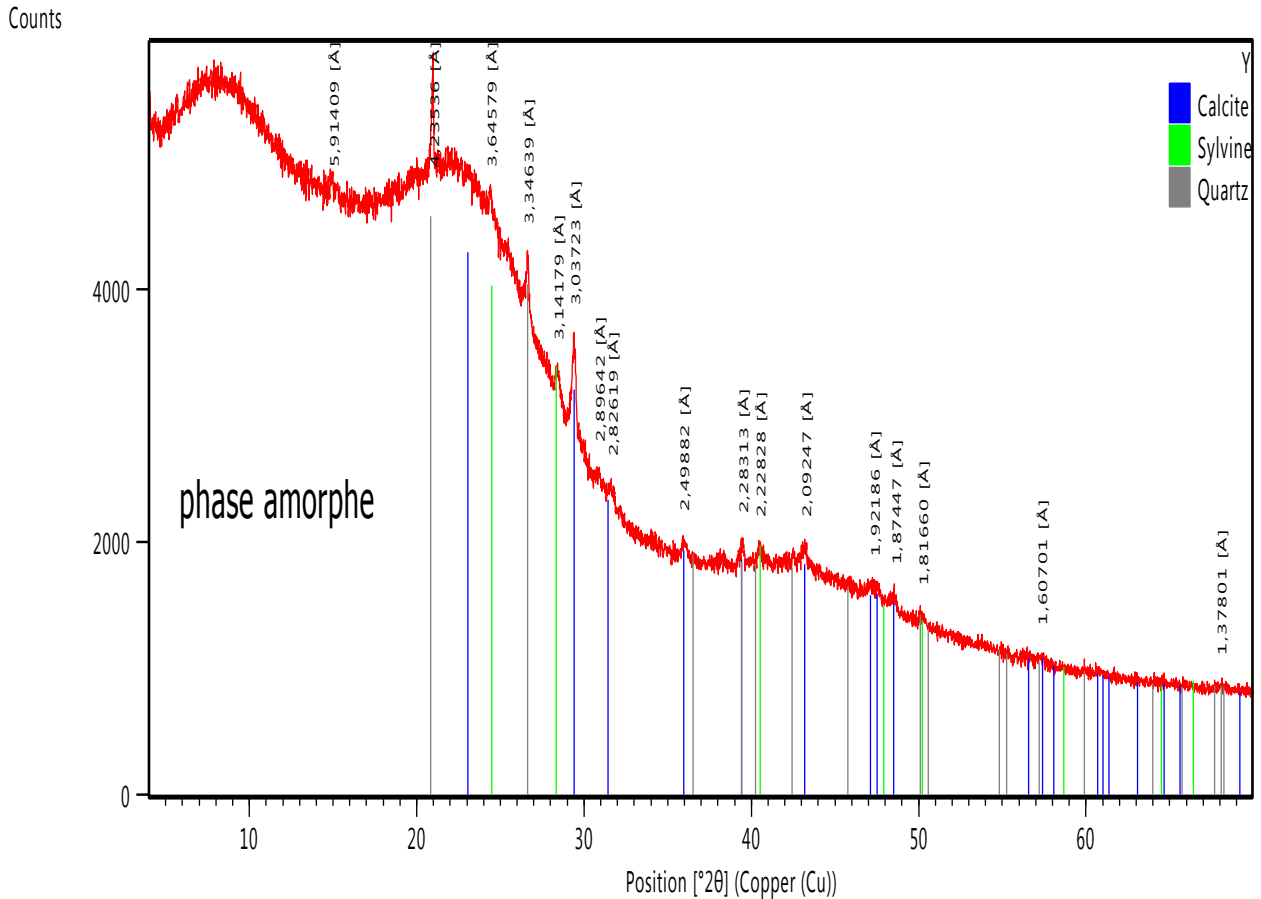


Figure 66: Diffractogramme du charbon actif.

5.3 CINETIQUE D'ADSORPTION DU PHOSPHATE

5.3.1 Effet du temps de contact

La méthode utilisée est basée à mettre en contact une masse de 1g de charbon actif dans une série des fioles identiques contenant chacune 1L de la solution synthétique, à une concentration de 5 mg /L.

Le mélange est mis sous agitation pendant des temps de réaction allant de 10 à 200 minutes à température ambiante et les essais ont été réalisés sans ajustement du pH.

La figure 68 montre que la quantité du phosphate adsorbée augmente lorsque le temps d'agitation croit et avant d'atteindre un temps d'équilibre de 160 min, puis l'évolution de la

quantité adsorbée reste constante. D'autre, l'élimination maximale de phosphate correspond un rendement maximal de 48,5 %.

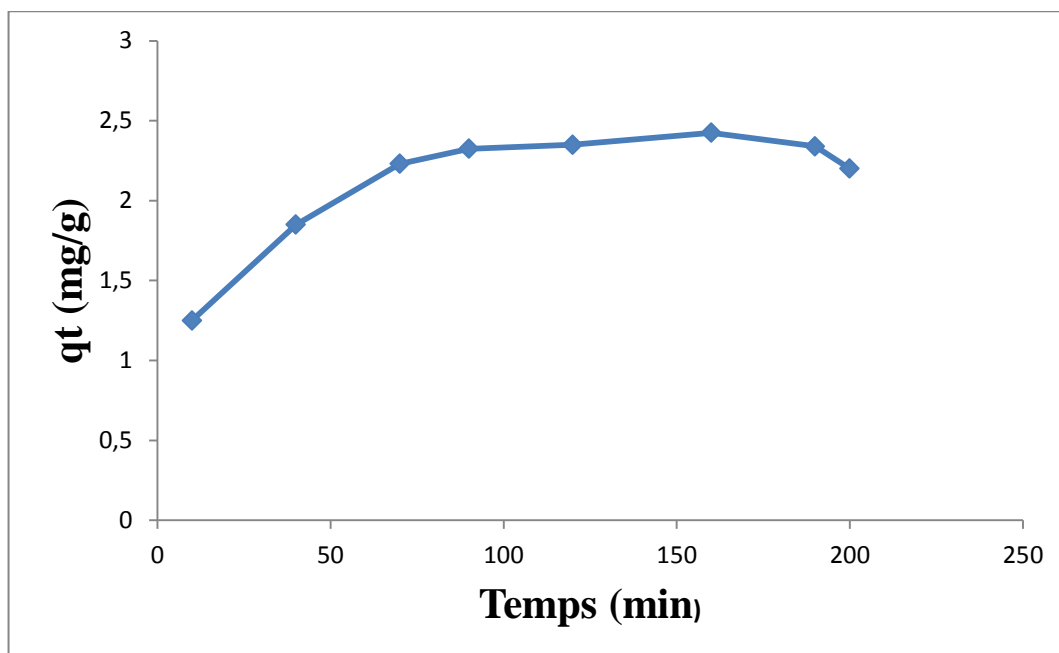


Figure 67: Influence du temps d'agitations sur l'adsorption du phosphore sur le charbon actif ($[\text{PO}_4^{3-}] = 5 \text{ mg/L}$, dose de CA=1 g/l).

Le tableau suivant (tableau 13) illustre les résultats du taux maximum d'élimination des ions phosphate, la teneur en phosphate résiduel, et le temps d'équilibre de charbon actif [7].

Tableau 13: Résultats optimaux de la cinétique d'adsorption ($[\text{PO}_4^{3-}] = 5 \text{ mg/L}$), dose de CA=1g /L).

Le charbon actif	Le rendement maximal (%)	teneur en phosphate résiduel (mg/L)	Le temps d'équilibre (min)
	48,5	2,57	160

5.3.2 Détermination de l'ordre de la cinétique d'adsorption

Divers modèles cinétiques ont été utilisés par divers chercheurs, où l'adsorption a été traitée comme un processus du pseudo-premier ordre et un pseudo-second ordre [8].

5.3.2.1 Modèle de pseudo-premier ordre

Le modèle de pseudo-premier ordre est donné par l'équation (4).

Les constantes du pseudo-premier ordre ont été déterminées par le tracé de $\log(q_e - q_t)$ en fonction du temps (t) (figure 69). Le tableau suivant présente les valeurs des quantités adsorbées q_e , les constantes de pseudo-premier ordre K_1 et les coefficients de régression R^2 [9].

Les résultats obtenus montrent que la valeur de q_e calculées est faible par rapport à la valeur de q_e expérimentales. Ainsi, la valeur de R^2 est faible ($R^2=0,92$).

On déduit que l'application du modèle de cinétique de pseudo-premier ordre à l'adsorption du phosphate sur le charbon actif donne un mauvais ajustement des résultats expérimentaux.

