

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

Université Mohammed Seddik Benyahia - Jijel

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



كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم: علوم الأرض والكون

Mémoire de fin d'études

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

Option : Hydrogéologie

Thème

Etude des processus hydrologiques et hydrochimiques
des eaux de surface du bassin versant d'Oued Nil (Jijel-
NE Algérien)

Membres de Jury

Président : Djorfi Samir

Examineur : Faouzi Zahi

Encadreur : Drouiche Abdelmalek

Présenté par :

Fennour Mouna

Mahmoud Khadija

Année Universitaire 2019-2020

Numéro d'ordre (bibliothèque) :

Remerciements

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

*Nous remercions également **Monsieur Zahi Faouzi** et **Monsieur Debieche Taha-Hocine***

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

Nos remerciements vont à tous les enseignants de la spécialité « hydrogéologie ». Nous remercions les étudiants de notre spécialité pour les informations qu'ils ont partagées.

Khadija et Mouna

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à tous ceux qui ont Contribué de
Près ou de loin*

À l'élaboration de ce travail plus particulièrement :

A Mon Père Mohamad

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

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

A ma mère « Nassira »

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

*À mes frères : Sonia, Nada, Amer, Hossin, Hassiba, Khair-Eddine et Khaira et les enfants de
mes sœurs Zakaria, Marwa, Nofal, Nouh, Iman et Sami.*

Je remercie particulièrement mon fiancé Yassin.

*Ils sont présents à tous mes examens avec leur soutien moral et leur beauté
Douce surprises. Je vous souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de
Sérénité.*

A toutes ma famille,

A toutes mes amies,

A mon binôme Khadija,

A tous ceux qui me sont chers.

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

Dédie par : Mouna

Dédicace

Je dédie ce travail

*A ma mère, la femme la plus chère du monde, la source de tendresse qui
a tout donné sans rien recevoir, je le remercie du fond de mon cœur.*

*A mon père, qui a toujours cru en moi, et a mis à ma disposition tous les moyens nécessaires
pour que je réussisse dans mes études.*

A mes très chers frères et mes sœurs.

A nièce Asma et Rania.

À mon amour Mimou(A).

A toute ma famille.

A toutes mes amis.

Sans oublier bien sûr mon binôme MOUNA.

A mes collègues Master 2 Hydrogéologique.

A tous qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Khadija

Résumé

Le bassin versant d'oued Nil est caractérisé par des ressources en eaux souterraines et superficielles importantes, ces ressources sont utilisées pour l'agriculture qui est l'activité la plus répandue dans la région, ainsi que pour l'alimentation en eau potable des régions Chekfa, Boutaleb, Djimar et Faza.

L'objectif de cette étude est d'essayer de faire un constat sur la qualité des eaux de surface du bassin versant, à travers l'interprétation d'une campagne des analyses physicochimiques réalisée en 2015, et les résultats d'un suivi de débit et des paramètres physiques réalisé en mars 2020 sur une période de quatorze (14) jours.

L'étude des paramètres chimiques montre que la plupart des points d'eaux échantillonnés pour les eaux superficielles de la région d'étude présentent une bonne qualité par rapport aux descripteurs : température, conductivité et pH, qui sont dans les normes Algériennes, les éléments majeurs sont dans les normes, sauf le magnésium qui est l'élément le plus abondant dans les eaux d'oued Tassift avec des teneurs dépassant la norme.

Le suivi de la chimie des eaux en fonction du débit, a montré une évolution inversement proportionnelle entre le débit, la température et la conductivité à cause de l'effet de dilution. Cependant l'oxygène dissous varie proportionnellement avec le débit en raison de la dissolution de l'O₂ de l'atmosphère vers l'eau suite à l'agitation de l'eau.

Mots clés : *Bassin versant, Eau de surface, éléments majeurs, pollution, Oued Nil et Jijel.*

ملخص

تتميز مستجمعات مياه وادي النيل بموارد كبيرة من المياه الجوفية والسطحية، وتستخدم هذه الموارد في الزراعة التي تعد النشاط الأكثر شعبية في المنطقة، وكذلك لامدادات مياه الشرب في مناطق: الشقفة، بوطالب، جيمار وفازة.

والهدف من هذه الدراسة هو محاولة تقييم نوعية المياه السطحية في منطقة مستجمعات المياه، من خلال تفسير حملة التحليلات الفيزيائية والكيميائية التي أجريت في عام 2015، ونتائج مراقبة التدفق. والمعلومات الفيزيائية التي تم اجرائها في مارس 2020 على مدى أربعة عشر (14) يوماً.

أظهرت دراسة المعلومات الكيميائية أن معظم نقاط المياه المأخوذة من المياه السطحية لمنطقة الدراسة ذات جودة جيدة مقارنة بالواصفات: درجة الحرارة، التوصيل ودرجة الحموضة، وهي العناصر الموجودة في المواصفات الجزائرية. المكونات الرئيسية توجد ضمن المعايير، باستثناء المغنيسيوم، وهو العنصر الأكثر وفرة في مياه وادي تاسيفت، مع مستويات تتجاوز المعيار.

أظهرت مراقبة كيمياء المياه تبعا للتدفق تغيراً تناسيياً عكسياً بين التدفق ودرجة الحرارة والناقلية بسبب تأثير التخفيف. ومع ذلك، يتغير الأوكسجين المذاب بشكل متناسب مع التدفق بسبب انحلال O₂ من الغلاف الجوي إلى الماء نتيجة لتحريك الماء.

الكلمات المفتاحية: مستجمعات المياه، المياه السطحية، العناصر الرئيسية، التلوث، واد النيل وجيجل.

Abstract

The watershed of Wadi Nil is characterized by important resources of ground and surface water; these resources are used for agriculture which is the most important activity in the region, as well as for the supply of drinking water to Chekfa, Boutaleb, Djimar and Faza regions.

The objective of this study is to try to make a statement on the surface water quality of the watershed, through the interpretation of a physicochemical analysis campaign carried in 2015, and the results of a monitoring of flow and physical parameters carried in March 2020 for a period of fourteen (14) days.

The study of the chemical parameters shows that most of the water sampling points for the surface waters in the study area present a good quality compared to the descriptors: temperature, conductivity and pH, which are under Algerian standards, the major elements are in the standards, except for magnesium which is the most abundant element in the waters of Wadi Tassift with values exceeding the standard.

The monitoring of water chemistry as a function of the flow showed an evolution inversely proportional between flow, temperature and conductivity due to the dilution effect. However, dissolved oxygen varies proportionally with the flow because of dissolution of O₂ from the atmosphere to water due to the water agitation.

Keywords: Watershed, Surface water, major elements, pollution, Wadi Nil and Jijel.

Table des matières

Remerciement
Dédicace
Table des matières
Liste des abréviations
Liste des figures.
Liste des tableaux
Introduction 1

Chapitre 1

Etude du bassin versant

1. Introduction 3
2. Situation géographique de la zone d'étude 3
3. Etude morphométrique du bassin versant 4
3.1. Définition d'un bassin versant 4
3.2. Caractéristiques géomorphologiques et relief du bassin versant d'Oued Nil 5
3.3. Les caractéristiques physiques du bassin versant d'Oued Nil 6
3.4. Les caractéristiques géométriques du bassin versant d'Oued Nil 7
3.4.1. Le périmètre(P) 7
3.4.2. La superficie(S) 7
3.4.3. La forme du bassin versant 8
3.4.3.1. Indice de Horton (Rf) 8
3.4.3.2. Indice de compacité de Gravelius (K_C) 9
3.4.3.2. Indice de Miller (R_c) 9
3.4.4. Rectangle équivalent 10
3.4.5. Largeur moyenne du bassin (B) 11
3.5. Caractéristiques hydrographiques du bassin versant d'Oued Nil : 12
3.5.1. Réseau hydrographique : 12
3.5.2. Longueur et nombre de thalwegs : 12
3.5.3. Densité de drainage : 13
3.5.4. Coefficient de torrentialité : 14

3.6. Les caractéristiques du relief du bassin versant d'Oued Nil	14
3.6.1. La courbe hypsométrique :	15
3.6.2. Les altitudes caractéristiques du bassin versant d'Oued Nil	17
3.6.3. Les indices de pente du bassin versant d'Oued Nil :	18
3.6.3.1. La dénivelée utile (Du) :	18
3.6.3.2. La dénivelée maximale (Dmax)	18
3.6.3.3. Indice de pente globale (Ig).....	18
3.6.3.4. Indice de Pente de Roche Ip :	19
3.6.3.5. La Dénivelée Spécifique (Ds) :	19
3.6.3.6. La carte de pente :	20
4. Conclusion	22

Chapitre 2

Géologie et Climat

1. Introduction	23
2. Contexte géologique.....	23
2.1. La géologie régionale	23
2.2. La géologie locale	24
2.3. Litho -stratigraphique du bassin versant d'oued Nil :	25
3. Caractéristiques climatiques.....	27
3.1. Localisation de la station météorologique d'Achouat.....	27
3.2. Les précipitations	27
3.3. La Température	28
3.4. Diagramme Ombro-thermique (Courbe pluviométrique)	29
3.5. Le bilan hydraulique.....	29
3.5.1. Evapotranspiration Potentielle	30
3.5.2. Le bilan hydraulique selon la méthode de Thornthwaite	31
3.5.3. Détermination du ruissellement et de l'infiltration.....	32
3.5.4. Interprétation du bilan Hydrique :	33
4. Conclusion	34

Chapitre 3 :

Matériel et méthodes

1. Méthode d'échantillonnage	35
2. Les paramètres physico-chimiques (mesure in-situ)	35
3. Le jaugeage	36
4. Détermination du débit par un flotteur	36
5. Logiciel utilisée	38
5.1. Global Mapper14.....	38
5.2. Google Earth	38
5.3. ARCGIS	38

Chapitre 4

Résultats et discussion

1.Introduction	39
2. Qualité physicochimique des eaux de surface du bassin versant d'oued Ni.....	39
2.1. Localisation des sites de prélèvement des eaux	39
2.2. Les paramètres physiques	40
2.2.1. La température(T°C)	40
2.2.2. Le potentiel hydrogène (pH)	41
2.2.3. La conductivité électrique (CE)	42
2.2.4. Le potentiel de redox (Eh).....	43
2.3. Les éléments majeurs	44
2.3.1. Le Calcium (Ca ⁺²)	44
2.3.2. Le Magnésium (Mg ⁺²)	45
2.3.3. Le Sodium et le Potassium (Na ⁺ + K ⁺)	46
2.3.4. Les chlorures (Cl ⁻).....	47
2.3.5. Les Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	48
2.4. La dureté.....	49
3. Evolution temporelle des paramètres physiques des eaux d'oued Nil.....	51
3.1. L'évolution de la température (T c °).....	51
3.2. L'évolution de la conductivité électrique (CE µs/cm)	52

3.3. L'évolution de l'oxygène dissous (O ₂).....	52
3.4. L'évolution de pH	53
4. Conclusion.....	54
Conclusion générale	56
Références Bibliographiques	58
Annexes	

Liste des abréviations

m : mètre.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrique (wilaya de Jijel).

C° : Degré Celsius.

CE : Conductivité Electrique.

mm : Millimètres.

OD : Oxygène dissous.

ONM : Office Nationale de la Météorologie ; station météo d'Achouat.

PH : le potentiel hydrogène.

µs/cm : Microsiemens par centimètre.

(m³/s) : Mètres cubes par seconde.

PPM : partie par million.

P : précipitation.

ETP : Evapotranspiration Potentielle.

ETPc : Evapotranspiration potentielle corrigée.

De : déficit d'écoulement.

ETR : Evapotranspiration réelle.

R : Ruissellement.

ORSTOM : Office de la recherche scientifique et technique outre-mer.

NP : niveau piézométrique.

Q : débit.

DEM : Digitale élévation Modèle.

ES : Epuisement du stock.

SE : Surplus d'eau.

DA : Déficit Agricole.

OT : Oued Tassift.

OT4P : Oued Tassift ,**4**: numéro de la station, **p**: principal.

OT4G : Oued Tassift 4 affluent gauche.

OT4C: Oued Tassift 4 confluence.

OB: Oued Boukaraa.

OSND : Oued Saayoud Nil affluent droit.

ON : Oued Nil.

F° : degré français.

TH : dureté totale.

HCO₃⁻ : Bicarbonate.

Cl⁻ : chlorure.

Na⁺ + K⁺ : Sodium et le Potassium.

Mg⁺² : Magnésium.

Ca⁺² : Calcium.

Eh : potentiel rédox.

Liste des figures.

Figure	Titre	Page
Figure 01 :	Situation géographique du bassin versant d'oued Nil	1
Figure 02 :	Carte hypsométrique du bassin versant d'Oued Nil.	5
Figure 03 :	Les sous bassins versants d'Oued Nil.....	6
Figure 04 :	Définition de la longueur du bassin selon Horton.	8
Figure 05 :	Réseau hydrographique de bassin versant d'Oued Nil.	12
Figure 06 :	Courbe hypsométrique du bassin versant d'Oued Nil.	16
Figure 07 :	La carte de pente.....	21
Figure 08 :	Schéma structural de la chaîne Alpine de méditerranée occidentale (D'après Delga, 1969).	23
Figure 09 :	Rapports structuraux entre les différentes unités de la chaîne des Maghrébides (Delga, 1969).	24
Figure 10:	Carte géologiques de bassin versant d'oued Nil d'après la carte de J.M. VILA (1978).	25
Figure 11 :	Situation de la station météorologique d'Achouat.	27
Figure 12 :	Histogramme de variation des précipitations moyennes mensuelles de la station d'Achouat (1988-2015).	28
Figure 13:	Histogramme de la température moyenne mensuelle à la station d'Achouat (1988-2015).	28
Figure 14 :	Digramme Ombro-thermique de la station d'Achouat (1988-2015)	29
Figure 15 :	Représentation graphique du Bilan, station d'Achouat (1988 - 2015).	34
Figure 16 :	Photos illustrant le mode d'échantillonnage.	35
Figure 17 :	Appareillage utilisé pour mesurer les paramètres physiques in-situ	36
Figure 18 :	Dispositif de jaugeage.	37
Figure 19 :	la carte d'inventaire des stations de prélèvement d'eau dans le bassin versant d'oued Nil.....	39
Figure 20 :	Evolution de la température des oueds Tassift, Boukraa, Saayoud et Nil en Avril, 2015.	41
Figure 21 :	Evolution spatiale de pH des oueds Tassift, Boukraa, Saayoud et Nil en Avril, 2015.	42

Figure 22 : Evolution de la conductivité électrique des oueds Tassift, Boukraa, Saayoud et Nil en Avril, 2015.....	43
Figure 23 : Evolution de potentiel de redox des oueds Tassifte, Boukraa, Saayoud et Nil en Avril, 2015.	44
Figure 24 : Evolution spatiale de Ca^{+2} des oueds Tassift, Boukraa, Saayoud et Nil en Avril, 2015.....	45
Figure 25 : Evolution spatiale de Mg^{+2} des oueds Tassift, Boukraa, Saayoud et Nil en Avril, 2015.....	46
Figure 26 : Evolution spatial de $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$ des oueds Boukraa, Saayoud et Nil en Avril, 2015.....	47
Figure 27 : Evolution spatiale du Cl^{-} des oueds Tassift, Boukraa, Saayoud et Nil en Avril, 2015.....	48
Figure 28 : Evolution spatiale de HCO_3^{-} des oueds Tassift, Boukraa, Saayoud et Nil en Avril, 2015.....	49
Figure 29 : l'évolution journalière de la température au niveau de la station ON7.....	51
Figure 30 : l'évolution journalière de la conductivité électrique au niveau de la station ON7.....	52
Figure 31 : l'évolution journalière de l'oxygène dissous au niveau de la station ON7.....	53
Figure 32 : l'évolution journalière de potentiel d'hydrogène (pH) au niveau de la station ON7.....	53

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau 1:	Caractéristiques morphométriques du BV d'Oued Nil et de ses SBV.....	7
Tableau 2:	Indice de compacité de Gravelius des sous bassins d'Oued Nil.....	9
Tableau 3:	Indices de forme du bassin versant d'Oued Nil.....	10
Tableau 4:	Longueurs et largeurs des sous bassins versants d'Oued Nil.....	11
Tableau 5:	largeurs des sous bassins versants d'Oued Nil.....	11
Tableau 6:	Caractéristiques du chevelu hydrographique du bassin versant d'Oued Nil.....	13
Tableau 7:	Calcul de la densité de drainage de B.V d'Oued Nil.....	14
Tableau 8:	Altimétrie du bassin versant d'Oued Nil.....	15
Tableau 9:	Détermination graphique des altitudes.....	17
Tableau 10:	La dénivelée simple (D) de bassin de l'Oued Nil.....	18
Tableau 11:	Classification du relief selon ORSTOM.....	19
Tableau 12:	Classification de relief selon ORSTOM.....	20
Tableau 13:	Classification des pentes selon le comité de l'Union Internationale des Géographes.....	21
Tableau 14:	évapotranspiration potentielles ETP selon Thornthwaite [1988-2015].....	31
Tableau 15:	Calcule du bilan hydrique selon Thornthwaite dans la station d'Achouat [1988-2015].....	32
Tableau 16:	Calcul du R et I dans le bassin d'Oued Nil.....	33
Tableau 17:	Gamme de la dureté totale.....	49
Tableau 18:	classification des eaux en fonction de la dureté totale.....	50

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est la substance la plus courante qui couvre plus de 70% de la surface de la Terre. C'est le principal moteur de la vie et de l'activité humaine (le facteur de développement pour chaque pays). Il est plus important que jamais dans la vie humaine, elle est utilisée dans les maisons et les terres agricoles sèches. L'approvisionnement en eau douce devient de plus en plus difficile en raison de la croissance démographique, du niveau de vie et de la croissance rapide des modèles technologiques et industriels (**Rodier, 1996**). L'eau superficielle est l'eau qui se trouve à la surface ou proche de la surface du sol, dans une zone donnée, Ils sont sous forme de rivières, des lacs et des eaux de ruissellement qui s'y trouvent, sa température varie en fonction du climat et des saisons. Sa composition en sels minéraux est variable en fonction du terrain, de la pluviométrie et des rejets.

Les eaux de surface sont les plus sensibles à la pollution par les rejets qui en résultent à partir des activités humaines (urbanisation, industrie, l'agriculture), qui sont les principaux facteurs de dégradation de la qualité physico-chimique des eaux. Une eau de surface est ordinairement riche en oxygène et pauvre en dioxyde de carbone (**Bordet, 2007**). En Algérie, les données disponibles sur la qualité de l'eau révèlent que la plupart des ressources en eau sont polluées par les rejets non contrôlés des eaux municipales et des effluents industriels non traités (**Boudoukhana, 2008**).

La wilaya de Jijel est située au Nord de l'Algérie, dans la région de la petite Kabylie, elle engendre des bassins versants de grande importance (**Lehtihet, 1983**). Parmi eux ; le bassin versant d'oued Nil qui occupe une superficie de 304.36 km², appartient au bassin versant côtier constantinois du Nord-est Algérien. Il est caractérisé par un hiver modéré et une précipitation très importante (forte pluviométrie), et il appartient au climat méditerranéen (**Belli, 2009**). Il est divisé en trois sous bassin, est drainé par l'Oued Nil et ses affluents Oued Boukaraa, Oued Saayoud et Tassift.

Le bassin versant d'oued Nil, et particulièrement dans sa partie aval (la plaine) a connu un développement agricole galopant, ce développement nécessite une utilisation intensive des ressources en eau, accompagné par une application importante des intrants chimiques (engrais et pesticides), afin d'améliorer le rendement des cultures.

Dans cet optique vient ce travail qui est pour objectif, de faire un état des lieux sur la qualité des eaux de surface, suivi par une évaluation de l'évolution temporelle de la qualité des eaux. Pour atteindre cet objectif, le travail est structuré en quatre (4) chapitres :

- ✚ Chapitre I : vise la présentation générale de la zone d'étude, en abordant aussi les Caractéristiques physico-géographiques, géomorphologiques, morphométriques et hydrographiques du bassin versant d'oued Nil.
- ✚ Chapitre II : La présentation du milieu : nous nous sommes donc attachés à définir le cadre général de notre région d'étude, dans le but d'en tirer une monographie géographique, géologique et hydro-climatologique.
- ✚ Chapitre III : La stratégie de prélèvement, le matériel utilisé et la méthode de jaugeage.
- ✚ Chapitre IV : Etude hydro-chimique des eaux de surface du bassin versant d'oued Nil, à travers la représentation graphique des résultats, puis l'interprétation en cherchant l'origine probable pour chaque élément.

Chapitre 1 :
Etude du bassin versant

1. Introduction

Le bassin versant en une section droite d'un cours d'eau, est donc défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de cette section. Le comportement hydrologique du bassin versant est influencé par ses caractéristiques orographiques, géologiques et pédologiques. De ce fait l'étude des caractéristiques morphométriques d'un bassin versant est d'une importance significative, puisqu'elle permette la mesure des facteurs caractéristiques et la quantification des paramètres physiques qui interviennent dans son écoulement.

2. Situation géographique de la zone d'étude

Le bassin versant d'oued Nil est situé dans la partie Est de la wilaya de Jijel, il se trouve exactement à une vingtaine de kilomètre du chef-lieu de la wilaya (*fig.1*). Ce bassin représente le nerf actif de la wilaya, à cause des ressources en eau qu'il comporte et des activités agricoles pratiquées dans sa partie avale. Le bassin versant d'oued Nil occupe une superficie de 304,36 Km², il est limité à l'Ouest par les frontières naturelles du bassin versant d'Oued Djendjen, au Sud et à l'Est par le bassin versant de Kébir-Rhumel et au Nord la mer Méditerranée. Notre bassin versant est caractérisé par un hiver modéré et une précipitation très importante (forte pluviométrie), et il appartient au climat méditerranéen (**Belli, 2009**). Il est divisé en trois sous bassin, est drainé par l'Oued Nil et ses affluents Oued Boukaraa, Oued Saayoud et Tassift. Oued Nil est l'un des oueds les plus importants de la région de Jijel (**Lehtihet, 1983**), cet oued a un débit annuel de 230 millions de mètres cubes à l'embouchure (**Sadoun, 2013**).

