

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université 20 Aout 1955 Skikda

Faculté des sciences

Département des sciences Agronomiques



Filière : Sciences Agronomiques

Mémoire de fin d'études :

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Aménagement
Hydro-agricole

Thème :

**Étude de l'évolution des paramètres de la qualité des eaux
en irrigation du barrage de Guenitra (Oum Toub)**

Présenté par :

- BOUBETTA Kawther
- BOUGHAZI Nesrine
- BOULOUDNINE Souad
- BOUSSAIDA Nadjat

Membre de Jury:

M ^{me} MELLAL Nour El-Houda	(MAA)	Présidente	Université du 20 Août 1955 – Skikda
M ^{me} BOUCENNA Nawal	(MAA)	Examinatrice	Université du 20 Août 1955 – Skikda
M. KHELFAOUI Hakim	(MCA)	Promoteur	Université du 20 Août 1955 – Skikda

Année universitaire : 2022-2023

Résumé

Il est très utile d'exploiter toutes les ressources hydriques d'une façon rationnelle pour lutter contre la sécheresse qui se développe en Algérie d'une année à l'autre, le barrage de Guenitra situé dans la commune d'Oum Toub vers l'Ouest du chef-lieu de la wilaya de Skikda est considéré comme le plus grand parmi les quatre barrages en exploitation de région, il sert à l'alimentation en eau potables de plusieurs communes de populations importantes ainsi que sa vaste alimentation en eau de l'utilisation industrielle et l'irrigation agricole. Suite à son vaste et multitudes usages, le suivi de la qualité de ses eaux semble indispensable pour les préserver contre toute éventuelle pollution. Dans ce chemin, la présente étude concerne à enquêter sur les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques pour déterminer le développement de la qualité des eaux superficielles brutes du barrage de Guenitra. Les prélèvements d'échantillons effectués dans les trois points ; à l'entrée, au centre et à la digue de ce barrage effectués pour les différentes campagnes durant les mois de mars, avril et mai 2023, ont montrés que les eaux du barrage ont une acceptable et bonne teneur en pH, Température, Conductivité Electrique, Cl⁻, Ca²⁺, TAC, TA, PO₄³⁻, NH₄⁺, NO₂⁻, SO₄⁻², DBO₅, Na⁺, K⁺ et germes pathogènes, alors qu'elles sont vulnérables à la pollution en d'autres comme le Turbidité, Mg²⁺, THt et Matière Organique. La détermination de la qualité des eaux du barrage de Guenitra pour l'utilisation en irrigation basée sur la teneur en sels alcalins, alcalino-terreux et la conductivité montre qu'elles ont un bon Rapport D'adsorption du Sodium (SAR) et Pourcentage de sodium, elles sont bonnes à excellentes eau d'irrigation selon les diagrammes de Richard et de Wilcox.

Mots clés : Barrage Guenitra, Irrigation, Qualité, Norme, Eau, Teneur.

Abstract

It is very useful to exploit all the water resources in a rational way to fight against the drought which develops in Algeria from one year to another, the Guenitra dam located in the commune of Oum Toub towards the West of the capital of the wilaya of Skikda is considered the largest among the four dams in operation in the region, it is used to supply drinking water to several municipalities with large populations as well as its vast water supply to the industrial use and agricultural irrigation. Following its vast and multitude of uses, monitoring the quality of its waters seems essential to preserve them against any possible pollution. In this way, the present study concerns to investigate the physicochemical and bacteriological characteristics to determine the development of the quality of the raw surface waters of the Guenitra dam. Samples taken from the three points; at the entrance, in the center and at the embankment of this dam carried out for the various campaigns during the months of March, April and May 2023, showed that the waters of the dam have an acceptable and good content of pH, Temperature, Electrical Conductivity, Cl⁻, Ca²⁺, TAC, TA, PO₄³⁻, NH₄⁺, NO₂⁻, SO₄²⁻, DBO₅, Na⁺, K⁺ and pathogenic germs, while they are vulnerable to pollution in others such as Turbidity, Mg²⁺, THt and Organic Matter. The determination of the quality of the waters of the Guenitra dam for use in irrigation based on the content of alkaline, alkaline-earth salts and the conductivity shows that they have a good Sodium Adsorption Ratio (SAR) and Percentage of sodium, they are good to excellent irrigation water according to the diagrams of Richard and Wilcox.

Keywords: Guenitra Dam, Irrigation, Quality, Standard, Water, Content.

ملخص

من المفيد جدا استغلال كل الموارد المائية بطريقة عقلانية لمحاربة الجفاف الذي يتطور في الجزائر من سنة إلى أخرى ، سد القنيطرة الواقع ببلدية أم الطوب باتجاه غرب عاصمة ولاية سكيكدة. يعتبر الأكبر من بين السدود الأربعة العاملة في المنطقة ، ويستخدم لتزويد العديد من البلديات ذات الكثافة السكانية العالية بمياه الشرب بالإضافة إلى إمداداته الهائلة للمياه ذات الاستخدام الصناعي والري الزراعي. بسبب هذه الاستخدامات الواسعة والمتعددة، يتبين أن مراقبة جودة المياه أمر ضروري للحفاظ عليها من أي تلوث محتمل. على هذا المنوال ، تهتم الدراسة الحالية بالتحقيق في الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية لتحديد تطور جودة المياه السطحية الخام لسد القنيطرة. العينات المأخوذة من النقاط الثلاث ؛ عند المدخل وفي الوسط و في مخرج هذا السد خلال الحملات الثلاث المختلفة خلال شهر مارس وأبريل ومايو 2023 ، أظهرت أن مياه السد لها محتوى مقبول وجيد في الأس الهيدروجيني ودرجة الحرارة والكهرباء. الموصلية ، Cl^- , Ca^{2+} , TAC, TA, PO_4^{3-} , NH_4^+ ، NO_2^- , SO_4^{2-} , DBO_5 , Na^+ , K^+ ، بينما هي عرضة للتلوث في العناصر الأخرى مثل العكارة ، THt , Mg^{2+} والمواد العضوية. إن تحديد جودة مياه سد القنيطرة لاستخدامها في الري بناءً على محتوى الأملاح القلوية والقلوية الترايية والتوصيل أظهر على أن لديها نسبة امتصاص صوديوم جيدة (SAR) ونسبة صوديوم جيدة، كما أنها مصنفة في خانة جيدة الى ممتازة للري وفقاً لمخططات ريتشارد وويلكوكس.

الكلمات المفتاحية: سد القنيطرة ، الري ، الجودة ، المعيار ، المياه ، المحتوى.

REMERCIEMENTS

En premier lieu, nous tenons tout d'abord à remercier Allah pour nous avoir donné la force et le courage pour pouvoir réaliser ce travail.

Nous tenons à adresser nos plus sincères et vifs remerciements, notre respect et notre reconnaissance à notre encadreur le Docteur **KHELFAOUI Hakim**, qui a accepté de diriger ce travail grâce à ses idées, ses corrections, son soutien, ses conseils et ses critiques tout au long de la réalisation de ce travail.

Nos s'sincères remerciements aux membres de jury d'avoir accepté d'examiner et évaluer au bien notre travail Mme. **MELLAL Nour El-Houda** président de jury et Mme. **BOUCENNA Nawal** notre examinatrice.

Nous tenons également à exprimer notre remerciement au personnel du laboratoire de l'Algérienne Des Eaux de Skikda (ADE) surtout madame Fatima.

Grand remerciement à Madame Saliha du Laboratoire de la Direction de l'Environnement pour son soutien et ses conseils.

Nos vifs remerciements à Monsieur Mohamed de département du Chimie pour son aide.

Nous tenons également à exprimer notre remerciement à tous nos enseignants du Département des Sciences Agronomiques de Skikda.

Et enfin, nous exprimons notre gratitude à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à faire ce travail.



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 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 très cher *mère* qui n'a jamais cessé de prier pour moi.

**mes chers parents qui ont été toujours à mes côtés et m'ont
toujours soutenu tout au long de ces longues années d'études.**

**En signe de reconnaissance, qu'ils trouvent ici, l'expression de
ma profonde gratitude pour tout ce qu'ils ont consenti d'efforts et
de moyens pour me voir réussir dans mes études.**

A mes frères

A toute ma famille

A mon binôme

Et A toutes mes amies,

**Et à tous Ceux qui aiment le bon travail et ne reculent par devant
les obstacles de la vie**

Nesrine





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 :

*À toi, mon coeur, mon cher BaBa «Amer»

«Ils ne rest plus rien aux autres pour m'apporter, mon père m'a tout donné dans la vie».À la personne qui m'a toujours soutenue dans la vie, ma source de sécurité, sans qui je ne serai jamais arrivée aujourd'hui, Ce travail te fait honneur et est le fruit d'énormes sacrifices consentis .Tu nous a toujours soutenus même dans les moments de découragements .

Tes paroles parfois dures mais réconfortantes nous ont toujours donné du courage pour tout reprendre, Que le Dieu Tout Puissant te donne longue vie.

* À toi ,ma source de bonheur Maman «Soraya»

Mon amie ,mon héroïne, ma première enseignante, celle qui m'a appris la tendresse et le partage dans la vie ,qui m'a appris la patience, la force et l'amour, toi que avec tes douaaas et ta bénédicatine tu m'as toujours illuminée le chemin pour y arriver, que dieu te garde à nos cotès pour toujours.

La lumière de mes yeux

* mes soeurs «Noussa» et mon petit «Israa» pour son encouragement jusqu'à la dernière minite.

* mes frères *«Haroune» et «Abd el rrahmane» qui étaient toujours près de moi tout le tempe.

* À mes chères trinomes « Nesrine» «Kawther» et «Nadjat» pour leurs gentillaise tout au long ce chemin.

*À tout la famille et tout qui me aide de près ou de loin pour ariver jusque la je vous aime.

Souad





Dédicace

Je dédie ce mémoire:

Tout d'abord, je remercie Allah ce m'a donnée la force et le succès et m'a aidé à terminer ce travail Alhamde lilah.

* A ma très chère mère FATIMA

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

* A mon très cher père AHCENE

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

* A tous les membres de ma famille, mes frères et sœurs, pour leur soutien et leurs conseils qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

* A mon fiancé Mouad qui a toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager.

* A mon binôme Nesrine, Souad, Kawter est tous mes amis : Kawter, Douaa, Chaima,...

A mes Collègues du master Aménagement hydro-agricole.

Nadjat





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 mon Mon père, à qui je dois tout , et qui m'a donné le courage et la foi pour accomplir ce travail .

A celle qui attendue avec patience les fruits de sa bonne éducation, qui m'a tout donné ,qui a toujours été là pour moi, a celle qui tient le paradis sous ses pieds Ma mère.

. Je dédie également à tous ceux qui m'aiment et spécialement à mes adorables A ma très chère sœur : Ikhlas et mon très chère frères Islam et yehya et Imad et Abd el- mouhaimen.

A mon fiancé : Sofiane .pour votre soutien et vos encouragements.

A ma chère amie Elham et Fathia .

A mon grand père et ma grand mère.

A mes chères tantes. et mon oncle Nasser et Amer.

AUX amis et partenaires dans ce travail, Nesrine , Souad et Nadjat .

Je dédie ce travail dont le grand plaisir leurs revient en premier lieu pour leurs conseils, aides, et encouragements.

A toute ma famille, mes amies ainsi que
toutes les personnes qui m'ont aidées
et soutenue.