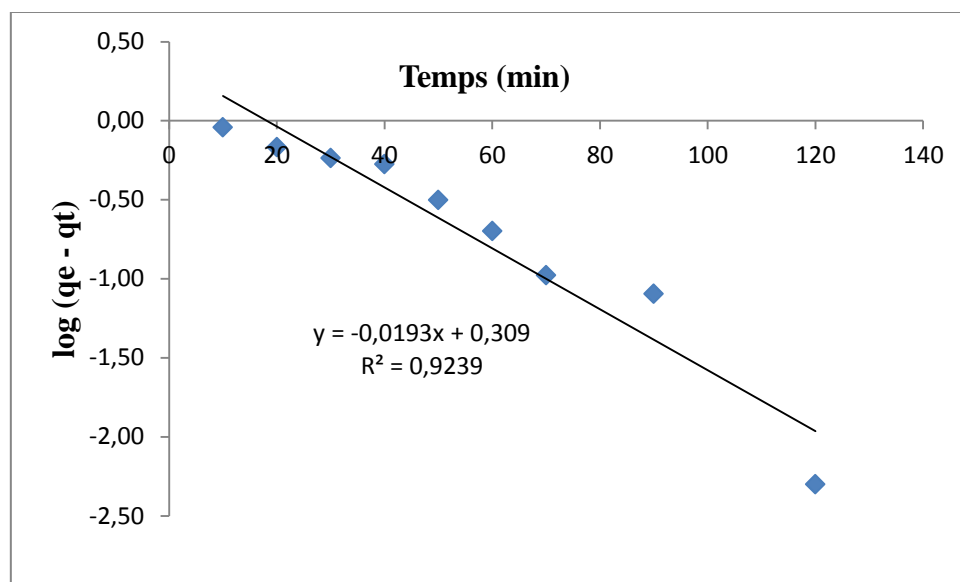


Figure 68: Modèle de pseudo-premier ordre pour la cinétique d'adsorption des phosphates sur charbon actif.

Tableau 14: Paramètres du modèle cinétique de pseudo-premier ordre pour l'adsorption du phosphate sur le charbon actif ($[\text{PO}_4^{3-}] = 5\text{mg/L}$, dose de CA = 1g/L).

Modèle de pseudo-premier ordre			
	$q_{e\text{exp}}$ (mg/g)	$q_{e\text{calc}}$ (mg/g)	K_1 (min^{-1})
Charbon actif	2,425	1,99	0,044
			R^2
			0,92

5.3.2.2 Modèle de pseudo-second ordre

Ce modèle est donné par l'équation (6).

La capacité d'adsorption à l'équilibre q_e , est obtenue en représentant la droite : $\frac{t}{q_t} = f(t)$ (figure 70).

Où : $\frac{1}{q_e}$ est la pente de cette droite.

Le tableau 15 illustre les résultats obtenus [10]. L'analyse des résultats montre que le modèle de pseudo second ordre représente un bon coefficient de corrélation $R^2 = 0,99$ qui est très proche de 1, et la valeur de q_e expérimentales est presque similaires avec celles de q_e calculées ($q_{eexp} = 2,425$ mg/g et $q_{ecalc} = 2,5$ mg/g). Donc, on déduit que les données cinétiques ont été mieux ajustées par le modèle de pseudo-second ordre. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par autres chercheurs [11,7].

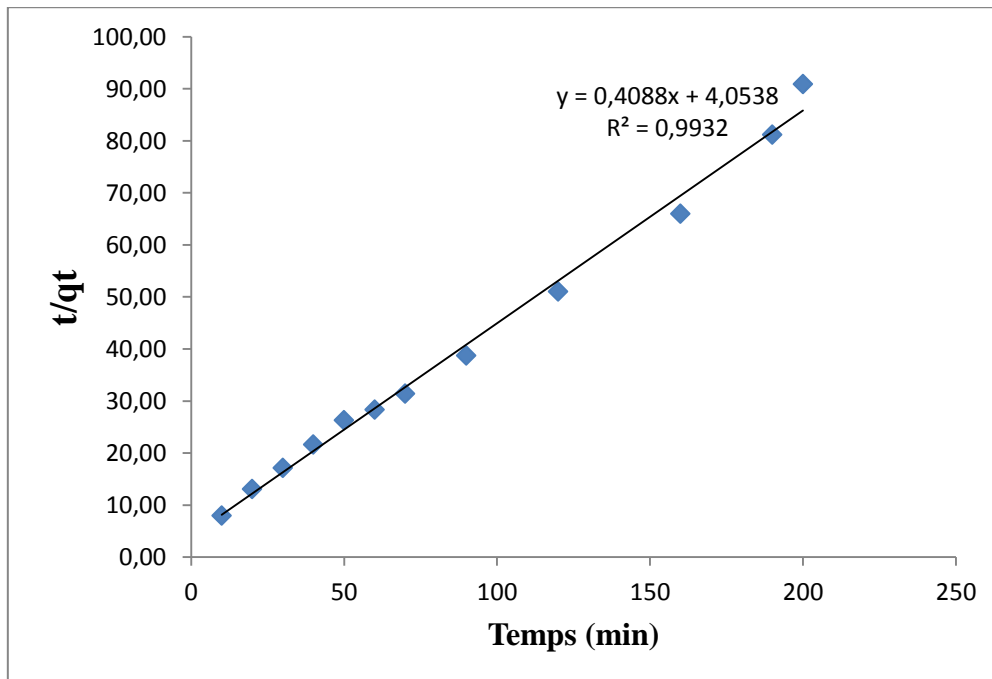


Figure 69: Modèle de pseudo-second ordre pour la cinétique d'adsorption des phosphates sur charbon actif.

Tableau 15: Paramètres du modèle cinétique de pseudo-second ordre pour l'adsorption du phosphate sur le charbon actif ($[PO_4^{3-}] = 5\text{mg/L}$), dose de CA=1g /L).

Modèle de pseudo-second ordre				
	q_{exp} (mg/g)	q_{calc} (mg/g)	K_1 (g/min·mg)	R^2
Charbon actif	2,425	2,5	0,039	0,99

5.4 EFFET DE LA DOSE DE CHARBON ACTIF

La dose d'adsorbant est l'un des facteurs les plus importants dans les processus d'adsorption. Elle est le rapport de la masse d'adsorbant au volume de la solution [12].

La dose d'adsorbant sur l'élimination du phosphate sur le charbon actif a été étudiée dans la plage de 0,15 g à 5 g pour la solution synthétique de phosphate de concentration de 5mg/L (figure 71).

Les résultats obtenus révèle que le rendement d'élimination du phosphate augmente avec l'augmentation de la dose de charbon actif et qui atteindre un maximum de 83 % pour la dose de charbon de 5mg/L. Cette amélioration des rendements peut être justifiée par l'augmentation des sites d'adsorption avec l'augmentation de la masse [13,14].

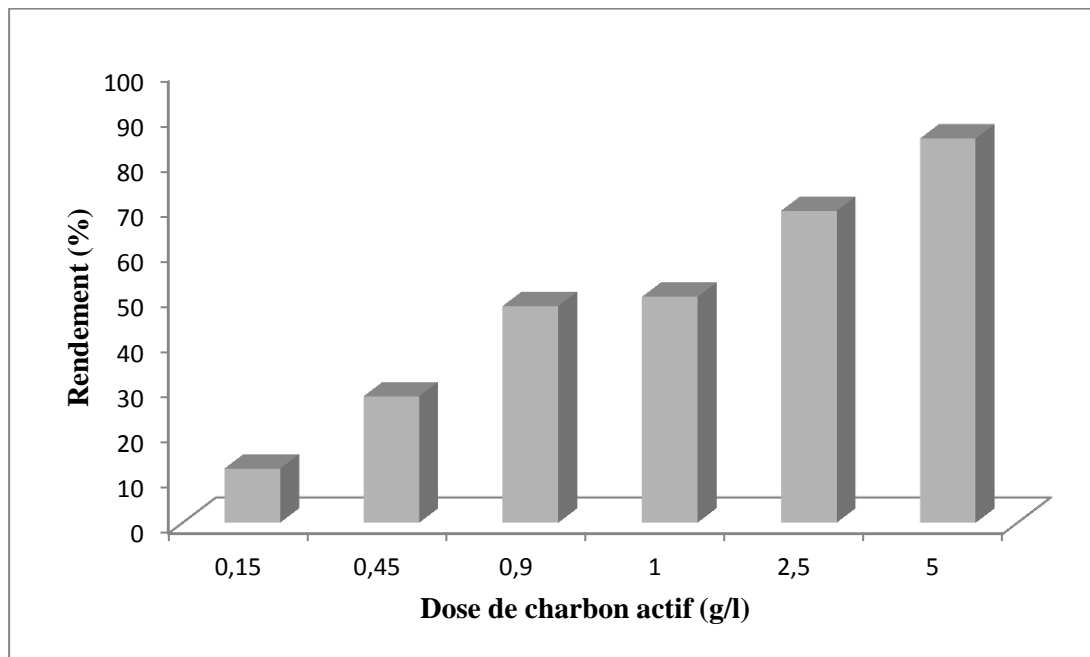


Figure 70: Influence de la dose de charbon actif sur l'adsorption de phosphore sur le charbon actif.

5.5 ISOTHERME D'ADSORPTION

La représentation de l'isotherme d'adsorption x/m en fonction de C_e a donné une isotherme de type C (figure 72). Le pallier de saturation n'est pas atteint, ce qui explique que le matériau n'est pas saturé et donc peut encore adsorber.

En se basant sur cette remarque, et malgré que le type ne correspond pas, nous suggérons d'appliquer les deux modèles d'adsorption de Freundlich et de Langmuir.

