

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى جيجل

M/Hy. Géo. 15/22

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



كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم : علوم الأرض و الكون

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme : Master Académique
En Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière: Géologie

Option : Hydrogéologie

Thème

1
1

**Qualité des eaux destinées à l'alimentation en eau potable
de la nappe alluviale d'Oued Nil (Jijel, NE Algérien)**

Membres de Jury

Président : Mr Debieche Taha Hocine

Examineur : Mr Drouiche Abdelmalek

Encadrant : Mr Mahdid Souhil

Présenté par

M^{elle} : Boussif Ikram

M^{me} : Bouatrous Rima



Année Universitaire 2021-2022

Numéro d'ordre (bibliothèque) :



Remerciements

On remercie Allah le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

*Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir Le jour sans l'aide et l'encadrement de **Mr Mahdid Souhil**, on le remercie du fond du cœur pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.*

*Nous remercions **Mlle Benabbes Dounyazed** pour son aide pratique au laboratoire et son soutien moral et ses encouragements.*

Nos remerciement s'adresse également à tous nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles, et pour la qualité de l'enseignement qu'ils nous ont prodigué au cours de ces années passées.

Ikram & Rima



Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à
l'élaboration de ce travail, plus particulièrement :*

*A mes parents **Ammar & Saïda** ; le papa le plus gentil, et la maman la plus attentionnée,
votre soutien fut une lumière dans tout mon parcours,*

*A Mes cher frères **Karim & Reda**; En gage de ma profonde estime pour l'aide que vous
m'avez apporté,*

*A mes sœurs d'amour; **Ismahane & Loubna** les copines sur lesquelles je peux compter;
Ibtissem, nouni qui m'as soutenue, réconfortée et encouragée le plus,*

*A ma belle-sœur **Nada** et mon beau-frère **Fouad** pour le soutien moral,*

A l'homme de ma vie, pour l'amour exceptionnel que vous m'offrez quotidiennement,

*A ma nièce **Lina**, qui fait la joie de mon cœur,*

*A mon binôme et ma copine **Rima**,*

*A toute ma famille «**Boussif & Belkhelfa**»,*

Je vous souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité.

IKRAM



Dédicace

*Je suis heureuse de profiter de cette page pour offrir mes salutations et mes
Remerciements*

*A mes chers parents **Abdessalem & Fatiha**; mon père bien aimé et ma chère maman, merci
pour le soutien durant toutes mes années d'études,*

*A mon homme **Hani** qui m'a beaucoup aidé et m'encouragé jusqu' la fin,*

*A mes petits-enfants d'amour; **Abir & Mohamed Mehdi**,*

*A mes chers frères; **Zidane & Abdelkader & Housseem & Adel**,*

*A mes chères sœurs; **Madjeda & Manel & Imen & Malek**,*

*A ma belle-famille «**Chaïbdour**»; en particulier mes beaux-parents; **Abdessalem & Fatima**,*

*Mon beau-frère **Sidali** et ma belle sœur **Souad**,*

*A mon binôme et ma copine **Ikram**,*

Merci pour leur amour et leur encouragement.

RÍMA

Résumé

L'objectif de ce travail est l'étude de la qualité des eaux de surface et souterraines de la plaine alluviale d'oued Nil qui sont largement utilisées dans l'alimentation en eau potable des communes qui entourent la plaine et l'irrigation des différentes cultures. À cet effet, nous sommes basés sur les analyses physico-chimiques des 14 échantillons d'eaux prélevées lors de la campagne d'avril 2022 ainsi que le calcul de l'indice de qualité des eaux (IQE), afin de caractériser la chimisme de ces eaux en vue d'estimer leur qualité pour l'alimentation en eau potable des populations.

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux superficielles et souterraines de la plaine alluviale d'oued Nil sont dans les normes algériennes de potabilité, indiquant une bonne qualité des eaux, hormis le magnésium et le pH des eaux souterraines qui ne sont pas conformes à la norme.

Le calcul de l'indice de qualité des eaux (IQE) a permis de distinguer que les eaux de la plaine alluviale d'oued Nil sont majoritairement d'excellentes à bonne qualité convenable pour la consommation humaine.

Mots clés : oued Nil, analyses physico-chimiques, indice de qualité de l'eau, plaine alluviale, Jijel.

Abstract

The objective of this work is the study of the quality of surface and groundwater of the alluvial plain of Wadi Nil which are widely used in the drinking water supply of the municipalities surrounding the plain and the irrigation of various crops. To this end, we based ourselves on the physico-chemical analyses of 14 water samples taken during the April 2022 campaign as well as the calculation of the water quality index (WQI), in order to characterise the chemistry of these waters with a view to estimating their qualities for the drinking water supply of the populations.

The results of the physico-chemical analyses of the surface and groundwater of the alluvial plain of Oued Nil are within the Algerian standards of potability, indicating a good quality of water, except for the magnesium and the pH of the groundwater which are not in conformity with the standard.

The calculation of the water quality index (WQI) allowed distinguishing that the waters of the Oued Nil alluvial plain are mostly of excellent to good quality suitable for human consumption.

Keywords: oued Nil, physico-chemical analyses, water quality index, alluvial plain, Jijel.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة نوعية المياه السطحية والجوفية لسهل وادي النيل والتي تستخدم على نطاق واسع في تزويد مياه الشرب للبلديات المحيطة بالسهل وري المحاصيل المختلفة. ولهذه الغاية، فإننا نعتد على التحليلات الفيزيائية والكيميائية لعينات المياه الأربعة عشر التي تم أخذها خلال حملة أبريل 2022 وكذلك حساب مؤشر جودة المياه (IQE) ، من أجل تمييز كيمياء هذه المياه لتقدير نوعيتها من أجل تزويد السكان بمياه الشرب.

نتائج التحليلات الفيزيائية والكيميائية للمياه السطحية والجوفية لسهل وادي النيل تقع ضمن المعايير الجزائرية لمياه الشرب، مما يشير إلى جودة المياه ، باستثناء المغنيسيوم ودرجة الحموضة في المياه الجوفية التي لا تتوافق مع هذه المعايير.

مكننا حساب مؤشر جودة المياه (IQE) من تمييز جودة مياه سهل وادي النيل، من نوعية ممتازة إلى جيدة ومناسبة للاستهلاك البشري.

الكلمات المفتاحية: وادي النيل ، التحليلات الفيزيائية والكيميائية ، مؤشر جودة المياه ، السهل الغربي ، جيجل.

Table de matière

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Sommaire

Introduction Générale..... 1

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

I. Présentation de la zone d'étude 3

I.1. Situation géographique de la Wilaya de Jijel..... 3

I.2. Situation de la zone d'étude 3

I.3. Géomorphologie et relief 4

I.4. Réseau hydrographique et climat 6

I.4.1 Réseau hydrographique 6

I.4.2 Climat..... 7

I.5. Population, type d'agriculture, transport 7

1.5.1 Population..... 7

1.5.2 Type d'agriculture et couvert végétal 8

1.5.3 Transport..... 9

II. Contexte géologique..... 9

II.1. Géologie régionale 9

II.2. Aspect structural de la région d'étude..... 10

II.3. Aspect lithologique de la région d'étude..... 11

II.4. Géologie locale 12

II.5. Aspect lithostratigraphique de la zone d'étude 13

II.6. Classifications des formations selon leur intérêt hydrogéologique 16

II.7. Séismologie..... 17

II.8. Conclusion 19

Chapitre II : Etude hydroclimatique et hydrogéologique

I. Contexte hydroclimatique..... 19

I.1. Introduction 19

I.2. Position de la station de mesure 19

I.3. Etude des facteurs climatiques	20
I.3.1 Précipitations	20
I.3.2 Température.....	24
I.4. Type de climat (diagramme ombrothermique)	26
I.5. Bilan hydrique	26
I.5.1 Evapotranspiration.....	27
I.5.2 Bilan hydrique (C.W Thornthwaite).....	29
I.5.3 Ruissellement (R)	30
I.5.4 L'infiltration	30
II. Contexte Hydrogéologique	31
II.1. Introduction.....	31
II.2. Inventaire des points d'eau	32
II.3. Evolution piézométrique.....	33
II.4. Etude des Paramètres Hydrodynamiques	35
II.4.1 La perméabilité (K)	35
II.4.2 La Transmissivité (T)	36
III. Conclusion.....	38
 <i>Chapitre III : Composition de l'eau et normes de potabilité</i>	
III.1. L'eau potable	38
III.2. Qualité des eaux.....	38
III.2.1 Caractères organoleptiques	38
III.2.2 Les éléments majeurs	39
III.2.3 Paramètre de pollution organique	41
III.2.4 Paramètres physico-chimiques	42
III.3 Les normes de potabilité (Algériennes et de l'OMS)	45
 <i>Chapitre IV : Matériels et méthodes</i>	
IV.1. Matériels.....	47
IV.1.1 Réactifs.....	VIII
IV.1.2 Appareillage.....	47
IV.2. Méthodologie de la recherche	51
IV.2.1 Echantillonnage	51
IV.2.2 Localisation des points de prélèvement	51
IV.2.3 Matériel de prélèvement.....	52
IV.2.4 Mode de prélèvement	53
III.2.5. Mesure in-situ	53
III.2.6 Nettoyage de la verrerie.....	54
III.2.7 Mesure et analyse au laboratoire.....	54

Chapitre V : Résultats et discussion

V.1. Introduction	59
V.2. Etude des variations des paramètres physico-chimiques	59
V.2.1 La température	59
V.2.2 Le potentiel hydrogène (pH).....	60
V.2.3 La conductivité électrique (CE)	61
V.2.4 Le Calcium (Ca^{2+})	63
V.2.5 Le magnésium (Mg^{2+}).....	64
V.2.6 Le sodium (Na^+).....	66
V.2.7 Le potassium (K^+)	67
V.2.8 Les bicarbonates (HCO_3^-)	69
V.2.9 Les chlorures (Cl^-).....	70
V.2.10 Les sulfates (SO_4^{2-}).....	71
V.3. Le faciès chimique	73
V.3.1 Diagramme de Piper.....	73
V.3.2 Classification de Stabler	75
V.4. Calcul de l'Indice de qualité de l'eau.....	76
Conclusion Générale	82

Liste des figures

Chapitre I

Fig.I.1. Localisation de la wilaya de Jijel	3
Fig.I.2. Localisation de la plaine d'Oued Nil	4
Fig.I.3. Carte hypsométrique du bassin versant d'Oued Nil	5
Fig.I.4. Le réseau hydrographique du bassin versant d'Oued Nil	6
Fig.I.5. Répartition des populations à la wilaya de Jijel	7
Fig.I.6. Agriculture maraîchère dans la plaine alluviale d'Oued Nil	8
Fig.I.7. Carte de réseau routier de la wilaya de Jijel (direction des transports, wilaya de Jijel 2002).....	9
Fig.I.8. Esquisse structurale du Nord-Est Algérien D'après w.wilidi 1983 (modifier)	12
Fig.I.9. Esquisse géologique de la région d'Oued Nil (Ehrmann F, 1926).....	13
Fig.I.10. Coupe géologique montrant les principaux corps alluvionnaire aquifère du bassin néogène de Jijel - Algérie Nord-Est (Boulahlib, 2019).....	16
Fig.I.11. Carte des zones sismiques du Nord Algérien (www.craag.dz)	18

Chapitre II

Fig.II.1. Situation géographique de la station de Jijel (SADOUN.L, 2013).....	19
Fig.II.2. Situation géographique de la station de Jijel (ANRH, 1993)	20
Fig.II.3. Précipitations mensuelles en [mm] durant la période 1988-2015 (station d'Achouat)	21
Fig.II.4. Précipitations annuelles en [mm] durant la période 1988-2015 (station d'Achouat)	22
Fig.II.5. Coefficient pluviométrique de station d'Achouat-Taher (1988-2015)	23
Fig.II.6. Répartition saisonnières des précipitations à la station d'Achouat(1988-2015).....	24
Fig.II.7. Températures moyennes mensuelles de la station Achouat (1988-2015)	25
Fig.II.8. Températures moyennes annuelles de la station Achouat (1988-2015)	25
Fig.II.9. Diagramme Ombrothermique pour la période (1988-2015)	26
Fig.II.10. Bilan d'eau de la station d'Achouat selon Thornthwaite (1988-2015)	31
Fig.II.11. Carte d'inventaire des points d'eau de la plaine d'oued Nil (Campagne d'avril 2022)	33
Fig.II.12. Carte piézométrique de la plaine d'Oued Nil (Campagne d'avril 2022)	34
Fig.II.13. Carte de perméabilité de la plaine d'oued Nil	36
Fig.II.14. Carte de transmissivité de la plaine d'oued Nil	37

Liste des tableaux

Chapitre II

Tab.II.1. Caractéristiques géographiques de la station climatique. 21 (Les Coordonnées Lambert).....	20
Tab.II.2. Répartition saisonnières des précipitations à la station d'Achouat(1988-2015)	23
Tab.II.3. Evapotranspiration potentielles ETP selon Thornthwaite (1988-2015).....	28
Tab.II.4. Evapotranspiration réelle selon la formule de Turc	28
Tab.II.5. Evapotranspiration réelle selon la formule de Coutagne	29
Tab.II.6. Bilan hydrique selon Thornthwaite à la station d'Achouat–Taher(1988-2015).....	30

Chapitre III

Tab.III.1. Classes de turbidité usuelles (NTU, nephelometric turbidity unit)	38
Tab.III.2. Classification des eaux d'après leur pH.....	43
Tab.III.3. Classification des eaux en fonction de la conductivité selon les normes algériennes	44
Tab.III.4. Classification de la qualité de l'eau selon sa dureté	44
Tab.III.5. Les valeurs indicatives des paramètres organoleptiques.	46
Tab.III.6. Les valeurs indicatives des éléments majeurs.	46
Tab.III.7. Les valeurs indicatives des paramètres physico-chimiques.....	46
Tab.III.8. Les valeurs indicatives d'autres paramètres restants (2003).....	46

Chapitre V

Tab.V.1. Classification des eaux de boisson (minéralisation) en fonction de la conductivité. (Elie, 2005)	62
Tab.V.2. Classification des eaux de surface selon la formule de Stabler	76
Tab.V.3. Classification des eaux souterraines selon la formule de Stabler	76
Tab.V.4. Classification et usage possible de l'eau selon l'IQE (Brown et al., 1972)	78
Tab.V.5. Poids des paramètres physico-chimiques et norme algérienne de qualité des eaux 2011	78
Tab.V.6. Valeurs de l'indice IQE et classe de qualité des eaux de la plaine alluviale d'oued Nil durant la campagne d'avril 2022	79

Liste des abréviations

RN : Route nationale.

De : Déficit d'écoulement.

RFU : Réserve facilement utilisable.

Da : Déficit agricole.

Ws : L'excédent(water surplus).

Ca²⁺ : Le Calcium.

Mg²⁺ : Le magnésium.

K⁺ : Le potassium.

Na⁺ : Le sodium.

Cl⁻ : Les chlorures.

SO₄²⁻ : Les sulfates.

NO₂⁻ : Les Nitrites.

NO₃⁻ : Les Nitrates.

PO₄³⁻ : Les Phosphates.

NH₄⁺ : Azote Ammoniacal.

pH : Le potentiel Hydrogène.

CE : La conductivité électrique.

TH : La dureté.

TA : Alcalinité totale.

TAC : Alcalinité composite (ou titre alcalimétrique).

UV : Ultras Violet.

IQE : L'indice de qualité de l'eau.

OMS : Organisation nationale de la santé.

ONM : Office National de Météorologie.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

DHW : La direction de l'hydraulique de la wilaya de Jijel.

Introduction Générale

Introduction Générale

L'eau est le sujet le plus important en ce début du XXI^e siècle, car au fur et à mesure que la population de la terre augmente la demande en eau s'accroît, c'est un élément essentiel de la vie, et elle est en amont de toute activité économique. Sans cette matière simple et complexe en même temps, la vie sur terre n'aurait jamais existé, c'est un élément noble qu'on doit protéger pour les générations futures.

Une eau destinée à la consommation humaine est dite potable lorsqu'elle est exemptée d'éléments chimiques et biologiques susceptibles de nuire à la santé des êtres humains (OMS,2005). Chaque année ; 1,8 million de personnes dont 90% d'enfants de moins de cinq ans, vivant pour la plupart dans les pays en développement meurent de maladies diarrhéiques qui sont imputables à la mauvaise qualité de l'eau, à un assainissement insuffisant et à une hygiène défectueuse.

L'Afrique du Nord et l'Algérie en particulier sont caractérisées, par son climat semi-aride à aride. L'Algérie souffre autant de l'insuffisance des pluies que de leur répartition irrégulière dans le temps et dans l'espace. Les contraintes du climat, la croissance démographique et les transformations économiques et sociales sont à l'origine d'une demande qui ne cesse d'augmenter. Ces dernières années, la qualité des eaux est devenue un enjeu majeur et obligatoire, afin de protéger l'environnement et la santé des êtres vivants ou pour la consommation humaine et l'utilisation industrielle et agricole.

La plaine alluviale d'oued Nil qui est affiliée à la wilaya de jijel (NE, Algérien) d'une superficie de 58 Km², et qui fait partie du bassin versant d'oued Nil représente un réservoir important en ressource hydrique et une source d'alimentation en eau potable de plusieurs agglomérations.

Le présent travail consiste à l'étude de la qualité des eaux de la nappe alluviale d'oued Nil destinées à l'AEP en se basant d'avril 2022 à travers la mesure des différents paramètres physico-chimique et des éléments majeurs des eaux de surface et plusieurs puits et forages présentant une répartition spatiale englobant toute la zone d'étude et en calculent un indice de qualité de l'eau (IQE) qui est une expression numérique utilisée pour évaluer la qualité global de l'eau à partir d'une grande quantité de données obtenus lors des différentes sorties sur terrain.

Dans cette optique, nous avons réparti notre travail en cinq chapitres comme suit :

l'Est le bassin de Kébir-Rhumel, à l'Ouest le sous bassin d'oued Djendjen, et au Nord la mer méditerranée.

Ce bassin est drainé par l'oued Nil l'un des oueds les plus importants de la région avec un débit annuel de 230 millions de mètres cubes à l'embouchure, et ses trois affluents (Boukraa, Saayoud, Tassift).

La plaine alluviale occupe la partie aval du bassin versant d'Oued Nil avec 58 km² de superficie, elle est limitée au Nord par la mer méditerranée, au Sud par les reliefs de petite Kabylie, à l'Est par les communes de Chekfa et El kennar, et à l'Ouest par la commune de Taher (Fig.I.2).

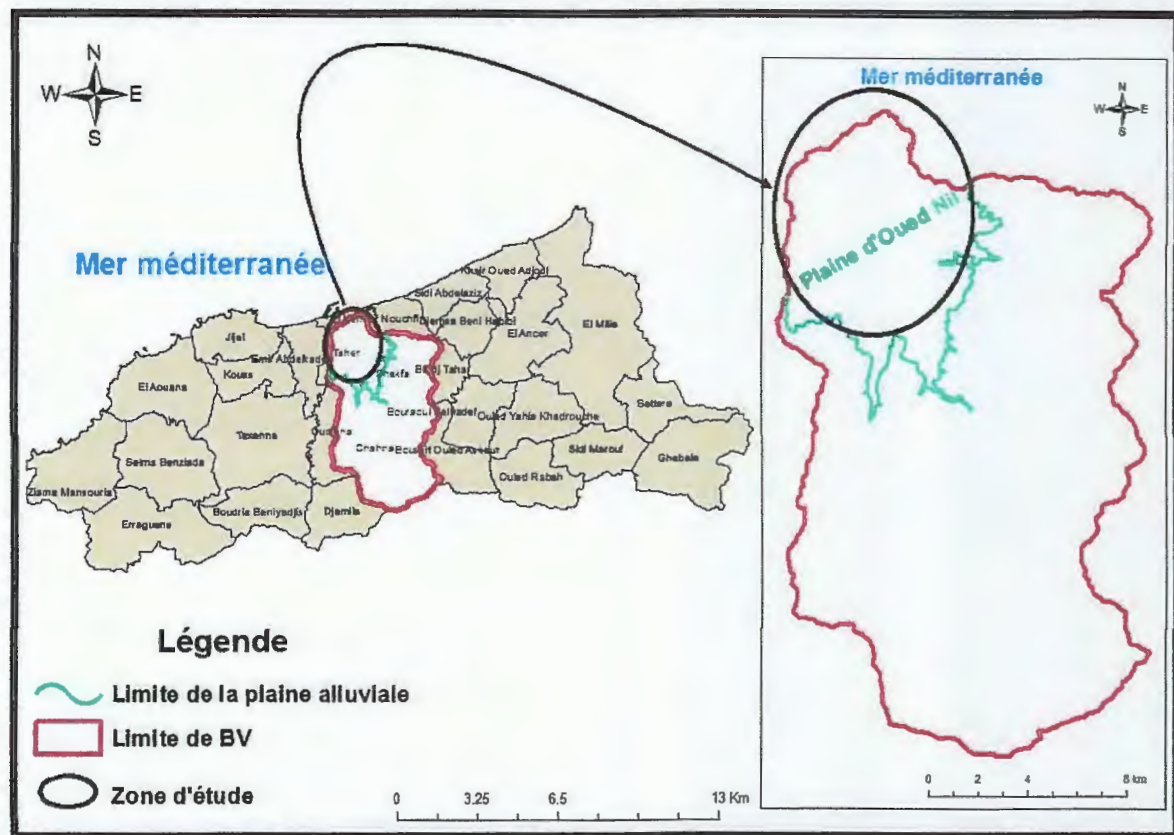


Fig.I.2. Localisation de la plaine d'Oued Nil.

I.3. Géomorphologie et relief

La plaine intra-montagneuse d'Oued Nil est très basse avec une assez faible pente de 15 à 30% d'altitude, matérialisée par le sens de l'écoulement superficiel.

La plaine est étagée par différents niveaux de terrasses quaternaires caractérisées par de nombreux petits ravins, ces derniers avec les dépressions fermées ou marécages sont engorgés par les fortes précipitations et par les venues d'eau des massifs montagneux très accidentés qui se situent aux bordures de la plaine où on peut distinguer (Fig.I.3) :

- Djbel El Kelâa (311 m) ;
- Sadet (956 m) ;
- Touzlant (921 m) ;
- Echla'la (843 m) ;
- Tazamt (851 m) ;
- Et Djbel El Medayene (791 m).

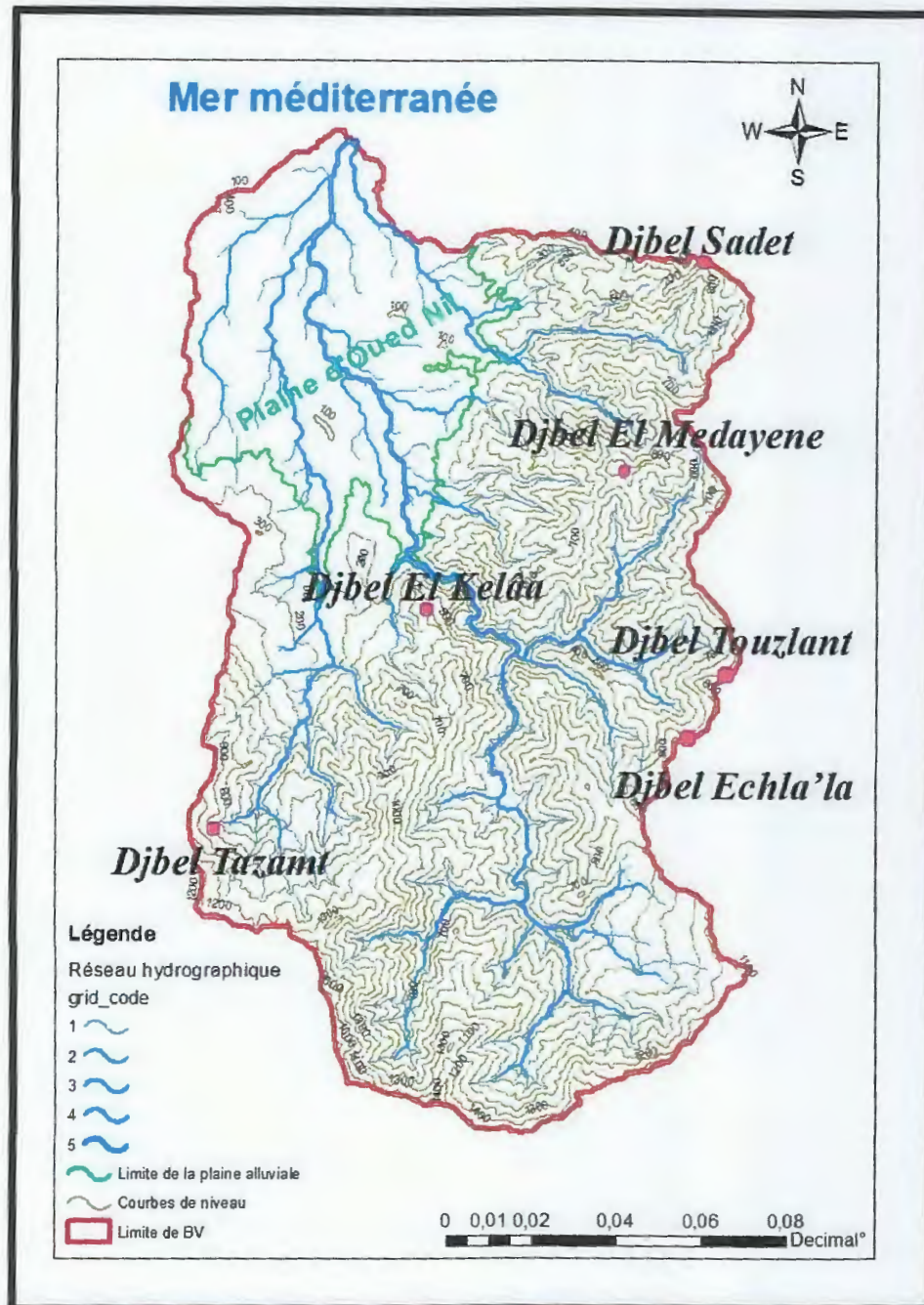


Fig.I.3. Carte hypsométrique du bassin versant d'Oued Nil.

I.4. Réseau hydrographique et climat

I.4.1 Réseau hydrographique

Connu comme étant un réseau très dense, il est constitué par quatre sous bassins :

- Sous bassin d'oued Nil,
- Sous bassin d'oued Sâayoud,
- Sous bassin d'oued Tassift,
- Sous bassin d'oued Boukrâa.

Le réseau hydrographique est présenté par Oued Nil et ses trois affluents Oued Boukrâa, Oued Saayoud, et Oued Tassift (Fig.I.4).

Les lits des Oueds sont définis par une largeur de 10 à 35 m et une profondeur de 2 à 4 m (Bechkit, 2005). On a aussi les deux marécages en aval du Bassin versant, à droite celle du Ghedir Beni Hemza à El kennar, et à gauche celui de Redjla (Ghedir El-Merdj) à Taher.

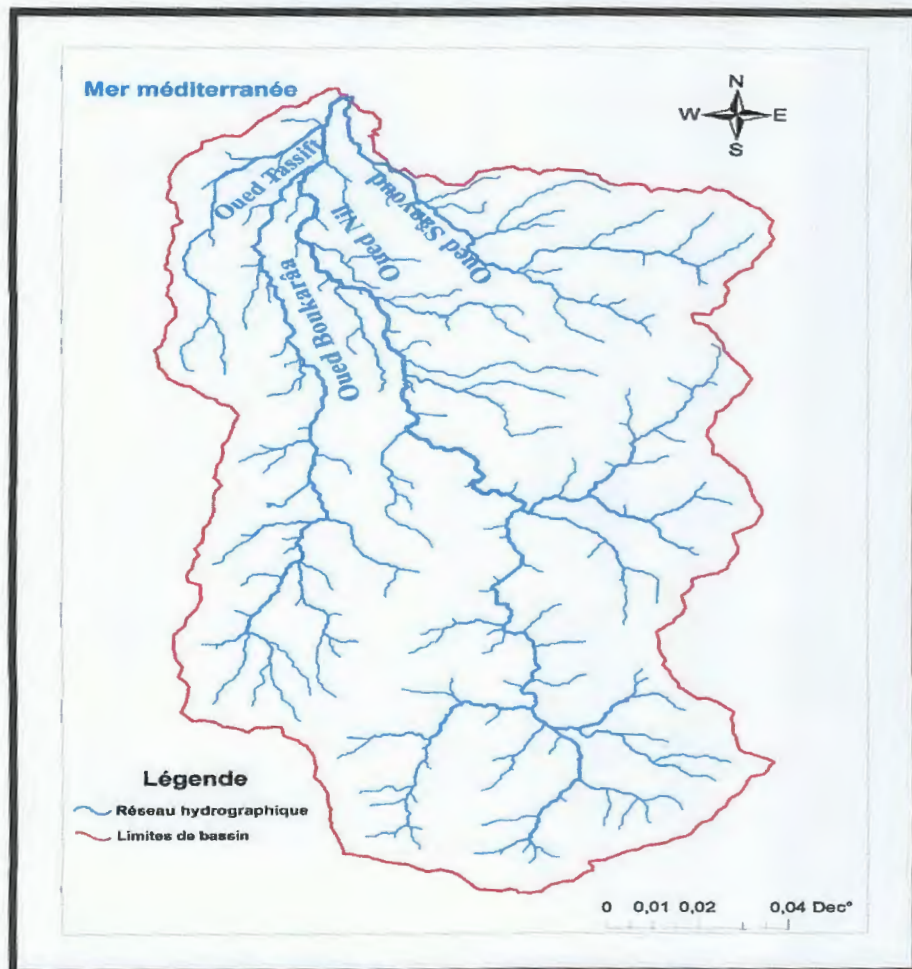


Fig.I.4. Le réseau hydrographique du bassin versant d'Oued Nil.

I.4.2 Climat

Un climat méditerranéen tempéré et humide représente la zone d'étude qui fait partie de la zone littorale.

Jijel est l'une des plus pluvieuses régions en Algérie (1008 mm/an) . Elle se caractérise par un hiver froid et un été chaud et sec. Les températures touchent la valeur minimale (6,52 °C) au mois de Février, et la valeur maximale (31,56 °C) au mois d'Août (selon la station météo d'Achouat à Taher, et pour la période allant de 1971 à 2004).

I.5. Population, type d'agriculture, transport

1.5.1 Population

L'approche démographique de la zone d'étude a pour objectif d'établir une base sur laquelle les besoins futurs de la population peuvent être élaborés.

La population de Jijel a été estimée à 684,933 habitants au 31/12/2012, dont : 366,632 personnes (58,36%) ont moins de 25 ans. Ce qui a conduit au développement de l'activité agricole et industrielle dans la région pour faciliter les moyens de subsistance, mais elle a affecté directement ou indirectement la qualité d'eau en raison d'une augmentation des rejets urbains et domestiques dû à l'augmentation de la population.

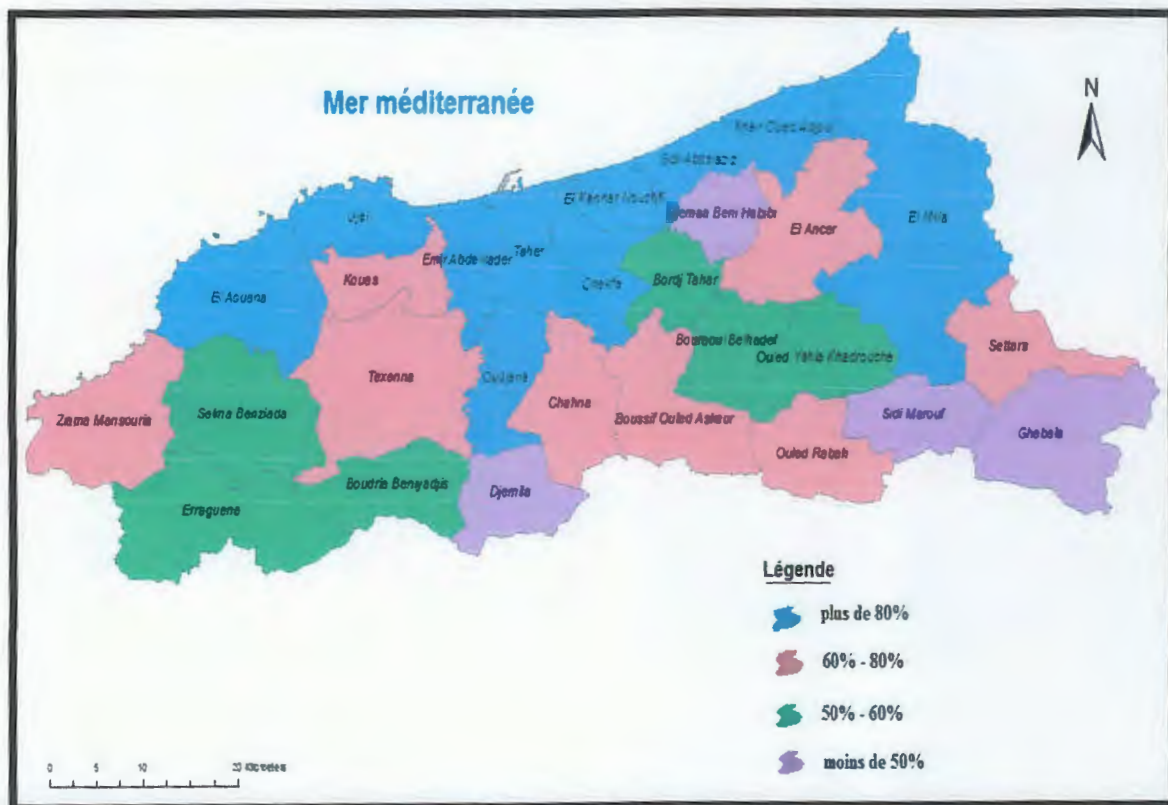


Fig.I.5. Répartition des populations à la wilaya de Jijel.