Kawther



LISTE DES FIGURES

Figure	Page
Fig. 1- Situation géographique de barrage de Guenitra	4
Fig. 2- Le réseau hydrographique du sous bassin versant d'Oued Guebli (Mecibah, 2017)...	6
Fig. 3 – Les petits sous bassins du sous bassins versant de l'Oued Guebli	7
Fig. 4- Carte schématique d'extension des nappes dans la région de skikda (A.N.R.H., 2000).....	10
Fig. 5- Carte géologique et structurale du massif de la petite Kabylie (modifié d'après Domzig & all, 2006).....	12
Fig. 6 - Inventaire des points de prélèvement des eaux du barrage du Guenitra.....	19
Fig. 7- pH-mètre, conductimètre, thermomètre.....	21
Fig. 8-Turbidimètre.....	22
Fig.9- Dosage de THt.....	23
Fig.-10. Dosage du TAC.....	24
Fig.11- Dosage de Ca^{2+}	24
Fig.12- Dosage de chlorure.....	25
Fig.13- Spectrophotomètre DR 3900.....	26
Fig. 14- Spectrophotomètre.....	26
Fig. 15- Acide Ascorbique-Réactif de mélange.....	26
Fig. 16- Réactif colorée-Dichlorocyanurate.....	27
Fig. 17- Solution stabilisante-chlorure de baryum.....	28
Fig. 18- Dosage de la matière organique.....	28
Fig. 19- photomètre à Flamme.....	29
Fig. 20-Flacon du dosage de la DBO_5	31
Fig. 21- Réfrigérateur pour la DBO_5	31
Fig.22-Test de confirmation.....	32
Fig. 23- Milieu de culture des bactéries.....	32
Fig. 24- Incubateur.....	33
Fig. 25- Variation spatiotemporelle de la température.....	35
Fig. 26- Variation spatio-temporelle de pH	36
Fig. 27- Variation spatio-temporelle de la turbidité.....	37
Fig. 28- Variation spatio-temporelle de la conductivité électrique.....	37
Fig. 29- Variation spatio-temporelle de TAC	38
Fig. 30- Variation spatio-temporelle de Ca^{2+}	39
Fig. 31- Variations spatio-temporelle du Mg^{2+}	40
Fig. 32-Variation spatio-temporelle de THt.....	41
Fig. 33-Variation spatio-temporelle de chlorure.....	41
Fig.34 -Variation spatio-temporelle de l'ammonium.....	42
Fig. 35-Variation spatio-temporelle de la matière organique.....	43
Fig. 35-Variation spatio-temporelle de la matière organique.....	43
Fig. 36- Variations spatio-temporelle du sulfate.....	44
Fig.37 - Variations spatio-temporelle du Phosphate.....	45
Fig.38 - Variations spatio-temporelle du sodium.....	45
Fig. 39 - Variations spatio-temporelle du potassium.....	46
Fig.40 - Variations spatio-temporelle de la DBO_5	46
Fig. 41- Faciès chimiques des eaux de la 1 ^{ère} campagne d'après le diagramme de Piper...	49
Fig. 42- Faciès chimiques des eaux de la 2 ^{ème} campagne d'après le diagramme de Piper...	49
Fig. 43- Faciès chimiques des eaux de la 3 ^{ème} campagne d'après le diagramme de Piper...	50

Fig. 44- Faciès chimiques des eaux de la 1 ^{ère} campagne d'après le diagramme de Schoeller-Berkaloff	51
Fig. 45- Faciès chimiques des eaux de la 2 ^{ème} campagne d'après le diagramme de Schoeller-Berkaloff	51
Fig. 46- Faciès chimiques des eaux de la 3 ^{ème} campagne d'après le diagramme de Schoeller-Berkaloff	52
Fig. 47- Classification des eaux d'irrigation par la méthode de Richards (Riverside).....	56
Fig. 48- Classification des eaux d'irrigation par la méthode de Wilcox.....	57

Liste des tableaux

Tableau	Page
Tableau 1- Propriétés techniques de barrage de Guenitra	5
Tableau 2- Caractéristique Morphométriques du bassin versant d'Oued Guebli	8
Tableau 3- Répartition générale des terres dans le Bassin versant de Guebli	8
Tableau 4- Matériel et appareillage utilisé pour les analyses	20
Tableau 5- Procédures de dosage des paramètres bactériologiques	31
Tableau 6- Normes et lignes directives des eaux destinées à l'irrigation	34
Tableau 7- Les résultats d'E-Coli du barrage de Guenitra	47
Tableau 8- Les résultats de coliforme totaux, fécaux et streptocoque fécaux	47
Tableau 9- Le risque du SAR dans l'eau d'irrigation	53
Tableau 10- Résultats du SAR des eaux du barrage de Guenitra pour la 3 ^{ème} campagne	53
Tableau 11- Résultats du %Na des eaux du barrage de Guenitra pour la 3 ^{ème} campagne	54
Tableau 12- Résultats du %Na des eaux du barrage de Guenitra pour la 3 ^{ème} campagne	55
Tableau 13- Classification de Wilcox	55

Liste des Abréviations

<u>Abréviation</u>	<u>Synonyme</u>
ADE	Agerienne Des Eaux
ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
BCPL	Bouillon lactose au pourpre de bromocrésol
S.B.V	Sous Bassin versant
CE	Conductivité électrique
°C	Degrés Celsius
DBO5	Demande biologique en oxygène
Dj	Djebel
EDTA	diamine tétra-acétique
E. Coli	Escherichia coli
Npp	Nombre plus probable
mS/m	Mili siemens par centimètre
µS/cm	Micro siemens par centimètre
V	Volume
Min	Minute
H	Heure
E	Est
N	Nord
NTU	Unité de Turbidité Néphélométrie
T	Température
pH	Potentiel d'hydrogène
THt	Titre hydrotimétrique total
TA	Titre alcalimétrique simple
TAC	Titre alcalimétrique complet

OD	Oxygène dissous
Camp.	Campagne
MES	Les matières en suspension
UFC	Unité formant colonie
RS	Résidu sec
OMK	L'oligo-Miocène Kabyle
méq/l	Milliéquivalent par litre

Résumé	
Abstract	
الملخص	
Remerciements	
Dédicace	
Liste des figures.....	
Liste des tableaux.....	
Liste des abréviations.....	

SOMMAIRE

Introduction générale	01
------------------------------	-----------

Chapitre 01 : Synthèse bibliographique et présentation de la zone d'étude

1. Situation géographique.....	04
1.2.La commune d'Oum Toub.....	04
2.Fiche technique de barrage de Guenitra.....	05
3.Caractéristiques hydrologiques et morpho-métriques du sous bassin versant d'Oued Guebli.....	06
4.Aspect socio-économique et occupation du sol.....	08
5.Aperçu hydrogéologique.....	09
6.Géologie locale et régionale.....	09
6.1.Le socle kabyle.....	11
6.2. La dorsale kabyle.....	11
6.3.Le domaine des flyschs.....	11
6.4. L'Oligo-Miocène Kabyle (OMK).....	11
7. Les différentes sources de la pollution des eaux.....	12
7.1. Pollution urbaine (domestique)	12
7.2. Pollution agricole	13
7.3. pollution industrielle	13
8. Les paramètres de la qualité des eaux	13
8.1. Qualité physique.....	13
8.1.1. Potentiel d'hydrogène (pH).....	13
8.1.2. La conductivité électrique (CE).....	13
8.1.3. Turbidité.....	13
8.1.4. La salinité.....	14
8.1.5. L'oxygène dissous (OD).....	14
8.1.6. Matière organique (MO).....	14
8.1.7. Matière en suspension (MES).....	14
8.1.8. Résidu sec (RS).....	14
8.2. Qualité chimique.....	15
8.2.1. Chlorures (Cl ⁻).....	15
8.2.2. Dureté ou titre hydrométrique(TH).....	15
8.2.3. Titre alcalimétrique (TA) ou titre alcalimétrique complet (TAC).....	15

8.2.4. Calcium (Ca^{2+}) et Magnésium (Mg^{2+}).....	15
8.2.5. Nitrates et Nitrites (NO_3^- et NO_2^-).....	15
8.2.6. Sulfates (SO_4^{2-}).....	16
8.2.7. Les phosphates (PO_4^{3-}).....	16
8.2.8. L'ammonium (NH_4^+).....	16
8.2.9. Sodium (Na^+).....	16
8.2.10. Potassium (K^+).....	17
8.2.11. Demande biochimique en oxygène (DBO_5).....	17
8.3. Qualité bactériologique.....	17
8.3.1. Les Coliformes totaux.....	17
8.3.2. Les Coliformes fécaux.....	18
8.3.3. Les Streptocoques fécaux.....	18

PARIE : PRATIQUE

CHAPITRE 01 : MATERIELS ET METHODE

1. Méthodologie générale.....	19
1.1. Echantillonnage.....	19
1.2. Méthode d'analyses.....	20
2.1. Analyse physicochimique.....	20
2.1.1. Couleur.....	20
1.2.2. Odeur.....	20
1.2.3. La saveur.....	21
2.1.4. Le pH.....	21
2.1.5. La Conductivité électrique.....	22
2.1.6. Turbidité.....	22
2.1.7. La dureté totale (THt).....	23
2.1.8. Détermination du titre alcalimétrique (TA) et du titre alcalimétrique complet (TAC).....	23
2.1.9. Le Calcium (Ca^{2+}).....	24
2.1.10. Les chlorures (Cl^-).....	25
2.1.11. Détermination des Nitrites (NO_2^-).....	25
2.1.12. Détermination du phosphate (PO_4^{3-}).....	26
2.1.13. Détermination de l'ammonium (NH_4^+).....	27
2.1.14. Détermination des sulfates (SO_4^{2-}).....	27
2.1.15. Détermination des Matières Organiques (MO).....	28
2.1.16. Détermination de Magnésium.....	29
2.1.17. Le sodium (Na^+).....	29
2.1.17. Le potassium (K^+).....	30
2.1.18. Dosage de la demande biologique d'oxygène (DBO_5).....	30
2.2. Les analyses bactériologiques.....	31

CHAPITRE 02 : RESULTAT ET DISCUSSION

1.Présentation des résultats.....	34
2. Interprétation des analyses physico-chimiques.....	35
2.1. La température.....	35
2.2. PH.....	35
2.3. La turbidité.....	36
2.4. La conductivité électrique (CE).....	37
2.5. Le titre alcalimétrique complet (TAC).....	38
2.6.Le calcium.....	38
2.7.Le magnésium.....	39
2.8.La Titre hydrotimétrique total (THt).....	40
2.9.Chlorure (Cl ⁻).....	41
2.10.Ammonium (NH ₄ ⁺).....	42
2.11.Le nitrite (NO ₂ ⁻).....	42
2.12.Matières organique.....	43
2.13.Le Sulfate (SO ₄ ⁻²).....	44
2.14.Le phosphate (PO ₄ ³⁻).....	44
2.15.Le sodium (Na ⁺).....	45
2.16.Le potassium (K ⁺).....	46
2.17.La demande biologique en oxygène (DBO ₅).....	46
3.Interprétation des analyses physico-chimiques et bactériologiques.....	47
3.1.E-Coli.....	47
3.2.Coliformes Totaux et Fécaux et Streptocoque fécaux.....	47
4.Faciès chimiques.....	48
5. Qualité des eaux du barrage de Guenitra pour l'utilisation en irrigation.....	52
5.1. Les facteurs déterminant l'usage agricole de l'eau.....	53
5.1.1. Le Rapport D'adsorption du Sodium (SAR).....	53
5.1.2. Pourcentage de sodium (%Na).....	54
5.2. Aptitude des eaux à l'irrigation.....	54
5.2.1. La méthode de Richards (Riverside).....	54
5.2.2. La méthode de Wilcox.....	56
Conclusion Générale	58
Références Bibliographiques	61

INTRODUCTION

L'eau a toujours joué un rôle important dans l'histoire de l'humanité. C'est la source de la vie, tout le monde sait qu'elle est essentielle pour tous les formes de vie. (Guergueb et Ferhat, 2021). L'eau est un aliment, peut-être un médicament, une matière première industrielle et agricole, un moyen de transport par conséquent, ses usages sont multiples (Osuolal et Okoh, 2017). Rappelons que l'essentiel des ressources planétaires est représenté par les eaux océaniques (97%) qui constituent, certes un réservoir biologique essentiel à l'alimentation humaine, mais qui sont très difficilement utilisables par ailleurs. L'eau de mer est aussi après évaporation, à l'origine des ressources hydriques continentales souterraines et superficielles (Festy et all, 2003). L'Algérie est l'une des pays les plus déficitaires en eau, de part ; son appartenance à la zone géographique du "Middle-Est and North Africa (MENA) et la quasi-totalité de son territoire (87%) classé en zone désertique, la moyenne pluviométrique annuelle varie de 1600 mm dans l'extrême nord-est à 12 mm à l'extrême sud-ouest. Néanmoins, la pluviométrie moyenne du territoire, toutes zones confondues n'est que de l'ordre de 89 mm. De ce fait, l'Algérie est classée parmi les 13 pays africains qui souffrent le plus du manque d'eau. Dès 1996, l'Algérie a engagé une nouvelle politique de l'eau, à savoir la « gestion intégrée des ressources en eau » pour garantir leur valorisation et durabilité (Kherbache, 2020).