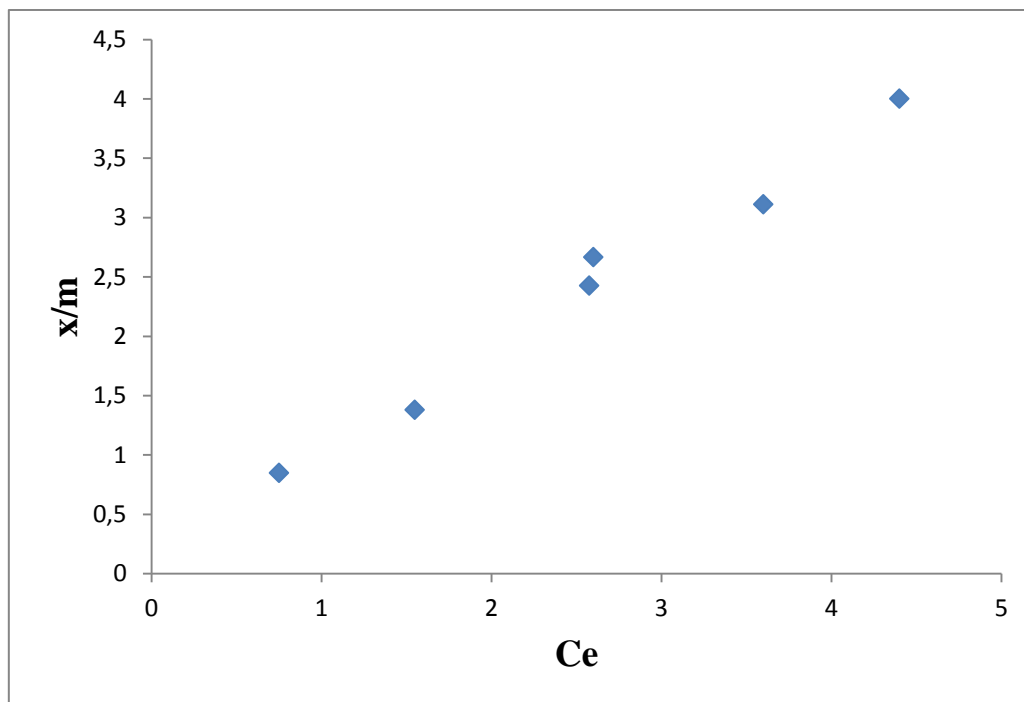


Figure 71: Isothermes l'adsorption des phosphates sur le charbon actif.

5.5.1 Isotherme de Freundlich

Le modèle isotherme de Freundlich tend généralement à décrire un processus d'adsorption hétérogène complexe en supposant que différents sites fonctionnels avec plusieurs énergies d'adsorption étaient hétérogènes.

Le modèle isotherme de Freundlich a été appliqué pour ajuster les données expérimentales, qui peuvent être décrites comme Eq. (21)

$$q_e = K_f \cdot C_e^{1/n} \quad (21)$$

K_f , n sont les constantes de Freundlich liées à l'adsorption capacité ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) et intensité d'adsorption ($\text{L} \cdot \text{mg}^{-1}$), respectivement [8].

La linéarisation de l'équation de Freundlich donne [7]:

$$\log \frac{x}{m} = \log k_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (22)$$

Les résultats des expériences d'isotherme d'adsorption du phosphate sur le charbon actif selon le modèle de Freundlich sont représentés sur la figure 73 et le tableau 16 suivantes.

La modélisation des résultats expérimentaux montrent que les coefficients de corrélation présentent une bonne concordance avec le modèle de Freundlich ($R^2 = 0,98$). En effet, la valeur de n est supérieure à 1 ce qui signifie que l'adsorption est favorable [15].

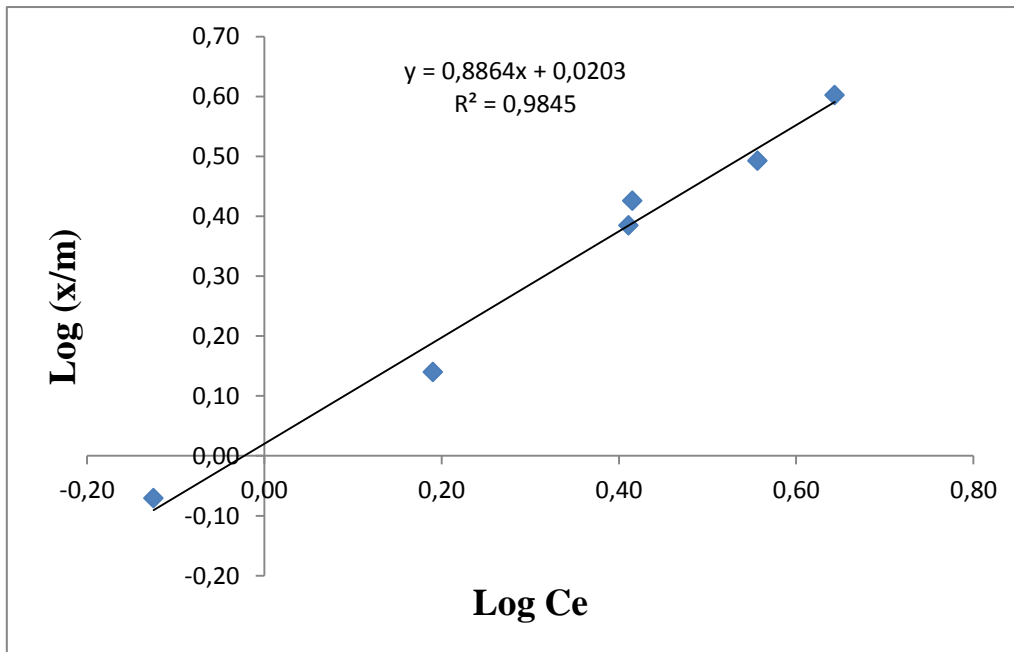


Figure 72: Modèle des isothermes l'adsorption de phosphore sur le charbon actif par les équations de Freundlich.

Tableau 16: Résultats de la modélisation d'isotherme de Freundlich d'adsorption de phosphate sur charbon actif.

Charbon actif	Modèle de Freundlich		
	R^2	n	k
	0,98	1,12	1,04

5.5.2 Isotherme de Langmuir

Le modèle le plus communément utilisé est celui de Langmuir. Les hypothèses initiales sont que le solide adsorbant présente une capacité d'adsorption maximale (q_m), que tous les sites actifs sont identiques, qu'ils ne peuvent complexer qu'une seule molécule de soluté (adsorption monocouche) et qu'il n'y a pas d'interactions entre les molécules adsorbées. Elle s'exprime par l'équation suivant :

$$\frac{q_e}{q_m} = \theta = \frac{K_L \cdot C_e}{(1 + K_L \cdot C_e)} \quad (23)$$

Ou

C_e : Concentration à l'équilibre exprimée en mg/L,

K_L : est la constante d'équilibre de Langmuir,

θ : représente le taux de recouvrement,

q_m : est la capacité maximum d'adsorption.

Quand q_e et q_m sont exprimées en mg/g et C_e en mg/L, la constante K_L est exprimé en L/mg.

La linéarisation de l'équation donne :

$$\frac{m}{x} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{q_m \cdot K_L \cdot C_e} \quad (24)$$

Les isothermes d'adsorption sont évaluées par les tracés graphiques de la relation $q_e=f(C_e)$ [16] et par une constante adimensionnelle appelée facteur de séparation ou paramètre d'équilibre R_L , défini par l'équation suivant [17] :

$$R_L = \frac{1}{(1 + K_L \cdot C_0)} \quad (25)$$

La courbe obtenue est illustrée sur la figure suivante.

Le tracé de la courbe de la figure 74 montre un très bon positionnement des points expérimentaux sur la droite de régression et le coefficient de corrélation R^2 sont très proches de 1 ($R^2=0,97$) [18].

Ainsi la valeur du facteur de séparation R_L est inférieure à 1, ceci montre que l'adsorption est favorable.

Donc, on constate que l'équation d'isotherme de Langmuir décrit bien le système d'adsorption du phosphate sur le charbon actif [12].