On peut classer les populations de la wilaya en groupes selon le pourcentage d'habitant par commune (Fig.I.5) :

- Le 1^{er} groupe, 10 communes dont la population est de plus de 80%.
- Le 2^{ème} groupe, 08 communes dont la population est entre 60% et 80%.
- Le 3^{ème} groupe, 06 communes dont la population est entre 50% et 60%.
- Le 4^{ème} groupe, 04 communes dont la population est moins de 50%.

1.5.2 Type d'agriculture et couvert végétal

Le bassin versant d'Oued Nil contient un couvert végétal assez dense qui se manifeste par des forêts abondantes de chêne-liège qui couvre les terrains, en amont sur les massifs et sur les piémonts, ainsi que des oliviers. Ces forêts couvrent certaines des municipalités du bassin versant, telles que les montagnes Bordj Thar, Chahna, Oudjana...etc.

Les parties alluvionnaires de l'aval occupent un endroit stratégique du point de vue agricole. Elles sont en général dénudées et servent à l'agriculture sous serres (poivrons, tomates...etc.) et l'arboriculture là où les terres ne sont pas marécageuses (Fig.I.6). Cette végétation demeure menacée par l'érosion favorisant la dégradation du sol.



Fig.I.6. Agriculture maraîchère dans la plaine alluviale d'Oued Nil.

1.5.3 Transport

En évoquant la mobilité dans la région, nous sommes renvoyés directement à son réseau routier. C'est à dire que le transport routier assure la totalité des déplacements au sein de la wilaya.

La disposition du réseau routier est en relation avec la répartition de la population au niveau du territoire de la wilaya Jijel. Les principaux lignes routières de la wilaya sont situés sur l'axe principal (RN43/RN27) ou à proximité (**Fig.I.7**).

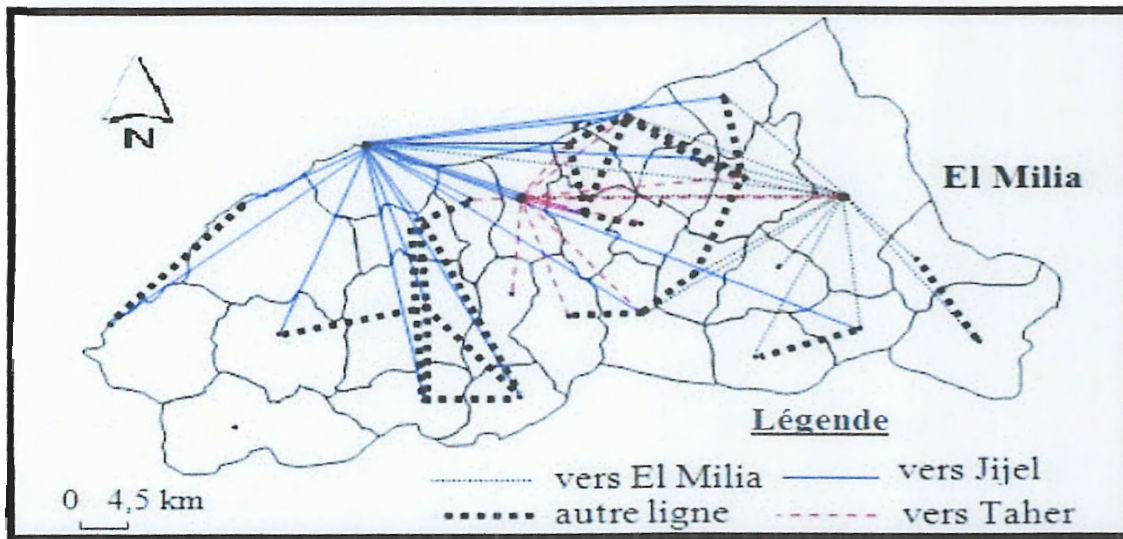


Fig.I.7. Carte de réseau routier de la wilaya de Jijel (direction des transports, wilaya de Jijel 2002).

II. Contexte géologique

La connaissance du contexte géologique est fondamentale à l'étude hydrogéologique. Elle permet l'identification des formations susceptibles d'être aquifère, tout en permettant le suivi de leurs évolutions dans l'espace et dans le temps. La géologie influe également sur les phénomènes d'altération.

II.1. Géologie régionale

La géologie de l'Algérie du Nord est d'une grande complexité, elle est caractérisée par des mouvements orogéniques Hercyniens et Alpains. Le système géotectonique Alpin qui n'a pas encore achevé son évolution a donné naissance à une variété d'ensembles géologiques très individualisés. Ils se regroupent en trois domaines :

- **Domaines internes** : Le socle kabyle et sa couverture.
- **Domaine médians** : Le flysch interne et le flysch externe.
- **Domaine externe** : qui regroupent, le domaine Tellien, le domaine Néritique, les séries Sud Sétifiennes et les séries de l'avant-pays Atlasique.

La quasi-totalité de la petite Kabylie est constituée par une couverture tertiaire formée par des sédiments littoraux déposés dans un bassin qui s'est individualisé durant le Néogène (Bassin Sahélien de Jijel) surmontant soit un vieux socle métamorphique (socle kabyle), soit des terrains Crétacé appartenant à des séries de type flysch (**Berkane, 2011**).

II.2. Aspect structural de Jijel

Le plan structural de l'Algérie du Nord, auquel appartient la Wilaya de Jijel, s'est formé durant l'ère paléozoïque Mésozoïque et cénozoïque au cours des 03 grands cycles tectoniques: Calédonien, Hercynien et Alpin.

Les affleurements du paléozoïque en Algérie du Nord ne sont observables qu'en de rares points (petite et grande Kabylie, Edough).

Les épaisseurs, le degré de métamorphisme et de granitisation du paléozoïque inférieur des Kabylie (Wilaya de Jijel) font croire que la bande axiale du géosynclinal calédonien de l'Afrique du Nord se trouvait dans la partie méridionale de la méditerranée actuelle.

Il est possible de donner schématiquement l'allure générale de l'édifice structural qui comporte:

A. Le socle kabyle (anti-triasique)

Juxtaposé aux zones externes suivant un décrochement chevauchant dextre, faisant ressortir:

- ❖ Un substratum gneissique poly métamorphique (précambrien);
- ❖ Une couverture décalée de phyllades cambro-ordovicienne qui surmonte en transgression des calcaires non métamorphiques du Siluro-dévonien.

B. Sous le socle kabyle

Un ensemble de roches sédimentaires et volcaniques (du Jurassique à Sénonien basal) très déformé, débité en écaillés. Cet ensemble chevauche vers le Sud sur les zones externes (telliennes).

C. Sur le socle kabyle

Un groupe de nappes pelliculaires traversé par une microdiorite quartzifère et surmonté par une nappe structurée, le flysch de Guerrouche. Ces différentes nappes sont scellées par des dépôts du Miocène terminal puis, par le Paléocène (conglomérats continentaux) et enfin par le Quaternaire des vallées.

II.3. Aspect lithologique de la région d'étude

La région de Jijel se trouve sur l'emplacement d'un énorme fossé maritime dans lequel s'accumulent à l'air secondaire une importante couche sédimentaire.

A l'air tertiaire, les violentes contractions de la croûte terrestre rapprochent les deux bords du fossé et provoquent le plissement des sédiments du secondaire. L'érosion fluviale intervient alors pour modifier le relief et combler les nouvelles zones de dépression par d'autre couche de sédiments. Au quaternaire, le profil géologique de la région est fixé et les alluvions s'accumulent dans les vallées.

De ce fait, la région de Jijel comprend les zones géologiques suivantes:

- ❖ La zone des roches granitiques qui occupent le Sud-Ouest d' El-Aouana et une partie d'El-Milia.
- ❖ Une zone de micaschiste et de gneiss qui couvre la majeure partie de la région d'El-Milia.
- ❖ Un massif du secondaire qui occupe la région de Sidi-Maârouf, le M'Sid-Aicha et le Sidi-Driss.
- ❖ La zone fragmentée du tertiaire et quaternaire qui occupent principalement les zones de dépressions: plaine de Jijel, de Taher, d'El-Milia, et en altitude les djebels érodés.
- ❖ Les dépressions résultant des contractions qui eurent lieu au tertiaire (dépressions de Jijel, d'El-Milia) sont comblées par des alluvions quaternaires.

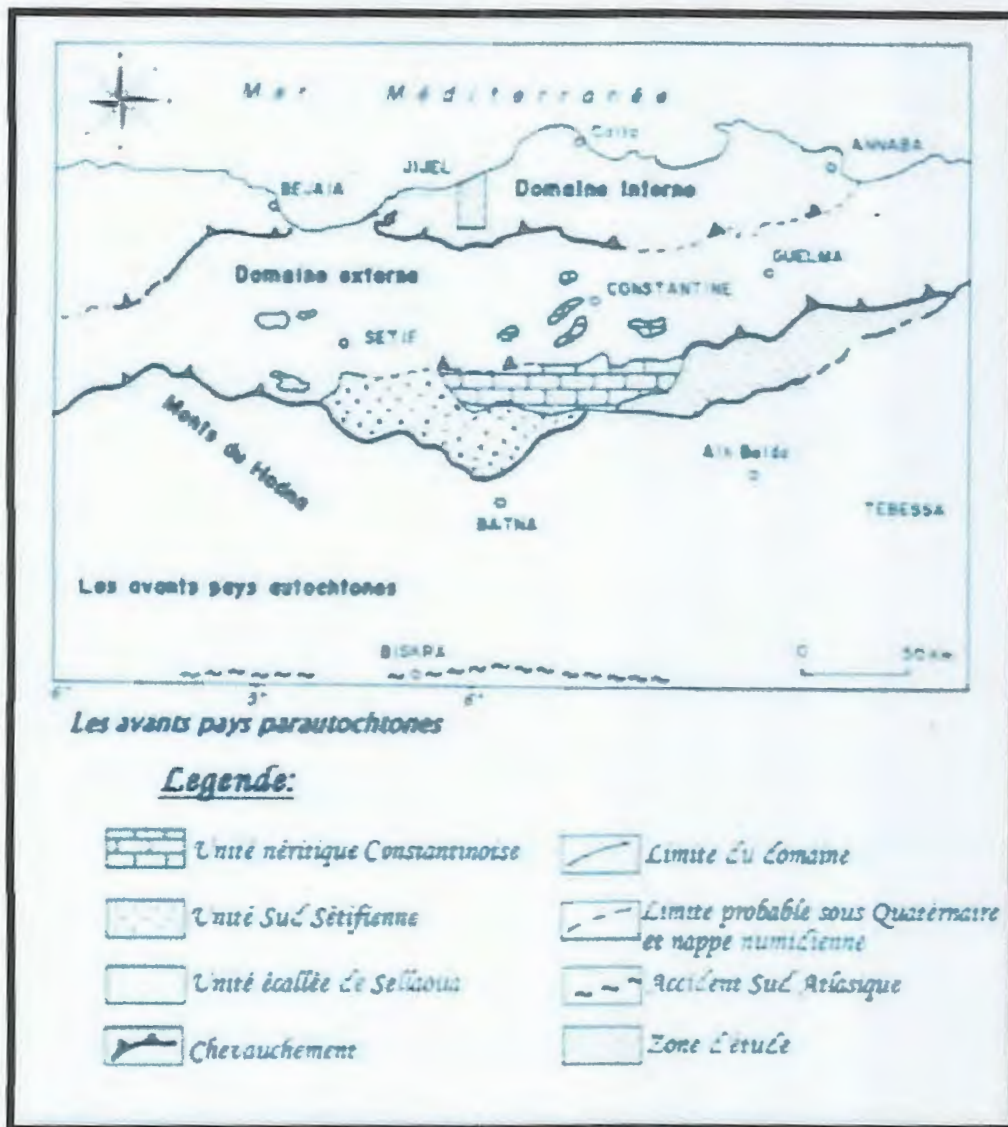


Fig.1.8. Esquisse structurale du Nord-Est Algérien D'après w. wilidi 1983.

II.4. Géologie locale

La plaine alluviale d'Oued Nil est constituée par le remplissage alluvionnaire d'une ancienne vallée creusée dans les marnes Eocènes à l'Ouest (rive gauche d'Oued Nil) et les terrains métamorphiques à l'Est (rive droite d'Oued Saayoud). Sur ces alluvions se déposent des formations dunaires plus au moins récentes comme celle de Bazoul et d'El Kennar. (Lehtihet, 1983).

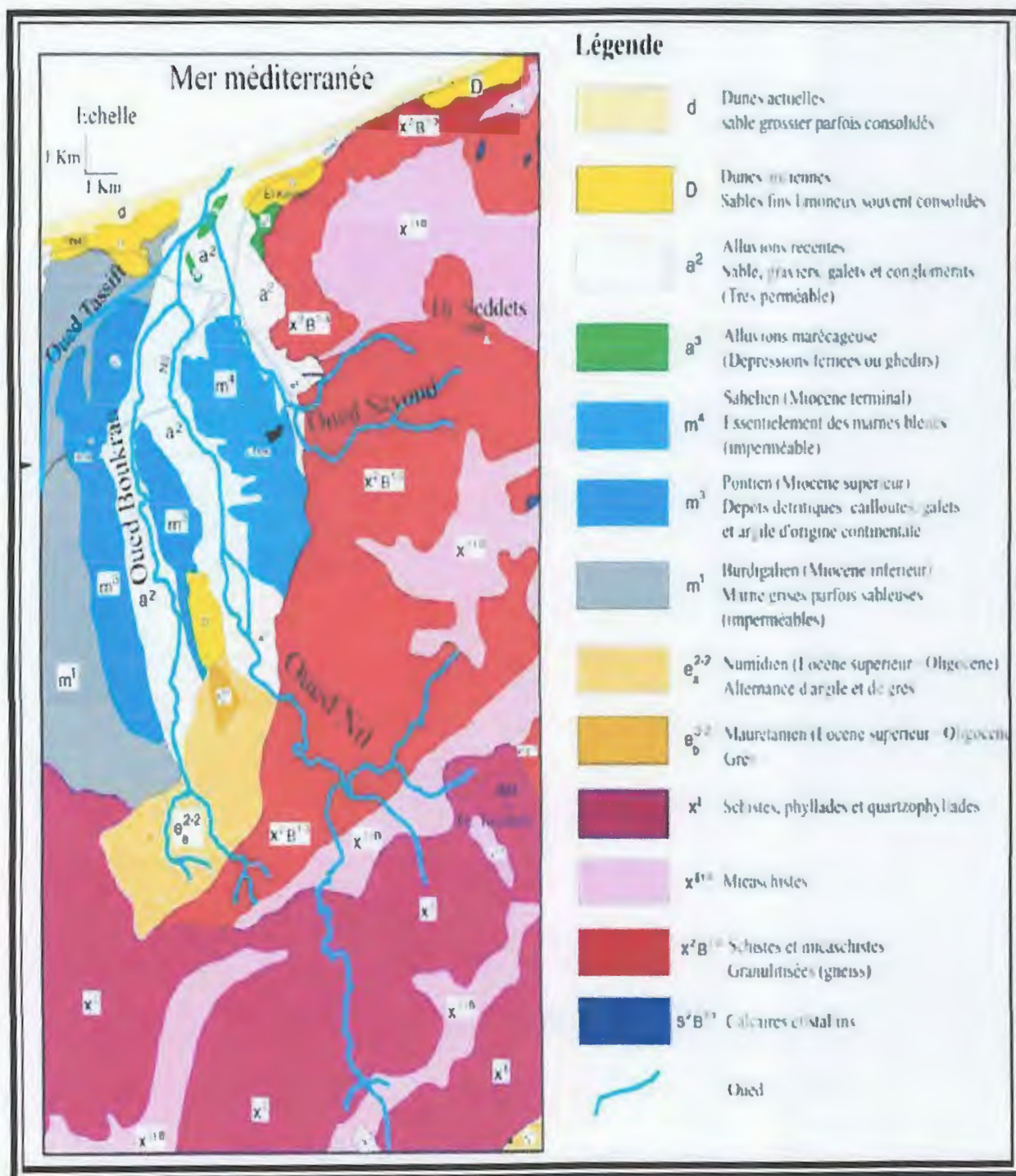


Fig. I.9. Esquisse géologique de la région d'Oued Nil (Ehrmann F, 1926).

II.5. Aspect lithostratigraphique de la zone d'étude

II.5.1 Terrain sédimentaires

❖ Quaternaire

a) Alluvions Quaternaire (q)

Elles affleurent à l'Ouest de la plaine, ce sont des terrasses anciennes des vallées généralement aquifères, constituées d'éléments grossiers (graviers, galets et conglomérats) qui sont très perméables avec une épaisseur variant de 30 à 50 m.

b) Alluvions marécageuse (a³)

Elles affleurent au Nord de la plaine. On les trouve dans les dépressions fermées ou ghedirs constitués essentiellement d'éléments argilo-limoneux parfois sableux peu Perméables. L'épaisseur varie de 20 à 25 m.

c) Alluvions récente (a²)

Sont constituées d'éléments grossiers: graviers, conglomérats et galets très Perméables. On les rencontre le long des Oueds principaux.

Leur épaisseur est inférieure à 10 m.

d) Dunes ancienne (D)

Elles sont constituées de sables fins limoneux souvent consolidés. On les rencontre au Nord de la plaine avec une épaisseur de l'ordre de 25 m.

Ces formations sont potentiellement aquifères.

e) Dunes actuelles (d)

Constituées essentiellement de sables fins souvent consolidés. On les rencontre à la bordure de la mer d'une épaisseur de 20 à 25 m.

❖ **Tertiaire**

a) Paléogène

Des formations gréseuses affleurent au Sud de la plaine.

L'épaisseur varie de 500 à 1000 m. Ce sont surtout le :

a).1 Mauritanien (Eocène supérieur-Oligocène) (eb³⁻²)

Constitué essentiellement de grés.

a).2 Numidien (Eocène supérieur-Oligocène-Miocène inf.) (ea³⁻²)

C'est une formation de flysch comportant des alternances de grés avec une prédominance d'argiles, des marnes à la base et des grés au sommet.

b) Néogène

b).1 Miocène inférieur (Burdigalien) (m¹)

Affleure dans la partie Ouest de la plaine. Constitué essentiellement par des marnes grises Parfois sableuses ou jaunâtres par oxydation, le facies très constant avec des intercalations des niveaux détritiques et de gros nodules calcaires jaunâtres.

L'épaisseur varie de 200 à 300m.

b).2 Miocène moyen (Pontien) (m³)

Il apparait à l'affleurement dans le coté Est et Ouest de l'Oued Boukraa. Il est composé de Dépôts détritiques, cailloutis et argiles d'origine continentale.

De bonne perméabilité et d'une épaisseur de 20 à 25 m.

b).3 Miocène supérieur marin (Sahélien) (m⁴)

Affleure au centre de la plaine et à l'Est de l'Oued principal, il est constitué essentiellement par des marnes bleues.

II.5.2 Terrains métamorphiques

Ils constituent le socle Kabyle, d'âge paléozoïque avec :

❖ **Schiste - phyllade (x^v)**

Argileux micacés ou satinés de teintes très variées, traversés de filons de Quartz laiteux s'intercalant de couches détritiques.

❖ **Calcaire métamorphique (cipolins)**

De couleur blanc, gris ou bleuâtre, parfois micacé et pyriteux s'intercalant en bandes irrégulières ou en amas dans les schistes et les micaschistes.

❖ **Micaschistes et schiste micacé (x² B¹⁻³)**

Ces formations sont riches en micas noires et blancs.

❖ **Schiste granulitisés et gneiss (x² B¹⁻³)**

Ce sont des gneiss schisteux résultant de l'injection des granulites dans les Micaschistes, parfois fortement kaolinisés.

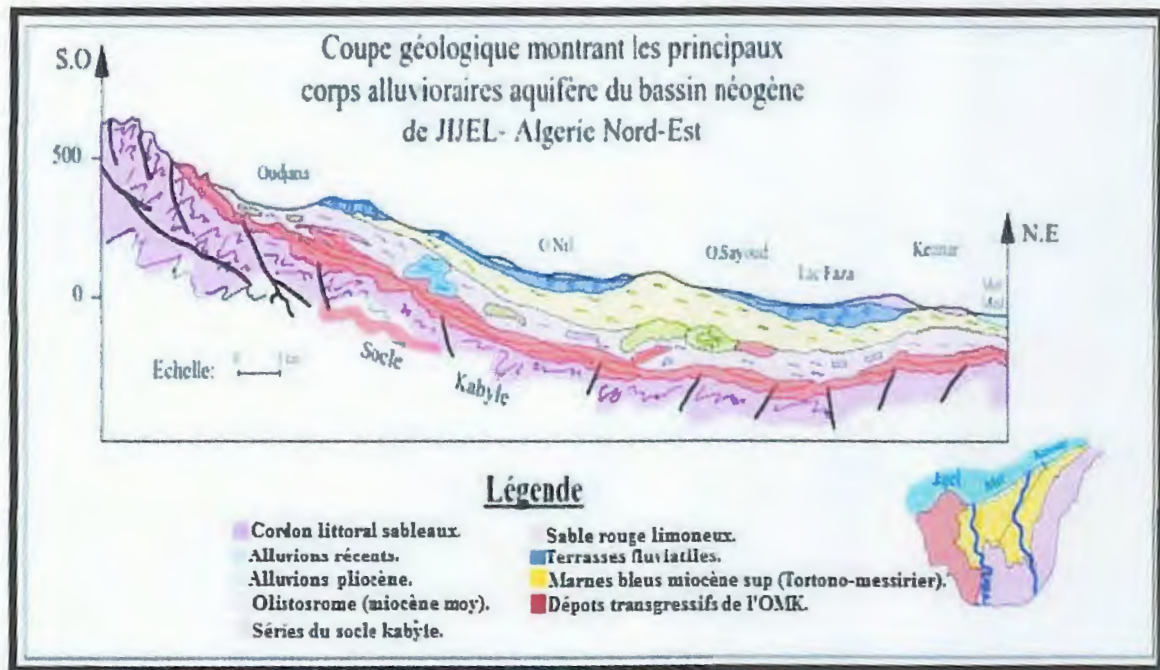


Fig.I.10. Coupe géologique montrant les principaux corps alluvionnaire aquifère du bassin néogène de Jijel - Algérie Nord-Est (Boulahlib, Dahoua 2019).

II.6. Classifications des formations selon leur intérêt hydrogéologique

En se basant sur les caractéristiques hydrodynamiques, l'extension des formations ainsi que leur aspect structural, les principales formations lithologiques du secteur d'étude peuvent être regroupées en deux grands ensembles :

a) Terrain à faible perméabilité

Ces terrains sont favorables au développement des aquifères poreux. Il s'agit des dunes, d'alluvions du Quaternaire et la formation du Miocène supérieur "Pontien".

✓ Dunes

Elles sont généralement de faible perméabilité.

✓ Dunes récentes

On les rencontre à la bordure de la mer. Elles sont constituées essentiellement de sables fins parfois consolidés.

✓ Dunes anciennes

On les rencontre aussi au Nord de la plaine. Elles sont constituées essentiellement de sables fins limoneux souvent consolidés.

✓ Quaternaire

Il est généralement de bonne perméabilité sauf la couverture argilo-limoneuse qui est peu perméable. Ce sont : les alluvions récentes, les alluvions marécageuses et les alluvions quaternaires.

✓ Formations du Miocène moyen

Ce sont des dépôts détritiques d'origine continentale de bonne perméabilité (Lehtihet, 1983).

b) Terrains à grande perméabilité

Il s'agit essentiellement des terrains métamorphiques qui ont une perméabilité de fissure très faible. Les nombreuses sources qui s'y trouvent grâce à l'abondance des pluies ont un débit limité. Dans le socle métamorphique on distingue :

- ✓ Un complexe schistes-phyllades et quartz-phyllade ;
- ✓ Micaschistes à biotites ;
- ✓ Schistes et micas à biotites (Djellit, 1987).

c) Terrains imperméables

Il s'agit des :

- ✓ Formations du Miocène supérieur « le Sahélien » ;
- ✓ Formations du Miocène inférieur « le Burdigalien » (Durand Delga, 1955) ;
- ✓ Formations gréseuses du Paléogène « Numidien et Mauritanien » (Vila, 1980).

La lithologie des terrains dominants dans l'espace du terrain d'étude est d'une perméabilité médiocre. En effet, les terrains du socle, essentiellement les schistes et les phyllades, ont une perméabilité de fissure très faible.

Quant aux terrains sédimentaires, la lithologie dominante est celle des marnes et des grès argileux des flysch. Ils sont imperméables et constituent de part et d'autre, selon leurs formations, des limites supérieures ou inférieures sauf les formations du «Pontien» qui sont constituées essentiellement de dépôts détritiques, cailloux et argiles, susceptibles d'être réservoir.

En ce qui concerne les terrains les plus récents, quaternaires, constitués essentiellement de trois niveaux de bonne perméabilité et de part leur position, ils constituent un réservoir important (Berkane, 2011).

II.7. Séismologie

Une investigation géophysique à l'hydrogéologie peut fournir de nombreuses informations utiles telles que la présence et la localisation d'un aquifère, la géométrie de cet aquifère, la profondeur de la nappe...etc.

La wilaya de Jijel fait partie des zones qui se caractérisent par une sismicité moyenne.

Le peu de données concernant la sismicité de la région d'étude Séismicité de Kherrata (J. Roté, 1947) a permis de résumer ce qui suit :

Les Babors étant périodiquement secoués et vu le fait qu'ils se trouvent à l'Ouest de notre bassin versant, ce dernier se trouve automatiquement concerné par ces secousses, et parmi les principales secousses qui ont ébranlé la région entre 1850 et 1970, nous avons :

- Le 09 Février 1850 à 36°3'N-4°8'E a eu lieu un séisme de XIII à IX d'intensité sur l'échelle de Mercalli, macroséismique et qui a été ressenti jusqu'à Alger soit 170Km plus loin de l'épicentre.
- Le 21 et 22 Août 1856 à 37°1'N-5°7 'E a eu lieu un Séisme d'intensité de X à IX sur l'échelle macroséismique.

Ces séismes et leurs répliques occupent une place dans l'histoire sismique de la région, il a détruit une bonne partie de la cote Algérienne, son foyer s'est localisé en mer, il a été suivi par un raz de marée. Ni Jijel, ni Skikda, ni Bejaïa n'ont été épargnés et les dégâts ont été importants.

Le zonage sismique du territoire algérien montre que la bande tellienne notamment dans sa frange littorale est soumise au degré d'aléas sismique le plus élevé. Le territoire national est divisé en cinq (5) zones de sismicité croissante (Fig I.11), définies comme suits :

- Zone 0 : sismicité négligeable (magnitude < 3,9).
- Zone I : sismicité faible (magnitude entre 4 - 5,2).
- Zone II : sismicité moyenne, englobe deux sous zones:
 - a- (magnitude entre 5,3 - 5,9).
 - b- (magnitude entre 6 - 6,9).
- Zone III : sismicité élevée (magnitude > 7).

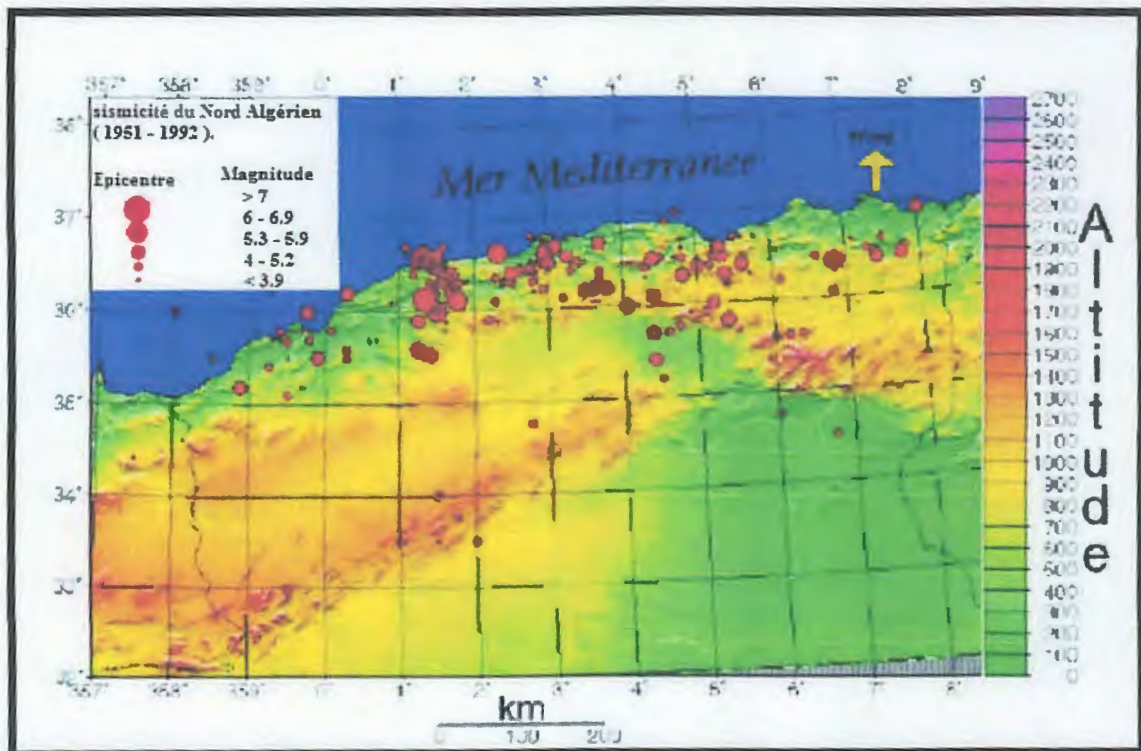


Fig.I.11. Carte des zones sismiques du Nord Algérien (www.craag.dz).

II.8. Conclusion

La nature lithologique de la formation est un facteur limitant la perméabilité des sols. Elle influe aussi sur la quantité et même sur la qualité des eaux pouvant s'y infiltrer.

Les empreintes tectoniques que porte le socle métamorphique sont un bon témoignage de l'instabilité et de la tectonique prononcée qu'a subie la région de Jijel (métamorphisme, lacunes des séries secondaires, transgression des flysch Crétacé, charriage du socle kabyle).

Les études géologiques et géométamorphiques montrent que le secteur d'étude (plaine d'Oued Nil) est le siège d'une topographie ancienne dont les dépressions ont été recouvertes par des alluvions récentes et des Terrasses anciennes (formations quaternaires).

La nappe se localise dans les alluvions appartenant essentiellement au niveau des sables et des graviers.

La zone d'étude est soumise à une intensité sismique qualifiée de moyenne à forte.

Chapitre 2

*Etude Hydroclimatique et
hydrogéologique*

I. Contexte hydroclimatique

I.1. Introduction

Les investigations climatologiques appliquées aux études hydrogéologiques jouent un rôle très important pour la détermination des caractéristiques climatiques avec une signification importante sur la qualité des eaux.

Dans cette étude on s'intéresse aux principaux facteurs hydroclimatiques (les précipitations, les températures, l'évapotranspiration...etc.) qui correspond à la distribution statistique des conditions atmosphériques dans la région de Jijel pendant une période donnée (1988-2015).

I.2. Position de la station de mesure

Les données climatiques utilisées dans ce chapitre appartiennent à la station météorologique d'Achouat qui se situe dans la commune de Taher (la partie aval de bassin versant d'Oued Djendjen). Elles sont celles disponibles sur une période d'observation de 28 ans (1988-2015).

