

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة 20 أوت 1955 - سكيكدة
UNIVERSITE 20 AOUT 1955-SKIKDA



Faculté des Sciences
Département des Sciences de la Nature et de la Vie
Mémoire Présenté en Vue de l'obtention du Diplôme de Master

**Filière : Ecologie et
Environnement**

**Option: Ecologie des milieux
naturels**

Intitulé

**Etude comparative de la qualité physicochimique et
bactériologique des eaux des barrages de Guenitra et
Beni Zid (Wilaya de Skikda)**

Présenter par : OUAR Asma, SATOUH Amani et SAYOUD Chaima

Membre de jury :

DJERROU Zouhir (Pr.)	Président	Université 20 Août 1955-Skikda-
KHELFAOUI Hakim (MCA)	Directeur de mémoire	Université 20 Août 1955-Skikda-
FEKRACHE Fadhila (MCA)	Examineur	Université 20 Août 1955-Skikda-

Année universitaire 2021/2022

Résumé

Avec l'accroissement démographique qu'a subi notre pays les besoins de la consommation des eaux potables, ainsi qu'aux domaines agricole et industriel ne cesse de progresser d'une année à l'autre suite à la pénurie due aux faibles précipitations enregistrées. Parmi les moyens de lutter contre ce déficit ; la construction des barrages. L'étude de suivi et de comparaison de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux des barrages de Beni Zid et de Guenitra réalisée à l'Ouest de la Wilaya de Skikda nous a montré que les eaux des deux barrages sont très vulnérables et risquent de ne pas être convenables à leur utilisation en irrigation suite à leurs teneurs élevées en germes de bactéries pathogènes, matière organique et DBO5. Ces eaux sont dures et alcalines. Les eaux du barrage de Beni Zid sont plus alcalines, turbides, chlorurées, sulfatées, phosphatées, nitrates que celles du barrage de Guenitra, alors que celles de ce dernier sont plus conductrices, minéralisées, dures, calciques, bicarbonatées, ammoniacales ainsi que riches en matière organique que celles des eaux du barrage de Beni Zid.

Mots clés : *Guenitra, Beni Zid, Barrage, Norme, Irrigation, Eau.*

Abstract

With the population growth that our country has undergone, the needs for the consumption of drinking water, as well as for the agricultural and industrial fields, continue to progress from one year to the next following the shortage due to the low rainfall recorded. Among the means of combating this challenge; the construction of dams. The monitoring and comparison study of the physicochemical and bacteriological quality of the waters of the Beni Zid and Guenitra dams carried out to the west of the Wilaya of Skikda showed us that the waters of the two dams are very vulnerable and risk of not be suitable for use in irrigation, due to their high levels of pathogenic bacteria, organic matter and BOD5. These waters are hard and alkaline. The waters of the Beni Zid dam are more alkaline, turbid, chlorinated, sulfated, phosphated, nitrated than those of the Guenitra dam, while those of the latter are more conductive, mineralized, hard, calcic, bicarbonated, ammoniacal and rich in organic matter than those of the waters of the Beni Zid dam.

Keywords: *Guenitra, Beni Zid, Dam, Standard, Irrigation, Water.*

ملخص:

مع النمو السكاني الذي شهدته بلادنا، تستمر احتياجات استهلاك مياه الشرب، وكذلك في المجالات الزراعية والصناعية، هذا الاستهلاك لا يتوقف عن الزيادة من عام إلى آخر خاصة بعد الجفاف بسبب قلة هطول الأمطار المسجلة. ومن وسائل مواجهة هذا التحدي بناء السدود. أظهرت دراسة الرصد والمقارنة للجودة الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية لمياه سدي بني زيد والقنيطرة التي أجريت غرب ولاية سكيكدة أن مياه السدين معرضة بشدة لخطر عدم ملاءمتها لاستخدامها في الري بسبب المستويات العالية من البكتيريا المسببة للأمراض والمواد العضوية والأكسجين البيولوجي. هذه المياه صلبة وقلوية. مياه سد بني زيد قلوية، وعكرة، وذات تراكيز أعلى من كلور، السلفات، الفوسفات والنترات أكثر من تلك الموجودة في سد القنيطرة، في حين أن مياه سد بني زيد أكثر ناقلية وتعتمدن، وصلابة، وكلسيه، وبكربونية، وغنية بالمواد العضوية من مياه سد بني زيد.

الكلمات المفتاحية: القنيطرة، بني زيد، السد، المعيار، الري، المياه

Dédicace

Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux Tout d'abord je tiens à remercier le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour arriver à ce stade afin de réaliser ce travail que je dédie :

A ma très chère mère Nadia, qui n'a jamais cessé de prier pour moi

A mon très cher père SALAH, pour ses encouragements son soutien, surtout pour son amour et son sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études.

A ma cher sœur : Souhila, Abir, Rekaya

A mes chers frère:Aymen, Ayoub

A ma cher tante : Meseada

A toute ma grande famille : Sayoud, kaddous.

A mes meilleurs amis : Asma, Amani, Chaima, Manel , rekaya,
khalisa

A tous ceux que j'ai connus, et qui reconnaitrons. A tous ceux que *j'aime*

Chaima

Dédicace

Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux Tout d'abord je tiens à remercier le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour arriver à ce stade afin de réaliser ce travail que je dédie :

A ma très chère mère Fatima, qui n'a jamais cessé de prier pour moi

A mon très cher père Djamel, pour ses encouragements son soutien, surtout pour son amour et son sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études.

A ma cher sœur : Asie

A mes chers frère: Amine, Bourhan.

A toute ma grande famille : OUAR, ZAKARIE.

A mes meilleurs amis : Chaima, Amani, Chaima , Manel, Rekia ,
Khalisa

A tous ceux que j'ai connus, et qui reconnaitrons. A tous ceux que j'aime

ASMA

إهداء

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات أهدي عملي هذا وثمره جهدي

إلى وكر الحب الدافئ إلى من ترعرعت بين أحضانها

إلى التي لا تزال الجنة تحت أقدامها إليكي "يا أمي" إليكي يا أملي ومحبتي وينبوع ضيائي

إلى العزيز الذي كان دوما سندي المادي والمعنوي إلى من علمني مكارم الأخلاق إليك "أبي" يا نبراس
دربي وتاج رأسي

إلى كل الورود الندية التي تقطن حدائق حياتي أقحوانها إخوتي و نرجسها أخواتي و عطرها الفواح
كل خالاتي

إلى شريك حياتي الذي ساندني وقاسمني أعباء هذا العمل إليك

"يا عيسى"

إلى أخواتي من رحم الصداقة إليكن أعزائي كل بسمها

"إيمان", "صبرينة", "نسرين"

إلى من شاركتاني أعباء عمل هذه المذكرة شيماء , وأسماء

إلى من شرفني بوضع اسمه على مذكرة تخرجنا إلي من كان له الفضل

إلى ما وصلنا إليه الأستاذ "خلفاوي حكيم"

إلى كل من ساهم في انجاز مذكرتنا ووقف بجانبنا ولو بالكلمة الطيبة

Remerciements

Avant tout, nous remercions Allah tout puissant qu'il nous a guidé tout au long de nous vie, qu'il nous a donné courage et patience pour passer tous les moments difficiles, qu'il nous a permis d'achever ce travail et de pouvoir le mettre entre vos mains aujourd'hui.

Nos remerciements vont également à notre promoteur Monsieur **KHELFAOUI Hakim**, qui nous a toujours accueilli à bras ouverts et à tout moment, de nous avoir assisté le long de la réalisation du travail, qu'il trouve ici nos sincères gratitude et nos profondes reconnaissances pour tous les efforts qui ont été déployés dans ce sujet, ainsi que de sa compréhension et sa patience.

Nous remercions monsieur **Djerrou Zouhir**, qui a bien voulu accepter de présider le jury. Nous remercions encore madame **Fekrache Fadhila** pour avoir bien voulu participer à examiner ce travail, veuillez trouver ici l'expression de notre profonde gratitude en acceptant le jugement et la perfection de ce travail.

Nous tenons a aussi à remercier tous les gens du laboratoire de l'ADE de Skikda pour leur aide

Tous nos remerciements aux personnes, qui de près ou de loin ayant généreusement contribué à l'élaboration de ce travail.

Nous remercions enfin tous ceux qui n'ont pas été cité dans ces lignes et qui ont contribué de près ou de loin par leur aide au bon déroulement de ce travail.

LISTE DES FIGURES

Fig. 1- Situation géographique des barrages étudiés.....	03
Fig. 2- Réseau hydrographiques du sous bassin versant de l'Oued Guebli (Mecibah.2016).....	06
Fig. 3- Carte géologique et structurale avec localisation des gisements et indices minéralisés du massif de la petite Kabylie (Bouillin et Kornprobst, 1974).....	08
Fig. 4- Carte d'occupation du sol du bassin versant du Guebli (d'après MECIBAH, 2017).....	10
Fig. 5- Différents points de rejets dans le sous bassin versant de l'Oued Guebli (Mecibah, 2016).....	11
Fig.6- Inventaire des points de prélèvement des échantillons dans le barrage de a) -Beni Zid et b) -le barrage de Guenitra.....	18
Fig.7- Flacon stérile.....	19
Fig. 8- Multimètre (pH-mètre, thermomètre, conductimètre).....	21
Fig. 9- Turbidimètre.....	22
Fig. 10- Titrage de la dureté totale (THT).....	23
Fig. 11- Dosage du titre alcalimétrique complet (TAC).....	23
<i>Fig. 12-</i> Dosage de Ca^{2+}	24
<i>Fig. 13-</i> Dosage des chlorures	25
Fig. 14- Spectrophotomètre DR2800.....	26
Fig. 15- Dosage de sulfate.....	27
Fig. 16- Dosage de l'ammonium.....	28
Fig. 17- Dosage de la DBO_5	30
Fig. 18- Pompe de filtration.....	31
Fig. 19- Milieu de culture des bactéries.....	31
Fig. 20- Test de confirmation.....	31
Fig. 21- Variations des températures moyennes mensuelles (°C) pour la station du barrage de Guenitra (2014-2015/2020-2021).....	34
Fig. 22- Variations des températures moyennes annuelles (°C) pour la station du barrage de Guenitra (2014-2015/2020-2021).....	34
Fig. 23- Variations des précipitations moyennes mensuelles (°C) pour la station du barrage de Guenitra (2014-2015/2020-2021).....	35
Fig. 24- Variations des précipitations moyennes annuelles (°C) pour la station du barrage de Guenitra (2014-2015/2020-2021).....	36

Fig. 25- Digramme Ombrothermique pour la station du barrage de Guenitra (2014-2015/2020-2021).....	
Fig. 26- Variations des températures moyennes mensuelles (°C) pour la station du barrage de Beni Zid(2001-2002/2019-2020).....	37
Fig. 27- Variations des températures moyennes annuelles (°C) pour la station du barrage de Beni Zid (2001-2002/2019-2020).....	38
Fig. 28- Variations des précipitations moyennes mensuelles pour la station du barrage de Beni Zid (2001-2002/2019-2020).....	38
Fig. 29- Variations des précipitations moyennes annuelles pour la station du barrage de Beni Zid (2001-2002/2019-2020).....	39
Fig. 30- Digramme Ombrothermique pour la station du barrage de Beni Zid (2001-2002/2019-2020).....	40
Fig. 31- Variation spatio-temporelle du pH dans les barrages de Beni Zid (P1, P2, P3) et le barrage de Guenitra (E1, E2 et E3).....	44
Fig. 32- Variation spatio-temporelle de la conductivité électrique dans les barrages de Beni Zid (P1, P2, P3) et le barrage de Guenitra (E1, E2 et E3).....	45
Fig. 33- Variation spatio-temporelle de la température dans les barrages de Beni Zid (P1, P2, P3) et le barrage de Guenitra (E1, E2 et E3).....	46
Fig. 34- Variation spatio-temporelle de la turbidité dans les barrages de Beni Zid (P1, P2, P3) et le barrage de Guenitra (E1, E2 et E3).....	47
Fig. 35- <i>Variation spatio-temporelle de la dureté totale dans les barrages de Beni Zid (P1, P2, P3) et le barrage de Guenitra (E1, E2 et E3).....</i>	48
Fig. 36- <i>Variation spatio-temporelle du titre alcalimétrique complet dans les barrages de Beni Zid (P1, P2, P3) et le barrage de Guenitra (E1, E2 et E3).....</i>	49
Fig. 37- <i>Variation spatio-temporelle du calcium dans les barrages de Beni Zid (P1, P2, P3) et le barrage de Guenitra (E1, E2 et E3).....</i>	50
Fig. 37- Fig. 38- <i>Variation spatio-temporelle du chlorure dans les barrages de Beni Zid (P1, P2, P3) et le barrage de Guenitra (E1, E2 et E3).....</i>	51
Fig. 39- <i>Variation spatio-temporelle du sulfate dans les barrages de Beni Zid (P1, P2, P3) et le barrage de Guenitra (E1, E2 et E3).....</i>	52
Fig. 40- <i>Variation spatio-temporelle du phosphate dans les barrages de Beni Zid (P1, P2, P3) et le barrage de Guenitra (E1, E2 et E3).....</i>	53
Fig. 41- <i>Variation spatio-temporelle du fer total dans les barrages de Beni Zid (P1, P2, P3) et le barrage de Guenitra (E1, E2 et E3).....</i>	54

<i>P3) et le barrage de Guenitra (E1, E2 et E3).....</i>	
Fig. 42- <i>Variation spatio-temporelle de l'ammonium dans les barrages de Beni Zid (P1, P2, P3) et le barrage de Guenitra (E1, E2 et E3).....</i>	55
Fig. 43- <i>Variation spatio-temporelle du nitrite dans les barrages de Beni Zid (P1, P2, P3) et le barrage de Guenitra (E1, E2 et E3).</i>	56
Fig. 44- <i>Variation spatio-temporelle de la matière organique dans les barrages de Beni Zid (P1, P2, P3) et le barrage de Guenitra (E1, E2 et E3).....</i>	57
Fig. 45- <i>Variation spatio-temporelle de la DBO5 dans les barrages de Beni Zid (P1, P2, P3) et le barrage de Guenitra (E1, E2 et E3).....</i>	58

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1- Propriétés techniques des barrages de Guenitra et de Beni Zid.....	04
Tableau 2- Caractéristique Morpho métriques du bassin versant d'Oued Guebli (In Mesibah, 2016).....	05
Tableau 3- Matériels et appareillage utilisé pour les analyses physicochimiques et bactériologique.....	19
Tableau 4- Etablissement de la courbe d'étalonnage pour les phosphates.....	29
Tableau 05 - Coordonnées géographiques de la station météorologique des barrages d Guenitra et de Beni Zid.....	33
Tableau 6- Bilan hydrique pour la station du barrage de Guenitra(2014-2015/2020-2021), d'après la méthode de Thornthwaite (1955).....	41
Tableau 7- Bilan hydrique pour la station du barrage de Beni Zid (2001-2002/2019-2020), d'après la méthode de Thornthwaite (1955).....	42
Tableau 8- Normes/lignes directives des <i>eaux d'irrigation</i>	43
Tableau 9 : Résultats des analyses bactériologiques des sources étudiées.....	59

Liste des abréviations

ADE	Algérienne Des Eaux
AgNO ₃	Nitrate d'argent
ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
CE	Conductivité électrique
C°	Degrés Celsius
DBO ₅	Demande biochimique en oxygène
D /C	Double concentration
EDTA	Acide Ethylène-diamine-Tertreacitique
Fig.	Figure
Kcl	Chlorure de potassium
L/s	Litre par seconde
Mm	Millimètre
MES	Matière en suspension
mg/L	milligramme par litre
Npp	Nombre plus probable
N°	Numéro
OD	Oxygène dissous
OMK	L'Oligo-Miocène Kabyle
OMS	Organisation mondiale de santé
PH	Potentiel d'hydrogène
RS	Résidu sec
SW-NE	South West-Northwest
S/C	Simple concentration
T	Température
TA	Titre alcalimétrique
TAC	Titre alcalimétrique complet
TH	Titre hydrométrique
THT	Dureté totale
V	Volume
NTU	Unité de turbidité néphélométrique
µs/cm	Micro siemens par centimètre
Camp.	Campagne

SOMMAIRE

Résumé	Error! Bookmark not de l
Abstract.....	II
ملخص.....	III
Dédicaces.....	IV
Remerciements.....	VII
Liste des figures.....	VIII
Liste des tableaux.....	XI
Liste des abréviations.....	
Introduction générale.....	01
Partie I : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE ET SYNTHÈSE	
BIBLIOGRAPHIQUE	
I. Situation géographique	03
I.1. Fiche technique des barrages de Guenitra et de Beni Zid	04
I.2. La commune d'Oum Toub	04
I.3. Commun Béni Zid.....	04
II. Caractéristiques hydrologiques et morfo-métriques du sous bassin versant d'Oued Guebli.....	04
III. Systèmes aquifères	06
IV. Caractéristiques géologiques de la zone d'étude.....	07
IV.1. La région de Collo (<i>qui comporte le barrage de Beni Zid</i>).....	07
IV.2. La commune d'Oum Toub.....	08
IV.2.1. Le domaine des flyschs	08
IV.2.2. L'Oligo-Miocène Kabyle (OMK).....	09
V. Occupation du sol du sous bassin versant de l'Oued Guebli.....	09
VI. Les réseaux d'assainissements.....	10
VII. Les différentes sources de la pollution des eaux.....	11
VII.1. Pollution urbaine (domestique).....	11
VII.2. Pollution agricole.....	12
VII.3. Pollution industrielle.....	12
VIII. Paramètres de la qualité des eaux.....	12
VIII.1. Paramètres organoleptiques.....	12
VIII.1.1. La couleur.....	12
VIII.1.2. L'odeur et la saveur.....	13
VIII.2. Qualité physique.....	13
VIII.2.1. Potentiel d'hydrogène (pH).....	13
VIII.2.2. La conductivité électrique.....	13
VIII.2.3. Turbidité.....	13
VIII.2.4. La salinité.....	13
VIII.2.5. L'oxygène dissous (OD).....	14
VIII.2.6. Matière en suspension (MES).....	14
VIII.3. Qualité chimique.....	14
VIII.3.1. Chlorures (Cl ⁻).....;	14
VIII.3.2. Dureté ou titre hydrométrique (TH).....	14
VIII.3.3. Titre alcalimétrique (TA) ou titre alcalimétrique complet (TAC).....	14
VIII.3.4. Calcium (Ca ²⁺) et Magnésium (Mg ²⁺).....	15
VIII.3.5. Nitrates et Nitrites (NO ₃ ⁻ et NO ₂ ⁻).....	15
VIII.3.6. Sulfates (SO ₄ ²⁻).....	15

VIII.3.7. Demande biochimique en oxygène (DBO ₅).....	16
WIII.4. Pesticides ou herbicides.....	16
VIII.5. Paramètres bactériologiques de l'eau.....	16
VIII.5.1. Coliformes totaux.....	16
VIII.5.2. Coliformes fécaux.....	17
VIII.5.2. Coliformes fécaux.....	17
VIII.5.3. Streptocoques fécaux.....	17
VIII.5.4. Germes totaux.....	17

PARTIE II: PARTIE PRATIQUE

Chapitre 1 : MATERIELS ET METHODES

1. Méthodologie générale.....	18
1.1. Échantillonnage.....	18
I.2. Analyses physicochimiques.....	21
1.2.1. Mesure du potentiel d'hydrogène (pH).....	21
I.2.2. La conductivité électrique.....	21
I.2.3. Turbidité.....	22
I.2.4. La dureté totale ou la THt.....	22
I.2.5. Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC).....	23
I.2.6. Le calcium (Ca ²⁺).....	24
I.2.7. Les chlorures.....	24
I.2.8. Les nitrites.....	25
I.2.9. Les sulfates.....	26
I.2.10. L'ammonium.....	27
I.2.11. Le phosphate.....	28
I.2.12. La demande biologique en oxygène (DBO ₅).....	29
I.3. Analyses bactériologiques.....	30
I.3.1. Les Coliformes et <i>E. Coli</i> I.....	30

Chapitre 2 : RESULTATS ET DISCUSSION

1. Etude climatique.....	33
1.1. Station du barrage de Guenitra.....	33
1.1.1. Variations des températures dans le temps.....	33
1.1.1.1. Variations moyennes mensuelles.....	33
1.1.1.2. Variations annuelles.....	34
1.1.2. Variations des précipitations dans le temps.....	35
1.1.2.1. Variations moyennes mensuelles.....	35
1.1.2.2. Variations annuelles.....	35
1.1.3. Diagramme Ombrothermique.....	36
1.2. Station du barrage de Beni Zid.....	37
1.2.1. Variations des températures dans le temps.....	37
1.2.1.1. Variations moyennes mensuelles.....	37
1.2.1.2. Variations annuelles.....	37
1.2.2. Variations des précipitations dans le temps.....	38
1.2.2.1. Variations moyennes mensuelles.....	38
1.2.2.2. Variations annuelles.....	39

1.2.3. Diagramme Ombrothermique	39
1.3. Le bilan hydrique	40
1.3.1. Estimation des paramètres du bilan	40
1.3.1.1. L'évaporation-évapotranspiration.....	40
1.3.2. Bilan hydrique de la station pluviométrique du de Guenitra.....	41
2. Etude physicochimique et bactériologique des eaux des deux barrages.....	42
2.1. Le Ph.....	44
2.2. La conductivité électrique (CE).....	45
2.3. La température.....	45
2.4. La turbidité	46
2.5. La dureté totale (THt)	47
2.6. Le titre alcalimétrique (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC).....	48
2.7. Le calcium	49
2.8. Le chlorure	50
2.9. Le sulfate.....	51
2.10. Le phosphate	52
2.11. Le fer total.....	53
2.13. L'ammonium	54
2.14. Le nitrite (NO ₂ ⁻).....	55
2.15. La matière organique (MO).....	56
2.16. La demande biologique en oxygène pendant 5 jours (DBO5).....	57
2.17. Les paramètres bactériologiques.....	58
2.17.1. Coliformes Totaux.....	58
2.17.2. Coliformes Fécaux.....	59
2.17.3. Streptocoques Fécaux.....	59
2.17.4. <i>E. Coli</i>	59
Conclusion générale	61
Références bibliographiques	65

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est un élément naturel indispensable à la vie c'est une richesse nécessaire à toute activité humaine, et constitue le patrimoine d'une nation (Hadeif, 2017). L'eau couvre environ 70% de la planète, c'est-à-dire environ 1.4 milliards de km³. C'est pour cela qu'on donne souvent à la Terre le nom de la planète bleue. Dans toute cette eau, 97.2 % est de l'eau salée et seulement 2.8% est de l'eau douce. Les 2.8 % d'eau douce se répartissent de la façon suivante 2.15% de glace polaire, 0.63% d'eaux souterraines, 0.02% d'eaux de surface (lacs, fleuves, rivières...), 0.001% d'eau atmosphérique (Lambert, 1996). L'utilisation des prélèvements mondiaux en eau est estimée pour l'agriculture à 70 %, l'industrie 20 %, la consommation domestique 10% (Abbadie, 2017). L'eau est une ressource vitale pour le développement démographique et économique de la planète et sa problématique ne se pose pas dans les mêmes termes selon le niveau de développement économique social et politique atteint par les différents pays. Le déséquilibre entre une demande sans cesse croissante et une offre réduite, pose le problème de la gestion de sa rareté. La répartition inégale de cette ressource sur l'ensemble des pays, crée des tensions et en fait une source de conflits. Ces constats ont été à la base de rencontres internationales sur la question et à l'émergence de certaines décisions universellement admises (Bouziani, 2000).