Cette nouvelle politique est fondée sur un ensemble de réformes institutionnelles et de nouveaux instruments qui sont les agences de bassin et les comités de bassin. Le territoire Algérien a été subdivisé en 5 grands bassins versants créant dans chacun d'entre eux des organismes de bassin : Agences de Bassin Hydrographique et Comités de Bassin Hydrographique (Souleyman et all., 2020). L'Algérie compte aujourd'hui 65 barrages en exploitation (d'une capacité de stockage de 7,4 milliards de m³), 14 en cours de réalisation pour une capacité global à terme de 8,4 milliards de m³. À cela s'ajoute 163 petits barrages et 400 retenues collinaires destinés à des fins agricoles. Plusieurs projets de transferts de barrage tel que système Mostaganem – Arzew –

Oran (M.A.O), Système Beni Haroun, Système In SALAH – Tamanrasset, Aménagement des hautes plaines Sétifiennes, Ces grands projets servent à atteindre un objectif de mobilisation des ressources en eau d'environ 09 milliards de m³ à l'horizon 2025 (Djaffer et all, 2018).

La région de Skikda a toujours connu des problèmes liés à la qualité et à la quantité des eaux distribuées soit à l'alimentation en eau potable de la ville soit à l'irrigation (Ben Rabah, 2006). Cette situation est le résultat de l'accroissement de la population et l'extension du tissu industriel et des surfaces irriguées (Labar, 2009). Cette industrialisation exponentielle et l'utilisation abusive de fertilisants et de pesticides ainsi que l'influence des gîtes métallifères de la région ont contribué à la détérioration de la qualité des eaux de surface (Belhadj, 2017). La Wilaya de Skikda dispose de potentialités hydriques avérées, évaluées à 1674,46 Hm³ par an.

Les travaux de construction du barrage de Guenitra ; site de notre étude, ont duré de 1974 à 1984. Il est destiné à assurer la couverture des besoins en eau potable pour la ville de Skikda ainsi que celle des communes d'Oum Toub, Sidi Mezghiche, Tamalous et les zones environnantes sans oublier sa large utilisation en irrigation des terrains agricoles des ces endroits et l'alimentation de la zone industrielle au chef lieu de la Wilaya (Djaballah Aouat et Elkenz, 2018)

L'objectif de ce travail est d'étudier l'évolution des paramètres de la qualité des eaux en irrigation du barrage de Guenitra à travers de l'évaluation des caractéristiques physico-chimiques et bactériologique des eaux influencées d'une part, par la nature géologique de la région et d'autre part, par les rejets urbains des eaux usées non épurées évacuées depuis les communes de Beni Oulbene et Oum Toub situant en amont du barrage et drainées par les oueds et effluents qui alimentent ce barrage. A cet effet, nous avons choisis trois stations de mesure et prélèvement suivant une période déterminée. Ce travail à été structuré comme suit :

- Partie 1 : Synthèse bibliographique et présentation de la zone étude : toutes les caractéristiques hydrogéologique et hydrographique et socioéconomiques de la région sont bien individualisées.
- Partie 2 : Pratique ; divisée en :

- Chapitre 01 : Matériels et méthodes ; décrit toutes les procédures expérimentales d'échantillonnage d'analyse et les méthodes de traitement des données.
- Chapitre 02 : Résultats et discussion, les résultats obtenus sont représentés sous formes d'histogrammes, diagrammes, ainsi interprétés.
- Conclusion général : récapitulant l'essentiel des résultats de ce travail de mémoire.

PARTIE I

Présentation de la
zone d'étude

1. Situation géographique

Le barrage de Guenitra (El Baraka) est situé 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 .Il est situé à une trentaine de kilomètre au Sud-Ouest de la Wilaya de Skikda. Administrativement, le barrage se localise dans la commune d'Oum Toub dans sa partie orientale (Fig. 1).

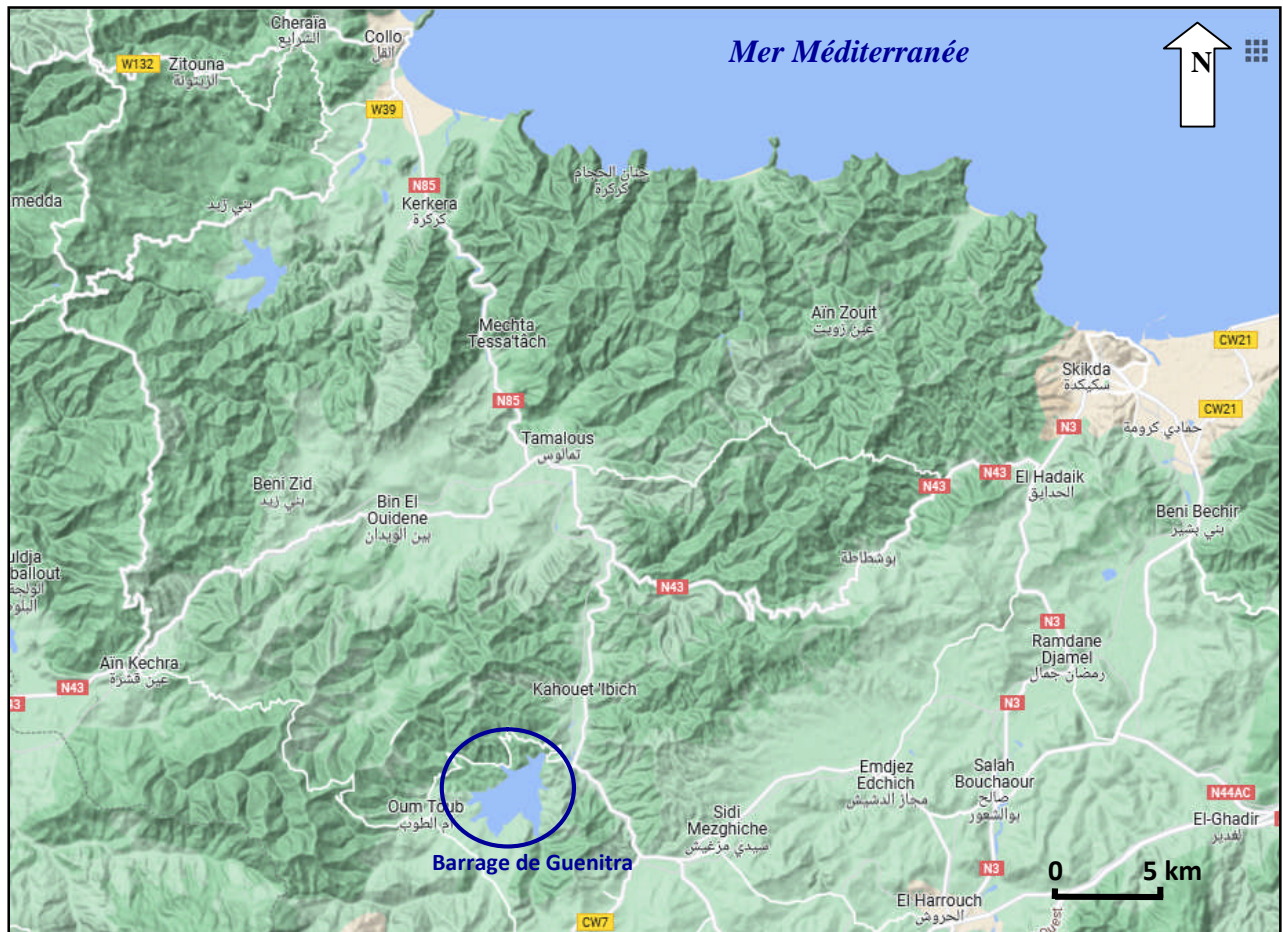


Fig. 1- Situation géographique de barrage de Guenitra.

1.2. 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-Ouidane, 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 42 658 habitants (2020) distribués sur une superficie de 179 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 Slimane, Sidi Kamber et Diar Leftat.

2. Fiche technique de barrage de Guenitra

La fiche technique de barrage est résumée dans le Tableau 1.

Tableau 1- Propriétés techniques de barrage de Guenitra.

Propriétés	Barrage de Guenitra
Capacité brute	125 millions m ³
Capacité utile	115.5 millions m ³
Volume annuel régularisable	48 millions m ³
Superficie du bassin versant	202 km ²
Altitude du bassin versant	1364 à 110 m
Pluviométrie moyenne sur le bassin	840 mm
Apport interannuel moyen	55 millions m ³
Type	Remblai compacté en silts et graves argileuses
Evacuateur de crues	Seuil déversant en rive gauche
Niveau de crête	169.70
Hauteur au-dessus du fond de la vallée	69 m
Emprise dans le fond de la vallée	330 m
Volume de remblai	2635000 m ³
Nature fondations	granulite, marnes, grès, schistes
Seuil déversant en rive gauche	Longueur 50 m
Niveau	164
Début de travail de dérivation provisoire	Janvier 1974
Mise en service	Novembre 1975
Début de travail de barrage et ouvrages annexes	Octobre 1978
Mise en service	Octobre 1984
Volume actuel du barrage (Avril 2023)	49.154 millions m ³

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

Le sous bassin versant de l'Oued Guebli (Fig. 2) qui porte le numéro de code 03-07, est situé au Nord- Ouest de la Wilaya de Skikda appartient au bassin Côtier Constantinois Centre (code N°03), qui englobe neuf (09) sous bassins y compris celui de notre étude SBV de Geunitra. Ce sous bassin s'étend du 6° 23'E au 6° 47'E de longitude et du 36°35'N au 36°58'N de latitude. Il couvre une superficie de 993 Km² (Tableau 2) et se trouve presque totalement inclus dans le territoire administratif de la wilaya de Skikda (Mecibah, 2017).

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 côtières Cap Bougaroun et la mer méditerranée (A.N.R.H., 2000). Il couvre une superficie de 993 Km², 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), (Ouar, et all., 2022).

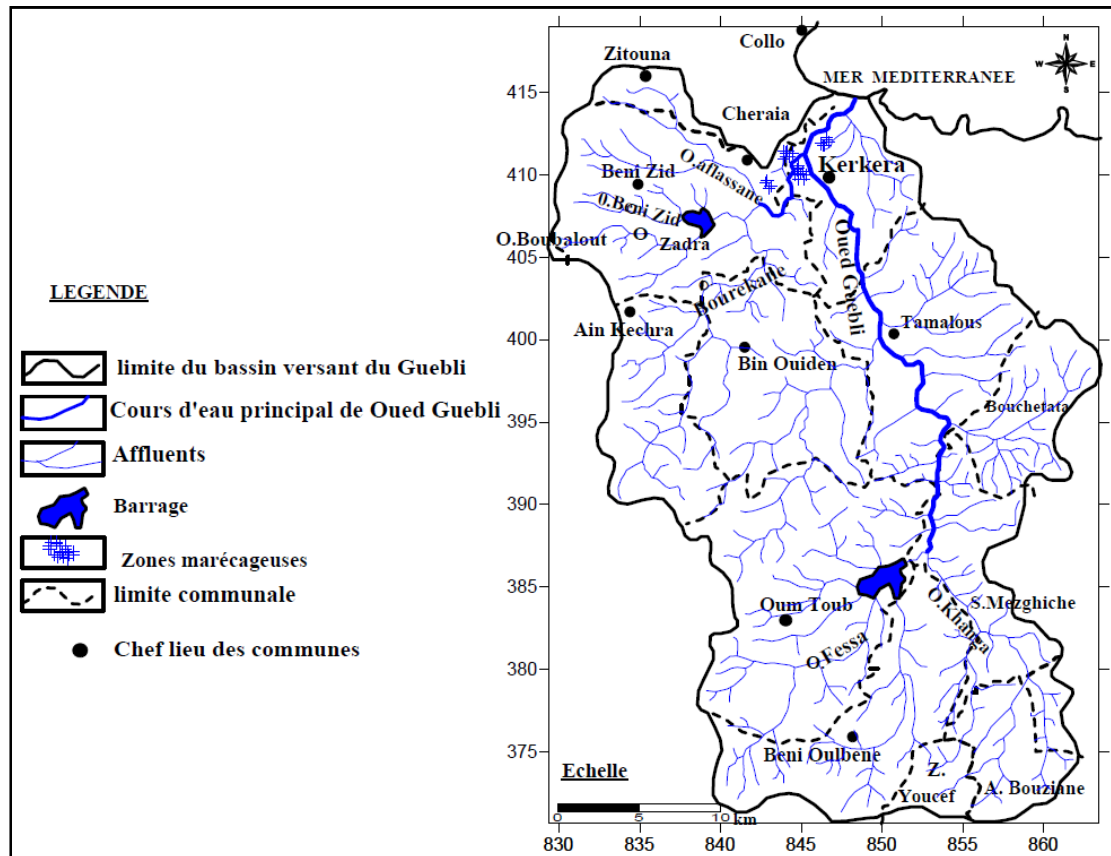


Fig. 2- Le réseau hydrographique du sous bassin versant d'Oued Guebli (Mecibah, 2017).