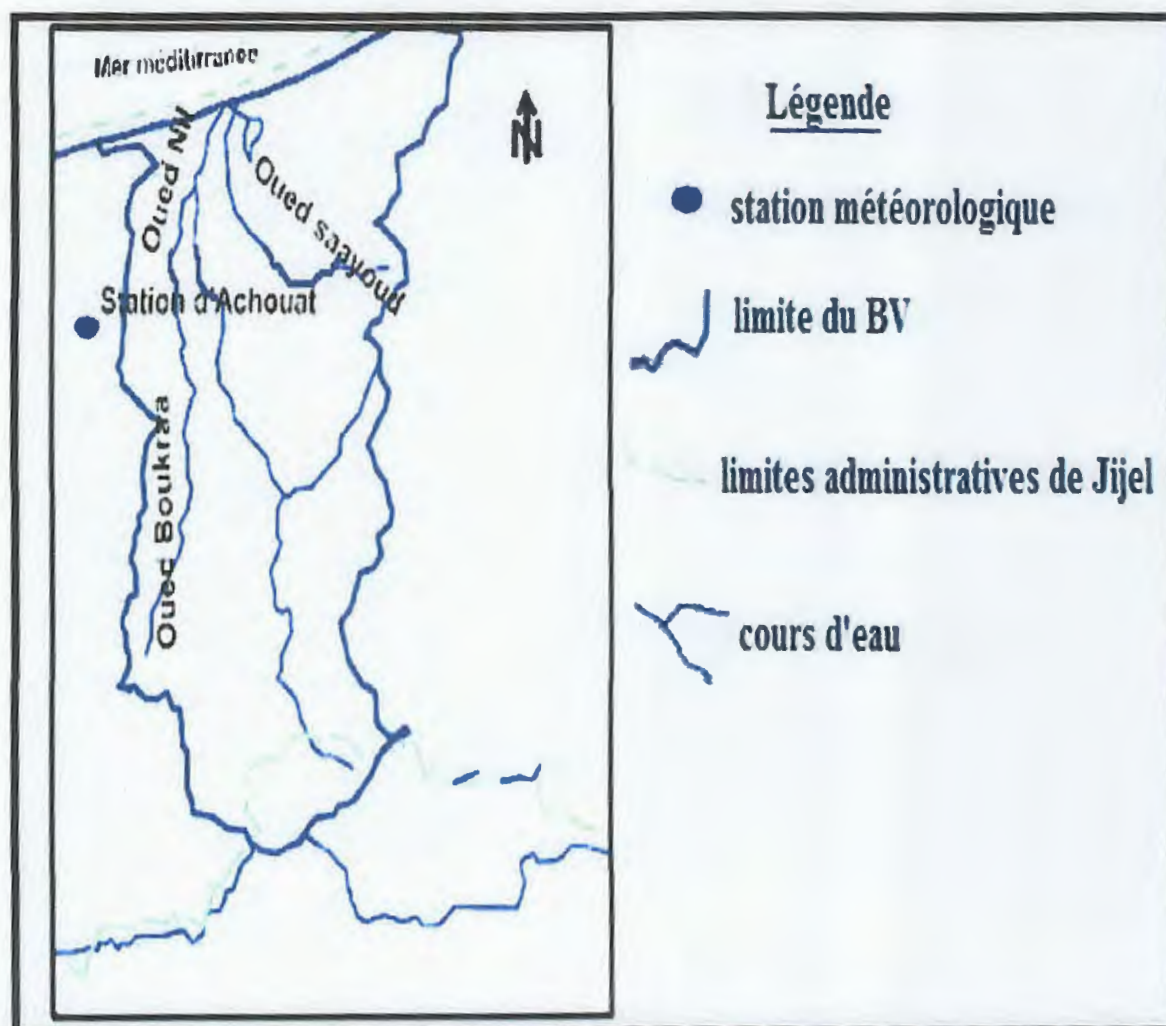


Fig.II.1. Situation géographique de la station de Jijel (SADOUN.L, 2013).

Tab.II.1. Caractéristiques géographiques de la station climatique.
(Les Coordonnées Lambert).

Station pluviométrique	Coordonnées Lambert		Altitude
	X (Km)	Y (Km)	Z(m)
Achouat- Taher	776,30	394,00	4

I.3. Etude des facteurs climatiques

I.3.1 Précipitations

Apports d'eau parvenant au sol sous forme liquide (pluie ou rosée) ou solide (neige ou grêle) en provenance directe ou indirecte de la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique. Les précipitations (pluie ou neige) sont mesurées à la surface de la terre en millimètres. Le terme lame d'eau tombée est également employé pour quantifier les précipitations.

Jijel est la wilaya la plus pluvieuse de l'Algérie, dont les communes de Texanna et Chekfa marquent les plus fortes précipitations (1200 à 1400 mm/an).

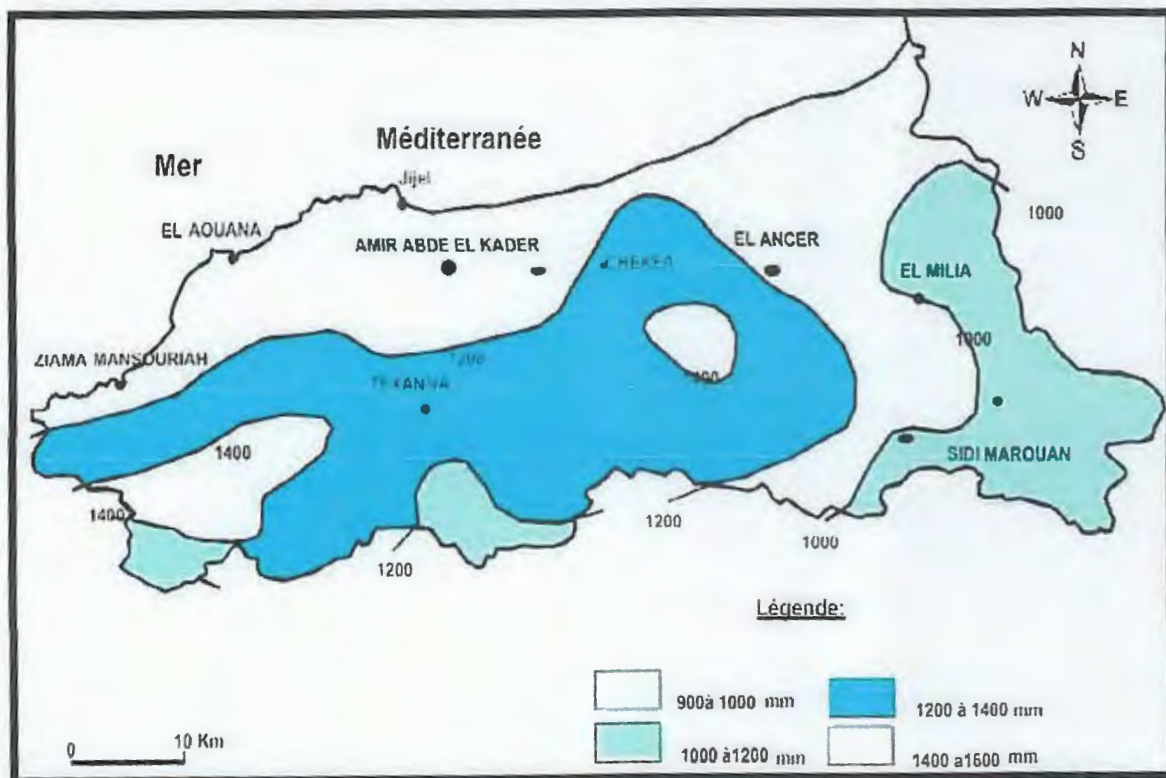


Fig.II.2. Situation géographique de la station de Jijel (ANRH, 1993).

I.3.1.1 Précipitations moyennes mensuelles et annuelles de la Station de Taher Achouat

a) Précipitations moyennes mensuelles

Les précipitations moyennes mensuelles montrent plus clairement les mois les plus humides, ainsi que ceux les plus secs.

D'après l'histogramme (Fig II.3) qui représente l'évolution des précipitations moyennes mensuelles de la station d'Achouat (1988-2015), on constate que les précipitations minimales sont observées en été (Juillet est le mois le moins pluvieux avec 80,9 mm) et que les quantités de pluies les plus élevées sont enregistrées durant l'hiver (Décembre est le mois le plus pluvieux avec 5201,9 mm).

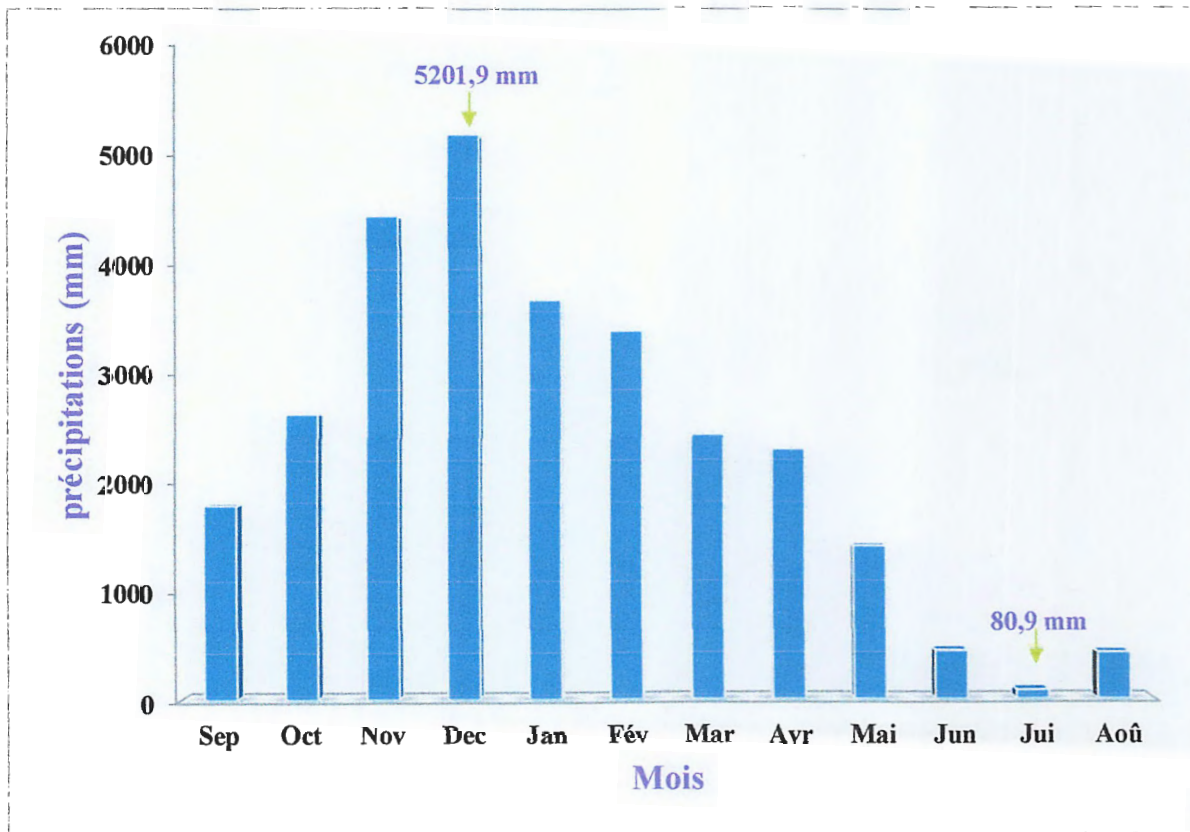


Fig.II.3. Précipitations mensuelles en [mm] durant la période 1988-2015 (station d'Achouat).

b) Précipitations moyennes annuelles

Les précipitations moyennes annuelles montrent les années les plus arrosées, ainsi que celles les plus sèches.

D'après l'histogramme (Fig II.4) qui représente l'évolution des précipitations moyennes annuelles de la station d'Achouat sur un cycle de vingt-huit ans (1988-2015), on observe que l'année la plus pluvieuse est l'année (2012-2013) avec 109,37 mm, et que l'année la moins pluvieuse est l'année (1999-2000) avec 52,66 mm.

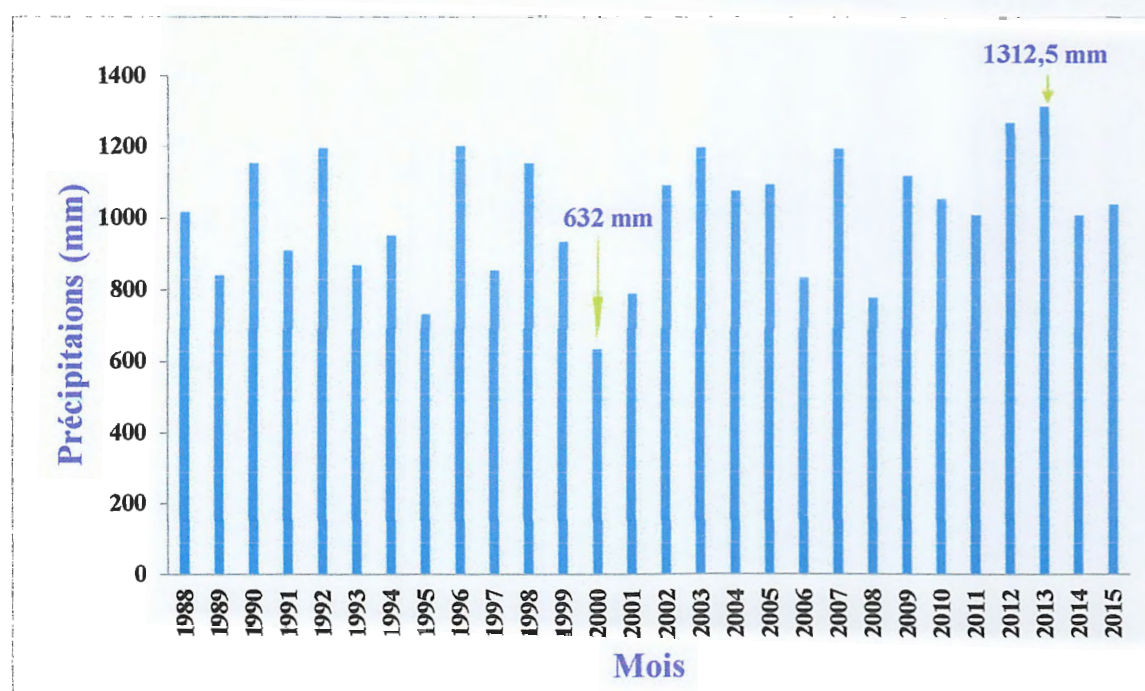


Fig.II.4. Précipitations annuelles en [mm] durant la période 1988-2015 (station d'Achouat).

I.3.1.2 Coefficient pluviométrique (H)

Le coefficient pluviométrique permet de déterminer pour une station donnée si l'année est excédentaire ou déficitaire. L'année est d'autant plus excédentaire que $H > 1$. Si $H < 1$, l'année correspondante est déficitaire.

Le terme H est défini par le rapport de la pluviométrie P d'une année à la pluviométrie moyenne P pour une période de 28 ans :

$$H = P / \bar{p}$$

Avec :

H : Coefficient pluviométrique.

P : Pluviométrie d'une année en mm.

\bar{p} : Pluviométrie moyenne en mm.

Les valeurs du coefficient pluviométrique obtenues montrent une alternance entre les années excédentaires et les années déficitaires.

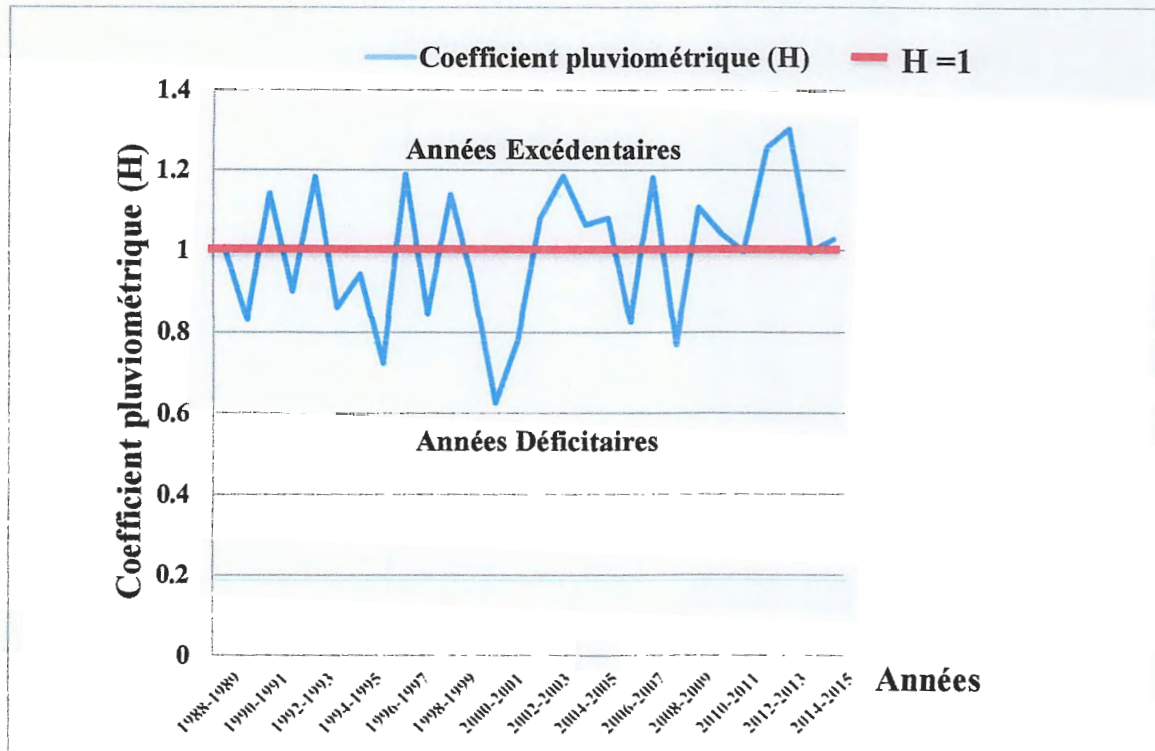


Fig.II.5.Coefficient pluviométrique de station d'Achouat-Taher (1988-2015).

I.3.1.3 Répartition saisonnières des précipitations

La subdivision des pluies de l'année pour chaque saison est faite suivant les quatre saisons:

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

Tab.II.2. Répartition saisonnières des précipitations à la station d'Achouat (1988-2015).

Saisons Stations	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Achouat	8871,55 mm	12281,03 mm	6138,15 mm	950,07 mm

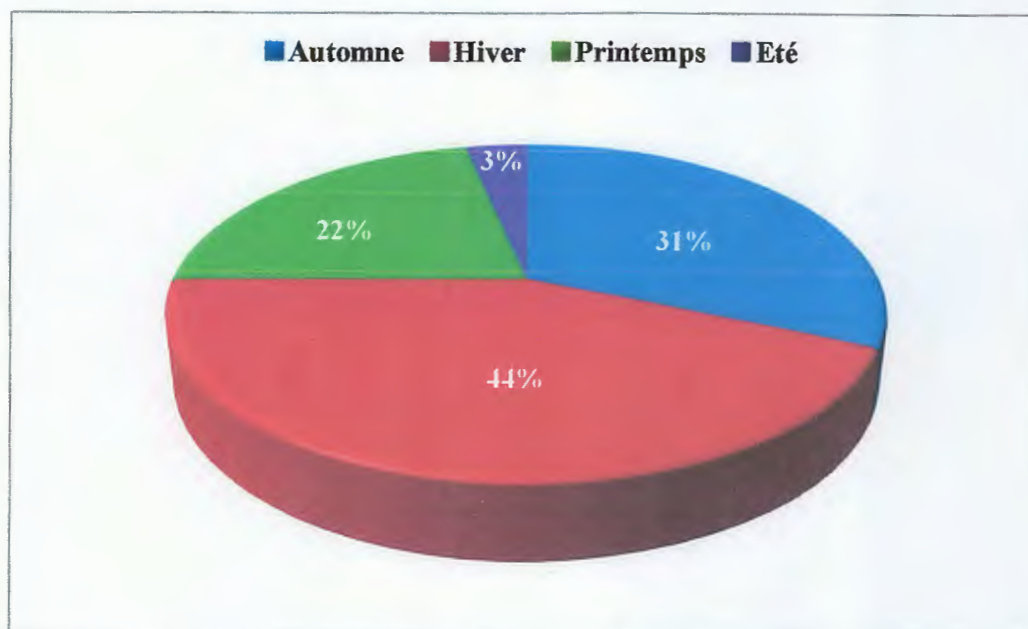


Fig.II.6. Répartition saisonnières des précipitations à la station d'Achouat (1988-2015).

I.3.2 Température

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

II.3.2.1 Températures moyennes mensuelles

D'après la courbe ci-dessous (Fig II.7) qui représentent les résultats de l'évolution des températures mensuelles sur une période de 28 ans (1988-2015), on constate que la valeur maximale est enregistrée au mois d'Août (le mois le plus chaud avec 26,2°C). Par contre le mois de Janvier, la température diminue jusqu'à une valeur minimale de 11,62°C donc c'est le mois le plus froid.

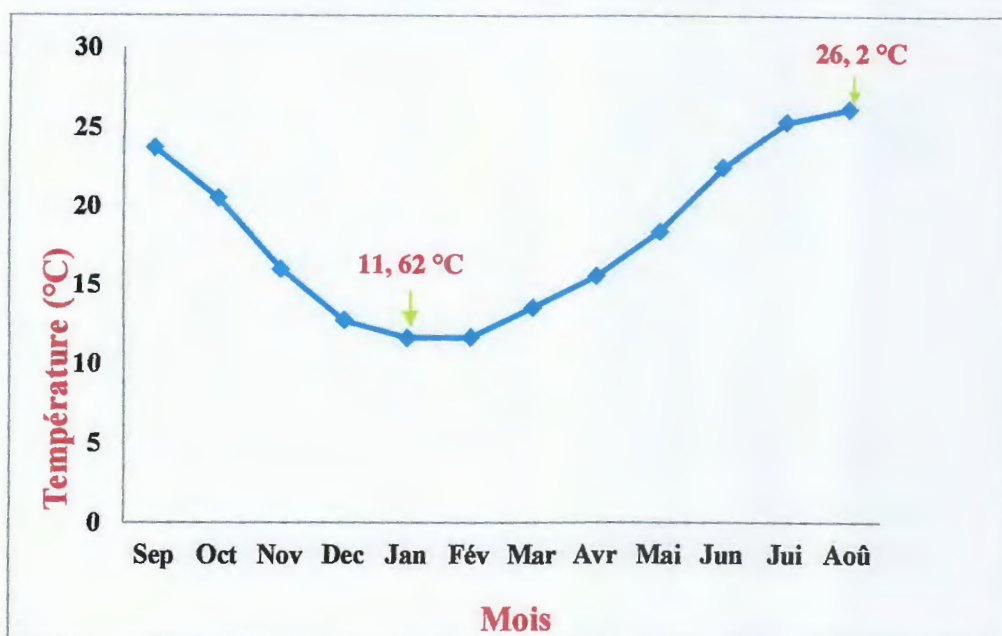


Fig.II.7. Températures moyennes mensuelles de la station Achouat (1988-2015).

I.3.2.2 Températures moyennes annuelles

D'après la courbe ci-dessous (Fig II.8) qui représente les résultats de l'évolution des températures annuelles sur une période de 28 ans (1988-2015), on constate que la valeur minimale est enregistrée en 1992 (l'année la plus froide avec 16,05°C). Par contre l'année 2014, la température touche une valeur maximale de 19,3°C donc c'est l'année la plus chaude.

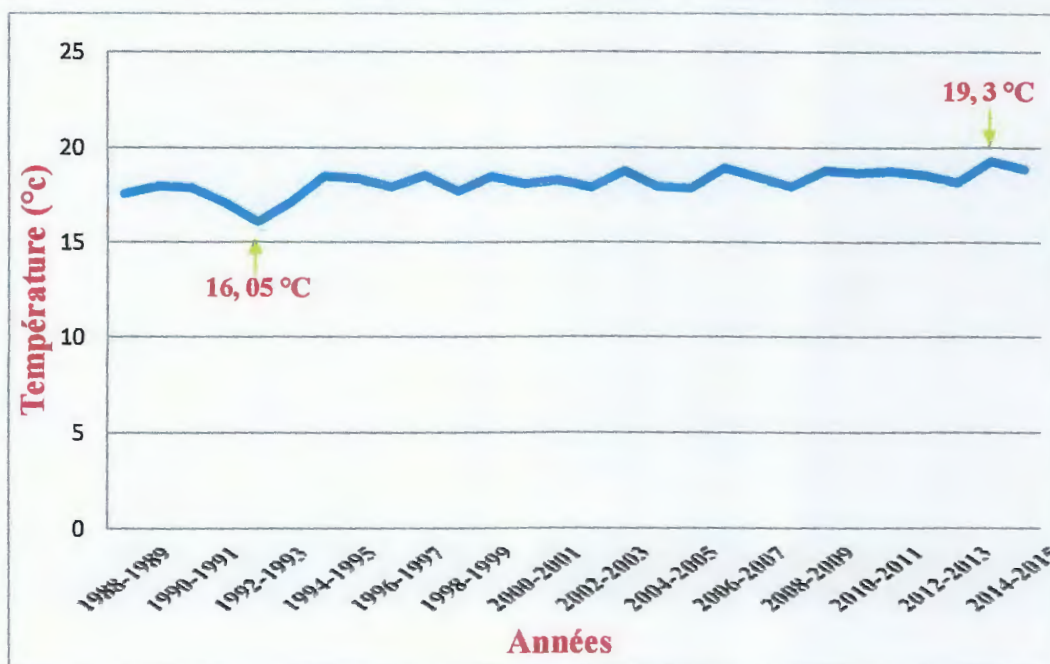


Fig.II.8. Températures moyennes annuelles de la station Achouat (1988-2015).

I.4. Type de climat (diagramme ombrothermique)

Selon la méthode de Bagnouls et Gaussen le diagramme ombrothermique (combinaison de deux paramètres climatiques; la température et les précipitations), permet la détermination du type du climat régnant dans la région. Un mois est dit sec si, le total mensuel des précipitations exprimées en millimètres est égal ou inférieur au double de la température moyenne, cette formule ($P \leq 2T$) permet de construire le diagramme ombrothermique traduisant la durée de la saison sèche d'après les intersections des deux courbes. Par une application sur la station d'Achouat, on distingue deux saisons. L'une dite saison humide (une pluviométrie forte et une température faible) s'étend d'Octobre jusqu'au mois de Mai, alors que l'autre sèche (une pluviométrie faible et une température forte) occupe le reste des mois, du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre (Fig II.9).

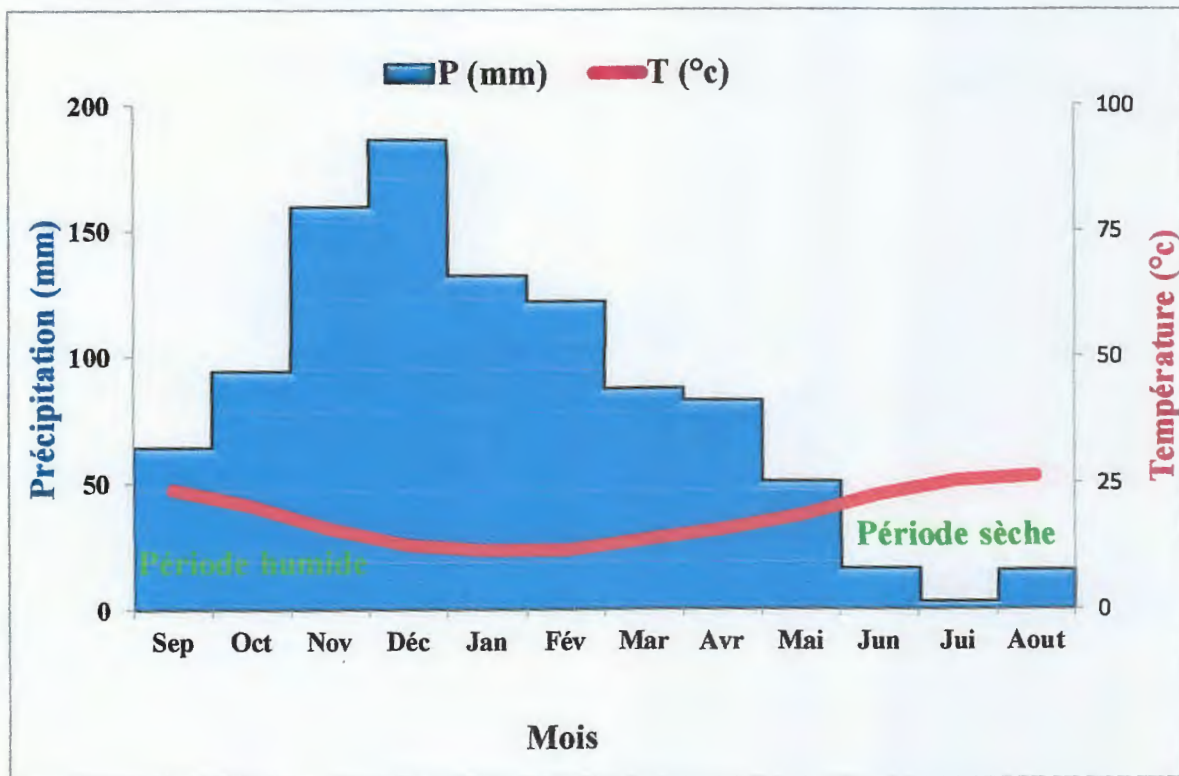


Fig.II.9. Diagramme Ombrothermique pour la période (1988-2015).

I.5. Bilan hydrique

Pour évaluer les quantités d'eau entrant et sortant qui traversent chaque étape du cycle hydrologique, il est très important de connaître les paramètres climatiques tels que la pluie, l'évapotranspiration, l'écoulement ou le ruissellement et l'infiltration qui constituent le cycle de l'eau. Nous utilisons l'équation du bilan hydraulique suivante :

$$P = ETR + R + I + W$$

Avec :

P : Précipitations (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle (mm).

I : Infiltration (mm).

R : Ruissellement (mm).

W : Variation des réserves qui peut être considéré comme négligeable (mm).

I.5.1 Evapotranspiration

L'évapotranspiration ou l'émission de la vapeur d'eau (exprimée en mm) constituée par deux mots : évaporation et transpiration, elle est définie comme des phénomènes d'évaporation des d'eaux (phénomène purement physique) et transpiration des plantes (phénomène biologique).

On distingue :

- ❖ Une évapotranspiration potentielle.
- ❖ Une évapotranspiration réelle.

I.5.1.1 Evapotranspiration potentielle (ETP)

L'évapotranspiration potentielle (ETP) représente la quantité d'eau maximum évaporée à partir d'un sol saturé. Le calcul de l'ETP se fait par l'application de la formule de Thornthwaite :

$$ETP = 16 \left[\frac{10T}{I} \right]^a$$

Avec : $I = \sum_{i=1}^{12} i$

Où :

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1,514}$$

$$a = 0,016 * I + 0,5$$

L'évapotranspiration potentielle corrigée obtenue à partir de la formule suivante :

$$ETP_c = ETP * K$$

Avec :

ETP : évapotranspiration potentielle non corrigée (mm).

ETP_c : évapotranspiration potentielle corrigée (mm).

I : indice thermique annuel.

i : indice thermique mensuel.

T : température annuelle moyenne (°C).

K : facteur de correction mensuel (dépend du mois et du lieu).

a : exposant Climatique (fonction de la durée du jour).

Tab.II.3. Evapotranspiration potentielles ETP selon Thornthwaite (1988-2015).

Mois	Sep	Oct	Nov	Des	Jan	Fer	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout
P(mm)	63,79	93,89	159,15	185,78	131,53	121,29	86,91	82,11	50,19	15,87	2,88	15,16
T(°C)	23,71	20,52	16,01	12,73	11,62	11,66	13,58	15,59	18,41	22,51	25,35	26,2
i	10,55	8,48	5,82	4,11	3,58	3,60	4,53	5,59	7,19	9,75	11,67	12,27
ETP (mm)	106,55	81,04	50,64	32,80	27,59	27,77	37,07	48,15	65,98	96,57	120,94	128,74
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16
ETPc (mm)	109,74	78,60	43,55	26,55	24	23,06	38,18	52,96	79,83	117,81	149,96	149,33

Station de l'Achouat a = 1,89424 ; I = 87,14

II.5.1.2 Evapotranspiration réelle (ETR)

L'évapotranspiration réelle se définit par la somme de l'évapotranspiration et de transpiration réelle pour une surface donnée. Pour le calcul de l'ETR nous utilisons:

- **Méthode de Turc** : La formule de Turc permet d'évaluer directement l'évapotranspiration réelle annuelle d'un bassin à partir de la hauteur annuelle de pluie et de la température moyenne annuelle (Tab.II.4):

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

Avec: $L = 300 + 25T + 0,05T^3$.

Où :

ETR: Evapotranspiration réelle annuelle en(mm).

P: Précipitations moyennes annuelles en (mm).

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

T: La température moyenne annuelle en °C.

Tab.II.4.Evapotranspiration réelle selon la formule de Turc.

Station	P(mm)	T(°C)	L	ETR(mm)	ETR/P (%)
Achouat	1008,55	18,15	1052,7	748,02	74,16

- **Formule de Coutagne** : cette formule permet de calculer l'ETR en faisant intervenir la pluviométrie et la température (Tab.II.5).

Le déficit d'écoulement ou l'ETR est exprimée par la formule suivante:

$$ETR = \bar{P} - (\lambda \bar{P}^2)$$

Cette formule est applicable pour la condition suivante où p compris entre:

$$\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda} \text{ Avec : } \lambda = 1 / (0,8 + 0,14T)$$

- si $P > \frac{1}{2\lambda}$: Le déficit est indépendant de P et obtenu à l'aide de la formule suivante :

$$De = 0,20 + 0,035t.$$

- si $P < \frac{1}{8\lambda}$: Le déficit est égale à la précipitation : $De = P$.

Où :

De : déficit d'écoulement en (mm)

T : Température moyenne annuelle (°C).

P: précipitation moyennes annuelles en (m).

λ: Paramètre dépendant de la température.

Tab.II.5.Evapotranspiration réelle selon la formule de Coutagne.

Station	T(°C)	λ	1/8λ	P(m)	1/2λ	ETR(m)	ETR%
Achouat	18,15	0,29	0,43	0,83525	1,72	0,63	75,42

I.5.2 Bilan hydrique (C.W Thornthwaite)

D'après Thornthwaite, un bilan hydrologique mensuel peut être établi avec l'intégration des précipitations et de l'évaporation potentielle (ETP).

Cette méthode permet l'estimation de chaque mois des paramètres suivants:

- L'évapotranspiration réelle (ETR).
- La réserve facilement utilisable (RFU).
- le déficit agricole (Da) : $[Da = ETP - (P + RFU)]$.
- L'excédent [water surplus (Ws)].

Pour cela il faut tout d'abord calculer la RFU (réserve facilement utilisable) contenue dans le sol.

Le principe de calcul est basé sur les cas suivants:

Si : $P > ETP \rightarrow ETP = ETR$, la quantité d'eau $(P-ETP)$ alimente la RFU jusqu'au maximum, on va avoir un excédent sous forme de ruissèlement.