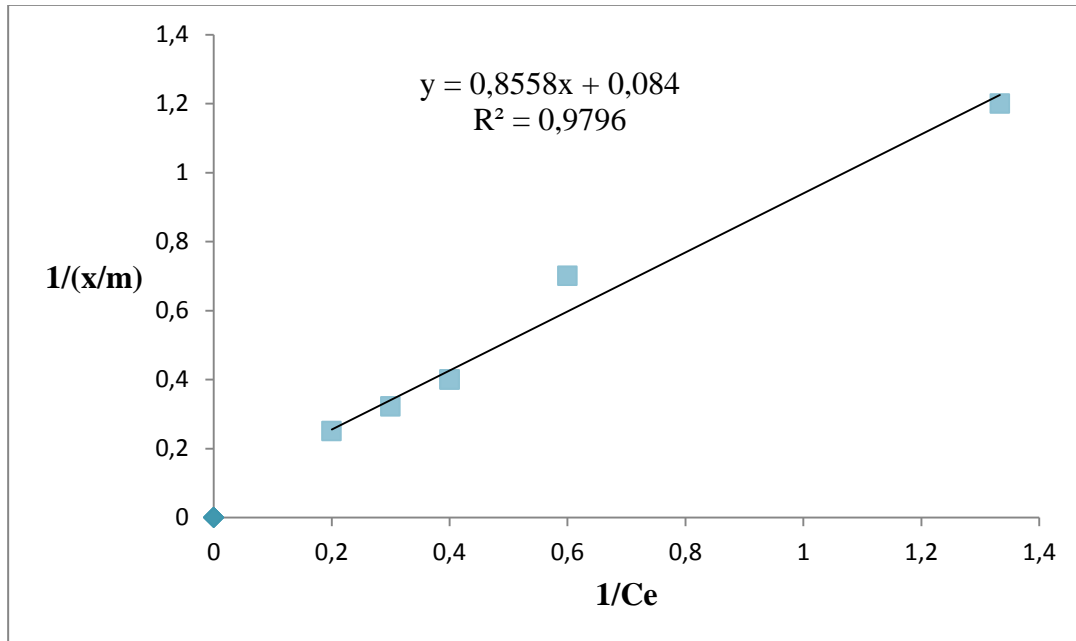


Figure 73: Modèle des isothermes l'adsorption de phosphore sur le charbon actif par les équations de Langmuir.

Tableau 17: Résultats de la modélisation d'isotherme de Langmuir d'adsorption de phosphate sur le charbon actif.

Charbon actif	Modèle de Langmuir			
	R^2	q_m (mg/g)	K_L (l/mg)	R_L
	0,97	11,9	0,098	0,67

5.6 CONCLUSION

Ce chapitre concerne l'étude de l'élimination de la pollution phosphatée dans des solutions synthétique en appliquant la méthode la plus efficace dans le traitement des eaux

qui est le phénomène d'adsorption, à partir d'un matériau locale des grignons d'olive de la région d'oued Metlili. Cependant, ces grignons permettent l'élaboration d'un charbon qui est activé par le mélange de chlorure de zinc ($ZnCl_2$) et l'acide phosphorique (H_3PO_4).

Notre travail s'intéresse, à la caractérisation de charbon actif qui est incliné sur la mesure de pH, la porosité, la teneur en eau, taux de cendre, la densité apparente et aussi sur l'analyse structurale par la diffraction des rayons X (DRX) et l'analyse microstructurale au microscope électronique à balayage (MEB). Ensuite, l'étude s'articule sur l'optimisation des paramètres cinétiques comme le temps d'agitation et la dose de charbon actif.

Les résultats de l'étude du phénomène d'adsorption de phosphate sur le charbon actif montrent que :

L'analyse par le microscope électronique à balayage (MEB) a révélé que le charbon actif présente une structure poreuse, ainsi les résultats de l'analyse par radiocristallographie du charbon actif montrent la présence de deux phases, une phase amorphe et une phase cristalline.

Le temps de contact maximal de l'adsorption est enregistré au bout de 160 min, dont le rendement est égal à 48,5%, et le rendement d'élimination de phosphate augmente avec l'augmentation de la dose de charbon actif qui est varié de 0,15 à 5 g.

La modélisation d'adsorption de phosphate a été bien décrétée par l'équation de pseudo-second ordre. Ainsi, les résultats expérimentaux ont été bien décrits par l'équation d'isotherme de Langmuir et Freundlich.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Nait-Merzoug A., Benjaballah A., Guellati O. Préparation et caractérisation d'un charbon actif à base d'un déchet agricole. Third International Conference on Energy, Materials, Applied Energetics and Pollution, October 30-31, 2016, Constantine, Algeria.
- [2] Krou N.J. Etude expérimentale et modélisation d'un procédé séquentiel AD-OX d'élimination de polluants organiques. Thèse doctorat. Université de Toulouse. 2010.
- [3] Kouadio D.L., Diarra M., Tra B.T., Akesse D.P., Soro B.D, Aboua K.N., Meite L., Kone M., Dembele A., Traore K.S. Adsorption du colorant textile Jaune 11 sur du charbon actif issu de la coque d'arachide. International Journal of Innovation and Applied Studies. Volume 26 Numéro 4. 2019.
- [4] Bechki M.K. Préparation et caractérisation du charbon actif à partir des noyaux du palmier dattier et des coquilles des noix. Thèse doctorat .Université Kasdi Merbah – Ouargla .2018
- [5] Mohammadi A. A., Alinejad A., Kamarehie B., Javan S., Ghaderpoury A., Ahmadpour M., Ghaderpoori M. Metal-organic framework Uio-66 for adsorption of methylene blue dye from aqueous solutions. International Journal of Environmental Science and Technology. Volume 14. 2017.
- [6] Cruz J.F., Valdiviezo G., Carrión L., Rimaycuna J., Ainassaari K., Gómez M.M., Solís J.L., Keiski R.L., Cruz G.J. Production and characterization of activated carbon based on coffee husk residue for phosphate removal in aqueous solutions. Journal of Physics: Conference Series. Volume 1173. 2019.
- [7] Ouakouak A. K., Youcef L. Phosphates Removal by Activated Carbon. Sensor Letters. Volume 14. 2016.
- [8] Bouamra F., Drouiche N., Abdi N., Grib H., Mameri N., Lounici H. Removal of phosphate from wastewater by adsorption on marble waste: effect of process parameters and kinetic modeling. International Journal of Environmental Research. Volume 12. 2018.
- [9] Fayoud N., Younssi S.A., Tahiri S., Albizane A. Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption de bleu de méthylène sur les cendres de bois. Journal of Materials and Environmental Science. Volume 6, Numéro 11. 2015.
- [10] Masmoudi T., Guergazi S., Achour S. Elimination Du Mercure Par Le Charbon Actif. Larhyss Journal. Numéro 34. 2018.
- [11] Ouakouak A. Elimination du cuivre, des nitrates et des phosphates des eaux par adsorption sur différents matériaux. Thèse doctorat .Université de Mohamed Khider – Biskra. 2017.

- [12] Mekonnen D.T., Alemayehu E., Lennartz B. Removal of phosphate ions from aqueous solutions by adsorption onto leftover coal. *Water*. Volume 12, Numéro 5. 2020.
- [13] Bouchemal F., Achour S. Essais d'adsorption de la tyrosine sur charbon actif en grains et en poudre. *Larhyss Journal*. Volume 6, Numéro 1. 2007.
- [14] Youcef L., Ouakouak A., Boulanouar D., Achour S. Etude du pouvoir adsorbant du charbon actif en poudre pour l'élimination des phosphates des eaux naturelles. *Larhyss Journal*. Numéro 17. 2014.
- [15] Zeghache H. Etude de l'adsorption des colorants sur un matériau poreux «charbon actif». Thèse doctorat. Université Larbi Ben M'hidi Oum-El-Bouaghi. 2019.
- [16] Mimanne G., Benhabib K., Benghalem A., Taleb S. Etude de l'Adsorption des Métaux Lourds (Pb et Cd) en Solution Aqueuse sur Charbon Actif et Montmorillonite Sodée de l'Ouest Algérien. *Journal of Materials and Environmental Science*. Volume 5, Numéro 4. 2014.
- [17] Hadj Salah N. Etude de la dégradation photocatalytique de polluants organiques en présence de dioxyde de titane, en suspension aqueuse et en lit fixe. Thèse doctorat. Université de Mentouri de Constantine. 2012.
- [18] Chouchene A. Etude expérimentale et théorique de procédés de valorisation de sous-produits oléicoles par voies thermique et physico-chimique. Thèse doctorat. Université de Haute Alsace-Mulhouse. 2010.

Conclusion

CONCLUSION GENERALE

La vallée d'oued M'Zab fait partie de la wilaya de Ghardaïa, au centre du Sahara septentrional à 600 Km au sud d'Alger. Elle est caractérisée par un climat typiquement aride.

Sur le plan géologique, la région est située sur les bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Sahara, sur un grand plateau sub-horizontal calcaires d'âge Turonien (dorsale du M'Zab). Sous l'étage du Turonien, on trouve une couche formée d'argile verte et de marne, riche en gypse et en anhydrite; qui est attribuée au étage Cénomaniens. L'étage de l'Albien est représenté par une masse importante de sables fins, à grès et d'argiles vertes. Les alluvions quaternaires formées de sables, galets et argiles tapissent le fond des vallées des oueds de la dorsale.

Du point de vue hydrogéologique, les ressources en eau sont localisées dans deux niveaux aquifères, l'aquifère superficiel d'alluvionnaire quaternaire, et l'aquifère profond du Continental Intercalair. En outre, les eaux de la nappe phréatique s'écoulent suivant un sens d'écoulement général du Nord-Ouest vers le Sud-Est le long du lit de l'oued.

Sur le plan climatique, la région d'étude est caractérisée par la rareté des précipitations, où elles varient entre 0,1 mm et 10,3 mm pour la période 2011-2020. Les températures moyennes maximum sont enregistrées au mois de juillet et les températures moyennes minimum sont enregistrées au mois de janvier. D'autre, le diagramme ombrothermique de Gaussen de la vallée du M'Zab montre que la saison sèche s'étale la totalité de l'année et selon le diagramme d'Emberger, la région d'étude est située dans l'étage bioclimatique Saharien à hiver chaud.