Les montagnes occupent pratiquement la grande majorité du territoire du bassin, 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 se subdivise encore en six (6) petits sous bassins (Mecibah, 2017) qui sont (Fig. 3) :

- S.B.V. de l'oued Aflassane.
- 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 Guebliamont.
- S.B.V. de l'Oued Guebli aval.

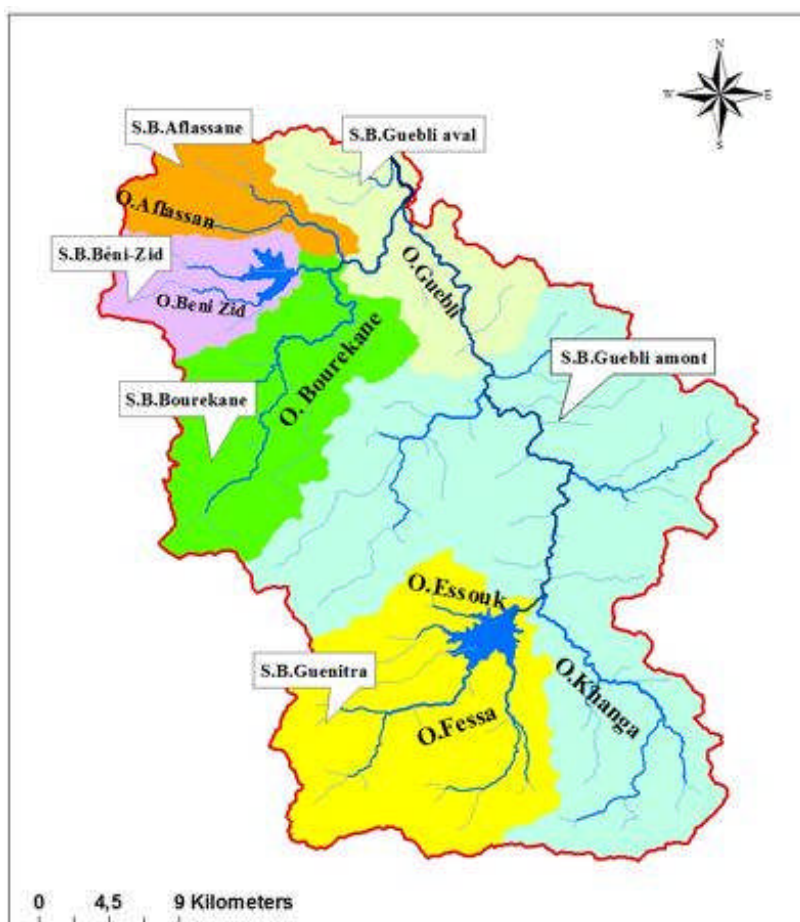


Fig. 3 – Les petits sous bassins du sous bassins versant de l'Oued Guebli (Mecibah, 2017)..

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

Tableau 2- Caractéristique Morphométriques du bassin versant d'Oued Guebli (Mecibah, 2017).

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 Gravelius	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

4. Aspect socio-économique et occupation du sol

D'après la carte d'occupation du sol établie sur la base des photo aériennes et des cartes correspondantes des communes concernées, et les données statistiques disponibles au niveau de la direction des statistiques agricoles et des enquêtes économiques de la wilaya de Skikda, nous distinguons trois domaines essentiels: le domaine forestier, de domaine agricole, et les terrains improductifs non affectés, à l'agriculture (domaine maritime et terrains urbain) (Tableau 3) :

Tableau 3- Répartition générale des terres dans le Bassin versant de Guebli (Ben Rabah, 2006).

Domaines	Espèces	Superficie (ha)	Taux (%)
Domaine forestier	Bois	17949	18.07
	Maquis	19205	19.33
	Broussaille	9477	9.54
Domaine agricole	Surface agricole utilisée	23633	23.79
	Parcours et pacages y compris les terres non défrichent	7656	7.70
	Terre improductive	4568	4.59
Terre improductifs non affectée à l'agriculture	y compris le domaine public et le domaine maritime	12359	12.44
Terre bâtis	Terrains urbains	4483	4.51

Source : direction des statistiques agricoles et des enquêtes économiques de Skikda

Les cultures herbacées sont les plus dominantes. En outre les cultures en irrigué sont insignifiantes dans le sous bassin versant d'Oued Guebli, ceci explique la faiblesse des moyens hydrauliques et la mauvaise gestion de ces ressources hydrauliques. Ces pratiques se font soit par puits et sur prise des eaux des Oueds. Le domaine forestier et le domaine agricole occupent la majorité de la superficie totale. Cette prédominance affirme la vocation et la tradition rurale du Guebli. La plus grande concentration des domaines agricole est rencontrée dans la partie Sud et centre du Guebli (la plaine de Tamalous, la plaine de Zerga ou Beni Oulbène et la plaine de Collo). Les terrains labourables couvrent 18.40% de la superficie total du bassin.

En outre, la région manque d'installations industrielles et ne se caractérise par aucune activité industrielle connue.

5. Aperçu hydrogéologique

La combe de Oum Toub qui fait partie du bassin versant de l'oued Guebli, possède une importante réserve en eau souterraines et superficielles, avec ses divers cours d'eau, la précipitation annuelle remarquable et l'exentension importante de l'horizon aquifère constitué de la nappe d'eau de gravier et du sable de la vallée de l'Oued Guebli, (Fig.4).

6. Géologie locale et régionale

Contrairement au Nord magmatique et métamorphique, on rencontre dans la partie Sud de la Wilaya de Skikda 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.

La région de Skikda se trouve dans le massif de la petite Kabylie qui fait partie de la chaîne alpine des Maghrebides. Il s'étend entre le massif des Babors à l'Ouest et le massif de l'Edough à l'Est sur plus de 150 kilomètres le long du littoral. D'après Villa (1980), on distingue du nord vers le sud les quatre grandes unités structurales suivantes (Fig. 5) :

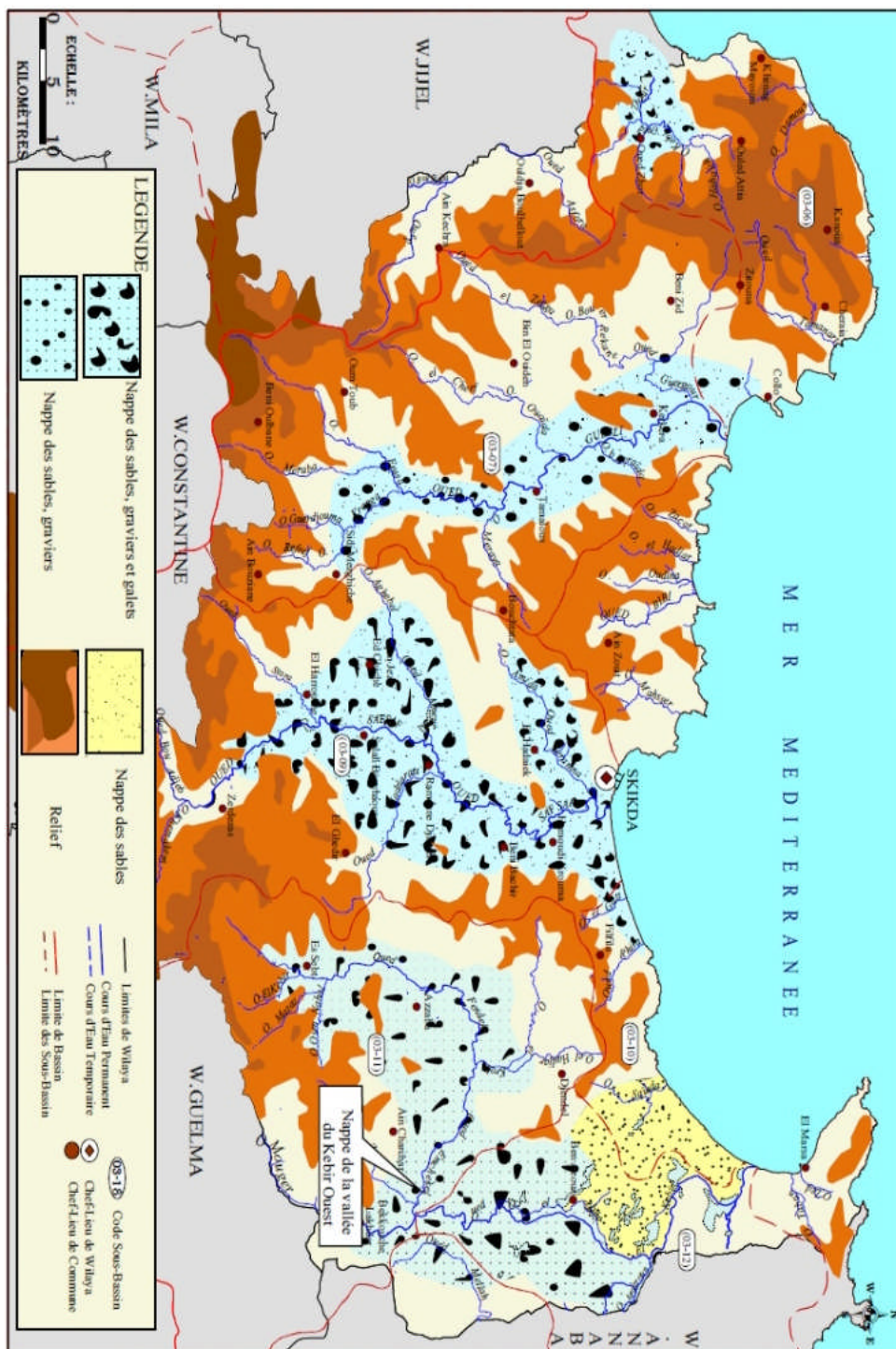


Fig. 4- Carte schématique d'extension des nappes dans la région de skikda (A.N.R.H., 2000).

6.1. Le socle kabyle

Substratum surtout en roches métamorphiques et en degré moindre sédimentaires. Largement représenté dans la région de Collo, il comporte selon Bouillin (1974), trois ensembles superposés : deux sont métamorphiques et le dernier sédimentaire :

- **Ensemble inférieur métamorphique** : constitué de Gneiss avec des intercalations de marbre et d'amphibolites ainsi que de leptinites.
- **Ensemble supérieur métamorphique** : constitué de phyllades et de schistes avec de nombreux quartz d'exsudation à la base.
- **Troisième ensemble** : principalement sédimentaire (ou peu métamorphisé) est constitué à la base de grauwaks, de spilites, d'amphiboles, de schistes et de pélite au sommet, des calcaires puis des schistes et pélites gris verdâtres avec des débris de quartz.

6.2. La dorsale kabyle

Chaîne calcaire constitue la couverture. Étudiée surtout par J.F. Raoult (1974) et J.M. Vila (1980), elle comporte trois sous zones et marque par sa physionomie et ces reliefs la limite entre le socle kabyle au Nord et les zones telliennes plus externes au Sud. D'autre par elle est caractérisée surtout par des formations carbonatées (*Chaîne calcaire interne, Chaîne calcaire médiane et Chaîne calcaire externe*).

6.3. 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.
-

6.4. 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 grés,

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.