En Algérie, l'eau est une ressource fondamentalement préoccupante du fait de sa rareté et du développement économique et social désordonné. Cela entraîne une suite de problèmes de gestion au sens large : pertes, gaspillages, traitements aléatoires, dégradations et manque de protection de la ressource, qui s'ajoutent aux conditions naturelles défavorables (Boudjadja et al., 2003). La wilaya de Skikda dispose de potentialités hydriques avérées, évaluées à 1674,46 hm³ par ans (A.N.R.H., 2000). Elle s'est dotée au fil des années de 04 nouveaux barrages qui sont venus consolider celui de Zerdezas construit durant les années trente, et qui mobilise 20 millions de m³ par an, la capacité de stockage de la Wilaya est estimée à 315 millions de mètres cubes répartis comme suit : Zerdazas 20 millions de m³, Gunitera 125 millions de m³, Zit Emba 120 millions de m³ et Béni-Zid 50 millions de m³ (Boukharbata et Bourghida, 2019). Le barrage de Guénitra a été construit à l'exutoire du sous bassin versant sur le lit d'Oued Fessa, mis en service en 1984, avec un volume régularisable de 30 hm³/an. Il assure la couverture en eau potable et industrielle de la ville de Skikda, de son complexe industriel et ses agglomérations, ainsi que d'autres communes de la partie Ouest de la Wilaya, il assure l'irrigation de 5650 ha de périmètres agricoles (Boukhrissa, 2015). Le barrage Béni Zid installé dans la commune de Béni Zid, actuellement, il ne peut contenir qu'un volume de 39 million m³, il est destiné pour assurer les besoins en eau potable de la ville de Collo et

INTRODUCTION GENERALE

l'irrigation de 1500 ha de terres agricoles, son volume régularisable est estimé à 20 million de m³ par an (Benrabah, 2006). En effet, les eaux des barrages sont très influencées par le développement socioéconomique de la Wilaya de Skikda (Mecibah, 2016), ainsi que de la sécheresse qu'a affectée notre pays et le monde entier suite au changement climatique, leurs vulnérabilité est haut risque et la qualité des ses eaux stockées de ne cesse de se détériorer d'une année à l'autre (Harrat, 2007 ; Hadeff et Hizir, 2018).

Notre travail de mémoire consiste au suivi qualitatif périodique des eaux des barrages de Guenitra et de Beni-Zid, plusieurs campagnes de mesures et de prélèvement ont été effectuées au sein de ces deux barrages, afin de bien expliquer l'évolution spatiotemporelle des différents paramètres physico-chimiques et bactériologiques.

Notre travail a été structuré comme suite :

- Partie I : Synthèse bibliographique et présentation de la zone d'étude ; situation géographiques, toutes les caractéristiques administratives, géologiques, hydrologiques et les propriétés physicochimiques et bactériologiques des eaux.
- Partie II : Pratique ; divisée en :
 - Chapitre 1 : Matériels et méthodes, procédures expérimentales d'échantillonnage, d'analyses et les méthodes de traitement des données.
 - Chapitre 2 : Résultats et discussion.
 - Conclusion général : récapitulant l'essentiel des résultats de ce travail de mémoire et recommandations.

Partie : I

**Présentation de la zone d'étude et
synthèse bibliographique**

I. Situation géographique

Les deux barrages de Guenitra et de Beni Zid sont situés dans le sous bassin versant de l'Oued Guebli qui porte le numéro de code (O3 O7), lui-même appartient au bassin versant Côtiers Constantinois Centre. Administrativement, le barrage de Guenitra se localise dans la commune d'Oum Toub dans sa partie orientale, alors que le barrage de Beni Zid appartient à la commune de Beni Zid dans sa partie méridionale (Fig. 1).

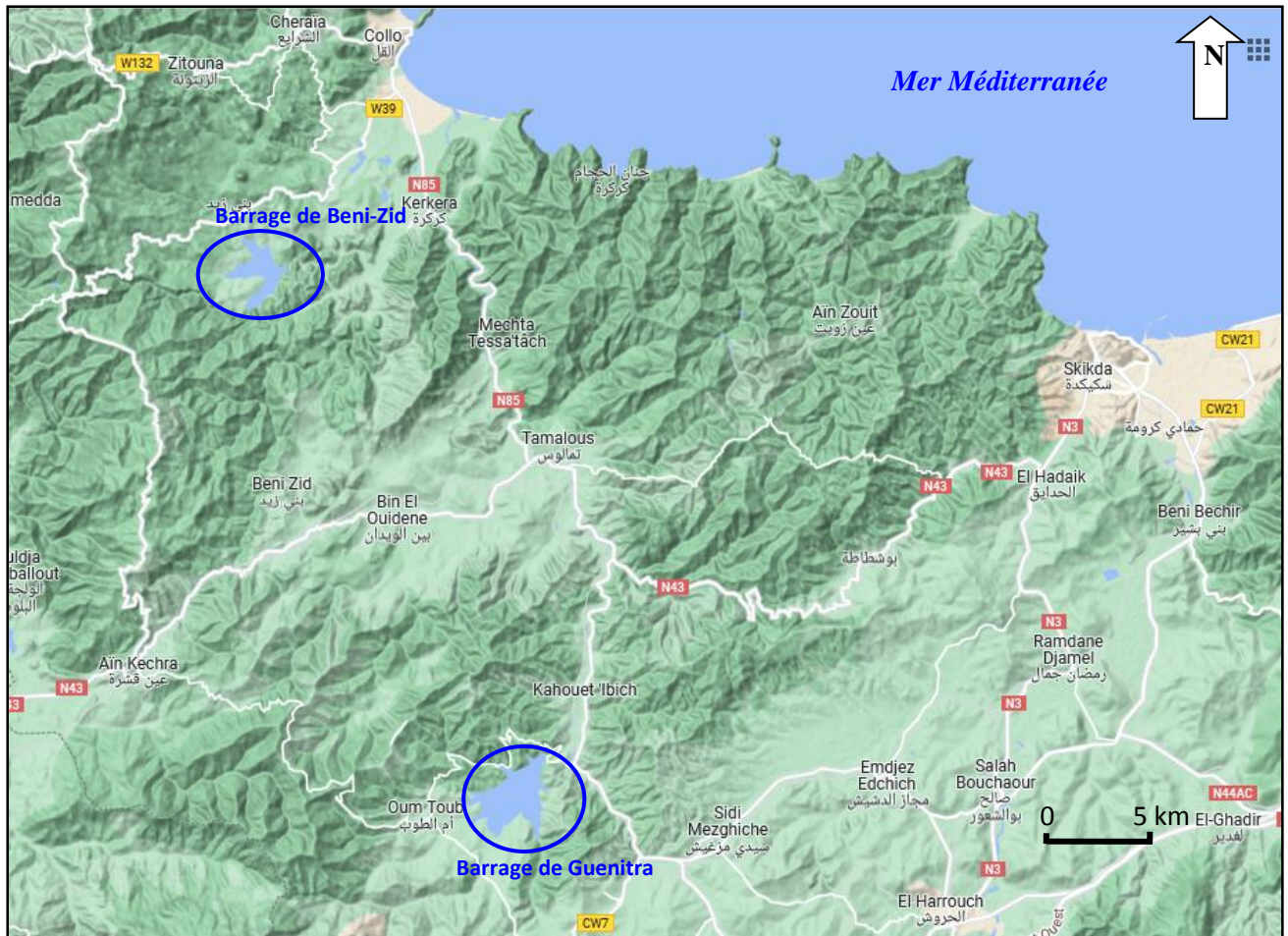


Fig. 1- Situation géographique des barrages étudiés.

I.1. Fiche technique des barrages de Guenitra et de Beni Zid

La fiche technique des deux barrages est résumée dans le Tableau 1.

Tableau 1- Propriétés techniques des barrages de Guenitra et de Beni Zid.

Propriétés	Barrage de Guenitra	Barrage de Beni Zid
Capacité brute	125 millions m ³	40 millions m ³
Capacité utile	115.5 millions m ³	19.9 millions m ³
Volume annuel régularisable	48 millions m ³	
Superficie du bassin versant	202 km ²	58.5 km ²
Altitude du bassin versant	1364 à 110 m	28.5 à 1287 m
Pluviométrie moyenne sur le bassin	840 mm	1350 mm
Apport interannuel moyen	55 millions m ³	28.5 millions m ³
Type	Remblai compacté en silts et graves argileuses	Barrage en terre hétérogène
Evacuateur de crues	Seuil déversant en rive gauche	Puits incliné en rive gauche

I.2. La commune d'Oum Toub

Située à 67 km Sud-ouest du chef-lieu de la Wilaya de Skikda, (Fig. 1), à 300 mètres d'altitude, limitée au Nord par les communes de Tamalous, Bin El-Ouidan et Ain Kechera, à l'Est par les communes de Sidi Mezghiche et Beni Oulbane, au Sud par la commune de Beni Oulbane et à l'Ouest par les bordures de la Wilaya de Jijel. Avec une population de 34 458 habitants (2008) distribués sur une superficie de 180 km², la commune a une vocation agricole avec un climat méditerranéen marqué par un hiver humide froid et un été chaud.

La population se concentre dans la ville d'Oum Toub et les agglomérations voisines comme : Mechta Agouf, Ouled Sliman, Sidi Kamber et Diar Leftat où les conditions de vie sont Favorables.

I.3. Commun Béni Zid

Située a 87 km vers l'Ouest du chef-lieu de la Wilaya de Skikda, (Fig. 1) et a 15 km au Sud-ouest de Collo, elle est également bordée au nord par les communes d'El-Charia et Zitouna , a l'Ouest Oued Zhour et Oulad Attia, au Sud par Ain Kechera et Bin El-Ouidan et a l'Est par les municipalités de Kerkera et Collo, sur une altitude de 214 m et avec un climat méditerranéen et une population de 20697 en 2008. La commune a une vocation agricole.

II. Caractéristiques hydrologiques et morpho-métriques du sous bassin versant d'Oued Guebli

Situé au Nord-Ouest de la Wilaya de Skikda appartient au bassin Côtier Constantinois Centre. Il porte le numéro de code (03-07). Il s'étend du 6° 23' au 6° 47' de longitude Est et du

36°35' au 36°58'de latitude Nord, il se trouve presque totalement inclus dans le territoire administratif de la wilaya de Skikda (A.N.R.H., 2000). Il est limité au Nord, par la mer Méditerranée, au Sud et Sud- Ouest par le bassin versant d'Oued-Rhumel, à l'Est par le bassin versant de l'Oued Saf-Saf et le bassin versant de l'Oued Bibi, au Nord-Ouest par le bassin versant des zones côtiers Cap Bougaroun (Mesibah, 2016).

Les montagnes occupent pratiquement la grande majorité du territoire du bassin (Mecibah, 2017). Elles s'étendent sous forme de chaînes de direction générale SW-NE (Dj. Sidi Driss 1364 m), les collines forment le prolongement des montagnes du Nord vers le Sud du bassin. Le sous bassin versant d'Oued Guebli fait la limite extrême Ouest du bassin Côtier Constantinois Centre.

Le sous bassin versant d'Oued Guebli se subdivise en six (6) sous bassins qui sont :

- S.B.V. de l'Oued Alassane.
- S.B.V. de l'Oued Beni- Zid.
- S.B.V de l'Oued Bourekane.
- S.B.V. de l'Oued Guenitra.
- S.B.V. de l'Oued Guebli amont.
- S.B.V. de l'Oued Guebli aval (Mecibah I. (2017).

Le Tableau 2, récapitule les principales caractéristiques du bassin versant d'Oued Guebli.

Tableau 2- Caractéristique Morphométriques du bassin versant d'Oued Guebli (In Mesibah, 2016).

Paramètre	Valeur
Superficie (km ²)	993.3
Périmètre (Km)	163.3
Dénivelé spécifique (m)	329.64
Vitesse d'écoulement (m/s)	0.97
Indice de compacité de Gravelus	1.45
Longueur du rectangle équivalent (Km)	65.9
La vitesse d'écoulement de l'eau (m/s)	0.85 m/s
Altitude moyenne (m)	320
Altitude médiane (m)	380
Densité de drainage (Km/ Km ²)	4.15
Indice de pente globale (m/km)	10.45
L'altitude médiane (m)	380
Largeur du rectangle équivalent (km)	15
L'altitude moyenne (m)	320
Temps de concentration (h)	13.88

Il est caractérisé par un réseau hydrographique important avec une densité de drainage (4.15 km/km²) et reçoit en moyenne une lame d'eau de l'ordre de 729.25 mm/an. L'Oued Fessa, Oued Charfa, Oued Essouket Oued Mellouh sont les principaux cours d'eau alimentant le barrage de Guenitra, alors que le barrage de Beni Zid est alimenté essentiellement par Oued Zadra et Oued Beni Zid (Fig. 2), (Mecibah, 2016).

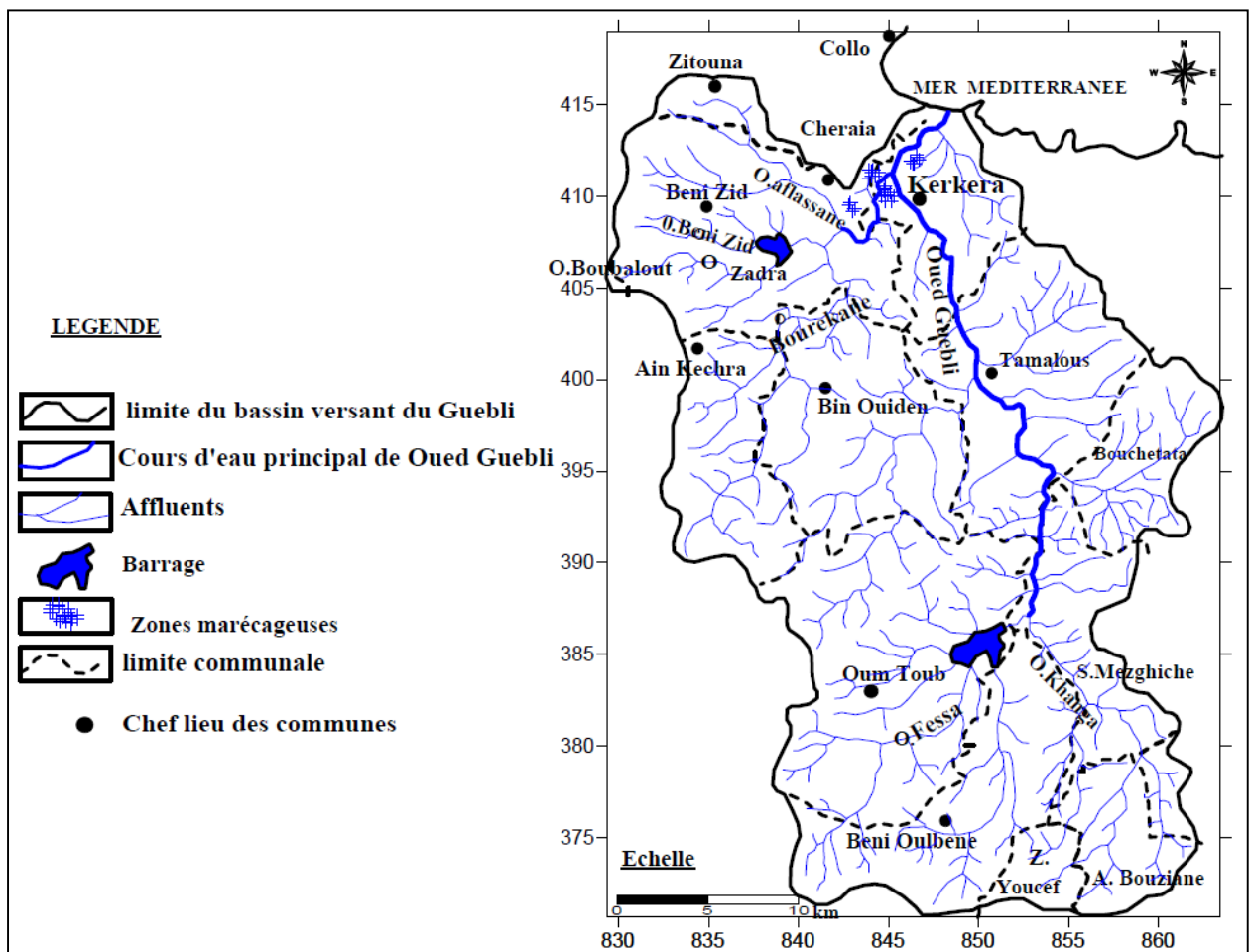


Fig. 2- Réseau hydrographiques du sous bassin versant de l'Oued Guebli (Mecibah.2016).

III. Systèmes aquifères

Dans le bassin versant de l'oued Guebli, il existe deux importantes nappes constituées par les mêmes formations géologiques (graviers, sables et galets), qui pourra probablement Expliquer la continuité de la même nappe celle de Collo et de Tamalous tout le long de l'oued Guebli. Mais par manque de forages implantés plus loin des deux rives, l'extension latérale des nappes ne dépasse pas 10 kilomètre (Ben Rabah, 2006)

IV. Caractéristiques géologiques de la zone d'étude

Toutes la région de Skikda appartient au massif de la Petite Kabylie, qui fait partie des chaînes des Maghrébides (chaîne alpine d'Afrique du Nord). Ce massif s'étend entre le massif des Babors à l'Ouest et le massif de l'Edough à l'Est sur plus de 150 km le long du littoral. Le massif de la Petite Kabylie de Skikda est caractérisé du Nord vers le Sud par l'affleurement des unités suivantes :

IV.1. La région de Collo (*qui comporte le barrage de Beni Zid*)

Constituée par l'empilement de plusieurs entités géologiques (Fig. 3). Au Nord de la région de Collo, affleure le socle de Bougaroun injecté, de toute part, par des granites et des microgranodiorites. Vers le Sud, ce socle est en contact tectonique avec les formations sédimentaires du bassin de Collo.

- **Le socle kabyle** (*Substratum surtout en roches métamorphiques et en degré moindre sédimentaires*) affleure largement à Beni Zid est surmonté par **L'Oligo-Miocène Kabyle** (*OMK-une série sédimentaire qui affleure dans toute la Kabylie de Collo et la région de Skikda-*).
- Plus au Sud viennent des nappes de **flyschs** représentées majoritairement par le flysch Numidien (gréseux).
- **Les roches éruptives (magmatiques)** occupent plus d'un tiers de la surface totale soit 350 km², et constituent une des particularités de la Kabylie de Collo. Le complexe volcano-plutonique de Collo-Bougaroun, est composé de roches grenues, essentiellement des **granites** à **cordiérite** (Ouabadi 1994 ; Fourcade et al. 2001); de **gabbros** que l'on trouve sur la bordure septentrionale du pluton et au Sud-Ouest de celui-ci ; de **microgranodiorites**; de **laves** affleurant dans le complexe **rhyolitique** du Kef Chéraïa (Abbassene, 2016).

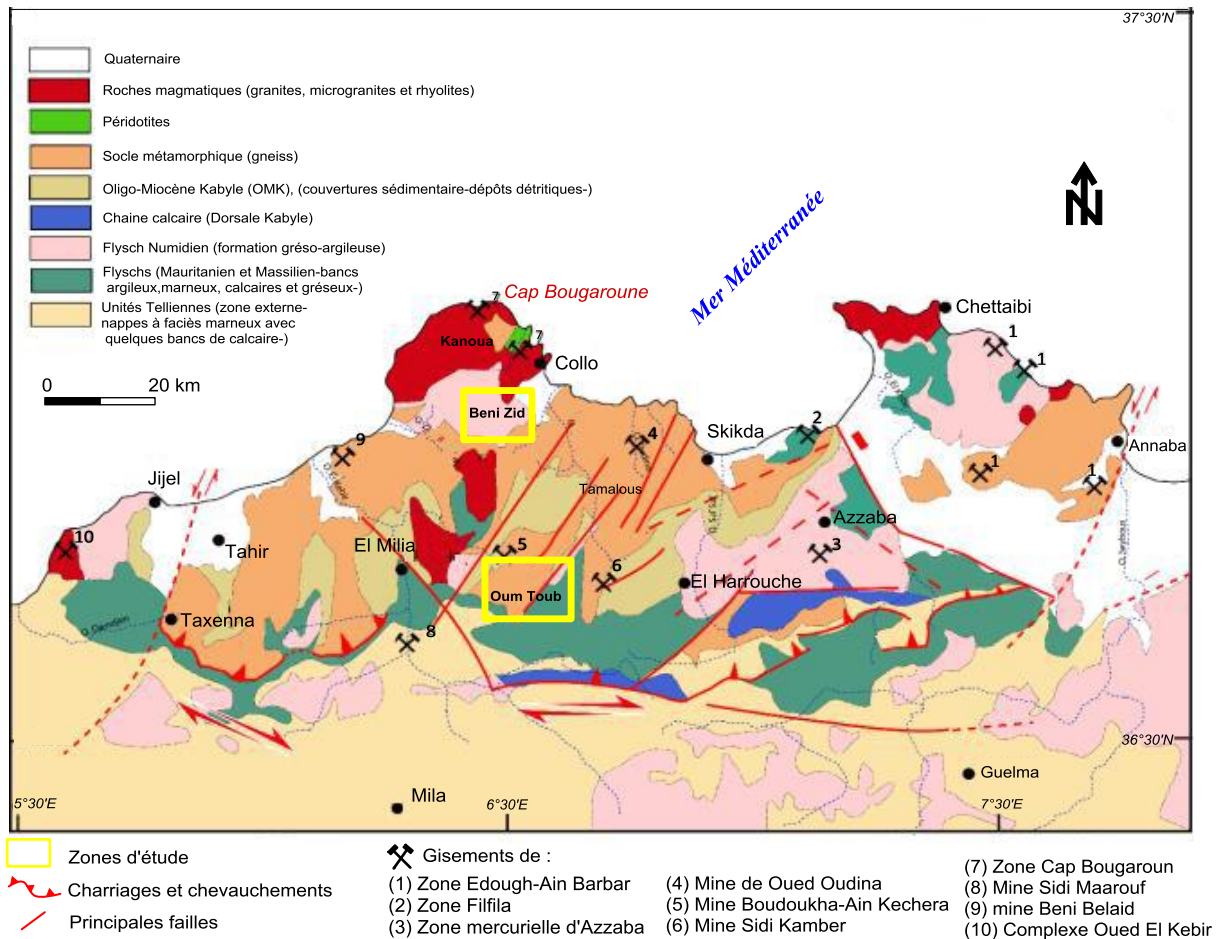


Fig. 3- Carte géologique et structurale avec localisation des gisements et indices minéralisés du massif de la petite Kabylie (Bouillin et Kornprobst, 1974).

IV.2.La commune d'Oum Toub

Contrairement au Nord magmatique et métamorphique, en rencontre ici un changement de faciès important d'où l'affleurement de grandes couvertures de couches sédimentaires qui recouvrent le socle Kabyle (métamorphique) du Nord au Sud sous formes de :

IV.2.1. Le domaine des flyschs

Dont on reconnaît trois types principaux flysch :

- **Flysch Mauritanien** : observable sur le versant Nord du Djebel Sidi Driss, riche de grés. La série est caractérisée par l'alternance des bancs argileux, calcaires et gréseux.
- **Flysch Massilien** : la série s'étend essentiellement sur le versant Nord du Djebel Sidi Dris et au col du Kantour, elle présente une part importante de marnes et d'argiles.
- **Flysch numidien** : il existe à Sidi Mezghich, alternances des roches dures et roches tendres.

IV.2.2. L'Oligo-Miocène Kabyle (OMK)

C'est une série sédimentaire qui affleure dans toute la Kabylie de Collo et la région de Skikda. L'abondance des formations sédimentaires perméables et poreuses tel que les grès, calcaire fissuré des flysch et des séries telliennes ainsi que la large couverture sédimentaire de l'Oligo-Miocène Kabyle et les alluvions (sables, galets et graviers) du Quaternaire favorisent l'accumulation des eaux souterraines dans divers types de nappes d'eau libres et captives de différentes profondeurs dans la région d'Oum Toub.

V. Occupation du sol du sous bassin versant de l'Oued Guebli

La couverture végétale et en particulier les forêts et les cultures, vient ajouter son influence à celle de la nature géologiques et topographique du bassin versant pour conditionner la rapidité du ruissellement superficiel, le taux de l'évaporation et la capacité de rétention du bassin. Il en ressort que les forêts occupent une partie considérable du bassin, à l'exception de la plaine de Collo et celle de Tamalous ainsi que la partie méridionale du bassin. Les plaines et la vallée du Guebli sont occupées pour la plupart par des plantations. En amont du confluent des Oueds Fessa et Khanga la couverture végétale du bassin versant est constituée par la broussaille et le maquis (Fig. 4).