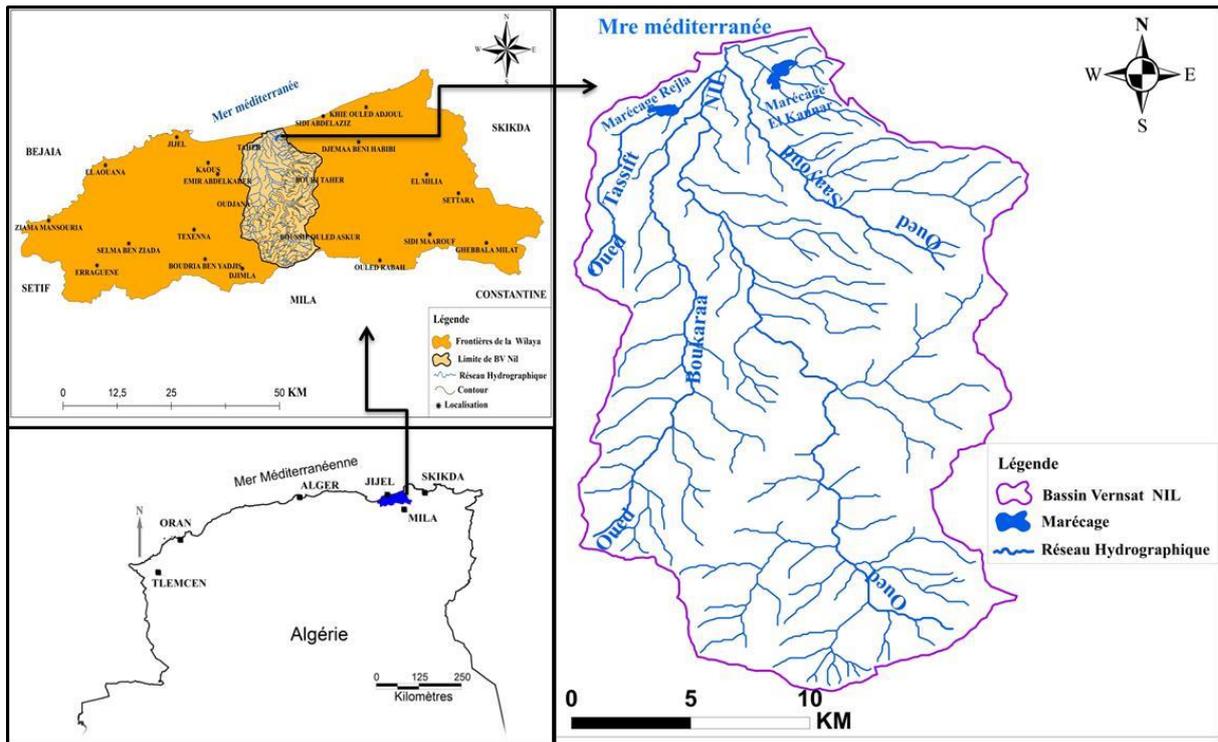


Figure 01 : Situation géographique du Bassin versant d'Oued Nil

3. Etude morphométrique du bassin versant

L'écoulement naturel de l'eau est parfois influencé par les conditions climatiques et par les caractéristiques physiques, parmi les caractéristiques physiques les plus importantes et qui jouent un rôle essentiel dans l'analyse morpho-métriques du bassin sont : la superficie, la forme, le relief, la densité de drainage, la fréquence des cours d'eau, l'allongement du bassin versant.

3.1. Définition d'un bassin versant :

Le bassin versant en un point ou plus précisément dans une section droite d'un cours d'eau est indiqué comme la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de la dite section ; tous les écoulements prenant début à l'intérieur de cette surface doivent passer la section droite considérée pour suivre leur trajet vers l'aval. En d'autres termes, il s'agit d'un domaine dans lequel tous les écoulements des eaux convergent vers un même point, exutoire de ce bassin.

3.2. Caractéristiques géomorphologiques et relief du bassin versant d'Oued Nil

À travers l'analyse topographique du bassin versant d'oued El Nil (fig.2), nous identifions deux unités topographiques comme suit :

La plaine alluviale d'oued Nil, qui se trouve dans la partie aval du bassin est caractérisée par une assez faible pente de 15 à 30% d'altitude (topographie sub-plane), matérialisée par le sens de l'écoulement superficiel. La plaine est graduée 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.

Les zones montagneuses plus ou moins élevées, qui occupent surtout les bordures du bassin versant dont les principaux sont : Djebel El kel'A (311m), Seddet (956 m), Touzlant (921 m), Echla'la (843 m), Tazamt (851 m) et El Medayene (791 m) (fig. 2).

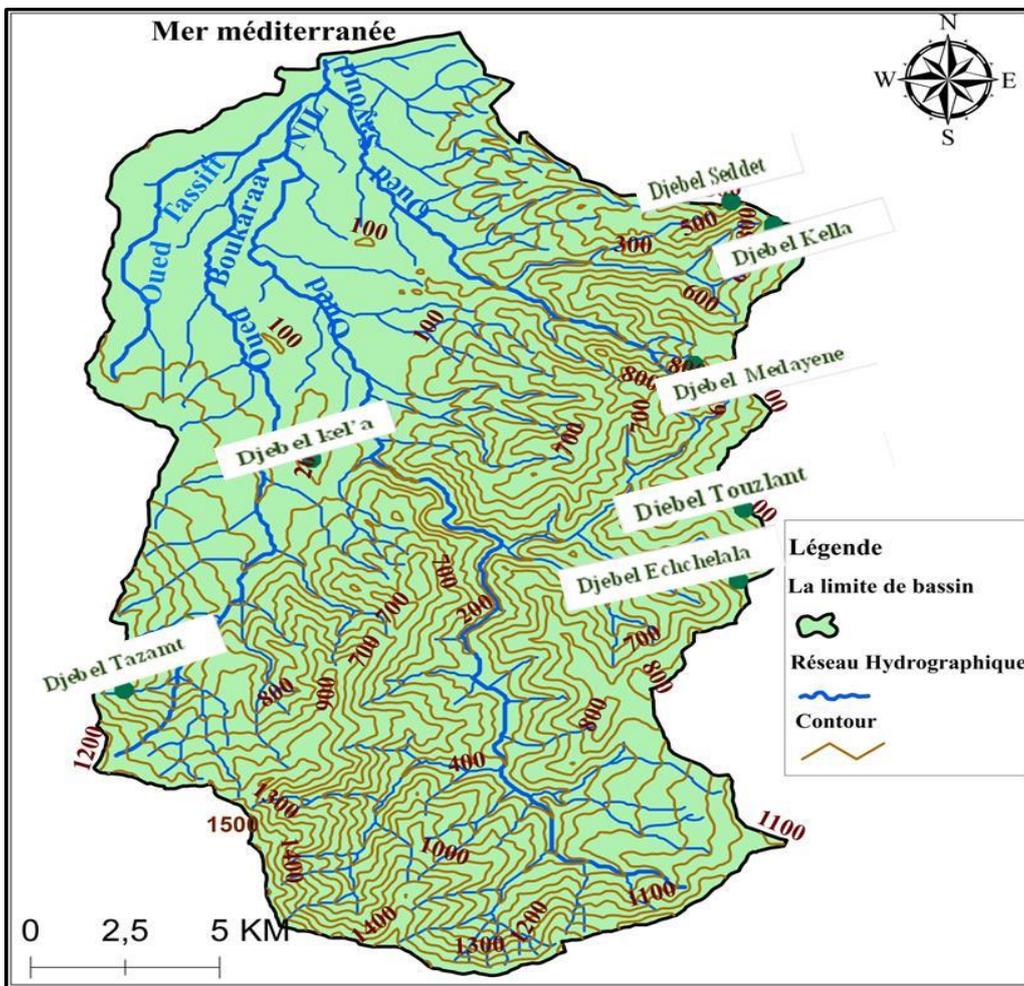


Figure 02 : Carte hypsométrique du bassin versant d'Oued Nil.

3.3. Les caractéristiques physiques du bassin versant d'Oued Nil

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

Afin de mieux comprendre le comportement hydrologique du bassin versant d'Oued Nil, il faut d'abord connaître les propriétés morphométriques ; qui expliquent le cycle de transformation des pluies en débit et sont prêtes pour l'analyse quantitative.

Le bassin versant d'Oued Nil est divisé en cinq sous bassin versant qui sont : le sous bassin versant d'Oued Tassift et le sous bassin versant d'Oued Boukaraa, le sous bassin versant d'Oued Nil, sous bassin d'Oued Saayoud et enfin le sous bassin versant du marécage d'El Kannar (fig. 3)

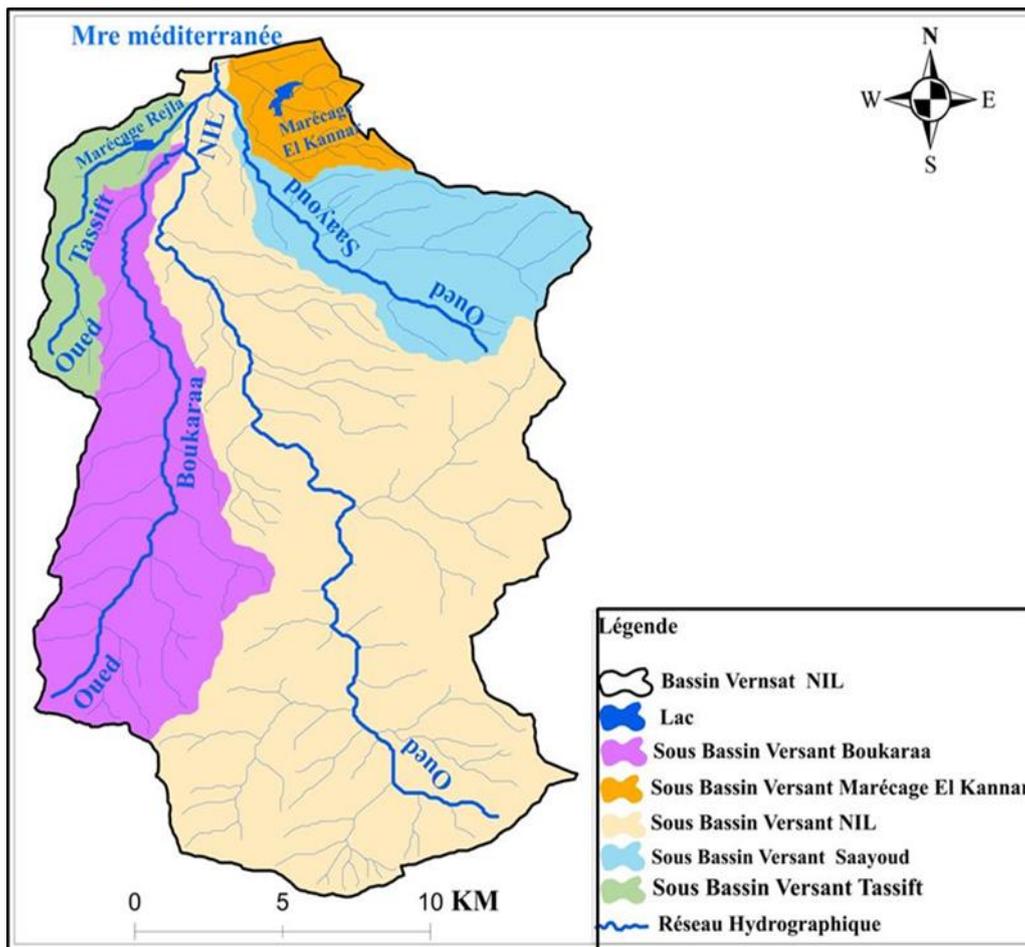


Figure 03 : Les sous bassins versants d'Oued Nil.

3.4. Les caractéristiques géométriques du bassin versant d'Oued Nil

Les caractéristiques morphométriques du bassin sont liées les unes aux autres dans les modalités d'écoulement, d'après le traitement des cartes DEM et à l'aide de Global Mapper13 et Arc Gis, nous avons pu identifier les propriétés du bassin versant d'Oued Nil et les sous bassins de ses affluents. Ces caractéristiques sont résumées dans le tableau 01.

3.4.1. Le périmètre (P)

Le périmètre c'est le curvimètre du bassin sur la carte topographique, selon l'échelle de la carte, et leur mesure est effectuée directement à l'aide d'un curvimètre. Le périmètre du bassin versant d'Oued Nil et de ses sous bassins est donné dans le tableau N°01.

3.4.2. La superficie (S) :

La superficie du bassin est un élément essentiel, et obtenue par planimétrage sur les cartes topographiques. Ce planimétrage peut être réalisé à l'aide, d'un planimètre ou d'un papier quadrillé tel que le papier millimétré. La surface **S** d'un bassin s'exprime généralement en Km². La superficie planimétrie de notre bassin versant est de l'ordre de **304.36 km²**.

Tableau 01 : Caractéristiques morphométriques du BV d'Oued Nil et de ses SBV.

Caractéristiques	Bassin Versant d'Oued Nil	Sous bassin d'oued Nil	Sous bassin d'oued Tassift	Sous bassin d'oued Saayoud	Sous bassin d'oued Boukaraa	Sous Bassin du Marécage El Kannar
Périmètre (km)	84.965912	83.120808	26.33718	33.77032	49.317964	17,37777
Surface (km²)	304.356441	175.753674	16.031001	38.597239	60.793748	13,052004
Min X (DD)	5.882336	5.916710	5.879660	5.939566	5.882797	5.938592
Max X (DD)	6.042013	6.033807	5.928450	6.050162	5.954205	5.996203
Min Y(DD)	36.582761	36.582761	36.728874	36.74733	36.628650	36.795908
Max Y(DD)	36.831615	36.828071	36.817396	36.829240	36.801956	36.832527
Min Z (m)	1	1	6	2	9	3
Max Z (m)	1383	1383	286	820	1315	453
Moy-Z (m)	450.325	526.574	63.478	298.683	453.657	/
Moy-pente	15.74°	17.77°	4.72°	15.17°	13.11°	/

3.4.3. La forme du bassin versant

La forme du bassin versant influence les caractéristiques de l'écoulement résultant d'une pluie donnée (*Roche, 1963 ; Strahler, 1964*). Par conséquent, les hydrologues ont ajouté une foule d'efforts pour développer un facteur permettant d'obtenir une description de ce à quoi ressemble un bassin versant, en utilisant des indicateurs simples qui peuvent être calculés à partir de cartes topographiques. L'idée la plus simple est de comparer le bassin étudié à un bassin de forme standard. Plusieurs indices sont utilisés pour décrire la forme d'un bassin versant (*tab. 3*).

3.4.3.1. Indice de Horton (Rf)

Dans un système d'unités stationnaires, ce facteur sans dimension peut être calculé par

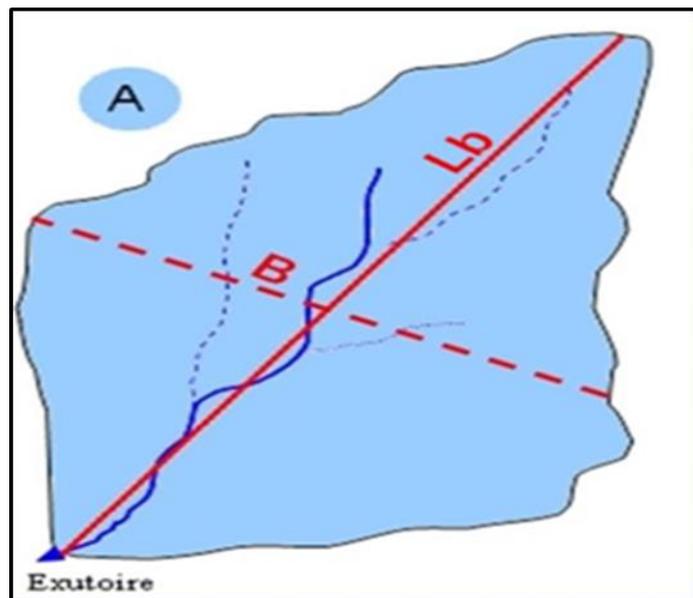
$$Rf = S/(Lb)^2$$

Équation :

S : la superficie du bassin.

Lb : la longueur du bassin mesurée à partir de l'exutoire jusqu'à la ligne de partage des eaux la plus proche de la source du plus long thalweg le long d'une ligne droite (*fig. 4*).

Ce facteur est égal à **0,79** pour un cercle, **1** pour un carré dont l'exutoire se situe au milieu d'un côté, ou **0,5** si l'exutoire se situe au niveau de l'angle défini par deux côtés.



. **Figure 04** : La longueur du bassin selon Horton

L'application de la formule sur le BV d'Oued Nil a donné un $R_f = 304.36 / (33.33)^2 = 0,27$.

$R_f = 0,27 < 0,5$ (L'exutoire située au niveau de l'angle).

3.4.3.2. Indice de compacité de Gravelius (K_c)

C'est un indicateur exprimé comme la différence entre le périmètre du bassin et le périmètre d'un cercle ayant la même superficie que celui du bassin, tandis que le coefficient de pression de Gravelius (K_c) est utilisé pour déterminer la géométrie du bassin versant. Il peut être déterminé à partir de l'équation suivante :

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

Où :

K_c : Coefficient de compacité de Gravelius,

P : Périmètre du bassin versant (km),

S : Surface du bassin versant (km²).

Plus le coefficient se rapproche de la valeur **1**, plus la forme du bassin devient circulaire, la forte valeur indique un bassin allongé. Le bassin versant d'Oued Nil a un $K_c = 1.36$, le bassin est donc moyennement allongé.

L'application de la formule sur le BV d'Oued Nil et de ses sous bassins a donné les résultats récapitulés dans le tableau N°02.

Tableau 02 : Indice de compacité de Gravelius des sous bassins d'Oued Nil

Sous bassins versants	Indice de compacité (K_c)
SBV d'Oued Boukraa	1.77
SBV d'Oued Saayoud	1.52
SBV d'Oued Tassift	1.84
SBV d'Oued El Nil	1.75
BV d'Oued El Nil	1.36

3.4.3.2. Indice de Miller (R_c)

Cet indice définit par le rapport de la superficie du bassin versant (**S**) à la superficie du cercle (**S_c**) ayant le même périmètre (**P**) que le bassin versant est donné par :

$$\mathbf{Rc=4\pi S/P^2}$$

Le calcul donne un $\mathbf{Rc=4\pi 304.37/ (84.97)^2= 0.53}$

Le rapport de circularité de Miller est égal à **1** pour un cercle et décroît au fur et à mesure que l'élongation du bassin est importante.

Le bassin versant d'oued Nil à un $\mathbf{Rc=0.53}$, indique que le bassin est un rectangle.

Tableau 03 : Indices de forme du bassin versant d'oued Nil.

Indice	Formule	Résultat	Forme
Horton (R_f)	$R_f = S/(L_b)^2$	$R_f = 0.27$	Allongé
Gravelius (K_c)	$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}}$	$K_c = 1.36$	Le bassin est donc moyennement allongé.
Indice de Miller (R_c)	$R_c = 4\pi S/P^2$	$R_c = 0.53$	Le bassin est un rectangle.

3.4.4. Rectangle équivalent

C'est un concept qui a été introduit afin de pouvoir comparer les bassins versants. Car ses propriétés géométriques ont un point donné influe sur l'écoulement, nous définissons donc le rectangle équivalent comme un rectangle de longueur **L** et de largeur **I** ayant la même surface et le même périmètre du bassin versant de cette façon les courbes de niveaux deviennent parallèles au petit côté du rectangle, et l'exutoire un petit côté du rectangle et comme ça on pourra comprendre le comportement hydrologique du bassin.

$$\mathbf{P = 2*(L + I)} \quad \text{et} \quad \mathbf{S = L*I}$$

- **Longueur (L) :** $L = \frac{K_c \sqrt{S}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right]$
- **Largeur (I) :** $I = \frac{K_c \sqrt{S}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right]$

Avec :

L : Longueur du rectangle équivalent (Km) ;

I : Largeur du rectangle équivalent (Km) ;

Kc : Indice de compacité de Gravelius ;

S : Surface du bassin versant (Km²) ;

Les résultats de l'application des formules sont donnés dans le tableau N° 04.

Tableau 04 : Longueurs et largeurs des sous bassins versants d'Oued Nil.

Nom des sous bassins versants	Longueurs du rectangle équivalent L (Km)	Largeur du rectangle équivalent l (Km)
SBV d'oued Boukraa	21.84	2.77
SBV d'oued Saayoud	14.19	2.70
SBV d'oued Tassift	11.82	1.13
SBV d'oued Nil	36.73	4.80
Bassin versant d'Oued Nil	33.33	9.008

3.4.5. Largeur moyenne du bassin (B)

C'est une approximation du rapport de la superficie (km²) à la longueur du thalweg principal (L_p en km) ou longueur rectangulaire équivalente (L_e en km) et alternativement par la médiatrice à L_b (fig. 4) ;

$$B = \frac{S}{L_p} = \frac{S}{L_e}$$

S : la superficie (km²).

L_p : la longueur du thalweg principal (km).

L_e : la longueur du rectangle équivalent (km).

Les résultats obtenus sont dans le tableau N°05.

Tableau 05 : largeurs des sous bassins versants d'Oued Nil.

Nom des sous bassins versants	Largeur moyenne du bassin (B) (Km)
SBV d'oued Boukraa	2.78
SBV d'oued Saayoud	2.71
SBV d'oued Tassift	1.35
SBV d'oued Nil	4.78
Bassin versant d'Oued Nil	9.131

3.5. Caractéristiques hydrographiques du bassin versant d'Oued Nil :

3.5.1. Réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique c'est l'ensemble des cours d'eau naturels permanents ou temporaires, par lesquels s'écoulent toutes les eaux de ruissellement et déplace vers un point de vidange du bassin versant (exutoire). Le débit annuel d'Oued Nil en aval atteint environ 230 millions de mètres cubes, ce qui est considéré comme l'une des oueds les plus importantes de la région de Jijel (**Lehtihet 1983**), où la largeur des lits de ces oueds est de 10 à 35 mètres et leur profondeur de 2 à 4 mètres (Bishkit, 2005).