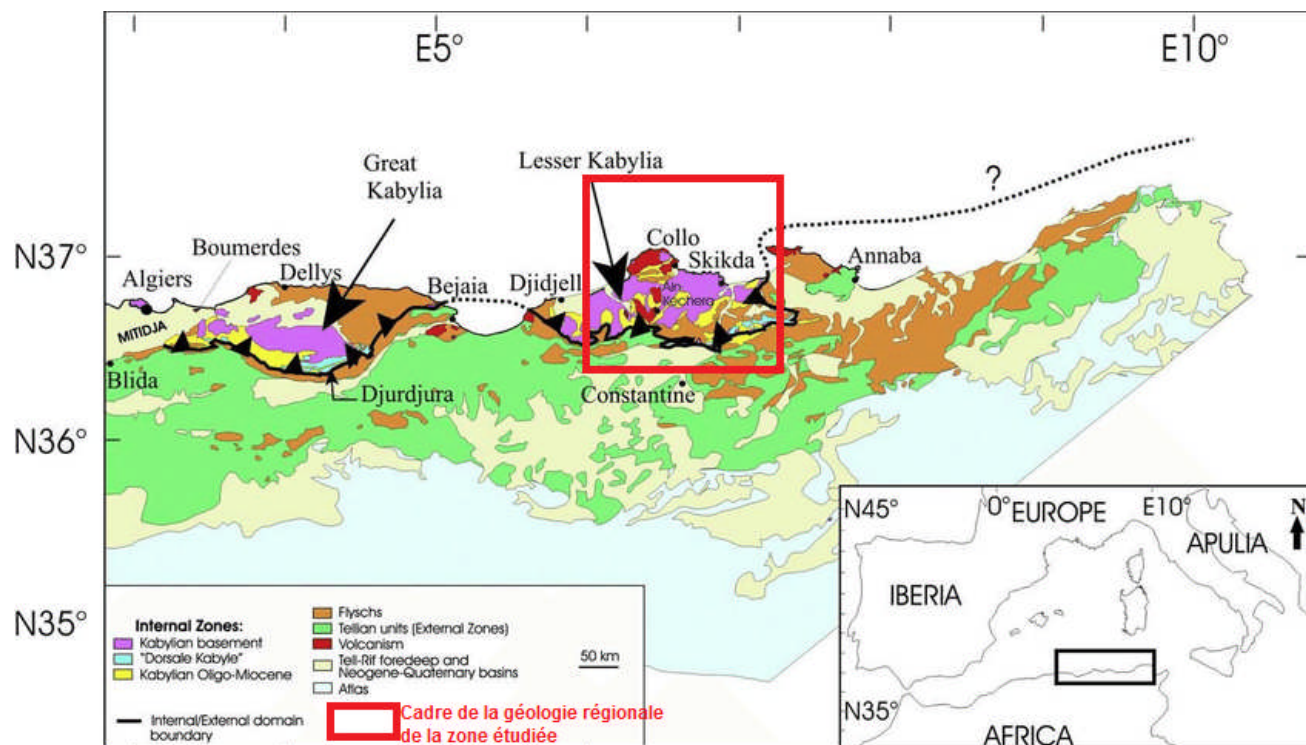


Fig. 5- Carte géologique et structurale du massif de la petite Kabylie (modifié d'après Domzig & all, 2006).

7. 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.

7.1. 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, (Genin et al. 2003).

7.2. 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).

7.3. Pollution industrielle

Le complexe pétrochimique représente par ces effluents multiples une source de pollution principale de l'aquifère côtier. En outre, il génère une pollution atmosphérique à travers une torche où sont brûlés des gaz. La composition et la concentration de ces gaz restent inconnues vu que les moyens de prélèvement et de dosage sont absents. Nous ajoutons aussi le risque d'inondation qui peut aggraver la contamination du milieu au niveau de la zone industrielle par des dégâts multiples surtout en cas des crues.

8. Les paramètres de la qualité des eaux

8.1. Qualité physique

8.1.1. 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.

8.1.2. La conductivité électrique (CE)

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.

8.1.3. 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).

8.1.4. 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).

8.1.5. 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).

8.1.6. Matière organique (MO)

Sous forme dissoute (carbohydrates, acide humiques), composée d'origine artificielle comme les hydrocarbures, les solvants chlorés ou les pesticides) ou en suspension (déchets végétaux, plancton...etc.). Elles proviennent de la dégradation de la matière organique présente dans le milieu ou dans les sols lessivés par les pluies (décomposition des plantes et des animaux) mais aussi de composé issu de l'activité humain. (BaliterKh, 2015).

8.1.7. Matière 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 sédiments arrachés par l'érosion, de divers débris apportés par les eaux usées ou les eaux pluviales très riches en MES, d'êtres vivants planctoniques (notamment les algues) (Bouanani, 2005).

8.1.8. Résidu sec (RS)

C'est la mesure de la quantité de matières minérales dissoute dans l'eau. Il donne une indication du degré de minéralisation de l'eau. Le résidu sec est obtenu après évaporation de l'eau à 180°C. Suivant le domaine d'origine de l'eau, cette teneur peut varier de moins de 100 mg/l (eaux provenant de massifs cristallins) à plus de 3000 mg/l. (Mekaoussi, 2014).

8.2. Qualité chimique

8.2.1. Chlorures (Cl)

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) 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.

8.2.2. 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 CaCO_3 (excès calcaire) du système de distribution et entraîne une consommation excessive de savon avec formation d'écume.

8.2.3. 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 hydrogencarbonates 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 hydrogencarbonates.

8.2.4. 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).

8.2.5. 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 $\text{pH} > 4,6$.

8.2.6. 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.

8.2.7. 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, polyphosphates des formulations détergentes, eaux traités aux phosphates, industrie chimique...). Le contenu en phosphore total comprend non seulement les orthophosphates mais également les polyphosphates et les phosphates organiques. L'eutrophisation peut se manifester à des concentrations relativement basses en phosphates.

8.2.8. L'ammonium (NH_4^+)

Le cation NH_4^+ est produit par réaction acido-basique de l'eau et de façon générale de tout acide avec l'ammoniac NH_3 en revanche en milieu basique à pH supérieur à 9.2 le NH_3 se dégage dans l'atmosphère. (Ramade, 2000).

8.2.9. Sodium (Na^+)

C'est un élément dont les concentrations dans l'eau varient d'une région à une autre. (Bouziani, 2000). Son origine peut être naturelle (mer, terrain salé...), humain (10 à 15 g Na Cl dans les urines/jour) ou industrielle (potasse, industrie pétrolière). Les eaux très riches en sodium deviennent saumâtres, prennent un goût désagréable et ne peuvent pas être consommées. (Rodier et al, 2005).

Dans la nature sous forme de sels. Il a un rôle important dans l'équilibre électrolytique de l'organisme et règle la teneur en eau à l'intérieur des cellules. Sa présence dans les eaux naturelles ne dépasse pas habituellement 5 à 10 mg/l. (Lebcir et al, 2020).

8.2.10. Potassium (K^+)

Le potassium est étroitement rattaché au sodium à tel point, qu'il est rarement analysé comme un constituant à part dans les analyses de l'eau. Sa présence est très répandue dans la nature sous forme de sels. Il a un rôle important dans l'équilibre électrolytique de l'organisme et règle la teneur en eau à l'intérieur des cellules. Sa présence dans les eaux naturelles ne dépasse pas habituellement 5 à 10 mg/l. (Lebcir et al, 2020).

8.2.11. Demande biochimique en oxygène (DBO_5)

La demande biochimique en oxygène (DBO_5), 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 DBO_5 est élevée, plus la quantité de matières organiques présentes dans l'échantillon est élevée.

8.3. Qualité bactériologique

L'eau doit présenter également une potabilité du point de vue bactériologique, en effet celle-ci étant destinée à la consommation humaine, une eau potable doit satisfaire les conditions bactériologiques suivantes :

Ne pas contenir dans le cas d'une eau traitée des coliformes totaux et fécaux ni de clostridium sulfite-réducteur (Leyral et al. 2002). Certaines maladies infectieuses sont transmises à l'homme par absorption d'eau ou d'aliments pollués par une eau contenant des micro-organismes pathogènes. Les plus redoutables d'entre eux sont les salmonelles, responsables de la fièvre typhoïde et le vibron cholérique responsable du choléra (Leyral et al. 2002).

8.3.1. Les Coliformes totaux

Les coliformes sont des bâtonnets, anaérobie facultatif, gram négatif (-) non sporulant. Ils sont capables de croître en présence de sels biliaires et fermentent le lactose en produisant de l'acide et du gaz en 48 heures à des températures de 35°C à 37°C. Ils regroupent les genres *Escherichia*, *Citrobacter*, *entérobacter*, *klébsiella*, *yarsinias*, *erratia*, *ahnella* et *butti*. La recherche et le dénombrement de l'ensemble des coliformes (coliformes totaux), sans préjuger de leur appartenance taxonomique et de leur origine, est capital pour la vérification de l'efficacité d'un traitement d'un désinfectant mais il est d'un intérêt nuancé pour détecter une contamination d'origine fécale.

8.3.2. Les Coliformes fécaux

Ce sont des bâtonnets Gram Négatif (-), aérobies et facultativement anaérobies ; non sporulant, capables de fermenter le lactose avec production de l'acide et de gaz à 36 et 44°C en moins de 24 heures. Ceux qui produisent de l'indole dans l'eau peptonée contenant 20 tryptophane à 44°C, sont souvent désignés sous le nom *d'Eschericia Coli* bien que le groupe comporte plusieurs souches différents (citobacter freundii, Entérobacter aerogenes, Klebsiellapneumoniae, ...etc.). Les coliformes fécaux thermotolérants (44°C) sont considérés d'origine humaine. Ils répondent aux critères de bons indicateurs, la principale difficulté qui s'attache à leur emploi, est leur survie relativement courte en eau de mer, ce qui peut exiger un recours à des indicateurs supplémentaires. En voici quelques concentrations :

- les excréments humains 10⁹ / gramme de matière fécale ;
- eau usées non traitées 10⁶ à 10⁸ /100 ml. Lorsqu'on les trouve ; ils dénotent normalement une pollution fécale récente car ils ne se propagent pas dans le milieu marin. Il a été signalé des taux de disparition (T-90) correspondant à une réduction de 90% du nombre de CF d'une à trois heures qui dépendent de la salinité, de la température et des rayonnements solaires.

8.3.3. Les Streptocoques fécaux

Ces bactéries appartiennent à la famille de streptococcaceae, au genre Streptococcus et au groupe sérologique D de Lance Field. 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 homoférmementaire avec production de l'acide lactique sans gaz.

Ils sont des témoins de contamination fécale assez résistants y compris dans les milieux salés. Ils peuvent aussi se multiplier dans les milieux présentant des pH allant jusqu'à 9.6, on peut par conséquent les utiliser comme indicateur d'organismes pathogènes qui ont une résistance similaire au pH élevé.

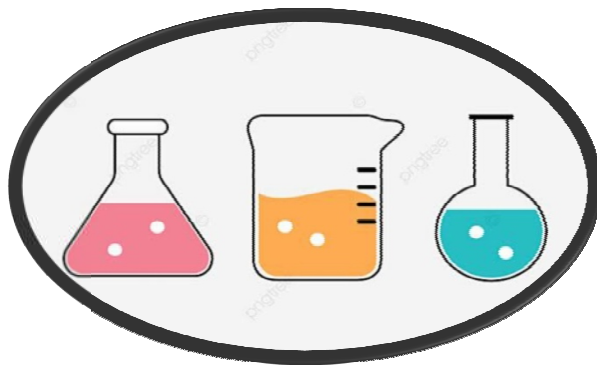
PARTIE II

Pratique



Chapitre 1 :

Matériels et Méthodes



1. Méthodologie générale

1.1. Echantillonnage

L'étude expérimentale consiste à effectuer des analyses physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage Guenitra.

Trois campagnes d'échantillonnage ont été effectuées à partir de trois stations des points **P1**, **P2** et **P3** des eaux de surface repartis comme suite (Fig. 6) :

- **P1** : situé à la partie amont a l'entrée du barrage.
- **P2** : au centre du barrage.
- **P3** : à coté de la digue (sortie du barrage).

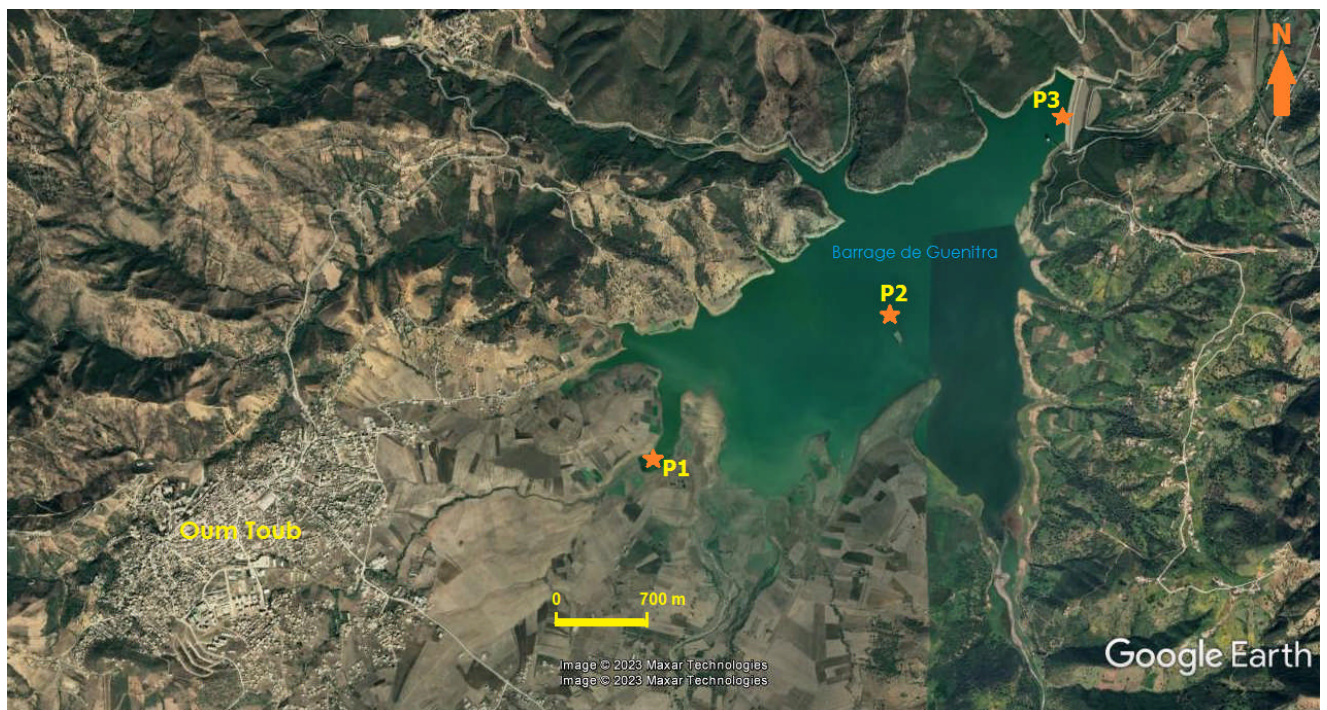


Fig. 6 - Inventaire des points de prélèvement des eaux du barrage du Guenitra.