Les résultats de notre étude nous ont permis de conclure :

La valeur moyenne de la conductivité électrique est de l'ordre de 2583,9 $\mu\text{s/cm}$ pour l'année 2016 et de 3021,1 $\mu\text{s/cm}$ pour l'année 2017. Nous avons constaté que les eaux de la nappe phréatique sont chargées en sels surtout dans la partie aval de la vallée au niveau de la région d'Atteuf, dont la cause peut être due aux taux élevés des ions chimiques dans les eaux, et aussi par l'utilisation des fertilisants et des pesticides dans les pratiques agricoles.

Par ailleurs, la plupart des points analysés présente une eau dure à très dure due à la concentration élevée de calcium et magnésium.

Les résultats des chlorures montrent que les concentrations sont peu élevées en amont de la vallée dans la région de Daia et les concentrations plus élevées sont situés dans la partie aval de la vallée.

Cela peut être causé par des sources naturelles par lessivages des évaporites contenues dans les alluvions de l'Oued M'zab et aussi par des sources de pollution comme l'utilisation des engrais et les fosses septiques.

L'analyse des résultats des sulfates, a révélé que la majorité des eaux souterraines ont des concentrations élevées et plus particulièrement au niveau l'aval de la vallée. Ces concentrations élevées dépassent la norme Algérienne de la potabilité. La cause de cette élévation est dû aux activités agricoles par l'utilisation des pesticides, peuvent provoquer un enrichissement des eaux en sulfates. Aussi, les concentrations élevés en aval de la vallée est dû vraisemblablement, au niveau statique de la nappe qui est proche du sol d'une part, et suivant le sens d'écoulement de la nappe d'autre part. Cependant, les concentrations de fer, l'ammonium, et les nitrites ont des faibles teneurs, à l'exception du phosphate qui montre des valeurs élevées dépassent la norme Algérienne de potabilité au niveau de puits 11 et 62. La cause de cette élévation est peut être du à la pollution de surface par l'utilisation abusive des fertilisants chimiques et les activités d'élevage pratiqué à la proximité de ces deux puits, l'existence des fosses septiques et la dégradation du réseau d'assainissement.

Les résultats de l'indice de qualité de l'eau montre que, 21% des échantillons d'eau ont été trouvés d'excellente qualité, et 40%, 39% des échantillons d'eau adaptés à la catégorie bonne et mauvaise qualité respectivement durant l'année 2016. En outre, sur l'ensemble des sites d'échantillonnage durant l'année 2017, seulement 12% des échantillons d'eau avaient une eau d'excellente qualité, ainsi 37%, 46%, et 5% des puits analysés disposaient d'une eau de bonne qualité, mauvaise qualité, et très mauvaise qualité respectivement.

Les valeurs de l'indice de qualité de l'eau de la présente étude indiquent la mauvaise et très mauvaise qualité d'eau dans la zone dominée par les activités agricoles au niveau l'aval de la vallée dans la région d'Atteuf. Aussi, nous avons constaté que les valeurs les plus élevés de l'indice de qualité de l'eau sont enregistrées durant l'année 2017.

Les résultats de l'analyse statistique élémentaire et multidimensionnelle des paramètres physico-chimiques des eaux de la nappe phréatique montrent que :

La conductivité électrique est fortement corrélée avec le résidu sec, le calcium, la dureté totale, les chlorures, et les sulfates.

Une bonne corrélation est enregistrée entre le magnésium et la dureté totale, le calcium et la dureté totale, le résidu sec et le chlorure, la dureté totale et le chlorure, le chlorure et le sulfate, le calcium et le sulfate.

Le cercle de corrélation montre que les trois premiers axes F1, F2, et F3 regroupent le maximum de l'information recherchée, dont l'axe F1 regroupe la moitié des variables

comprennent la conductivité électrique, le résidu sec, le calcium, le magnésium, la dureté totale, les chlorures, et les sulfates.

L'évaluation de la qualité des eaux pour l'irrigation selon le risque de salinité montre que, la majorité des puits analysés appartiennent aux classes C3 et C4, dont les valeurs de la conductivité électrique sont supérieures à 1500 $\mu\text{s}/\text{cm}$. En conséquence, les eaux de la classe 3 sont satisfaisantes pour la plupart des grandes cultures, mais des conditions de salinité vont se développer si le drainage et le lessivage ne sont pas adéquats, ainsi les eaux de la classe 4 sont inutilisables et non recommandées sauf si des cultures tolérantes sont cultivées comme les palmiers dattiers.

Les valeurs du taux d'absorption de magnésium ont révélé que la majorité des échantillons d'eau sont inappropriées à l'irrigation, avec un pourcentage de 88% et 85% des totalités du puits pour l'année 2016 et 2017 respectivement.

Les résultats de l'étude de phénomène d'adsorption pour l'élimination du phosphate sur le charbon actif montrent que, le charbon actif des grignons d'olive présentent un adsorbant de diamètre moyen de 875 μm , avec une valeur de pH neutre, une teneur en humidité très faible, et une teneur en cendre faible. En outre, l'analyse par microscopie électronique à balayage montre que le charbon actif présente une structure poreuse de différente forme et diamètres, ainsi l'analyse par diffraction de rayon X a révélé la présence de deux phases l'un amorphe et l'autre cristalline.

Les essais d'adsorption de phosphate sur le charbon actif montrent l'efficacité de charbon actif pour l'élimination du phosphate, dont la quantité maximale adsorbée est de 2,425 mg/g, avec un temps d'équilibre est de 160 min. Le rendement d'élimination de phosphate augmente de façon remarquable avec l'augmentation de la dose de charbon actif qui est varié de 0,15 à 5 g.

La modélisation des cinétiques d'adsorption par le modèle de pseudo-premier ordre et le modèle pseudo second ordre, et l'utilisation du coefficient de corrélation ont permis de déterminer le modèle le plus favorable dans le phénomène d'adsorption.

La modélisation des isothermes d'adsorption a été faite selon les modèles de Langmuir, Freundlich.

Les résultats de la modélisation de la cinétique d'adsorption de phosphate a été bien décrite par l'équation de pseudo-second ordre par un coefficient de corrélation de $R^2 = 0,99$, et les résultats d'isotherme d'adsorption du phosphate montrent que les deux modèles d'étude de Langmuir et Freundlich présentent les modèles les plus appropriés pour décrire l'adsorption du phosphate sur le charbon actif. Enfin, nous insistons sur le fait que les résultats obtenus à

cette étape de la recherche sont encourageants et incitent à être poursuivis pour encore améliorer le rendement de ce charbon actif et déterminer les conditions de sa mise en œuvre

Enfin, nous espérons que cette partie d'étude fasse objet d'une continuation et élargissement, et comme perspective, nous proposons les points suivants:

- D'ajouter des historiques de ces puits pour bien voir leur fréquence de variation dans le temps et afin d'enrichir la base des données,
- Le suivi régulier des rejets domestiques et l'utilisation des engrais agricoles,
- L'élargissement de la zone d'étude sur les puits d'eaux souterraines au niveau régional, ce qui permettra de ressortir toutes les anomalies, les qualités et les suggestions utiles et nécessaires à entreprendre
- L'élaboration du charbon actif à base d'autres matériaux locale telle que les noyaux de datte, coques de cacahuètes,
- La caractérisation du charbon actif avec d'autres techniques comme la spectrométrie de fluorescence X (SFX), la spectroscopie infra rouge à transformée de Fourier (FTIR), et l'analyse thermogravimétrique (ATG),
- L'essai d'adsorption de phosphate sur charbon actif sous l'effet du pH la température et la concentration initiale de phosphate,
- D'effectuer des essais d'adsorption sur d'autres polluants.

Annexes

ANNEXE 1 : ANALYSE DES EAUX : MODES OPERATOIRES

LA DURETE TOTALE

Réactifs

- Solution tampon pH 10.
- Solution EDTA 10 mmole\ L
- Solution de mordant noir 11 (indicateur).

Mode opératoire

Dans une fiole conique de 250 mL, introduire 50mL d'eau à analyser, puis ajouter 4 mL de solution tampon et 3 gouttes de solution de mordant noir. La solution se colore en rouge foncé ou violet. En maintenant une agitation, au début verser la solution d'EDTA rapidement, puis goutte à goutte lorsque la solution commence à virer au bleu .

LE CALCIUM

Réactifs

- Solution d'EDTA :

Dissoudre 3,721 g de sel disodique de l'acide éthylène-diamine tétracétique dans un litre d'eau distillée

- Solution d'hydroxyde de sodium :

Dissoudre 8g d'hydroxyde de sodium dans un volume de 100 mL.

- Indicateur :

Acide calcone carboxylique (0.2 g HSN et 100 g de chlorure de sodium)

Mode opératoire

Dans un bécher, on introduit 50 mL d'eau d'analyse, puis ajouter une pincée de calcone, et plus de 3 gouttes de solution d'hydroxyde de sodium. On titre par l'EDTA jusqu'à l'apparition de couleur bleu.