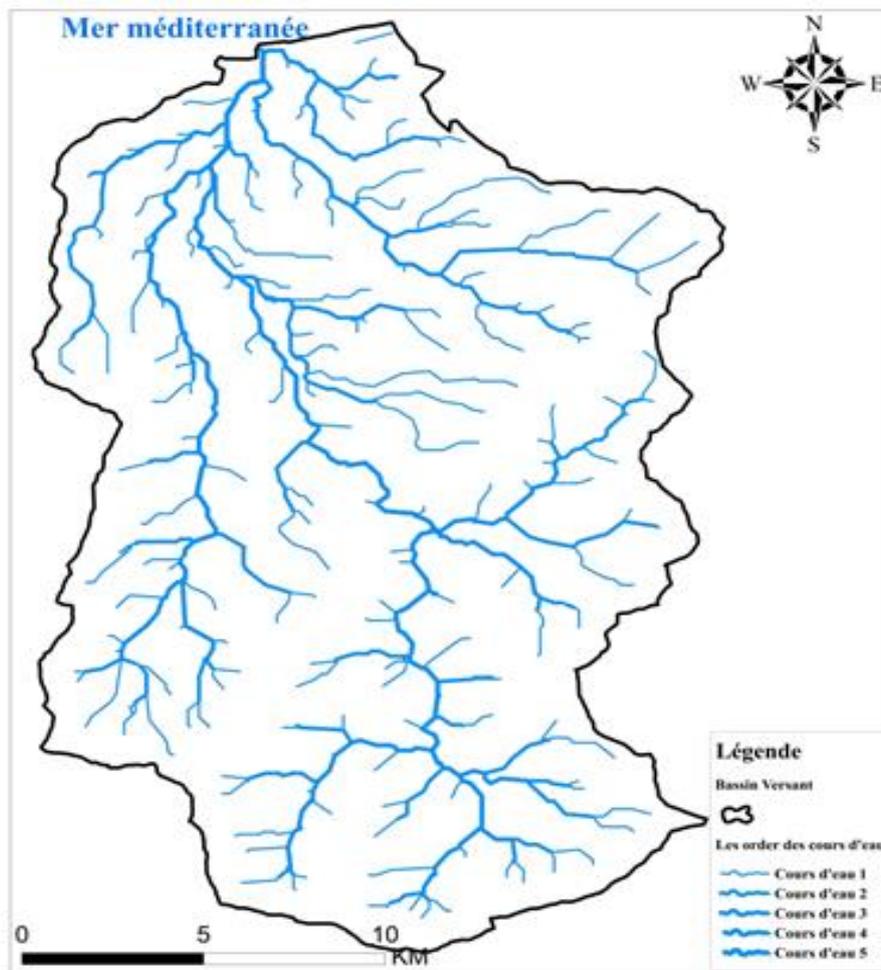


Figure 0 5: Réseau hydrographique de bassin versant d'Oued Nil.

3.5.2. Longueur et nombre de thalwegs :

La mesure des longueurs des thalwegs concoure aux différents calculs des paramètres morphométriques tels que les rapports de longueur et de confluence, la densité de drainage et le temps de concentration. La détermination des rapports de confluence et de longueur par la méthode de Strahler nécessite un ordre du chevelu hydrographique du bassin versant. Les

caractéristiques du chevelu hydrographique du bassin versant d'Oued Nil et ses sous bassins versants sont récapitulées dans le tableau suivant (tab.06).

Le réseau hydrographique du bassin versant a été classé suivant la méthode de STRAHLER, cette classification a été réalisée à partir de l'extraction de réseau hydrographique sur la base d'image RASTER.

Tableau 06 : Caractéristiques du chevelu hydrographique du bassin versant d'Oued Nil.

Ordre	Bassin versant		Sous bassins versants									
	Oued Nil		Oued Nil		Oued Boukraa		Oued Saayoud		Oued Tassift		Marécage El Kannar	
	(Nx)	Lx (km)	(Nx)	Lx (km)	(Nx)	Lx (km)	(Nx)	Lx (km)	(Nx)	Lx (km)	Nx	Lx
1	231	174.893	131	92.601	42	38.515	32	25.962	13	8.805	13	9.893
2	91	90.275	48	47.677	17	17.315	16	11.695	3	6.362	7	7.226
3	32	55.543	27	28.382	2	7.184	1	13.236	1	3.484	1	3.257
4	12	19.117	11	4.374	1	14.743						
5	1	27.89										
BV Oued Nil	367	368.601										

3.5.3. Densité de drainage :

La densité du drainage permet de comparer les écoulements de surface au niveau des sous-bassin, comme elle nous donne aussi un aperçu complet de la nature rocheuse interrompue par les rivières du bassin versant d'oued Nil. Donc la densité de drainage est définie pour un bassin donné de superficie S, comme la longueur totale des cours d'eau de tous ordres sur la

$$\text{Surface drainée : } D_d = \frac{\sum_{x=1}^n l_x}{S}$$

Avec :

D_d : Densité du drainage en Km/Km²

∑l_x : Longueur totale du réseau hydrographique Km,

S : Surface du bassin versant en Km²

La densité du drainage dans le bassin versant d'Oued Nil est d'environ 1.211 km/km². Le bassin versant d'Oued Nil ayant un réseau hydrographique dense et continu, et aussi composé de plusieurs affluents courts et multiples, le type de drainage est perpendiculaire.

Tableau 7 : Calcul de la densité de drainage de B.V d'Oued Nil.

BV de l'Oued Nil	304.36	368.601	1,211

3.5.4. Coefficient de torrentialité :

Ce paramètre reflète la nature des fortes pluies dans le bassin. Il est fortement lié à l'intensité du drainage et à la fréquence des drains car il donne une idée du comportement de son réseau. Autrement dit, comment l'eau de l'ordre inférieur atteint-elle la rivière principale. Ce coefficient est de 0,58, ce qui signifie que plus de la moitié des bassins versants sont constitués de rivières de première classe. Où il est exprimé dans la relation suivante :

$$C_T = F1 * D_d$$

Avec :

C_T : Coefficient de torrentialité.

F1 : la fréquence des drains d'ordre 1 à la superficie du bassin versant en Km.

D_a : Densité du drainage en Km/Km².

Coefficient de torrentialité du bassin versant d'Oued Nil $C_T = 0.716 * 1.211 = 0.91$.

Cette valeur traduit que le bassin présente des caractéristiques morphométriques adapté à l'écoulement.

3.6. Les caractéristiques du relief du bassin versant d'Oued Nil

Le relief, ou topographie, est essentiel pour une meilleure compréhension des processus hydrologiques. Ils peuvent jouer un rôle important dans l'adaptation du comportement hydrologique d'un bassin. La différence d'altitude au sein du bassin versant affecte de nombreux facteurs hydrométéorologiques (température, précipitations, forme du bassin) ainsi

que l'effet de la pente sur la vitesse d'écoulement. L'atténuation est également déterminée par les indicateurs ou caractéristiques suivants :

3.6.1. La courbe hypsométrique :

L'analyse hypsométrique joue un rôle très utile dans l'étude de la satisfaction, car elle permet de connaître et de comprendre l'interrelation entre les paramètres hydro-climatiques (précipitations, ruissellement et équilibre d'eau) et la hauteur du bassin, où il devient nécessaire d'étudier la répartition de la surface du bassin en fonction de la catégorie de hauteur. Les fréquences altimétriques du bassin versant d'Oued Nil et des sous-bassins de ses affluents sont résumées dans le tableau N°08.

Tableau 8 : Altimétrie du bassin versant d'Oued Nil.

Altitude (m)	DHi	Surface partielle (Si)		DHi.Si	Cote (m)	Surface cumulée	
		Km ²	%			Km ²	%
0-100	50	70.687	23.22	3534.35	1500	0	0
100-200	150	23.287	7.65	3493.05	1400	0.86	0.28
200-300	250	24.866	8.16	6216.5	1300	3.46	1.13
300-400	350	26.5	8.70	9275	1200	7.84	2.56
400-500	450	28.81	9.46	12964.5	1100	15.19	4.97
500-600	550	29.01	9.53	15955.5	1000	24.16	7.91
600-700	650	29.33	9.63	19064.5	900	34.23	11.21
700-800	750	23.99	7.88	17992.5	800	48.38	15.85
800-900	850	14.15	4.64	12027.5	700	72.37	23.73
900-1000	950	10.07	3.30	9566.5	600	101.7	33.36
1000-1100	1050	8.97	2.94	9418.5	500	130.71	42.89
1100-1200	1150	7.35	2.41	8452.5	400	159.52	52.35
1200-1300	1250	4.38	1.43	5475	300	186.02	61.05
1300-1400	1350	2.6	0.85	3510	200	210.886	69.21
1500	1450	0.86	0.28	1247	100	234.173	76.86
Total	11250	304.36	100	138192.9	-	304.36	100

Les courbes hypsométriques restent un outil pratique pour comparer plusieurs bassins entre eux ou entre différentes sections d'un même bassin. Elles peuvent également être utilisées pour déterminer les précipitations moyennes sur les bassins versants et pour donner

des indications sur le comportement hydrologique et hydraulique de l’oued du bassin et de son système de drainage.

La courbe hypsométrique du bassin versant du Nil est présentée à la figure 06. Une forme concave indique que le bassin est dans un état mature.

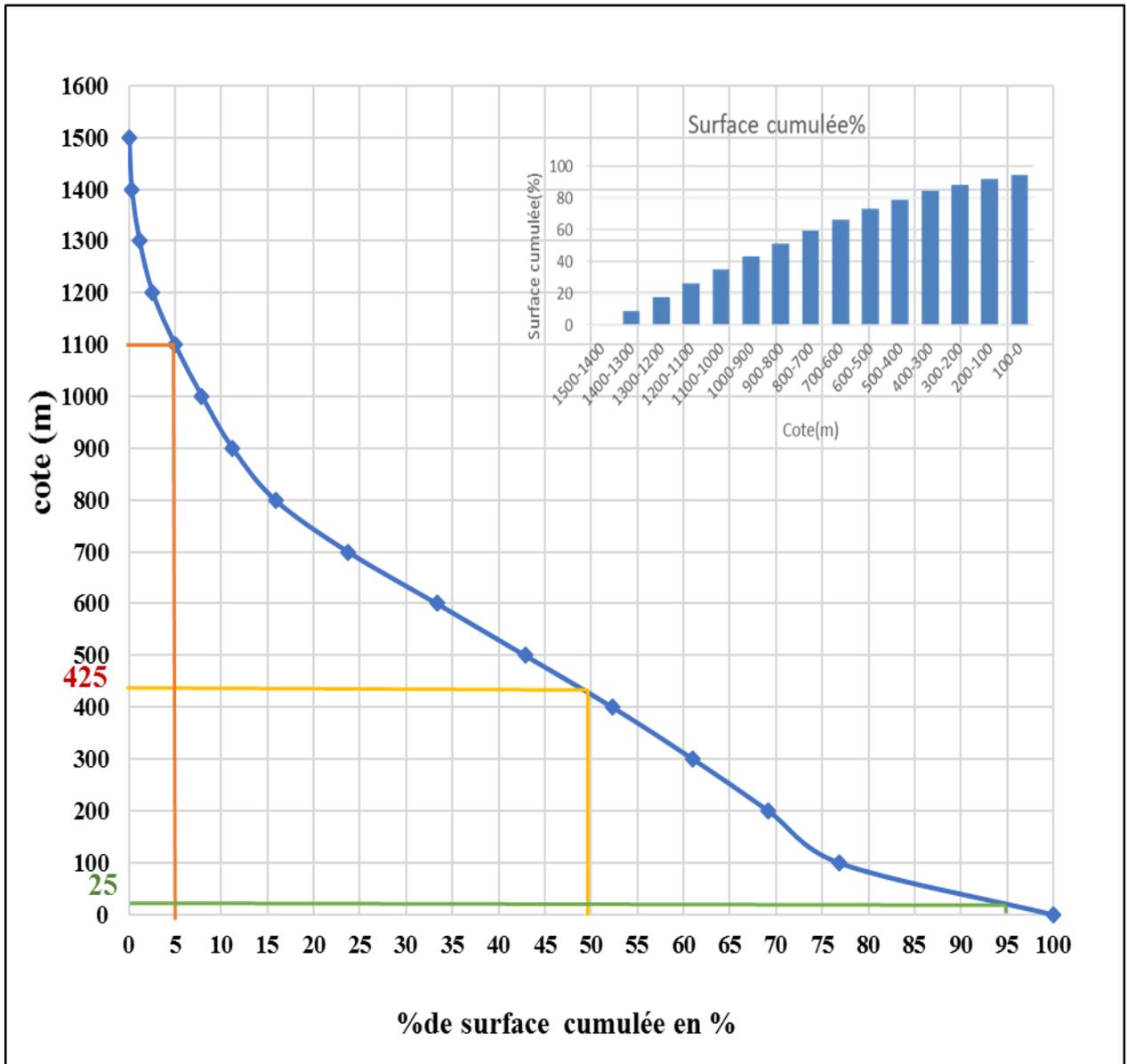


Figure 06 : Courbe hypsométrique du bassin versant d’Oued Nil.

3.6.2. Les altitudes caractéristiques du bassin versant d'Oued Nil

❖ L'altitude moyenne

La valeur de l'altitude moyenne du bassin versant d'Oued Nil peut être calculée par la formule suivante :

$$H_{\text{moy}} = \frac{\sum H_i S_i}{S_t}$$

Avec :

H_{moy} : Altitude moyenne (m).

H_i : Cote moyenne (m).

S_i : Surface partielle, comprise entre deux courbes de niveau (Km²).

S_t : Surface du bassin (km²).

L'altitude moyenne de bassin versant d'Oued Nil (H_{moy}) calculée par la formule ci-dessus est de l'ordre de **454.04m**.

❖ L'altitude médiane (H_{med}) :

L'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique. Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne, dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière. L'altitude médiane de bassin versant d'Oued Nil (H_{med}) est de l'ordre de **425 m**.

Le tableau N° 09 permet de résumer des différentes altitudes déterminées à partir de la courbe Hypsométrique :

Tableau 09 : Détermination graphique des altitudes.

Altitude	Valeur(m)
Altitude maximale (H_{max})	1490
Altitude minimale (H_{min})	0
Altitude médiane ($H_{50\%}$)	425
$H_{5\%}$	1100
$H_{95\%}$	25

3.6.3. Les indices de pente du bassin versant d'Oued Nil :

3.6.3.1. La dénivelée utile (D_u)

A partir de la courbe hypsométrique tracée (*fig.6*) on prend la distance verticale en (m), qui sépare les altitudes ayant 5 % et 95 % de la surface totale du bassin versant ou c'est la différence entre la cote H5% et H95%, la dénivelée simple est donc égale à :

$$D_u = H5\% - H95\%$$

Tableau 10 : La dénivelée simple (D) de bassin de l'Oued Nil.

Bassin versant	H5 %	H95 %	$D_u = H5\% - H95\%$
Oued Nil	1100 m	25m	1075 m

3.6.3.2. La dénivelée maximale (D_{max})

$$D_{max} = H_{max} - H_{min}$$

$$D_{max} = 1490 - 0 \text{ donc } D_{max} = 1490 \text{ m}$$

3.6.3.3. Indice de pente globale (I_g)

L'indice de pente global (I_g), exprimé en m/km, est donné par le rapport de la dénivelée utile (D_u), en m estimée à partir de la courbe hypsométrique ; à la longueur du rectangle équivalent en km (L_e). Cet indice est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$I_g = \frac{D_u}{L_e}$$

Avec : D_u : dénivelée utile (m).

L_e : longueur du rectangle équivalent (km).

L'application de la formule sur le bassin versant d'oued Nil donne :

$$I_g = 1075 / 33.33 = 32,25 \text{ m/km}$$

Selon la classification d'ORSTOM (*tab. 11*) l'indice de pente globale et compris entre $20 < I_g < 50$ donc le relief du bassin versant est assez fort.

Tableau11 : Classification du relief selon ORSTOM.

Valeur de l'indice de pente globale	Caractéristique du relief
$I_g < 0,2$	Très faible
$2 < I_g < 5$	Faible
$5 < I_g < 10$	Assez faible
$10 < I_g < 20$	Modéré
$20 < I_g < 50$	Assez fort
$50 < I_g < 100$	Fort
$I_g > 100$	Très fort

3.6.3.4. Indice de Pente de Roche I_p :

L'indice de pente de Roche est calculé par la formule suivante :

$$I_p = \sqrt{\frac{I_g}{0,8}}$$

Avec :

I_p : indice de pente de Roche (m/km).

I_g : indice de pente globale (m/km).

$$I_p = \sqrt{0,032 / 0,8} \quad , \quad I_p = 0,2 \text{ m/km.}$$

L'indice de pente de Roche (I_p) du bassin versant d'Oued Nil est de **0,2m/km**

3.6.3.5. La Dénivelée Spécifique (DS) :

Exprimée en mètre ; la dénivelée spécifique donne la possibilité de comparer entre les valeurs des différents bassins. Elle s'obtient à partir de l'indice de pente global et la superficie par la relation :

$$D_s = I_g \times \sqrt{S}$$

Avec : I_g : indice de pente globale (m/km).

S : surface en Km^2

$D_s = 32,25\sqrt{304,36} = 562,63m$, donc La dénivelée spécifique du bassin versant d'Oued Nil est de **562,63m**, cette valeur correspond à un relief très fort (tab.12).

Tableau 12 : Classification de de relief selon ORSTOM.

Classe de relief	Dénivelée spécifique (m)	Dénomination
R1	DS < 10	Relief très faible
R2	10 < DS < 25	Relief faible
R3	25 < DS < 50	Relief assez faible
R4	50 < DS < 100	Relief modéré
R5	100 < DS < 250	Relief assez fort
R6	250 < DS < 500	Relief fort
R7	DS > 500	Relief très fort

3.6.3.6. La carte de pente :

La carte des pentes est un élément fondamental dans toute étude morphométrique d'un bassin versant car les pentes constituent un des facteurs essentiels de l'écoulement des eaux et un élément important influant sur l'érosion hydrique. Cette carte peut être obtenue par la méthode dite de carroyage. Cette méthode consiste à procéder à un maillage carré sur l'ensemble du bassin dont la taille de chaque maille dépend de l'échelle de la carte et de la précision recherchée de la pente moyenne du bassin. Au milieu de chaque maille on détermine la valeur de la pente en divisant la différence d'altitude matérialisée par deux courbes de niveau à l'intérieur de la maille par la distance séparant perpendiculairement ces deux courbes. On trace ensuite la carte d'égale pente en utilisant un logiciel approprié (ArcGIS par exemple) ou, à défaut, la méthode d'interpolation triangulaire.

Les aires élémentaires comprises entre deux valeurs successives de la pente sont obtenues par planimétrie à un pas donné et les résultats, consignés dans un tableau, permettent de calculer la pente moyenne pondérée du bassin versant ainsi que de tirer quelques informations utiles sur la distribution des pentes et, par conséquent, les caractéristiques du relief dans le bassin étudié (*fig. 07 et tab.13*).

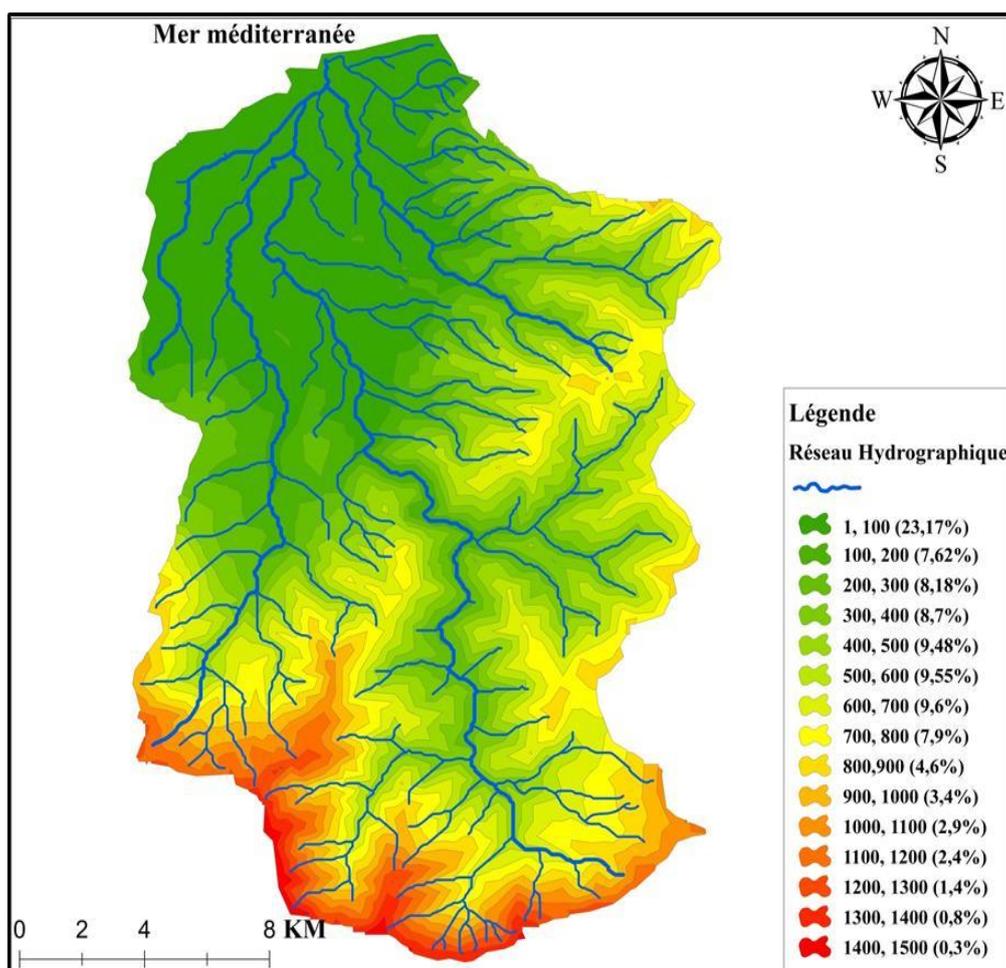


Figure 07 : la carte de pente.

Tableau 13 : Classification des pentes selon le comité de l'Union Internationale des Géographes.

Classe de pente (m/km)	Caractéristiques du relief
0 – 35	Pente légèrement inclinée
35 – 90	Pente moyennement inclinée
90 – 270	Pente fortement inclinée
270 – 560	Pente raide à très raide

4. Conclusion :

L'analyse morphométriques du bassin versant d'Oued Nil permet d'évaluer un certain nombre de paramètres très importants qui doivent être étroitement liés à leur nature rocheuse et topographie. Il s'étend sur une superficie de 304.36 km² est caractérisé par une forme moyennement allongée, ce qui lui confère un temps de concentration des eaux de ruissellement plus court. Le bassin est caractérisé par un relief assez fort ($I_g = 32,25\%$) avec une tendance forte qui présente bien sur un volume montagneux plus important ; et donc le débit d'eau est modéré. L'altitude moyenne est de 454.04m, elle donne une idée sur la morphométrie du bassin (relief, plaine...etc.), La valeur de la densité de drainage (1,211Km/km²) confirme les résultats précédents quant aux valeurs d' I_g et I_p , la valeur élevée de la densité de drainage d'oued Nil peut être attribuée aux pentes plus fortes, aux formations lithologiques et relativement à l'abondance des précipitations.