Quant à l'effet des forêts, elle amortit plus ou moins les crues de faible et moyenne amplitude, mais restent pratiquement sans action sur les débits de pointe des crues exceptionnelle. C'est ce qui explique les valeurs élevées des coefficients de ruissellement adoptés pour l'estimation des débits de pointe des crues de projet. Les forêts sont par contre très efficaces dans la lutte contre l'érosion des sols.

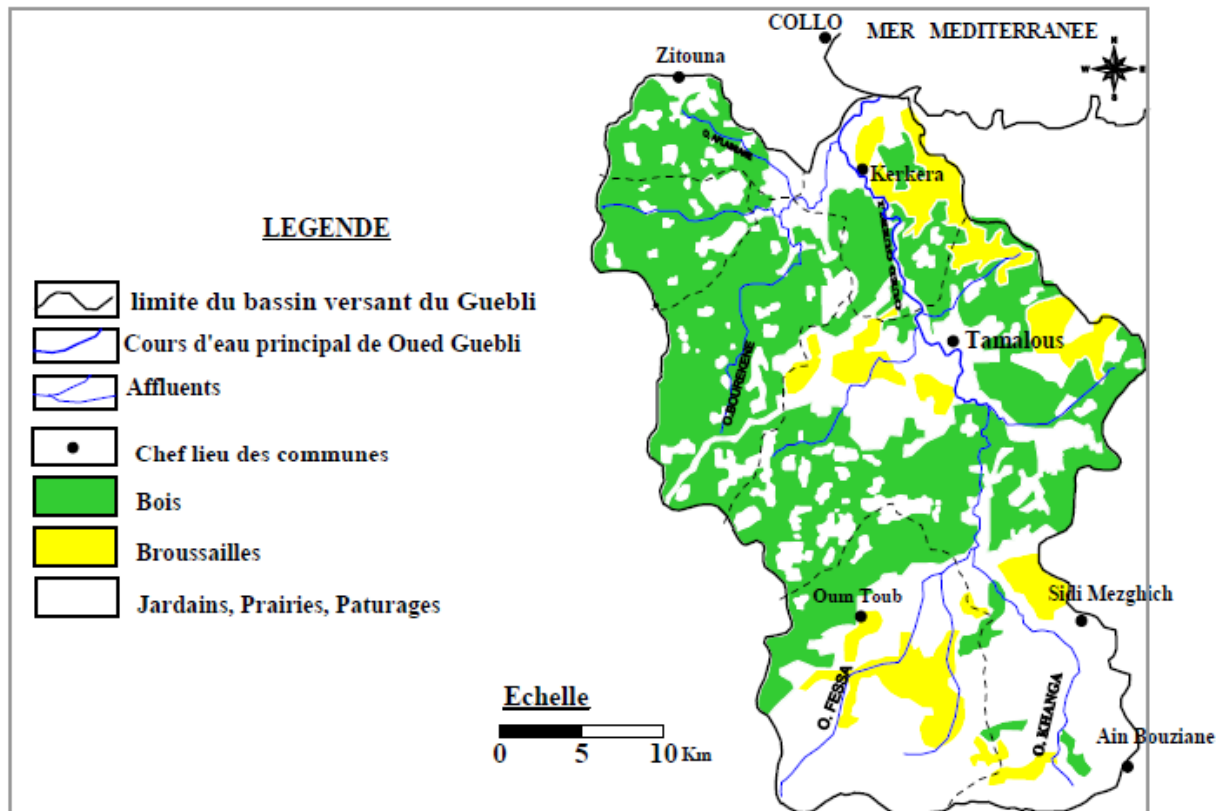


Fig. 4- Carte d'occupation du sol du bassin versant du Guebli (d'après MECIBAH, 2017).

VI. Les réseaux d'assainissements

Ces réseaux de type unitaire et par fois séparatif, ont été réalisés en deux périodes celui de l'ancien noyau daté de l'époque coloniale. Son état est dégradé et nécessite une reflation. Par contre son extension récente est dans un état satisfaisant nécessitant des entretiens et des curages périodiques choses inexistantes actuellement. Ce réseau arrive à satisfaire les besoins de 79 % de la population des agglomérations. Les rejets de ces réseaux s'effectuent en 37 points (Mecibah, (2017). sans aucun traitement ou prétraitement ces rejets évacués dans tous les Oueds et effluents rejoignent plu tard tous les barrages du sous bassin versant de l'Oued Guebli d'où les fortes teneurs en différents polluants organiques et minérales des eaux superficielles (Fig. 5).

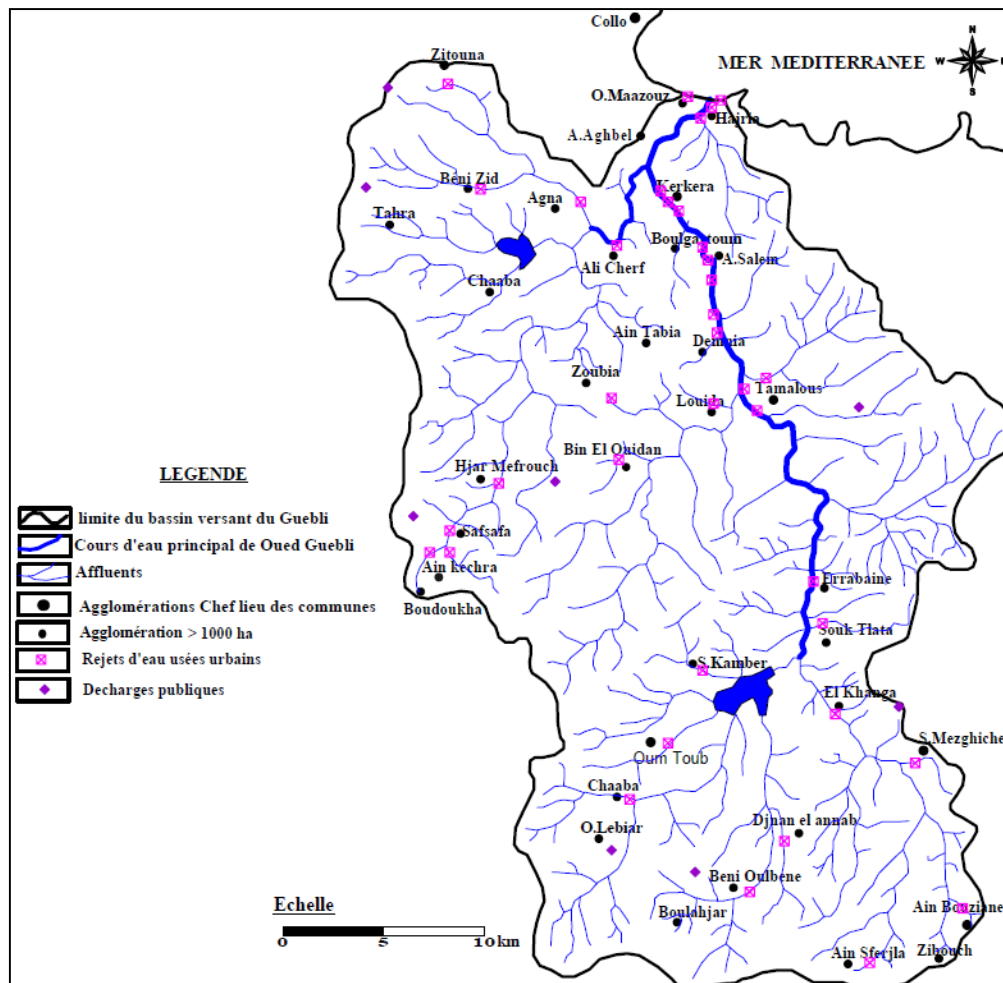


Fig. 5- Différents points de rejets dans le sous bassin versant de l'Oued Guebli (Mecibah, 2016).

VII. Les différentes sources de la pollution des eaux

La pollution comprend toute nuisance apportée à un écosystème qu'elle soit une modification chimique, physique ou biologique de la qualité de l'eau. C'est la contamination de l'eau par les corps et substances étrangers tels que des microorganismes, des produits chimiques, des déchets industriels ou autres ; dues à des déversements, écoulements, rejets, dépôts directs ou indirects de matières de toute nature et, plus généralement, tout à fait susceptible de provoquer ou d'accroître la dégradation des eaux en modifiant leurs caractéristiques, chimiques, biologiques ou bactériologiques.

VII.1. Pollution urbaine (domestique)

Elle provient des rejets liquides municipaux, elle est en générale véhiculée par le réseau d'assainissement. Elle se caractérise par : de fortes teneurs en matières organiques, des

sels minéraux dont l'azote et le phosphore, des détergents et des germes fécaux. (Genin et al. 2003).

VII.2. Pollution agricole

La pollution liée à l'agriculture est causée par l'utilisation anarchique d'engrais, de pesticides et d'herbicides ou de fongicides. Les méthodes modernes exigent parfois des labourages profonds et violents, ce qui favorise l'infiltration directe des polluants (NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} et Cl^-) vers la nappe phréatique (Chaoui, 2013).

VII.3. Pollution industrielle

Les rejets industriels sont caractérisés par leur très grande diversité. Selon le type d'industrie on distingue diverses matières polluantes :

- Matières organiques et graisses (abattoirs, industrie agroalimentaires...);
- Hydrocarbures (industrie pétrolières, transports);
- Métaux (traitements de surface, métallurgie);
- Acides, bases, produits chimiques divers (industries chimiques, tanneries...);
- Eaux chaudes (circuits de refroidissement des centrales thermiques);
- Matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs) (Gérard, 1998).

VIII. Paramètres de la qualité des eaux

VIII.1. Paramètres organoleptiques

Ces différents paramètres doivent être appréciés au moment des prélèvements et essentiellement par les sens (la vue, le goût et l'odorat). Leur détermination est subjective car elle fait appel aux sens qui sont différents d'un individu à un autre.

VIII.1.1. La couleur

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand la substance en suspension y ajoute leur propre coloration (Thomas, 1995).

VIII.1.2. L'odeur et la saveur

Ces deux paramètres sont regroupés et font appel au même type de traitement. L'odeur et la saveur sont dues à des molécules organiques contenues en très faibles quantités dans les eaux. Ces molécules peuvent être soit d'origine naturelle (métabolites d'algues, etc.), soit d'origine de pollutions domestiques ou industrielles (Mebarki & Smahi, 2006).

VIII.2. Qualité physique

VIII.2.1. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH traduit l'acidité, l'alcalinité ou la neutralité d'une eau. Le pH a une influence majeure sur les formes physico-chimiques du métal et des composants métalliques dans l'environnement aquatique, du fait qu'il contrôle la solubilité et la concentration des métaux (Gendronneau, 2006).

VIII.2.2. La conductivité électrique

La conductivité est la mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique. Elle est liée à la concentration et à la nature des substances dissoutes. En général, les sels minéraux sont de bons conducteurs par opposition à la matière organique et colloïdale, qui conduit peu.

VIII.2.3. Turbidité

La turbidité de l'eau a pour origine la présence de matières en suspension (argile, limons, particules fibreuses ou organique, micro-organismes...), étant souvent lié à des phénomènes pluviométriques dans les eaux superficielles et dans certaines eaux souterraines (nappes peu profondes).

VIII.2.4. La salinité

La présence de sel dans l'eau modifie certaines propriétés (densité, compressibilité, point de congélation, température du maximum de densité). D'autres (viscosité, absorption de la lumière) ne sont pas influencées de manière significative, certaines sont essentiellement déterminées par la quantité de sel dans l'eau (conductivité, pression osmotique) (Aberkane, 2011).

VIII.2.5. L'oxygène dissous (OD)

C'est un constituant vital de tous les tissus vivants, végétaux et animaux. La présence de matière organique réduit la teneur en oxygène dissous dans l'eau par oxydation à travers un procédé microbiologique (AFNOR, 2000). La concentration en oxygène est directement influencée par la température et la salinité ; une eau moins salée est plus froide dissout relativement plus d'oxygène (Sacchi & Testard, 1971).

VIII.2.6. Matière en suspension (MES)

Les matières en suspension (MES) constituent l'ensemble des particules minérales et/ou organiques présentes dans une eau naturelle ou polluée. Elles peuvent être composées de particules de sable, de terre et de sédiment arrachées par l'érosion, de divers débris apportés par les eaux usées ou les eaux pluviales très riches en MES, d'être vivants planctoniques (notamment les algues). (Bouanani, 2005).

VIII.3. Qualité chimique

VIII.3.1. Chlorures (Cl⁻)

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

VIII.3.2. Dureté ou titre hydrométrique (TH)

La dureté de l'eau est due à la présence de calcium et dans une moindre mesure, de magnésium. On l'exprime généralement en quantité équivalente de carbonate de calcium. Une dureté supérieure 200 mg/L peut provoquer l'entartrage CaCO₃ (excès calcaire) du système de distribution et entraîner une consommation excessive de savon avec formation d'écume.

VIII.3.3. Titre alcalimétrique (TA) ou titre alcalimétrique complet (TAC)

Les valeurs relatives du TA et du TAC permettent de connaître les teneurs en hydroxydes, carbonates et hydrogénocarbonates contenu dans l'eau.

Le TA permet de déterminer, en bloc, la teneur en hydroxydes et seulement la moitié de celle en carbonate.

Le TAC assure la détermination de la teneur en hydrogénocarbonates.

VIII.3.4. Calcium (Ca^{2+}) et Magnésium (Mg^{2+})

Le calcium et le magnésium sont présents dans les roches cristallines et les roches sédimentaires. Ils sont très solubles et sont donc largement représentés dans la plupart des eaux. L'altération des roches cristallines libère du calcium et du magnésium, mais en quantité moindre que certaines roches sédimentaires carbonatées, (Merabet, 2010).

VIII.3.5. Nitrates et Nitrites (NO_3^- et NO_2^-)

Les nitrates proviennent de l'oxydation complète de l'azote organique et les nitrites de l'oxydation incomplète. Les principales sources de pollution sont l'utilisation des engrais, l'industrie chimique et alimentaire. La teneur en nitrates de l'eau est généralement plus élevée que celle des nitrites. Une forte concentration en nitrites indique une pollution bactériologique par suite de l'oxydation de l'ammoniac.

Aucun traitement classique de l'eau ne modifie considérablement la teneur en nitrates. L'exposition à des fortes teneurs en nitrate augmente la concentration des nitrites salivaires. La réduction des nitrates en nitrites est optimale à $\text{pH} > 4,6$.

VIII.3.6. Sulfates (SO_4^{2-})

Les sulfates sont des composés naturels des eaux. Ils sont liés aux cations majeurs tels que le calcium, le potassium et le sodium. Ils proviennent de certains minéraux, en particulier du gypse ou apparaissent à partir de l'oxydation des minéraux sulfureux. Les teneurs en sulfates des eaux naturelles sont variables, de 5 à 200 mg/l.

2.3.7. Les phosphates (PO_4^{3-})
Les phosphates peuvent être d'origine naturelle (produit de décomposition de la matière vivante, lessivage de minéraux) mais, à l'heure actuelle, leurs présences dans les eaux sont plutôt d'origine artificielle (engrais, poly phosphates des formulations détergentes, eaux traités aux phosphates, industrie chimique...). Le contenu en phosphore total comprend non seulement les ortho phosphates mais également les poly phosphates et les phosphates organiques. L'eutrophisation peut se manifester à des concentrations relativement basses en phosphates

VIII.3.7. Demande biochimique en oxygène (DBO₅)

La demande biochimique en oxygène (DBO₅), représente la quantité d'oxygène utilisée par les bactéries, pour décomposer partiellement ou pour oxyder totalement les matières biochimiques oxydables présentes dans l'eau. Plus la DBO₅ est élevée, plus la quantité de matières organiques présentes dans l'échantillon est élevée.

VIII.4. Pesticides ou herbicides

D'origine agricole, ils sont destinés à la protection, à l'amélioration de la production végétale et à la préservation des récoltes (Alpha, 2005).

La probabilité de subir des effets néfastes sur la santé dépend du type de pesticide et des autres produits chimiques qu'il contient, de la quantité à laquelle vous êtes exposé, de la durée et de la fréquence de l'exposition.

Plus souvent, les pesticides ont une incidence sur le système nerveux.

On trouve les pesticides dans les eaux souterraines ou les eaux de surface, à des concentrations de l'ordre de quelques microgrammes. Ils résultent en général de l'agriculture intensive. Les pesticides les plus couramment présents dans l'eau sont l'atrazine, le DDT (dichloro-diphényl-trichloroéthane), le lindane, le carbofurane, etc...

Dans les eaux naturelles, les pesticides sont présents à une concentration de l'ordre de quelques ppb. La plupart d'entre eux sont hydrophobes et peuvent être facilement éliminés par adsorption sur des filtres à charbon actif. (Site internet <https://www.lenntech.fr>)

Ils sont en partie métabolisés ou retenus dans le sol et dans la zone non saturée (Chekroud, 2007).

VIII.5. Paramètres bactériologiques de l'eau

VIII.5.1. Coliformes totaux

Les coliformes totaux sont des bactéries en forme de bacilles non sporulantes Gram négative, aérobies facultatives et qui fermentent le lactose en 48 heures à 35 °C avec production de gaz. Les coliformes totaux ne sont pas nécessairement des bactéries originaires du système intestinal. Plusieurs bactéries qui font partie du groupe des coliformes totaux se retrouvent en fait sur les feuilles des arbres et sur toute autre forme de végétation. Donc, la présence de coliformes totaux ne veut pas dire à coup sûr que l'on se retrouve devant une contamination d'origine fécale (Leyral et al. 2002).

VIII.5.2. Coliformes fécaux

Les coliformes fécaux, ou thermo tolérants sont en fait des coliformes qui poussent à des températures plus élevées, soit à partir de 44,5 °C.

Ces coliformes fécaux sont des bactéries que l'on retrouve dans la flore intestinale des animaux à sang chaud. La bactérie *Escherichia coli* (*E. coli*) fait partie des coliformes fécaux. Comme la présence de ces bactéries dans une source d'eau ne peut pas être considérée comme normale, elle peut donc représenter une menace ou l'indication d'une éventuelle dégradation de la qualité microbiologique de l'eau, due à la présence d'une contamination fécale. Le mécanisme de transport de ces bactéries dans l'eau serait surtout le ruissellement des eaux de pluies sur le bassin versant, entraînant avec lui les microorganismes contenus dans la terre.

VIII.5.3. Streptocoques fécaux

Ces bactéries appartiennent à la famille de *Streptococcaceae*, au genre *Streptococcus*. Ils sont définis comme étant des cocci sphériques légèrement ovales, gram positifs. Ils se disposent le plus souvent en diplocoques ou en chaînettes, se développent le mieux à 37°C et ils possèdent le caractère homo-fermentaire avec production de l'acide lactique sans gaz.

VIII.5.4. Germes totaux

Germes totaux se réalisent à deux températures différentes afin de cibler à la fois les micro-organismes à tendance psychrophiles soit à 20° et ceux franchement mésophiles soit 37°C.

Chapitre 1

Matériels et méthodes

I. Méthodologie générale

I.1. Échantillonnage

L'étude expérimentale consiste à effectuer des analyses physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de deux barrages ; de Guenitra à la commune d'OumToub au Sud et de Beni zid à la commune de Beni Zid au Nord du bassin versant de l'Oued Guebli.

Trois campagnes de suivi dans trois points répartis à travers la surface des deux barrages depuis l'amont (l'entrée) jusqu'à la digue (la sortie) comme suite:

- Barrage de Beni Zid : point P1 à l'amont, P2 au centre et P3 à la digue ;
- Barrage de Guenitra : point E1 à l'amont, E2 au centre et E3 à la digue, (Fig. 6 a et b).

Les trois campagnes ont été effectuées selon le programme suivant :

- La 1^{ère} campagne effectuée le 27/02/2022.
- La 2^{ème} campagne effectuée le 21/03/2022.
- La 3^{ème} campagne effectuée le 08/05/2022.

Pour chaque campagne 03 échantillons de l'eau superficielle ont été prélevés à l'entrée, le milieu et la sortie de chaque barrage (Fig. 6a et 6b).

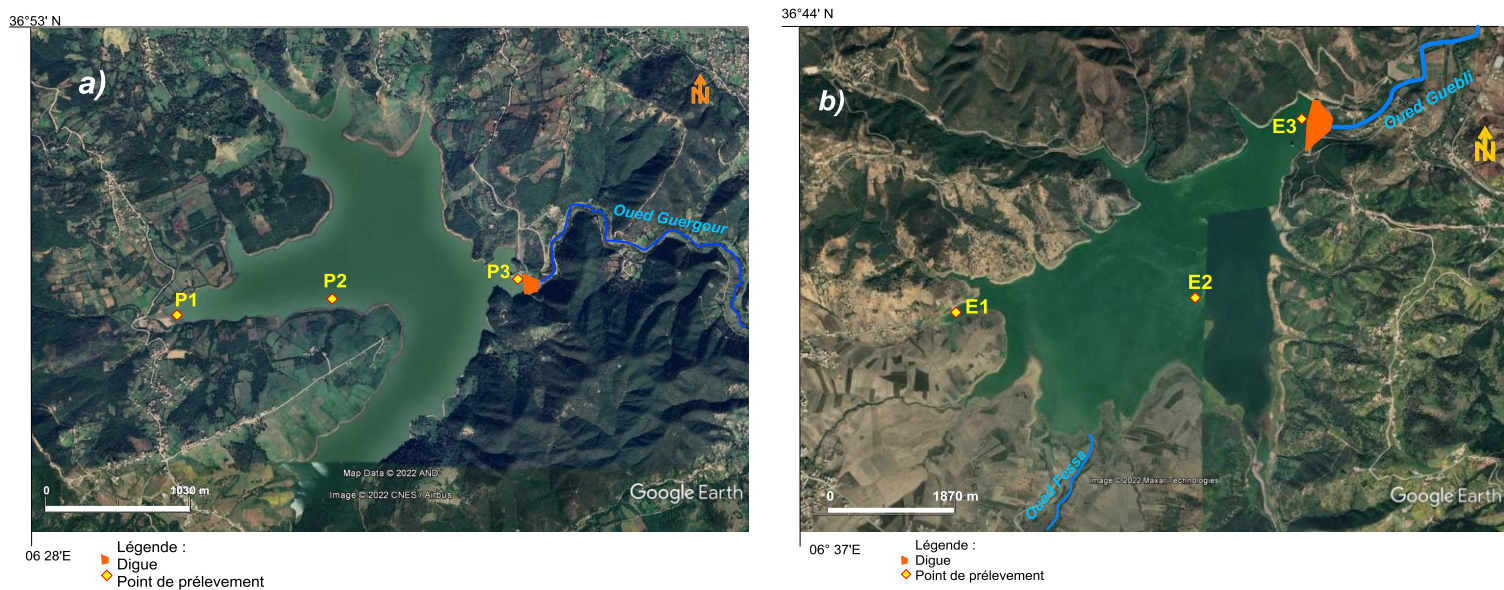


Fig.6- Inventaire des points de prélèvement des échantillons dans le barrage de a)-Beni Zid et b)-le barrage de Guenitra.

Pour les analyses physicochimiques, les échantillons ont été prélevés dans des flacons en polyéthylène (plastique) rincé avec de l'eau distillée et l'eau à échantillonner, ensuite remplis

jusqu'à débordement et mis dans une glacière puis transportés vers le laboratoire de l'Algérienne Des Eaux (ADE) de Skikda.

Pour les analyses bactériologiques les échantillons d'eau sont recueillis dans des flacons en verre stérilisés (Fig. 7), les flacons ont été remplis sous l'eau jusqu'à débordement en évitant la pénétration de l'air, ensuite fermés et mis immédiatement dans une glacière à 4°C et transportés au laboratoire de l'ADE de Skikda.



Fig.7- Flacon stérile.

L'appareillage des analyses physicochimiques et bactériologique est récapitulé dans le Tableau 3, les analyses sont portées sur les paramètres suivants :

Tableau 3- Matériels et appareillage utilisé pour les analyses physicochimiques et bactériologique.