Si : $P < ETP$ et $RFU \neq 0 \rightarrow P + RFU > ETP = ETR$

$\rightarrow P + RFU < ETP$ $ETP = P +$ toute une partie de la RFU jusqu'à égaliser la valeur de l'ETP

Si $P = ETR$: les précipitations sont justes suffisantes pour alimenter le sol. Il n'y aura de Ws pour alimenter la RFU.

Si malgré l'apport de la RFU, L'ETR est toujours inférieure à l'ETP (ETP, il va avoir un déficit agricole (Da) exprimé ainsi : $Da = ETP - ETR$.

Pour notre cas on prend le RFU maximum égal à 100mm.

Tab.II.6. Bilan hydrique selon Thornthwaite à la station d'Achouat-Taher (1988-2015)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout
P	63,79	93,89	159,15	185,78	131,53	121,29	86,91	82,11	50,19	15,87	2,88	15,16
ETPc (mm)	109,74	78,60	43,55	26,55	24	23,06	38,18	52,96	79,83	117,81	149,96	149,33
P-ETP	-45,95	15,29	115,6	158,23	107,53	98,23	48,74	29,15	-29,64	-101,94	-147,08	-134,17
ETR(m m)	63,79	78,60	43,55	26,55	24	23,06	38,18	52,96	79,83	86,3	2,88	15,16
RFU	0	15,29	100	100	100	100	100	100	70,36	0	0	0
Da	45,79	0	0	0	0	0	0	0	29,64	31,5	147,08	134,17
Ws	0	0	30,89	159,2	107,5	98,23	48,73	29,15	0	0	0	0

I.5.3 Ruissellement (R)

Appelé aussi l'écoulement de surface; le mouvement de l'eau sur ou dans les Premiers horizons du sol (écoulement de subsurface), consécutif à une précipitation. Il joue un rôle très important dans le bilan hydrologique, il est estimé à partir de deux formules:

- de Tixeront_Berkaloff: $R = P^3 / 3(ETP)^2 \rightarrow Si : P < 600 \text{ mm}$
- Tixeront_Berkaloff modifiée par Romantchouk: $R = P^3 / 3 \rightarrow Si : P > 600 \text{ mm}$

Où :

R: Ruissellement en mm.

P: Précipitations moyennes annuelles en mm.

ETP: Evapotranspiration potentielle d'après Thornthwaite en mm.

$$R = [(1,00855)^3 / 3]$$

$$R = 0,34195 \text{ m} \rightarrow R \approx 341,95 \text{ mm}$$

I.5.4 L'infiltration

L'évaluation de l'infiltration pour la quantité d'eau infiltrée dans les aquifères contenues dans ce bassin. Ce paramètre permet aussi d'estimer les réserves en eau pour différents besoins. L'infiltration (I) est calculée par la formule suivante :

$$P = ETR + R + I$$

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

$I = 1008,55 - (505,22 + 341,95) \rightarrow I = 161,38 \text{ mm}$

I.5.5 Interpretation du bilan hydrique

D'après le graphique suivant (Fig.II.10.), on peut constater l'existence de deux périodes; La première est hivernale, elle s'étale du mois d'octobre à avril, caractérisée par des précipitations importantes de 868,88 mm, tandis que l'évapotranspiration est faible avec une valeur de 286,9 mm. Le stock commence à se recharger de début d'Octobre, et l'eau ruisselée vient à apparaître juste au début de Novembre jusqu'au mois d'Avril, et sa quantité est estimée par 473,7 mm. Alors que, la deuxième période est estivale, représente l'épuisement du stock, ce dernier commence à rabattre de début de Mai et sera vide au mois de Juillet, aussi que le déficit agricole qui est presque synchrone avec l'épuisement du stock et s'étale de la troisième semaine de mois de Mai jusqu'à le début d'Octobre, où l'ETP est nettement supérieure aux précipitations.

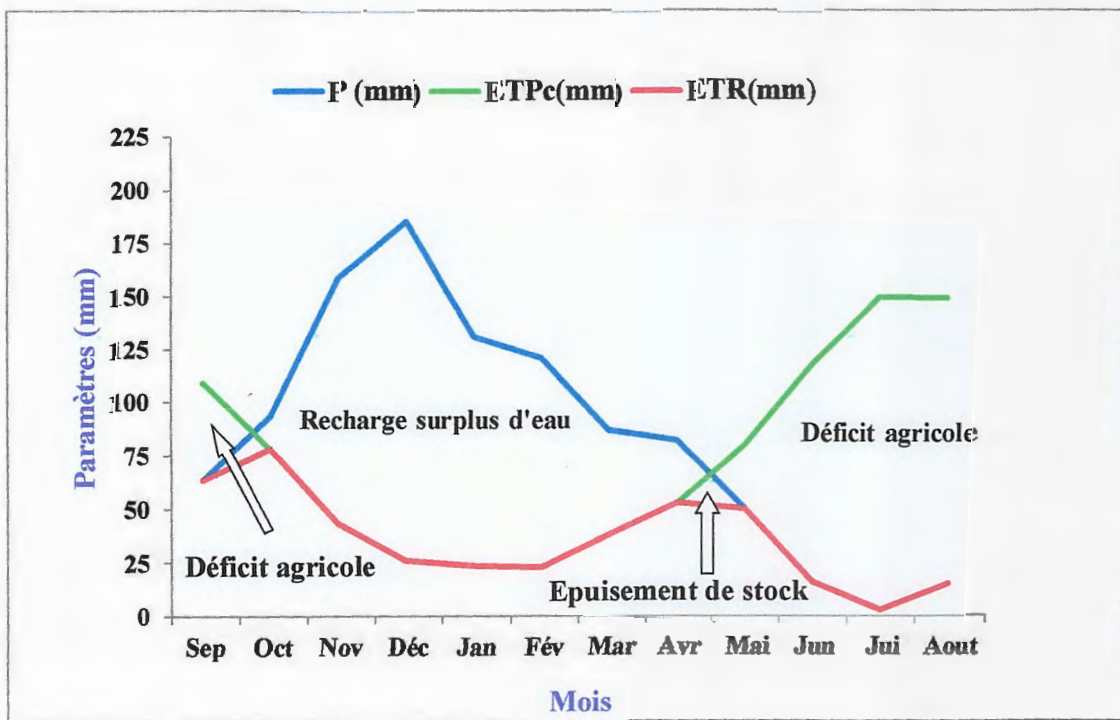


Fig.II.10. Bilan d'eau de la station d'Achouat selon Thornthwaite (1988-2015).

II. Contexte Hydrogéologique

II.1. Introduction

L'hydrogéologie est la science des eaux souterraines. Elle étudie les interactions entre les structures géologiques du sous-sol (nature et structures des roches, des sols) et les eaux souterraines ainsi que les eaux de surface.

Cette science permet donc de connaître et de comprendre comment les structures géologiques du sol et du sous-sol affectent les caractéristiques physico-chimiques de l'eau, sa distribution, son écoulement et sa résurgence, également de définir le comportement de l'ensemble d'un système d'écoulement souterrain (le mode d'alimentation, les caractéristiques hydrodynamiques...etc). L'hydrogéologie permet aussi d'assurer le contrôle et le suivi des ressources souterraines en eau, tant du point de vue quantitatif que qualitatif.

Dans cette partie on va essayer de suivre l'évolution spatiale du niveau piézométrique, et déterminer les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère de la nappes alluviale d'Oued Nil.

II.2. Inventaire des points d'eau

L'accroissement des besoins en eau des populations, des différentes industries et de l'agriculture dans la plaine alluviale d'oued Nil avec un déficit pluviométrique important enregistrée ces dernières années d'où le recoure a l'utilisation intensive des eaux souterraines pour satisfaire ces besoins de plus en plus croissant.

Dans le but d'étudier la qualité des eaux de la plaine alluviale d'oued Nil, une campagne de mesures piézométriques a été effectuée au mois d'avril 2022.

L'inventaire des points d'eau a permis de sélectionner 15 points représentée par des puits domestiques et des forages qui sont destinés à l'alimentation en eau potable et l'irrigation.

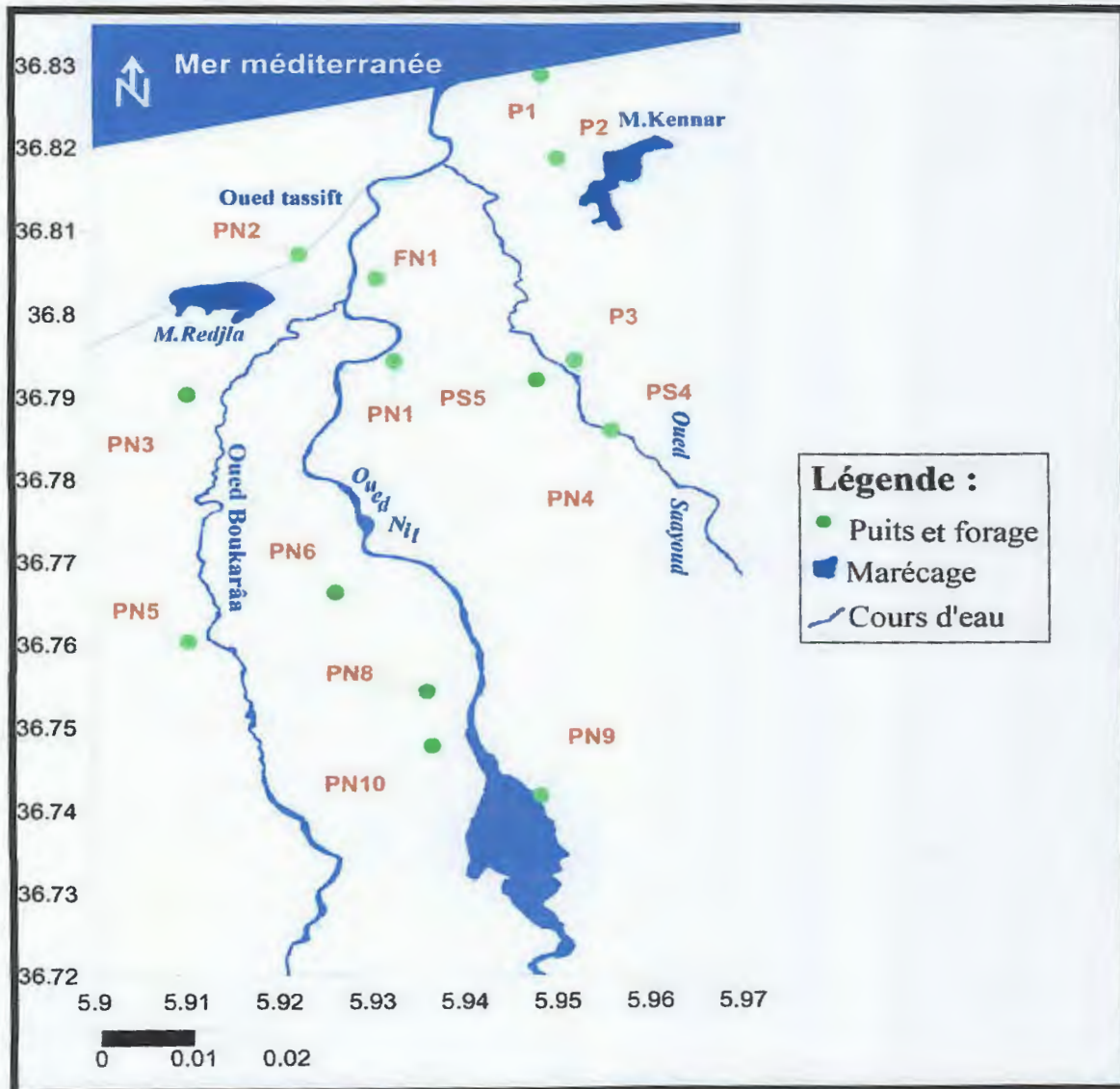


Fig.II.11. Carte d'inventaire des points d'eau de la plaine d'oued Nil (Campagne d'avril 2022).

II.3. La piézométrie de la nappe

Nous avons réalisé une campagne de mesure piézométrique en Avril 2022 pour déterminer l'évolution du niveau d'eau dans la nappe, ce qui nous a permis d'établir une carte piézométrique (Fig II.12). Cette carte permet de déterminer le sens d'écoulement des eaux ainsi que le mode d'alimentation de la nappe.

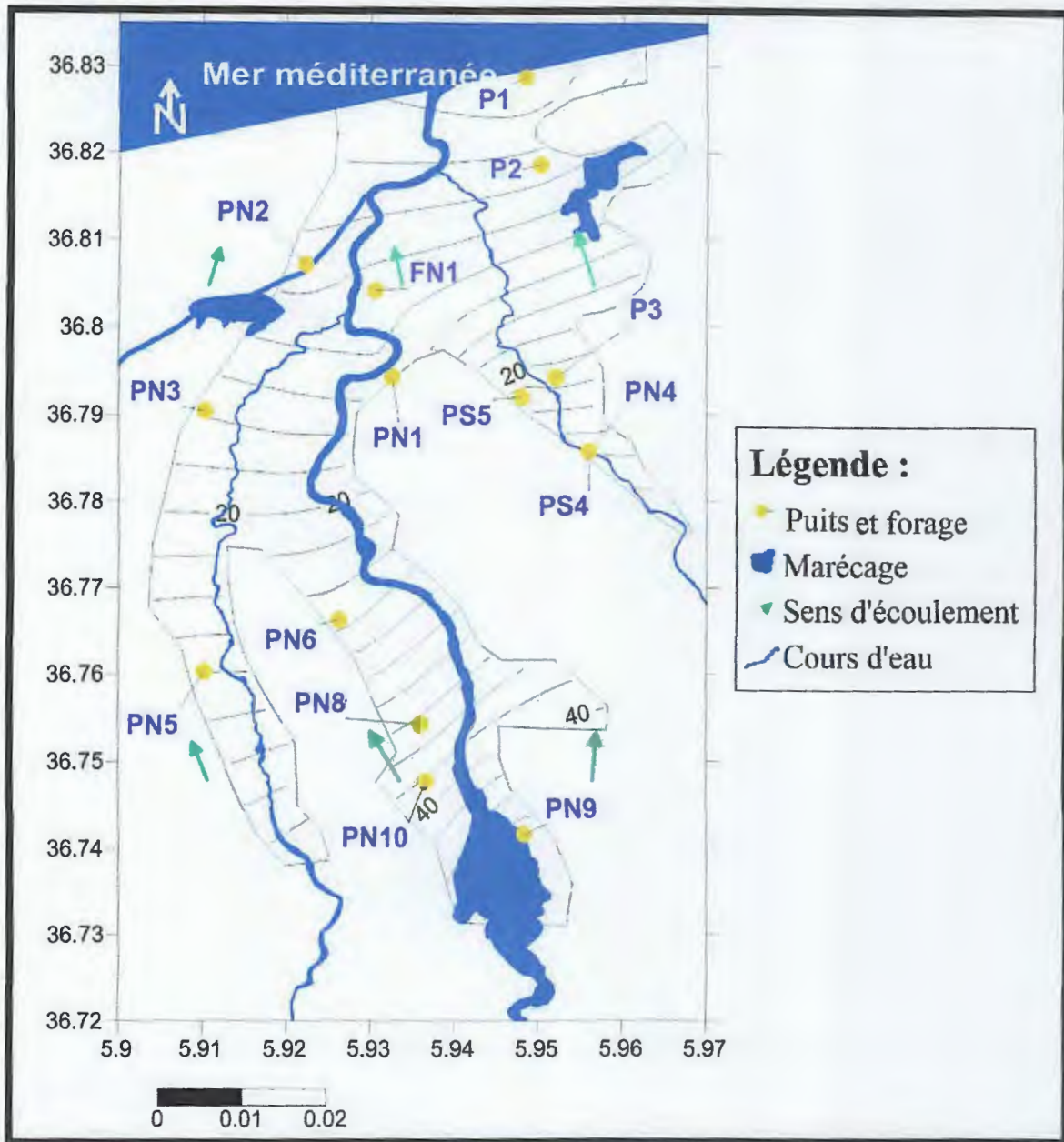


Fig.II.12. Carte piézométrique de la plaine d'Oued Nil (Campagne d'avril 2022).

L'écoulement souterrain dans la nappe alluviale d'Oued Nil est représenté par des lignes de courant, qui prend deux directions principales (S-N et SE-NW).

L'examen de la carte permet de distinguer les zones hydrogéologiques suivantes :

- ❖ **Zone NE** : la nappe est caractérisée par une zone d'alimentation, l'écoulement est de direction SE-NW. Le marécage d'El Kennar reçoit des apports d'eau du côté Est et qui alimente la nappe du côté Ouest.

- ❖ **Zone NW:** Les filets de courants indiquent que la nappe est alimenté par oued Nil avec une direction d'écoulement SE-NW. Le marécage Redjla reçoit des apports d'eau du côté Sud et alimente la nappe du côté Nord.
- ❖ **Zone Sud :** l'alimentation de la plaine se fait par les monts qui l'entourent du côté Sud, alors que les deux oueds Boukrâa et Nil sont alimenté par la nappe avec un écoulement de direction S-N.

II.4. Etude des Paramètres Hydrodynamiques

Les caractéristiques hydrodynamiques des terrains permettent d'évaluer d'une part, leur aptitude à laisser l'eau circuler lorsqu'ils sont soumis à un gradient de charge hydraulique ainsi que leur capacité à emmagasiner de l'eau. Les paramètres qui d'écrivent ces caractéristiques sont la perméabilité (K), la transmissivité (T), et le coefficient d'emmagasinement (S).

Afin d'évaluer ces paramètres hydrodynamiques nous avons utilisé les différents logs de forages réalisés par la direction de l'hydraulique de la wilaya de Jijel (DHW).

II.4.1 La perméabilité (K)

La perméabilité ou la conductivité hydraulique traduit la capacité d'une roche à se laisser traverser par l'eau, sous l'effet d'une pression (ou gradient hydraulique).

Selon Darcy, c'est le volume d'eau gravitaire en m³ traversant en une unité de temps, sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique, une unité de section en m² orthogonale à la direction de l'écoulement. Elle s'exprime en m/s.

Pour la détermination de la perméabilité on utilise les deux formules suivantes :

1er.

$$Q = K \cdot S \cdot i \quad \Rightarrow \quad K = Q / S \cdot i$$

Où :

Q : Débit de la nappe dans la zone considérée (m²/s).

S : Surface (m²).

i : Gradient hydraulique.

❖ Carte de perméabilité :

La carte de perméabilité (Fig.II.13), a été réalisée à partir des valeurs de perméabilité de 17 forages de la plaine alluviale d'oued Nil.

L'examen de cette carte nous permet de distinguer trois zones de perméabilité différentes :

- Zone Sud de la plaine, cette zone indique des valeurs élevées de perméabilité avec des valeurs qui varient entre (0,00162 et 0,00262 m/s). Ces valeurs élevées de perméabilité dépendent de la nature lithologique des différentes formations caractérisent l'aquifère.

K : Perméabilité (m/s).

e : l'épaisseur de l'aquifère (m).

Le gradient hydraulique et l'épaisseur de l'aquifère influent la transmissivité.

❖ **Carte de transmissivité :**

La carte de transmissivité est présentée dans la figure (Fig.II.14), l'examen de la carte nous permet de distinguer :

➤ Les valeurs élevées sont observées dans la partie Sud et Nord-Ouest de la plaine, elles varient entre 0,06 et 0,08 m²/s. Ces valeurs sont dues à la grande épaisseur de la nappe et les formations lithologiques perméables de l'aquifère telle que les graviers.

➤ Les valeurs faibles de transmissivité, observée dans la partie Nord-Est (0,001 et 0,02 m²/s), résultent des faibles épaisseurs de l'horizon aquifère et des faibles perméabilités des couches aquifères et la lithologie représentée par des argiles grisâtres graveleuses.

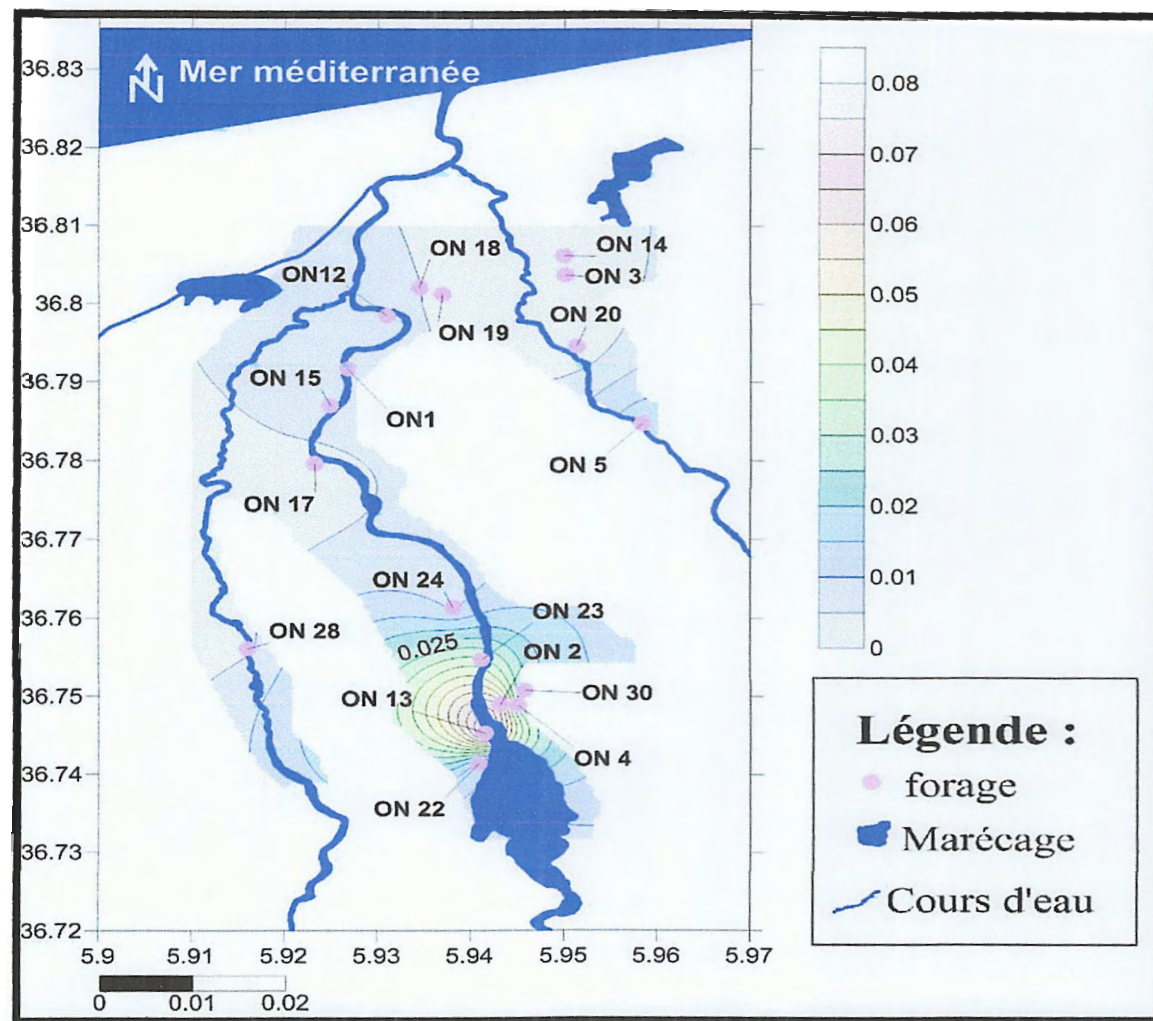


Fig.II.14. Carte de transmissivité de la plaine d'oued Nil

III. Conclusion

L'intérêt de cette étude est de caractériser les aspects morphologiques du bassin versant et leur relation avec les conditions climatiques pour la période allant de 1988 à 2015. Le climat de la plaine alluviale d'oued Nil est un climat méditerranéen caractérisé par une période humide qui s'étend du début de mois d'octobre jusqu'au mois de mai, et une période sèche qui s'étend de mai à septembre.

La région d'étude reçoit une lame d'eau précipitée de l'ordre 1008,55 mm/an, avec une température moyenne annuelle de l'ordre de 18,15°C pour la période (1988 - 2015).

Le bilan hydrique montre que, l'évaporation potentielle calculée selon Thornthwaite est de 893,57 mm, l'évapotranspiration réelle a été estimée à 748,02 mm soit 74,16% des précipitations, le ruissellement obtenu est de 341,95 mm et l'infiltration est de 161,38 mm.

L'examen de la carte piézométrique de la campagne d'avril 2022 indique que le sens général de l'écoulement souterrain est d'une direction vers la mer (Sud-Nord).

Les cartes de perméabilité (K) et de transmissivité (T) montrent deux zones qui se caractérisent par un potentiel d'eau très fort. La première zone se situe au Sud de la plaine, et l'autre zone au Nord-Ouest.

Chapitre 3

*Composition de l'eau et
normes de potabilité*

III.1. L'eau potable

L'OMS définit l'eau potable comme étant celle dont la consommation est sans danger pour la santé. Pour que l'eau soit qualifiée de potable, elle doit satisfaire à différentes normes relatives aux paramètres organoleptiques, physico-chimique, microbiologiques et à des substances indésirables et toxiques. Pour chaque paramètre, des valeurs limites à ne pas dépasser sont établies. Le fait qu'une eau soit potable ne signifie pas qu'elle soit exempt d'agent pathogènes mais que leur teneur a été jugée insuffisante pour déclencher une maladie.

III.2. Qualité des eaux

La qualité des eaux continentales est dépendante d'un certain nombre de paramètres, dont la quantité en présence (concentration en éléments traces) qui va définir l'état de la qualité de l'eau.

L'eau destinée à la consommation humaine doit répondre à des règles d'hygiène et à toutes les mesures strictes afin de préserver la santé de l'homme.

III.2.1 Caractères organoleptiques

Les paramètres organoleptiques concernent la turbidité, la couleur, l'odeur, et la saveur. Ils sont liés au confort de consommation, ils n'ont pas de valeur sanitaire directe.

Ces différents caractères doivent être appréciés lors du prélèvement, certaines odeurs peuvent disparaître lors du transport, ou l'aspect de l'échantillon se modifier au cours du stockage (variation de la couleur, des précipitations de résidu, etc.)

III.2.1.1 Turbidité

La turbidité désigne la teneur d'une eau en particules suspendues qui la troublent. Elle joue un rôle très important comme indicateur de la qualité de l'eau.

La turbidité d'une eau est essentiellement due à la présence de particules en suspension notamment colloïdales : argile, limons, grains de silice, matières organique, etc. l'appréciation de l'abondance de ces particules nous indique son degré de turbidité.

Les eaux souterraines ont une turbidité faible a cause de la filtration des eaux par les sols (RODIER et al, 2009).

Tab.III.1. Classes de turbidité usuelles (NTU, nephelometric turbidity unit)

Turbidité	Classe
NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble

III.2.1.2 Couleur

Une eau potable ne doit pas présenter de couleur. Cependant, la coloration de celle-ci est dite vraie lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est nommée apparente quand les substances en suspension y rajoutent leur propre coloration (RODIER et al, 2009).

La couleur dans les eaux souterraines est due, à des substances colorées d'origines variées :

- Des substances humiques provenant de la décomposition de la matière végétales.
- D'algues pouvant donner différentes couleurs selon le type de pigmentation qu'elle contiennent.
- De substance minérales, en particulier le fer (couleur rouge) et le manganèse (couleur noire), le cuivre (une couleur bleu clair), dont les formes précipitées sont colorées (REJSEK ; 2002).

III.2.1.3 Goût et odeur

Ces paramètres peuvent être une indication de la présence de substances potentiellement nocives.

Une eau destinée à l'alimentation doit être inodore et agréable à boire.

Toute odeur est un signe de pollution ou de la présence de matière organiques en décomposition. Ces substances sont en quantité si minime qu'elles ne peuvent pas être mises en évidence par les méthodes d'analyses ordinaires. Le sens olfactif peut seul, parfois le déceler (RODIER et al, 2009).

La saveur de l'eau est due à la combinaison de nombreux facteurs, parmi lesquels la minéralisation de l'eau (sels minéraux qui donnent des goûts particuliers à l'eau), les matières organiques dissoutes provenant de la décomposition des matières organiques végétales et des résidus agricoles, et les métabolites de certains micro-organismes vivants dans l'eau (REJSEK, 2002).

III.2.2 Les éléments majeurs

La minéralisation de la plupart des eaux est dominée par huit ions appelés couramment les ions majeurs. On distingue les cations : calcium, magnésium, sodium et potassium, et les anions : chlorure, sulfate, nitrate et bicarbonate.

Les eaux très minéralisées, du fait de leur teneur en sodium, en calcium, en magnésium, en chlorures, en sulfates, contribue à l'homéostasie de l'homme et surtout des enfants. Cependant elles peuvent poser des problèmes endocriniens très complexes (RODIER et al, 2009).

III.2.2.1 Le Calcium (Ca²⁺)

Le Calcium est l'élément présent dans toutes les eaux naturelles (BENAMAR et al, 2011). C'est un métal alcalino-terreux très répandu dans la nature est en particulier dans les roches

calcaires sous forme de carbonates. Il existe principalement à l'état d'hydrogencarbonates et en quantité moindre sous forme de sulfates, chlorure...etc. (RODIER, 2005).

Le calcium est aussi fréquent dans les roches sédimentaires, il peut provenir également des formations gypsifères ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$) qui sont facilement solubles (SEDRATI, 2011).

Le calcium ne pose pas des problèmes de potabilité, le seul inconvénient domestique lié à une dureté élevée est l'entartrage (GAUJOUR, 1995).

III.2.2.2 Le magnésium (Mg^{2+})

Il constitue l'élément significatif de la dureté de l'eau avec les ions de calcium, c'est l'un des éléments les plus répandus dans la nature (Rodier et al, 2009). La variation du magnésium dans les eaux souterraines est due à l'influence des formations carbonatées telles que les calcaires, d'une part, et les formations salifères d'autre part, comme les argiles et les marnes qui sont riches en Mg^{2+} (Dib, 2009). Sont abondance géologique, sa grande solubilité, sa large utilisation industrielle font que les teneurs dans l'eau peuvent être importantes (SEVESC, 2013).

III.2.2.3 Le potassium (K^+)

Le potassium est généralement peu concentré dans les eaux naturelles. Dans les eaux souterraines, sa concentration ne dépasse pas généralement 10 mg/l. De plus fortes teneurs peuvent cependant, être observées dans des eaux ayant traversé des formations évaporitiques (CHERY, 2006).

Le potassium joue un rôle important dans le système hydrique de l'homme et il intervient dans les fonctions nerveuses. Toutefois quand les reins fonctionnent mal, il y a une accumulation de potassium, ce qui peut entraîner une perturbation des battements du cœur.

III.2.2.4 Le sodium (Na^+)

Cet élément est originaire de l'altération de la roche et du sol, des intrusions d'eau de mer, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation. Le problème principal avec de grande quantité de sodium est son effet sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau (COUTURE, 2004). Le sodium est nécessaire à l'homme pour maintenir l'équilibre hydrique de l'organisme et il est également important pour le fonctionnement des muscles et des nerfs. Trop de sodium peut endommager les reins et les risque d'hypertension artérielle.

III.2.2.5 Les chlorures (Cl^-)

Les chlorures sont très répandus dans la nature, généralement sous forme de NaCl ou de KCl ou CaCl_2 .

Les teneurs rencontrées dans les eaux naturelles sont généralement de 10 à 20 mg/l mais peuvent atteindre des valeurs plus importantes au contact de certaine formation géologiques (REJSEK, 2002).

Une concentration élevées en chlorures affecte le gout de l'eau et accélère la corrosion des métaux dans le réseau en fonction de l'alcalinité de l'eau. Cela peut entrainer une augmentation de la concentration de certains métaux dans cette dernière (MAIGA, 2005).

III.2.2.6 Les sulfates (SO₄²⁻)

L'ion sulfate est la forme prédominante dans les eaux naturelles. Il est lié à l'oxydation des minéraux riches en soufre, principalement des sulfures primaires ou secondaires, ces minéraux sont présents dans tous les types de lithologie (calcaire, sable). La présence des sulfates dans l'eau est liée à l'oxydation des sulfures dans les précipitations atmosphériques (phénomènes des pluies acides). Lorsque le milieu est réducteur (nappe captive), le soufre est aussi représenté par sa forme réduite (H₂S). La teneur en sulfate est donc intimement liée aux propriétés redox du milieu. Les teneur en sulfate des eaux sont variables mais ne dépassent pas le gramme par litre. Bien que des teneurs élevées en sulfate ne soient pas dangereuses, elles peuvent occasionner des trouble diarrhéiques notamment chez les enfants (CHERY, 2004).

III.2.3 Paramètre de pollution organique

III.2.3.1 Les Nitrites (NO₂⁻)

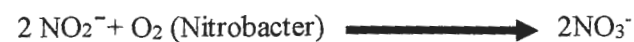
Les nitrites constituent une étape importante dans la métabolisation des composés azotés. Ils s'insèrent dans le cycle d'azote entre l'ammoniaque et les nitrates. Leur présence est due, soit a l'oxydation bactérienne de l'ammoniaque et les nitrates. Ils se présentent qu'un stade intermédiaire et sont facilement oxydés en nitrates, leur présence dans l'eau est donc rare et en faible quantité (RODIER et al, 2009).



Un excès de nitrites dans les eaux de boisson peut provoquer une hypertension chez les humains et une méthémoglobinémie chez les nourrissons (MAIGA ; 2005).

III.2.3.2 Les Nitrates (NO₃⁻)

Les nitrates sont issus de l'oxydation des nitrites (nitration) grâce aux bactéries du genre Nitrobacter.



Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote et ils se trouvent naturellement dans les eaux souterraines (RODIER et al, 2009). Leurs concentrations naturelles ne dépassent pas 3 mg/l dans les eaux superficielles et quelques milligrammes par litre dans les eaux souterraines. Pour l'organisme humain, ils ne sont pas toxiques directement (sauf à des doses élevées de plusieurs dizaines de grammes) mais leur réduction en nitrites peut provoquer les mêmes troubles que ceux-ci (REJSEK, 2002).

Les nitrates n'ont pas d'effets toxiques directs à faible doses ; mais le fait qu'ils puissent conduire aux nitrites dans les conditions peu oxydantes leur confère une toxicité indirecte (DOVONOU E.F, 2008).

III.2.3.3 Les Phosphates (PO_4^{3-})

Leur présence dans les eaux est liée aux caractéristiques des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique. Des teneurs supérieures à 0,5mg/l doivent constituer un indice de pollution.

Les phosphates contenus dans les eaux de surfaces ou des nappes peuvent être d'origine naturelle. Mais à l'heure actuelle leur présence dans les eaux est essentiellement due aux rejets industriels, domestiques ou agricoles (POTELON et ZYSMAN, 1998).

III.2.3.4 Azote Ammoniacal (NH_4^+)

L'azote ammoniacal est assez souvent rencontré dans les eaux, est traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique (POTELON et ZYSMAN, 1998).

L'ammonium n'a pas d'effet appréciable sur la santé du consommateur, mais sa présence dans les eaux est un indicateur de pollution. Dans les eaux profondes, sa présence peut également être due aux conditions réductrices régnant dans une nappe (MAIGA, 2005).

III.2.4 Paramètres physico-chimiques

III.2.4.1 Le potentiel Hydrogène (pH)

Le pH d'une eau est une indication de sa tendance à être acide ou alcaline, il est fonction de l'activité des ions hydrogènes H^+ présent dans cette eau. Dans les eaux naturelles cette activité est due à différentes cause en particulier l'ionisation de l'acide carbonique et de ses sels (RODIER et al, 2009). Les valeurs limites du pH sont comprises entre 6,5 et 9 (JORA, 2011). Au-dessous de ce seuil l'eau est dite « Agressive », elle a un effet corrosif sur les canalisations et peut mener à la dissolution de certains métaux toxiques tels que le plomb des conduites (SAVARY, 2010).

Tab.III.2. classification des eaux d'après leur pH.

pH	Classe
pH < 5	Acidité forte => présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles.
pH = 7	pH neutre.
7 < pH < 8	Neutralité approchée => majorité des eaux de surface.
5,5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines.
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense.

III.2.4.2 La température (T °c)

C'est important de connaître la température de l'eau avec une précision. En effet celle-ci joue un rôle important dans la solubilité des gaz, dans la dissociation des sels et dans la détermination du pH, pour la compréhension de l'origine de l'eau et les mélanges éventuels. En outre cette mesure est très utile pour les études limnologiques (RODIER et al, 2005).

Une température élevée favorise la croissance des micro-organismes, peut accentuer le goût, l'odeur et la couleur (OMS, 1994). Par contre une température inférieure à 10°C ralentit les réactions chimiques dans les différents traitements des eaux (RODIER et al, 2009).

III.2.4.3 La conductivité électrique (CE)

La conductivité est la propriété que possède une eau à favoriser le passage d'un courant électrique. Elle dépend de la nature des ions dissous et de leurs concentrations. La température et la viscosité influent également sur la conductivité car la mobilité des ions augmente avec l'augmentation de la température et diminue avec celle de la viscosité.

La conductivité s'exprime en Siemens par mètre et elle est l'inverse de la résistivité qui s'exprime en Ohm par mètre.

La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau et de suivre son évolution. Le tableau (Tab III.3) donne une relation entre la conductivité et la minéralisation des eaux naturelles.

Tab.III.3. Classification des eaux en fonction de la conductivité selon les normes algériennes.

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

III.2.4.4 La dureté (TH)

Le titre hydrométrique TH ou dureté total indique la teneur global en sel de calcium et de magnésium qui sont responsable de la dureté de l'eau, dans la plupart des eaux naturelles, le calcium contribue au TH dans la proportion de 70 à 90%. Initialement la dureté d'une eau exprimait l'aptitude de cette eau à réagir et à faire mousser du savon. A l'heure actuelle on appelle dureté ou titre hydrotimétrique (TH) la somme des cations alcalinoterreux présent dans l'eau (CHOUAKI M, 2016).

Toutefois, on distingue les Type de dureté suivants :

- Dureté total : englobe tous les sels de calcium et de magnésium.
- Dureté calcique : engendré par la présence de seul de calcium.
- Dureté magnésienne : causée par des sels de magnésium.
- Dureté temporaire : dureté carbonatée correspond aux carbonates et bicarbonates de calcium susceptibles de précipiter par ébullition.
- Dureté permanente : dureté non carbonaté correspond aux sulfates et au chlorure de calcium stable.

La connaissance de ce paramètre permet de tirer des conclusions sur la qualité de l'eau (voir le tableau ci-dessous) :

Tab.III.4. Classification de la qualité de l'eau selon sa dureté.

TH (mg/l)	Qualité de l'eau
0 - 5	Eau très douce
5 - 15	Eau douce
15 - 25	Eau moyennement douce
25 - 35	Eau dure

III.2.4.5 L'alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à sa capacité de réagir avec les ions H^+ qui est due à la présence des constituants alcalins HCO_3^- , CO_3^{2-} , OH^- .

On distingue deux types d'alcalinité :

- Alcalinité totale (ou titre alcalimétrique complet) :

$$TAC = [OH^-] + [CO_3^{2-}] + [HCO_3^-]$$

- Alcalinité composite (ou titre alcalimétrique) :

$$TA = [OH^-] + [CO_3^{2-}].$$

Si le PH :

➤ $< 8,3$ alors le $TA = 0$; $TAC = [HCO_3^-]$

➤ $> 8,3$ alors le $TA \neq 0$

Pour les eaux naturelles non polluées, le pH est toujours inférieur à 8,3 ce qui implique que l'acidité forte est nulle ($TA = 0$) (BEDIAF H, 2014).

III.3 Les normes de potabilité (Algériennes et de l'OMS)

L'eau potable nécessaire à l'alimentation doit présenter certaines qualités physico-chimiques et biologiques complexes, définies à l'échelle mondiale par l'Organisation Mondiale de la santé (OMS). Si de telles normes sont appliquées dans les pays industrialisés, il n'en va pas de même dans la plupart des pays en voie de développement, où le manque d'eau potable constitue aujourd'hui le problème environnemental le plus grave (Bernard J, 1989). Les normes fixent le but à atteindre pour la transformation de l'eau brute en eau potable. Elles définissent les doses maximales admissibles pour une substance donnée correspondant à la qualité qu'un individu peut absorber sans danger pour sa santé tout au long de sa vie. Elles présentent les valeurs à ne pas dépasser.

En Algérie, il existe des réglementations locales pour la qualité de l'eau de boisson en citant le Journal Officiel de la République Algérienne (JORA, 2011) qui représente les différents paramètres physico-chimiques et organoleptiques de la qualité de l'eau de consommation humaine avec des valeurs limites.

Les tableaux (Tab.III.5), (Tab.III.6), (Tab.III.7), et (Tab.III.8) représentent les normes Algérienne et de l'OMS de l'eau potable :

Tab.III.5. Les valeurs indicatives des paramètres organoleptiques.

Paramètres	Unité	Normes OMS (2006)	Normes Algériennes (2011)
Turbidité	NTU	5	5
Couleur	mg/l de platine	Non mentionnée	15
Goût (Saveur)	Taux dilution	Acceptable	4 à 25°
Odeur	Taux dilution	Pas de valeur guide	4 à 12°

Tab.III.6. Les valeurs indicatives des éléments majeurs.

Paramètres	Unité	Normes OMS (2006)	Normes Algériennes (2011)
Calcium (Ca ²⁺)	Mg/l	100	200
Magnésium (Mg ²⁺)	mg/l	50	Non mentionnée
Potassium (K ⁺)	mg/l	12	12
Sodium (Na ⁺)	mg/l	20	200
Chlorure (Cl ⁻)	mg/l	250	500
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	mg/l	500	400
Nitrates (NO ₃ ⁻)	mg/l	50	50

Tab.III.7. Les valeurs indicatives des paramètres physico-chimiques.

Paramètres	Unité	Normes OMS (2006)	Normes Algériennes (2011)
pH	/	Entre 6,5 et 9,5	≥ 6,5 et ≤ 9,5
Température	°C	Acceptable	25°
Conductivité	µS/cm	/	2800 à 20°c
Dureté	Mg/l et ppm	200 ppm	200 mg/l

Tab.III.8. Les valeurs indicatives d'autres paramètres restants (2003)

Paramètres	Unité	Normes OMS	Normes Algériennes
Phosphate	mg/l	< 0,5	< 0,5
TA	mg/l	< 15	< 5
TAC	mg/l	< 15	/

Chapitre 4

Matériel et méthodes

IV.1. Matériel

Notre présente étude porte essentiellement sur le suivi de la qualité physico-chimique des eaux de la nappe alluviale d'oued Nil destinées à l'alimentation en eau potable.

Ce chapitre étalera le matériel et la démarche utilisés dans la réalisation de cet objectif.

IV.1.1 Appareillage

Dans ce travail expérimental, nous avons employé les appareils suivants :

IV.1.1.1 Spectrophotomètre à flamme

Lorsqu'une solution est pulvérisée dans une flamme, l'eau s'évapore, les sels et leurs produits de décomposition sont dissociés à l'état d'atome ou de radicaux. Ceux - ci sont excités par l'énergie thermique de la flamme (air/butane) leur permettant ainsi d'absorber à une certaine longueur d'onde un quantum d'énergie. Ce dernier est lié à la concentration de l'élément considéré. La photométrie de la flamme est un des procédés les plus rapides et sensibles connus aujourd'hui pour le dosage des éléments alcalins et alcalino-terreux (BOUGUETIT K, 2015).



Fig.IV.1.Spectrophotométrie à flamme

IV.1.1.2 Spectrophotomètre (UV- VISIBLE)

La lumière d'une lampe tungstène est réfléchiée par un miroir parabolique et dispersé par un double passage à travers un prisme ; la longueur d'onde choisie est reçue sur une fente mobile.

Lorsque le faisceau lumineux traverse la solution colorée une fraction de la lumière incidente est absorbée en fonction de la concentration du composé coloré (LAHEROUA A, 2016).



Fig. IV.2. Spectrophotomètre UV

IV.1.1.3 pH mètre

L'appareil le plus utilisé pour la mesure du pH d'une solution. Il est constitué de deux éléments: un boîtier électronique qui affiche la valeur du pH et une électrode qui mesure cette valeur.

Le fonctionnement du pH-mètre est basé sur le rapport entre la concentration en ions HO_3^+ et la différence de potentiel électrochimique qui s'établit dans l'électrode de verre.



Fig. IV.3. Le pH mètre

IV.1.1.4 Conductimètre

La conductivité est liée à la présence d'ions en solution. Elle est déterminée avec le conductimètre (Fig.IV.4) et augmente avec la température et la concentration en sels dissous.



Fig.IV.4. Le conductimètre

IV.1.1.5 Le thermomètre

La température est mesurée à l'aide d'un thermomètre qui est placée à l'intérieure de l'échantillon d'eau, la température sera affichée directement sur l'écran en C°.

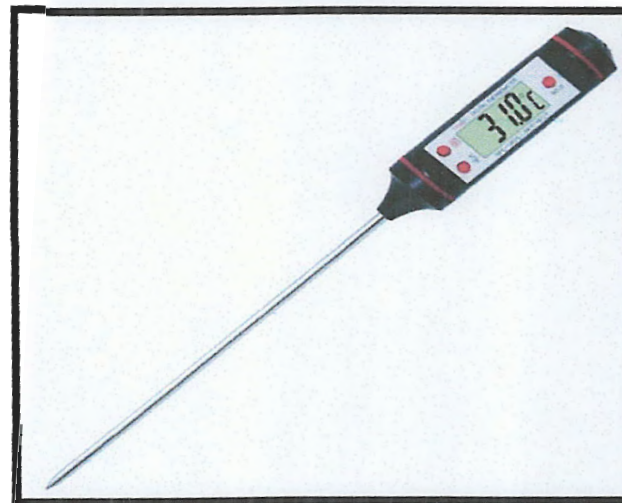


Fig.IV.5. Le thermomètre

IV.1.1.6 Localisation géographique des points d'eau

Dans cette étude, nous avons utilisé un GPS de type Garmin (GPSMAP-62S) pour localiser les coordonnées géographiques (x, y, z) des différents points de prélèvement (Fig.IV.6).

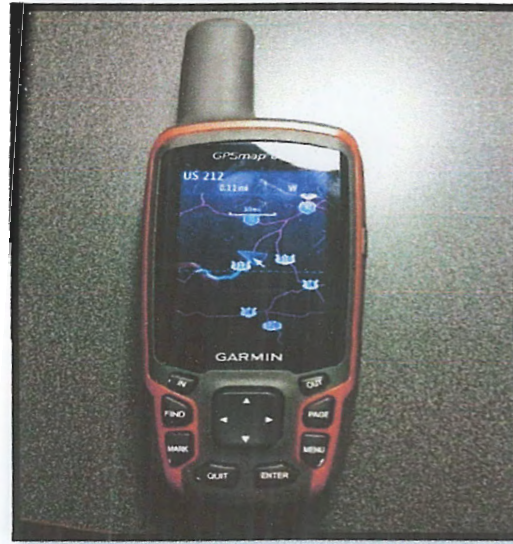


Fig.IV.6. Le GPS (GPSMAP-62S)

IV.1.1.7 Mesure du niveau piézométrique

Pour effectuer les mesures des niveaux d'eau des différents puits et forages, nous avons utilisé une sonde piézométrique possédant un voyant qui s'allume une fois que le bec de la sonde a atteint la surface de l'eau (Fig.IV.7).



Fig.IV.7. La sonde piézométrique (AGM TEC)

La hauteur de la margelle est mesurée pour déterminer le niveau réel de l'eau par rapport à la surface topographique (Fig.IV.8)

Pour le calcul du niveau piézométrique de l'eau on utilise la formule suivante :

$$NP = \text{altitude} - (\text{Profondeur d'eau} - \text{la margelle})$$

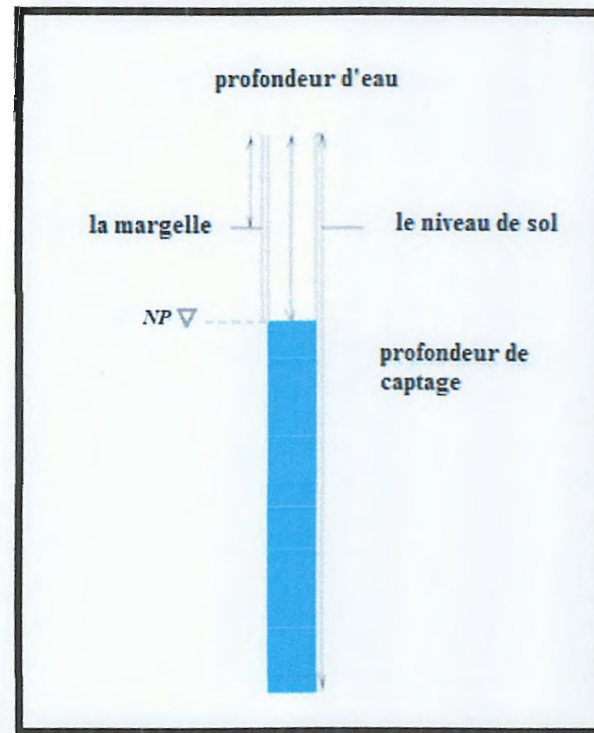


Fig.IV.8. Données nécessaires pour calculer le niveau piézométrique (Kerdoud, 2017)

IV.2. Méthodologie de la recherche

IV.2.1 Echantillonnage

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate laquelle le plus grand soin doit être apporté il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau, il convient que le préleveur est une connaissance précise des conditions du prélèvement et de son importance pour la qualité des résultats analytique (CHAOUKI M, 2016).

IV.2.2 Inventaire des points de prélèvement

Pour étudier la qualité des eaux de la plaine alluviale d'oued Nil destinée à l'alimentation en eau potable, des sorties sur terrain ont été effectuées au mois d'avril ou 14 stations ont été soigneusement sélectionnées. La figure (Fig.IV.9) montre les différentes stations de prélèvements.

- Les eaux de surface : six stations ont été choisies pour les eaux de surface avec prélèvement des eaux de l'amont à l'aval des oueds.
- Les eaux souterraines : six puits et deux forages de prélèvements ont été choisis.

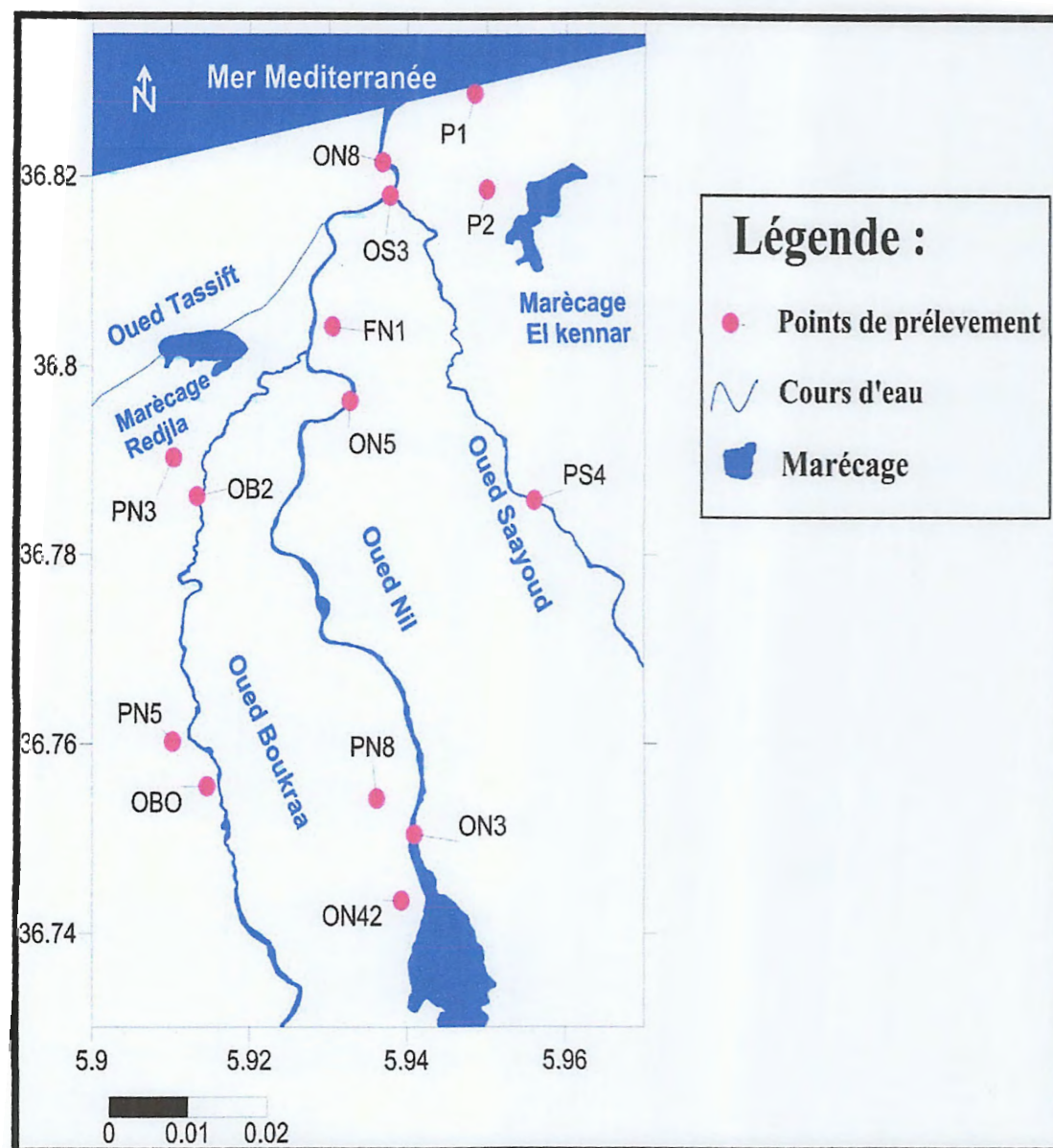


Fig.IV.9. Inventaire des stations de prélèvement

IV.2.3 Matériel de prélèvement

suivant la nature de l'élément à analyser on emploie pour les prélèvements des échantillons soit des flacons en verre borosilicaté de préférence bouché à l'émeri ou le cas le plus échéant avec des bouchons polyéthylène, des flacons en plastique (polyéthylène) traité à l'acide nitrique et rincés à l'eau distillée jusqu'à cessation de l'acidité avant leur usage.

IV.2.4 Mode de prélèvement

Le prélèvement d'eau à analyser s'effectue à l'aide de bouteille rincée avec la même eau avant d'être remplis à ras de bords. Ces bouteilles sont ensuite conservées et transportées dans une glacière réfrigérée à 4°C permettant d'assurer une conservation parfaite pour les analyses au laboratoire.

Les échantillons seront identifiés à l'aide d'une étiquette autocollante. L'identification du contenant doit préciser l'emplacement exact du point de prélèvement. Une bonne pratique est d'identifier non seulement la bouteille, mais aussi les bouchons. D'autres renseignements facultatifs peuvent être inscrits sur les contenants (la date,...etc.).

III.2.5. Mesure in-situ

Quatre paramètres physiques ont été mesurés in-situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon, à savoir la température, l'oxygène dissous, le pH et la conductivité. Les mesures ont été effectuées à l'aide de plusieurs appareils étalonnés (le pH mètre, le conductimètre, enregistreur de température et oxygène dissous) appartenant au laboratoire Génie Géologique de l'université Mohamed Seddik Benyahia à Jijel (Fig.VI.10).



Fig.IV.10. Le matériel de mesure in-situ

III.2.6 Nettoyage de la verrerie

Les flacons destinés au dosage des sels nutritifs (ammonium, phosphates, nitrates, nitrites), ont été nettoyés et rincés avec une solution d'acide sulfurique dilué, puis rincés à l'eau distillée (Rodier, 2005).

Les autres flacons sont pratiquement nettoyés avec le savon, l'HCL puis l'eau distillée.

III.2.7 Mesure et analyse au laboratoire

III.2.7.1 Méthode volumétrie (titrimétrie)

La méthode de titrage la plus utilisée est le titrage volumétrique. Elle consiste à ajouter graduellement une solution de réactif titrant (avec une concentration volumique connue) afin de « neutraliser » l'espèce à déterminer (à titrer) dans la solution inconnue (Fig.IV.11). Le point d'équivalence correspond en général au virage d'un indicateur coloré, ou au point d'inflexion de la courbe de la conductivité qui augmente entre deux plateaux de la réaction.

Le matériel utilisé dans cette technique est la burette avec des réactifs spécifiques pour chaque élément à doser.



Fig.IV.11.Méthode volumétrie

Chapitre 5

Résultats et discussion

V.1. Introduction

L'étude hydro chimique des eaux de la plaine alluviale d'oued Nil a pour but d'identifier le degré de potabilité des eaux. Elle permet aussi de suivre l'évolution spatiale des paramètres physico-chimiques et d'estimer leur origine. Les analyses ont été effectuées au laboratoire Génie Géologique de l'université de Jijel, elles ont porté sur :

- Les éléments majeurs : Cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) et Anions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-).
- Les paramètres physico-chimiques généraux : pH, Conductivité, température, dureté totale et titre alcalimétrique.

La qualité des eaux dans notre étude est évaluée par rapport aux normes de potabilité exigées par l'OMS et les normes algériennes (Tab.III.5, Tab.III.6, Tab.III.7, et Tab.III.8).

V.2. Etude des variations des paramètres physico-chimiques

V.2.1 La température

La température est un facteur important dans la qualité des eaux, elle a un effet sur la solubilité des sels et des gaz, et dans la dissociation de ses sels donc sur la conductivité électrique et la détermination du pH. La température de l'eau gouverne la solubilité, en particulier celle des gaz mais aussi celle des sels ayant des conséquences sur la conductivité électrique (Dib, 2009).

➤ Les eaux de surface

En ce qui concerne nos échantillons on a enregistré des valeurs oscillent de 14 à 19,4 °C sur l'ensemble des stations étudiés. Selon les normes algériennes de 2011, la température est fixée à 25°C, les valeurs des différentes stations étudiés ne dépassent pas cette norme d'où leurs conformités à la norme algérienne (Fig.V.1).

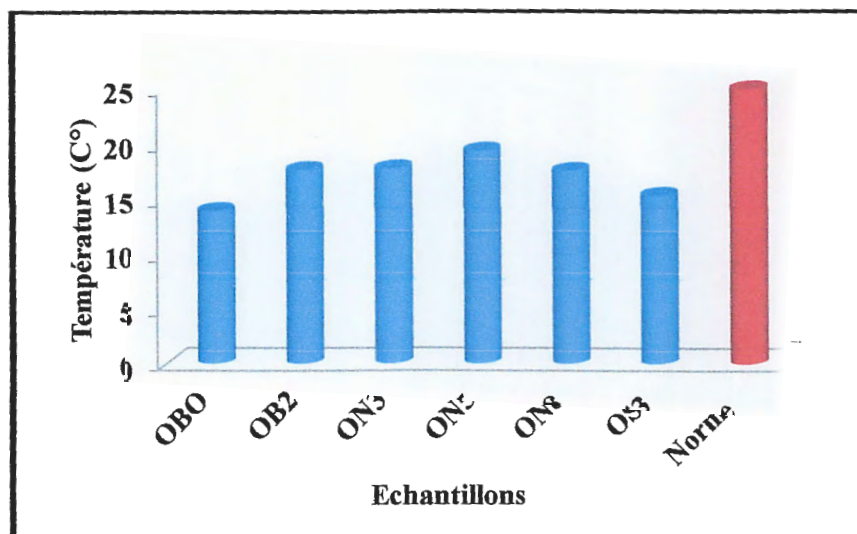


Fig.V.1. Variation de la température (°C) des eaux de surface de la plaine alluviale d'oued Nil

➤ **Les eaux souterraines**

Les températures moyennes mensuelles fluctuent d'une station à l'autre. La température la plus basse est de 15,4 °C a été enregistré au niveau du puits (PN5), tandis que la température la plus élevées 18,9°C, était enregistrée au puits (PN3). Tous les puits et forages étudiées sont conformes à la norme algérienne de 2011 estimé à 25°C (Fig.V.2).

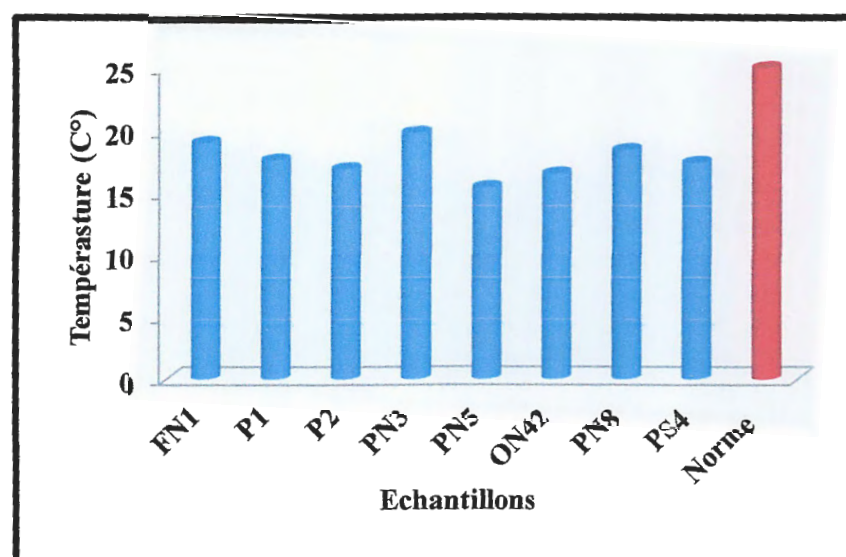


Fig.V.2. Variation de la température (°C) des eaux souterraines de la plaine alluviale d'oued Nil

V.2.2 Le potentiel hydrogène (pH)

Il caractérise l'acidité ou la basicité d'une eau (ou d'une solution) et par conséquent sa concentration en ions (H⁺), et permet donc de dire si celle-ci est agressive, corrosive ou entartrent. Ce caractère lui est conféré en fonction de sa teneur en ions issus du milieu naturel, des rejets urbains et industriels ou du lessivage des terres agricoles (Elie, 2005).

➤ **Les eaux de surface**

La mesure du paramètre pH dans les différentes stations, montre des valeurs qui varient entre 7 à 8,51. Elles sont conformes à la norme de potabilité algérienne de 2011 ($6,5 \leq \text{pH} \leq 9,5$) (Fig.V.3).

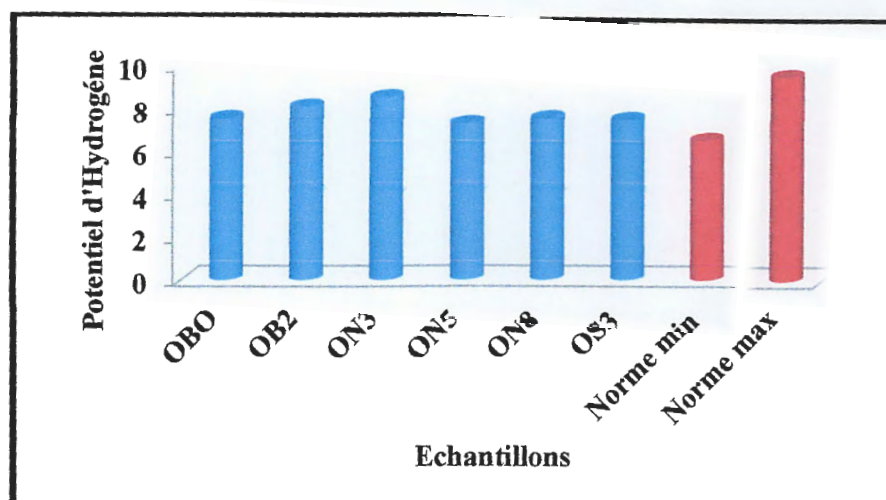


Fig.V.3. Variation du pH des eaux de surface de la plaine d'oued Nil

➤ Les eaux souterraines

Le pH des eaux souterraines de la plaine alluviale d'oued Nil varie entre 5,44 et 7,32. La norme de potabilité algérienne de 2011 varie de 6,5 à 9,5. Les eaux acides observées au niveau des différents puits (P2, PN3, PN5, PN8, PS4) et le forage (ON42) peuvent indiquer une pollution de ces puits, soit par les activités agricoles, ou par les eaux usées pour ceux localisés près des agglomérations (Fig.V.3.). La géologie peut aussi influencer les différentes valeurs du pH.

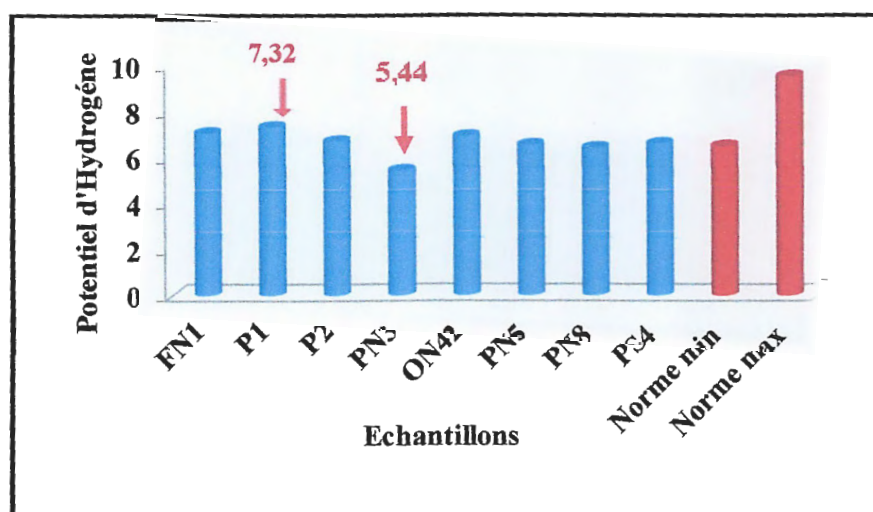


Fig.V.4. variation du pH des eaux souterraines de la plaine alluviale d'oued Nil

V.2.3 La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique des eaux est liée aux interactions (eau-roche) et à la capacité des eaux à dissoudre les minéraux contenus dans les roches.

Définie comme étant l'aptitude d'une eau (ou d'un matériau) à se laisser traverser, plus ou moins vite, par un courant électrique. Elle est directement proportionnelle à la teneur en sels dissous d'une eau et dont les valeurs représentatives sont prises à de températures 25 °C et exprimées en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Elie, 2005).

➤ **Les eaux de surface**

Les valeurs de la conductivité pour les 7 stations varient entre 357 à 742 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et ne dépassent pas la norme algérienne de potabilité de 2011 fixée à 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, avec une moyenne de 523,28 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Fig.V.5.).