Pour les analyses physicochimiques, les eaux en été prélevées dans des flacons en polyéthylène rincé avec l'eau distillé et l'eau à échantillonner, ensuite rempli jusqu'à débordement sous l'eau et mis immédiatement dans une glacière transporter ensuite vers le laboratoire de l'Algérienne Des Eaux (ADE) de Skikda. Pour les analyses bactériologiques les échantillons ont été prélevés dans des flacons stériles remplis sous l'eau et mis immédiatement dans une glacière transporter ensuite vers le même laboratoire de l'Algérienne Des Eaux. Les analyses du Na et K ont été effectuées au laboratoire du département de Chimie de l'université de Skikda.

Les campagnes ont été établies selon le programme suivant :

- La 1^{ère} campagne effectuée le 06/03/2023.
- La 2^{ème} campagne effectuée le 12/04/2023.
- La 3^{ème} campagne effectuée le 25/04/2023.

Pour les trois échantillons de chaque campagne, les analyses sont portées sur les paramètres

Tableau 4 - Matériel et appareillage utilisé pour les analyses.

Paramètre	Matériels d'analyses	Unité
pH	pH-mètre	/
Température	Thermomètre	°C
Conductivité Electrique (CE)	Conductimètre	μS/cm
Turbidité	Turbidimètre	NTU
Cl ⁻ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , THt, TAC, TA, PO ₄ ³⁻ , NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ , SO ₄ ⁻² , DBO ₅ , Matière Organique	Dosage titrimétrie	mg/l
Na ⁺ , K ⁺	Photomètre à flamme	mg/l
les analyses bactériologiques : Coliformes fécaux (E. coli.), Streptocoques fécaux		

1.2. Méthode d'analyses

2.1. Analyse physico-chimiques

2.1.1. Couleur

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances dissoutes, c'est-à-dire passant à travers un filtre de porosité égale à 0.45 μm. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent propre coloration. Les couleurs réelles et apparentes sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité. (Rodier et al. 2009).

2.1.2. Odeur

Toute odeur est signe de pollution ou de présence de matières organiques en décomposition. L'odeur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles, la qualité de cette sensation particulière est provoquée par chacune de ces substances (Rodier, 2005).

2.1.3. La saveur

Le goût peut être défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique comme perçue lors de la boisson et dans la bouche. La saveur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation (Bira et all. 2018).

2.1.4. Le 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. 7).

- **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. 7- pH-mètre, conductimètre, thermomètre.

2.1.5. La Conductivité électrique

Mesurée à l'aide du même appareil qui est le multimètre (pH-mètre, thermomètre, conductimètre), (Fig.7).

- **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 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

2.1.6. Turbidité

La mesure de la turbidité de l'eau s'effectue par le turbidimètre (Fig. 8), il est nécessaire de vérifier l'absence de bulle d'air avant de mesure, le résultat est donné en NTU (Unité standard de mesure de la turbidité).

1 NTU = 1 FNU (Formazin Nephelometric Unit).

- NTU < 5 : eau claire.

- 5 < NTU < 30 : eau légèrement trouble.

- NTU > 50 : eau trouble.



Fig. 8-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

2.1.7. La dureté totale (THt)

Mesurée par titrage volumétrique (Fig.9).

- **Mode opératoire**

- Prendre une prise d'échantillon de 50 ml.
- Ajouter 4 gouttes de solution tampon (pH=10)
- Ajouter une pincée de noir eriochrome T.
- La solution doit devenir rouge, titrer avec EDTA jusqu'au virage bleu.
- calculs $THt = N.V/PE.5000$.

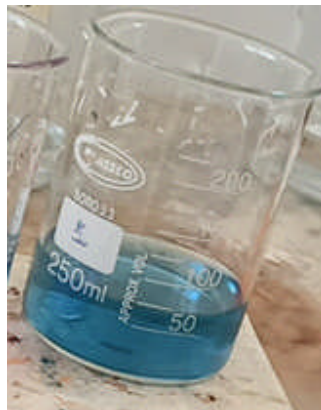


Fig.9- Dosage de THt.

2.1.8. Détermination du titre alcalimétrique (TA) et 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 hydrogénocarbonates dans l'eau

- **Mode opératoire :**

- Dosé par titrage volumétrique (Fig. 10)
- 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.

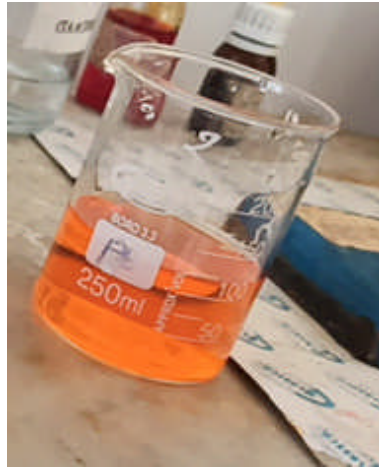


Fig.-10. Dosage du TAC.

2.1.9. Le Calcium (Ca^{2+})

Dosé par titrage volumétrique (Fig. 11).



Fig.11- Dosage de Ca^{2+} .

- **Mode opératoire**

- A l'aide d'une pipette, introduire 50 ml d'eau à analyser dans une fiole conique de 250 ml.
- Ajouter 2 ml de la solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) et 2 à 3 gouttes de la solution de bleu d'ériochrome
- . -La solution doit se colorer violerfoncer. Titrer immédiatement avec l'EDTA (10mmol/l) jusqu' au virage du violet au bleu
- La concentration de calcium en mg/l

Calcul

$$\text{Ca}+2=V*10 \quad V =\text{le volume titrer}$$

2.1.10. Les chlorures (Cl⁻)

Dosées par titrage volumétrique (Fig.12).

- **Mode opératoire**

-A l'aide d'une pipette jaugée, 5 ml l'eau à analyser dans un Arlène Meyer de 250 ml.

-vérifier à la phénolphtaléine, autrement dit l'absence de coloration rose après ajout de 2 à 3 gouttes de cet indicateur.

-Ajouter 1 ml de chromate de potassium et doser par l'AgNO₃ jusqu' au virage à la teinte brunâtre. Noter le volume versé V AgNO₃ ml

-calcul

La concentration de chlorure. En mg/l est donnée par la formule suivante :

$$Cl = \frac{v \cdot 71}{V}$$

V = le volume titrer



Fig.12- Dosage de chlorure.

2.1.11. Détermination des Nitrites (NO₂⁻)

Dosées par un spectrophotomètre DR3900 (Fig. 13).

- **Mode opératoire**

-Remplir une éprouvette graduée de 25 ml jusqu'au trait de 15 ml avec l'échantillon. - Transférer le contenu d'une pochette de réactif Nitra Ver 6 dans l'éprouvette et boucher l'éprouvette. -Agiter énergiquement l'éprouvette et attendre 3 minutes.

-Transférer le contenu de la deuxième pochette de réactif Nitré Ver 3 dans l'éprouvette. - Agiter doucement pendant 30 secondes.

-Une coloration rose apparaîtra en présence de nitrite.

-Attendre 20 minutes (temps de contact).

-Préparation du blanc : remplir une cuve avec 10 ml de l'échantillon.

-Sélectionner le programme d'analyse sur le spectrophotomètre.

-Sélectionner sur l'écran : zéro -Les résultats sont indiqués en mg/l.



Fig.13- Spectrophotomètre DR 3900.

2.1.12. Détermination du phosphate (PO_4^{3-})

Appareil : par spectrophotomètre ODYSSEY HACH (Fig. 14).

Réactif :- Acide ascorbique

- Réactif de mélange (Fig. 15).



Fig. 14- Spectrophotomètre.



Fig. 15- Acide Ascorbique-Réactif de mélange.

Mode opératoire :

- Prendre 40 ml d'eau à analysé
- Ajouté 01 ml acide ascorbique
- Ajouté 02 ml de réactifs mélange
- Attendre 19 min (indique la coloration bleue)

2.1.13. Détermination de l'ammonium (NH_4^+)

Appareil : Spectrophotomètre (Fig. 14).

Reactifs : Réactifs colorés, Dichlorocyanurate (Fig. 16).



Fig. 16- Réactif colorée-Dichlorocyanurate.

- **Mode opératoire :**

- 40 ml d'eau à analysé (échantillon)
- 04 ml Réactifs colorés
- Compléter avec l'eau distillée jusqu'à 50 ml
- Temps de repos 60 min
- 02 ml eau distillée
- Longueur d'onde 655 nm

2.1.14. Détermination des sulfates (SO_4^{2-})

Appareil : spectrophotomètre (Fig. 14).

- **Mode opératoire**

- Prendre une PE de 100ml
- Ajouter ensuite 5 ml de réactif stabilisant.
- 0,3g chlorure de baryum (Fig. 17).
- Agiter pendant 01 min puis effectuer les mesures à une longueur d'onde de 420 nm.



Fig. 17- Solution stabilisante-chlorure de baryum.

2.1.15. Détermination des Matières Organiques (MO)

Mesurée par titrage volumétrique (Fig. 18).

- **Mode opératoire**

- Prendre 100 ml de PE, ajouter 1ml de solution de bicarbonate saturée, et 10 ml de permanganate de potassium (KMnO_4).
- Porter à ébullition pendant 10 mn, et refroidir 5 mn sous l'eau courante.
- Parallèlement, prendre 100 ml d'eau distillée et ajouter 10 ml de KMnO_4 .
- Ajouter dans les deux PE 5 ml de H_2SO_4 et 10 ml de sel de Mohr, la solution se décolore.
- Titrer avec le permanganate de potassium (KMnO_4) à N/80.



Fig. 18- Dosage de la matière organique.

- **Calculs**

$$[\text{O}_2]_{\text{mg/l}} = \frac{(V_2 - V_1)N.8000}{PE}$$

V_2 : Volume de KMnO_4 versé pour titrer l'échantillon.

V_1 : Volume de KMnO_4 versé pour titrer le blanc.

PE : Volume de la prise d'échantillon

2.1.16. Détermination de Magnésium

$\text{Mg}^{+2} = \text{Tht} - \text{Ca}^{+2}$ en mg/l ($\text{Mg}^{+2} \leq 150 \text{mg/l}$)

2.1.17. Le sodium (Na^+)

La mesure des teneurs en sodium s'est effectuée par un photomètre à Flamme (Fig. 19).



Fig. 19- photomètre à Flamme.

- **Mode opératoire :**

- * Allumez le photomètre de flamme et ajustez-le selon les instructions du fabricant.
- * Préparer une solution de titrage de sodium Selon les instructions du fabricant, cette solution servira de point d'étalonnage pour l'appareil.
- * Charger l'échantillon d'eau dans la cellule ou Le conteneur désigné pour le photomètre.
- * Allumez l'appareil et suivez les instructions de l'appareil pour faire fonctionner une unité de mesure Sodium.
- * Analyser l'échantillon à l'aide d'un photomètre Il peut vous être demandé d'entrer certaines informations telles que la concentration de l'échantillon, la longueur d'onde appropriée pour la mesure.
- * Enregistrement de lecture affiché à l'écran.

* Utilisez le titrant comme référence Pour calculer le pourcentage de sodium dans les échantillons analysés.

* Répétez le processus pour les autres échantillons vouloir le mesurer.

* Vous devez voir le guide de l'utilisateur d'un photomètre flash Utilisez-le pour des instructions détaillées À propos du processus de mesure et de réglage de l'appareil.

2.1.18. Le potassium (K^+)

Mesurée à l'aide du même appareil qui est le Flame photometer (Fig. 19).