Paramètres	Matériels d'analyses	Unité
pH	pH-mètre	/
CE	Conductimètre	μS/cm
Température	Thermomètre	°C
Turbidité	Turbidimètre	NTU
Mg ²⁺ , Cl ⁻ , Ca ²⁺ , THT, TA, TAC, PO ₄ ³⁻ , NH ₄ ⁺	Dosage titrimétrie	mg/l
Fe _{total} , NO ₂ ⁻ , SO ₄ ²⁻	Spectrophotomètre DR2800	mg/l
DBO ₅	DBO-Mètre	mg/l
MO	Dosage titrimétrie	mg/l
- Les Coliformes totaux et fécaux ; - Les Colibacilles ; - Les Streptocoques fécaux ; - <i>E. Coli</i>	Solution BCPL, Cloche de Durham, Etuve, verrerie	/

Pour l'étude climatique, on se sert aux analyses des enregistrements de la température et de la précipitation de la station météorologique du barrage de Beni Zid pour une période de 19 ans (2001-2002/2019-2020) et de la station du barrage de Guenitra à Oum Toub pour une période de 07 ans (2014-2015/2020-2021), ces données sont traitées et calculées ensuite dans le chapitre Résultats et discussion suivant la méthode de Thornthwaite (1955), afin de déterminer les paramètres du bilan hydrique (Tableaux 6 et 7).

- Méthode du bilan d'eau selon Thornthwaite :

Cette méthode est basée sur la notion de réserve facilement utilisable noté FRU.

On admet que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau (RFU), cette eau peut être reprise par l'évapotranspiration par l'intermédiaire des plantes.

La quantité d'eau stocker dans la RFU est bornée par zéro (RFU vide) et RFU max. (capacité maximale de la RFU qui est de l'ordre de zéro à 200 mm) suivant les terrains avec une moyenne de l'ordre de 100 mm sur les terrains de remplissage alluvionnaire ; exemple : notre zone d'étude.

On admet que la satisfaction de l'ETP est prioritaire sur l'écoulement, c.-à-d. ; avant qu'il y ait écoulement il faut avoir satisfaire ce qu'on appelle pouvoir évaporant ($ETP = ETR$), par ailleurs le remplissage de la RFU est également prioritaire sur l'écoulement.

On établit ainsi un bilan à l'échelle mensuelle à partir de la pluie du mois P , de l'ETP et de l'RFU, (Khelfaoui, 2014).

1er cas : si $P > ETP$

- $ETP = ETR$
- Il reste une quantité d'eau = $P - ETP$ qui est affectée entre milieu à la RFU.
- Lorsque RFU est pleine (saturée), le surplus sera destiné à l'écoulement.

2ème cas : si $P < ETP$

- On évapore toute la pluie pour satisfaire le pouvoir évaporant.
- On prend de la RFU (jusqu'à la vidée) l'eau nécessaire pour satisfaire l'ETR.
- Si le $RFU = 0$ le déficit agricole (DA) représente la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux plantes pour qu'elles ne souffrent pas de la sécheresse ;
 $DA = ETP - ETR$

N. B. : l'ETP est toujours supérieure à l'ETR.

I.2. Analyses physicochimiques

I.2.1. Mesure du potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est l'une des mesures que l'on doit effectuer le plus fréquemment, il est relié à la teneur en ions H^+ et aussi à l'acidité et l'alcalinité de l'échantillon. Le pH est mesuré par un multimètre (pH-mètre, thermomètre, conductimètre) (Fig. 8).

- **Mode opératoire :**

- Brancher le pH-mètre, le laisser se stabiliser pendant quelques minutes, installer les électrodes aux entrées correspondantes sur l'appareil ;
- Etalonner l'appareil à l'aide d'une solution tampon. Ensuite rincer l'électrode avec de l'eau distillée et avec l'échantillon à analyser ;
- Amener l'échantillon d'eau à analyser à la température désirée ;
- Plonger l'électrode dans l'échantillon à analyser et lire la valeur de pH directement ;
- Après chaque détermination du pH, on retire l'électrode, on la rince et à la fin de l'expérience, on la laisse tremper dans l'eau distillée



Fig. 8- Multimètre (pH-mètre, thermomètre, conductimètre).

I.2.2. La conductivité électrique

Mesurée à l'aide du même appareil qui est le multimètre (pH-mètre, thermomètre, conductimètre), (Fig.8).

- **Mode opératoire :**

On rince l'électrode plusieurs fois avec de l'eau distillée après on le plonge dans notre eau et on lis le résultat donné par $\mu s/cm$.

I.2.3. Turbidité

La mesure de la turbidité de l'eau s'effectue par le turbidimètre (Fig. 9), il est nécessaire de vérifier l'absence de bulle d'air avant de mesure, le résultat est donné en NTU.

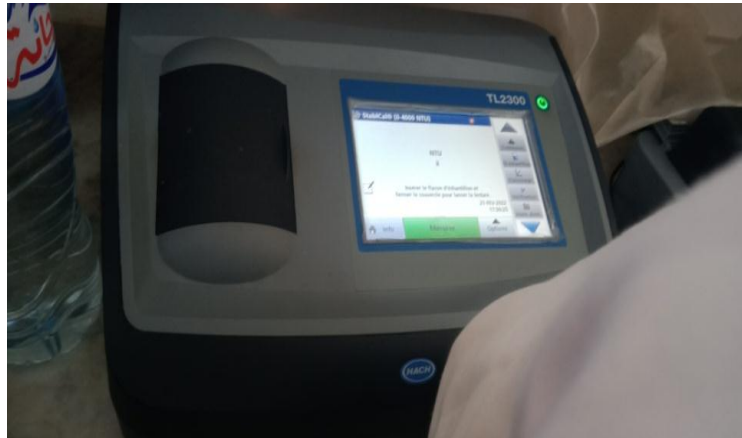


Fig. 9-Turbidimètre.

- *Mode opératoire*

- Remplir un flacon propre jusqu'au trait avec de l'air à analyser ;
 - Tenir les cuvettes par le bouchon et l'essuyer avec mouchoir doux sans peluches pour retirer les gouttes d'eau et les traces de doigts ;
 - Placer le flacon rempli d'échantillon dans la cuve et appuyer sur Read
- Attendre l'affichage du résultat ; Classes

de turbidités usuelles

- ✓ NTU<5 Eau claire
- ✓ 5<NTU<30 Eau légèrement trouble
- ✓ NTU >50 Eau trouble

I.2.4. La dureté totale ou la THT

La dureté totale détermine la concentration de calcium et de magnésium dissous dans l'eau $TH = Mg^{2+} + Ca^{2+}$.

- *Mode opératoire*

Dosée par titrage volumétriques (Fig. 10).

- Prendre une prise d'échantillon de 50 ml.
- Ajouter quelques gouttes de solution tampon.
- Ajouter une pincée de noir eriochrome T.
- La solution doit devenir rouge, titrer avec EDTA jusqu'au virage bleu vert.
- **Calculs** : $THT \square \frac{N.V.}{50} \cdot 5000$ (°français) PE

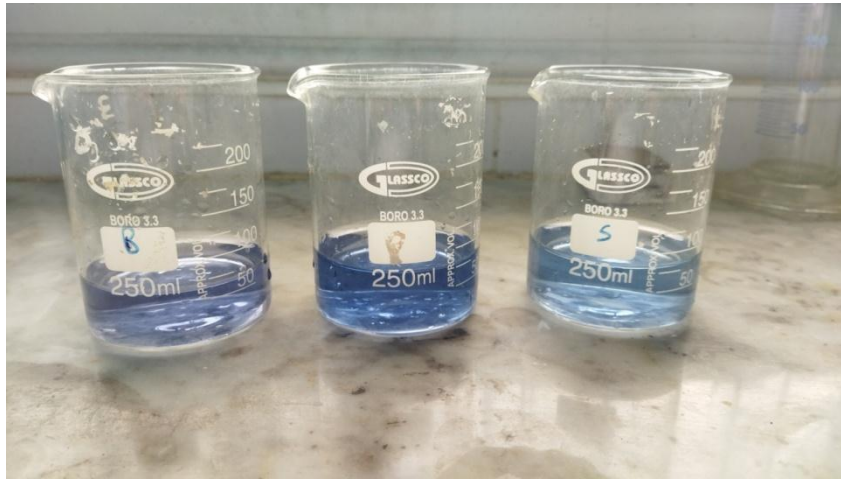


Fig. 10- Titration de la dureté totale (THT).

I.2.5. Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC)

Cette détermination est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral, dilué en présence de méthyle orange. Le but est de déterminer la teneur en hydrogencarbonates dans l'eau

- Mode opératoire :

Dosé par titrage volumétrique (Fig. 11) ;

- Prendre une prise d'échantillon de 100 ml, ajouter quelques gouttes de phénolphtaléine à 5g /l.
- La solution reste incolore : TA = 0
- Ajouter quelques gouttes d'hélianthine à 5g /l, la solution se colore en jaune.
- Doser avec une solution d'acide sulfurique à 0,04 N jusqu'à la coloration rose.
- Noter le volume V.



Fig. 11- Dosage du titre alcalimétrique complet (TAC).

I.2.6. Le calcium (Ca^{2+})

Mesurée par titrage volumétrique. L'indicateur choisi, ne se combine qu'avec le calcium pour former un complexe rouge (Fig. 12).

- Mode opératoire :

- Ajouter 02 gouttes de la solution de NaOH sur 50 ml d'eau à analyser ;
- Agiter et ajouter une pince de l'indicateur murexide (rose foncée) ; - Titrer avec l'EDTA à 0.01 mol jusqu'au virage mauve clair.



Fig. 12- Dosage de Ca^{2+} .

I.2.7. Les chlorures

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). Mesurée par titrage volumétrique (Fig. 13).

- Mode opératoire :

Prendre 5 ml d'eau avec 2 gouttes de chromate de potassium ;

- Titrer avec la solution de nitrates d'argent (AgNO_3) à 1.02N jusqu'au virage du jaune au rouge brique.
- $\text{Cl}^- (\text{ppm}) = V \cdot 71$

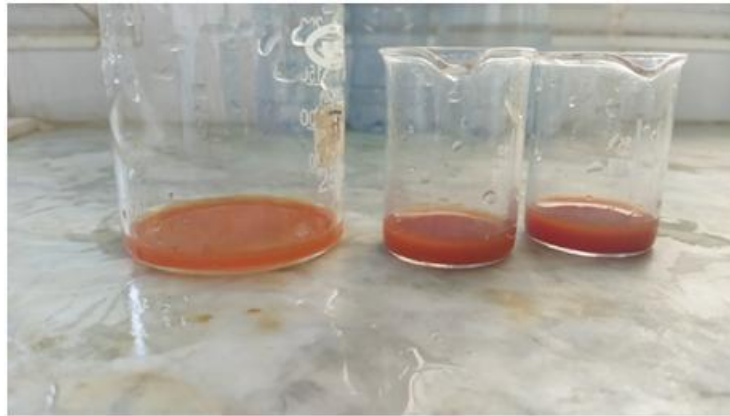


Fig. 13- Dosage des chlorures.

I.2.8. Les nitrites

-Principe : les nitrites en solution acide réagissent avec une solution de persulfate de potassium.

-Réactif : pochettes de réactif pour nitrite NitriVer 2

-Appareillage : a) Cuves carrées 10 ml

b) Bouchon pour cuve

c) Spectrophotomètre DR2800 (Fig. 14).

-Mode opératoire :

- Mettre l'appareil sous tension.
- Allumer l'appareil en appuyant sur l'interrupteur se trouvant derrière l'équipement.
- Laisser l'appareillage se stabiliser pendant quelques minutes.
- Appuyer sur programmes enregistrés, et sélectionner le programme d'analyse

373 N Nitrite HR PP

- Remplir la cuve avec l'échantillon jusqu'au trait de 10 ml.

-Préparation de l'échantillon :

- Transférer le contenu d'une pochette de réactif pour nitrate NitriVer 2 dans la cuve ronde, fermer et agiter pour homogénéiser.
- Appuyer sur l'icône représentant la minuterie, appuyer sur OK. Une période de réaction de 10 minutes va commencer. Pour éviter d'obtenir des résultats trop faibles, placer l'échantillon sur une surface horizontale et ne pas y toucher durant toute la période de réaction.
- Préparation du blanc : remplir une autre cuve jusqu'au trait de 10 ml avec l'échantillon.

- Essuyer l'extérieur du blanc (cuve) et l'introduire dans le compartiment de cuve en dirigeant le trait remplissage vers la droite, sélectionner sur l'écran : Zéro Indication à l'écran : mg/l.
- Dans les 10 minutes après le retentissement de la minuterie, essuyer l'extérieur de la cuve contenant l'échantillon préparé et l'introduire dans le compartiment de cuve en dirigeant le trait de remplissage vers la droite.
- Appuyer sur : Mesurer Les résultats sont indiqués en mg/l NO_2^- .
- Pour éteindre l'appareil appuyer sur Menu Principal, puis cliquer sur le bouton qui est derrière de l'appareil.

-Consignes et Remarques : faire le nettoyage de l'appareillage et son environnement après chaque analyse.



Fig. 14- Spectrophotomètre DR2800.

I.2.9. Les sulfates

Dosage de sulfate : Méthode néphélométrique (Fig. 15).

➤ **Principe :**

Les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum. Le précipité ainsi stabilisé à l'aide d'une solution de "Tween 20" ou de polyvinyl-pyrrolidone. Les suspensions homogènes sont mesurées au spectromètre. Etablissement de la courbe d'étalonnage :

Le mode opératoire est donné en annexe.

➤ **Mode opératoire :**

Introduire 39 ml d'eau à analyser dans un tube à essai, ajouter 1 ml d'acide chlorhydrique au 1/10 et 5 ml de la solution de chlorure de baryum. Agiter énergiquement et laisser reposer 15 minutes. Agiter de nouveau et faire les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 650 nm.



Fig. 15-Dosage de sulfate.

I.2.10. L'ammonium

Dosé par titrage volumétrique (Fig. 16).

➤ **Mode opératoire :**

40ml d'eau à analyser (échantillon)

04ml réactifs colorés

04ml dichlorocyanurate

Compléter avec l'eau distillée jusqu'à 50ml

Temps de repos 60min

Longueur d'onde 655nm



Fig. 16- Dosage de l'ammonium.

I.2.11. Le phosphate

-Réactif Mixte :

A)- Heptamolybdate d'ammonium13 g.

- H₂O dist. q.s.p.....100 ml

B) - Tartrate d'antimoine 0.35 g.

- H₂O dist. q.s.p..... 100 ml.

C) - H₂SO₄ pur..... 150 ml

- H₂O dist. q.s.p.....150 ml.

(A + B) + C = 500 ml.

Acide ascorbique à 10 %:

- Acide ascorbique.....10 g.

- H₂O dist. q.s.p.....10 ml

Solution mère à 50 mg/l

- Dihydrogenophosphate de potassium0.2197 g

- H₂SO₄ pur..... 150 ml

- H₂O dist. q.s.p.....1000 ml.

Solution fille à 2 mg/l

- Solution mère40 ml

- H₂O dist. q.s.p.....1000 ml

Tableau 4- Etablissement de la courbe d'étalonnage pour les phosphates.

N° Fiole	0	1	2	3	4	5
\$ fille (ml)	0	2	4	6	8	10
q.s.p 40 ml H ₂ O dist	40	38	36	34	32	30
[P] (mg/l)	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
[PO ₄ ³⁻] (mg/l)	0.0	0.306	0.612	0.918	1.224	1.53
[PO₄³⁻] (mg/l) = [P] (mg/l) x 3.06						
Acide ascorbique (ml)	1	1	1	1	1	1
Réactif mixte (ml)	2	2	2	2	2	2
Attendre 10 min. Effectuer la lecture à $\lambda = 700$ et 800 nm						

-Mode opératoire :

P.E = 40 ml d'eau à analyser + 1 ml acide ascorbique + 2 ml du réactif mixte.

Attendre 10 mn

L'apparition de la coloration bleue indique la présence de : PO₄³⁻

Effectuer la lecture à 700 et 800 nm.

-*Expression des résultats* : le résultat est donné directement en mg/l.

I.2.12. La demande biologique en oxygène (DBO₅)

Dosé par un DBO-mètre (Fig. 17).

- **Réactifs**

-KOH

-Réaliser l'analyse de la DBO₅, sur les échantillons prévenants, des points de prélèvement :

-Mesurer la quantité désirée avec le ballon jaugé de trop-plein et verser dans la bouteille propre.

-Introduire l'agitateur magnétique dans chaque bouteille. Mettre 2 à 3 pastilles d'hydroxyde de potassium (KOH) dans chaque bouchon intérieur (noir).

-Mettre sur le système d'agitation à 20°C.

-Fermer hermétiquement le bouchon.

-Relever les valeurs après 5 jours.



Fig. 17-Dosage de la DBO₅.

I.3. Analyses bactériologiques

Les analyses bactériologiques qui ont été effectuées au niveau du laboratoire de l'A.D.E de Skikda, consistent à rechercher :

- Les Coliformes totaux et fécaux ;
- *E. Coli*;
- Les Streptocoques fécaux.

I.3.1. Les Coliformes et *E. Coli*

Mode opératoire :

La recherche des bactéries coliformes par filtration sur membrane nécessite un préalable, qui se déroule selon les étapes suivantes :

Tout d'abord, il faudrait stériliser l'entonnoir.

Les refroidir tout de suite après, avec l'eau à analyser si on en dispose en quantité suffisante ou bien avec de l'eau distillée.

Mettre en place de façon aseptique une membrane de porosité nominale de 0,45 μ entre la membrane poreuse et l'entonnoir.

Fixer ce dispositif avec la pince correspondante.

Disposer ensuite aseptiquement 100 ou 250ml d'eau à analyser, selon les types d'eaux à analyser, devant un bec bunsen.

Actionner ensuite la pompe à vide pour absorber l'eau à travers la membrane.



Fig. 18-*Pompe de filtration*

Retire l'entonnoir puis transférer la membrane vers la plaque de gélose, en suite ont incubé à 37C pendant 24 heures.



Fig. 19-*Milieu de culture des bactéries.*

Cette méthode pour la recherche des bactéries Coliformes fécaux, Coliformes totaux.

Après la période incubation spécifiée, dénombre les colonies caractéristiques qui sont présente sous forme de petite colonies lisses légèrement bombées à contours réguliers et pigmentes en jaune orange ou en jaune.



Fig. 20-*Test de confirmation.*

Pour cela, transfère chaque colonie caractéristique séparément (5 à 10) dans un tube contenant 3 ml de tryptophane. Bien triturer le collie dans le milieu puis incubé ce dernier à 44 °C pendant 24 heures, puis recherche la production d'indole en ajoutant 3 gouttes du réactif de Kovac. La présence d'une coloration rouge à la surface du tube traduit la production d'indole à partir du tryptophane présent dans le milieu (*Escherichia coli* positive).



Partie : II

PARTIE PRATIQUE

Les résultats obtenus sont représentés sous formes de courbes et tableau de calcul du bilan hydrique pour les données climatiques, ainsi que par des histogrammes de variations spatiotemporelles pour les résultats des analyses physicochimique et tableau pour les analyses bactériologiques.

1. Etude climatique

L'étude climatique est basée essentiellement sur l'analyse des précipitations et des températures.

Tableau 05 - Coordonnées géographiques de la station météorologique des barrages de Guenitra et de Beni Zid.

Station du barrage de Guenitra	Coordonnées géographiques		Altitude (m)	N° de code
	Longitude	Latitude		
	06°54'E	36°04'N	169	03-07-24
Station du barrage de Beni Zid	06°32'28''E	36°54'24''N	248	03-07-06

1.1. Station du barrage de Guenitra

Les données recueillies à la station du barrage de Guenitra sont sous forme des moyennes mensuelles et annuelles des hauteurs de pluie pour une période de 07 ans (2014-2015/2020-2021) et des moyennes mensuelles et annuelles des températures pour la même période.

Ces données permettent d'estimer la répartition dans le temps et dans l'espace, ainsi que la quantité d'eau infiltrée et évaporée.

1.1.1. Variations des températures dans le temps

1.1.1.1. Variations moyennes mensuelles

D'après ces résultats on remarque que :

- Le mois le plu chaud est celui d'août avec une température de 23.89 °C.
- Le mois le plus froid est celui de janvier avec une température de 7.86 °C (Fig. 21).

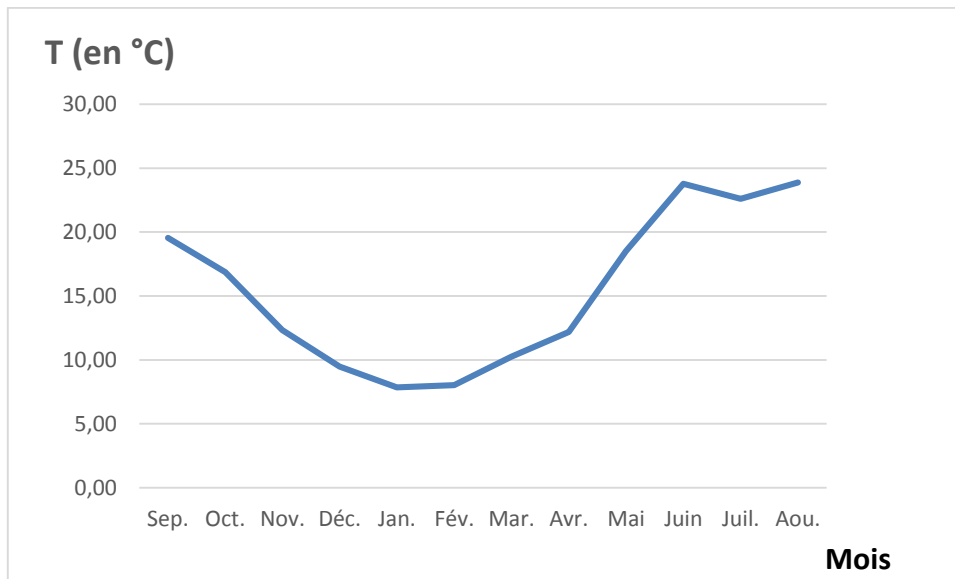


Fig. 21- Variations des températures moyennes mensuelles (°C) pour la station du barrage de Guenitra (2014-2015/2020-2021).

1.1.1.2. Variations annuelles

L'année la plus froide est celle de 2018/2019 avec une température moyenne de l'ordre de 14,17 C°. En outre la température maximale a été enregistrée en 2015 /2016 avec une valeur de 17,13 C°, (Fig. 22).

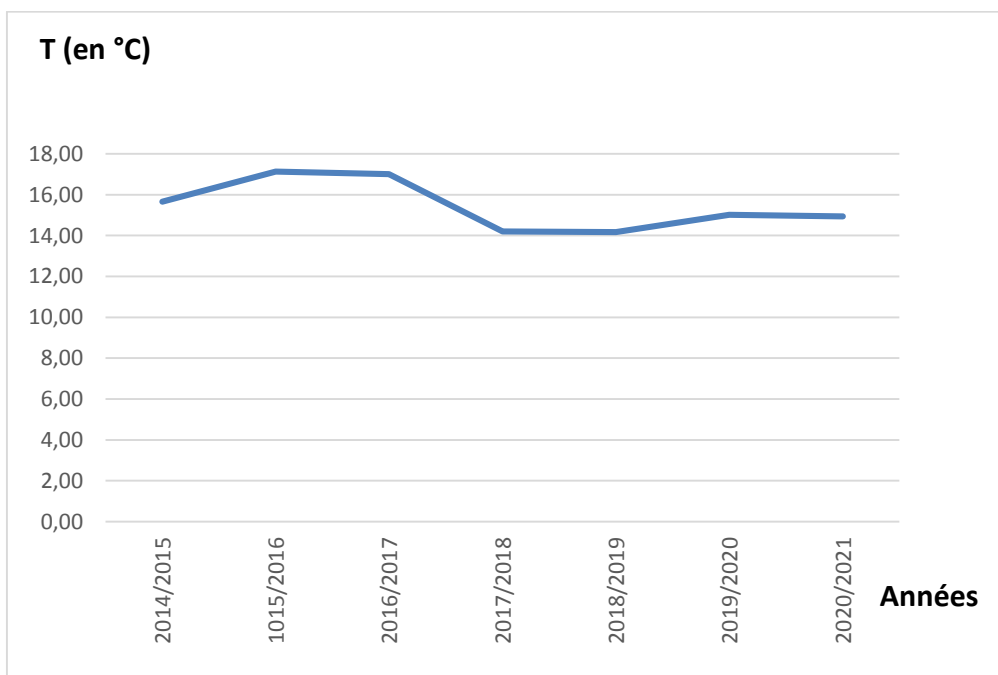


Fig. 22- Variations des températures moyennes annuelles (°C) pour la station du barrage de Guenitra (2014-2015/2020-2021).