Chapitre 2 :
Géologie et Climat

1. Introduction

Parmi les études les plus importantes, on a la géologie et l'hydro-climatologie sachant que les deux jouent un rôle important pour la détermination des caractéristiques géologique et climatique avec une signification importante sur la qualité des eaux, car la géologie influe sur les phénomènes d'altération et les précipitations influent sur les phénomènes de dilution et aussi d'altération.

2. Contexte géologique

2.1. La géologie régionale

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

- ✓ Une branche septentrionale (Européenne), représentée par les Cordillères Bétiques du Sud de l'Espagne (Péninsule Ibérique).
- ✓ Une branche méridionale ou Maghrébides, qui regroupe les chaînes rifaines, telliennes, Nord Siciliennes, et Calabraises (fig. 08).

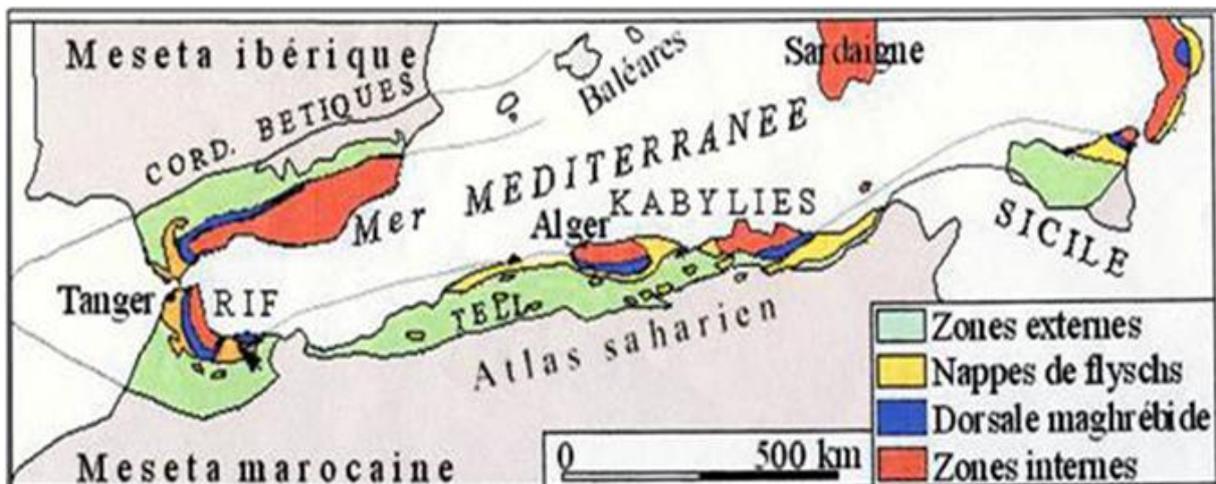


Figure 08 : Schéma structural de la chaîne Alpine de méditerranée occidentale (D'après Delga, 1969).

En Algérie la chaîne Alpine s'étend linéairement sur plus de mille deux cents kilomètres (**1200 Km**), d'Ouest en Est le long du littoral méditerranéen. Cette dernière, constitue l'un des segments de la grande chaîne des Maghrébides qui s'étale sur plus de deux milles kilomètres (**2000 Km**), allant de Gibraltar à la Calabre (**Durand Delga, 1971**).

La géologie de la région de Jijel fait partie de la petite Kabylie qui est constituée d'une triple couverture, formée des sédiments côtiers du bassin de Jijel, pendant le Néogène. Le troisième revêtement est situé au sommet de l'ancienne base métamorphique (Kabylie), dans les terres du Crétacé appartenant à une série de types flysch (**Berkane, 2011**).

Structurellement, il comprend la base du kabyle, qui est divisée en un groupe de roches cristalphylliennes métamorphiques et métamorphiques sédimentaire de l'ordovicien à carbonifère. Le socle kabyle bordé au sud par les unités mésozoïques et cénozoïques de la Dorsale Kabyle appelée parfois « chaîne calcaire » à cause de l'importance du Jurassique inférieur calcaire (*fig. 09*).

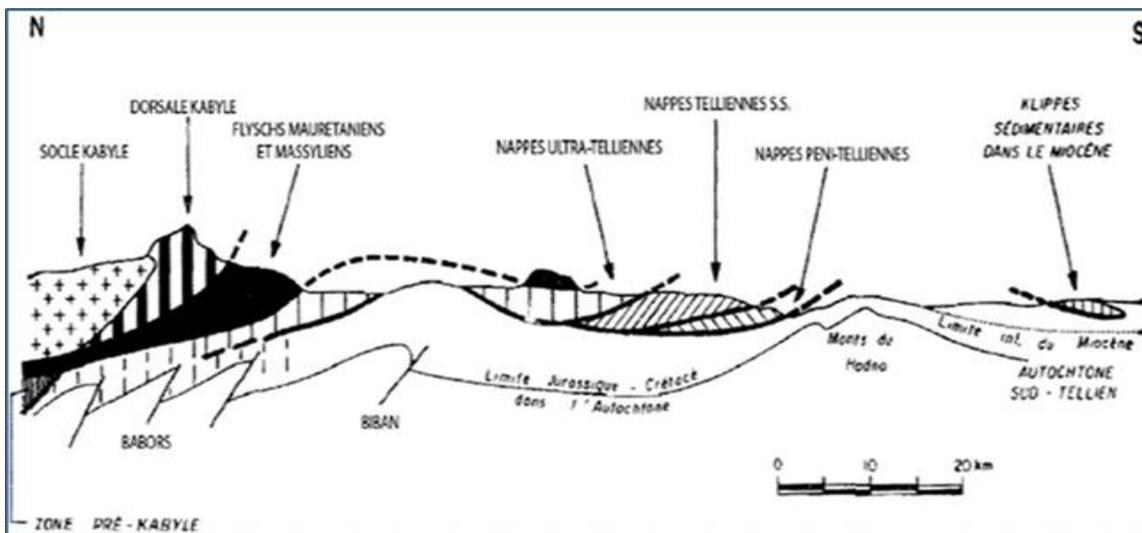


Figure 09 : Rapports structuraux entre les différentes unités de la chaîne des Maghrébides (Delga, 1969).

2.2. La géologie locale

Le bassin versant d'oued Nil caractérisé par une dominance des montagnes. Ce bassin est composé de deux unités initiales : la première concerne les roches métamorphiques qui apparaît dans les monts qui entourent la plaine ; telle que les formations du socle du petit kabyle qui domine dans le bassin. Il occupe un espace important à l'amont jusqu'à la partie Nord-Est, et un petit morceau existe à la partie Sud-Ouest, au milieu se trouve les formations Oligo-Miocène kabyle caractérisé par une diversité des formations comme les carbonates, les calcaires et les olistostrome etc.

Dans la partie aval du bassin on trouve la deuxième unité qui correspondant aux roches sédimentaires qui occupent la plaine de bassin, elle est formé : 1) les dépôts alluvionnaires le long des lites des oueds ; 2) les formations du cordon dunaire situé dans la partie nord au bord de la mer ; 3) les formations du grès et d'argile qui affleurent dans la partie nord de la plaine ; 4) les dépôts marneux qui séparent oued Saayoud et oued Nil et les dépôts détritiques

(formation flysch) qui séparent oued Nil, oued Boukraa et oued Tassift ; 5) les dépôts de marne grise qui séparent oued Boukraa et de oued Tassift (fig. 10).

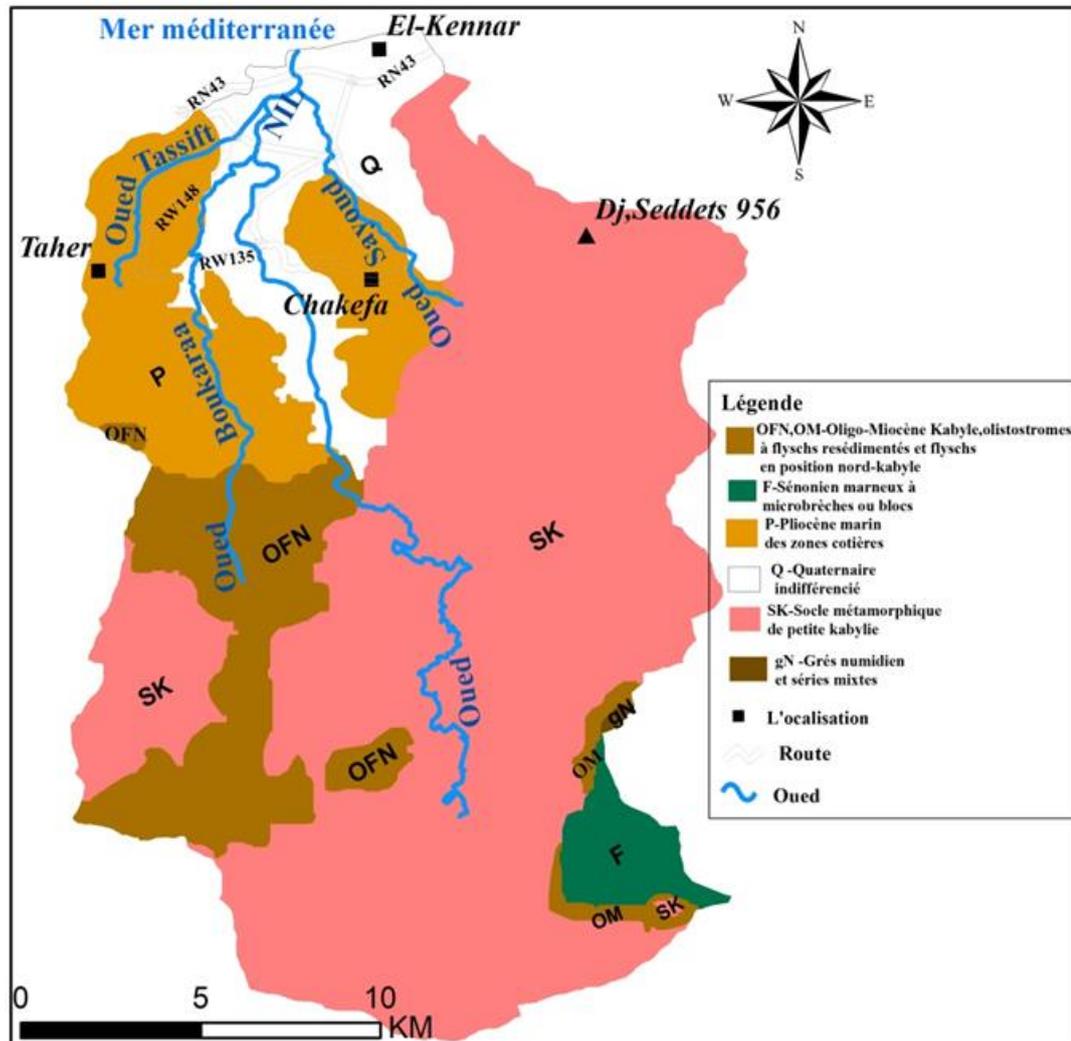


Figure 10 : Carte géologiques de bassin versant d'oued Nil d'après la carte de J.M. VILA (1978).

2.3. Litho -stratigraphique du bassin versant d'oued Nil :

2.3.1. Terrain sédimentaire :

2.3.1.1. Quaternaire :

- ❖ **Alluvions Quaternaires** : Ce sont d'anciennes terrasses dans les vallées, leurs couches formées de composants grossiers qui pénètrent simplement. Ils sont exposés à l'ouest depuis la plaine.
- ❖ **Limons** : Ils ont été trouvés dans les dépressions fermées, l'aspect principal étangs. Ils ont des composants argileux, et parfois sableux, de faible perméabilité, exposée au nord de la plaine.

- ❖ **Les dernières alluvions** : On les trouve toujours le long des vallées principales, ils sont constitués d'éléments grossiers (gravier, agglomérats et gravier extrêmement perméable).
- ❖ **Dunes anciennes** : situés au nord de la côte et se compose de sable fin limoneux souvent consolidé de boue tendre.
- ❖ **Dunes actuelles** : Ils sont situés au bord de la mer son composant important est le sable fin par fois consolidé.

2.3.1.2. Tertiaire :

- ❖ **Paléogène** : Des formations de grès forment le sud de la plaine, qui sont mauritaniennes (Éocène supérieur - oligocène) faites de grès et numidiennes (Éocène supérieur - oligocène - miocène inférieure) C'est une formation de flysch.
- ❖ **Néogène** : On a deux âges la miocène inférieure (Burdigalien) et miocène moyen (Pontien).
 - **Miocène inférieure (Burdigalien)** : Elle se compose de protubérances dans la partie ouest de la plaine qui se compose généralement de bavoires gris parfois, sablonneux **ou jaunes dus à l'oxydation, il y a aussi des niveaux de débris et de nodules calcaires** qui se chevauchent.
 - **Miocène moyen (Pontien)** : Il se distingue dans la vallée de Boukraa du côté Est et Ouest. Ses composants sont d'origine continentale (Dépôts, pierres et boue.)
- ❖ **Miocène marin (Sahélien)** : Elle est généralement formée par des marnes bleues, cette dernière est affleurée au milieu de la plaine et à l'est de la vallée principale.

2.3.2. Terrain métamorphique

- ❖ **Schiste – phyllade** : Sont des argiles aqueuses ou satinées très variées, coupant les veines de quartz laiteux et entre coupé de couches protectrices.
- ❖ **Calcaire (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** : Ses principaux composants sont le mica noir et blanc
- ❖ **Schiste granulitisés et gneiss** : L'injection de granulites dans les micaschistes conduit à la formation de gneiss de schiste.

3. Caractéristiques climatique

3.1. Localisation de la station météorologique d'Achouat

La station d'Achouat est située dans la commune de Taher sur la bande côtière (au centre de wilaya de Jijel), bordée au nord par la mer Méditerranée, au sud par les communes d'Oudjana et Chahna, à l'est par la commune de Chekfa, et à l'ouest par la commune de l'Emir Abdelkader (fig.11).

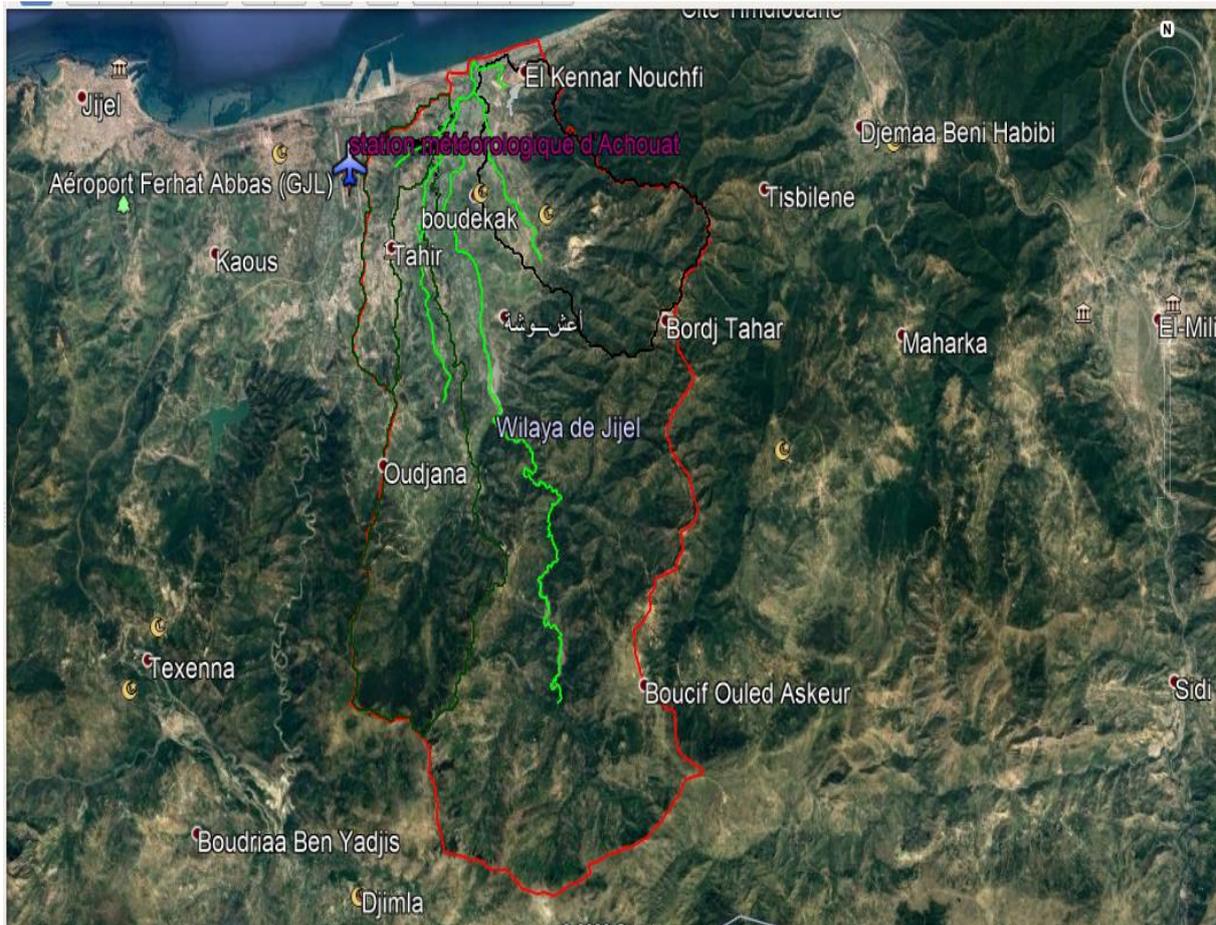


Figure 11 : Situation de la station météorologique d'Achouat.

3.2. Les précipitations

On englobe sous le terme de précipitations, toutes les eaux météoriques qui tombent à la surface de la terre, tant sous forme liquide (pluie, bruine) que solide (neige, grêle). C'est également l'élément le plus important du cycle de l'eau. Les précipitations ont une influence sur les eaux de surface que ce soit en termes de ruissellement ou d'altération. Dans notre cas d'étude on est intéressé seulement par les précipitations liquides.

➤ **Les variations des précipitations moyennes mensuelles**

D'après l'histogramme (fig. 12) on observe que le mois le plus pluvieux est le mois de décembre avec une valeur de 190 mm, tandis que le mois le plus sèche c'est le mois de juillet avec 3 mm.

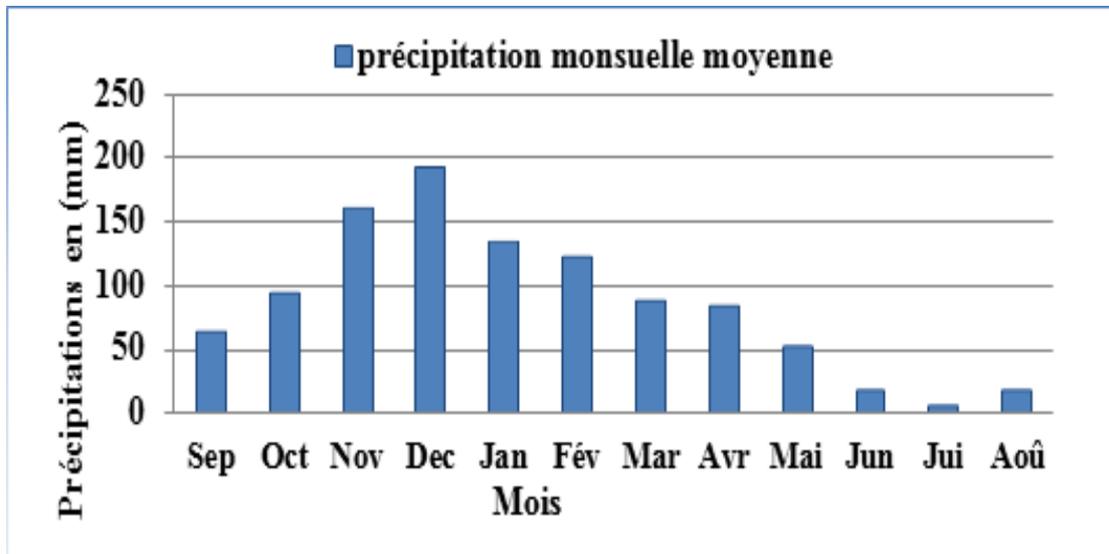


Figure 12 : Histogramme de variation des précipitations moyennes mensuelles de la station d'Achouat (1988-2015).

3.3. La Température

La température de l'air est un facteur qui a une grande influence sur le bilan hydrologique du fait de son impact sur le déficit d'écoulement (évapotranspiration réelle), (Fenazi, 2008). Les données de la température qui feront l'objet de notre étude nous ont été fournies par la station météorologique d'Achouat –Taher, ces données de température couvre une série de 28 ans (1988-2015).

➤ **La variation des températures moyennes mensuelles**

Les données observées pendant une période de 28 ans à la station d'Achouat –Taher (fig. 13), fait ressortir que les températures moyennes enregistrées prennent en générale des valeurs moyennes avec un maximum enregistré au mois d'Aout 26 °C et un minimum pendant le mois de Janvier 12°C.

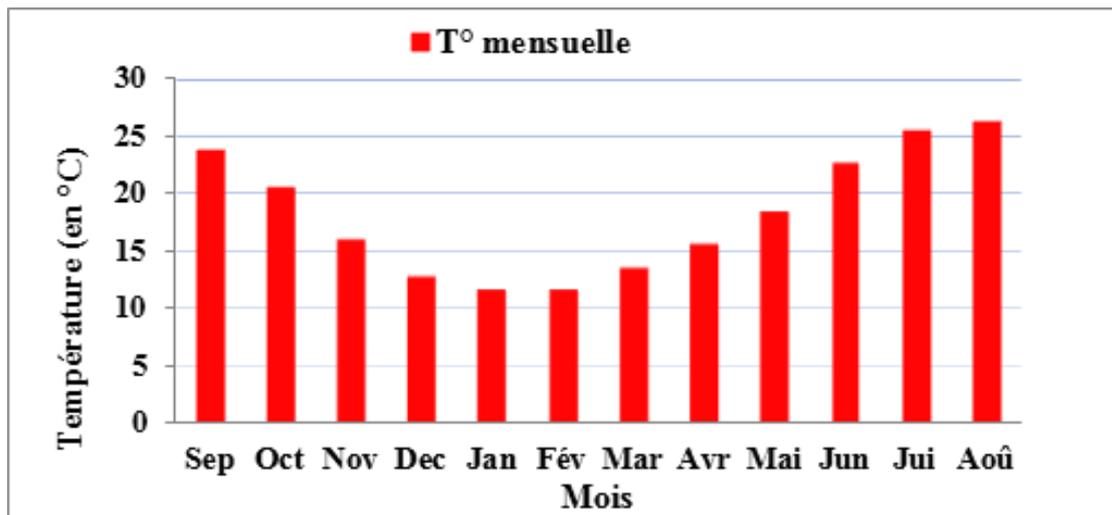


Figure 13 : Histogramme de la température moyenne mensuelle à la station d'Achouat (1988-2015).