- **Mode opératoire :**

Nous suivons les mêmes étapes mentionnées dans Sodium. Nous allumons le Flame photomètre et l'ajustons selon les instructions pour le potassium.

2.1.19. Dosage de la demande biologique d'oxygène (DBO_5)

Appareillage :

- Incubateur réglable à 20°C
- Oxymètre
- Equipement pour l'aération
- Réfrigérateur de 0 à 4°C
- Agitateur
- Balance analytique

Matériel :

Fioles jaugées : de capacité 100ml

Pipettes jaugées : de capacité 2ml, 5ml, 10ml.

Fioles spéciales DBO_5 de 250ml

Barreaux magnétiques

Mode opératoire :

- Laissez l'échantillon jusqu'à ce qu'il atteigne la température ambiante.
- Ajuster son pH entre 6 et 8 (dans le cas contraire le neutraliser avec le HCl ou le NaOH)
- Prélever 100 ml de l'échantillon à l'aide d'une pipette jaugée et les mettre dans une fiole de 100ml puis ajuster (dilution de 1/10)
- prélever respectivement de la fiole 7.15 et 30 ml de l'échantillon dilué et les mettre dans les fioles spéciales DBO_5 .

- Transvaser 350ml de l'eau dilution dans une éprouvette d'un litre agiter 20 secondes puis remplir respectivement les fioles des balances ainsi que les autres fioles contentas les différentes dilutions de l'échantillon (7, 15 et 30ml). Doser l'oxygène dissous dans ces dernières sous agitation. La valeur indiquée par l'oxymètre est DBO_5 .
- Mettre les fioles dans l'incubateur à 20°C pendant 5 jours puis mesurer la DBO_5 une deuxième fois cette valeur est la DBO_5 .



Fig. 20-Flacon du dosage de la DBO_5 .



Fig. 21- Réfrigérateur pour la DBO_5 .

2.2. Les analyses bactériologiques

Technique : Recherché bactériologique à 3 formes :

- a) Coliforme totaux
- b) Coliforme fécaux (E. coli,)
- c) Streptocoques fécaux

Dilution : Technique de 3 multiples (Tableau 5).

Tableau 5- Procédures de dosage des paramètres bactériologiques.

	Double concentration	Simple concentration	Simple concentration
BCPL	3 tubes (dans un chaque tube 10 ml de l'échantillon)	3 tubes (dans un chaque tube ajoute 1 ml de l'échantillon)	3 tubes (dans un chaque tube ajoute 2 gouttes de l'échantillon)
ROTHER	3 tubes (dans un chaque tube ajoute 10 ml de l'échantillon)	3 tubes (dans chaque tube ajoute 1 ml de l'échantillon)	3 tubes (dans chaque tube ajoute 2 gouttes de l'échantillon)

Après l'incubation de 48h obtient :

-Dans les tubes double concentration la cloche est déplacée vers la surface de tube +le tube est trouble.

-Dans les tubes simple concentration le tube est seulement trouble

Test présomptif : Ajouter l'échantillon dans l'Etuve à 37c° et reste 2 jours

Test confirmatif : Repiquage Ajouter des gouttes de contenant de BCPL dans les tubes de SCHOUBERT. -Ajouter des gouttes de contenant de ROTHE dans les tubes d'Eva Lits Ky. L'incubation de 24h à 44C° (Fig. 22, 23 et 24). Enfin, pour le résultat positive ; dans le milieu de Lits Ky + l'agent sélectif (Kovacs) donne Un anneau rouge. Et dans le milieu de Schoubert donne un culo.



Fig.22-Test de confirmation.



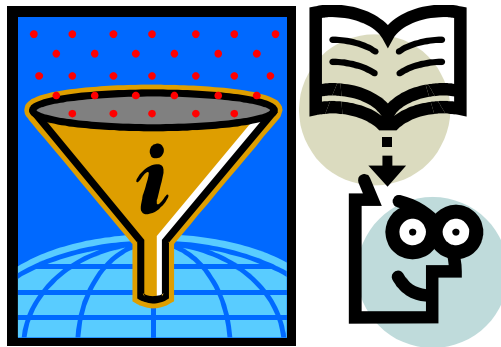
Fig. 23- Milieu de culture des bactéries.



Fig. 24- Incubateur.

Chapitre 2 :

Resultats et Discussion



1. Présentation des résultats

Les résultats obtenus sont représentés sous formes d'histogrammes et diagrammes pour les résultats des analyses physico-chimiques et tableau pour les analyses bactériologiques.

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 usées épurées utilisées à des fins d'irrigation et internationales ainsi qu'aux lignes directives des eaux destinées à l'irrigation, les normes manquantes sont complétées par celles issues de la littérature internationale et des chercheurs spécialistes dans le domaine de l'irrigation.

Tableau 6- Normes et lignes directives des eaux destinées à l'irrigation.

Paramètres	Normes/ligne directive d'irrigation
Conductivité	3000 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) *
pH	6.5-8.5 *
Température	35°C*
Chlorures	350 (mg/l) *
Ammonium (NH_4^+)	15 mg/l **
TAC (HCO_3^-)	518 (mg/l) *
Titre Alcalimétrique (TA)	200 (mg/l)*
Turbidité	5 (NTU)*****
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 *****
Na	0 à 30 mg/l***** (pas supérieur à 50)
K	0,5 à 5 mg/l*****
Escherichia coli	>100 dans 100 ml d'eau*
Coliformes fécaux	1000/100 ml **
Salmonelle	Absence dans 5 litres **
Streptocoques fécaux	
Coliformes stotaux	1000 CT par 100 ml*****

Sources :

* Norme Algérienne (2012), **UNEP (2005), ***Norme marocaine (2002), **** Maynard et Hochmuth (1997), *****DDAZASA (2013), ***** SEQ-EAU (2003), *****Peterson (1999).

Suite à une possibilité exceptionnelle de réaliser les analyses des teneurs du Sodium et du Potassium au niveau du laboratoire pour la 3^{ème} campagne uniquement ; d'autres interprétations concernant la qualité des eaux du barrage de Guenitra pour l'utilisation en irrigation sont introduites.

2. Interprétation des analyses physico-chimiques

2.1. La température

Les résultats obtenus montrent que la température des eaux d barrage Guenitra ne dépasse pas la norme dans toutes les campagnes pour les trois stations de prélèvement.

Les eaux superficielles de la campagne 3 sont légèrement chaudes par rapport aux autres, marquée par un maximum de 20.5°C pour le point (P1) à l'amant du barrage, et un minimum de 15.6°C pour le point (P1) de la 1^{ère} campagne à la digue où la tranche d'eau est plus épaisse, donc plus froide, (Fig. 25).

Ces températures moyennes mesurées reflètent l'influence du climat sur la zone au moment des prélèvements des échantillons, les eaux de 1^{ère} campagne effectuée au mois de mars sont les plus froides.

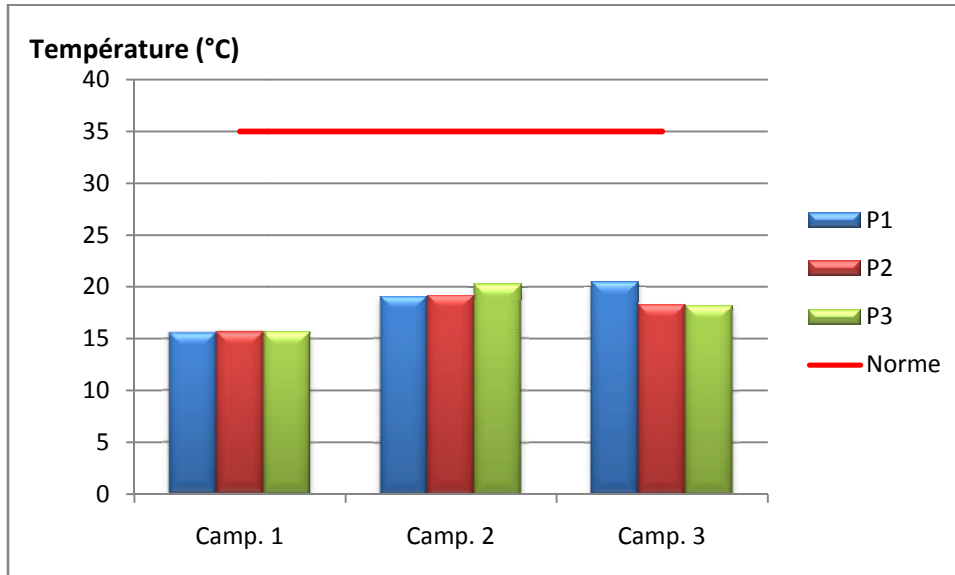


Fig. 25- Variation spatiotemporelle de la température.

2.2. 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 6.5 et 8,5 alors que dans les eaux tièdes, celui-ci être compris entre 5 et 9.

Les eaux de barrage Guenitra ont un pH acceptable légèrement alcalin qui ne dépasse pas la norme dans tous les points des trois campagnes, avec un pH minimum de 8.07 au point (P2) de la 1^{ère} campagne et maximum de 8.47 au point (P1) en amont du barrage de la 3^{ème} campagne (Fig. 26). Pour les trois campagnes le pH ne varie que très légèrement avec plus alcalin durant la 3^{ème} campagne à cause de phénomène de dilution et du lessivage des roche carbonatées par les eaux de ruissèlement accumulées.

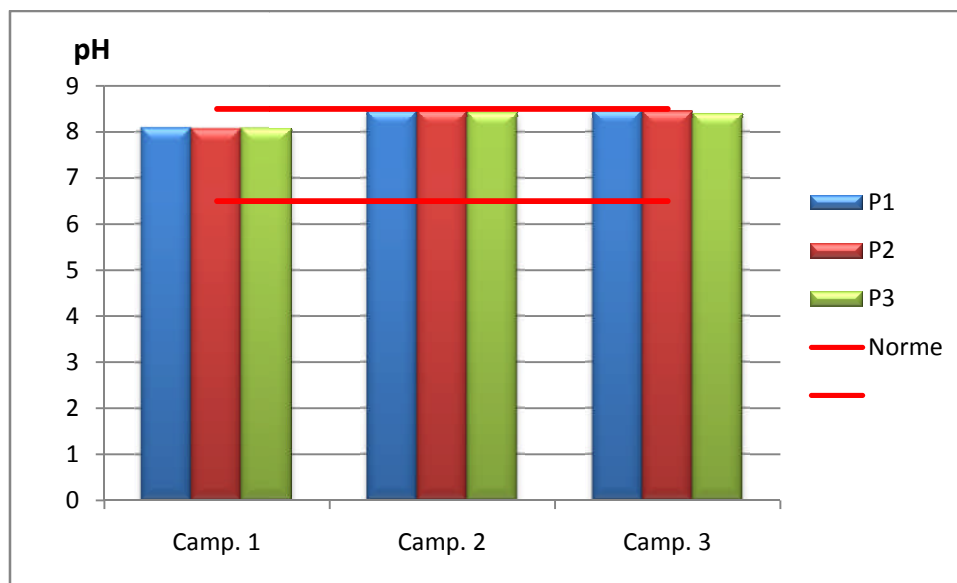


Fig. 26- Variation spatio-temporelle de pH

2.3. La Turbidité

Elle est liée à sa transparence. Teneur en matière en suspension. Pour la sécurité de l'eau, on ne s'en occupe pas turbidité inférieure à 5 NTU (Unités de Turbidité Néphélométrique).

D'après la Figure 27, on remarque une forte turbidité des eaux dans toutes les stations pour toutes les campagnes, les eaux de barrage Guenitra les moins turbides sont celles prélevées au point (P3) vers la digue du barrage ; là où l'eau est relativement stagnante avec un minimum de 5.40 NTU de la 2^{ème} campagne, alors que la turbidité la plus élevée est dosée au niveau du point (P3), avec un maximum de 8.30 NTU à la 1^{ère} campagne.

On remarque une diminution de la turbidité depuis l'amont en contact avec les Oueds qui alimentent le barrage (plus turbides) jusqu'à le centre puis la digue où le mouvement de l'eau diminue rapidement.