LES CHLORURES

Réactifs

- Solution de nitrate d'argent (0.1N).
- Carbonate de calcium
- Solution de chromate de potassium.
- Acide nitrique pur

Mode opératoire

Dans une fiole conique de 250 mL, On introduit 100 mL d'eau à analyser, puis ajouter 3 gouttes d'acide nitrique pur, une pincée de carbonate de calcium ,et 3 gouttes de solution de chromate de potassium. Au moyen d'une burette, verser la solution de nitrate d'argent jusqu'à l'apparition d'une teinte rougeâtre.

LES SULFATES

Réactifs

- Solution de sulfate de baryum
- Solution de chlorure de baryum :

Dissoudre 100 g de chlorure de baryum dans un volume de 1000 mL d'eau distillée.

- Indicateur de méthyle d'orange:

Dissoudre 100 mg de méthyle d'orange dans un volume de 50 mL d'eau distillée et diluer à 100 mL.

- HCl 10%

Mode opératoire

Dans un bécher, introduire 100 mL d'eau à analyser, puis on ajoute 5 mL d'acide HCl et 2 gouttes de l'indicateur de méthyle d'orange. Chauffer le mélange jusqu'à l'ébullition, et faire tomber goutte à goutte 20 mL de solution de chlorure de baryum. Ensuite, filtrer le mélange par un papier filtre. On met le papier filtre dans un creuset qui est déjà nettoyé, séché et pesé. On place le creuset dans four pendant 15 min et laisser refroidir dans le dessiccateur pendant 15 min. On pèse le creuset contenant le précipité. La masse finale du

précipité est obtenue en soustrayant la masse du creuset avec précipité et la masse du creuset vide.

LES PHOSPHATES

Réactifs

- Solution d'acide sulfurique ($C_{H_2SO_4}=4,5 \text{ mol/L}$) :

Introduire 50 mL d'eau distillé dans un bécher de 1L, ajouter avec précaution 50 mL de solution d'acide sulfurique et en diluer à 500 mL avec l'eau distillé.

- Solution de molybdate d'ammonium à 40 g/L :

Dissoudre une masse de 20 g de molybdate d'ammonium tétrahydraté dans un volume de 500 mL d'eau distillée.

- Solution de tartrate double d'antimoine et de potassium à 2,8 g/L :

Dissoudre 0,28 g de tartrate double d'antimoine et de potassium dans un volume de 100 mL d'eau distillée.

- Solution d'acide ascorbique à 20 g/L :

Dissoudre une masse de 2 g de l'acide ascorbique dans un volume de 100 mL d'eau distillée

Les solutions sont conservées en flacon de polyéthylène à 4 °C.

- Réactif combiné :

Ajouter 50 mL solution d'acide sulfurique, un volume de 5 mL de solution de tartrate double d'antimoine et de potassium et un volume de 15 mL de solution de molybdate d'ammonium dans un volume de 100 mL d'eau distillée.

Mode opératoire

Introduire dans un fiole 1 mL de solution d'acide ascorbique, agiter bien, puis ajouter 4 mL de réactif combiné, et en mélanger, compléter éventuellement le volume à 25 mL.

Attendre 30 minutes la stabilisation de la coloration et effectuer les mesures au spectromètre à la longueur d'onde de 720 nm.

L'AMMONIUM

Réactifs

- Réactif coloré :

Dissoudre 65 g de citrate trisodique dihydraté et 65 g de salicylate de sodium dans l'eau distillée contenue dans une fiole de 500 mL. Puis ajouter une masse de 0,485 g de nitrosopantacyanoferrate III de sodium.

- Dichloroisocyanate de sodium :

Dissoudre 16 g d'hydroxyde de sodium dans un volume de 250 mL d'eau distillée, et ajouter 1g de dichloroisocyanurate dihydraté. Transférer la solution dans une fiole de 500 mL et diluer jusqu'à le trait.

Mode opératoire

Dans une fiole jaugée de 50 mL, introduire 40 mL d'eau à analyser, puis ajouter 4 mL de réactif coloré et 4 mL de solution dichloroisocyanurate de sodium, compléter le volume à 50 mL. Effectuer la lecture au spectromètre après 90 min à une longueur d'onde 650 nm.

LE FER

Réactifs

- Solution de l'acide sulfurique
- Tampon acétate :

Dissoudre 40 g d'acétate d'ammonium dans l'eau distillée, ajouter 50 mL de l'acide acétique cristallisable et compléter le volume à 100 mL avec l'eau distillée.

- Solution de chlorhydrate d'hydroxylamine :

Dissoudre 10 g de chlorhydrate d'hydroxylamine dans l'eau distillée et compléter jusqu'à un volume de 100 mL.

- Solution de chlorhydrate de phénanthroline -1,10 :

Dissoudre 0,5 g de chlorure de phénanthroline -1,10 dans un volume de 100 mL d'eau distillée.

Mode opératoire

Introduire un volume de 50 mL d'eau à analyser, et on ajoute 2 mL d'acide sulfurique, 2 mL de tampon acétate, et 2 mL de la solution 1.10 de phénanthroline. Le mélange est conservé à l'obscurité pendant 15 min. Effectuer la lecture à une longueur d'onde de 510 nm.

LES NITRITES

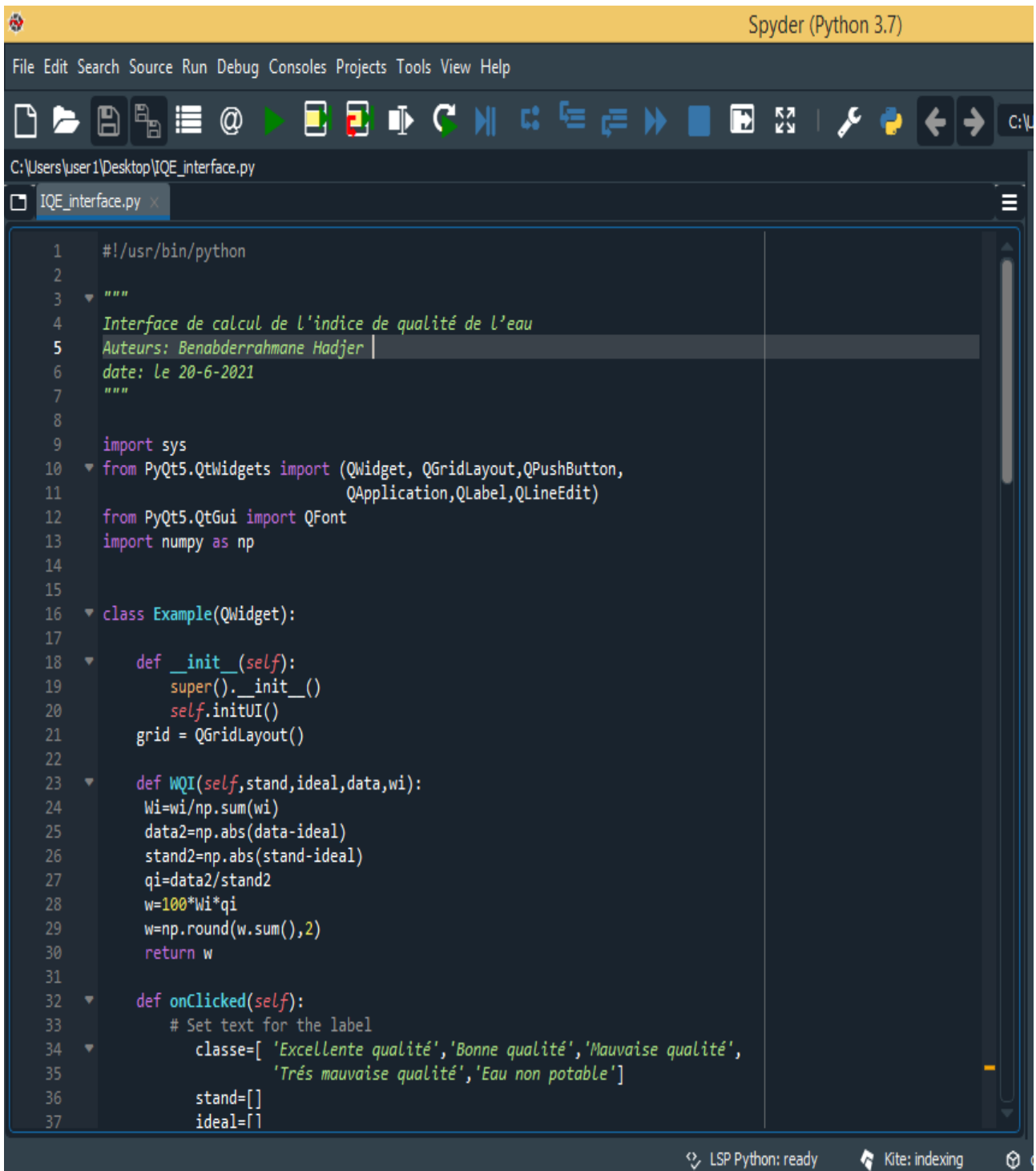
Réactifs

- Réactif amino-4- Benzène sulfonamide :