1.1.2. Variations des précipitations dans le temps

1.1.2.1. Variations moyennes mensuelles

La distribution des précipitations moyennes mensuelles est illustrée par la figure 23, qui montre que :

- Le mois le plus pluvieux est celui de décembre avec 105,09mm.
- Le mois le plus sec est celui de juillet, dont on a enregistré 6,26mm.

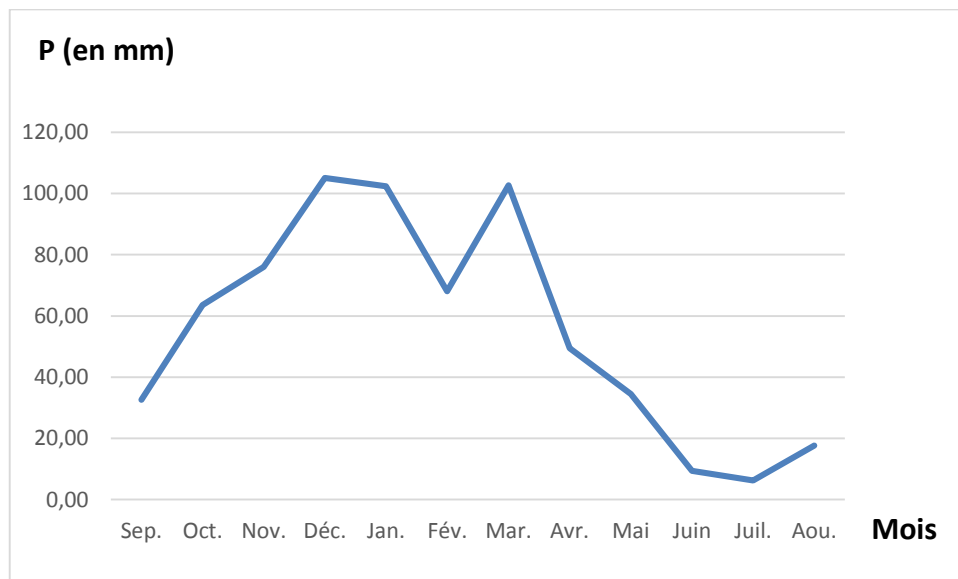


Fig. 23- Variations des précipitations moyennes mensuelles (°C) pour la station du barrage de Guenitra (2014-2015/2020-2021).

1.1.2.2. Variations annuelles

La pluviométrie la plus faible a été enregistrée au cours de l'année 2016/2017 avec une hauteur de 542,1 mm, (Fig. 24).

En outre la pluviométrie maximale a été enregistrée en 2018/2019 avec 829,8mm.

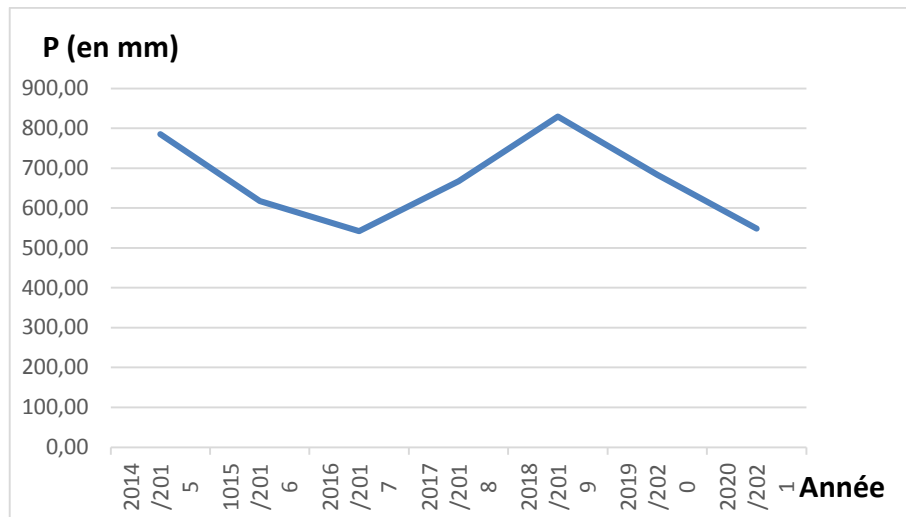


Fig. 24- Variations des précipitations moyennes annuelles (°C) pour la station du barrage de Guenitra (2014-2015/2020-2021).

1.1.3. Diagramme Ombrothermique

Le diagramme ombrothermique est établi, en combinant les températures et les précipitations moyennes mensuelles pour déterminer les périodes sèches et humides.

D'après ce diagramme (Fig. 25), on peut déterminer deux périodes bien distinctes :

- Une saison sèche et chaude qui s'étend sur 5 mois, du début du mois de Mai jusqu'à la fin du mois de septembre.
- Une saison humide et froide qui s'étend sur 7 mois, du mois d'octobre jusqu'à la fin du mois d'avril.

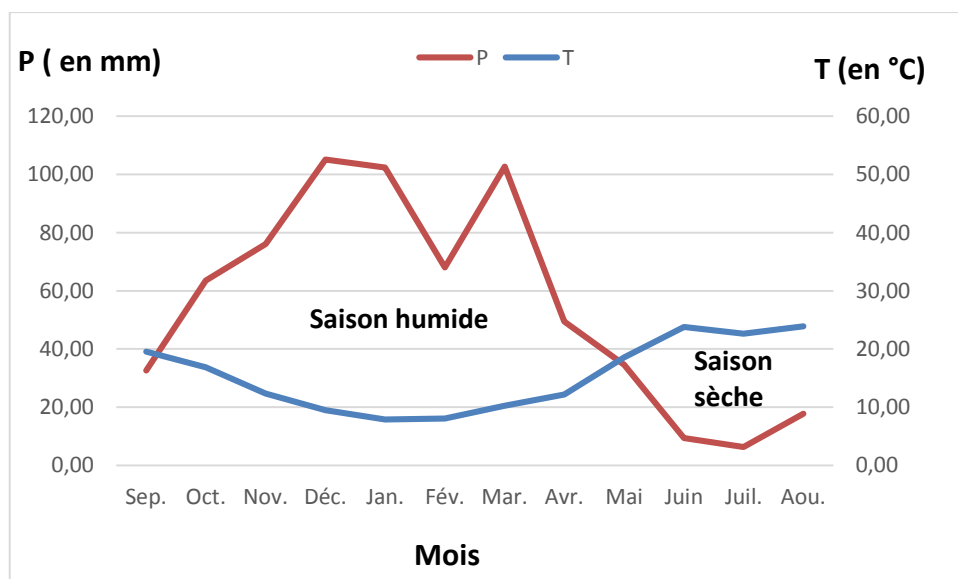


Fig. 25- Diagramme Ombrothermique pour la station du barrage de Guenitra (2014-2015/2020-2021).

1.2. Station du barrage de Beni Zid

Les données recueillies à la station du barrage de Beni Zid sont sous forme des moyennes mensuelles et annuelles des hauteurs de pluie pour une période de 19 ans (2001-2002/2019-2020) et des moyennes mensuelles et annuelles des températures pour la même période.

1.2.1. Variations des températures dans le temps

1.2.1.1. Variations moyennes mensuelles

D'après ces résultats on remarque que :

- Le mois le plus chaud est celui de juillet avec une température de 32,27 °C.
- Le mois le plus froid est celui de janvier avec une température de 16,56 °C (Fig. 26).

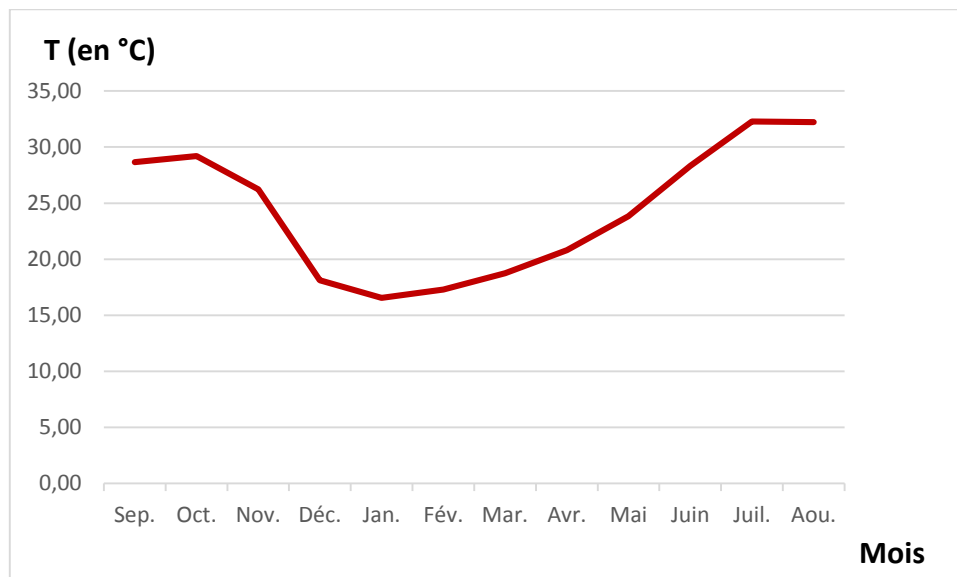


Fig. 26- Variations des températures moyennes mensuelles (°C) pour la station du barrage de Beni Zid(2001-2002/2019-2020).

1.2.1.2. Variations annuelles

L'année la plus froide est celle de 2012/2013 avec une température moyenne de l'ordre de 22,65 °C. En outre la température maximale a été enregistrée en 2016 /2017 avec une valeur de 30,01 °C, (Fig. 27).

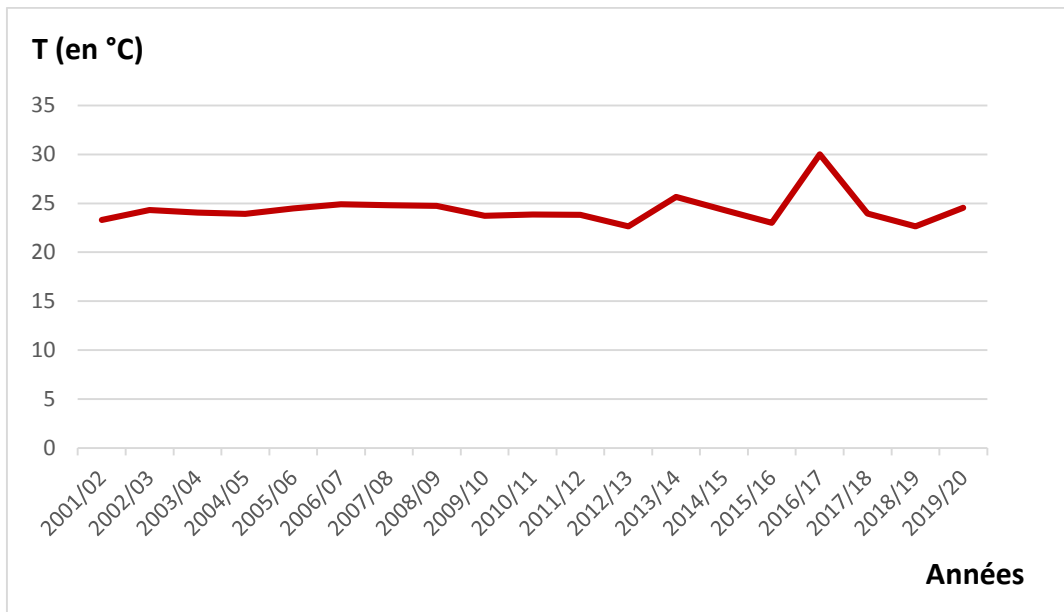


Fig. 27- Variations des températures moyennes annuelles (°C) pour la station du barrage de Beni Zid (2001-2002/2019-2020).

1.2.2. Variations des précipitations dans le temps

1.2.2.1. Variations moyennes mensuelles

La distribution des précipitations moyennes mensuelles est illustrée par la figure 28, qui montre que :

- Le mois le plus pluvieux est celui de Novembre avec 203,74mm.
- Le mois le plus sec est celui de juillet, dont on a enregistré 2,76 mm.

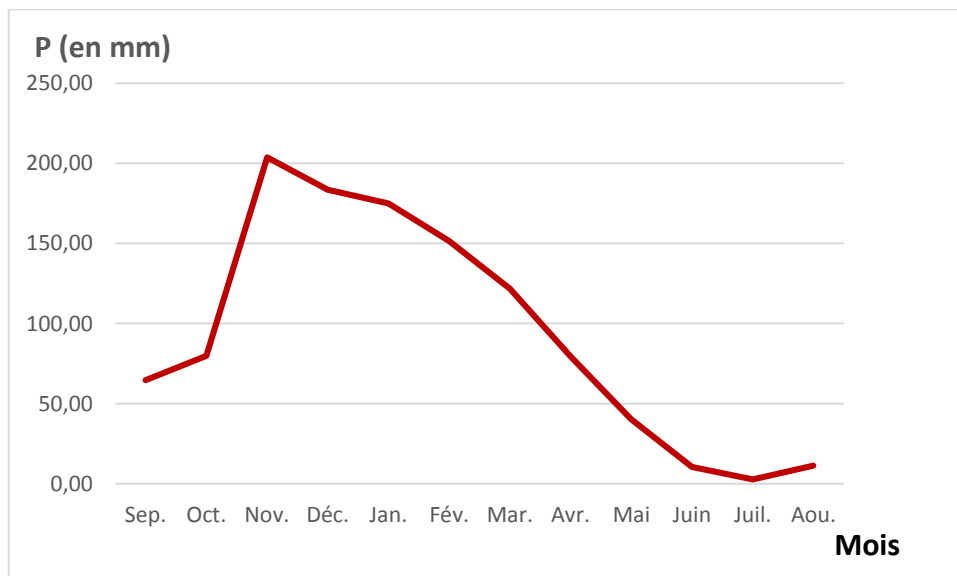


Fig. 28- Variations des précipitations moyennes mensuelles pour la station du barrage de Beni Zid (2001-2002/2019-2020).

1.2.2.2. Variations annuelles

La pluviométrie la plus faible a été enregistrée au cours de l'année 2001/2002 avec une hauteur de 737,7 mm, (Fig. 29).

En outre la pluviométrie maximale a été enregistrée en 2002/2003 avec 1628,6mm.

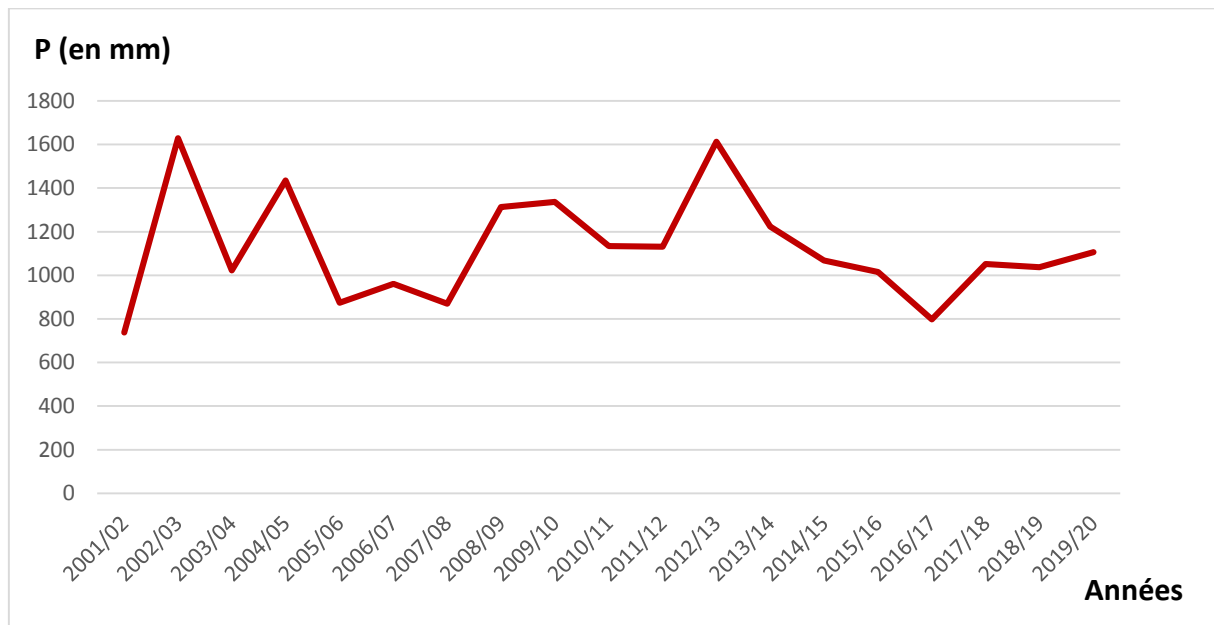


Fig. 29- Variations des précipitations moyennes annuelles pour la station du barrage de Beni Zid (2001-2002/2019-2020).

1.2.3. Diagramme Ombrothermique

Le diagramme est identique que celui de Guenitra (Fig. 30), on peut déterminer deux périodes bien distinctes :

- Une saison sèche et chaude qui s'étend sur 4 mois, du début du mois du Mai jusqu'à le début du mois de septembre.
- Une saison humide et froide qui s'étend sur 8 mois, du mois de septembre jusqu'au mois d'avril.

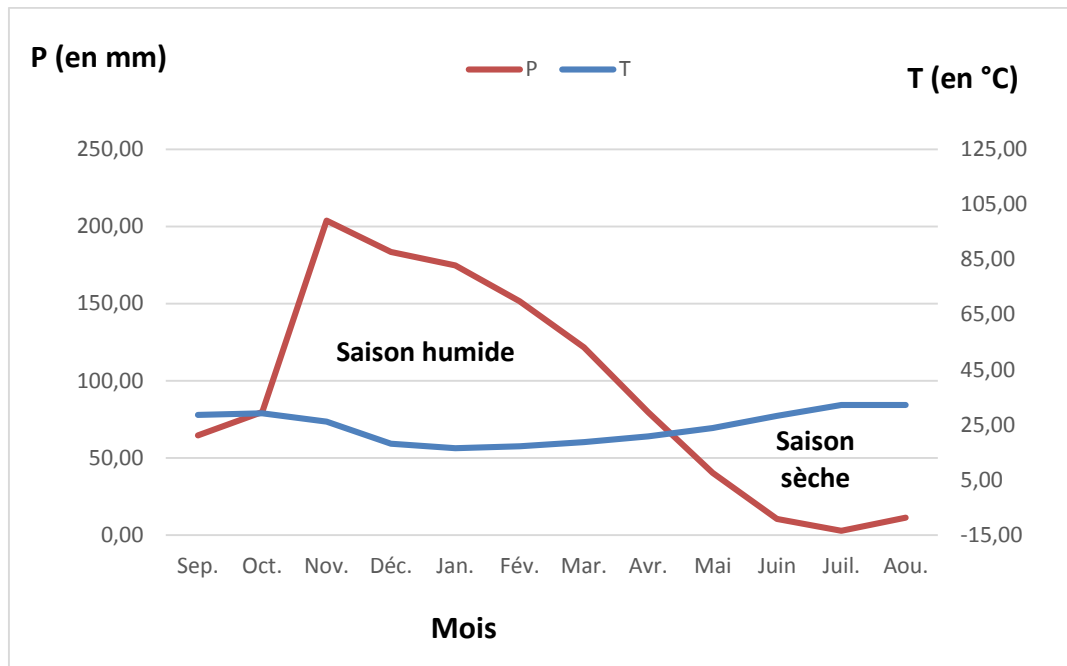


Fig. 30- Digramme Ombrothermique pour la station du barrage de Beni Zid (2001-2002/2019-2020).

1.3. Le bilan hydrique

Le bilan hydrique est l'étude comparée de la lame d'eau précipitée sur une surface donnée et des différentes formes de transfert de cette eau : soit par écoulement, infiltration ou évaporation (Tableaux 6 et 7).

1.3.1. Estimation des paramètres du bilan

1.3.1.1. L'évaporation-évapotranspiration

L'évaporation se définit comme étant le passage de la phase liquide à la phase vapeur. Le terme évapotranspiration englobe l'évaporation et la transpiration des plantes. Les plans d'eau et la couverture végétale sont les principales sources de vapeur d'eau. On distingue :

- *Évapotranspiration potentielle (ETP)* : calculée par la formule de Thornthwaite (1948) :

$$ETP = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a K \quad (1)$$

Avec ; ETP : évapotranspiration potentielle du mois (en mm).

T : température moyenne mensuelle de la période (en °C).

I : indice thermique annuel qui représente la somme des indices mensuels (i) :

$$I = \sum_{i=1}^{12} i(2) \quad \text{Avec : } i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.5} \quad (3)$$

$$a = \left(\frac{1.6}{100}\right)I + 0.5(4) \quad \text{K : coefficient d'ajustement mensuel lié à la latitude.}$$

- *Evapotranspiration réelle (ETR)* : calculée par la formule de Turc (1954) :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (5)$$

Avec ; ETR : évapotranspiration réelle en mm/an.

P : hauteur annuelle de pluie en mm.

L : pouvoir évaporant, est une limite vers laquelle tend l'ETR lorsque P devient grand.

$$L = 300 + 25t + 0.05t^3 \quad t : \text{température annuelle en } ^\circ\text{C.}$$

1.3.2. Bilan hydrique de la station pluviométrique du barrage de Guenitra

Tableau 6- Bilan hydrique pour la station du barrage de Guenitra(2014-2015/2020-2021),
d'après la méthode de Thornthwaite (1955).

Mois	T(°C)	I	K	ETP	P(mm)	BH	RU	ETR	DA	Exc.
S	19,55	10,7	1,03	75,37	32,5714	-42,80	0,00	32,57	42,80	0,00
O	16,8643	9,01	0,97	53,52	63,5429	10,02	10,02	53,52	0,00	0,00
N	12,3429	6,41	0,86	26,14	76,0429	49,90	59,92	26,14	0,00	0,00
D	9,47143	4,65	0,81	14,85	105,086	90,24	100,00	14,85	0,00	50,15
J	7,85714	4,08	0,87	11,16	102,371	91,21	100,00	11,16	0,00	91,21
F	8,02143	4,5	0,85	11,35	68,0714	56,73	100,00	11,35	0,00	56,73
M	10,2571	4,89	1,03	21,99	102,686	80,70	100,00	21,99	0,00	80,70
A	12,1786	6,35	1,1	32,60	49,4429	16,85	100,00	32,60	0,00	16,85
M	18,5286	7,76	1,21	79,92	34,5429	-45,37	54,63	79,92	0,00	0,00
J	23,7857	9,78	1,22	129,84	9,4	-120,44	0,00	64,03	65,81	0,00
J	22,6071	11,92	1,24	119,76	6,25714	-113,50	0,00	6,26	113,50	0,00
A	23,8857	12,4	1,16	124,44	17,7	-106,74	0,00	17,70	106,74	0,00
Annuel	15,45	92,45		700,94	667,71	-33,22		372,08	328,86	295,63

T : température moy. mensuelle, *I* : indice thermique, *K* : coefficient d'ajustement, *P* : précipitation moy. mensuelle, *BH* : bilan hydrique, *RFU* : réserve facilement utilisable, *DA* : déficit agricole, *Exc.* : excédent

Tableau 7- Bilan hydrique pour la station du barrage de Beni Zid (2001-2002/2019-2020), d'après la méthode de Thornthwaite (1955).