3.4. Diagramme Ombro-thermique (Courbe pluviométrique)

Selon BAGNOULS et GAUSSEN (1953), un mois est dit sec si, "le total mensuel des précipitations exprimées en millimètres est égal ou inférieur au double de la température moyenne, exprimée en degrés centigrades » ; cette formule ($P \leq 2T$) permet de construire des diagrammes ombrothermiques traduisant la durée de la saison sèche d'après les intersections des deux courbes.

L'analyse de la représentation graphique des données de notre station (fig. 14), nous a permis de distinguer deux périodes :

- ❖ L'une sèche qui s'étale de la fin du mois de mai jusqu'au début du mois septembre.
- ❖ L'autre hivernale (humide), s'étale du mois d'Octobre jusqu'à la fin du mois de mai.

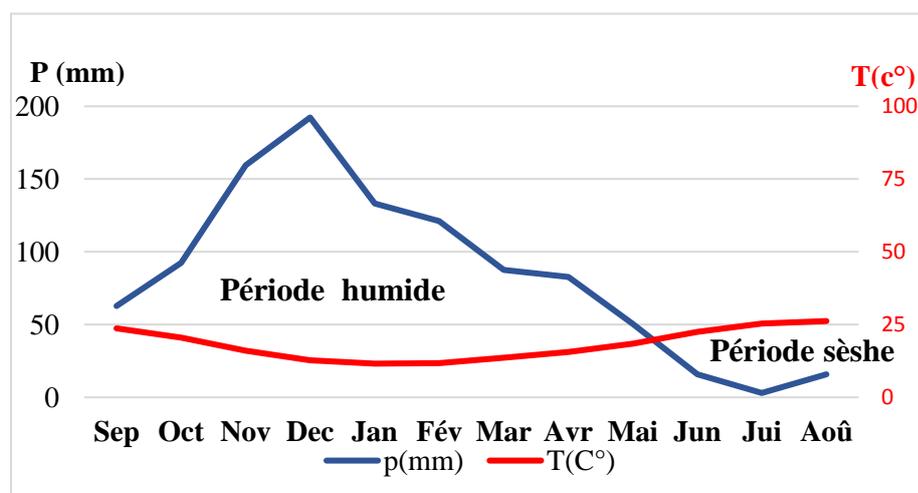


Figure 14 : Diagramme Ombro-thermique de la station d'Achouat (1988-2015).

3.5. Le bilan hydraulique

Pour évaluer les quantités d'eau qui traversent chaque étape du cycle hydrologique, nous utilisons l'équation du bilan hydraulique, qui représente les quantités d'eau entrant et sortant d'un système défini dans l'espace (entité naturelle en générale) et dans le temps, mais aussi n'oubliez pas que le cycle de l'eau peut être analysé schématiquement selon les trois éléments suivants :

- Les précipitations.
- Le ruissellement ou écoulement de surface et l'écoulement souterrain.
- L'évaporation.

A chaque étape, il y a un transfert direct d'eau, un stockage temporaire et parfois un changement d'état.

L'équation de bilan hydraulique expose comme suit :

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

- P : précipitations (liquide et solide) (mm).
- ETR : évapotranspiration réelle en (mm).
- R : ruissellement de surface et écoulements souterrains (mm).
- I : l'infiltration en (mm).
- W : variation des réserves en mm qui peut être considéré comme négligeable.

3.5.1. Evapotranspiration Potentielle

C'est la quantité d'eau maximum évaporée à partir d'un sol saturé. Elle compose un élément (facteur) primordial dans l'évaluation du bilan hydrique. Nous avons utilisé la formule de Thornthwaite pour la calcul de l'ETP.

$$ETP = 16[10T/I]^a$$

Avec :

- $I = \sum_{i=1}^{12} i$
- $i = (T/5)^{1.514}$
- $a = 0.016 * I + 0.5$
- $ETP_c = ETP * K$

ETP : évapotranspiration potentielle non corrigée (mm).

T : température annuelle moyenne (C°).

I : indice thermique annuel.

i : indice thermique mensuel.

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

ETPc : évapotranspiration potentielle corrigée (mm).

K : facteur de correction mensuel.

Tableau 14 : évapotranspiration potentielles ETP selon Thornthwaite [1988-2015].

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aoû	Année
T(c°)	23,67	20,51	16,01	12,73	11,58	11,70	13,62	15,61	18,42	22,54	25,37	26,21	18,16
P(mm)	62,86	92,49	159,56	192,30	133,25	121,04	87,52	82,72	50,49	15,78	2,99	15,72	1016,72
i	10,5	8,47	5,82	4,11	3,56	3,62	4,56	5,60	7,20	9,78	11,69	12,28	87,27
ETP (mm)	105,46	80,44	50,37	32,34	27,3	27,74	37,1	48,01	65,65	96,15	120,24	127,87	818,67
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)	108,63	78,03	43,31	27,16	23,75	23,66	38,22	52,82	79,44	117,3	149,09	148,33	889,74

3.5.2. Le bilan hydraulique selon la méthode de Thornthwaite

La méthode est basée sur la notion de réserve en eau facilement utilisable (RFU). On admet que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau (RFU), qui peut être reprise par l'évapotranspiration.

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 »).

Le principe de calcul est basé sur les cas suivants :

- ❖ Si $P > ETP \rightarrow ETP = ETR$, la quantité $(P-ETP)$ aliment la RFU jusqu'au maximum.
- ❖ Si $P < ETP \rightarrow ETR = P$ + toute une partie de la RFU jusqu'à égaliser la valeur de l'ETP.
- ❖ Si malgré l'apport de la RFU, L'ETR est toujours inférieure à l'ETP ($ETP < ETR$), il existe un déficit agricole $Da=ETP-ETR$.
- ❖ Si $P=ETR$: les précipitations sont justes suffisantes pour alimenter le sol. Il n'y aura de Wa pour alimenter la RFU.

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

Tableau15 : Calcule du bilan hydrique selon Thornthwaite dans la station d'Achouat [1988-2015].

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Août	Année
P(mm)	62,86	92,49	159,56	192,30	133,25	121,04	87,52	82,72	50,49	15,78	2,99	15,72	1016,72
ETPc (mm)	108,63	78,03	43,31	27,16	23,75	23,66	38,22	52,82	79,44	117,3	149,09	148,33	889,74
RFU (mm)	0	14,46	100	100	100	100	100	100	71,05	0	0	0	/
ETR (mm)	62,86	78,03	43,31	27,16	23,75	23,66	38,22	52,82	79,44	86,83	2,99	15,72	534,79
Da	45,77	0	0	0	0	0	0	0	0	30,47	146,1	132,61	354,95
Ws	0	0	30,71	165,14	109,5	97,38	49,3	29,9	0	0	0	0	481,93

3.5.3. Détermination du ruissellement et de l'infiltration

- Ruissellement superficiel

Le ruissellement (R) peut être calculé par deux formules :

- Tixeront Berkallof modifié par Romantchouk (1974) pour P > 600 mm

$$R = P^3 / 3 = 0.350 \text{ m} = 350.37 \text{ mm} \quad (1)$$

- Tixeront Berkallof., pour P < 600 mm

$$R = P^3 / 3 \cdot (ETP)^2 = 0.522 \text{ m} = 522.71 \text{ mm} \quad (2)$$

Avec :

- **R** : Ruissellement en m ;
- **P** : Précipitation moyenne mensuelle en m ;
- **ETP** : Evapotranspiration potentielle en m.

Les précipitations enregistrées dans la région d'étude dépassent 600 mm pour la station d'Achouat-Taher, la formule utilisée est celle de Tixeront (1).

- Infiltration

L'infiltration aussi un facteur plus important d'un point de vue hydrologique, pour l'estimer on a la formule suivante ;

$$P = ETR + R + I$$

Où, $I = P - (ETR + R)$

- **P** : précipitation moyenne annuelle en mm
- **ETR** : évapotranspiration réelle en mm
- **R** : la lame d'eau ruisselée en mm
- **I** : désigne l'infiltration en mm

D'après les valeurs de l'ETR et l'ETP (tab. 15) calculées par la méthode de Thornthwaite, on calcul R et I :

Tableau 16 : Calcul du R et I dans le bassin d'Oued Nil.

Paramètre	P	ETP	ETR	R	I
Quantité (mm)	1016,72	818.67	534,79	350.37	131.57
Pourcentage	100	/	52.59	34.46	12.94

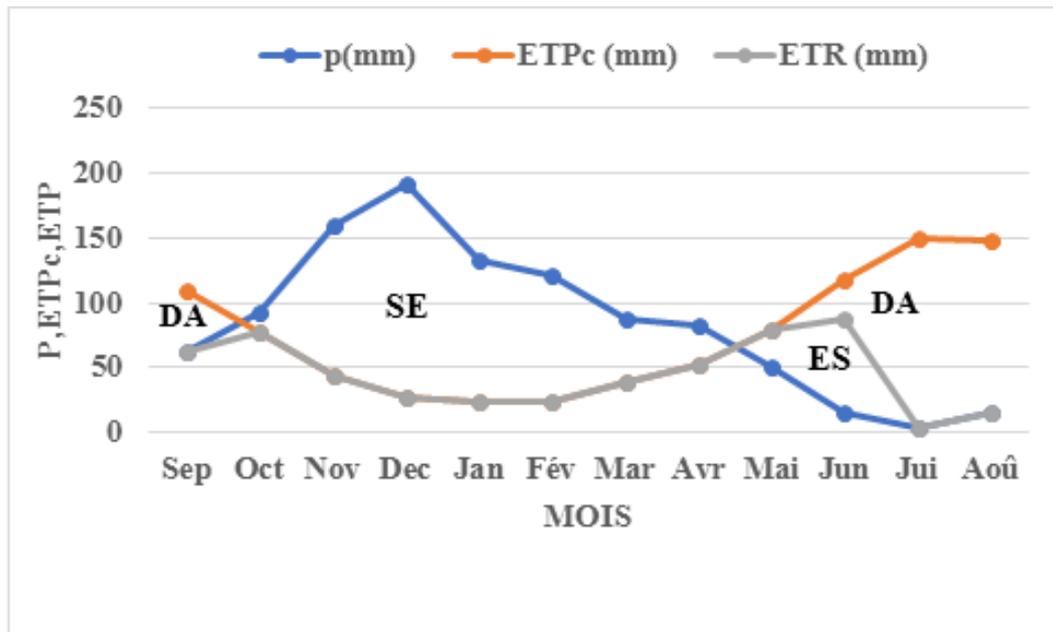
- ✓ On constate que seulement une modeste quantité d'eau soit 12.94% des précipitations annuelles tombées, sur le bassin versant s'infiltrent dans le sol, alors que l'autre partie est partagée entre le ruissellement avec 34.46% et l'évapotranspiration avec 52.59%.
- ✓ Ces valeurs de ruissellement et d'infiltration obtenue sont acceptables mais elles restent à vérifier, en tenant compte de : la morphologie du bassin versant, les perméabilités et le couvert végétal.

3.5.4. Interprétation du bilan Hydrique :

L'objectif principal de la réalisation du bilan hydrique de la zone d'étude est pour connaître les différents paramètres (ETP, ETR, RFU, DA, Ws), ce qui nous donne une idée sur le fonctionnement de système hydraulique.

Le bilan hydrologique (fig.15) pour une période de 28 ans (1988-2015) à la station d'Achouat fait ressortir que :

- ✚ Les précipitations deviennent supérieures à l'évapotranspiration potentielle (E.T.P) du mois d'Octobre jusqu'au mois d'Avril.
- ✚ La RFU est à son maximum de 100 mm du mois de Novembre jusqu'à la fin d'Avril, ou on totalise un excédent de 481.93mm avec un pic au mois de Décembre 165,14mm.
- ✚ Par ailleurs, le RFU commence à diminuer au début du mois de Mai, pour s'épuiser et devenir nulle du mois de Juin jusqu'au mois de Septembre, avec un déficit agricole de l'ordre de 354.95 mm C'est la période déficitaire, où on doit recouvrir davantage à l'irrigation.



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

Figure 15 : Représentation graphique du Bilan, station d'Achouat (1988 - 2015).

4. Conclusion

La nature lithologique de la formation est un facteur limitant la perméabilité des sols, elle influe aussi sur la quantité et la qualité des eaux pouvant s'écouler ou s'y infiltrer. Le bassin versant d'Oued Nil caractérisé par une prépondérance des chaînes montagneuses avec une dominance des formations de socle du petit kabyle qui sont des roches métamorphiques moins vulnérables à l'altération, quant aux roches sédimentaires, elles appartiennent essentiellement dans la partie aval de bassin c'est-à-dire dans la plaine. Ce dernier est considéré comme un siège topographie ancienne dont les dépressions ont été recouvertes par des alluvions récentes et des terrasses anciennes (formations quaternaires) qui sont les meilleures formations aquifères et constituent le réservoir principal de la plaine.

La région d'étude reçoit des précipitations annuelles moyennes de l'ordre de 1016,72 mm, une température moyenne annuelle de l'ordre de 18,16 °C, et caractérisée par une période humide qui se déroule du mois d'Octobre jusqu'au mois de Mai et une période sèche qui s'étend du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre. Le restockage commence en Octobre et se termine en avril. Et un épuisement des stocks de sol a été observé en juin, entraînant un déficit agricole (DA) nécessitant une irrigation, en particulier de juin à Octobre.

Chapitre 3 :
Matériel et méthodes

Un suivi de débit d'oued Nil et des paramètres physiques des eaux de surface du bassin versant d'oued Nil a été effectué durant 14 Jours dans le mois de mars 2020.

1. Méthode d'échantillonnage

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne cependant les résultats analytiques et leur interprétation. L'échantillon doit être homogène représentatif et obtenu sans modifier les caractères physico-chimiques de l'eau (Rodier, 2009).

Le prélèvement de l'eau est fait à l'aide d'un seau lié à un cordon (fig16.), pour faire le prélèvement au milieu de l'oued, afin d'éviter l'effet des décharges stagnées sur les berges des oueds qui peuvent modifier la chimie des eaux.



Figure 16 : Photos illustrant le mode d'échantillonnage.

2. Les paramètres physico-chimiques (mesure *in-situ*)

La température, le potentiel d'hydrogène, le potentiel de redox, la conductivité électrique, sont des paramètres très sensibles aux conditions du milieu et susceptibles de varier dans des proportions importantes s'ils ne sont pas mesurés *in situ*.

Ainsi à chaque prélèvement ces paramètres sont mesurés *in situ* par des appareils étalonnés appartenant au laboratoire de Génie Géologique de l'Université de Jijel (fig17), qui possède

des électrodes utilisées pour la mesure de la température, de potentiel d'hydrogène, de l'oxygène dissous et la conductivité.



Figure 17 : Appareillage utilisé pour mesurer les paramètres physiques in-situ.

3. Le jaugeage

Le jaugeage est une mesure instantanée du débit à travers la section d'un cours d'eau. Ce débit instantané est en réalité mesuré sur une période allant de quelques minutes à plus d'une heure, typiquement, selon la méthode de mesure et la taille du cours d'eau. On cherchera à se rapprocher le plus possible des conditions de régime hydraulique permanent (débit constant sur toute la période de mesure). Cette condition sera vérifiée en surveillant la constance du niveau d'eau pendant la durée du jaugeage.

Il existe plusieurs techniques de jaugeage et ces techniques sont généralement complémentaires comme le jaugeage au moulinet, jaugeage par flotteur et autres. Pour mesurer le débit à la station ON7 de l'aval d'oued Nil (*fig19*), nous avons adopté le jaugeage au flotteur, où nous avons utilisé le pont de l'oued à la route nationale 43.

4. Détermination du débit par un flotteur

Les flotteurs peuvent être utilisés durant les périodes de crues où les méthodes conventionnelles ne peuvent pas être appliquées. Des flotteurs spécialement préparés peuvent être utilisés pour déterminer la vitesse d'écoulement de l'eau. Deux observateurs se trouvent aux deux extrémités du tronçon où la mesure doit s'effectuer (*fig.18*). L'observateur à l'amont signale l'arrivée du flotteur à sa station. Celui à l'aval mesure alors le temps (t) mis par le flotteur pour traverser le tronçon de mesure ayant une longueur ($L = AB$). Si le cours d'eau est très large, plusieurs flotteurs peuvent être utilisés à des intervalles de temps uniformes.

Ceci exige un troisième observateur chargé de jeter les flotteurs soit d'un bateau pneumatique soit d'un pont.

Puisque la vitesse d'écoulement est maximum à la surface de l'eau, la vitesse mesurée par le flotteur ($V = L/t$) doit être multipliée par un coefficient réducteur, variable selon la profondeur entre 0.6 et 0.8, afin d'obtenir la vitesse moyenne relative à cette verticale. Cette correction n'est pas nécessaire si le flotteur est conçu de sorte qu'il couvre une grande partie de la profondeur totale de l'écoulement. Le débit est alors donné par le produit de la vitesse et de la section moyenne d'écoulement.

Comme le pont est divisé en plusieurs sections, le débit est donné par la formule suivante :

$$Q = \sum_1^n v_n \times S_n$$

Où

Q : débit à la station mesuré ;

v_n : Vitesse de l'eau à la section n,

S_n : Section d'écoulement.

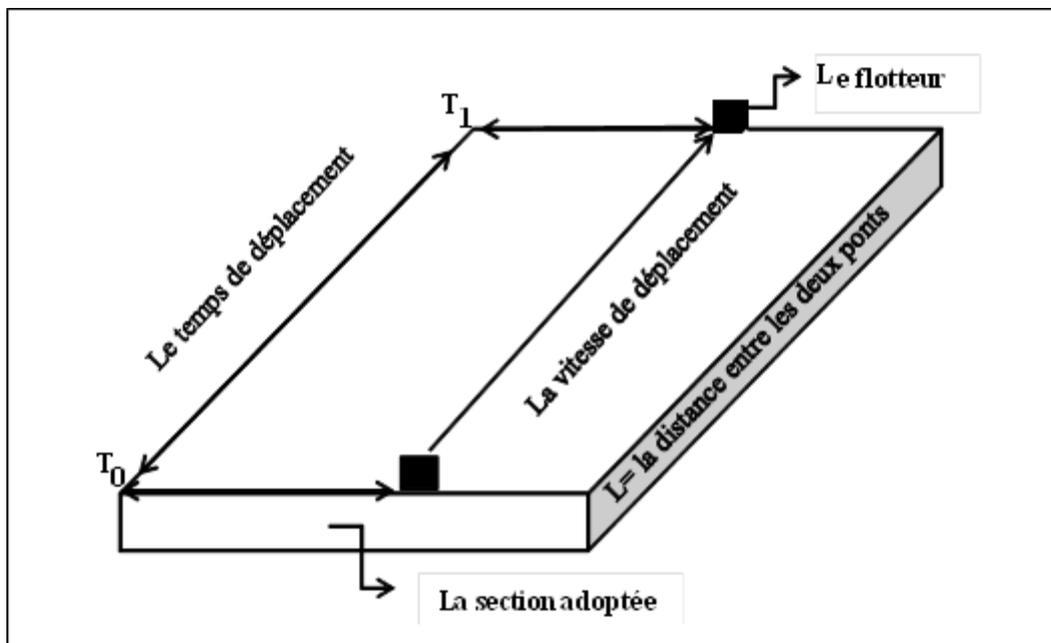


Figure 18 : Dispositif de jaugeage.

5. Logiciel utilisée

Dans notre travail nous avons utilisé les logiciels suivants :

5.1. Global Mapper¹⁴

À partir de ce logiciel nous avons délimité notre bassin versant et géo-référencié les cartes de modèle numérique de terrain (MNT).

5.2. Google Earth

Nous l'avons utilisé pour confirmer les limites des sous-bassins versant d'oued Nil, et localisée les différentes agglomérations appartenant au bassin versant.

5.3. ARCGIS

Permet d'utiliser des cartes intelligentes pour rassembler les informations géographiques, la conversation des coordonnées, partager des informations grâce à la puissance de la géographie et de la visualisation. Une carte Arc GIS est une fenêtre interactive avec laquelle les gens peuvent visualiser, explorer, analyser et mettre à jour les informations géographiques.

Chapitre 4 :
Résultats et discussion

1. Introduction :

L'appréciation de la qualité des eaux de surface se base sur la mesure de paramètres physico-chimiques tels que le potentiel d'hydrogène, la conductivité électrique, l'oxygène dissous et les sels dissous. La qualité de l'eau est souvent assujettie à des variations spatiotemporelles induites par les activités anthropiques qui modifient les caractéristiques de l'eau et affectent sa qualité.

La composition chimique des eaux d'un bassin versant est utilisée souvent comme un indicateur du cheminement de l'eau depuis la pluie à l'amont jusqu'à l'aval de l'oued. Elle permet de déterminer l'origine de chaque élément chimique et son évolution le long de l'oued. Ce chapitre est divisé en deux parties, la première partie concerne l'évaluation de la qualité physicochimique des eaux de surface à la partie aval du bassin versant, en se basant sur les données des analyses chimiques réalisées en 2015, la deuxième partie a pour objectif l'interprétation des données des paramètres physiques d'un suivi de quatorze (14) jours durant le mois de mars 2020.

2. Qualité physicochimique des eaux de surface du bassin versant d'oued Nil

2.1. Localisation des sites de prélèvement des eaux

Pour étudier la qualité des eaux de surface du bassin versant d'oued Nil on a pris 22 stations qui couvrent la partie aval du bassin versant. La localisation des stations est donnée dans la figure 19.