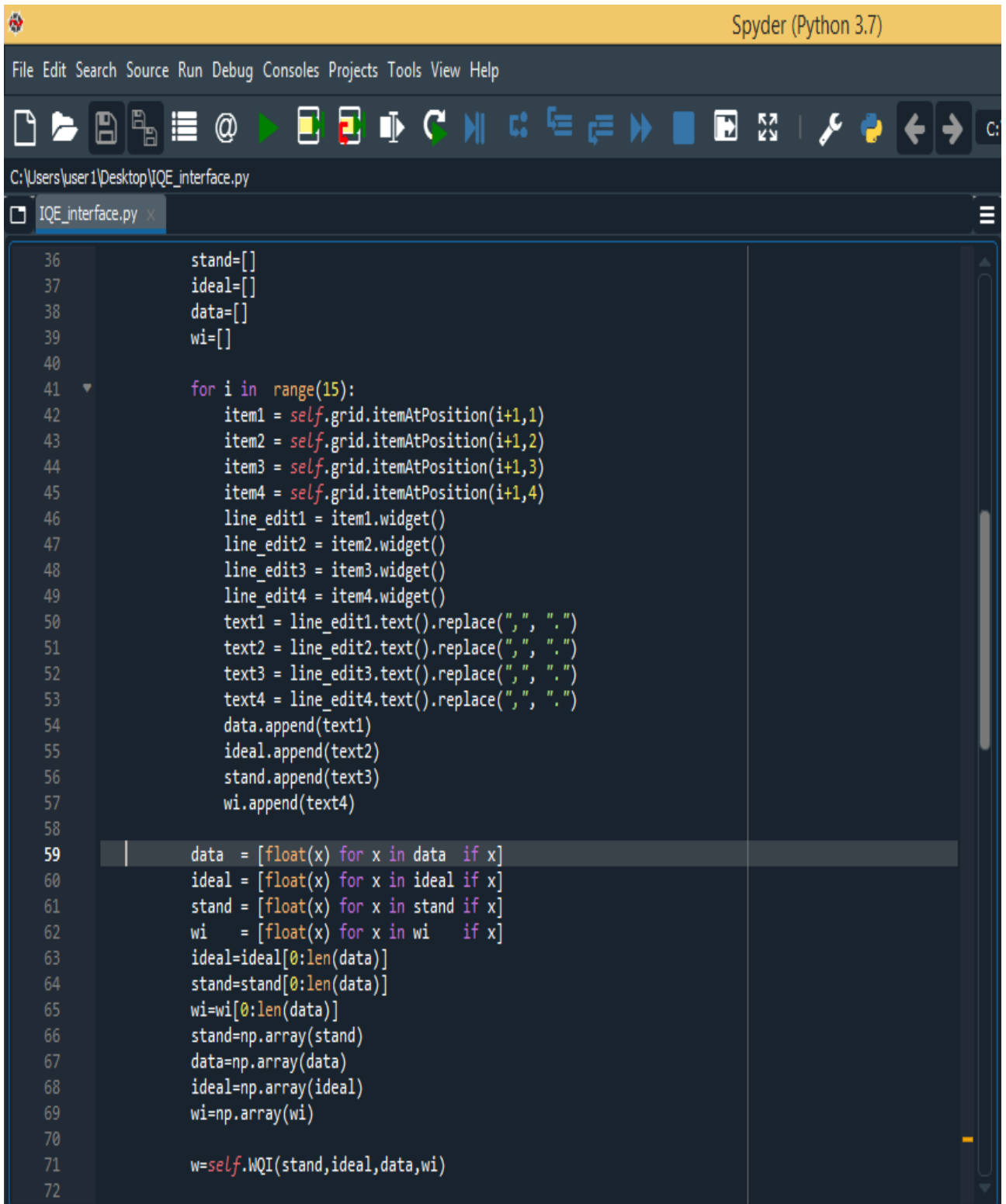
Mélanger dans un bécher un volume de 800 mL d'eau distillée et un volume de 100 mL d'acide phosphorique, puis en ajoute 40 g de sulfanilamide et 2 g de N-1- Naphtyl éthylène diamine, et en complète à 1000 mL.

Mode opératoire

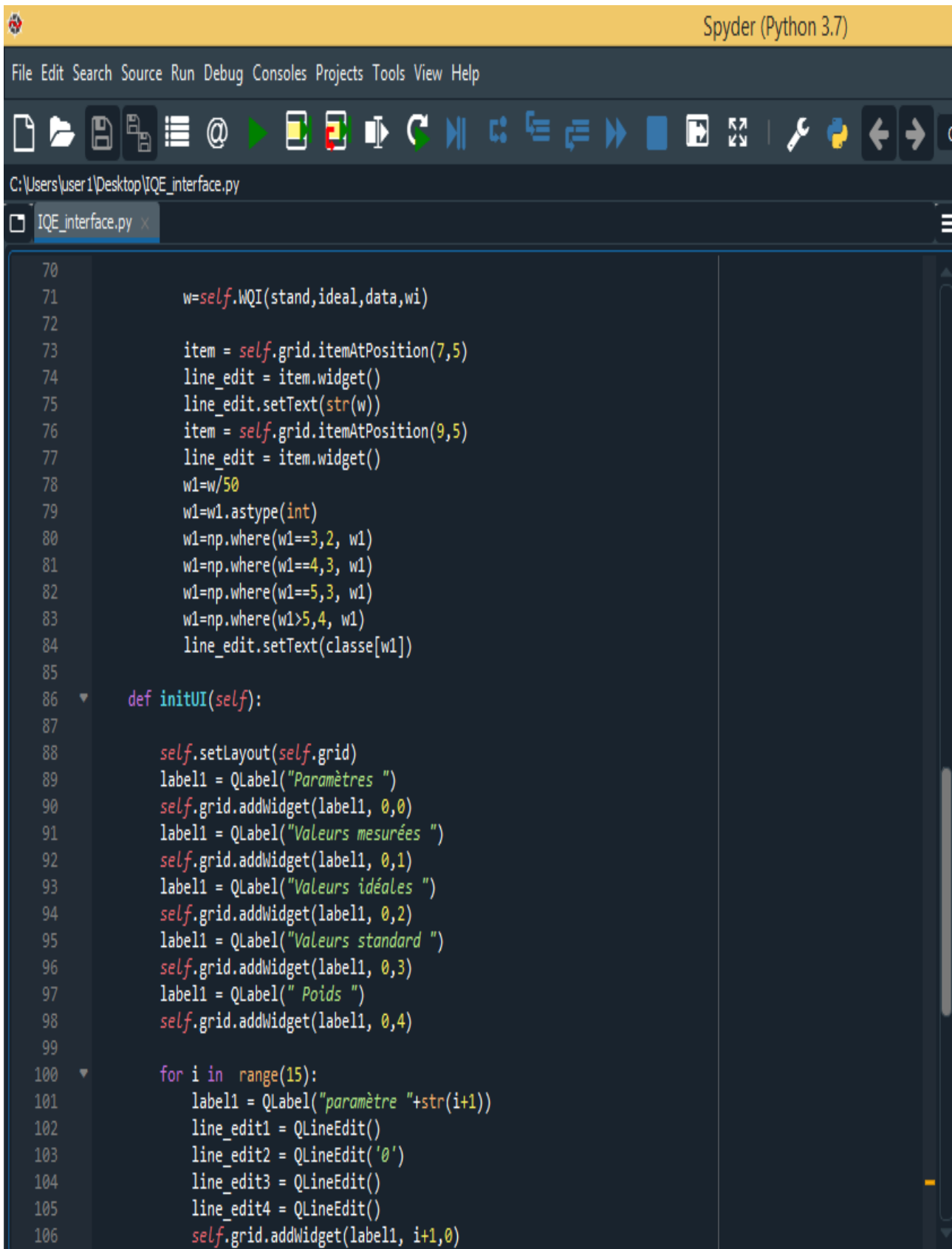
Introduire 40 mL d'eau à analyser, puis ajouter 2 mL de réactifs amino-4- Benzène sulfonamide. Après 15 min, effectuer la lecture au spectromètre à une longueur d'onde 540 nm.