Mois	T(°C)	I	K	ETP	P(mm)	BH	RU	ETR	DA	Exc.
S	28,67	10,7	1,03	156,57	64,71	-91,86	0,00	64,71	91,86	0,00
O	29,21	9,01	0,97	152,82	79,72	-73,10	0,00	79,72	73,10	0,00
N	26,23	6,41	0,86	110,32	203,74	93,42	93,42	110,32	0,00	0,00
D	18,13	4,65	0,81	51,30	183,47	132,17	100,00	51,30	0,00	125,59
J	16,56	4,08	0,87	46,36	174,85	128,48	100,00	46,36	0,00	128,48
F	17,29	4,5	0,85	49,20	151,55	102,35	100,00	49,20	0,00	102,35
M	18,76	4,89	1,03	69,69	121,74	52,06	100,00	69,69	0,00	52,06
A	20,80	6,35	1,1	90,61	79,48	-11,13	88,87	90,61	0,00	0,00
M	23,84	7,76	1,21	129,30	40,32	-88,99	0,00	129,19	0,11	0,00
J	28,32	9,78	1,22	181,15	10,42	-170,74	0,00	10,42	170,74	0,00
J	32,27	11,92	1,24	236,28	2,76	-233,52	0,00	2,76	233,52	0,00
A	32,22	12,4	1,16	220,39	11,28	-209,11	0,00	11,28	209,11	0,00
Annuel	24,36	92,45		1494,00	1124,03	-369,97		715,55	778,45	408,48

Les valeurs de l'ETR obtenues par la méthode de C. W. Thornthwaite, montrent qu'une grande partie des précipitations est reprise par l'évapotranspiration (ETR = 372,08mm à Guenitra et 715,55 mm à Beni Zid), le déficit agricole est important (328,86mm à Guenitra et 778,45 mm à Beni Zid), alors que la recharge interannuelle est relativement faible.

C'est à partir du mois de Mai jusqu'au mois d'octobre que toute la réserve en eau dans le sol est épuisée (RFU = 0), (Fig. 29), devant cette situation une irrigation des cultures semble indispensable pour lutter contre la sécheresse du sol et l'évapotranspiration intense (déficit agricole $DA > 0$).

2. Etude physicochimique et bactériologique des eaux des deux barrages

Les indicateurs physico-chimiques et bactériologiques de la qualité de l'eau sont souvent assujettis à des variations spatiotemporelles induites par les activités anthropiques et nature géologique qui modifient les caractéristiques de l'eau et affectent sa qualité. A cet effet, les résultats obtenus sont comparés aux normes Algériennes des eaux destinées à l'irrigation, les normes manquantes sont complétées par celles issues des lignes directrices des eaux d'irrigation de la littérature internationale des organisations internationales et chercheurs

spécialistes dans le domaine de l'irrigation (Tableau 8) et sont présentés sous formes d'histogrammes de variations spatiotemporelles.

Remarques :

- *La norme/ligne directive des eaux d'irrigation est tracé par une droite rouge).*
- *Les points échantillonnés barrage de Beni Zid sont nommés : P1, P2 et P3 ; alors que ceux prélevés du barrage de Guenitra sont nommés : E1, E2 et E3.*

Tableau 8- Normes/lignes directives des eaux d'irrigation.

Paramètres	Normes/ligne directive d'irrigation
Conductivité	30000 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) *
pH	6.5-8.5 *
Chlorures	350 (mg/l) *
Ammonium (NH_4^+)	15 mg/l **
TAC (HCO_3^-)	518 (mg/l) *
Température	30°C *
Titre Alcalimétrique (TA)	200 (mg/l)*
Nitrate (NO_3^-)	30 mg/l *
Nitrite (NO_2^-)	1 mg/l *
Matière organique (MO)	0.01 mg/l **
Demande Biologique en Oxygène (DBO5)	30 mg/l*
Tire Alcalimétrique Complet (THt)	200 (mg/l) *****
Magnésium (Mg^{2+})	60 (mg/l) teneur habituelle dans les eaux d'irrigation *****
Calcium (Ca^{2+})	400 (mg/l) teneur habituelle dans les eaux d'irrigation *****
Phosphate (PO_4^{3-})	2 mg/l teneur habituelle dans les eaux d'irrigation *****
Sulfate (SO_4^{2-})	500 mg/l teneur habituelle dans les eaux d'irrigation *****
Fer	5 mg/l****
Escherichia coli	>100 dans 100 ml d'eau*
Coliformes fécaux	1000/100 ml **
Salmonelle	Absence dans 5 litres **
Streptocoques fécaux	
Coliformes stotiaux	1000 CT par 100 ml*****

Sources :

* Norme Algérienne (2012), **UNEP (2005), ***Norme marocaine (2002), **** Maynard et Hochmuth(1997), *****DDAZASA (2013), ***** SEQ-EAU (2003).

2.1. Le pH

Le pH est considéré comme étant l'un des paramètres les plus importants de la qualité des eaux, il est étroitement surveillé au cours de toute la période du prélèvement. Le pH dépend de l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du terrain traversé. Dans la plupart des eaux naturelles, le pH est compris habituellement entre 6 et 8,5 alors que dans les eaux tièdes, celui-ci être compris entre 5 et 9.

Les eaux des deux barrages de Guenitra et de Beni Zid ont un pH acceptable suivant la norme avec légèrement supérieur a la limite maximale admissible pour les trois points (E1, E2 et E3) de la 1^{ère} campagne du barrage de Guenitra (pH maximal de 8.65 en E3).

Malgré leur pH admissible, les eaux des deux barrages sont légèrement alcalines surtout pour le barrage de Guenitra ; due au forte évaporation, ainsi qu'à la précipitation excessive des sels minéraux à en amont du barrage à cause de leur faible profondeur, contrairement à la digue du barrage, l'évaporation est moins forte avec une profondeur d'eau importante. L'effet des eaux ménagères riches en bases de sels de détergents évacuées largement surtout dans les effluents qui alimentent le barrage de Guenitra est bien marqué et influent sur l'augmentation de l'alcalinité des ses eaux, contrairement à celles de Beni Zid, où l'alcalinité est moindre (pH minimal de 7.2 au point P3), (Fig. 31).

Les eaux des barrages de la 1^{ère} campagne sont les plus alcalines par rapport à celles de la 2^{ème} et de la 3^{ème} campagne à cause de lessivage de sel minéraux après une période de précipitation durant le mois de fevrier.

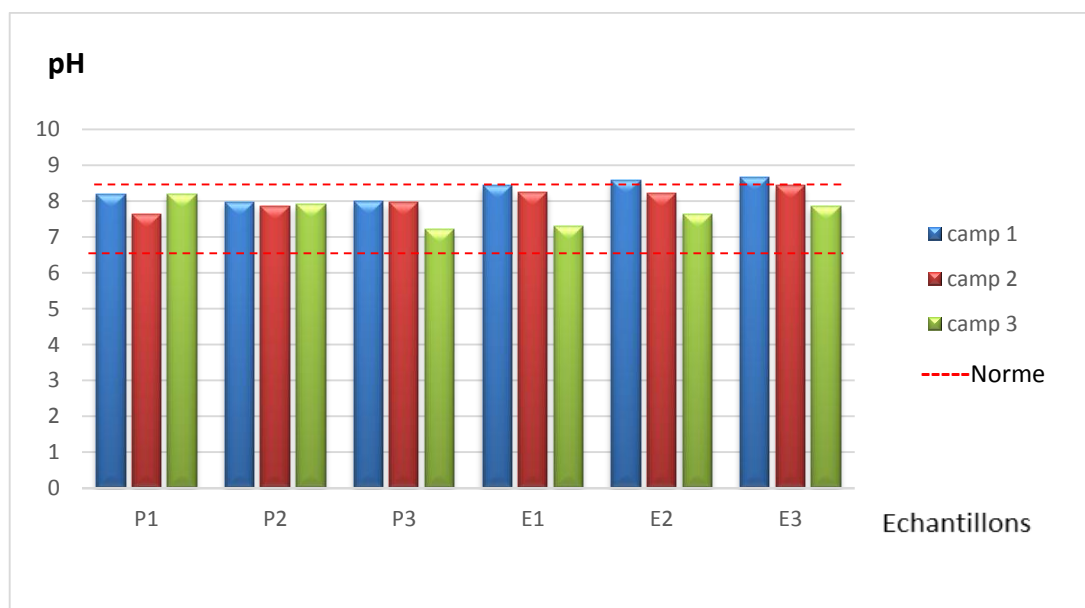


Fig. 31- Variation spatio-temporelle du pH dans les barrages de Beni Zid (P1, P2, P3) et le barrage de Guenitra (E1, E2 et E3).

2.2. La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique permet d'avoir une idée de la salinité de l'eau. Une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit une salinité élevée.

Les eaux des deux barrages possèdent une bonne conductivité électrique qui n'atteint jamais la norme fixée à 30000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les eaux du barrage de Beni Zid sont les moins conductrices ce qui traduit une faible minéralisation des ces eaux en plus de leur propreté à cause des faibles effluents liquide ménagères évacués par les habitants de la régions (CE minimale de 233 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au point P3 de la 1^{ère} campagne), (Fig. 32). Par contre, les eaux du barrage de Guenitra possèdent une conductivité supérieure à celle du Beni Zid à cause de lessive des formations de roches sédimentaires minéralisées et les fortes évacuations des rejets liquides ménagères et municipales, ainsi qu'à la forte évaporation à cet endroit (CE maximale de 653 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

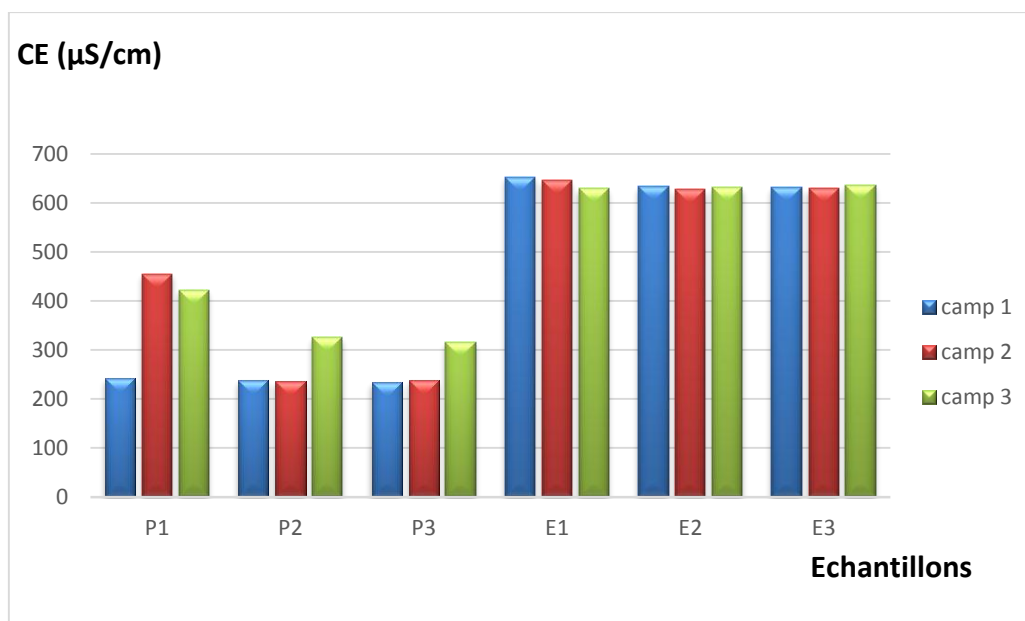


Fig. 32- Variation spatio-temporelle de la conductivité électrique dans les barrages de Beni Zid (P1, P2, P3) et le barrage de Guenitra (E1, E2 et E3).

2.3. La température

La température de l'eau est un facteur important dans la production biologique. Ceci vient du fait qu'elle affecte les propriétés physiques et chimiques de celle-ci ; en particulier sa densité, sa viscosité, la solubilité de ses gaz (notamment celle de l'oxygène) et la vitesse des réactions chimiques et biochimiques.

La température des eaux des deux barrages est bonne, elle ne dépasse pas la norme. Les eaux du barrage de Guenitra sont plus froides à cause du volume d'eau stockée importante que celles de Beni Zid, la température minimale est de 13.5°C au point E2 de la 2^{ème} campagne, alors que la température maximale est de 19.2°C au point P3 de la 3^{ème} campagne. Cette température diminue ensuite en allant de l'amont vers la digue des deux barrages où la profondeur de la lame d'eau est grande (Fig. 33).

Les eaux des barrages de la 3^{ème} campagne sont les plus chaudes par conséquent de la période de prélèvement des ces eaux au mois de Mai.

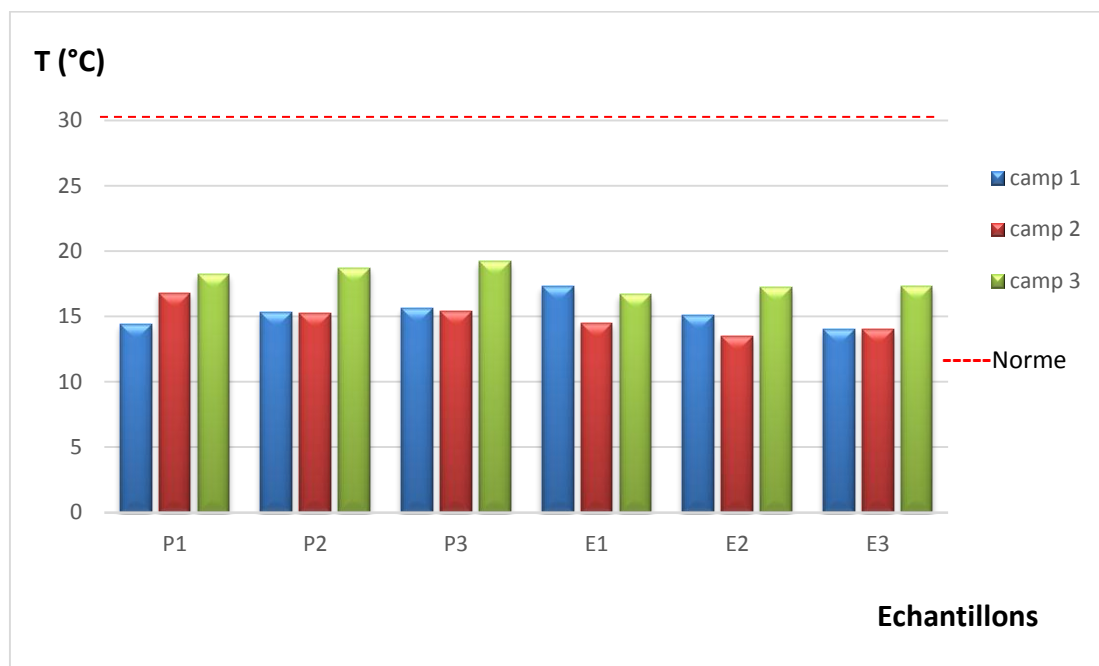


Fig. 33- Variation spatio-temporelle de la température dans les barrages de Beni Zid (P1, P2, P3) et le barrage de Guenitra (E1, E2 et E3).

2.4. La turbidité

Les eaux du barrage de Beni Zid sont très turbides et dépassent largement la norme pour toutes les campagnes, cela est due aux effluents et Oueds alimentant ce barrage durant toute l'année à cause de la haute pluviométrie enregistrée à cet endroit, au contraire les eaux du barrage de Guenitra sont moins turbides à l'exception du période de la 3^{ème} campagne où les teneurs sont très élevées (maximale de 29.2 NTU) est dépassent largement la norme (Fig. 34), par conséquent d'une forte pluviométrie et averse locale durant cette période de prélèvement et transport solide important. La teneur minimale est dosée au niveau du point E3 de la 2^{ème} avec 1.91 NTU.

En remarque une diminution de la turbidité depuis l'amont des deux barrages où se fait l'alimentation jusqu'à la digue où la vitesse d'écoulement diminue et se neutralise.

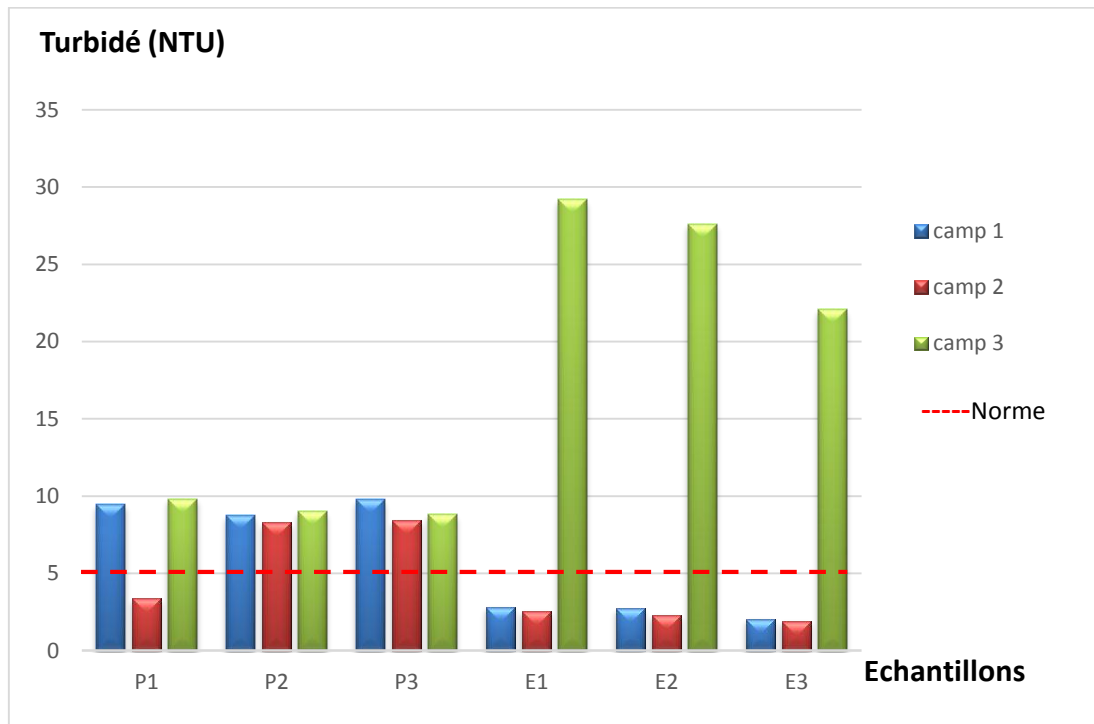


Fig. 34- Variation spatio-temporelle de la turbidité dans les barrages de Beni Zid (P1, P2, P3) et le barrage de Guenitra (E1, E2 et E3).

2.5. La dureté totale (THt)

La dureté d'une eau correspond à la présence de sels de calcium et, dans une moindre mesure, des sels de magnésium (strontium, et baryum).

Les eaux des deux barrages sont relativement dures surtout celles du barrage de Guenitra, à cause du lessivage des terrains géologiques carbonatée (calcaires, dolomies et marnes) largement répandus dans le sous bassin versant de l'Oued Gueintra qui draine tous les effluents de cette région, la teneur maximale est de 340 mg/l de CaCO_3 dosée au point E3 de la 2^{ème} campagne. Les eaux du barrage de Beni Zid sont moins dures à cause de l'absence de formations de roches carbonatée drainées dans le sous bassin de Beni Zid, où la teneur minimale est de 94 mg/l de CaCO_3 , dosée au point P3 (vers la digue) de la 2^{ème} campagne, (Fig. 35).

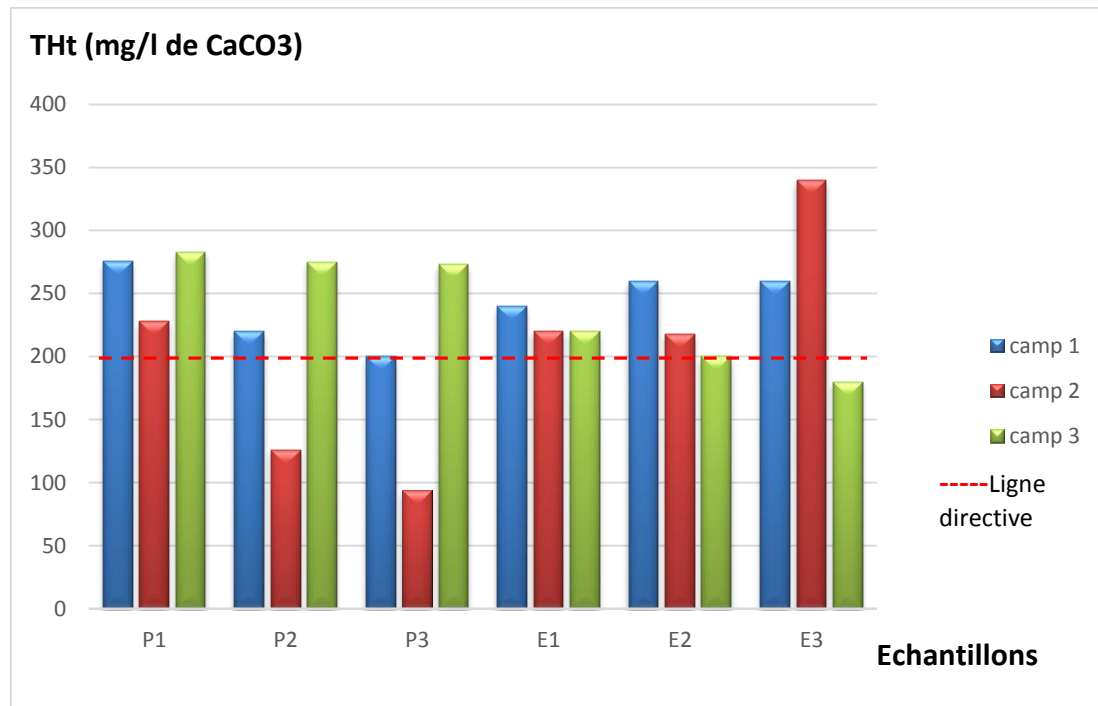


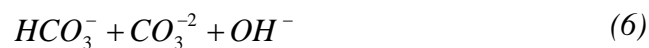
Fig. 35- Variation spatio-temporelle de la dureté totale dans les barrages de Beni Zid (P1, P2, P3) et le barrage de Guenitra (E1, E2 et E3).

2.6. Le titre alcalimétrique (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC)

Le titre alcalimétrique (TA) dose la totalité des hydroxydes et la moitié des carbonates qui sont alors entièrement transformés en bicarbonates à un pH de 8.3, donc le TA mesure la teneur en alcalins libres (OH^-) et en carbonates (CO_3). *Le dosage de tous les échantillons nous a donné des valeurs nulles des eaux deux barrages étudiés.*

Si le pH est compris entre 4.5 et 8.3, ce qui est le cas des eaux naturelles, les seules espèces alcalines présentes en quantité mesurable par titrage sont les bicarbonates HCO_3^- .

Le TAC traduit le caractère basique d'une eau :



Les eaux des deux barrages ont des teneurs qui ne dépassent pas la norme, avec des concentrations en HCO_3^- plus élevées dans les eaux du barrage de Guenitra que celui de Beni Zid, à cause du lessivage des roches carbonatées qui constituent des couches géologiques largement répandues dans le sous bassin versant de Guenitra et l'absence de ce faciès dans le sous bassin versant de Beni Zid, la teneur maximale est de 149 mg/l au point E1 de la 3^{ème} campagne, alors que la teneur minimale est de 45 mg/l au point P1 de la 1^{ère} campagne, (Fig. 36).

Les teneurs en bicarbonates augmentent diminuent et légèrement depuis l'amont des deux barrages jusqu'à la digue, et inversement, elles augmentent légèrement depuis la 1^{ère} campagne jusqu'à la 3^{ème} par absence de dilution et augmentation de l'évaporation est donc la concentration des minéraux, (Fig. 36).