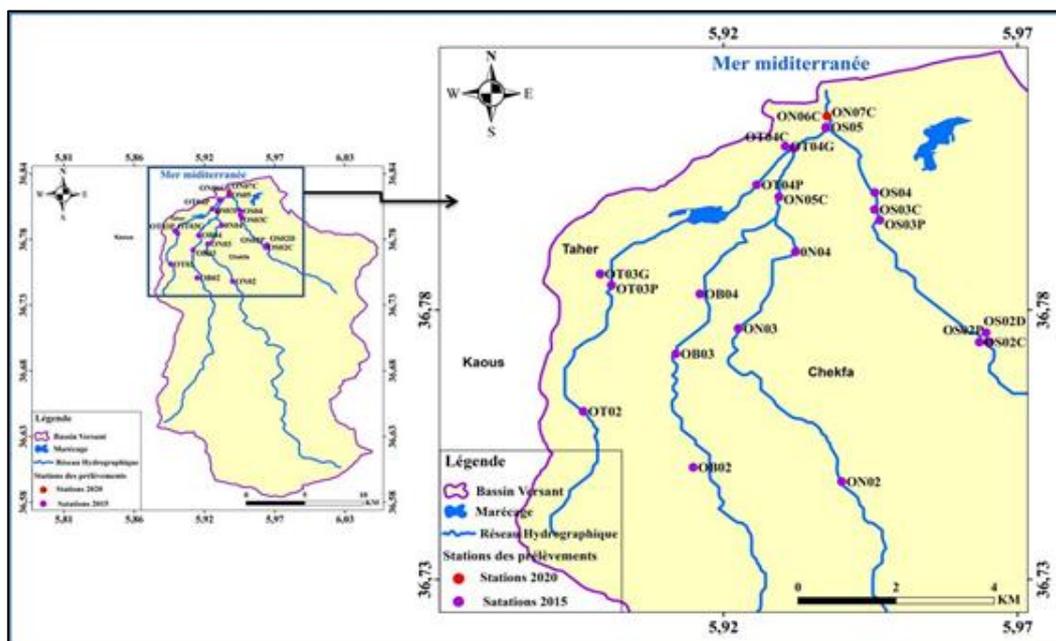


Figure 19 : la carte d'inventaire des stations de prélèvement d'eau dans le bassin versant d'oued Nil.

2.2. Les paramètres physiques

2.2.1. La température (T°C) :

La température de l'eau joue un rôle important par exemple, en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz. Par ailleurs, la température accroît les vitesses des réactions chimiques et biochimiques et l'activité métabolique des organismes aquatiques, la valeur de ce paramètre est influencée également par la valeur de ce paramètre est influencée également par d'éventuels rejets d'eaux résiduaires chaudes. On doit absolument la mesurer sur le terrain, parce qu'elle tend à s'ajuster rapidement à la température ambiante (De viller et al, 2005).

D'après l'histogramme de l'évolution de la température des quatre oueds en Avril 2015, on constate une différence entre les valeurs de température d'un oued à l'autre et d'une station à l'autre. Oued Saayoud présente généralement les valeurs les plus faibles avec un minimum de 14.7°C observées à l'amont (OSND) et 23.1°C comme une valeur maximale dans la station aval (OS3C). Pour les autres oueds les valeurs de la température des différents échantillons sont proches. Elles se situent dans un intervalle qui va d'un minimum de 18.9°C (ON7C) au maximum de 25.4°C (OT4G), généralement les valeurs de température restent toujours dans les normes Algériennes (25°C), sauf dans la station Oued Tassift gauche (OT4G) où on a enregistré une valeur de 25,4 qui dépasse la norme algérienne (25°C), ceci est dû à l'importance des rejets dans cette oued.

La température de l'eau varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, de la nature géologique et de profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol. Donc la différence de température constatée entre les stations n'est pas considérable et peut être expliquée par la situation géographique, la température de l'air et la provenance de l'eau.

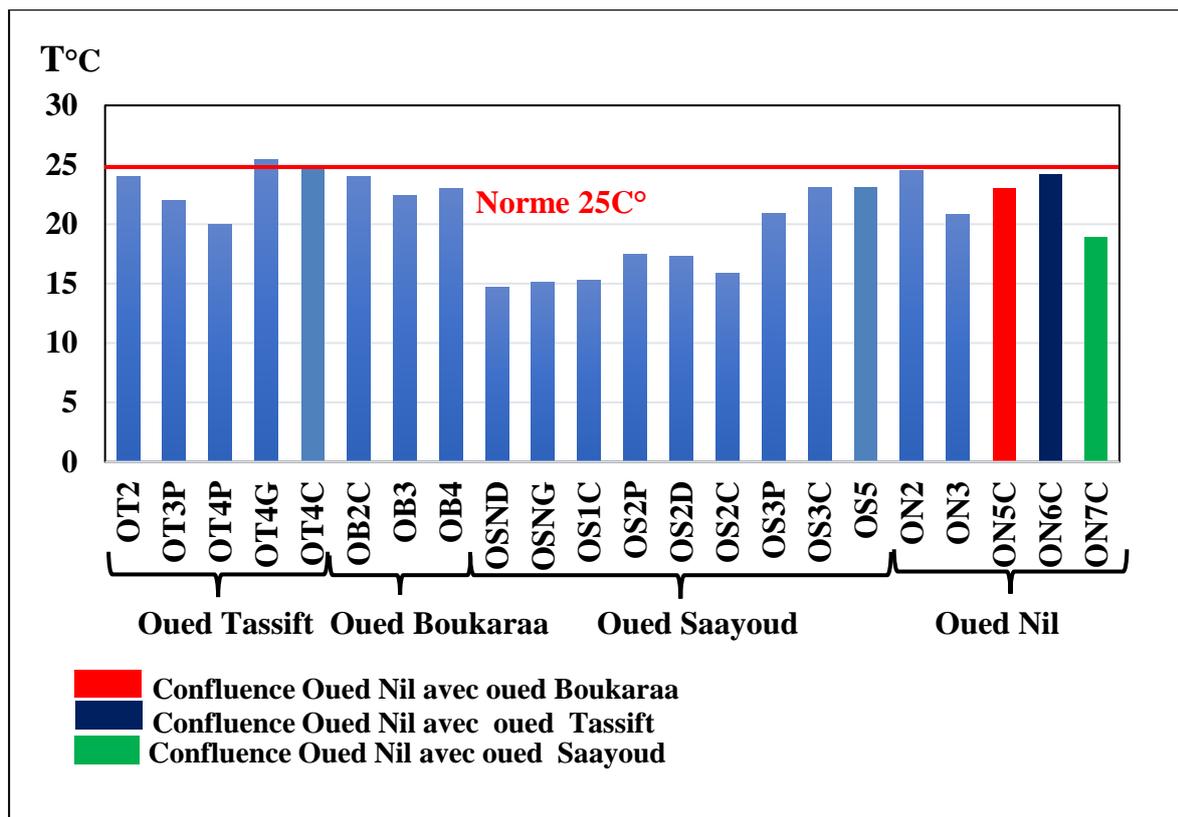


Figure 20 : Evolution de la température des oueds Tassift, Boukaraa, Saayoud et Nil en Avril, 2015.

2.2.2. Le potentiel hydrogène (pH) :

Le pH est un facteur qui détermine l'acidité et l'alcalinité de l'eau ; et mesure la concentration des protons H^+ contenus dans l'eau. Il résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique et il est lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates.

L'historique de pH des différentes stations (*fig.21*), montre des valeurs qui s'échelonnent entre 6.77 et 8.22 dans les eaux des oueds Saayoud, Tassift et Nil ce qui indique que les eaux de ces oueds sont légèrement alcalines. Au niveau d'oued Boukaraa le pH varie de 8.02 (OB3) à 9,05 (OB4) indique des eaux à tendance alcaline, expliquée par la présence des formations carbonatées à l'amont de l'oued.

Généralement les valeurs de pH varient autour de la neutralité avec une tendance à l'alcalinité en respectant toujours les normes de potabilité des eaux entre 6.5 et 9.5. Ces valeurs de pH reflètent l'influence de la géologie du bassin versant sur la composition chimique des eaux, ainsi les rejets domestiques et agricoles, surtout pour les stations situées en aval.

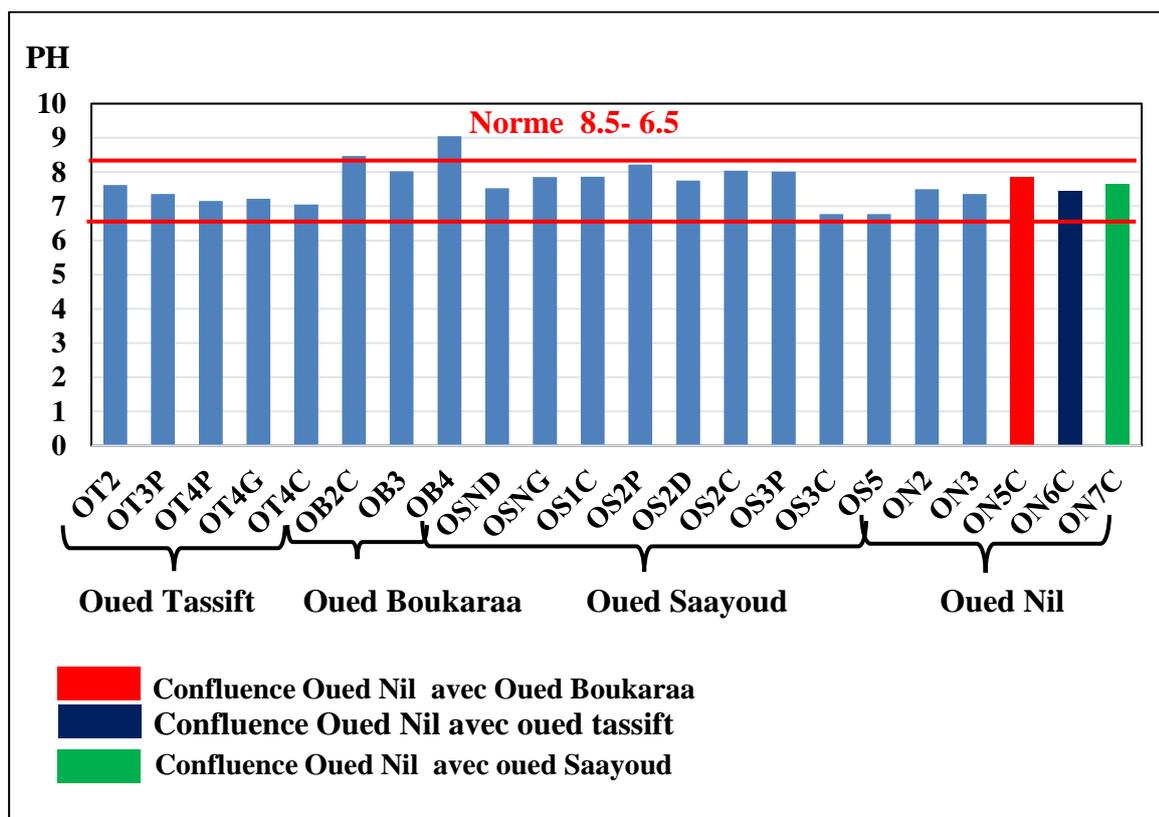


Figure 21 : Evolution spatiale de pH des oueds Tassift, Boukaraa, Saayoud et Nil en Avril, 2015.

2.2.3. La conductivité électrique (CE) :

La conductivité électrique constitue un indicateur du degré de la minéralisation globale des eaux. Plus l'eau est riche en sels minéraux ionisés, plus la conductivité est élevée.

D'après l'histogramme de l'évolution de la conductivité électrique d'oued Nil et ses affluents en Avril, 2015 (*fig.22*), les valeurs de la conductivité électrique sont inférieures à la norme algérienne ($2800\mu\text{s}/\text{cm}$), elles varient entre $233\mu\text{s}/\text{cm}$ (ON2) et $1740\mu\text{s}/\text{cm}$ à la station (OT3P).

Les oueds Saayoud, Boukaraa et Nil présentent des valeurs de conductivité oscillants entre $233\mu\text{s}/\text{cm}$ et $516\mu\text{s}/\text{cm}$ indiquant des eaux peu minéralisées, par contre oued Tassift présente des valeurs variées entre $588\mu\text{s}/\text{cm}$ et $1740\mu\text{s}/\text{cm}$ indiquant une eau chargée. Les valeurs élevées de conductivité de cet oued sont expliquées par l'influence des rejets de l'agglomération de Taher.

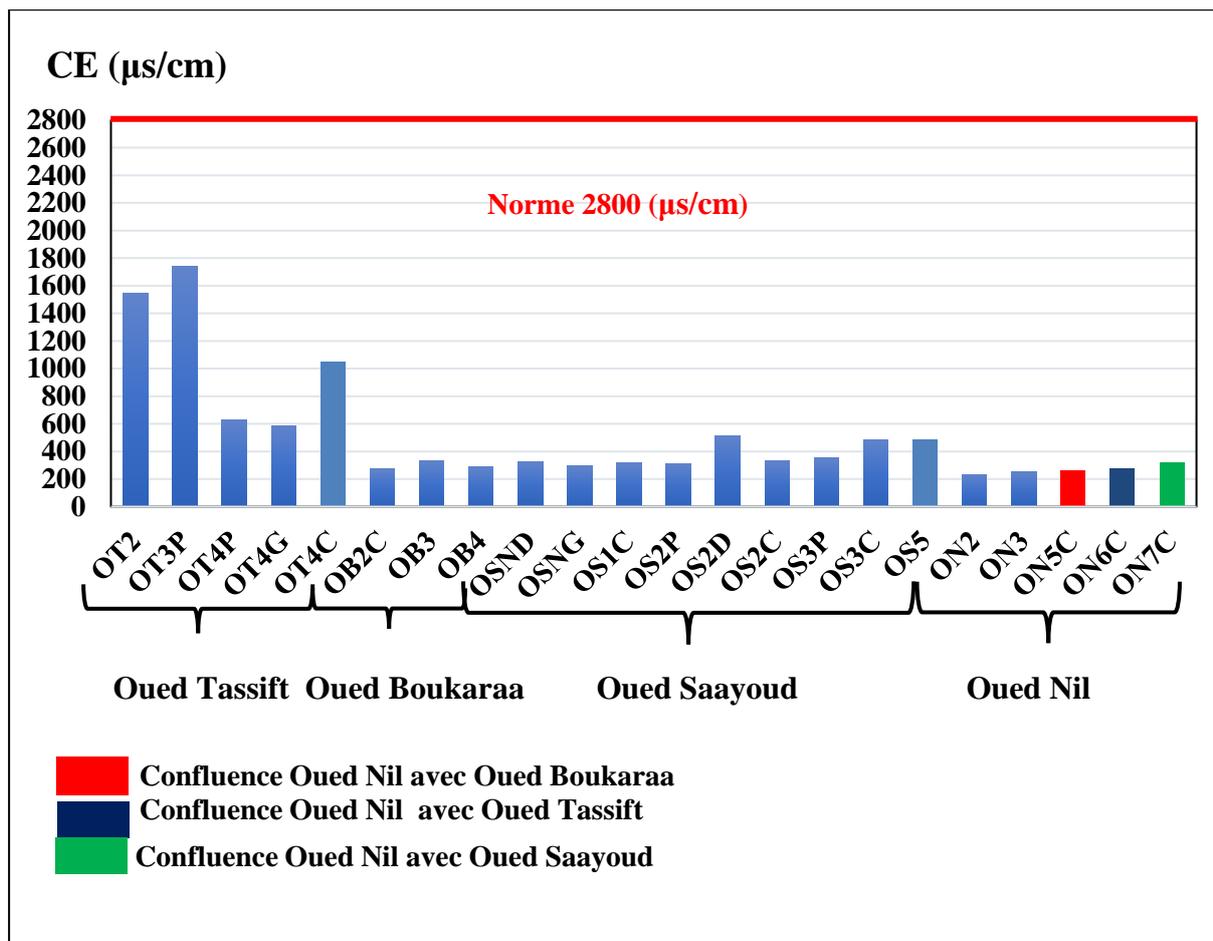


Figure 22 : Evolution de la conductivité électrique des oueds Tassift, Boukaraa, Saayoud et Nil en Avril, 2015.

2.2.4. Le potentiel de redox (Eh)

Dans les systèmes aqueux, le potentiel redox (ou disponibilité en électrons) affecte les états d'oxydation des éléments (H, C, N, O, S, Fe...). Dans une eau bien oxygénée, les conditions d'oxydation dominent. Quand les concentrations d'oxygène diminuent, le milieu devient plus réducteur ce qui se traduit par une réduction du potentiel redox. Dans les eaux naturelles, des comparaisons relatives de l'évolution du potentiel redox peuvent être utiles pour suivre les degrés de changement du système aquatique. Le potentiel redox se mesure en mV.

Le graphique de variation de Eh (fig.23), montrent que la variation du potentiel d'oxydoréduction dans les eaux de surface du bassin versant d'oued Nil est irrégulière, le Eh varie entre 105 et 182mV au niveau d'oued Boukaraa, et entre 51mV et 217mV pour oued Saayoud. Ceci pourrait s'expliquer par l'oxygénation de l'eau qui coïncide avec la période de prélèvement (avril 2015) à cause de débit important des oueds (écoulement turbulent). Les oueds Nil et Tassift présentent des valeurs de Eh oscillants entre -265 mV et 235 mV,

indiquant un milieu oxydant à réducteur à cause des rejets domestiques des agglomération de Taher pour Tassift et l'aval de Nil pour Oued Nil.

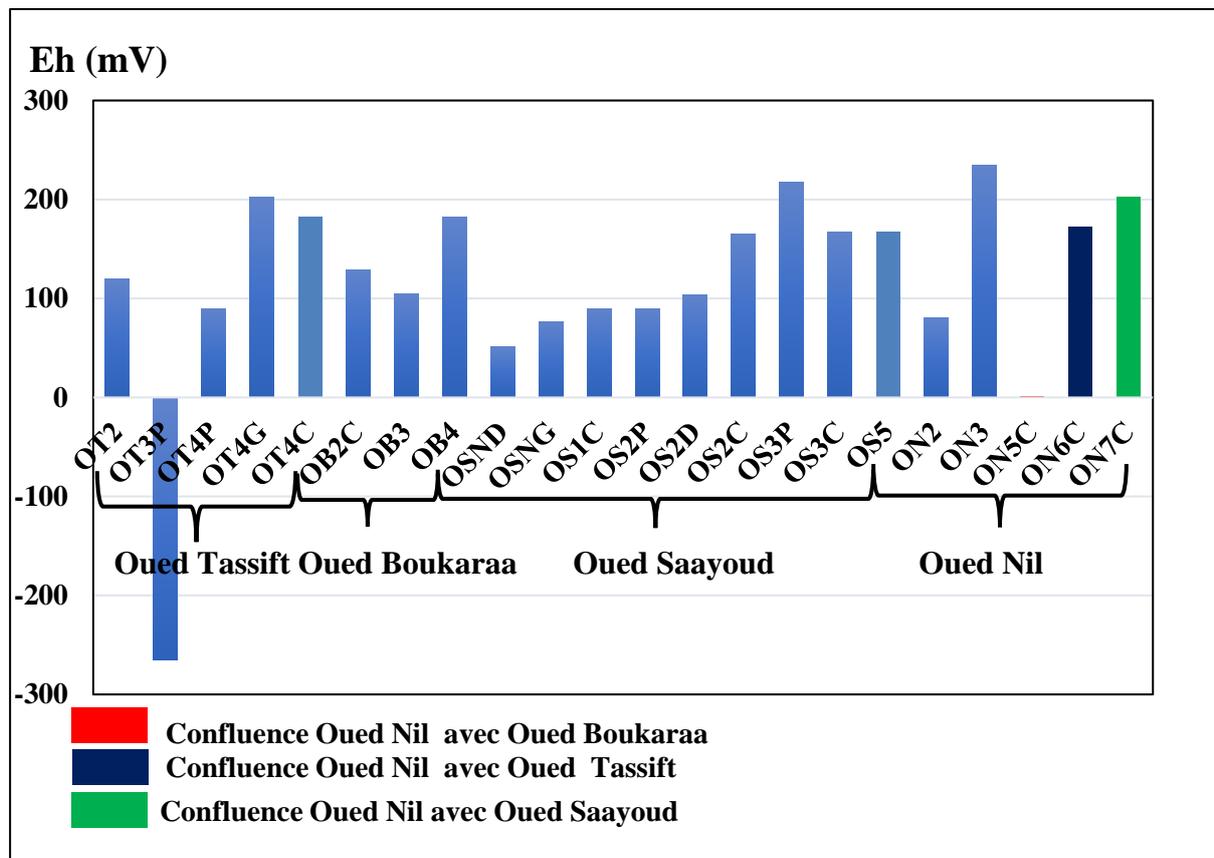


Figure 23 : Evolution de potentiel de redox des oueds Tassift, Boukaraa, Saayoud et Nil en Avril, 2015.

2.3. Les éléments majeurs

2.3.1. Le Calcium (Ca²⁺)

Cet élément est fréquent dans les roches carbonatées, il provient soit de la dissolution des formations carbonatées par attaque chimique des eaux en présence du gaz carbonique (CO₂) (Later et Terki, 1998), soit de la dissolution des formations gypsifères du Trias (CaSO₄ ; 2H₂O) selon les équations suivantes :



Le graphique de variation des teneurs en Ca²⁺ (fig. 24), montre que les teneurs en calcium varient entre 19.23mg/l (ON₂) et 91.38 mg/l comme valeur maximale enregistrée au niveau d'oued Saayoud (OS3P). La présence de calcium peut être due à la dissolution des formations

carbonatées qui se trouvent dans l'amont du bassin, et d'autre part l'influence des rejets domestiques (oued Tassift) et agricoles (oued Saayoud).

Généralement les teneurs en calcium restent inférieures à la norme (200mg/l).