ANNEXE 2 : CODE SOURCE DE L'INTERFACE DE CALCUL DE L'INDICE DE LA QUALITE DE L'EAU

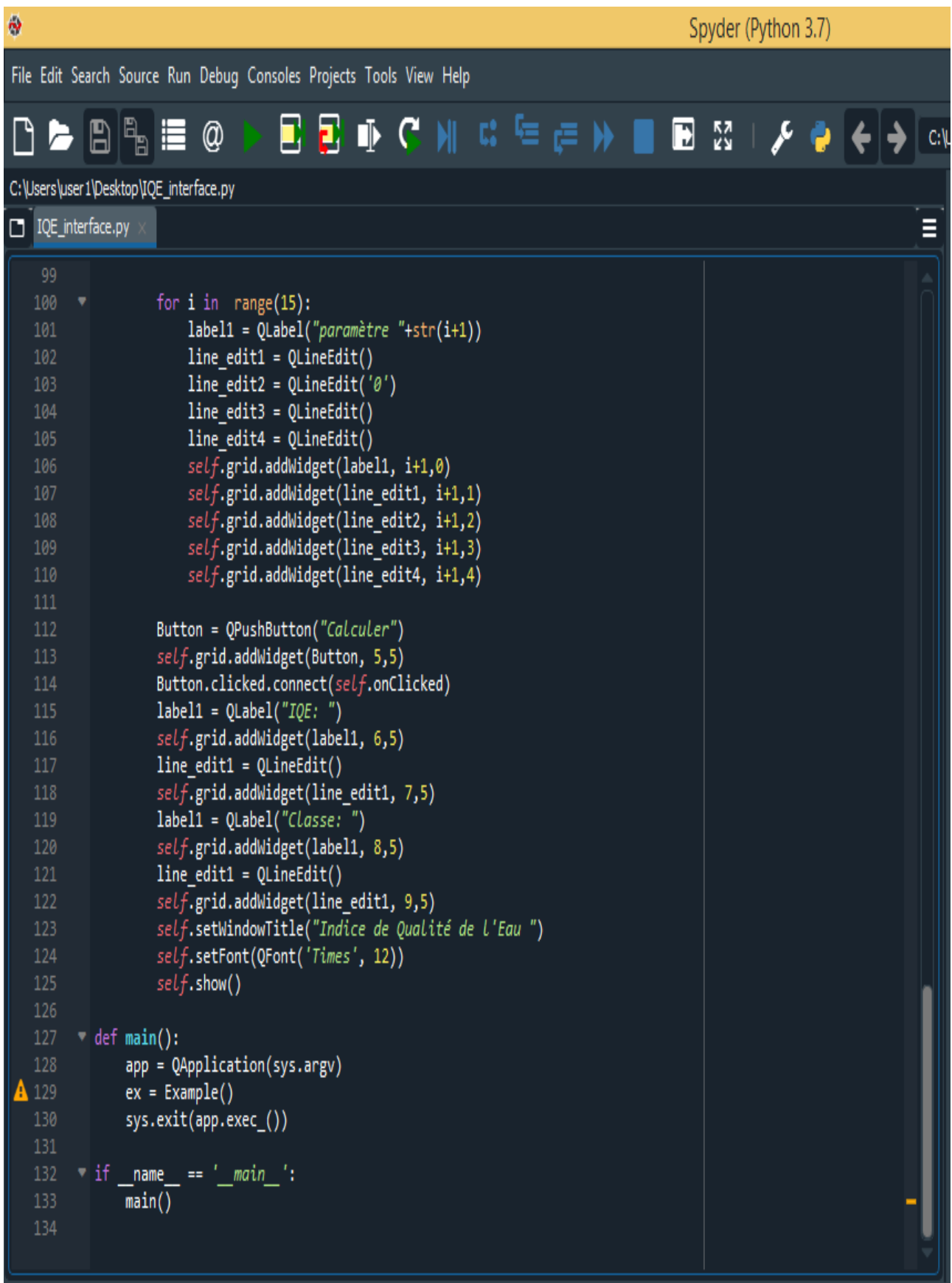
```
1  #!/usr/bin/python
2
3  """
4  Interface de calcul de l'indice de qualité de l'eau
5  Auteurs: Benabderrahmane Hadjer |
6  date: le 20-6-2021
7  """
8
9  import sys
10 from PyQt5.QtWidgets import (QWidget, QGridLayout,QPushButton,
11                             QApplication,QLabel,QLineEdit)
12 from PyQt5.QtGui import QFont
13 import numpy as np
14
15
16 class Example(QWidget):
17
18     def __init__(self):
19         super().__init__()
20         self.initUI()
21         grid = QGridLayout()
22
23     def WQI(self,stand,ideal,data,wi):
24         Wi=wi/np.sum(wi)
25         data2=np.abs(data-ideal)
26         stand2=np.abs(stand-ideal)
27         qi=data2/stand2
28         w=100*Wi*qi
29         w=np.round(w.sum(),2)
30         return w
31
32     def onClicked(self):
33         # Set text for the label
34         classe=[ 'Excellente qualité','Bonne qualité','Mauvaise qualité',
35                'Trés mauvaise qualité','Eau non potable']
36         stand=[]
37         ideal=[]
```



```
Spyder (Python 3.7)
File Edit Search Source Run Debug Consoles Projects Tools View Help
C:\Users\user1\Desktop\IQE_interface.py
IQE_interface.py x
36     stand=[]
37     ideal=[]
38     data=[]
39     wi=[]
40
41     for i in range(15):
42         item1 = self.grid.itemAtPosition(i+1,1)
43         item2 = self.grid.itemAtPosition(i+1,2)
44         item3 = self.grid.itemAtPosition(i+1,3)
45         item4 = self.grid.itemAtPosition(i+1,4)
46         line_edit1 = item1.widget()
47         line_edit2 = item2.widget()
48         line_edit3 = item3.widget()
49         line_edit4 = item4.widget()
50         text1 = line_edit1.text().replace(",",".")
51         text2 = line_edit2.text().replace(",",".")
52         text3 = line_edit3.text().replace(",",".")
53         text4 = line_edit4.text().replace(",",".")
54         data.append(text1)
55         ideal.append(text2)
56         stand.append(text3)
57         wi.append(text4)
58
59     data = [float(x) for x in data if x]
60     ideal = [float(x) for x in ideal if x]
61     stand = [float(x) for x in stand if x]
62     wi = [float(x) for x in wi if x]
63     ideal=ideal[0:len(data)]
64     stand=stand[0:len(data)]
65     wi=wi[0:len(data)]
66     stand=np.array(stand)
67     data=np.array(data)
68     ideal=np.array(ideal)
69     wi=np.array(wi)
70
71     w=self.WQI(stand,ideal,data,wi)
72
```



```
Spyder (Python 3.7)
File Edit Search Source Run Debug Consoles Projects Tools View Help
C:\Users\user1\Desktop\IQE_interface.py
IQE_interface.py x
70
71     w=self.WQI(stand,ideal,data,wi)
72
73     item = self.grid.itemAtPosition(7,5)
74     line_edit = item.widget()
75     line_edit.setText(str(w))
76     item = self.grid.itemAtPosition(9,5)
77     line_edit = item.widget()
78     w1=w/50
79     w1=w1.astype(int)
80     w1=np.where(w1==3,2, w1)
81     w1=np.where(w1==4,3, w1)
82     w1=np.where(w1==5,3, w1)
83     w1=np.where(w1>5,4, w1)
84     line_edit.setText(classe[w1])
85
86     def initUI(self):
87
88         self.setLayout(self.grid)
89         label1 = QLabel("Paramètres ")
90         self.grid.addWidget(label1, 0,0)
91         label1 = QLabel("Valeurs mesurées ")
92         self.grid.addWidget(label1, 0,1)
93         label1 = QLabel("Valeurs idéales ")
94         self.grid.addWidget(label1, 0,2)
95         label1 = QLabel("Valeurs standard ")
96         self.grid.addWidget(label1, 0,3)
97         label1 = QLabel(" Poids ")
98         self.grid.addWidget(label1, 0,4)
99
100     for i in range(15):
101         label1 = QLabel("paramètre "+str(i+1))
102         line_edit1 = QLineEdit()
103         line_edit2 = QLineEdit('0')
104         line_edit3 = QLineEdit()
105         line_edit4 = QLineEdit()
106         self.grid.addWidget(label1, i+1,0)
```



The image shows the Spyder Python IDE interface. The title bar reads "Spyder (Python 3.7)". The menu bar includes "File", "Edit", "Search", "Source", "Run", "Debug", "Consoles", "Projects", "Tools", "View", and "Help". The toolbar contains various icons for file operations and execution. The file path is "C:\Users\user1\Desktop\IQE_interface.py". The editor window shows the following Python code:

```
99
100     for i in range(15):
101         label1 = QLabel("paramètre "+str(i+1))
102         line_edit1 = QLineEdit()
103         line_edit2 = QLineEdit('0')
104         line_edit3 = QLineEdit()
105         line_edit4 = QLineEdit()
106         self.grid.addWidget(label1, i+1,0)
107         self.grid.addWidget(line_edit1, i+1,1)
108         self.grid.addWidget(line_edit2, i+1,2)
109         self.grid.addWidget(line_edit3, i+1,3)
110         self.grid.addWidget(line_edit4, i+1,4)
111
112         Button = QPushButton("Calculer")
113         self.grid.addWidget(Button, 5,5)
114         Button.clicked.connect(self.onClicked)
115         label1 = QLabel("IQE: ")
116         self.grid.addWidget(label1, 6,5)
117         line_edit1 = QLineEdit()
118         self.grid.addWidget(line_edit1, 7,5)
119         label1 = QLabel("Classe: ")
120         self.grid.addWidget(label1, 8,5)
121         line_edit1 = QLineEdit()
122         self.grid.addWidget(line_edit1, 9,5)
123         self.setWindowTitle("Indice de Qualité de l'Eau ")
124         self.setFont(QFont('Times', 12))
125         self.show()
126
127     def main():
128         app = QApplication(sys.argv)
129         ex = Example()
130         sys.exit(app.exec_())
131
132     if __name__ == '__main__':
133         main()
134
```