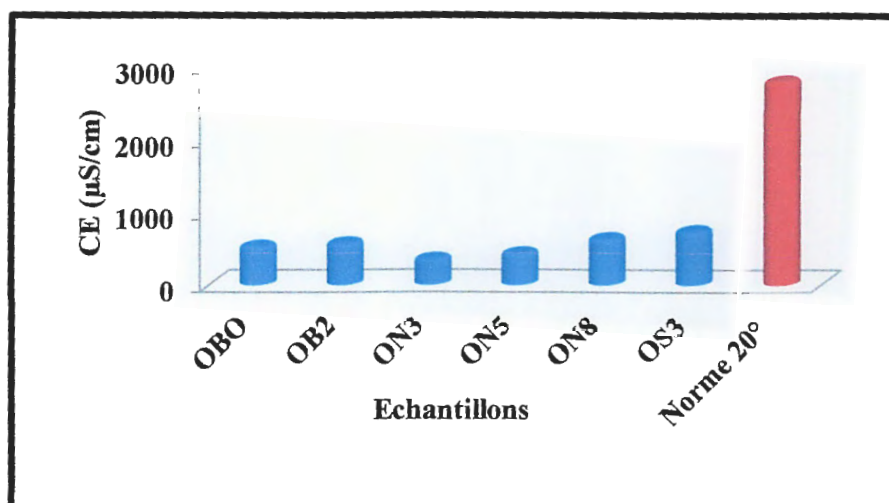


Fig. V.5. variation de la conductivité des eaux de surface de la plaine alluviale d'oued Nil

➤ **Les eaux souterraines**

Les valeurs de la conductivité pour les puits et forages varient entre 381 à 1081 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et ne dépassent pas la norme algérienne de potabilité de 2011 fixée à 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, avec une moyenne de 750,12 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Fig.V.6.). Ces valeurs se trouvent dans les classes avec un degré de minéralisation variant entre Peu accentuee et Excessive pour les puits (P1, P2, PN3, PN5, PN8, PS4) et les forages (FN1 et ON42) (TabV.1).

Tab. V.1. Classification des eaux de boisson (minéralisation) en fonction de la conductivité. (Elie, 2005).

Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Degré de Minéralisation	Qualité de l'eau
$C < 100$	Très faible	Excellente
$100 < C < 200$	faible	Excellente
$200 < C < 400$	Peu accentuee	Excellente
$400 < C < 600$	Moyenne	Bonne
$600 < C < 1000$	Important	Utilisable
$C > 1000$	Excessive	Utilisable

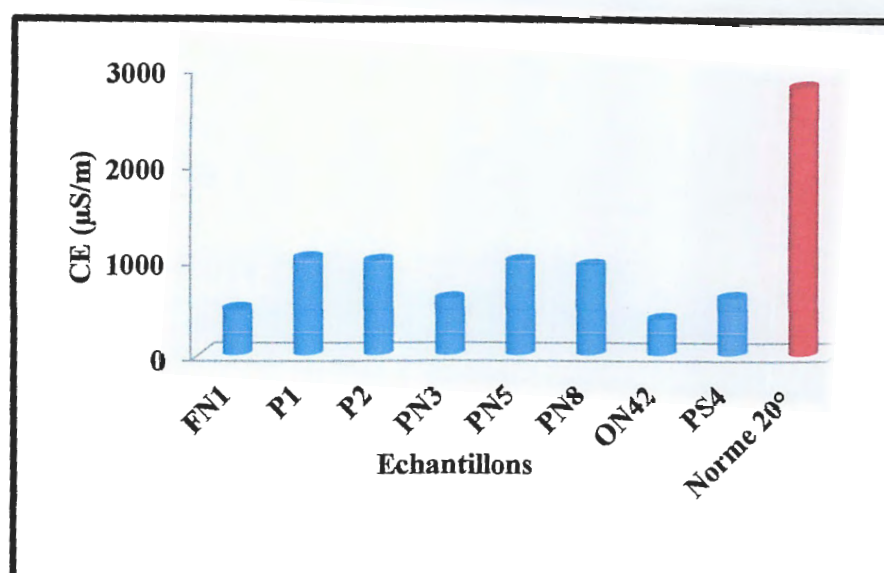
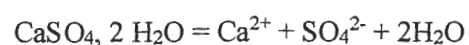


Fig. V.6. Variation de la conductivité des eaux souterraines de la plaine alluviale d'oued Nil

V.2.4 Le Calcium (Ca²⁺)

Est un élément très fréquent dans les roches sédimentaires, sa présence dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles : soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO₃), soit la dissolution des formations gypseuses (CaSO₄), (Rodier, 2009).



➤ Les eaux de surface

Les teneurs en calcium des eaux de surface analysées (Fig.V.7) sont toutes inférieures à la concentration maximale admissible qui est 200 mg/l édictée par les normes Algérienne de l'eau potable de 2011. Les concentrations en calcium varient entre 46,49 mg/l (ON3) et 89,87 mg/l (OS3). Le calcium peut avoir comme origine le (gypse - CaSO₄ 2H₂O) présent dans les formations marneuse du Miocène.

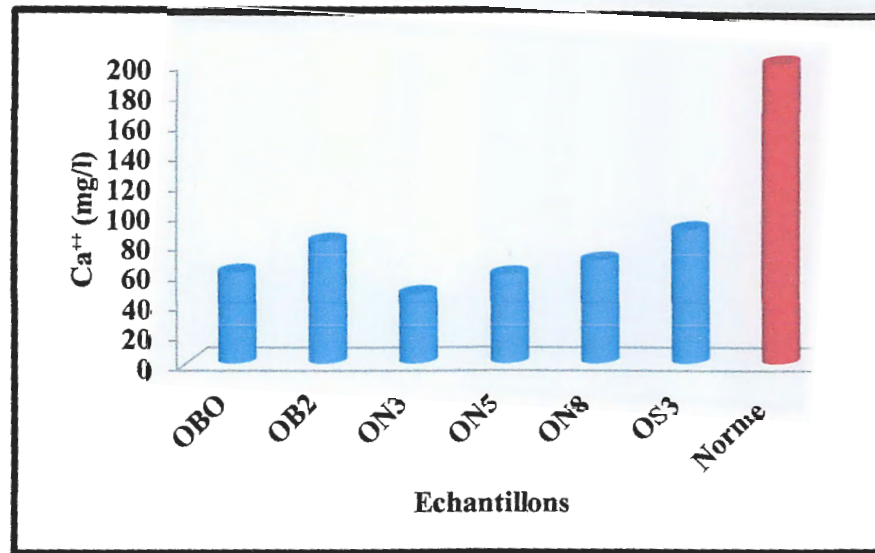


Fig. V.7. Variation du Calcium dans les eaux de surface de la plaine alluviale d'oued Nil

➤ Les eaux souterraines

Les valeurs de la concentration du calcium dans les eaux souterraines (Fig.V.8.), montrent que Les teneurs en calcium varient entre 27,25 et 118,64 mg/l. ces valeurs sont largement inférieures à la norme algérienne de 2011 qui est de l'ordre de 200 mg/l. La valeur maximale est enregistrée au niveau du puits (PN8).

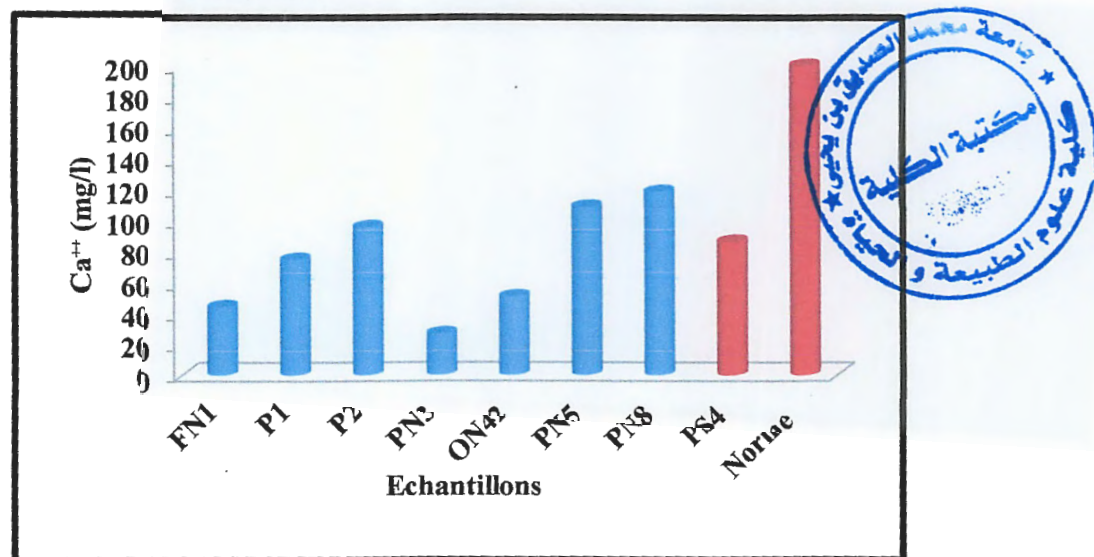
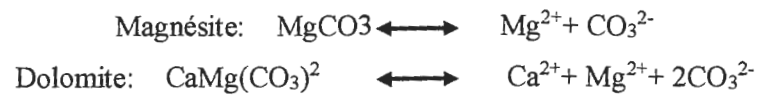


Fig. V.8. Variation du Calcium dans les eaux souterraines de la plaine alluviale d'oued Nil

V.2.5 Le magnésium (Mg²⁺)

Le magnésium est un des éléments les plus répandus dans la nature. Il constitue environ 2,1% de l'écorce terrestre, il constitue un élément significatif de dureté de l'eau.

Le magnésium provient de la dissolution des formations carbonatées à faibles teneurs en magnésium (magnésite et dolomite) (Debieche, 2002).



➤ Les eaux de surface

La teneur du magnésium des eaux de surface étudiée varie entre la valeur minimale 11,67 mg/l qui est enregistrée à la station (ON3) et la valeur maximale 37,92 mg/l qui est enregistrée au niveau de la station (ON8). Toutes les valeurs sont conformes à la norme OMS de 2006 (50 mg/l) (Fig.V.9.).

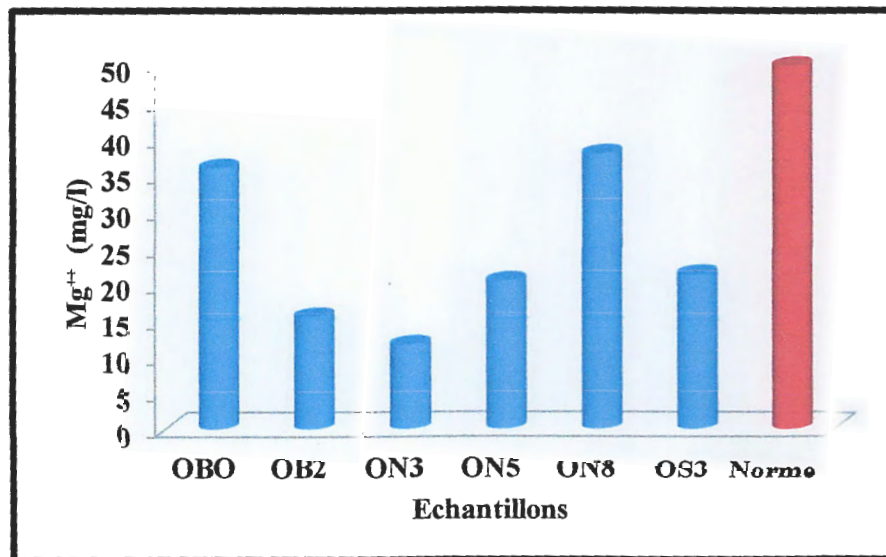


Fig.V.9. Variation du Magnésium dans les eaux de surface de la plaine alluviale d'oued Nil

➤ Les eaux souterraines

Les teneurs en magnésium mesurées dans les eaux souterraines varient entre 18,47 et 62,22 mg/l. La plupart des teneurs en magnésium restent inférieures à la norme OMS (50 mg/l), sauf les deux puits (P1) (62,22 mg/l) et PN8 (52,5 mg/l) où les fortes teneurs peuvent être liées à l'utilisation des fertilisant qui ont une influence sur les concentrations de Mg²⁺ (Fig.V.10.).

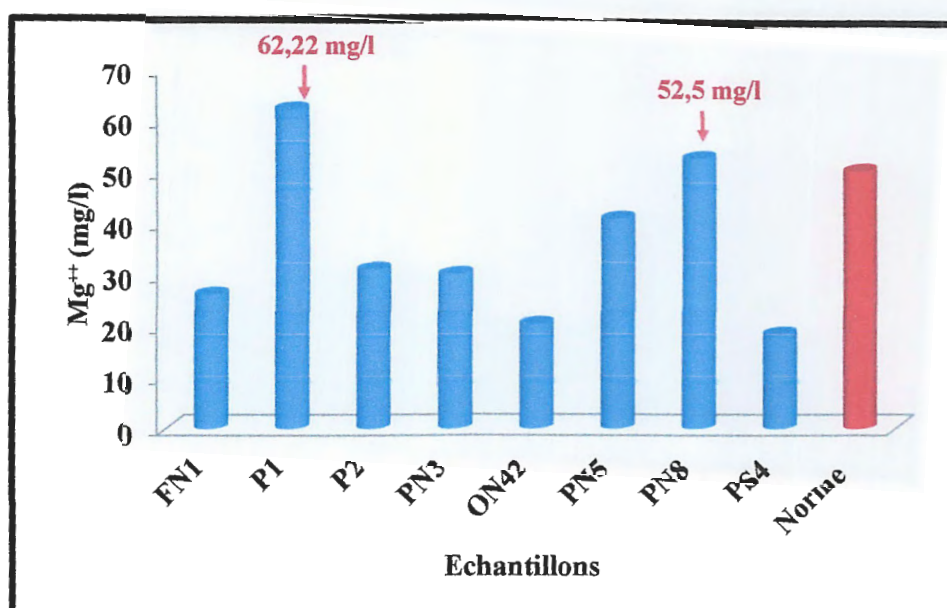


Fig. V.10. Variation du Magnésium dans les eaux souterraines de la plaine alluviale d'oued Nil

V.2.6 Le sodium (Na⁺)

Le sodium est un élément dont la concentration dans l'eau varie d'une région à une autre. Son origine peut être naturelle (mer, terrain salé...) ; humaine (10 à 15 g Na Cl dans les urines / jour) ou industrielle (potasse, industrie pétrolière).

Les eaux très riches en sodium deviennent saumâtres, prennent un goût désagréable et ne peuvent pas être consommées (Rodier et al, 2005).

➤ Les eaux de surface

Les teneurs en sodium des eaux de surface sont inférieures à la norme algérienne de potabilité de 2011 qui est de l'ordre de 200 mg/l. Ces concentrations varient entre 9,6 mg/l (ON3) et 44,1 mg/l (OS3) (Fig. V.11.).

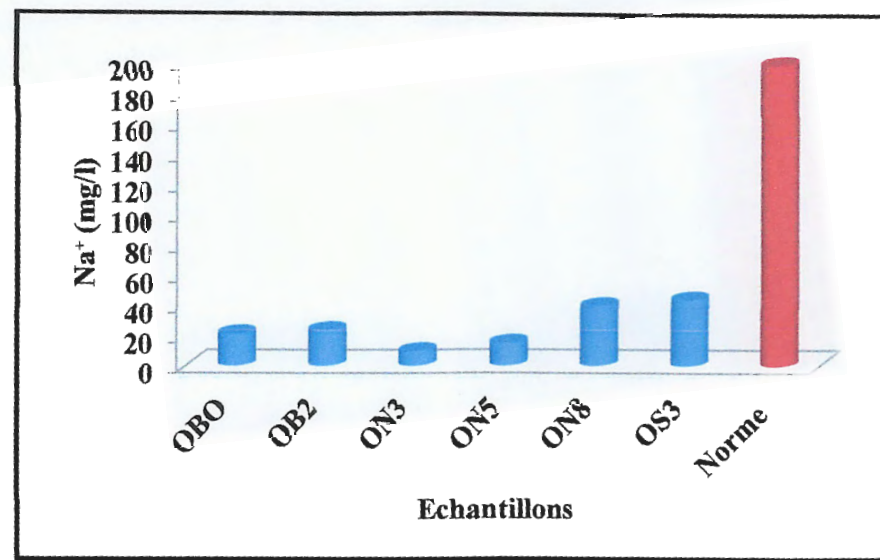


Fig. V.11. Variation du Sodium dans les eaux de surface de la plaine alluviale d'oued Nil

➤ Les eaux souterraines

Les concentrations de sodium des eaux souterraines varient entre 15,8 mg/l (ON42) et 64,1 mg/l (P2). Toutes les teneurs mesurées sont inférieures à la norme algérienne de potabilité de 2011 qui est de 200 mg/l (Fig. V.12).

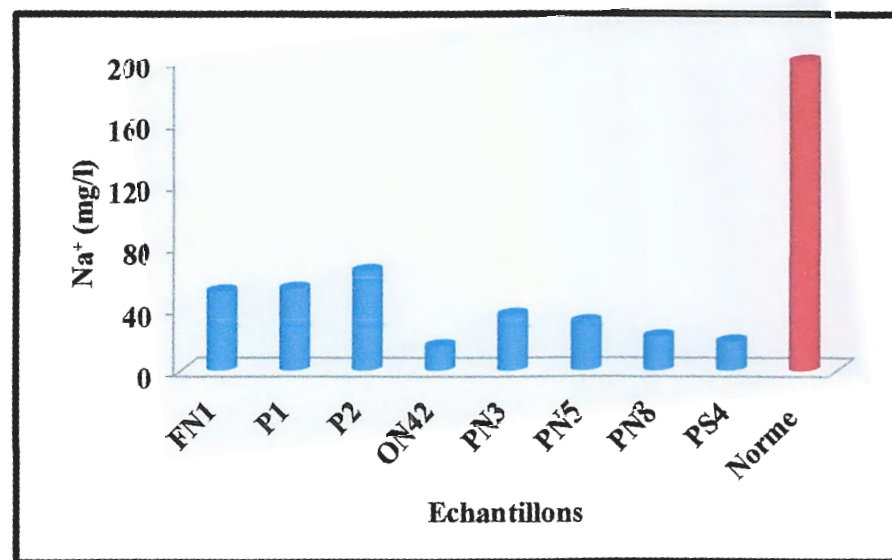


Fig. V.12. Variation du Sodium dans les eaux souterraines de la plaine alluviale d'oued Nil

V.2.7 Le potassium (K⁺)

Le potassium résulte de l'altération des certaines argiles et de la dissolution des engrais chimiques (NPK) qui sont utilisés massivement par les agriculteurs. La présence de cet élément peut être également liée au déversement des eaux usées domestiques, et sa teneur naturelle ne dépasse pas habituellement 10 à 15 mg/l.

➤ Les eaux de surface

Nous remarquons que les teneurs en potassium des eaux de surface sont inférieures à la norme algérienne (12 mg/l). La valeur minimale 0,9 mg/l est enregistrée au niveau de (ON8) et (OS3), alors que la valeur maximale 5,9 mg/l est en (ON3) (Fig. V.13).

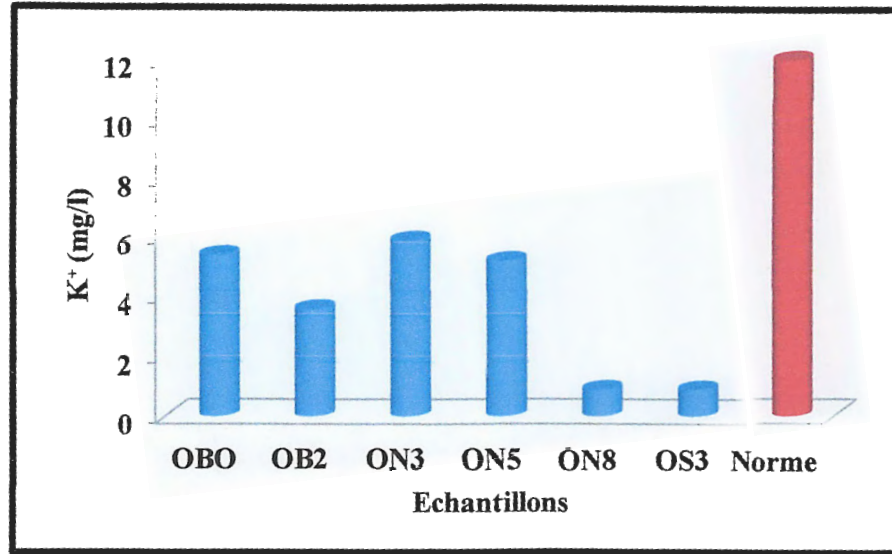


Fig. V.13. Variation du Potassium dans les eaux de surface de la plaine alluviale d'oued Nil

➤ Les eaux souterraines

Les valeurs de potassium des eaux souterraines varient entre 1,2 mg/l (FN1) et 7,6 mg/l (PN5). Elles sont toutes inférieures à la norme algérienne de potabilité des eaux de 2011 (12 mg/l) (Fig.V.14). Les valeurs élevées de potassium sont dues au lessivage des terres agricoles avec une contribution probable des eaux usées domestiques.

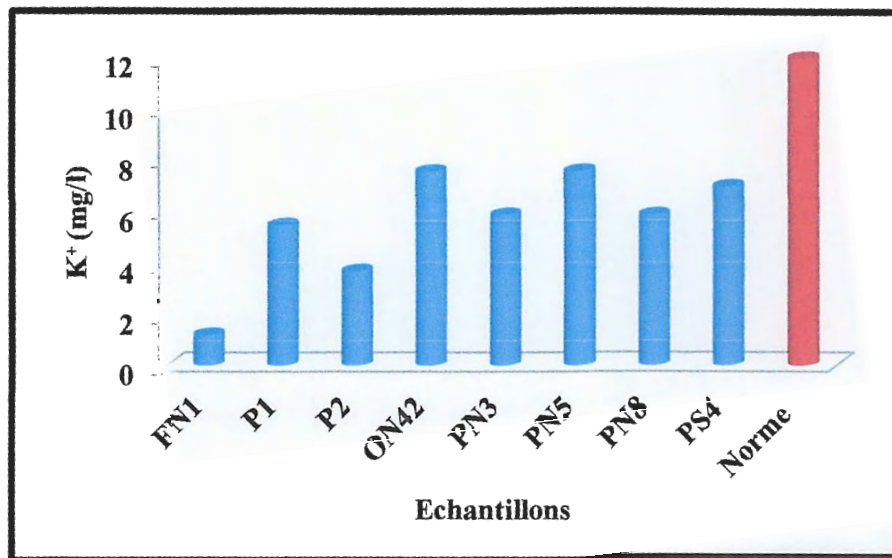
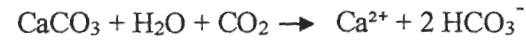


Fig. V.14. Variation du Potassium dans les eaux souterraines de la plaine alluviale d'oued Nil

V.2.8 Les bicarbonates (HCO₃⁻)

Les carbonates et les bicarbonates donnent un goût agréable à l'eau et ne présentent aucun risque pour la santé humaine. Ils facilitent la digestion et calment les brûleurs d'estomac grâce à la propriété anti-acide du bicarbonate de sodium. De ce fait, les eaux bicarbonatées sont bonnes pour les sportifs, elles luttent contre l'acidité produite par le muscle lors de l'effort.

Les bicarbonates résultent de la dissolution des formations carbonatées (cipolins, Calcaires) par des eaux chargées en gaz carbonique. L'équation de dissolution est donnée comme suit :



➤ Les eaux de surface

Les concentrations en bicarbonate des eaux de surface de la plaine alluviale d'oued Nil varient entre 62,22 mg/l (ON3) et 140,3 mg/l (OS3), avec une moyenne de 91,15 mg/l (Fig.V.15).

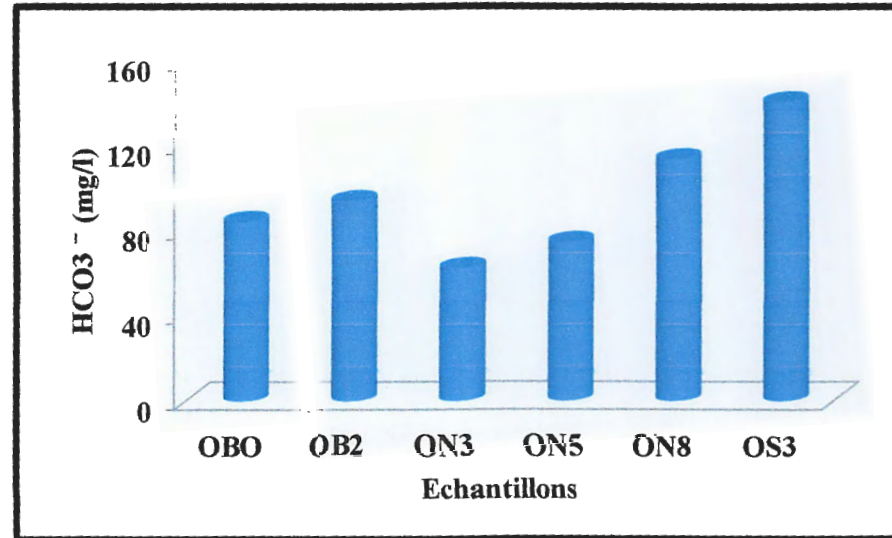


Fig.V.15. Variation des Bicarbonates dans les eaux de surface de la plaine d'oued Nil

➤ Les eaux souterraines

Les concentrations des bicarbonates des eaux souterraines de la plaine alluviale d'oued Nil varient entre 13,42 mg/l (PN3) et 247,66 mg/l (P2), avec une moyenne de 123,22 mg/l (Fig.V.16). Leur origine correspond au lessivage des terrains métamorphiques et des formations marneuses (Hammadi et Harendi, 2015).

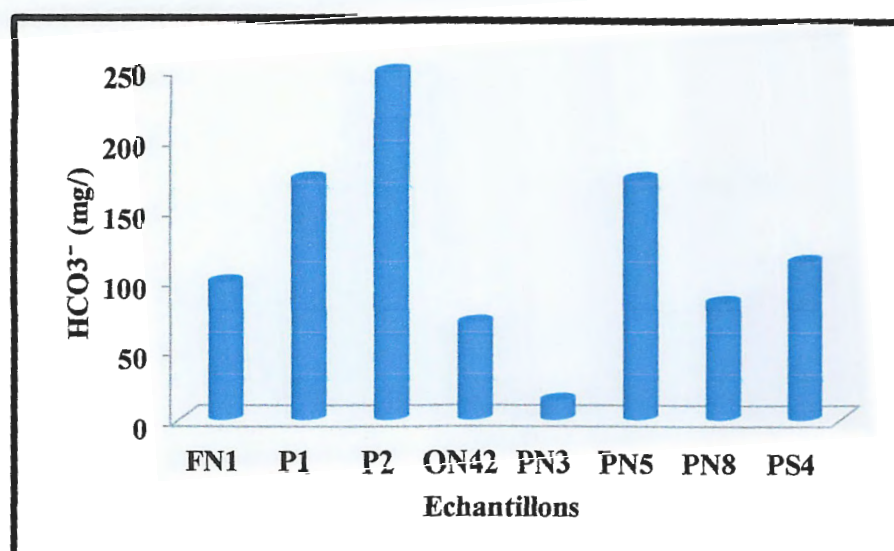


Fig. V.16. Variation des Bicarbonates dans les eaux souterraines de la plaine alluviale d'oued Nil

V.2.9 Les chlorures (Cl⁻)

Les chlorures sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportions très variables, La présence de chlorures dans les eaux est due, le plus souvent, à la nature des terrains traversés et le lessivage des formations salifères. Elle peut être due aussi aux rejets des égouts, et l'infiltration des eaux marines dans les nappes Phréatiques. Une présence excessive des chlorures dans l'eau d'alimentation, la rend corrosive et nocive pour la santé.

➤ Les eaux de surface

Les teneurs en chlorures des eaux de surface de la plaine alluviale sont largement inférieurs à la norme algérienne de potabilité fixée à (500 mg/l), la valeur minimale est de 24,85 mg/l au niveau de (ON5) et la valeur maximale est de 46,15 mg/l (OB2) (Fig.V.17).

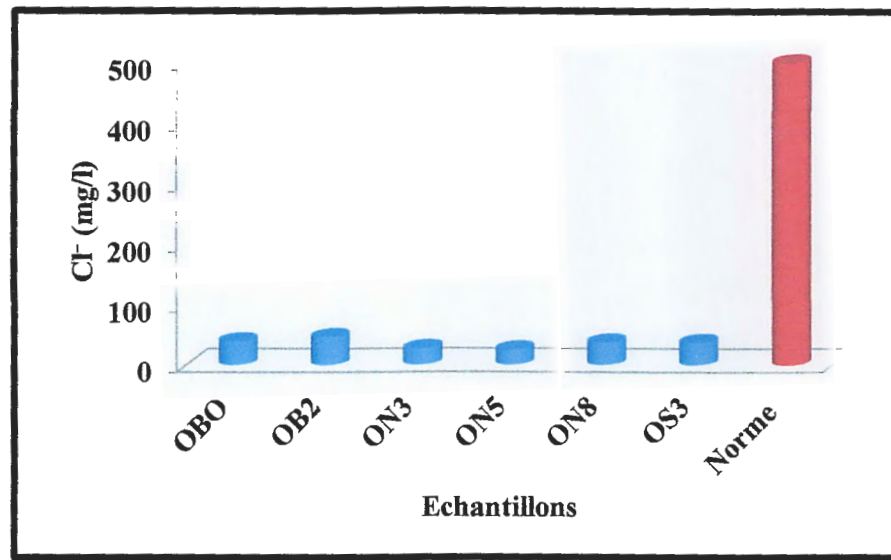


Fig. V.17. Variation des Chlorures dans les eaux de surface de la plaine alluviale d'oued Nil

➤ Les eaux souterraines

La teneur des chlorures des eaux des stations étudiées varie entre la valeur minimale 23,07 mg/l qui est enregistrée au forage (ON42) et la valeur maximale 69,22 mg/l qui est enregistrée au puits (PN3), toutes les eaux souterraines étudiées sont conformes à la norme Algérienne de l'eau potable de 2011 qui est à l'ordre de 500 mg/l (Fig. V.18).

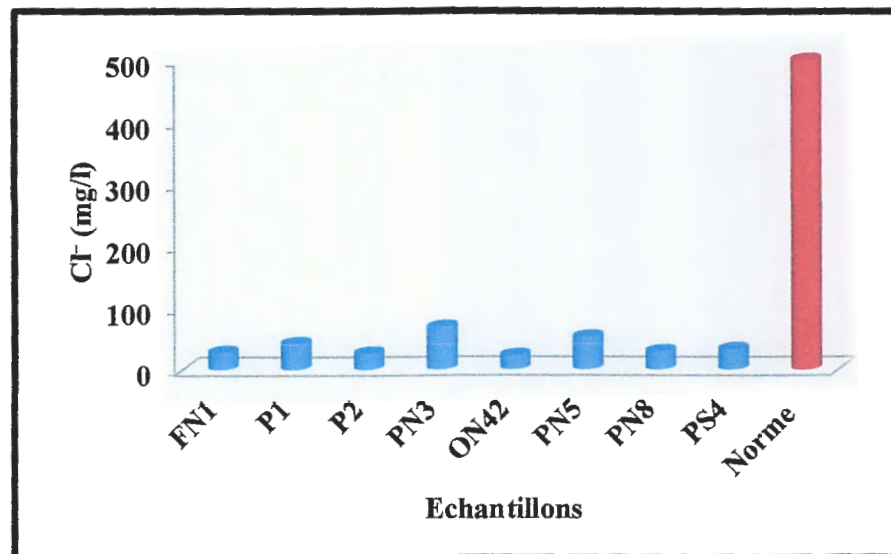
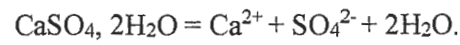


Fig. V.18. Variation des Chlorures dans les eaux souterraines de la plaine alluviale d'oued Nil

V.2.10 Les sulfates (SO₄²⁻)

Les sulfates peuvent être trouvés dans presque toutes les eaux naturelles. L'origine de la plupart des composés sulfatés est l'oxydation des minerais de sulfites, elles sont liées à l'eau de

pluie (évaporation d'eau de mer) et à la mise en solution de roches sédimentaires évaporitiques, notamment les formations gypseuses, selon la relation :



➤ **Les eaux de surface**

Les teneurs des Sulfates dans les eaux de surface étudiée indique des concentrations varient entre 37,64 mg/l (ON3) et 58,13 mg/l (OS3), toutes ces valeurs sont conforme à la norme algérienne de potabilité des eaux de 2011 qui est de 400 mg/l (Fig.V.19).

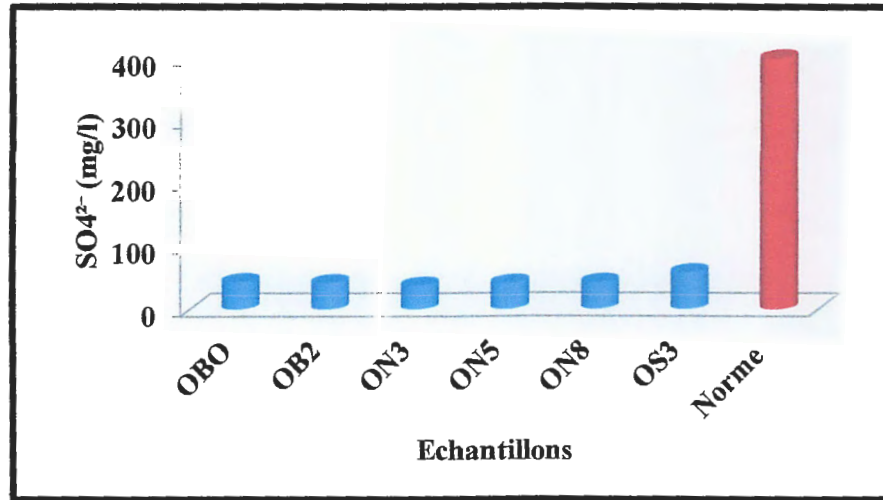


Fig. V.19. Variation des Sulfates dans les eaux de surface de la plaine alluviale d'oued Nil

➤ **Les eaux souterraines**

Les concentrations en sulfate dans les eaux souterraines varient entre 5,12 mg/l au niveau du forage (FN1) et 99,75 mg/l (PN8). Toutes les valeurs sont inférieures à la norme algérienne de potabilité des eaux de 2011 fixée à 400mg/l (Fig.V.20).