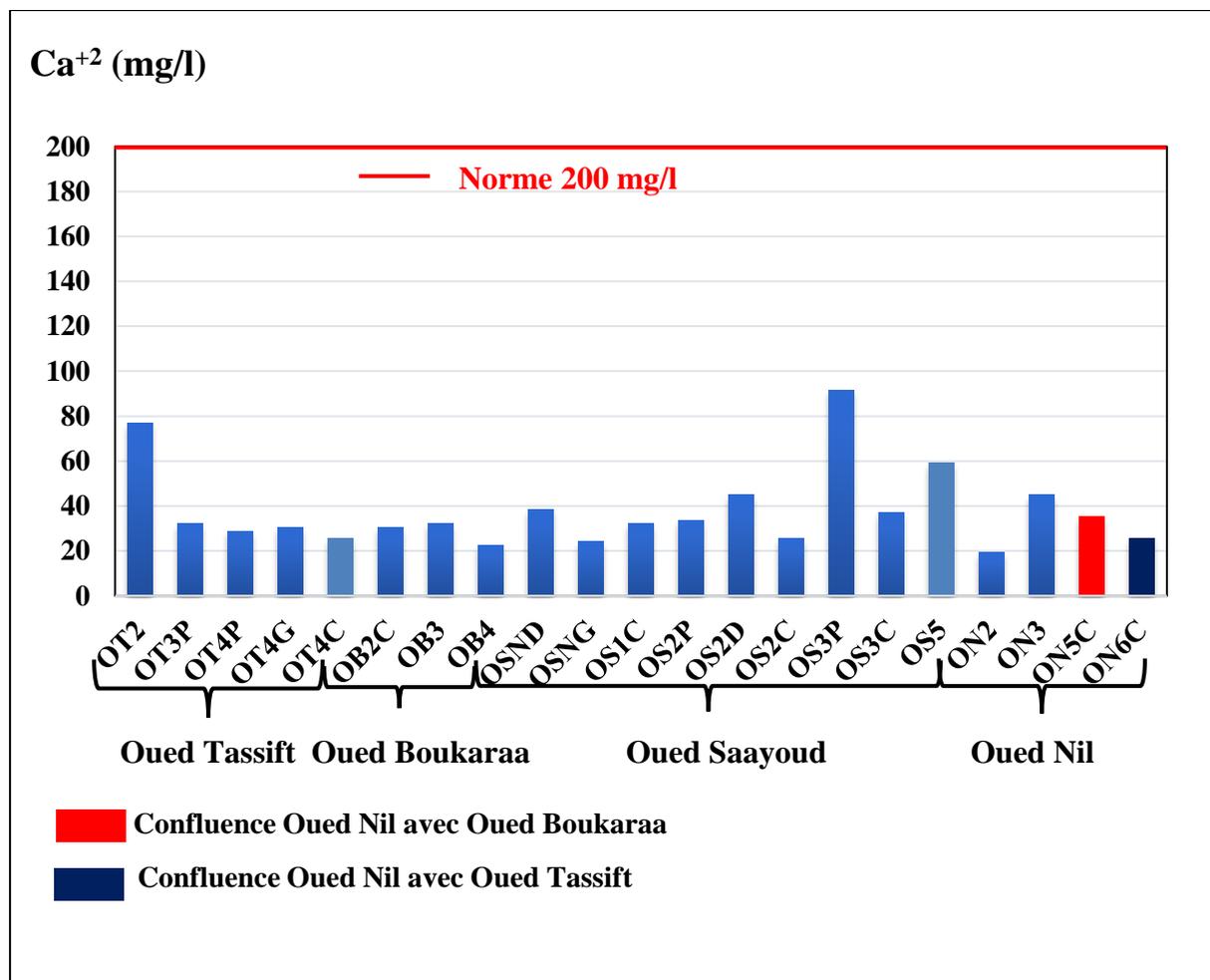
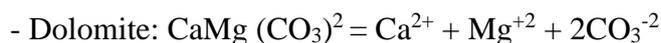


Figure 24 : Evolution spatiale de Ca²⁺ des oueds Tassift, Boukaraa, Saayoud et Nil en Avril, 2015.

2.3.2. Le Magnésium (Mg⁺²)

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



L'évolution spatiale de magnésium Mg⁺² (fig.25) montre que les concentrations de magnésium (Mg⁺²) dans les oueds varient entre 9,18mg/l (ON₃) et 183,14mg/l (OT₂). Les oueds Nil, Boukaraa et Saayoud ont des valeurs sous la norme algérienne de potabilité des

eaux (150mg/l). Par contre oued Tassift présente des valeurs dépassant la norme indiquant une origine anthropique pour cet élément.

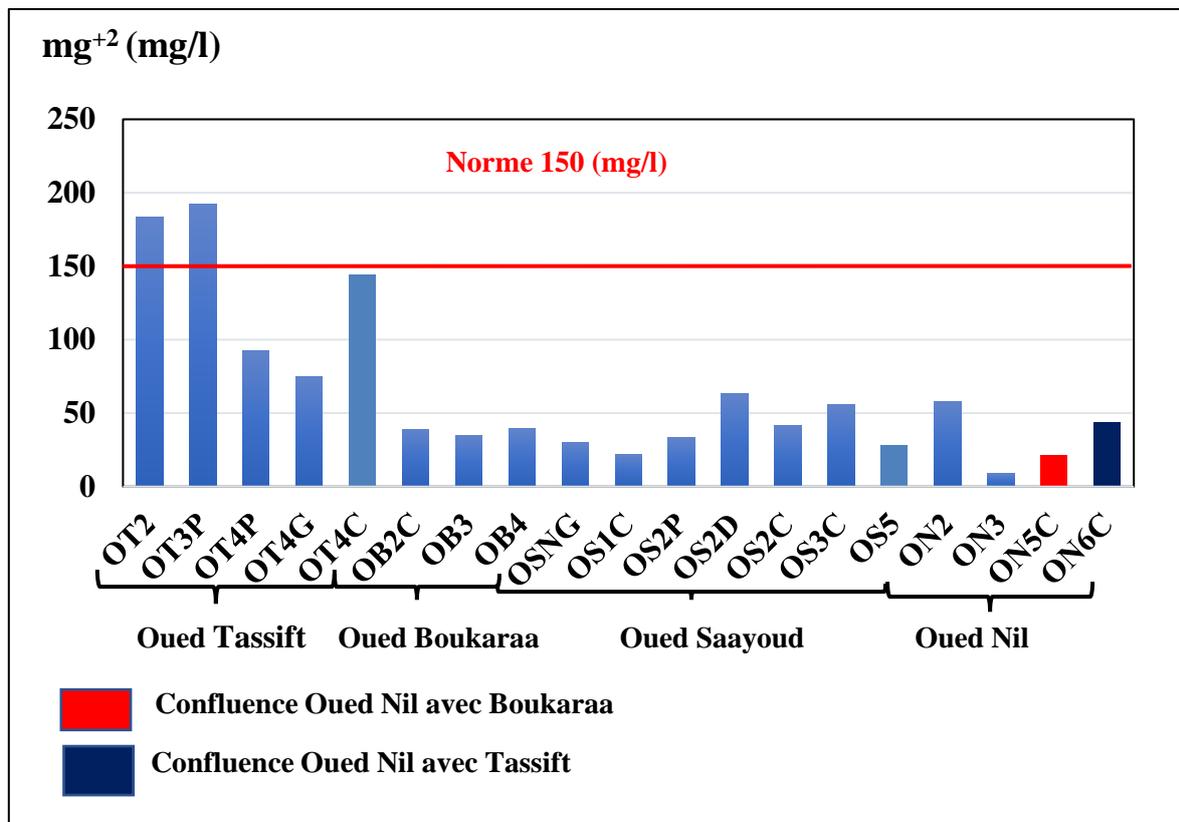


Figure 25 : Evolution spatiale de Mg^{+2} des oueds Tassift, Boukaraa, Saayoud et Nil en Avril, 2015.

2.3.3. Le Sodium et le Potassium ($Na^{+} + K^{+}$)

Le sodium est un élément constant de l'eau, toutefois les concentrations peuvent être extrêmement variables. Indépendamment de la lixiviation des formations géologiques contenant du chlorure de sodium NaCl (argiles, marnes). Généralement, cet élément est lié à la dissolution des couches salifères, des eaux usées d'origine industrielle et domestique et aussi de l'invasion d'eau marine (Ben Aakame, 2015).

La variation des teneurs en Sodium et potassium (fig.26), montre que les eaux d'oued Nil ont des concentrations en ($Na^{+}+K^{+}$) presque homogènes (9,2 à 10,8mg/l), par contre les eaux des oueds Boukaraa et Saayoud présentent des teneurs oscillantes entre 15.3 mg/l et 16.6 mg/l (Oued Boukaraa) et 11.8 mg/l et 23.6 mg/l (Oued Saayoud).

Les teneurs en sodium des eaux de surface du bassin versant d'oued Nil sont toujours dans l'intervalle fixé par les normes algériennes (200 mg/l). Les concentrations en sodium et

potassium sont dues au lessivage des terres agricoles avec une contribution probable des eaux usées domestiques.

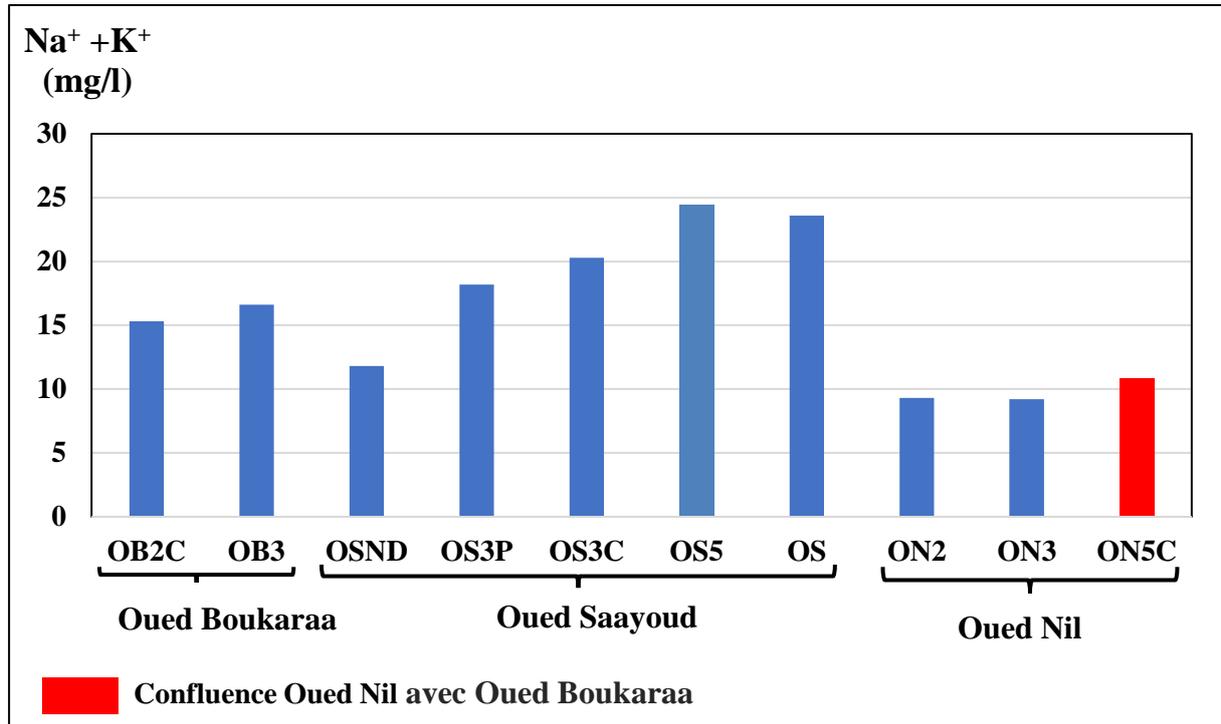


Figure 26 : Evolution spatial de Na⁺ + K⁺ des oueds Boukaraa, Saayoud et Nil en Avril, 2015.

2.3.4. Les chlorures (Cl⁻)

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution. Ils ont une influence sur la croissance des végétaux.

Les résultats d'analyse illustrés dans la figure (fig27) montrent que les teneurs en chlorures sont comprises entre 12,76 et 17,01mg/l pour oued Nil, 18,43 mg/l et 22,68 mg/l pour oued Boukaraa et 17,01 mg/l et 35,45 mg/l pour oued Saayoud. Oued Tassift présente des concentrations qui échelonnent entre 35,45 mg/l et 116,28 mg/l, ce qui montre que l'origine des chlorures est beaucoup plus anthropique que naturelle. Sachant qu'oued Tassift traverse l'agglomération de Taher.

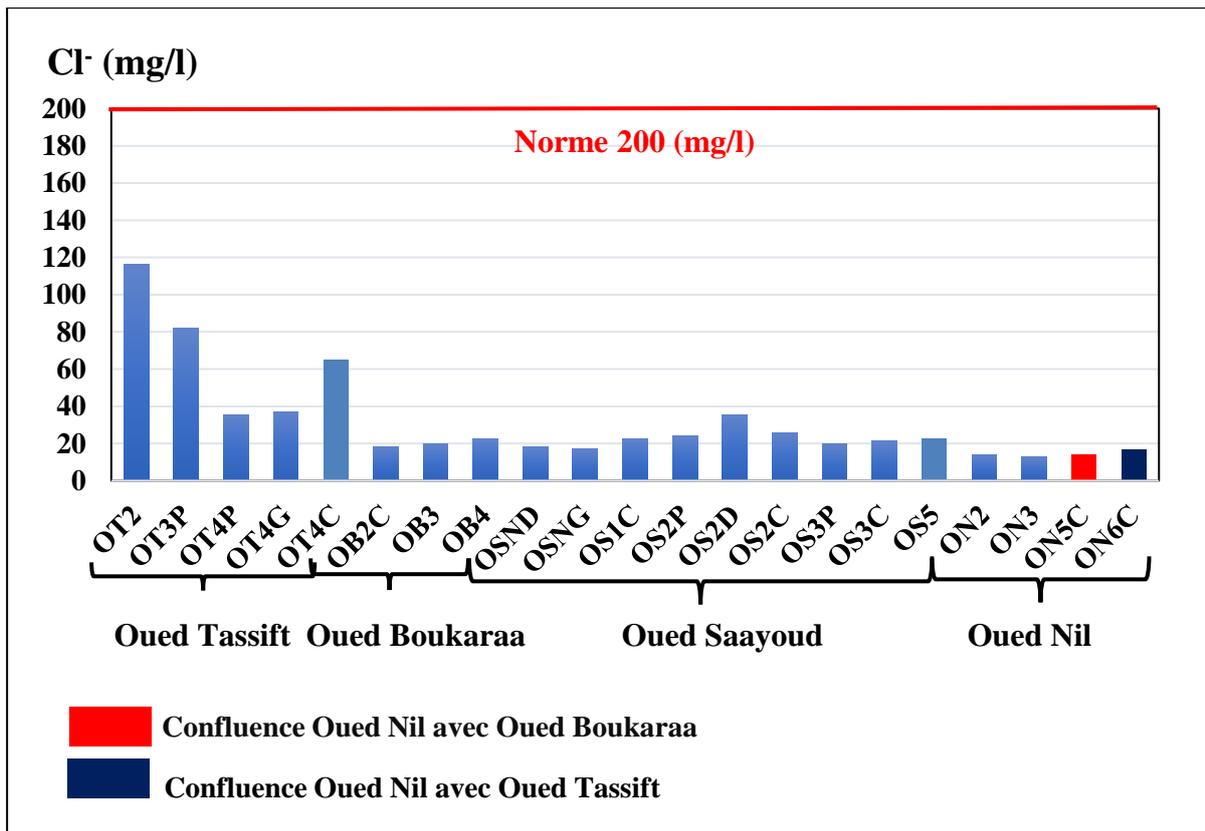


Figure 27 : Evolution spatiale du Cl⁻ des oueds Tassift , Boukaraa, Saayoud et Nil en Avril, 2015.

2.3.5. Les Bicarbonates (HCO₃⁻)

Les bicarbonates résultent de la dissolution des formations carbonatées (Cipolins, calcaires) par des eaux chargées en gaz carbonique. La somme des équations de dissolution est donnée comme suit (Rodier, 2009) : $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \longrightarrow 2\text{HCO}_3^- + \text{Ca}^{+2}$.

D'après le graphique de bicarbonates (fig.28), les résultats révèlent des teneurs varient de 102,48mg/l (ON2) à 753.96mg/l (OT3P). L'origine des bicarbonates est attribuée au lessivage des formations marneuses et aux apports anthropiques des rejets des différentes agglomérations traversées par ces oueds, notamment oued Tassift.

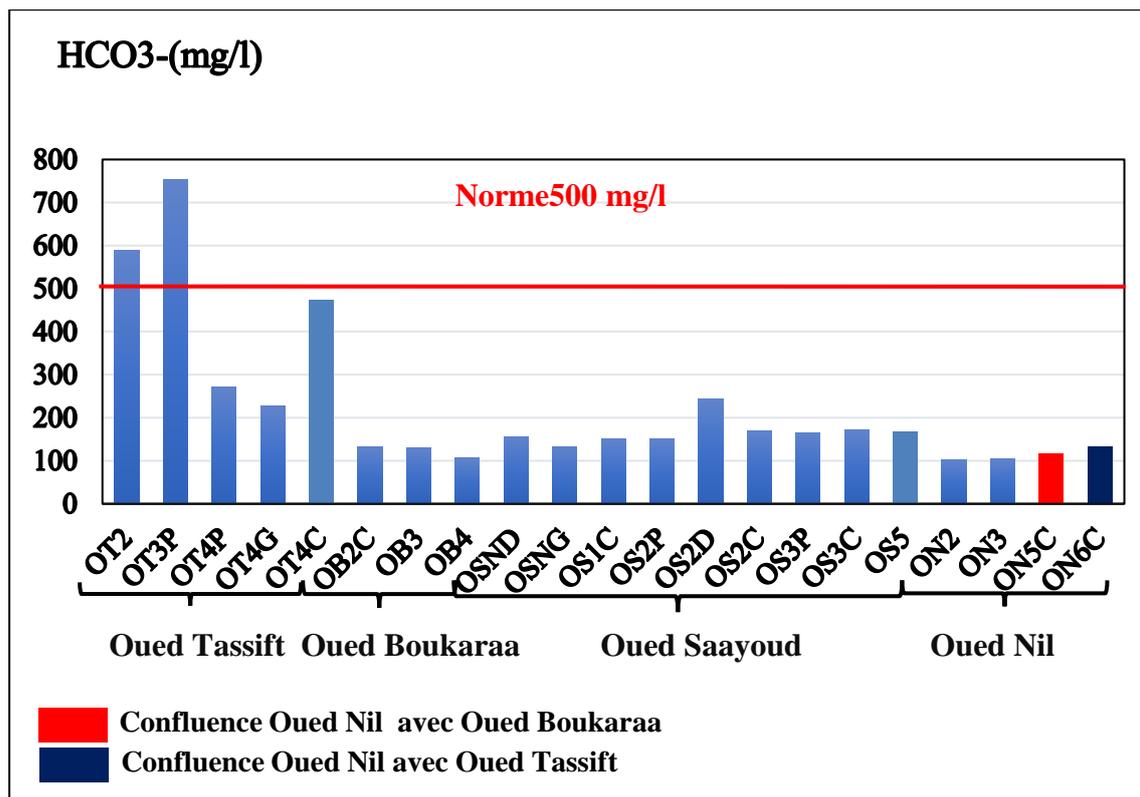


Figure 28 : Evolution spatiale de HCO₃⁻ des oueds Tassift, Boukaraa, Saayoud et Nil en Avril, 2015.

2.4. La dureté :

La dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins (Na⁺, K⁺) et H⁺. Elle est souvent due aux ions Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺. La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. La dureté se mesure en mg par litre de CaCO₃.

Le titre hydrotimétrique est donné par la formule suivante : $TH = (r Ca^{+2} + r Mg^{+2}) * 5$ en degré français (°F). Les eaux naturelles peuvent être classées selon la gamme suivante de la dureté totale (tab. 17).

Tableau 17 : Gamme de la dureté totale.

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

La dureté varie entre 92.341 °F observée au niveau de la station OT2 et 16.258°F observée à la station ON5C (tab.18). Généralement nous constatons une diminution de la dureté de l'amont vers l'aval pour les oueds Nil, Boukaraa et Tassift. Cependant pour oued Saayoud la dureté augmente de l'amont vers l'aval.

Les eaux de l'oued Tassift sont dures à très dures, expliqué par l'influence des rejets de l'agglomération de Taher.

Tableau 18 : classification des eaux en fonction de la dureté totale.

	Nom	TH en °F	Classification
Oued Tassift	OT2	92,341	Très dure
	OT3P	86,671	Très dure
	OT4P	44,419	Dure
	OT4G	37,647	Dure
	OT4C	25,474	Assez douce
Oued Boukaraa	OB2C	22,625	Assez douce
	OB3	21,218	Modérément douce
	OB4	21,076	Modérément douce
Oued Saayoud	OSNG	17,523	Modérément douce
	OS1C	15,853	Modérément douce
	OS2P	20,884	Modérément douce
	OS2D	35,714	Dure
	OS2C	22,554	Assez douce
	OS3C	30,946	Assez douce
	OS5	24,124	Assez douce
Oued Nil	ON2	28,182	Assez douce
	ON3	13,181	Modérément douce
	ON5C	16,258	Modérément douce
	ON6C	23,627	Assez douce

3. Evolution temporelle des paramètres physiques des eaux d'oued Nil

Afin d'avoir une idée sur la réponse d'oued Nil au cours d'un épisode pluvieux, nous avons procédé à un suivi journalier (14 jours) à l'exutoire d'oued Nil (ON7), ce suivi concerne la variation de débit, ainsi que la réponse des paramètres physiques : Conductivité, pH, température et oxygène dissous. Les résultats obtenus sont illustrés dans les graphiques ci-dessous.

L'évolution temporelle des valeurs des débits et des précipitations met en évidence l'existence d'un faible décalage entre les pics observés pour ces deux paramètres. L'oued reprend presque immédiatement aux pluies avec un temps de retard de quelques heures.

3.1. L'évolution de la température (T °C)

D'après la figure de l'évolution journalière de la température au niveau de la station ON7 (Fig.29), on remarque une relation inversement proportionnelle entre la température et le débit, ce qui indique l'influence directe de la température de l'air sur la température des eaux d'oued Nil suite généralement à l'abaissement de la température de l'air lorsqu'il pleut.