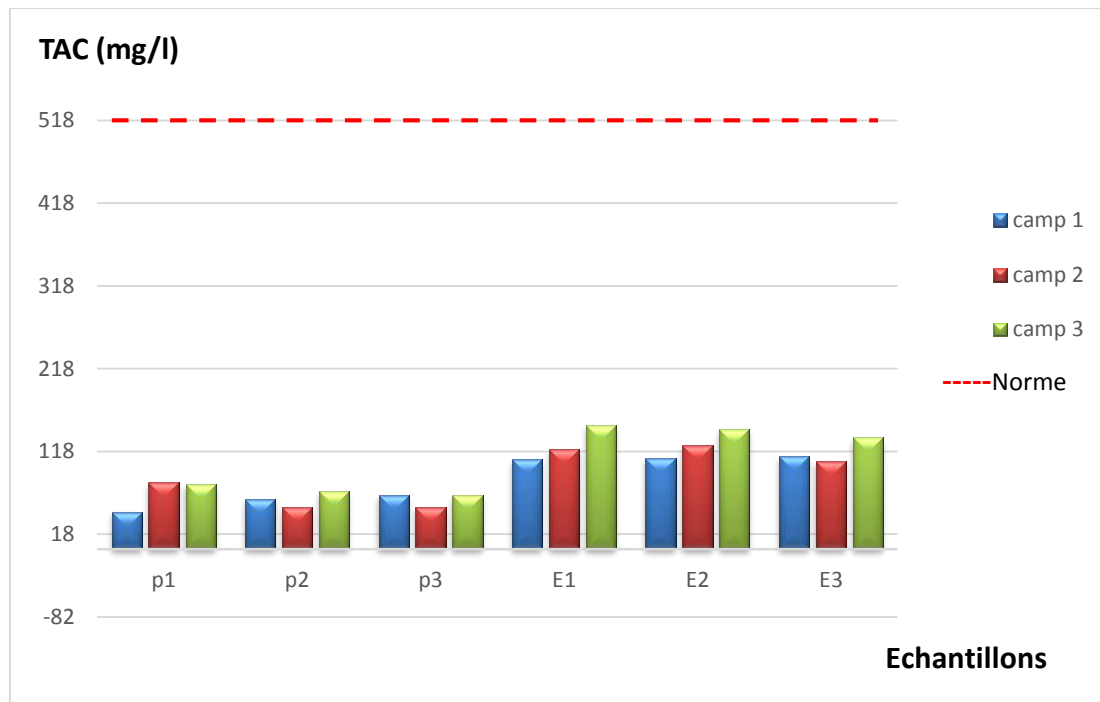


Fig. 36- Variation spatio-temporelle du titre alcalimétrique complet dans les barrages de Beni Zid (P1, P2, P3) et le barrage de Guenitra (E1, E2 et E3).

2.7. Le calcium

Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables et sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés (terrain calcaire ou gypseux) (Rodier et al. 2009).

Les eaux des deux barrages possèdent des teneurs qui ne dépassent pas les normes dans tous les points de toutes les campagnes. Les eaux du barrage de Guenitra sont plus concentrées en cet élément que celle de Beni Zid à cause des formations géologiques carbonatées qui prédominent à Oum Toub, la teneur maximale est de 75 mg/l au point P3 de la 1^{ère} campagne, alors que la teneur minimale est de 20 mg/l au point P2 de la 2^{ème} campagne, (Fig. 37).

Une diminution progressive des concentrations en calcium depuis l'amont jusqu'à la digue des deux barrages étudiés, suite à la tranche d'eau d'épaisseur importante à cette dernière.

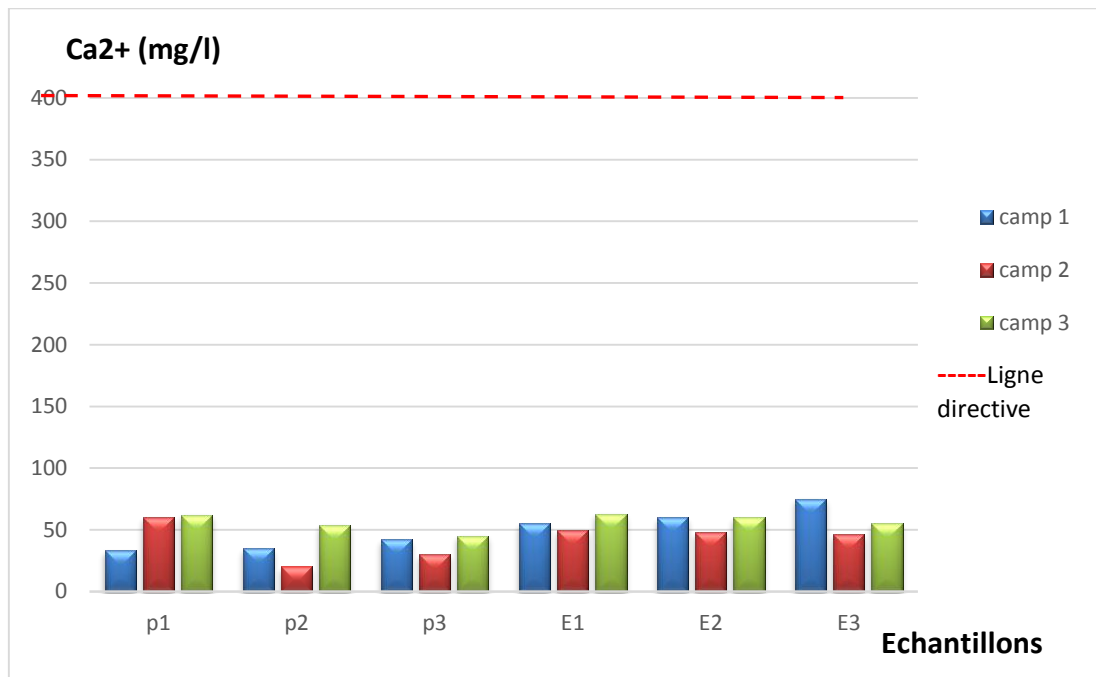


Fig. 37- Variation spatio-temporelle du calcium dans les barrages de Beni Zid (P1, P2, P3) et le barrage de Guenitra (E1, E2 et E3).

2.8. Le chlorure

La teneur en ion chlore des eaux naturelles est essentiellement associée à celle du sodium. Leseaux trop riches en chlorure sont laxatives et corrosives. La concentration des chlorures dans l'eau, dépend aussi de terrain traversé surtout argileux.

Les teneurs en chlorure ne dépassent pas la norme dans tous les points des trois campagnes des deux barrages, on remarque que les eaux du barrage de Beni Zid sont plus concentrées en chlorure que celles de Guenitra, avec une teneur maximale de 135.2 mg/l au point P1 de la 3^{ème} campagne, les concentrations diminuent en allant de l'amont vers la digue, inversement, ces concentrations augmentent de l'amont vers la digue au niveau du barrage de Guenitra (Fig. 38) et de la 1^{ère} à la 3^{ème} campagne.

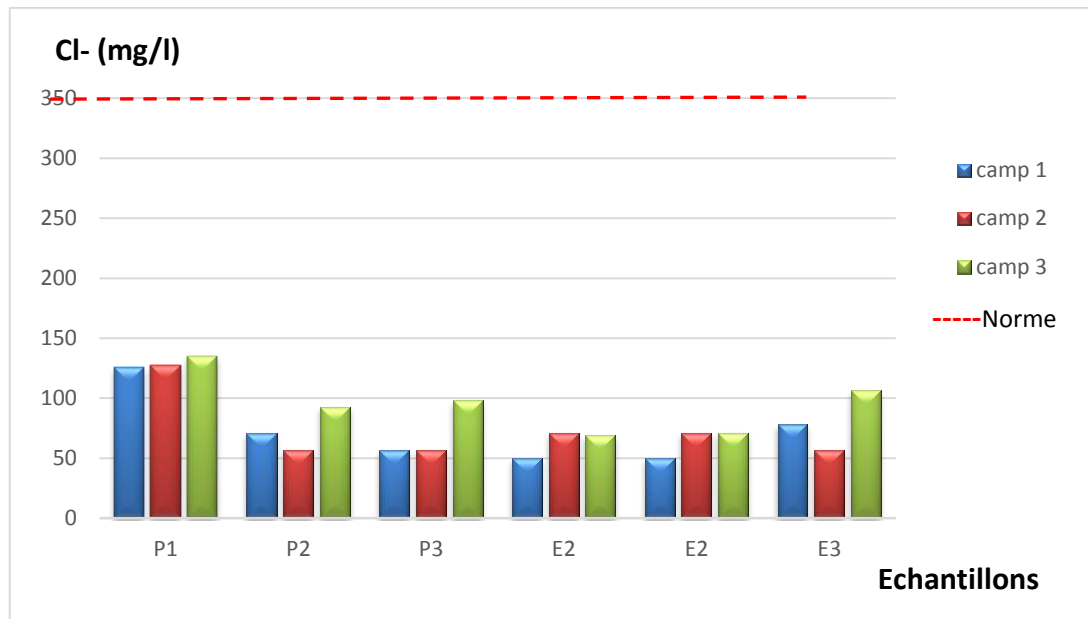


Fig. 38- Variation spatio-temporelle du chlorure dans les barrages de Beni Zid (P1, P2, P3) et le barrage de Guenitra (E1, E2 et E3).

2.9. Le sulfate

Leur présence résulte de la légère solubilité des sulfates de calcium des roches gypseuses et de l'oxydation de la pyrite et des autres sulfures métalliques (fer, nickel, cuivre, ...) répandus dans les roches, de l'anhydrite et d'autres sels sulfatés des évaporites, en outre il peut être dû à la pollution provenant l'activité agricole (utilisation d'engrais) largement exercée dans la région.

Les eaux des deux barrages ont des teneurs qui ne dépassent pas la norme dans tous les points de toutes les campagnes, avec des concentrations qui augmentent de l'amont vers la digue et de la 1^{ère} campagne à la 3^{ème} pour le barrage de Beni Zid (activité agricole bien individualisée au alentours), la teneur maximale est de 145.7 mg/l au point P3 de la 3^{ème} campagne et la teneur minimale est de 10.59 mg/l à P2 de la 1^{ère} campagne. Inversement, les concentrations diminues depuis l'amont vers la digue et de la 1^{ère} à la 3^{ème} campagne pour les eaux du barrage de Guenitra, ce qui confirme leur origine anthropique dans les eaux des rejets de cette région, (Fig. 39).

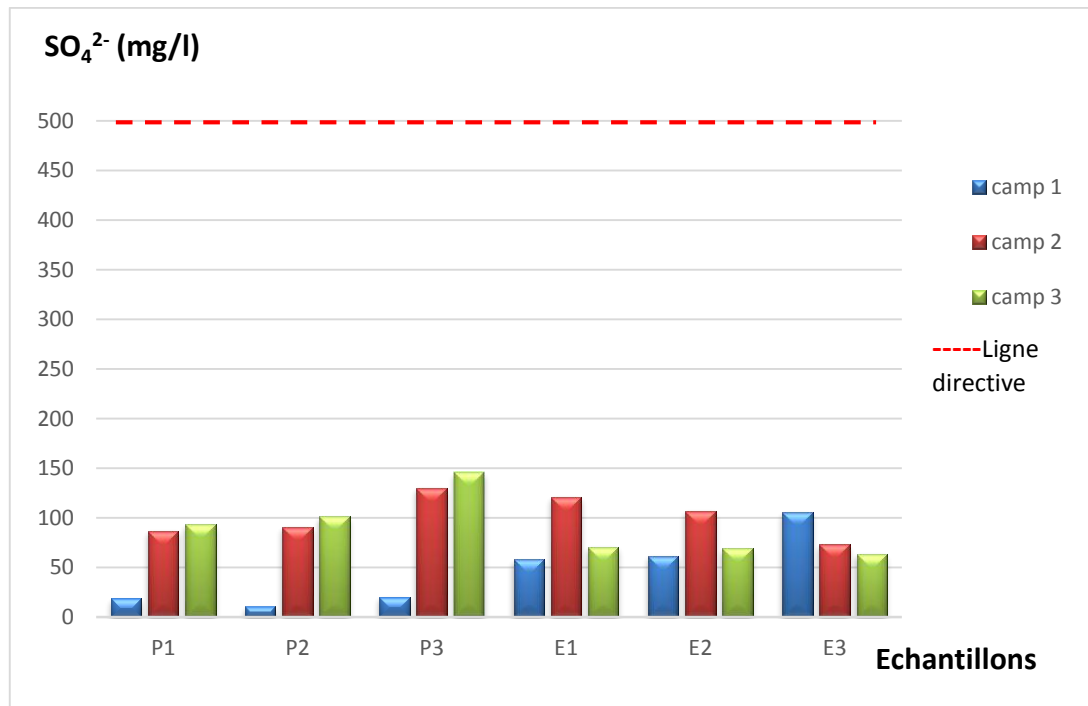


Fig. 39- Variation spatio-temporelle du sulfate dans les barrages de Beni Zid (P1, P2, P3) et le barrage de Guenitra (E1, E2 et E3).

2.10. Le phosphate

La présence des phosphates dans les eaux naturelles à des concentrations supérieures à 0,2 mg/l est l'indice d'une pollution par des eaux vannes contenant des phosphates organiques et des détergents synthétiques, ainsi que par les eaux de ruissellement.

Les résultats obtenus montrent que les eaux des deux barrages sont dans les normes, la teneur en phosphate est acceptable avec une légère concentration de cet élément dans les eaux du barrage de Beni Zid à cause de leur petite superficie par rapport de celui de Guenitra et donc la concentration de l'eutrophisation.

Les teneurs en phosphate augmentent de l'amont des deux barrages jusqu'à la digue où se concentre avec les eaux stagnantes à ce niveau pour atteindre une teneur maximale de 0.82 mg/l à P3 de la 3^{ème} campagne, et de la 1^{ère} à la 3^{ème} campagne à cause de l'absence de dilution suite à la faible pluviométrie et la forte évaporation des eaux (Fig. 40). La teneur minimale est dosée au niveau du point P3 de la 1^{ère} campagne avec 0.007 mg/l.

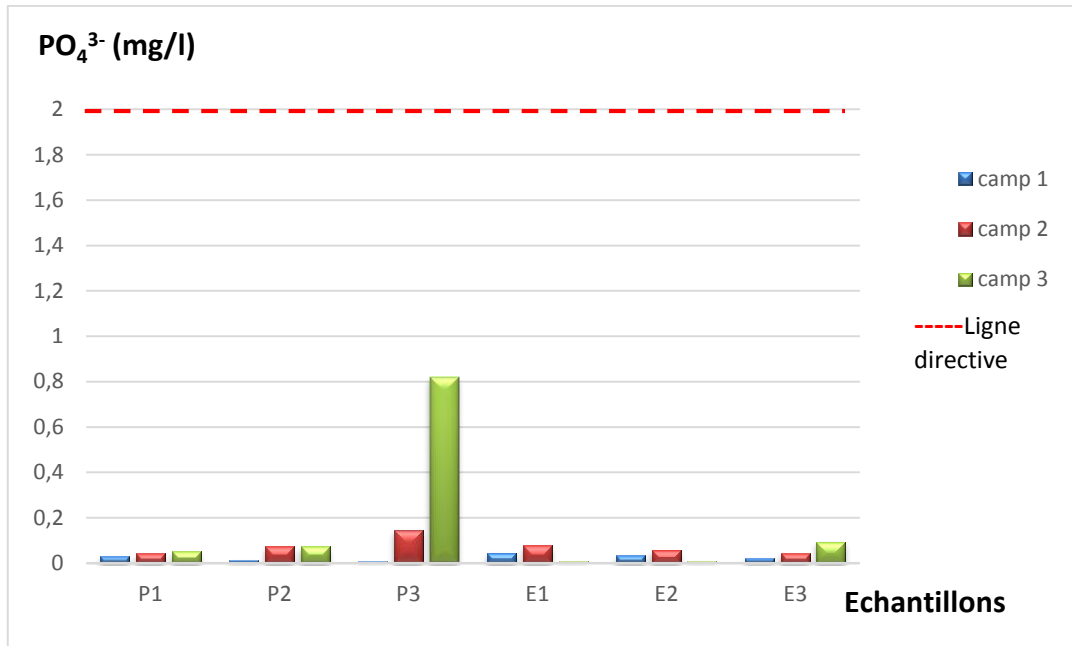
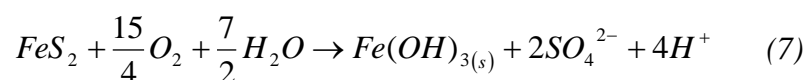


Fig. 40- Variation spatio-temporelle du phosphate dans les barrages de Beni Zid (P1, P2, P3) et le barrage de Guenitra (E1, E2 et E3).

2.11. Le fer total

En milieu plus alcalin, le fer est complexé à la fois par les carbonates et les hydroxydes et reste sous forme aqueuse. Dans la partie oxydante, le fer ferreux est instable en solution et précipite sous forme d'oxyde ou d'hydroxyde. En présence de teneurs élevées en nitrates il peut aussi réduire ces dernières (Djaballah Aouat et Elkenz, 2018).

Les eaux des deux barrages ont des teneurs très faibles en fer qui n'atteignent jamais la norme fixée à 5 mg/l. Leur concentration est légèrement élevée dans les eaux de barrage de Beni Zid que de Guenitra avec une teneur maximale de 0.72 mg/l au point P2 de la 1^{ère} campagne. Les concentrations augmentent de l'amont vers la digue des deux barrages et diminuent de la 1^{ère} à la 3^{ème} campagne (Fig. 41), par ailleurs l'oxydation des minéraux tels que la pyrite (FeS₂) peut également intervenir en présence d'oxygène moléculaire :



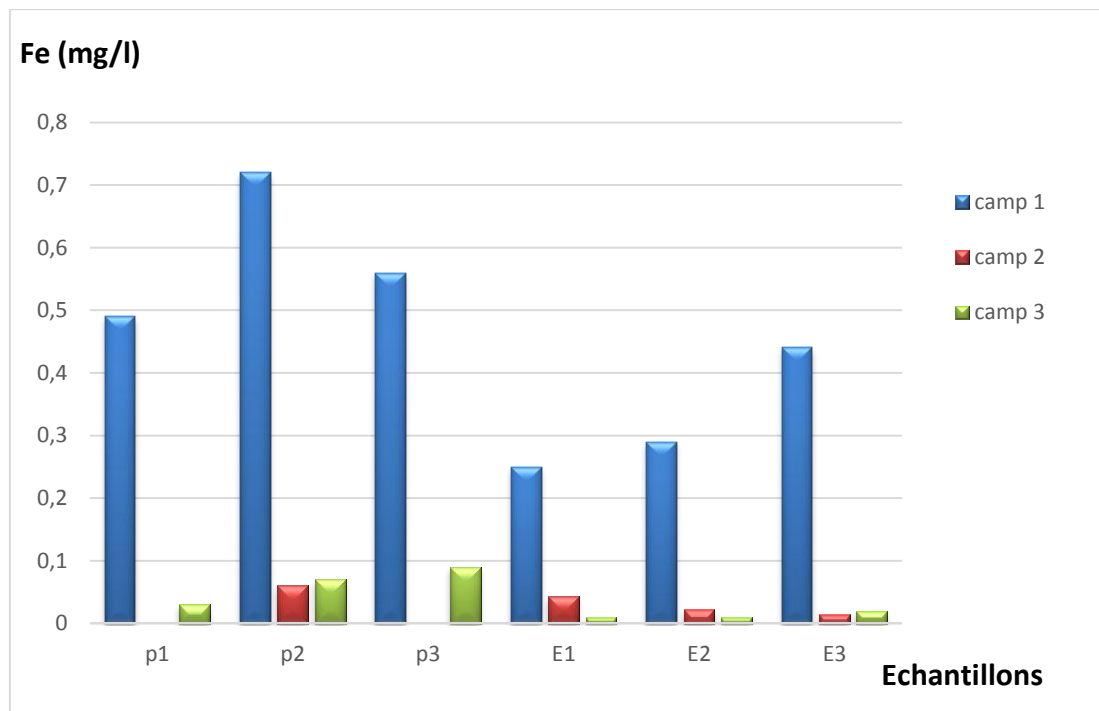


Fig. 41- Variation spatio-temporelle du fer total dans les barrages de Beni Zid (P1, P2, P3) et le barrage de Guenitra (E1, E2 et E3).

2.13. L'ammonium

L'ammonium est la forme d'azote la plus toxique. Sa présence dans l'eau est liée soit aux rejets urbains et industriels, soit à la réduction des formes azotées (nitrates et nitrites) en conditions réduites.

Malgré sa présence dans l'eau, ses concentrations sont très faible à nulles dans la plupart des points des eaux des barrages de Beni Zid et de Guenitra, la teneur maximale est de 0.05 mg/l u point E1 de la 3^{ème} campagne. Les eaux du barrage de Guenitra sont légèrement concentrées en cet élément que celles du barrage de Beni Zid suite aux effluents liquides des eaux usées évacués par une population plus dense, (Fig. 42),

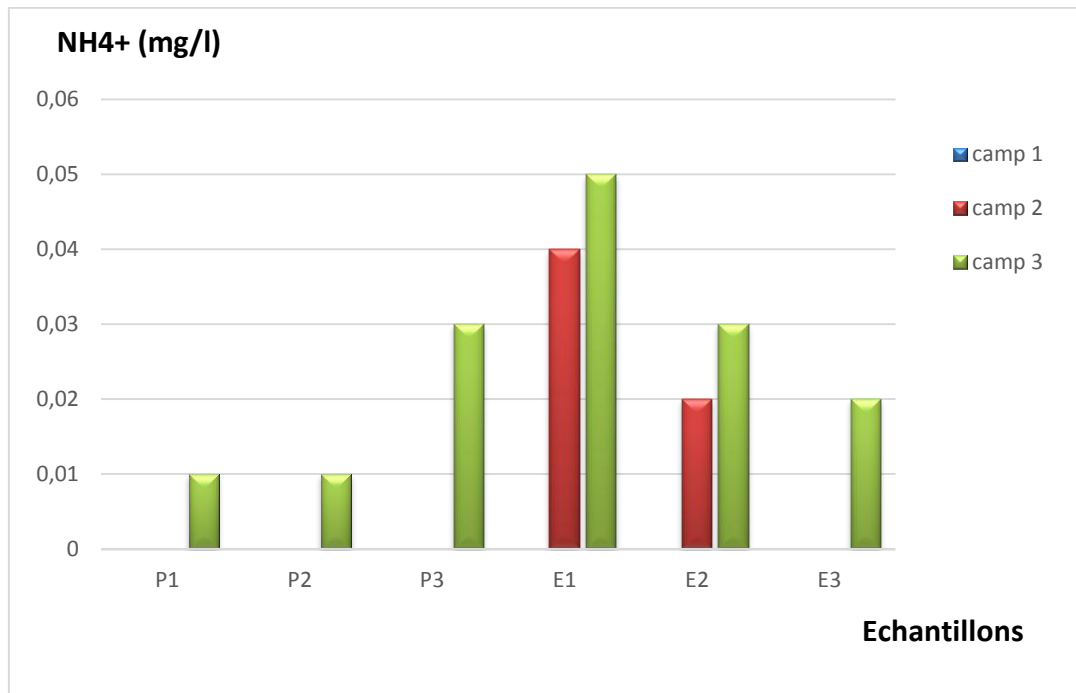


Fig. 42- Variation spatio-temporelle de l'ammonium dans les barrages de Beni Zid (P1, P2, P3) et le barrage de Guenitra (E1, E2 et E3).

2.14. Le nitrite (NO₂⁻)

Proviennent soit de l'oxydation incomplète de l'ammoniaque, soit d'une réduction de nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante. En l'absence de pollution, il n'y a pas ou très peu de nitrites dans les eaux et dans les zones où l'autoépuration est active, les teneurs se maintiennent à des niveaux très faibles (de l'ordre de 0.01 mg/l), (DjaballahAouatet Elkenz,2018).

Les eaux des barrages de Guenitra et de Beni Zid possèdent des teneurs acceptables qui ne dépassent pas la norme fixée à 1 mg/l, avec une légère concentration en cet élément dans ce dernier ce qui traduit activité bactérienne dénitrifiante. La teneur maximale est de 0.056 mg/l au point E3 de la première campagne. En plus, les eaux de la 1^{ère} campagne qui présentent les concentrations élevées par rapport a celles de la 2^{ème} et de la 3^{ème} (Fig. 43).