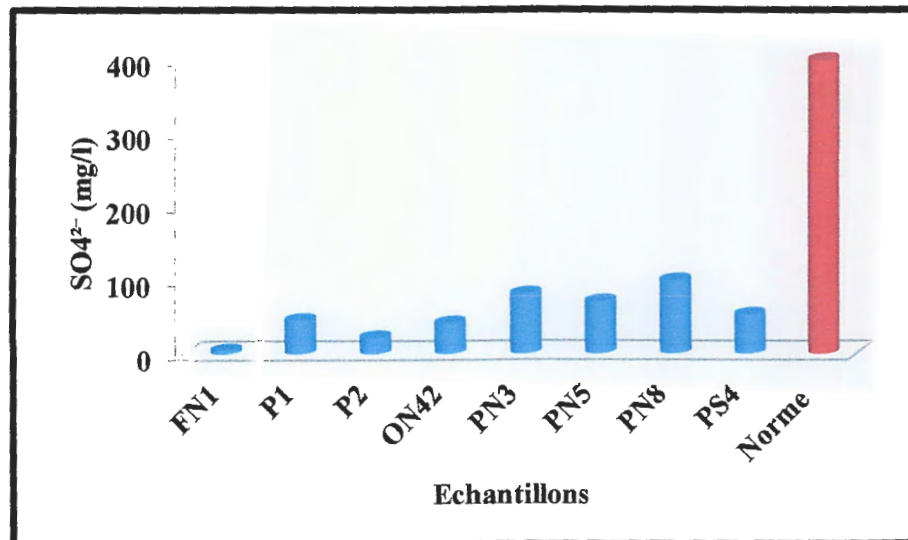


Fig. V.20. Variation des Sulfates dans les eaux souterraines de la plaine alluviale d'oued Nil

V.3. Le faciès chimique

V.3.1 Diagramme de Piper

Afin de connaître la nature hydrogéochimique des eaux de la plaine alluviale d'oued Nil, les données obtenues par analyse hydrochimique au laboratoire, elles sont reportées sur le diagramme tri-linéaire de Piper (Piper, 1944) pour déduire les faciès hydrogéochimiques et comparer les compositions chimiques des eaux naturelle et cela grâce au logiciel Diagrammes, développé par le laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon. Ce type de diagramme permet d'une représentation des cations et anions sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives de chacun des ions majeurs par rapport au total des ions. La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces triangles permet de préciser en premier lieu la dominance cationique et anionique. A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point d'intersection représente l'analyse globale de l'échantillon. Cette position permet de préciser le faciès de l'eau naturelle concernée.

Les figures ci-dessus (**Fig.V.21.**) et (**Fig.V.22.**) indiquent la représentation graphique de la campagne effectué au mois d'avril 2022 sur le diagramme de Piper.

➤ Les eaux de surface

La représentation sur le diagramme de Piper des 7 échantillons prélevés dans la plaine alluviale d'oued au niveau des différents oueds, permet d'avoir une idée sur la compositions chimique des eaux de surface de notre région d'étude (**Fig.V.22.**).

❖ Facies Chloruré sulfaté calcique et magnésien

Représente la totalité des échantillons des eaux souterraines, il est rencontré dans tous les points d'eau analysés (OBO, OB2, ON3, ON5, ON8, OS3). La présence du Calcium et Magnésium reflète la réaction de dissolution des formations carbonatées et gypseuses, des fertilisants et des résidus de l'agriculture.

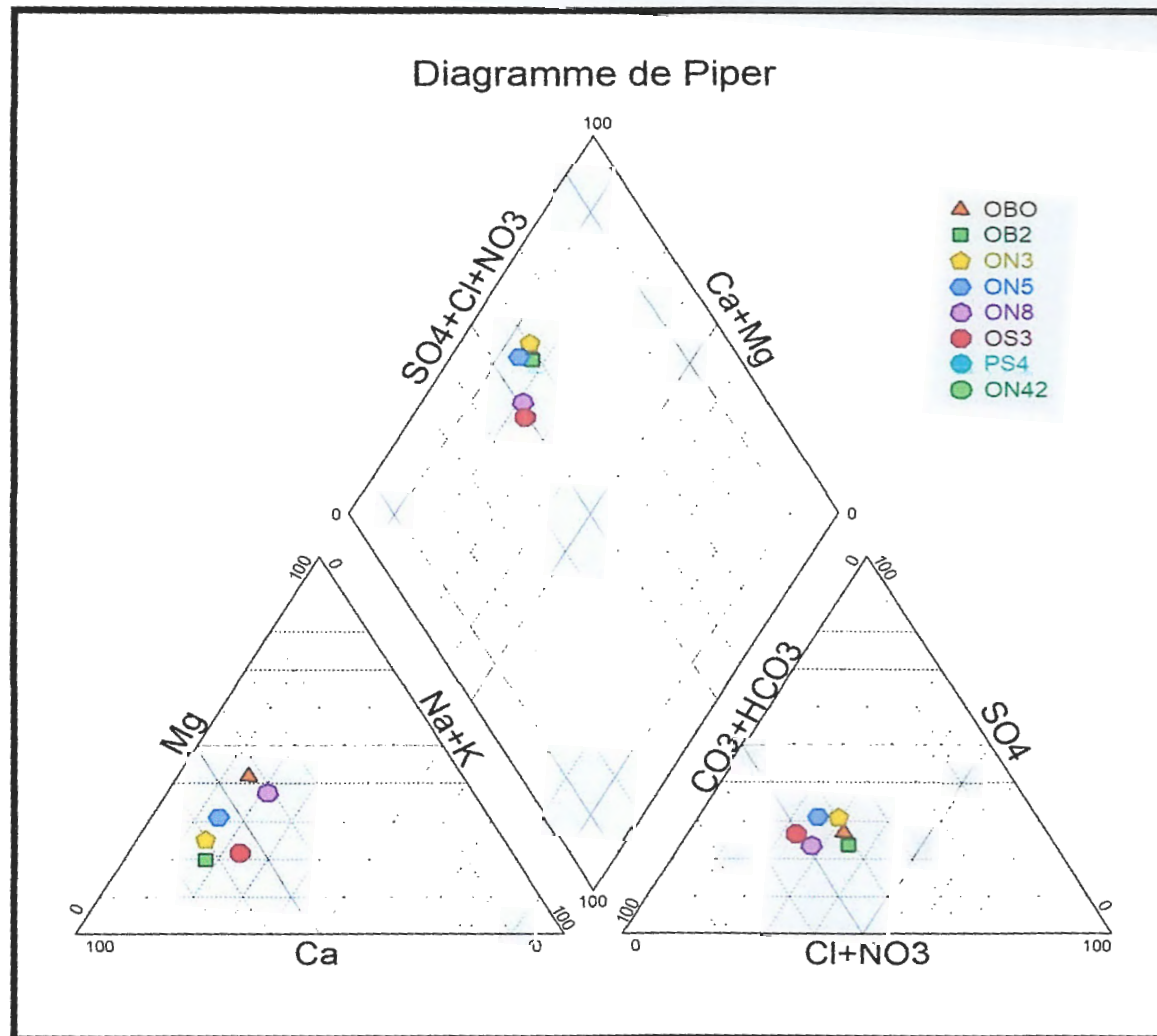


Fig.V.21.représentation sur le diagramme de Piper des eaux de surface de la plaine alluviale d'oued Nil

➤ **Les eaux souterraines**

Le report des données des analyses chimiques des eaux souterraines de la plaine alluviale d'oued Nil pour 6 puits et 2 forages (Avril 2022) sur le diagramme de Piper (Fig.V.23) indique l'existence de deux faciès chimiques

❖ **Chloruré sulfaté calcique et magnésien**

Ce faciès représente 62,5 % des échantillons (PN3, PN5, PN8, PS4, ON42), la présence du Calcium et Magnésium reflète la dissolution des formations carbonatées et gypseuses.

❖ **Bicarbonaté calcique et magnésien**

Ce type de faciès est observée surtout au Nord de la plaine alluviale d'oued Nil, particulièrement dans les puits (P1, P2) et le forage (FN1), ce faciès est probablement du a la dissolution des formations riche en carbonates (marnes).

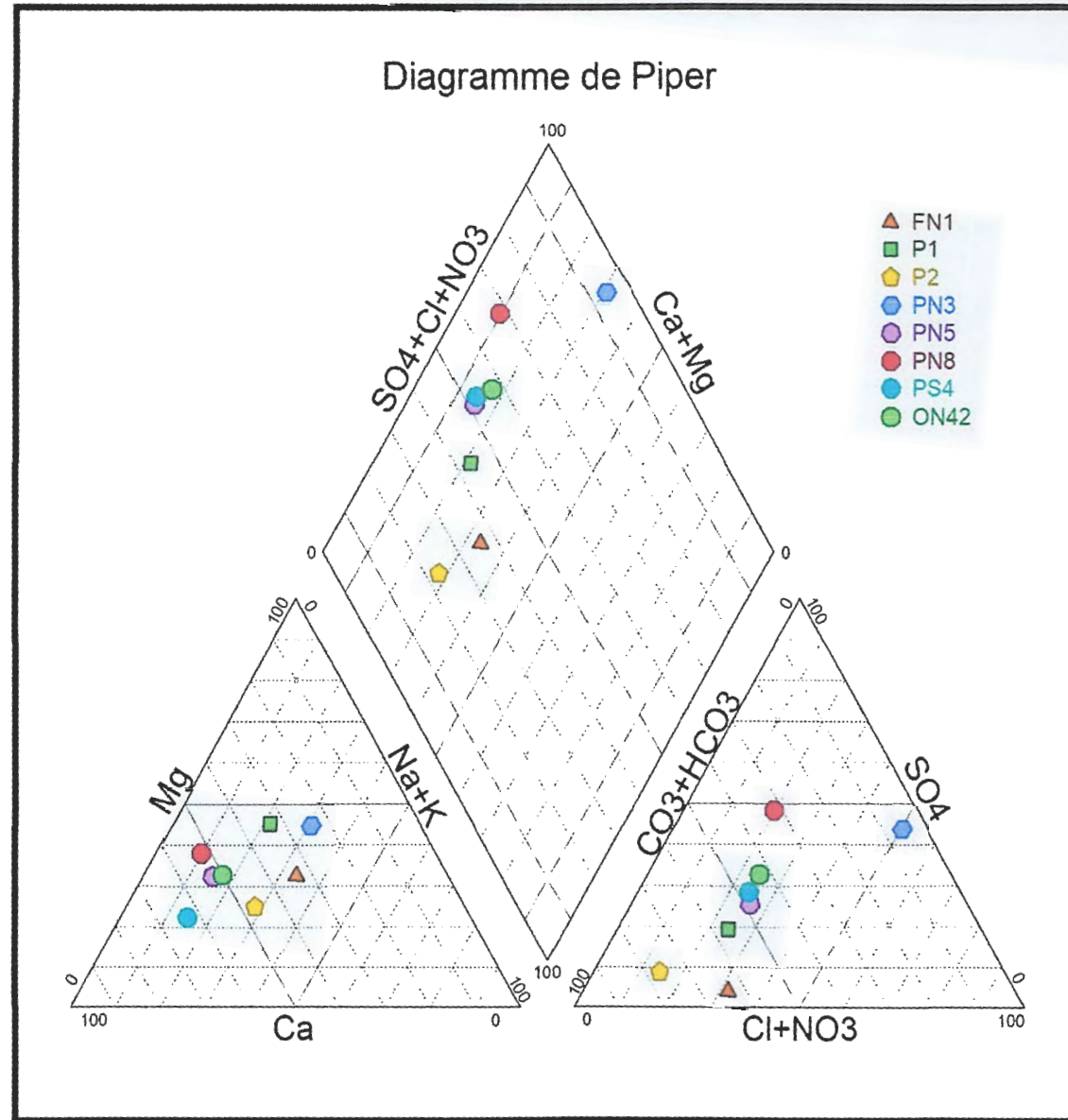


Fig. V.22. Classification des eaux souterraines selon Piper

V.3.2 Classification de Stabler

Dans cette classification, les concentrations exprimées en (méq/l) sont réduites en quantités en réaction en pourcent (%) et peuvent être exprimées de façon imagée par une formule caractéristique ou formule ionique qui s'obtient en classant les quantités en réaction en pourcent de gauche vers la droite et par ordre décroissant en se basant sur la prédominance de tel ou tel anion (Berkane, 2011).

Les tableaux (Ta.V.2.) et (Tab.V.3.) présentent la classification des points d'eaux de la campagne Avril 2022 selon la formule de Stabler.

➤ Les eaux de surface

Tab.V.2. Classification des eaux de surface selon la formule de Stabler

Nom	Formule ionique	Faciès chimique
OBO	$r\%(\text{HCO}_3^-) > r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-})$ $r\%(\text{Ca}^{2+}) > r\%(\text{Mg}^{2+}) > r\%(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Bicarbonaté calcique
OB2	$r\%(\text{HCO}_3^-) > r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-})$ $r\%(\text{Ca}^{2+}) > r\%(\text{Mg}^{2+}) > r\%(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Bicarbonaté calcique
ON3	$r\%(\text{HCO}_3^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{Cl}^-)$ $r\%(\text{Ca}^{2+}) > r\%(\text{Mg}^{2+}) > r\%(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Bicarbonaté calcique
ON5	$r\%(\text{HCO}_3^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{Cl}^-)$ $r\%(\text{Ca}^{2+}) > r\%(\text{Mg}^{2+}) > r\%(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Bicarbonaté calcique
ON8	$r\%(\text{HCO}_3^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{Cl}^-)$ $r\%(\text{Ca}^{2+}) > r\%(\text{Mg}^{2+}) > r\%(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Bicarbonaté calcique
OS3	$r\%(\text{HCO}_3^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{Cl}^-)$ $r\%(\text{Ca}^{2+}) > r\%(\text{Mg}^{2+}) > r\%(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Bicarbonaté calcique

➤ Les eaux souterraines

Tab.V.3. Classification des eaux souterraines selon la formule de Stabler

Nom	Formule ionique	Faciès chimique
FN1	$r\%(\text{HCO}_3^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{Cl}^-)$ $r\%(\text{Ca}^{2+}) > r\%(\text{Mg}^{2+}) > r\%(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Bicarbonaté calcique
P2	$r\%(\text{HCO}_3^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{Cl}^-)$ $r\%(\text{Ca}^{2+}) > r\%(\text{Mg}^{2+}) > r\%(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Bicarbonaté calcique
PN5	$r\%(\text{HCO}_3^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{Cl}^-)$ $r\%(\text{Ca}^{2+}) > r\%(\text{Mg}^{2+}) > r\%(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Bicarbonaté calcique
ON42	$r\%(\text{HCO}_3^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{Cl}^-)$ $r\%(\text{Ca}^{2+}) > r\%(\text{Mg}^{2+}) > r\%(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Bicarbonaté calcique
PS4	$r\%(\text{HCO}_3^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{Cl}^-)$ $r\%(\text{Ca}^{2+}) > r\%(\text{Mg}^{2+}) > r\%(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Bicarbonaté calcique
P1	$r\%(\text{HCO}_3^-) > r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-})$ $r\%(\text{Mg}^{2+}) > r\%(\text{Ca}^{2+}) > r\%(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Bicarbonaté magnésienne
PN3	$r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-)$ $r\%(\text{Mg}^{2+}) > r\%(\text{Ca}^{2+}) > r\%(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Chloruré magnésienne
PN8	$r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{HCO}_3^-) > r\%(\text{Cl}^-)$ $r\%(\text{Ca}^{2+}) > r\%(\text{Mg}^{2+}) > r\%(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Sulfaté calcique

Les résultats obtenus dans les tableaux ci-dessus permettent de distinguer les faciès suivants :

- Les eaux de surface présentent la famille des eaux bicarbonatées calciques avec 100%.
- Les eaux souterraines présentent la famille des eaux bicarbonatées calciques avec 62,5%, bicarbonaté magnésienne avec 12,5%, chloruré magnésienne avec 12,5%, sulfaté calcique avec 12,5%.

V.4. Calcul de l'Indice de qualité de l'eau

Les données utilisées, dans le cadre de ce travail, comprennent les données relatives aux analyses physicochimiques effectuées au laboratoire LGG de l'université de Jijel des eaux de la

plaine alluviale d'oued Nil. Les échantillons d'eau ont été prélevés au niveau de 14 stations durant la campagne du mois d'avril 2022.

Neufs paramètres importants (pH, O₂ dissous, CE, T°C, SO₄²⁻, PO₄³⁻, NH₄, NO₃⁻, NO₂⁻) ont été sélectionnés pour calculer l'indice de qualité de l'eau (IQE). Cette indice est une technique de classification de la qualité de l'eau qui repose sur la comparaison des paramètres de qualité de l'eau avec les normes nationales algériennes dans le cadre de cette étude.

La méthode (IQE) résume en terme simple (Excellente, Bonne, Mauvaise, Très mauvaise, etc.) la qualité de l'eau et permet d'estimer l'influence des facteurs naturels et anthropiques sur la base de plusieurs paramètres importants dans le chimisme des eaux de la plaine alluviale d'oued Nil.

Cet indice est calculé suivant la méthode de l'indice arithmétique pondéré (**Yidana et Yidana., 2010**). Une valeur numérique appelée poids relatif (Wi), spécifique à chaque paramètre physico-chimique, est calculée selon la formule suivante :

$$W_i = \frac{K}{S_i}$$

Où : K : constante de proportionnalité qui est calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$K = \frac{1}{\sum_{i=1}^n 1/S_i}$$

n : nombre de paramètres

S_i : valeur maximale de la norme algérienne de potabilité des eaux de chaque paramètre en mg/l sauf pour le pH, T°C et la conductivité électrique. Une échelle d'évaluation de la qualité (Qi) est calculée pour chaque paramètre en divisant la concentration par la norme dudit paramètre et en multipliant l'ensemble par 100 comme indiqué dans la formule ci-dessous :

$$Q_i = \left(\frac{C_i}{S_i} \right) \times 100$$

Où : Qi : échelle d'évaluation de la qualité de chaque paramètre.

Ci : la concentration de chaque paramètre en mg/l.

L'indice global de la qualité de l'eau est calculé par l'équation suivante :

$$IQE = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \times W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Cinq classes de qualité peuvent être identifiées selon les valeurs de l'indice de qualité de l'eau (IQE) (**Tab V.4**).

Tab.V.4. Classification et usage possible de l'eau selon l'IQE (Brown et al., 1972)

Classe IQE	Type d'eau	Usage possible
0 - 25	Excellente qualité	Eau potable, irrigation et industrie
> 25 - 50	Bonne qualité	Eau potable, irrigation et industrie
> 50 - 75	Mauvaise qualité	Irrigation et industrie
> 75 - 100	Très mauvaise qualité	Irrigation
> 100	Eau non potable	Traitement approprié requis avant utilisation

Le poids relatif (W_i) de chaque paramètre physico-chimique et la constante de proportionnalité K sont calculés en utilisant les valeurs maximales de la norme standard algérienne de qualité des eaux de 2011, des différents paramètres physico-chimiques étudiés (Tab.V.5).

Tab.V.5. Poids des paramètres physico-chimiques et norme algérienne de qualité des eaux 2011

Paramètre	Normes algériennes	S_i (valeur maximale standard, Algérie)	$1/S_i$	W_i
pH	6,5-9,5	9,5	0,105	0,013
T (°C)	25	25	0,040	0,005
Cond ($\mu\text{s/cm}$)	2800	2800	0,000	0,000
O ₂ dissou (mg/l)	5	5	0,200	0,026
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,5	0,5	2,000	0,260
NO ₃ ⁻ (mg/l)	50	50	0,020	0,002
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0,2	0,2	5	0,660
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	250	250	0,004	0,132
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	5	5	0,200	0,026
$\sum 1/S_i$			7,569	
$K = 1/\sum 1/S_i$			0,132	

Après le calcul de l'indice global de qualité IQE en utilisant les résultats d'analyses physico-chimiques et les valeurs standards de la norme algérienne (Norme algérienne de qualité des eaux, 2011), la classe de qualité des eaux est déterminée pour les 14 échantillons relatifs aux 14 stations de prélèvement (Tab.V.6). Ainsi cinq classes de qualité (Excellente, bonne, mauvaise, très mauvaise, non potable) sont identifiées lors de la campagne d'avril 2022 et nous distinguons que les échantillons d'eau (ON3) et (PN3) sont respectivement une eau très mauvaise et de mauvaise qualité avec un pourcentage estimé à 7% pour chaque échantillon, les deux puits (ON8) et (OS3) se caractérisent par une eau non potable indiquant un pourcentage de 14%, 3 échantillons (FN1, ON5, PN8) sont de bonne qualité représentent un pourcentage de 22% et 7 échantillons (OBO, OB2, ON42, P1, P2, PN5, PS4) sont d'excellentes qualités avec un pourcentage de 50% (Fig.V.24)

Tab.V.6. Valeurs de l'indice IQE et classe de qualité des eaux de la plaine alluviale d'oued Nil durant la campagne d'avril 2022

Station	IQE (Avril 2022)	Classe de qualité
FN1	26,273	Bonne qualité
OBO	21,256	Excellente qualité
OB2	23,067	Excellente qualité
ON3	85,490	Très mauvaise qualité
ON42	24,256	Excellente qualité
ON5	46,388	Bonne qualité
ON8	319,042	Eau non potable
OS3	285,587	Eau non potable
P1	14,462	Excellente qualité
P2	21,055	Excellente qualité
PN3	64,405	Mauvaise qualité
PN5	20,808	Excellente qualité
PN8	32,529	Bonne qualité
PS4	9,181	Excellente qualité

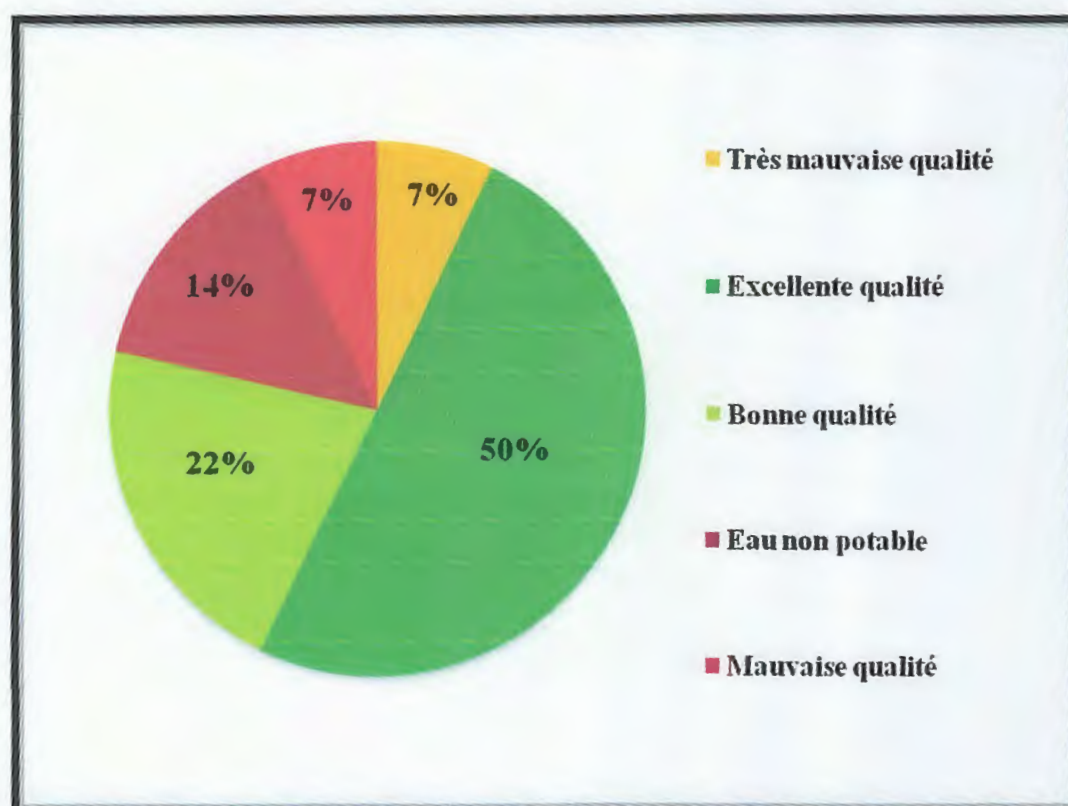


Fig. V.23. Répartition de l'IQE lors de la campagne d'avril 2022

V.5. Conclusion

L'analyse physicochimique indique que les eaux de la plaine alluviale d'oued Nil ont une minéralisation moyenne avec un pH variant entre 7 à 8,51 pour les eaux de surface, et une minéralisation peu accentuée à excessive avec un pH variant entre 5,44 et 7,32 pour les eaux souterraines. La majorité des points d'eau présente des éléments chimiques conformes à la norme algérienne de potabilité des eaux de 2011.

Selon les méthodes de Stabler et Piper, nous avons distinguées les faciès suivant :

- Bicarbonatées calciques avec 100% pour les eaux de surface.
- Bicarbonatées calciques avec 62,5%, bicarbonatée magnésienne avec 12,5%, chlorurée magnésienne avec 12,5%, sulfatée calcique avec 12,5% pour les eaux souterraines.

L'indice de la qualité de l'eau nous a permis d'identifier les cinq classes de qualité suivantes :

- Excellente qualité (7 échantillons),
- Bonne qualité (3 échantillons),
- Eau non potable (2 échantillons),
- Mauvaise et très mauvaise qualité (un seul échantillon pour chaque classe).

Conclusion Générale

Conclusion Générale

L'eau constitue un élément essentiel pour tous les êtres vivants et sa consommation journalière implique une surveillance étroite de sa qualité d'un point de vue organoleptique, physicochimique et bactériologique.

La synthèse des différentes données obtenues lors des différentes sorties sur terrain et l'interprétation des résultats obtenus lors de l'élaboration de ce travail, qui nous a permis d'évaluer la potabilité des eaux de plaine alluviale d'oued Ni (NE, Algérien) en vue de leur utilisation pour l'alimentation en eau potable des différentes populations habitant la région et cela par des analyses physicochimiques réalisées au niveau du laboratoire LGG de l'université Mohamed Seddik Ben Yahia de la wilaya de Jijel et le calcul de l'indice de qualité des eaux (IQE).

La plaine alluviale d'oued Nil, est située au Nord-Est de l'Algérie, à une distance de 25 Km à l'Est de la wilaya de Jijel, elle fait partie des plaines côtières et appartient au bassin néogène de Jijel et couvre une superficie de 58 Km².

Du point de vue géologique la nappe se trouve dans les alluvions Quaternaires, essentiellement des sables et des graviers. Par contre les terrains du socle sont essentiellement des schistes et phyllades.

Cette plaine est soumise à un climat méditerranéen, caractérisé par une période humide qui s'étend du début de mois d'octobre jusqu'au mois de mai et une période sèche qui s'étend de mois de mai à septembre. Elle reçoit des précipitations de l'ordre de 1008,55 mm/an.

L'étude hydrogéologique de la plaine alluviale d'oued Nil à travers l'examen de la carte piézométrique réalisée au mois d'avril 2022 montre que l'écoulement des eaux souterraines se fait principalement du Sud vers le Nord.

L'étude hydrochimique des eaux de la région d'étude a montré une bonne qualité et que les concentrations des différents éléments chimiques varient selon les normes algériennes de potabilité de 2011 et ne représentent pas de danger pour les populations de la région.

La classification des eaux selon les méthodes de Stabler et Piper de la campagne d'avril 2022 nous a permis de déterminer les faciès suivants : les eaux de surface présentent le faciès bicarbonatées calciques alors que les eaux souterraines présentent les faciès bicarbonatées calciques, bicarbonaté magnésienne, chloruré magnésienne et le faciès sulfaté calcique.

L'indice IQE calculé dans cette étude avec les résultats des analyses physico-chimiques et les valeurs standards de la norme Algérienne (Norme Algérienne de qualité des *eaux*, 2011) a montré que les 7 échantillons relatifs aux 14 stations de prélèvement sont d'excellente qualité, 3 échantillons de bonne qualité, 2 échantillons non potables et un seul échantillon de très mauvaise qualité est de mauvaise qualité.

Recommandations

- ✓ Mettre en place un réseau de surveillance de la qualité des eaux de surface et souterraine ;
- ✓ Eviter les déversements directs des égouts dans les oueds sans traitement au préalable ;
- ✓ Installation de station d'épuration afin de contrôler les différents rejets (domestique, urbain, agricole) ;
- ✓ Sensibiliser les agriculteurs sur l'utilisation des engrais et des pesticides pour limiter la pollution d'origine agricole.

Références bibliographiques

Références Bibliographiques

- **Abdelaziz S., (2015).** Enclavement montagnard et isolement de la population: le cas de la Wilaya de Jijel, incidence sur la mobilité. Thèse de doctorat en Géographie. Université de Bouzareah, 600p.
- **ANRH., (1993).** Agence Nationale des Ressources hydrauliques de la wilaya de Jijel.
- **Bechkit M., (2005).** Etude hydrogéologique de la plaine alluviale d'oued Nil. Université de Constantine, Mémoire D'ingénieur, 211p.
- **Beddiaf H., (2014).** La qualité des eaux sur les conduites de réseau d'AEP des régions (HMD-Touggourt). Université de Kasdi Merbah Ouargla. Mémoire de Master en Hydraulique, spécialité Génie de l'eau, pp 20-31.
- **Benamar N., (2011).** Etude de la biodiversité et de la pollution dans les canaux de l'Ouest Algérien : Cas d'oued Cheliff, Colloque international, Usages écologiques, économiques et sociaux de l'eau agricole en méditerranée : quels enjeux pour quels services. Université de Provence, Marseille, 6p.
- **Berkane S., (2011).** Contribution à l'étude hydrogéologique et hydro chimique de la plaine Alluviale d'oued Nil (Wilaya de Jijel). Université de Constantine. Mémoire d'ingénieur, 161p.
- **Bernard J., (1989).** Mémento technique de l'eau, Edition Paris –France.
- **Bouakkaz R et Zentout W., (2020).** Impact des activités agricoles sur l'environnement; cas de la plaine alluviale d'oued Nil (Jijel N_E Algérien). Université de Jijel. Mémoire de Master, 92p.
- **Boukhezer S et Fenineche H., (2016).** Etude de la qualité physico-chimique des eaux Potables de certaines sources naturelles (W. de Jijel). Université de Jijel. Mémoire de Master, 106p.
- **Boulahlib H et DAHOUA S., (2019).** Modélisation des ressources en eaux souterraines de la plaine alluviale d'Oued Nil. Université de Jijel. Mémoire Master, 117p.
- **Brown RM., (1972).** A water quality index- crashing the psychological barrier. In Indicators of environmental quality. Springer, Boston, pp: 173-182.
- **Chery L., (2006).** Guide technique. Qualité naturelle des eaux souterraines. Méthode de caractérisation des états de référence des aquifères français.
- **Chaouki M., (2016).** Évolution spatio-temporaire et la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la région d'Ouargla. Thèse de Doctorat en Génie des Procédés. Université Kasdi Merbah Ouargla, p 68, pp69-75.
- **Couture I., (2004).** Analyse d'eau pour fin d'irrigation MAPAQ Montérégie-Est. AGRIVISION.
- **Debieche T.H et Mania J et Mudry J., (2003).** Species and mobility of phosphorus and nitrogen in awadi-aquifer relationship. Journal of African Earth Sciences. Pp :47-57p.
- **Dib I., (2009).** L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Gadaine- Ain Yaghout (Est Algérien). Mémoire de magister en hydraulique. Construction hydro-technique et environnement, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Département d'Hydraulique, Université Hadj Lakhdar, Batna, 127p.
- **Djellit H., (1987).** Evolution tectono-métamorphique du socle kabyle et polarité de mise en

Place des nappes flysch en petite Kabylie occidentale (Algérie). Université de Paris. Thèse des Sciences, Paris, 206p.