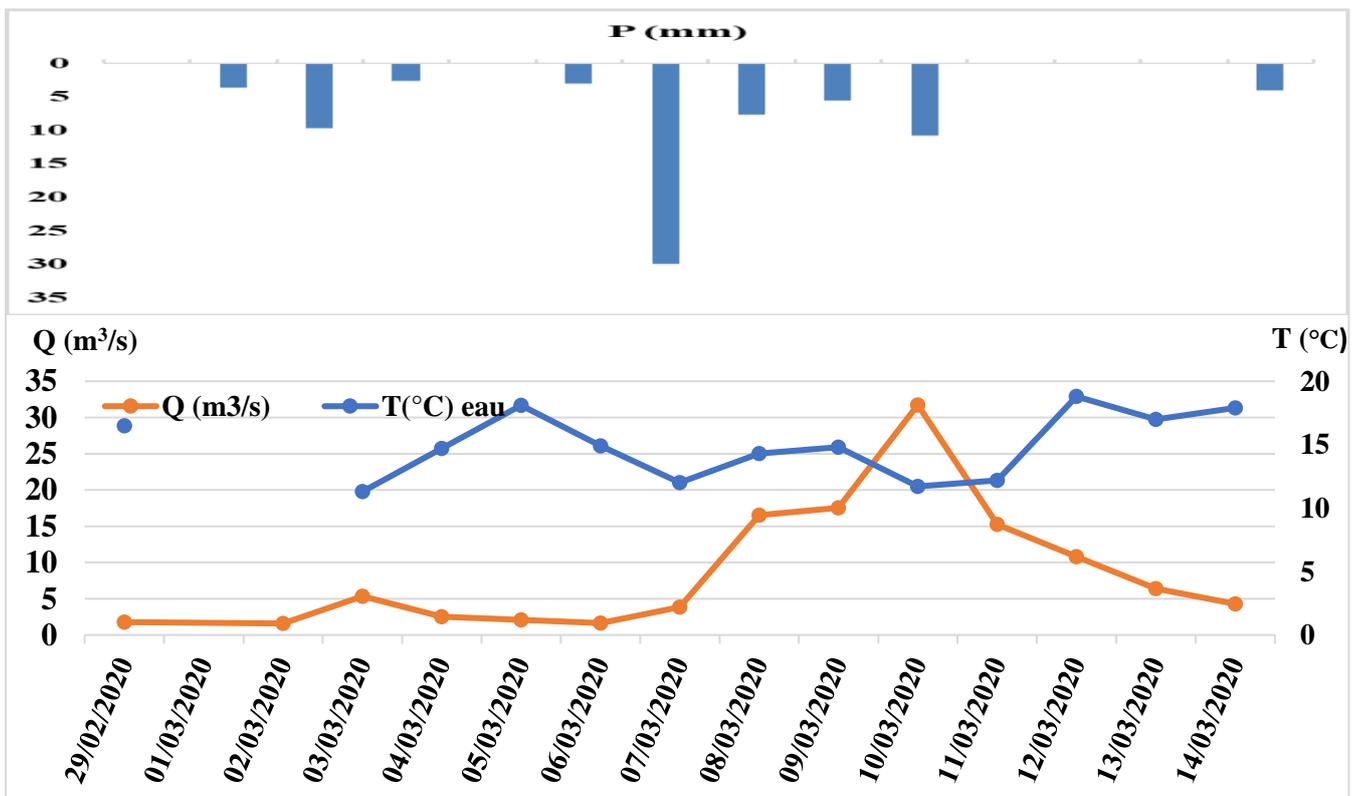


Figure 29 : l'évolution journalière de la température au niveau de la station ON7.

3.2. L'évolution de la conductivité électrique (CE $\mu\text{s/cm}$)

Selon la figure de l'évolution journalière de la conductivité électrique en fonction de débit de l'oued à la station ON7 (fig.30), on remarque une diminution de la conductivité lorsque le débit augmente, et une augmentation lorsque le débit diminue. Ceci est dû à l'effet de dilution, comme la géologie du bassin est marquée par la dominance des formations du socle Kabyle moins altérables.

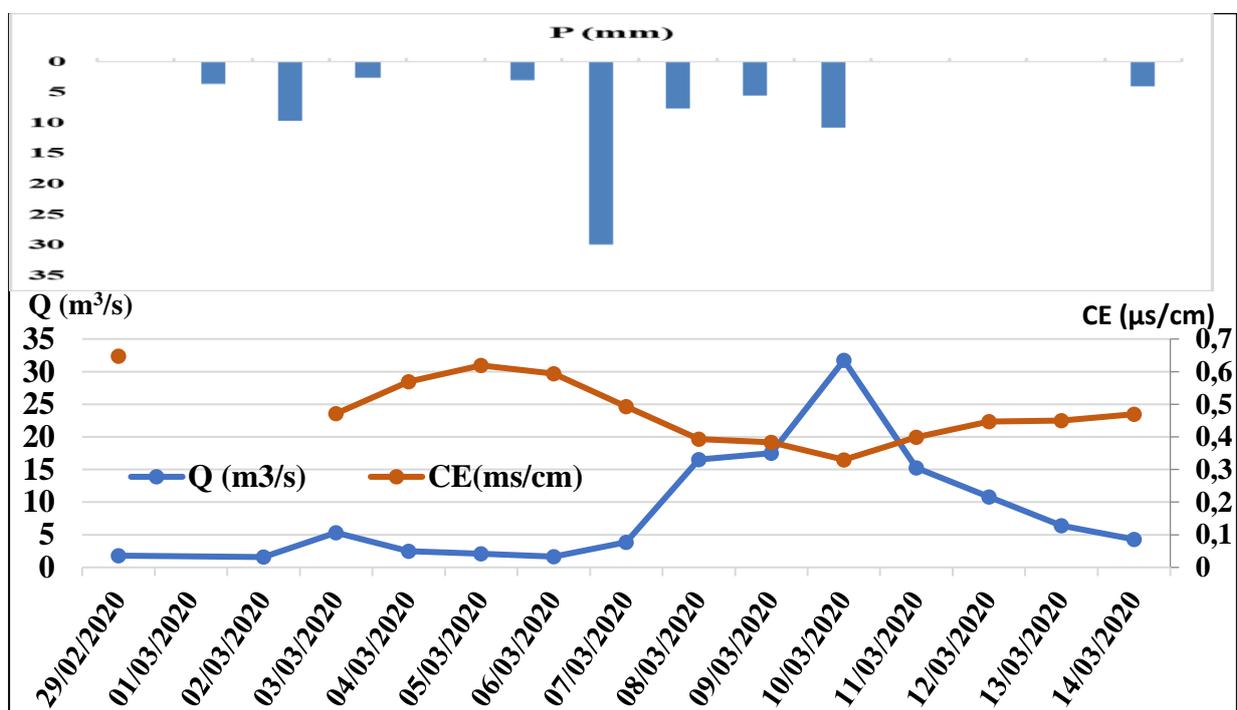


Figure 30 : l'évolution journalière de la conductivité électrique au niveau de la station ON7.

3.3. L'évolution de l'oxygène dissous (O₂)

L'évolution de l'oxygène dissous suit l'évolution de débit, parce que l'augmentation de débit favorise des vitesses d'écoulement plus élevées et par conséquent une turbulence dans l'écoulement, cette turbulence favorise l'agitation de l'eau ce qui augmente la dissolution de l'oxygène dissous à partir de l'atmosphère. Une autre source d'oxygène c'est les eaux de pluie.

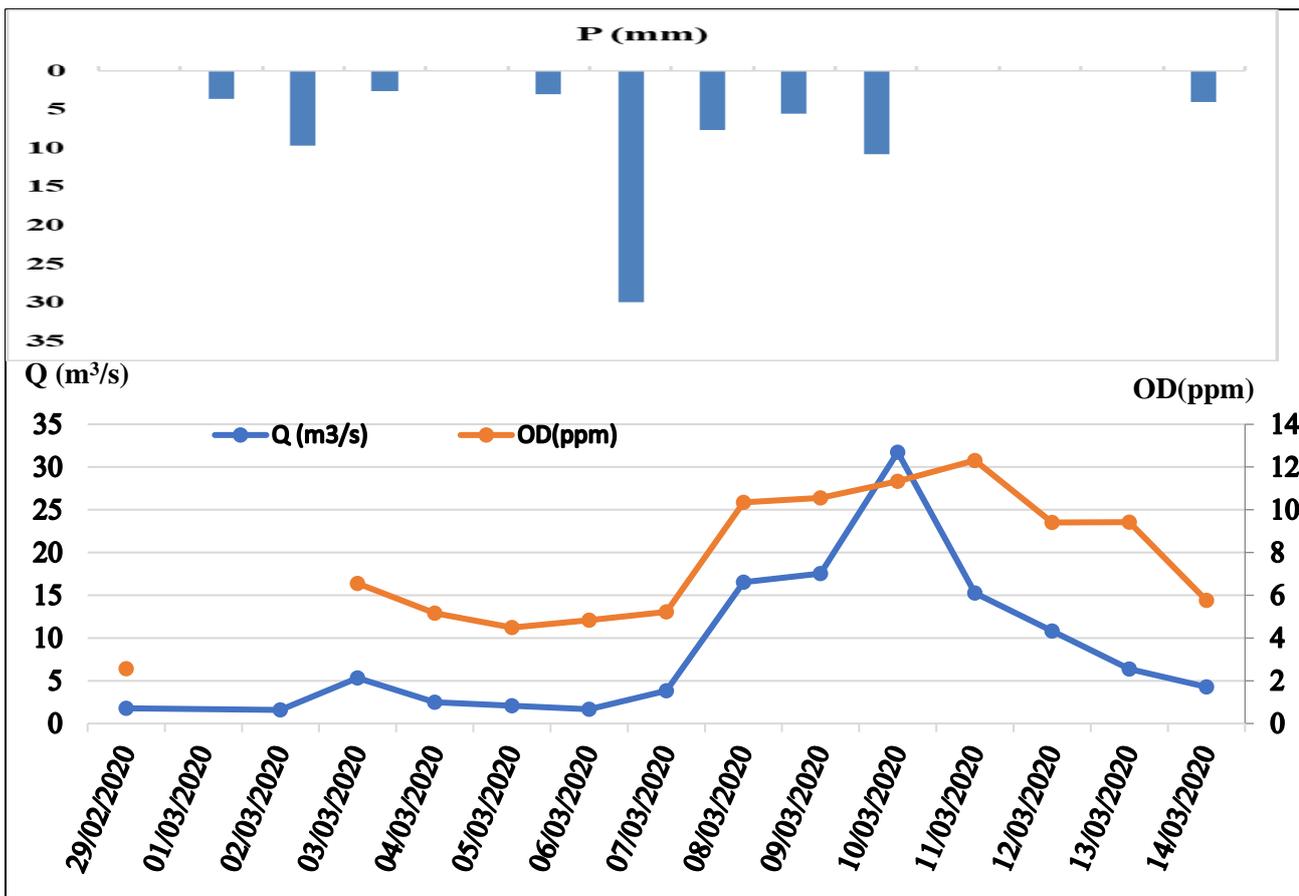


Figure 31 : l'évolution journalière de l'oxygène dissous au niveau de la station ON7.

3.4. L'évolution de pH :

L'évolution de pH ne présente pas une réponse claire, généralement les valeurs de pH restent presque stables.

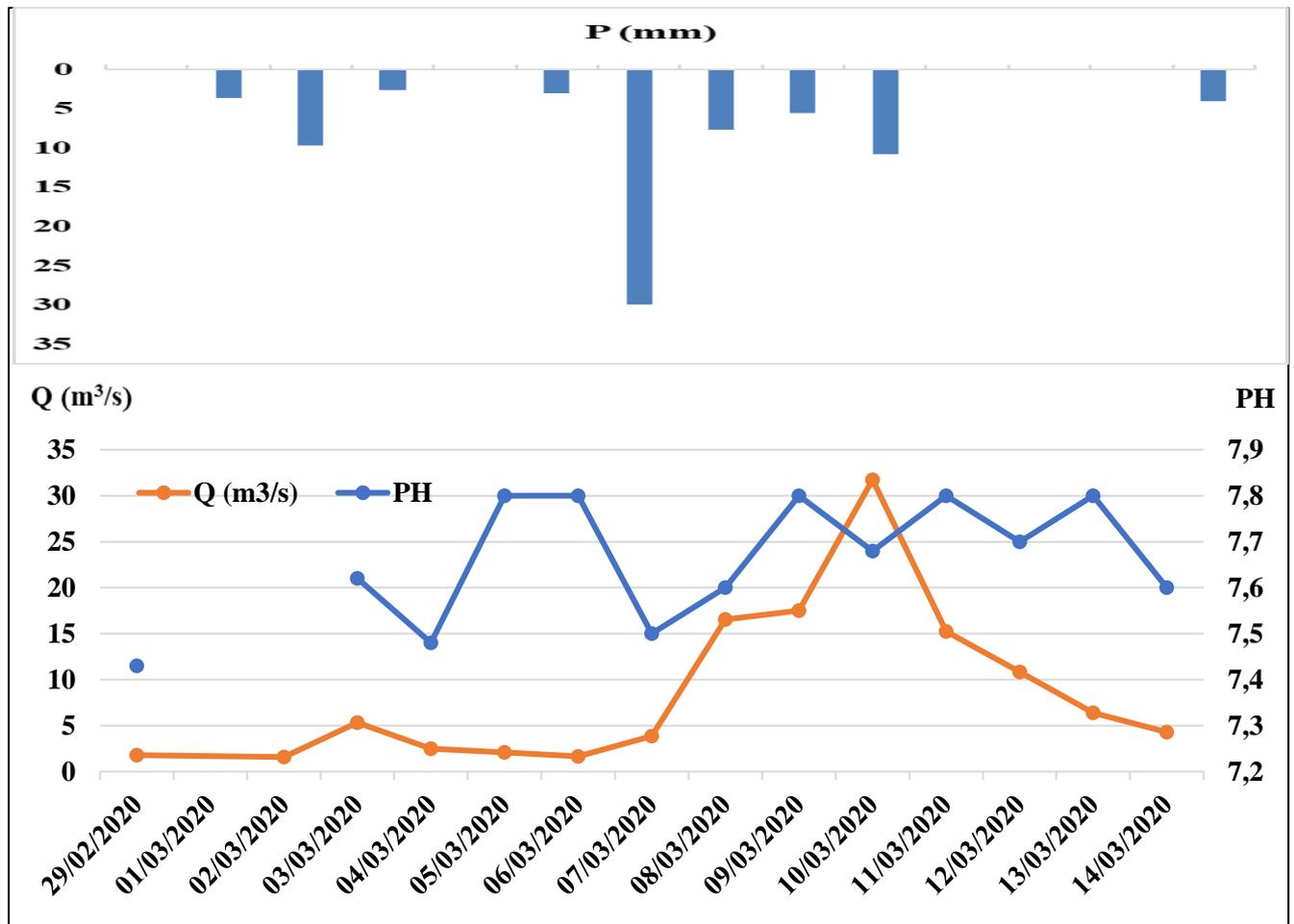


Figure 32 : L'évolution journalière de potentiel d'hydrogène (pH) au niveau de la station ON7.

4. Conclusion

L'interprétation des paramètres physico-chimiques dans ce chapitre montre que les eaux du bassin versant d'oued Nil à tendance alcaline, avec une variation irrégulière de Eh à cause de l'oxygénation de l'eau lorsque le milieu est perturbé. Une température moyenne aux alentours de 20°C, et une conductivité électrique moins élevée, sauf pour les stations d'oued Tassift où les fortes valeurs sont dues aux rejets diffus.

Les éléments majeurs présentent des concentrations inférieures aux normes, sauf pour le magnésium qui dépasse la norme Algérienne de potabilité. L'origine de cet élément est la dissolution des formations géologiques. Toutefois une origine anthropique est toujours marquée pour le magnésium.

Le suivi de la chimie des eaux en fonction du débit, montre des réponses bien claire pour la conductivité, la température et l'oxygène dissous. Cependant le pH reste stable sans influence remarquable.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le bassin versant d'oued Nil est situé dans la partie Est de la wilaya de Jijel, il se trouve exactement à une vingtaine de kilomètre du chef lieux de la wilaya. Il occupe une superficie de 304,36 Km². Notre bassin versant est caractérisé par un hiver modéré et une précipitation très importante (forte pluviométrie), et il appartient au climat méditerranéen. La morphologie du bassin versant montre que ce dernier est présenté sous une forme moyennement allongée avec un relief assez fort, caractérisé par un réseau hydrographique dense. Du point de vue géologique ; le bassin versant d'Oued Nil est caractérisé par une prépondérance des chaines montagneuse avec une dominance des formations de socle du petite kabyle qui sont des roches métamorphiques moins vulnérables à l'altération, quant aux roches sédimentaires, elles apparaissent essentiellement dans la partie aval du bassin c'est-à-dire dans la plaine. La plaine de Nil est le siège d'une topographie ancienne dont les dépressions ont été recouvertes par des alluvions récentes et des terrasses anciennes (formations quaternaires) qui sont les meilleures formations aquifères qui forment le réservoir principal de la plaine. La région d'étude reçoit des précipitations annuelles moyennes de l'ordre de 1016,72 mm, et une température moyenne annuelle de l'ordre de 18,16 C°, et caractérisée par une période humide qui se déroule du mois d'Octobre jusqu' au mois de Mai et une période sèche qui s'étend du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre.

L'interprétation des paramètres physico-chimiques montre que les eaux du bassin versant d'oued Nil à tendance alcaline, avec une variation irrégulière de Eh à cause de l'oxygénation de l'eau lorsque le milieu est perturbé. Une température moyenne aux alentours de 20°C, et une conductivité électrique moins élevée, sauf pour les stations d'oued Tassift où les fortes valeurs sont dues aux rejets diffus.

Les éléments majeurs présentent des concentrations inférieures aux normes, sauf pour le magnésium qui dépasse la norme Algérienne de potabilité. L'origine de cet élément est la dissolution des formations géologiques. Toutefois une origine anthropique est toujours marquée pour le magnésium.

Le suivi de la chimie des eaux en fonction du débit, montre des réponses bien claire pour la conductivité, la température et l'oxygène dissous. Cependant le pH reste stable sans influence remarquable.

Recommandation :

Sensibiliser les agriculteurs sur l'utilisation irréfléchie des ressources en eau de surface, ainsi que l'utilisation raisonnée des engrais chimiques selon les besoins des cultures.

L'installation d'une station d'épuration à l'aval d'oued Nil, pour collecter les rejets domestiques des agglomérations qui située dans le bassin versant.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- Berkane S., 2011.** Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique de la plaine Alluviale d'oued El Nil, Wilaya de Jijel. Mémoire d'ingénieur, Univ. Constantine, 192p
- Ben Aakame R., 2015.** Caractérisation hydro-chimique, toxicologique et évaluation des risques sanitaires des eaux souterraines de la région de Sidi-Kacem (Maroc), Thèse de Doctorat, Univ. Rabat, Maroc, 202p.
- Behekite, M., 2005.** Etude hydrogéologique de la plaine alluviale d'oued El Nil. Mémoire. D'ingénieur, Univ. Constantine, 181p.
- Boudoukhana H., 2008.** Impacts des margines sur les eaux d'oued Bouchtata, wilaya de Skikda, Mémoire de Magister, Univ. Skikda, 101p.
- Bordet J., 2007.** L'eau dans son environnement rural: hydraulique et cycle de l'eau, l'alimentation en eau potable, l'assainissement des agglomérations, Edition johanet, Paris 306p.
- Belli., 2009.** Stress oxydant induit par la Co exposition au plomb et au cadmium : deux Contaminants des eaux souterraines d'Oued El Nil (Jijel - Algérie). Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 23, n° 3, 2010, p. 289-301.
- Bagnouls H et Gaussen F., 1953.** Saison sèche et indice xérothermique, Bulletin de la Société d'histoire naturelle de Toulouse, 88, pp 193-240.
- Durand Delga M., 1969.** Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie. Publ. Serv. Carte géol. Algérie, Bull. n°39, pp 89-131.
- Fenazi. B., 2008.** Hydrogéologie, vulnérabilité et gestion des eaux du bassin versant d'oued Djendjen (Jijel, nord-est Algérien). Mémoire magister, Univ. Badji Mokhtar Annaba.
- Later L et Terki T., 1998.** Contribution à l'étude hydrogéologique et modélisation de la plaine de l'oued Djendjen (wilaya de Jijel), Mémoire d'ingénieur, Univ. Constantine, 176 p.
- Lehtihet, A.M., 1983.** Étude hydrogéologique de la plaine alluviale de l'Oued Nil (Région de Jijel). Mémoire d'Ingénieur, USTHB, Alger, 67 pages.
- Roche., 1963.** Hydrologie de surfaces. Gauthier-Villars et ORSTOM, Paris, France, 430p.
- Rodier j., 1996.** Analyse des eaux naturelles et des eaux résiduaires et eaux des mers 8^{ème} édition Dunod, Paris, 1383 p.

Rodier j., 2009. L'analyse de l'eau, eaux naturelle, eaux résiduaires, eaux de mer, 9^{ème} édition Dunod, Paris, 1383 p.

Sadoun. L., 2013. Etude hydrologique et hydrodynamique de la basse plane alluviale de l'oued el Nil (wilaya de Jijel). Mémoire de master 2 en Eau et Environnement. Université de Jijel, 10-13p, 39p,57p

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

Sites Internet consultés

www.sciencedirecte.com

www.hydrothèse.com

https://www.google.com/search?xsrf=ALeKk00sF_XIU0ibtImgbNeTj_hUowgdGQ%3A1603346720891&ei=ICGRX7j0NYGPlwTkr4qQDw&q=La+conductivit%C3%A9+%C3%A9lectrique+indique+le+degr%C3%A9+de+min%C3%A9ralisation+de+l%27eau+et+aussi+un+bon+indicateur+de+sa+source+%28Pilgeti+et+al.

https://www.google.com/search?xsrf=ALeKk00_X0plZksrC0z7OGuzHDnNwJq9Wg%3A1603346669746&ei=7SCRX9GPLdCblwTA36jgCg&q=On+doit+absolument+la+mesurer+sur+l

Annexes

Annexe 1 : données climatiques

Précipitation de la station d'Achouat en (mm) pour la période (1988-2015) :

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

La température de la station d'Achouat en (C°) pour la période (1988-2015)

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

Précipitations moyennes mensuelles [1988-2015] (O.N.M, d'Achouat)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Août
Précipitation moyenne mensuelle	62,86	92,50	159,56	192,30	133,26	121,04	87,52	82,73	50,49	15,79	3,00	15,72

Température moyennes mensuelles [1988-2015] (O.N.M, d'Achouat)

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Jun	Jui	Aoû
Température moyenne mensuelle	23,67	20,51	16,01	12,73	11,58	11,70	13,62	15,62	18,43	22,55	25,38	26,21

Annexe 2 : Les paramètres physico-chimiques mesurés in-situ des eaux de surfaces.

	Nom	O2 (mg/l)	CE (us/cm)	Eh	PH	T°C
Oued Tassifte	OT2	0,07	1547	120	7,62	24
	OT3P	0,08	1740	-265	7,36	22
	OT4P	0,06	632	90	7,15	20
	OT4G	0,01	588	202	7,22	25,4
	OT4C	0,07	1054	183	7,05	25
Oued Boukraa	OB2C	0,13	272	129	8,47	24
	OB3	0,18	333	105	8,02	22,4
	OB4	0,21	287	182	9,05	23
Oued Saayoud	OSND	0,1	323	51	7,53	14,7
	OSNG	0,12	295	75	7,85	15,1
	OS1C	0,14	316	90	7,86	15,3
	OS2P	0,11	313	90	8,22	17,5
	OS2D	0,15	516	104	7,75	17,3
	OS2C	0,03	332	165	8,04	15,9
	OS3P	0,29	355	217	8,01	20,9
	OS3C	115	484	167	6,77	23,1
	OS5	0,14	484	167	6,77	23,1
Oued Nil	ON2	0,16	233	80	7,5	24,5
	ON3	0,2	250	235	7,36	20,8
	ON5C	0,1	262	1	7,87	23
	ON6C	0,12	278	173	7,44	24,2
	ON7C	0,1	319	203	7,64	18,9