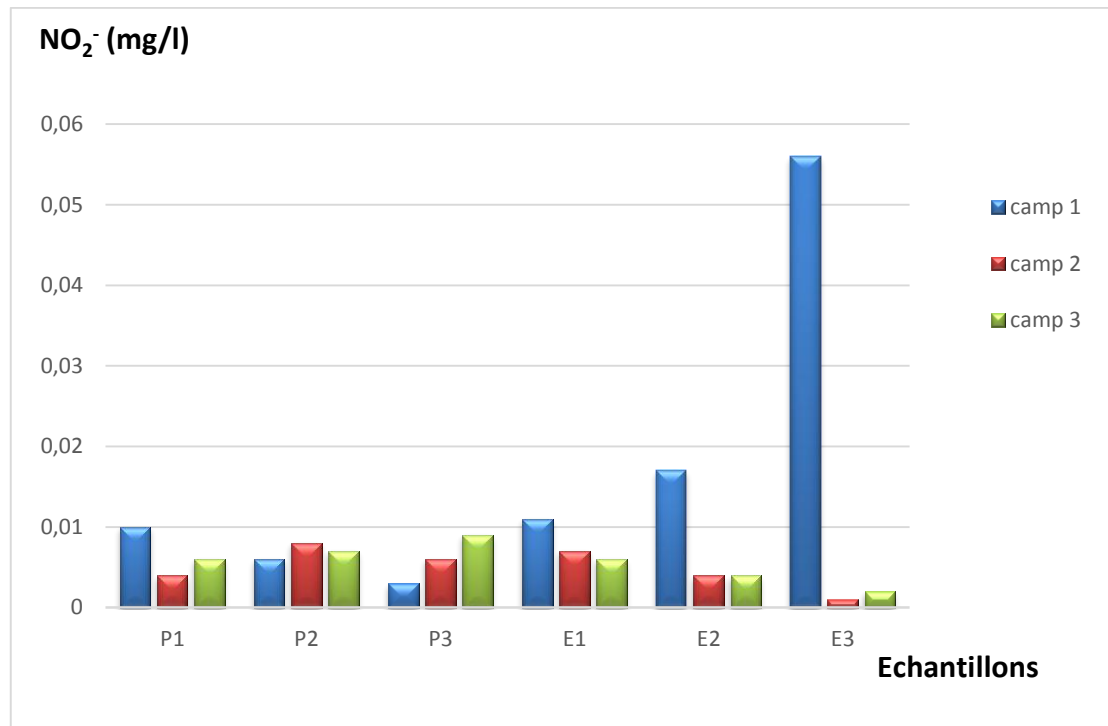


Fig. 43- Variation spatio-temporelle du nitrite dans les barrages de Beni Zid (P1, P2, P3) et le barrage de Guenitra (E1, E2 et E3).

2.15. La matière organique (MO)

La matière organique (MO) contenue dans les eaux est la partie non encore décomposée de la pollution organique (matières vivantes mortes ou déjections d'organismes vivants) provenant de rejets d'eaux usées domestiques mal épurés, d'effluents agricoles, etc.

La MO peut se rencontrer dans l'eau soit dissoute, soit sous forme particulaire visible.

Les eaux des deux barrages sont fortement concentrées en matière organique et dépassent la ligne directive, ce qui traduit la forte contamination de ces eaux par les rejets des eaux usées liquides largement évacuées surtout dans le barrage de Guenitra et le lessivage des terrains agricoles avoisinant les bordures du périmètre des deux barrages.

Le point P1 en amont du barrage de Beni Zid est le plus concentré en matière organique qui se diminue en allant vers la digue. Le point E1 de l'amont du barrage de Guenitra est le plus concentré, avec une teneur maximale de 0.73 mg/l à la 1^{ère} campagne (Fig. 44), l'effet des effluent liquides chargés des eaux usées est bien individualisé à ce niveau et la dégradation de cette matière par les bactéries semble très difficile.

Les eaux de la 1^{ère} campagne des deux barrages sont les plus concentrées à causes de la dégradation limitée par les bactéries à ce moment de la saison où la température est très basse.

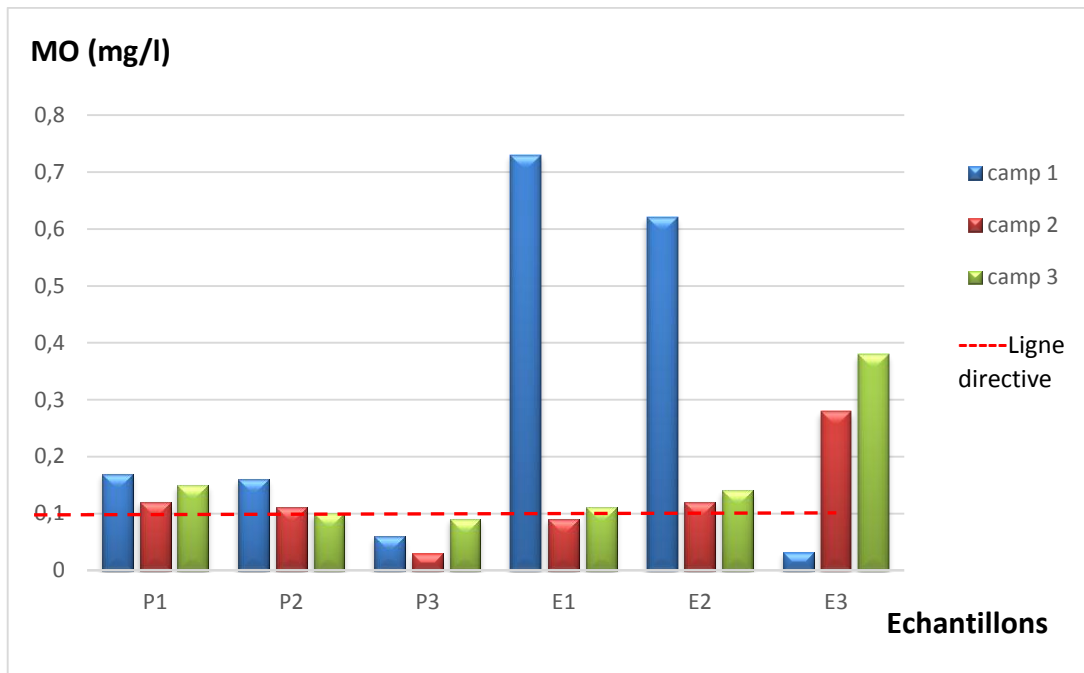


Fig. 44- Variation spatio-temporelle de la matière organique dans les barrages de Beni Zid (P1, P2, P3) et le barrage de Guenitra (E1, E2 et E3).

2.16. La demande biologique en oxygène pendant 5 jours (DBO5)

L'oxydation des composés organiques biodégradables par des micro-organismes entraîne une consommation d'oxygène, donc la mesure de cette DBO permet d'évaluer la qualité d'une eau ou son degré de pollution. La dégradation complète des matières organiques peut être relativement longue, d'autre part l'oxydation des dérivés ammoniacaux et des nitrites en nitrates absorbe également de l'oxygène.

Les valeurs de la DBO varient selon les types d'eaux (Rodier *et al.*, 2009) :

- De 0 à 10 mg/l : eau naturelle.
- De 10 à 50 mg /l : eau usée épurée.
- De 50 à 400 mg/l : eau usée domestique.
- > 400 mg/l : eau usée industrielle.

Les phénomènes d'autoépuration dans les eaux superficielles entraînent la dégradation de la charge organique polluante par les micro-organismes. L'activité de ces derniers tend à consommer de l'oxygène et c'est cette diminution de l'oxygène dans le milieu qui est mesurée par la DBO₅. En effet, à 20°C la dégradation des matières organiques commence immédiatement. Il a été conventionnellement retenu d'exprimer la DBO₅ en mg/l d'oxygène consommé pendant 5 jours à 20°C.

L'analyse de la DBO5 a été effectuée pour les trois campagnes, mais malheureusement une seule campagne qui s'agissait de la 3^{ème} où la lecture au laboratoire été bonne.

Les eaux des deux barrages sont de mauvaise qualité en ce qui concerne la forte présence en matière organique et le taux de dégradation de cette dernière par les bactéries, la norme est dépassée dans tous les point des deux barrages avec une teneur maximale de 32.5 mg/l au point P1 de Beni Zid et minimale de 31.3 mg/l pour le point E1 de Guenitra (Fig. 45).

La demande en oxygène diminue progressivement depuis l'amont vers la digue au barrage de Beni Zid et inversement elle augmente de l'amont vers la digue au barrage de Guenitra.

L'autoépuration des eaux des deux barrages est faible et limitée, ce qui détériore massivement par conséquent la qualité de ces eaux.

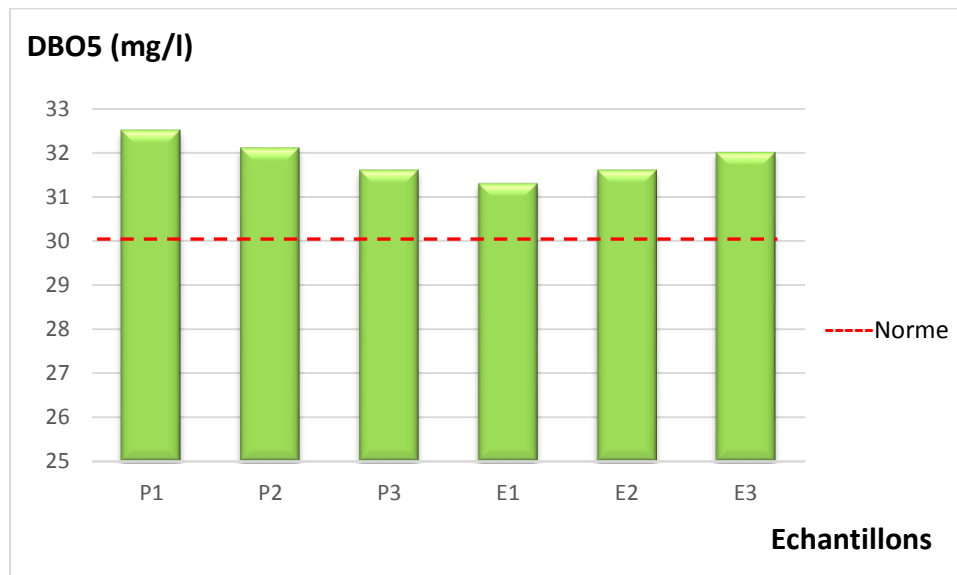


Fig. 45- Variation spatio-temporelle de la DBO5 dans les barrages de Beni Zid (P1, P2, P3) et le barrage de Guenitra (E1, E2 et E3).

2.17. Les paramètres bactériologiques

2.17.1. Coliformes Totaux

Les Coliformes totaux sont utilisés depuis très longtemps comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau parce qu'ils peuvent être indirectement associés à une pollution d'origine fécale et sont cependant très utiles comme indicateurs de l'efficacité du traitement, de l'intégrité du réseau de distribution ainsi que comme indicateurs de la décroissance bactérienne après traitement. Les coliformes totaux dans les stations sont conformes aux normes des eaux d'irrigation.

2.17.2. Coliformes Fécaux

Les Coliformes fécaux sont capables de fermenter le lactose à 44°C thermo-tolérant du genre d'Escherichia Coli. Les Coliformes fécaux sont intéressants car un très grand nombre d'entre eux vivent en abondance dans les matières fécales des animaux à sang chaud et de ce fait, constituent des indicateurs fécaux de la première importance. Les Coliformes fécaux sont les plus importants des paramètres microbiologiques pris en compte dans le contrôle de la qualité des eaux et leurs présences sont suffisantes à confirmer qu'il y a effectivement une pollution fécale. Les coliformes fécaux dans les stations son conformes aux normes des eaux d'irrigation.

2.17.3. Streptocoques Fécaux

Les Streptocoques fécaux sont des aérobies-anaérobies facultatifs faisant partie des indicateurs de contamination fécale mais plus résistants dans le milieu extérieur que les coliformes. Les streptocoques fécaux dans toutes les stations sont conformes aux normes des eaux d'irrigation.

2.17.4. E. Coli

Tableau 5 : Résultats des analyses bactériologiques des sources étudiées.

Campagnes	Barrages	Echantillons	Coliformes totaux (Npp)	Coliformes fécaux (Npp)	Streptocoques fécaux (Npp)	E.Coli
Camp. 1	Barrage Béni Zid	P 1	-	+10	-	-
		P 2	+	+15	-	-
		P 3	+	+11	-	+
	Barrage Guenitra	E 1	+	>100	-	+
		E 2	+	>100	-	+
		E 3	+	50	-	+
Camp. 2	Barrage Béni Zid	P 1	+	>100	-	+
		P 2	+	>50	-	+
		P 3	+	+20	-	-
	Barrage Guenitra	E 1	+	>100	-	+
		E 2	+	>100	-	+
		E 3	+	50	-	+
Camp. 3	Barrage Béni Zid	P 1	+	>100	-	+
		P 2	+	>100	-	+
		P 3	+	>50	-	+
	Barrage Guenitra	E 1	+	>100	-	+
		E 2	+	>100	-	+
		E 3	+	>100	-	+

CONCLUSION GÉNÉRALE

Situés dans le sous bassin versant de l'Oued Guebli, les barrages de Guenitra et de Beni Zid constituent un véritable potentiel hydrique des eaux superficielles dans la partie Ouest de la région de Skikda ; avec une capacité de stockage de 125 millions m³, le barrage Guenitra est considéré comme le plus grand barrage de la Wilaya de Skikda ; il sert à l'alimentation en eaux potables des grandes communes avoisinantes, en alimentation du complexe de la raffinerie de Sonatrach et en irrigation de vastes champs agricoles des communes comme de Sidi Mezghiche, Salah Bouchaour, El-Harrouch. Celui de Beni Zid possède une capacité moindre de 40 millions m³ destiné lui-même pour l'alimentation en eau potable des petites communes avoisinantes et l'irrigation des parcelles agricoles des paysans.

Cette vaste exploitation des eaux de ces deux barrages rend leur développement, gestion et suivi de leur qualité indispensable et primordiale pour tout développement économique et social de la Wilaya de Skikda.

Néanmoins, avec l'explosion démographique, la multiplication des facteurs de la pollution de différentes origines dans le secteur étudié et le changement climatique qui affecte le monde entier et par conséquent la quantité des eaux accumulées dans ces deux barrages, qui ne cesse de diminuer d'une année à l'autre à cause des faibles hauteurs des précipitations enregistrées ces dernières années impactent négativement la qualité physicochimique et bactériologique des eaux du barrage de Guenitra et de Beni Zid.

Dans le but de ce suivi qualitatif et comparatif spatio-temporel des eaux des barrages de Beni Zid et de Guenitra, trois campagnes de prélèvement des eaux superficielles dans les deux barrages ont été exécutées suivant trois points d'échantillonnage différents distribués sur le secteur de chaque barrage ; en amont, au centre et la digue.

Les résultats obtenus montrent que les paramètres qui possèdent des teneurs supérieures à la norme des eaux destinées à l'irrigation sont :

- Le pH : les eaux du barrage de Guenitra sont alcaline due au forte évaporation, ainsi qu'à la précipitation excessive des sels minéraux à en amont du barrage à cause de leur faible profondeur. L'effet des eaux ménagères riches en bases de sels de détergents évacuées largement surtout dans les effluents qui alimentent ce barrage est bien marqué et influent sur l'augmentation de l'alcalinité des ses eaux,

- La turbidité : les deux barrages possèdent une forte turbidité, à cause de la haute pluviométrie enregistrée durant le prélèvement des échantillons et donc un transport solide important.
- La dureté : les eaux des barrages de Beni Zid et de Guenitra sont dures, à cause du lessivage des terrains géologiques carbonatés (calcaires, dolomies et marnes) largement répandus surtout dans le sous bassin versant de l'Oued Guenitra qui draine tous les effluents de cette région.
- La matière organique : l'effet des effluents liquides chargés des eaux usées qui alimentent le barrage de Guenitra est bien individualisé à ce niveau et la dégradation de cette matière par les bactéries semble très difficile. Ainsi, que la petite superficie du barrage de Beni Zid rend l'accumulation de la matière organique plus importante due au lessivage des terrains agricoles et à un degré moindres des eaux usées.
- La DBO5 : Les eaux des deux barrages sont de mauvaise qualité et dépassent la norme, une forte présence en matière organique et un taux insuffisant de dégradation de cette dernière par les bactéries. L'autoépuration des eaux des deux barrages est faible et limitée, ce qui détériore massivement par conséquent la qualité de ces eaux.
- Du point de vue qualité bactériologiques, les eaux de barrage ont une qualité pour des fins d'irrigation médiocres à mauvaise, en raison de la présence de germes indésirables ou pathogènes, tels que les coliformes totaux, fécaux et *E. Coli* avec un nombre significatif.

Comparisons les eaux des barrages de Beni Zid et de Guenitra, nous pouvant conclure que :

- Les eaux de Beni Zid sont plus alcalines que celles de Guenitra.
- Les eaux du barrage de Guenitra sont plus conductrices que celles du barrage de Beni Zid, à cause de lessive des formations de roches sédimentaires minéralisées et les fortes évacuations des rejets liquides ménagères et municipales, ainsi qu'à la forte évaporation à cet endroit.
- Les eaux du barrage de Beni Zid sont légèrement chaudes que celles du barrage de Guenitra à cause de la faible profondeur et la petite surface du barrage de Beni Zid.
- Les eaux du barrage de Beni Zid sont plus turbides à cause de la précipitation relativement supérieures à cet endroit.

- Les eaux du barrage de Guenitra sont plus dures et calciques, à cause de la présence de formations géologiques carbonatées (calcaires, dolomie et marne) dans le sous bassin versant drainé par ce barrage.
- Les eaux du barrage de Guenitra sont plus bicarbonatées par conséquent du même motif précédent.
- Les eaux du barrage de Beni Zid sont chlorurées par rapport de celles du barrage de Guenitra à cause de sa faible lame d'eau stockée.
- Les eaux du barrage de Beni Zid sont plus phosphatées à cause de leur petite superficie par rapport de celui de Guenitra et donc la concentration de l'eutrophisation.
- Les eaux du barrage de Beni Zid sont plus sulfatées à cause de l'activité agricole bien individualisée aux alentours de ce barrage.
- Les eaux du barrage de Beni Zid sont plus riches en fer total, due au lessivage des oxydes métallifères du sous bassin versant de Beni Zid.
- Les eaux du barrage de Guenitra sont plus ammoniacuées, suite aux effluents liquides des eaux usées évacués par une population plus dense dans la région.
- Les eaux du barrage de Beni Zid sont plus riches en nitrites, ce qui traduit activité bactérienne dénitrifiante à ce barrage.
- Les eaux du barrage de Guenitra sont plus concentrée en matière organique, ce qui traduit la forte contamination des ces eaux par les rejets des eaux usées liquides largement évacuées.
- Les eaux du barrage de Guenitra et de Beni Zid possèdent presque les mêmes concentrations en germes pathogènes responsables a la dégradation de la qualité bactériologiques de ces eaux.

Une bonne interprétation de la qualité des eaux des barrage de Guenitra et de Beni Zid nécessite un suivis permanent avec dosage de plusieurs paramètres physicochimiques et bactériologiques des eaux de cet ouvrage d'une façon régulière, ainsi que l'activation des processus de préservation et de précaution de cette grande réserve en eau par la mise en marche de la station d'épuration de la commune d'Oum Toub existante depuis quelques années, mais qui reste encore hors service et la planification pour l'installation d'autres station locales à Beni Zid.

Références Bibliographiques

- Abbadie L. (2017). L'eau à découvert. CNRS Editions, Paris.
- Abbassene F. (2016). Contraintes chronologiques et pétro-géochimiques du magmatisme sur l'évolution pré-et post-collisionnelle de la marge algérienne : secteur de la Petite Kabylie. Thèse de Doctorat, Université De Bretagne Occidentale, 361p.
- Alpha Sidiki M. (2005). Qualité organoleptique de l'eau de consommation produit et distribuée par l'EDM.sa dans la ville de Bamako : évaluation saisonnier. Thèse de doctorat : université de Bamako ,77p.
- ANRH. (2000). Cahier de l'Agence Nationale De Ressource hydrique, n04, septamper 2000,75p.
- Benrabah S. (2006). Etat Actuel Des Ressources En Eau Dans La Wilaya De Skikda (Essaide Synthèse). mémoire de magister. Universite Badji Mokhtar-Annaba, 150p.
- Boudjadja A, Messahel M et Pauc H. (2003). Ressources hydriques en Algérie du nord.
- Bouillin J. P. et Kornprobst J. (1974). Associations ultrabasiques de petite Kabylie: Péridotites de type alpin et complexe stratifié; comparaison avec les zones internes bético-rifaines. Bull. Soc. Géol. Fr. 7ème série, XVI, 101-237.
- Boukharbata M, Bourghaida CH et Rehail R. (2019). Suivi qualitatif des paramètres bactériologiques et physicochimiques des eaux de quelques sources dans la partie ouest de la wilaya de Skikda. Mémoire de master. Université 20 aout 1955 de Skikda.
- Boukhrissa M.L. (2015). Collecte des rejets et système d'épuration des eaux usées de la commune d'Oum Toub willaya de Skikda. Mémoire du master, Univ. Bejaia, 91p.
- Bouziane M. (2000). L'eau de la pénurie aux maladies. Editions Ibn-Khaldoun, Alger p 247.
- Chekroud, H. (2007). Etude de la pollution des eaux de la plaine de Telezza due aux activités agricoles et commerciales. Mémoire de Magister : Université du 20 Août 1955- Skikda, 48 p.
- Direction Du Développement Agricole Dans Les Zones Arides Et Semi-arides. (2013). Conseils pratiques pour l'investissement en irrigation. Conception d'un project d'irrigation. S/DTI – DDAZASA (MADR), 17p.
- DjaballahAouat A., Elkenz S. (2018). Etude de l'évolution spatiale et temporelle de la qualité physico-chimique des eaux du barrage Guenitra, Oum-Toub. Mémoire de Master, université de Skikda.

- Fourcade E., Azéma J., Cecca F., Bonneau M., Peybernes B., Dercourt J. (1991). Essai de reconstitution cartographique de la paléogéographie et des paléo environnements de la Téthys au Tithonique supérieur (138 à 135 Ma), Bull. Soc. Geol. Fr., 1197-1208.
- Hadeif S et Hariz F. (2017). La qualité des eaux superficielles du sous bassin versant de Guenitra (wilaya de Skikda M-e algérien).mémoire de master. Université de Jijel 60p.
- Hadeif S., Hizir F. (2018). La qualité des eaux superficielles du sous bassin versant de Guenitra, Wilayade Skikda, N-E Algérien. Mémoire de Master, Université de Jijel.
- Harrat N. (2007). Qualité des eaux de surface de l'Est Algérien et leur réactivité vis-à-vis du chlore. Mémoire de Magistère, Université d'Annaba.
- Journal Officiel De La République Algérienne N° 41, 15 juillet 2012, 4p.
- Khelfaoui H. (2014). Modélisation des écoulements et de transport de masse dans une région industrielle : Exemple de la nappe de Berrahal, Nord-est Algérien. Thèse de doctorat, Université d'Annaba.
- Lambert R. (1996). Géographie du cycle de l'eau. Presses Universitaires du Murail. Toulouse, France.
- Maynard, D. N. and Hochmuth G.J. (1997). Knott's handbook for vegetable growers, fourth edition. Wiley, New York, NY.
- Ouabadi A. (1994). Pétrologie, géochimie et origine des granitoïdes peralumineux à cordiérite (Cap Bougaroun, Beni-Toufout et Filfila), Algérie Nord Orientale, Thèse de Doctorat, Univ. Rennes I, 257 pp.
- Rodier J, Legube B, Merlet N. et coll., (2009). L'analyse de l'eau, 9^{ème} édition, Dunod, Paris, 1579p.
- SEQ-EAU (Système d'Evaluation de la Qualité de l'Eau des Cours d'Eau). Grilles d'évaluation version 2, 21 mars 2003. Ministère de l'agriculture du Canada, 40p.
- Site internet : <https://www.lenntech.fr>, consulter le 05/05/2022.
- Thornthwaite, C.W. and Mather, J.R., (1955). The water balance. Pub. Climatol. Lab. Climatol. Drexel Inst. Technol. 8, 1-104pp.
- Thornthwaite, C.W., (1948). An approach towards a rational classification of climate. GeographicalReview 38, 55-94.
- Turc L., (1954). Le bilan d'eau des sols : relations entre précipitations, l'évapotranspiration et l'écoulement. Ann. Agron. 5, 491-596.

- United Nations Environment Program (UNEP). (2005). Lignes directrices pour l'utilisation des eaux usées municipales dans la région méditerranéenne. UNEP(DEC)/MED WG.264/9. 73p.