- **Dovonou F., (2008).** La pollution des plans d'eau au Bénin. DEA en Environnement, santé et développement. Université d'Abomey-calavi, Bénin.
- **Durand-Delga M., (1955).** Etude géologique de l'Ouest de la chaîne numidique. Université de Paris, France. Thèse d'Etat, 455p.
- **Ehrman F., (1928).** L'extension du primaire fossilifère en bordure Ouest du massif de Collo-Phillipe-ville. Association française. Avancement science, Constantine, congrès de 1927.
- **Elie S., (2005).** Caractérisation hydrochimique et qualité des eaux souterraines du projet hydraulique villageoise 310 forage, dans la boucle de Mouhoun : provinces de Banwa, des Balles, du Mouhoun et de la Kossi (Burkina Faso). Mémoire d'ingénieur, 60p.
- **Gaujous D., (1995).** La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire. 2ème Edition, Lavoisier Tec et Doc, Paris, France.
- **ISO 6058 (F.), (1984).** Qualité de l'eau: Dosage de calcium: Méthode titrimétrique à l'EDTA.
- **JORA., (2011).** Les normes de potabilité d'une eau de consommation. Journal officiel de la République algérienne. Décret exécutif n° 11-219, 4p.
- **Kerdoud A., (2017).** Vulnérabilité à la pollution des eaux de la plaine alluviale d'oued Nil Wilaya de Jijel (N.E.Algérien). Université de Jijel. Mémoire Master,
- **Lahroua A., (2016).** L'influence des paramètres physicochimiques sur l'élimination de fluor (cas de Ouargla). Mémoire de Master. Université Kasdi Merbah Ouargla, 2016, pp : 4-5.
- **Lehtihet A.M., (1983).** Étude hydrogéologique de la plaine alluviale de l'oued Nil (Région de Jijel). Université d'USTHB, Alger. Mémoire d'Ingénieur, 67p.
- **Meddour C et Maoui K., (2013).** Etude hydrogéophysique de la plaine alluviale d'oued Nil (Wilaya de Jijel). Université de Jijel. Mémoire de Master, 71p.
- **Maiga A., (2005).** Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDM.SA dans la ville de Bamako : évaluation saisonnière. Thèse de Doctorat en Pharmacie. Université de Bamako, Bamako, Mali.
- **OMS., (2006).** Organisation Nationale de la Santé.
- **ONM., (2013).** Office National Météorologique. Station Achouat de Jijel.
- **Ramade F., (1998).** Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau. Ed. Science Internationale, Paris, France, 800p.
- **Redjem Fet Rahmouni R., (2018).** Evaluation de la qualité de l'eau potable distribuée dans la commune de Hamma Bouziane (wilaya de Constantine). Université des Frères Mentouri Constantine. Mémoire de master, 66p.
- **Rejsek F., (2002).** Analyse des eaux, Aspects réglementaire et techniques, Collection Biologie Technique Environnementale, pp : 53-54, 71, 142-148.
- **Rodier J., (2005).** L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, Edition Dunod, Paris, 1384p.
- **Rodier J., (2009).** L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, 9ème édition Dunod, Paris, p 1579.
- **Potelon J et Zysmank K., (1998).** Le guide des analyses de l'eau potable, Edition, La Lettre

du Cadre Territorial, Voiron, France.

- **Sadoun L., (2013).** Etude hydrologique et hydrodynamique de la basse plane alluviale de l'oued el Nil (wilaya de Jijel). Université de Jijel. Mémoire de Master, 72p.
- **Savary P., (2010).** Guide des analyses de la qualité de l'eau, Ed. Territorial Voiron, France.
- **Sedrati N., (2011).** Origines et caractéristiques physicochimiques des eaux de la wilaya de Biskra Sud-est algérien. Thèse de doctorat. Univ. Badji Mokhtar, Annaba, Algérie,
- **Service de l'Eau (SEVESC), (2013).** Qualité de l'eau potable en sortie de l'usine de traitement d'eau potable de Versailles et Saint Cloud.
- **Vila J.M., (1980).** La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algérois-tunisiens, Thèse de Doctorat Es-sciences Naturelles. Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, pp 282-296
- **Yidana SM et Yidana A., (2010).** Assessing ground- water quality using water quality index and multivariate statistical analysis—The Voltaian basin, Ghana. Journal of Environmental Earth Science, 59 (7) (pp. 1461 – 1473). <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0132-3>.

Sites Web

- [1] <http://jijel.online.fr/index.htm#jijel>
- [2] <http://denv-jijel.dz/index.php>
- [3] <http://www.cawjijel.org/fr>
- [4] <https://www.m-culture.gov.dz>
- [5] <https://www.actu-environnement.com>
- [6] <https://www.cieau.com>
- [7] <https://www.oieau.fr>
- [8] <https://www.lda.lozere.fr>
- [9] <http://www.ipgp.fr>

Annexes

ANNEXE I

✚ Données des températures à la Station Achouat - Taher (1988 - 2015).

Année	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
1988	12,9	10,7	12,6	15	18,1	21,5	24,7	25,9	21,5	20,7	15,8	11,1
1989	10,3	11,8	13,8	14,9	17,3	21,1	25,2	26,2	23,5	19,7	16,4	15,3
1990	11,5	13,2	13,9	14,3	18,3	22,1	24,5	24,3	25,4	20,9	15,7	10,7
1991	10,5	10,6	14,4	13,5	15,2	21,2	24,7	25,8	24,6	19,6	14,1	11,2
1992	9,8	11	12,3	14,3	7,5	20,4	23	24,9	23,7	18,5	15,1	12,2
1993	9,6	10,7	12,1	14,6	18,7	21,6	23,8	25,4	22,5	19,8	14,5	12,1
1994	11,9	12,2	13,6	13,9	19,2	22	25,5	28,6	24,9	20,5	16,9	12,6
1995	11,8	13,4	13,1	14,1	19,2	22,4	25,1	26,1	22,8	20,4	16,8	15
1996	14,4	11,5	13,8	15,7	18,1	21,7	24,7	25,6	21,5	17,8	16,1	14,3
1997	13,5	12,2	12,9	15,4	19,8	23,9	24,4	25,8	24	20,3	16,5	13,7
1998	12,5	12,3	13,5	15,8	18,2	22,9	24,7	25,4	23,7	17,8	14,4	11,4
1999	11,6	10,4	13,6	15	20,4	23,3	25,1	27,8	24,8	22,9	14,7	12,2
2000	9,5	11,9	13,6	16,3	19,7	21,9	25,9	26,6	23,5	19,4	15,4	13,4
2001	12,5	11,2	17	15,2	18	23,4	24,9	26,1	22,9	22,6	15,1	10,7
2002	10,7	11,7	14	15,1	18,4	22,4	24,5	25	22,8	19,5	16,7	13,9
2003	11,6	11	13,7	16	18,4	25,3	27,7	28,3	24	21,1	16,1	12
2004	11,4	12,3	13,6	14,9	17,2	21,7	24,8	26,7	24,1	22	14	12,8
2005	9	9,2	13	16	19,8	23,5	26,2	25,5	23,7	21	15,7	11,8
2006	10,9	11,3	14,2	17,8	20,8	23,4	26,1	25,4	23,4	22,1	17,9	13,6
2007	12,3	13,9	13,2	16,7	19,8	22,8	25,1	26,8	23,5	20	14,9	12,3
2008	12,4	13,1	9	16,6	18,9	22,3	25,9	26	24,2	20,3	15	11,9
2009	11,9	11,6	13,2	15,2	20,8	23,6	27,4	27	23,4	20,1	16,5	14,7
2010	12,5	13,9	14,4	16,4	18	21,5	25,5	25,5	23,3	20,1	19,8	13,2
2011	11,9	11,8	14,4	17,2	19,6	22,5	26,4	26,3	24,4	20,5	17	13,1
2012	11,5	8,7	13,9	16,3	19,2	24,9	26,4	27,9	23,1	21,1	17,1	13
2013	11,9	10,5	15,2	16,4	18,1	20,9	25,2	25,4	23,7	22,8	15,4	12,5
2014	13,3	13,6	13,4	17,1	18,9	23,2	25,5	26,3	26,2	22,2	18,8	13,1
2015	12	11	15	17	20	22,9	27	27	25	21	16	12,9

✦ Données des précipitations à la Station Achouat - Taher (1988 - 2015).

Année	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec
1988	85	128	70,4	65,6	42,2	18,4	0	0	134,1	2,3	184,6	284,6
1989	112,6	92	67,2	178,4	9,3	8,5	9,2	8,8	52,2	26,7	148,5	124
1990	120,1	0	54,1	87,2	74,1	8,5	6,2	29,4	0,9	107,4	251,2	411,2
1991	115,4	139,6	126,2	42,2	50,5	3,3	0	3,1	40,5	220,6	98,1	67,5
1992	122,9	56	201,4	165,5	98,3	26,1	9,5	0,2	11,5	121,9	60,3	319,3
1993	107,9	113,7	66,7	103,7	66,5	7,5	0	0	32,7	84,3	126,1	158
1994	107,1	141,9	0	92,4	14,5	0	0,3	0,5	93,3	122,9	5	371,6
1995	173,3	37,4	104,1	56,5	5,6	20,6	1,7	9,5	58,5	72,3	96,1	94,6
1996	102,1	313,1	122,4	128,8	60,9	45,1	3,2	10,7	45,1	129,7	110	128,1
1997	58	12,9	12,2	82,2	28,6	27,2	5,8	7,4	110,7	196,5	188,1	121,4
1998	42,3	142,9	67,5	106,1	130,1	3,8	0	20,4	94,3	51,5	339,3	151,8
1999	163,2	97	62,1	42,7	5,9	4	1,6	5,6	27	23,9	250,8	247,7
2000	108,6	42,4	17	33,2	95,3	13,5	1,4	2,7	25,7	89,8	117,8	84,6
2001	247,7	110,9	14,2	50,7	50,3	3,7	0	2,5	38,8	1,1	125,2	142,4
2002	71,8	66,3	37,6	49,7	15,3	4,4	16,2	86,2	49,5	103	182	407,3
2003	333,1	115	30,7	130	70,9	0,8	7,1	0	128,4	76	82	220,5
2004	137,2	83,3	75,2	96,6	81,2	56,4	1,3	4,3	75,8	34,8	267,1	158,8
2005	262,1	212,6	85,5	121,8	4,8	0	1,2	18,4	56,4	21,4	134,5	171,6
2006	178,2	165,5	54,9	24,1	32,7	2,8	0	34,8	45,3	37,9	39,6	215,4
2007	12,3	74,5	268,5	70,6	14,4	26,4	3,3	4,8	70,8	142,9	291,4	211,3
2008	34,3	27,4	172,1	18,8	144,7	3,7	0	1,3	86,7	30,8	109,8	145,9
2009	207,9	85,9	78,2	183,8	14,4	0,3	0,5	10,8	172,3	68,1	154,9	139,6
2010	121,4	60,2	105,4	52,5	81	49,5	2,1	1,4	53	218,5	195,9	110,3
2011	78,6	143,5	89,8	69,7	33,4	27	8,1	0	14,7	247,1	134,5	160
2012	64,9	368,5	95,9	189,4	3,1	0,6	0,4	110,9	105,6	162,8	82,6	81,4
2013	210,3	211,6	81,2	41,9	144,6	0,6	1,6	42,9	48,5	54,2	349,9	125,2
2014	133,7	85,1	154	13,1	7,1	13,9	0,2	4,1	24,9	49	182,9	338,1
2015	170,95	268,98	119	2	25,75	68	0	3,87	89	131,75	148	9,7

ANNEXE II

Les points d'eau (campagne d'Avril 2022).

Nom	X	Y	NP (m)
FN1	5,930565	36,804161	11,29
PN1	5,932549	36,794271	12,36
P1	5,94848	36,8288	2,16
P2	5,950123	36,818627	6,87
P3	5,95206	36,794245	20,98
PN10	5,9367	36,74771	38,21
PN2	5,922213	36,80709	8,85
PN3	5,910296	36,790345	15,78
PN4	5,956023	36,785801	27,24
PN5	5,910215	36,760254	28
PN6	5,92619	36,76628	25,25
PN8	5,9361	36,75428	34,44
PN9	5,948275	36,741636	47,34
PS4	5,956013	36,785782	28,7
PS5	5,94801	36,792	23,08

Les données de perméabilités (k) et de transmissivité (T).

Nom du forage	X	Y	Transmissivité (m ² /s)	Coefficient de perméabilité (m/s)
ON1	5,92672	36,79162	6,00E-03	2,46E-04
ON 2	5,9432	36,749	6,01E-02	2,70E-03
ON 3	5,95018	36,8037	1,33E-03	6,65E-05
ON 4	5,9451	36,7489	2,87E-02	1,20E-03
ON 5	5,95836	36,7847	1,90E-02	1,10E-03
ON12	5,93096	36,7985	9,70E-03	3,50E-04
ON 13	5,94159	36,7453	7,94E-02	1,73E-03
ON 14	5,95006	36,8062	2,77E-03	1,32E-04
ON 15	5,92482	36,787	8,42E-03	1,34E-04
ON 17	5,92317	36,7796	3,22E-03	1,32E-04
ON 18	5,93452	36,8021	5,40E-03	1,90E-04
ON 19	5,93696	36,8013	1,25E-03	2,36E-05
ON 20	5,95126	36,7946	9,26E-04	2,30E-05
ON 22	5,94084	36,74144	1,22E-02	2,77E-04
ON 23	5,9412	36,7547	3,66E-02	8,50E-04
ON 24	5,93811	36,7614	9,15E-03	2,17E-04
ON 28	5,91604	36,7561	4,26E-03	1,80E-04
ON 30	5,9458	36,7508	2,24E-02	5,9000E-04

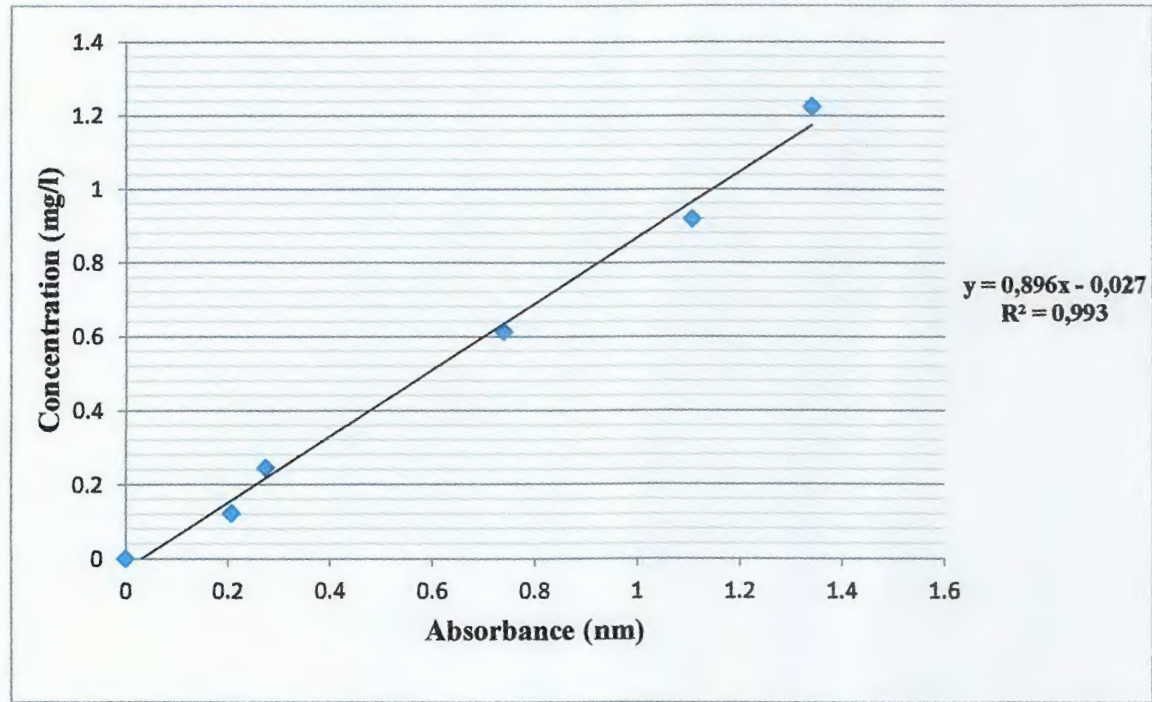
✚ Les points de prélèvement (campagne d'Avril 2022).

Nom	X-degre-10	Y-degre-10
FN1	5,930565	36,804161
OBO	5,914611	36,755562
OB2	5,941857	36,750427
ON3	5,94089	36,75047
ON42	5,93928	36,74345
ON5	5,932694	36,796345
ON8	5,936906	36,821532
OS3	5,937867	36,817968
P1	5,94848	36,8288
P2	5,950123	36,818627
PN3	5,910296	36,790345
PN5	5,910215	36,760254
PN8	5,9361	36,75428
PS4	5,956013	36,785782

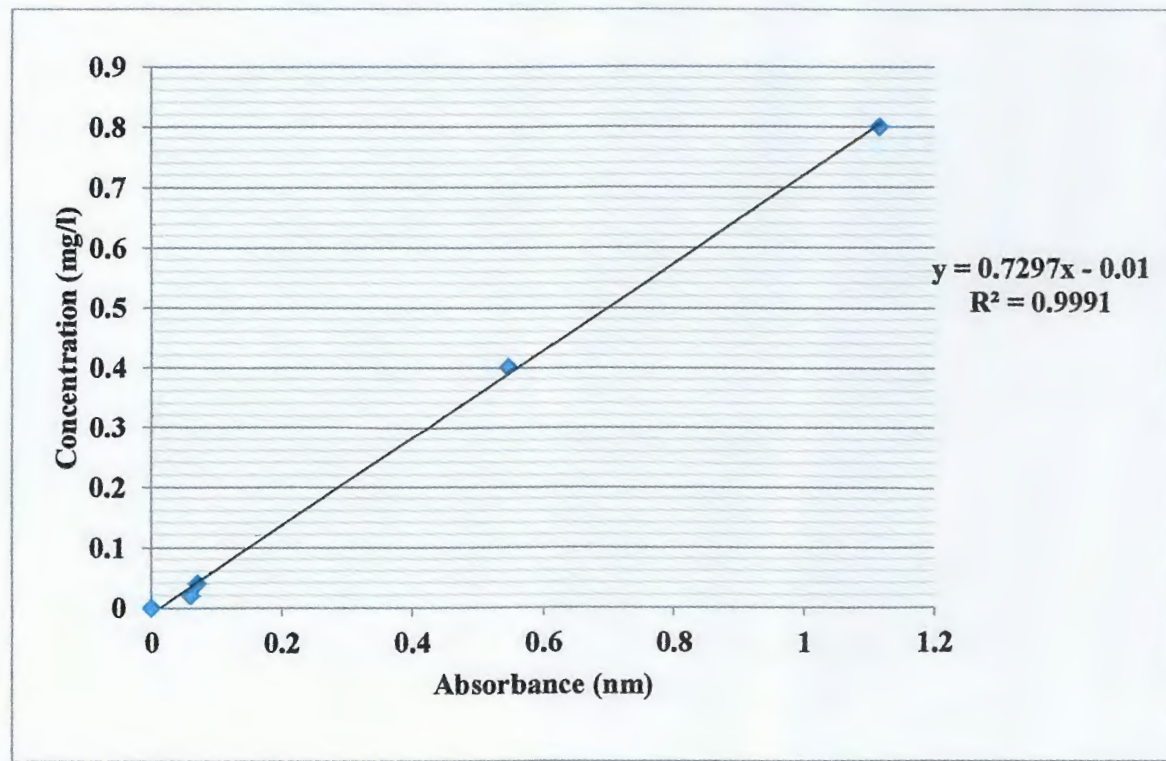
ANNEXE III

Courbes d'étalonnage des analyses des eaux

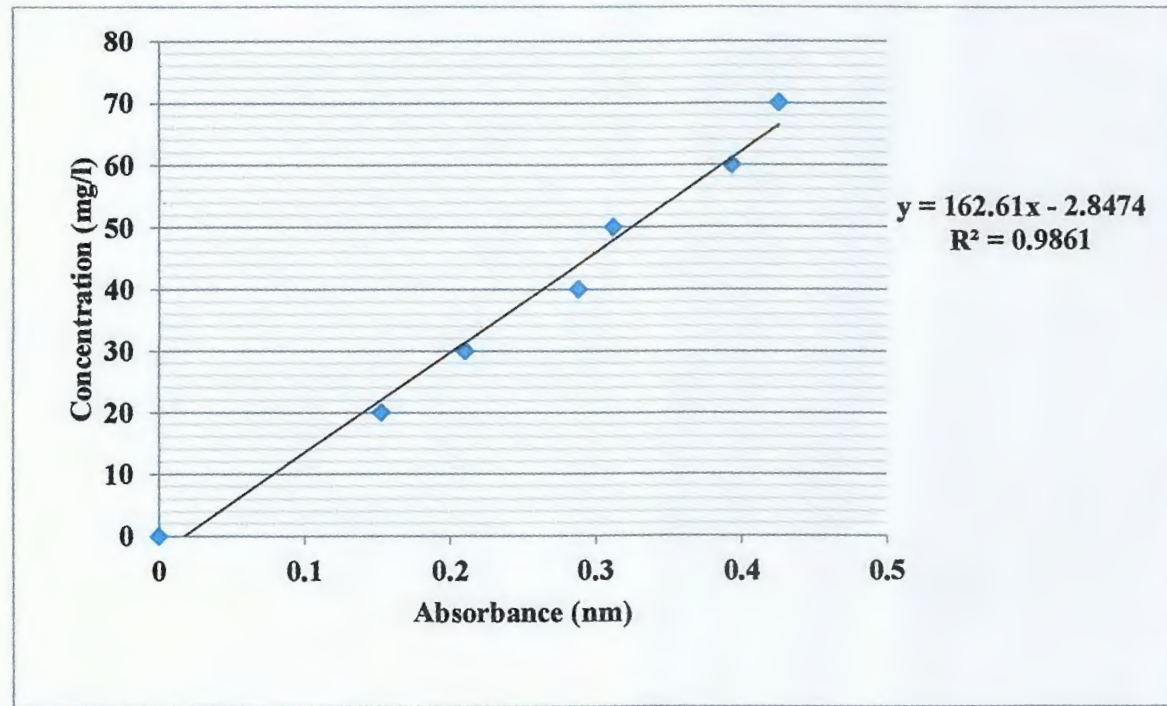
✦ La courbe d'étalonnage de PO_4^{3-} :



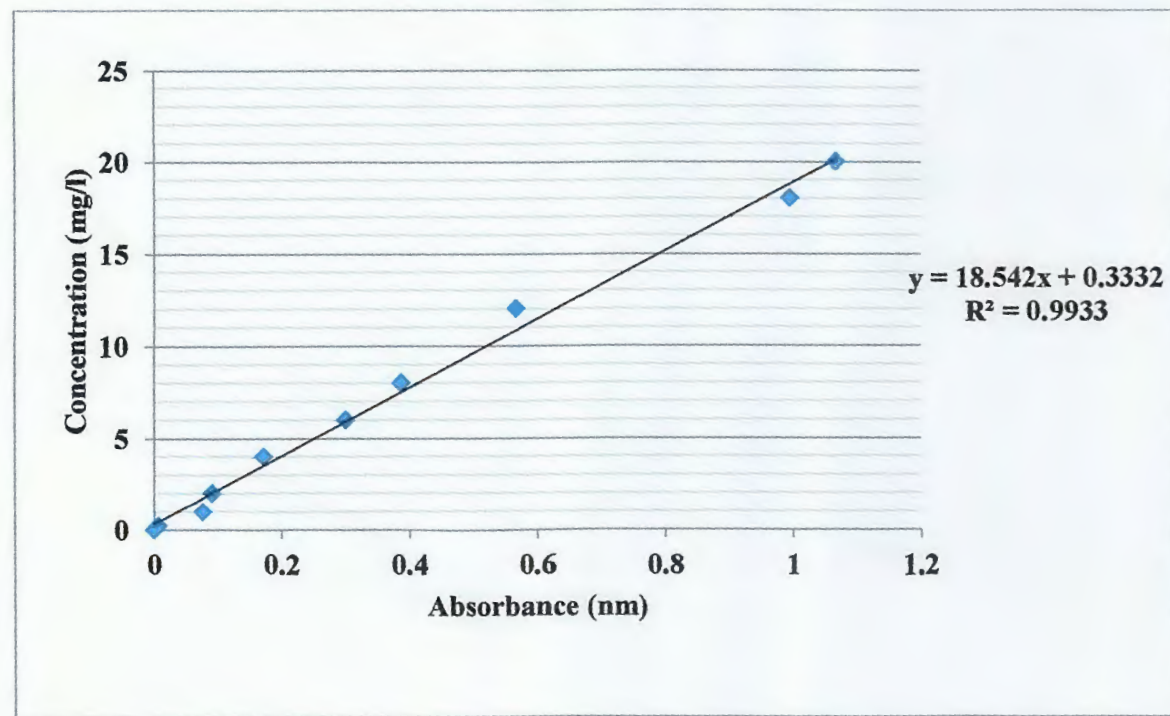
✦ La courbe d'étalonnage de NO_2^- :



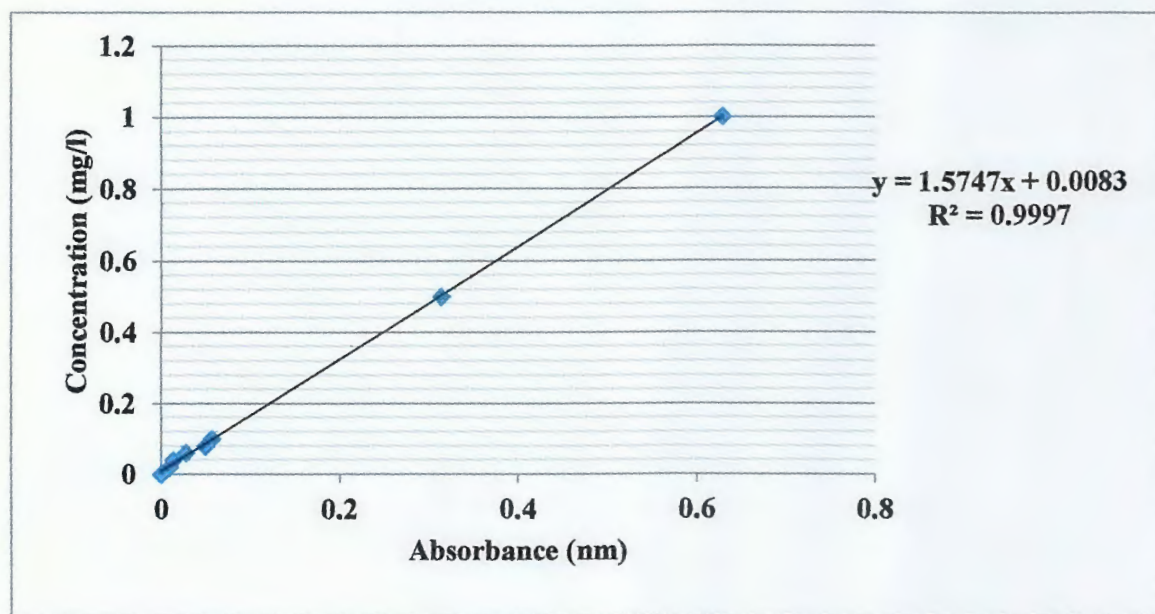
✦ La courbe d'étalonnage de SO_4^{2-} :



✦ La courbe d'étalonnage de NO_3^- :



✦ La courbe d'étalonnage de NH_4^+ :



ANNEXE IV

+ Réactifs

Eléments analysé	Réactif
Ammonium	Acide dichloroisocyanurique Hydroxyde de sodium Salicylate de sodium Nitropruciate de sodium
Nitrite	Sulfanilamide Acide phosphorique N-1-Naphtyl éthylène diamine
Nitrate	Salicylate de sodium Hydroxyde de sodium Tartrate de sodium et de potassium Nitrate de potassium anhydre Chloroforme
Phosphate	Heptamolybdate d'ammonium Tartrate d'antimoine Acide sulfurique pur Acide ascorbique
Sulfate	Sulfate de sodium Acide chlorhydrique Ethanol Chlorure de sodium Glycérol Chlorure de baryum Acide chlorhydrique
Ca ²⁺ et Mg ²⁺	EDTA Hydroxyde de sodium Murexide Hydroxyde d'ammonium Chlorure d'ammonium Noir eriochrome
Chlorure	Nitrate d'argent Chromate de potassium

✚ Mode opératoire

➤ Détermination de la dureté totale (TH)

Les alcalino-terreux présent dans l'eau sont amené à former un complexe du type chélate par le sel di-sodique de l'EDTA. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique, le noir Erichrome. En milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium, la méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium (Rodier et al, 2009).

a) Mode opératoire

- Dans un erlenmeyer de 250 ml, on prélève 10 ml d'eau à analyser et 40 ml de l'eau distillée.
- Ajouter 4 ml de solution Tampon et 0,02g de noir Eriochrome.
- La solution se colore en violet, le pH doit être de 10. En maintenant une agitation, on verse la solution d'EDTA rapidement au début puis goutte à goutte lorsque la solution commence à virer du violet au bleu. Après, On vérifie que la coloration ne change plus par l'addition d'une goutte supplémentaire d'EDTA.

b) Expression des résultats

La concentration totale en calcium et magnésium, exprimée en milliéquivalents par litre, elle est donnée par l'expression suivante :

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$C_1 (\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}) = C_2 \times V_2 / V_1 \times 1000 \text{ (m mol/l)}$$

C_2 : concentration de l'EDTA (mol/l)

V_1 : volume de la prise d'essai (50ml)

V_2 : volume titré de l'EDTA

Donc : dureté totale = $C_1 = V_2 \text{ EDTA} \times 0,2 \times 2 \text{ méq/l}$.

1°F correspond à 0,2 méq/l.

➤ Dosage de calcium (Ca^{2+})

Le titrage du calcium par la méthode titrimétrique avec une solution aqueuse d'EDTA avec un pH compris entre 12 et 13. L'indicateur utilisé est le murexide, qui forme un complexe rose avec le calcium. Lors du titrage, l'EDTA réagit avec les ions calcium, l'indicateur vire alors de la couleur rose à la couleur violet (ISO 6058, 1984).

a) Mode opératoire

- Dans un erlenmeyer de 250 ml, on prélève 10 ml d'eau à analyser et 40 ml de l'eau distillée,
- On ajoute 2 ml de solution NaOH
- On ajoute une pincée de murexide (0,02g),
- En maintenant une agitation, on verse la solution d'EDTA rapidement au début puis goutte à goutte lorsque la solution commence à virer du violet au bleu (ISO, 1984).

b) Expression des résultats

$$Ca^{2+} = \left(\frac{V1 \cdot C1}{V0} \right) M_{Ca^{2+}}$$

Où :

C : Concentration en EDTA exprimée en mmole/L de la solution d'EDTA.

V : Volume en millilitre de la prise d'essai.

V : Volume en millilitre de la solution d'EDTA utilisé pour le titrage

M_{Ca²⁺} : Masse moléculaire du calcium. (ISO, 1984).

➤ **Détermination de l'alcalinité (HCO₃⁻)**

Elle est déterminée par la neutralisation des ions HCO₃⁻ à l'aide d'un acide minéral (H₂SO₄) dilué (1/50). La baisse du pH de la solution (≤8,3) à un pH= 4,5 indique la concentration des carbonates selon la formule suivante :

$$C (HCO_3^-) = V (\text{verse } H_2SO_4) * 24,4$$

➤ **Dosage du chlorure (Cl⁻)**

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 d'argent proportionnelle à la concentration du chlore.

a) Mode opératoire

- Introduire 100 ml d'eau à analyser, préalablement filtrée, dans un erlenmeyer de 250 ml.
- Ajouter 2 à 3 gouttes d'acide nitrique pur puis une pincée de carbonate de chaux et 3 gouttes de solution de chromate de potassium à 10%.
- Verser alors au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre.

b) Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 100ml :

$V \times 10 \times 3,55$ donne la teneur en chlorures, exprimée en milligramme de Cl⁻ par litre d'eau.

$V \times 10 \times 5,85$ donne la teneur en chlorures, exprimée en milligramme de NaCl par litre d'eau.

V : le nombre de millilitres de nitrate d'argent N/10 utilisés.

➤ **Dosage des Nitrite (NO₂⁻)**

La méthode utilisée est la méthode spectrophotométrique d'absorption moléculaire.

L'acide sulfanilique en milieu chlorhydrique, en présence d'ion ammonium et de phénol forme avec les ions nitrites un complexe coloré en jaune dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en nitrites. L'absorbance de cette solution est mesurée au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 944 nm.

➤ **Dosage des Nitrate (NO_3^-)**

La méthode utilisée est la méthode spectrophotométrique d'absorption moléculaire.

Il est basé sur la réaction des nitrates avec l'acide sulfosalicylique (formé par addition à l'échantillon de salicylate de sodium et d'acide sulfurique). En présence d'ammoniaque, le dérivé obtenu donne une coloration jaune stable. L'absorbance de cette solution est mesurée au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 1067 nm.

➤ **Dosage de l'ammonium (NH_4^+)**

La méthode utilisée est la méthode spectrophotométrique d'absorption moléculaire.

En milieu alcalin et en présence de nitroprussiate qui agit comme catalyseur, les ions d'ammonium traité par une solution de chlore et de phénol donnent du bleu d'indophénol. L'absorbance de cette solution est mesurée au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 625 nm.

➤ **Dosage des phosphates (PO_4^{3-})**

La méthode utilisée est la méthode spectrophotométrique d'absorption moléculaire.

La méthode consiste à la formation en milieu acide d'un complexe avec le molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de potassium. La réduction par l'acide ascorbique en un complexe coloré en bleu. L'absorbance de cette solution est mesurée au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 407 nm.

➤ **Dosage des sulfates (SO_4^{2-})**

La méthode utilisée est la méthode spectrophotométrique d'absorption moléculaire.

Les ions de sulfates réagissent avec le chlorure de baryum et produit un précipité de sulfate de baryum insoluble. La quantité de turbidité formée est proportionnelle à la concentration en sulfates. Le réactif contient aussi un agent stabilisant pour maintenir le précipité en suspension. La longueur d'onde utilisée est 635 nm.

➤ **Dosage du sodium et du potassium**

Ce qui regroupe ces deux éléments est l'appareil utilisé pour leurs dosages (spectrophotomètre à flamme). Le principe de dosage est le même, ce qui change c'est le réactif et les conditions spectrales (330,2 nm pour le Na^+ et 769,7 nm pour le K^+). Les résultats sont directement lus sur l'appareil.