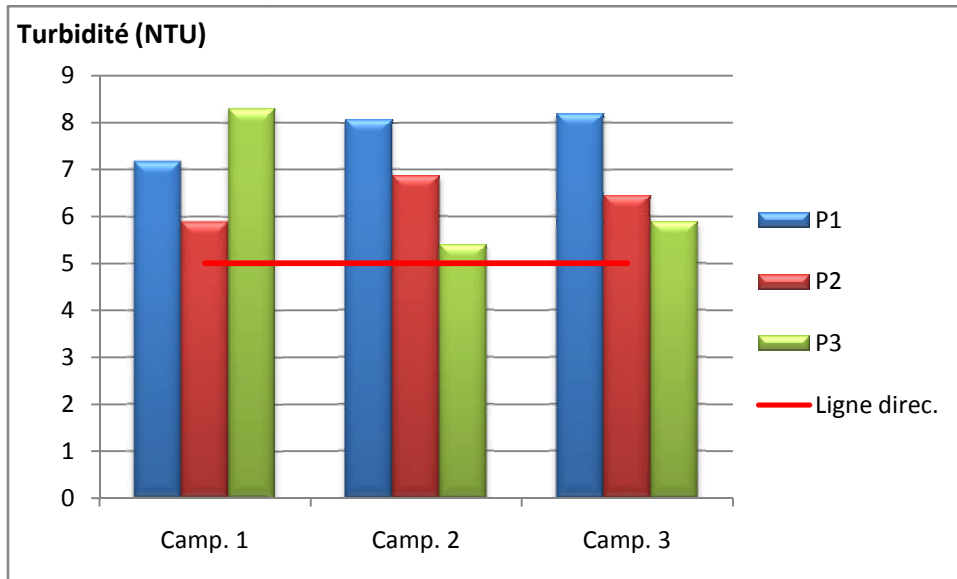


Fig. 27- Variation spatio-temporelle de la turbidité.

2.4. La conductivité électrique (CE)

Les eaux de tous les points de la zone d'étude sont de faible à très faible conductivité, très loin de la norme fixée à 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La conductivité la plus faible est mesurée à la 1^{ère} campagne au point (P2) au centre du barrage avec 648 $\mu\text{S}/\text{cm}$, alors que la teneur maximale est de 682 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de la 3^{ème} campagne au point (P3) à côté de la digue (Fig. 28). D'une manière générale, les eaux de 3^{ème} campagne sont les plus conductrices, ainsi que le point P3 à côté de la digue où s'accumule une tranche importante d'eau riche en sel minéraux issues des rejets évacués et du lessivage des différentes formations géologiques traversées.

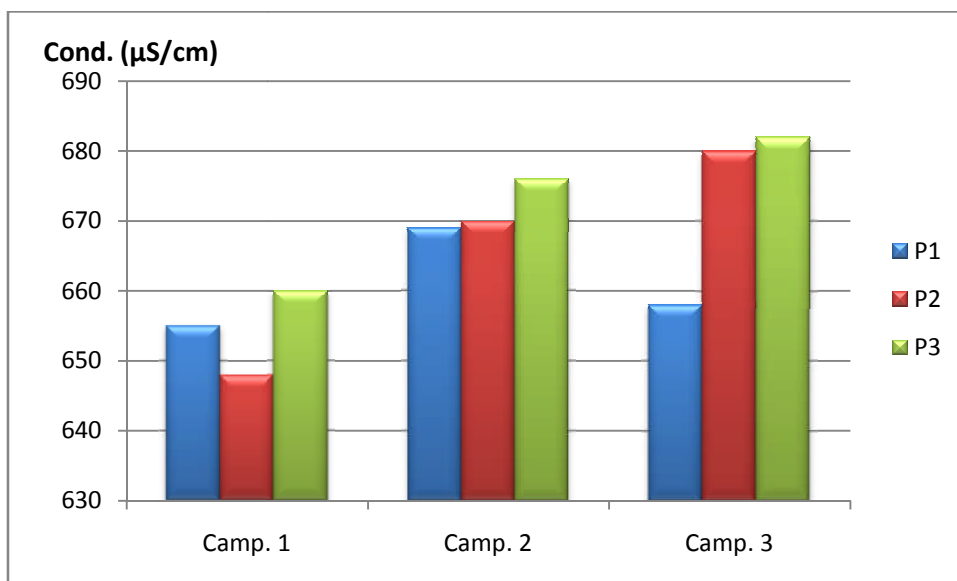


Fig. 28- Variation spatio-temporelle de la conductivité électrique.

2.5. Le titre alcalimétrique complet (TAC)

La valeur du TAC permet de connaître les quantités d'hydroxydes et de carbonates (HCO_3^-), ou de bicarbonates alcalins ou alcalino-terreux dans l'eau.

Dans notre zone d'étude les résultats obtenus montrent que les valeurs de TAC ne dépassent pas la norme.

La teneur la plus élevée est dosée au niveau de la station de (P3) de la 2^{ème} campagne avec 130 mg/l, alors que la teneur minimale est de 105 mg/l dosée à la station de (P1) de la 2^{ème} campagne.

On remarque une légère diminution de la teneur en bicarbonates depuis la 1^{ère} campagne, et augmentation progressive à la 2^{ème} campagne, presque constante à la 3^{ème} campagne.

Le lessivage des formations carbonatés qui constituent le faciès majeur la partie Sud du SBV de Oued Guebli contribue efficacement à la richesse des ces eaux en bicarbonates (Fig. 28).

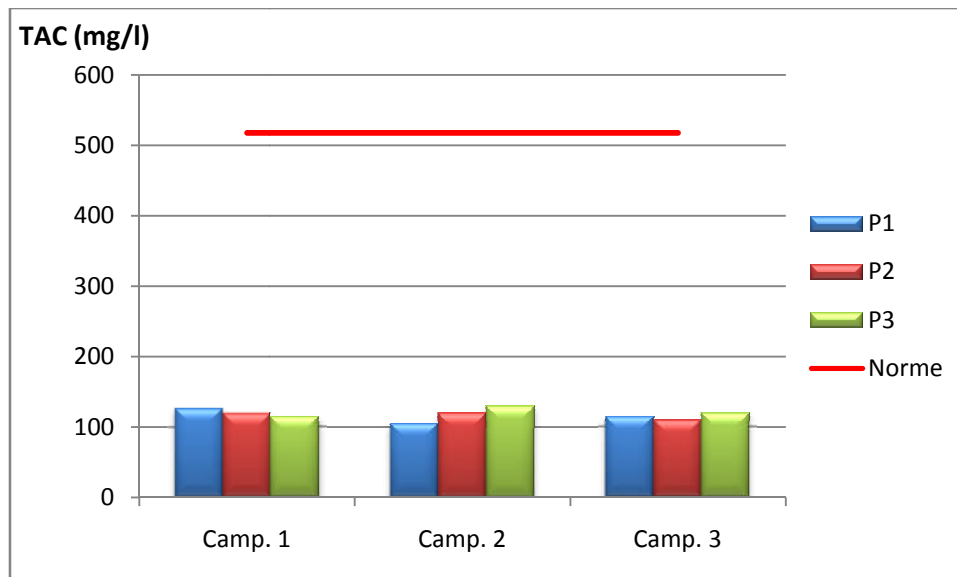


Fig. 29- Variation spatio-temporelle de TAC

2.6. Le calcium

Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potable et sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés (terrain calcaire ou gypseux), (Rodier et al. 2007).

C'est l'un des deux sels en plus de magnésium qui constitue la dureté de l'eau.

Dans notre zone d'étude les résultats obtenus montrent que les valeurs de calcium ne dépassent pas la ligne directrice, les teneurs sont acceptables dans tous les points.

La teneur la plus élevée est dosée au niveau de la station de (P2) de la 2^{ème} campagne avec 65 mg/l, alors que la teneur minimale est de 30 mg/l dosée au même point de la 3^{ème}

campagne (Fig. 29). Les légères progressions de la teneur depuis la 1^{ère} à la 2^{ème} campagne sont dues au lessivage de roches carbonatées largement répandues dans l'amont du sous bassin versant de l'Oued Guebli plus au Sud.

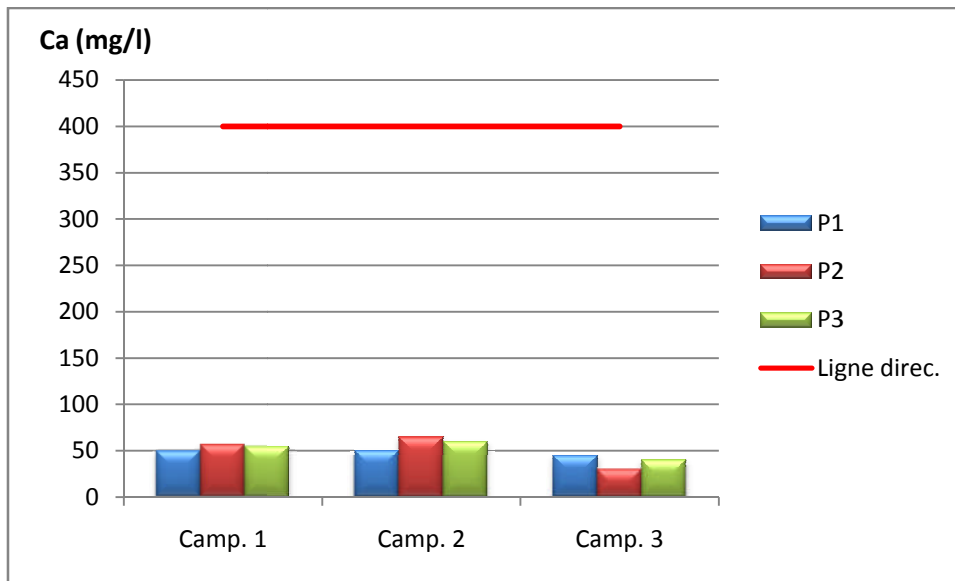


Fig. 30- Variation spatio-temporelle de Ca²⁺

2.7. Le magnésium

Autre élément qui constitue la dureté de l'eau, la teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées (calcaires dolomitiques, dolomies,...).

Les eaux destinées à l'irrigation n'ont pas de valeur guide. La ligne directrice est de 60 mg/l.

Les eaux du barrage Guenitra ont des teneurs qui dépassent largement cette ligne, il a une évolution étroite liée aux teneurs en calcium et en THt.

Les eaux du point de la station (P2) au centre du barrage pour la 1^{ère} campagne possèdent une teneur maximal de 203 mg/l, alors que celles de la station (P1) partie amont à l'entrée du barrage pour la 3^{ème} campagne ont une teneur minimum de 95 mg/l (Fig. 30).

L'effet est notoire par la dissolution des roches carbonatées, dolomitiques et marneuses drainées surtout à l'amont et au centre du barrage par les eaux de ruissellement, les eaux de la 1^{ère} campagne sont les plus concentrées en cet élément à cause de leur contact direct avec les Oueds et effluents riches par le lessivage du magnésium par les pluies précipitées durant cette période de prélèvement.

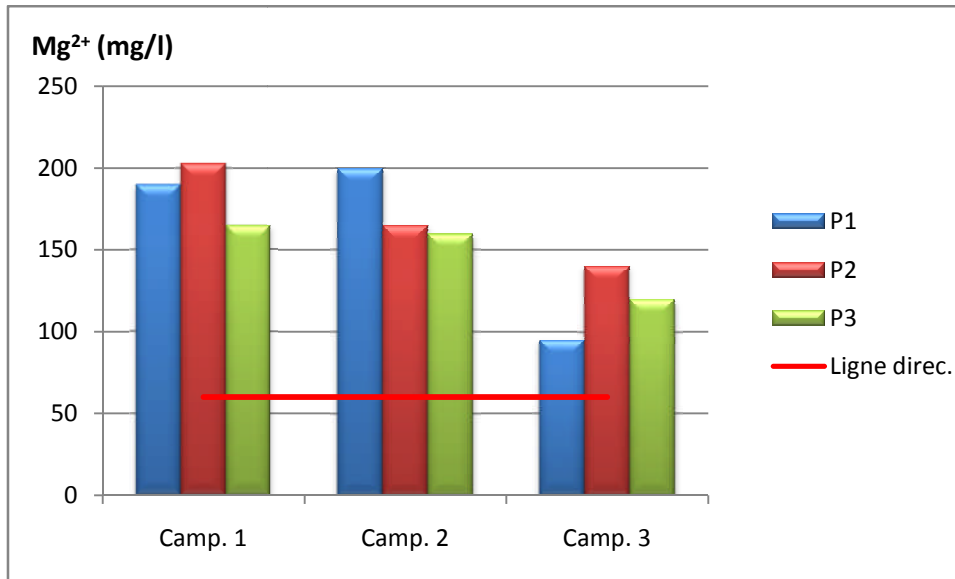


Fig. 31- Variations spatio-temporelle du Mg^{2+}

2.8. Le Titre hydrotimétrique total (THt)

La durée totale de l'eau (THt) est un paramètre rattaché directement à la quantité de calcium et de magnésium dans l'eau. Selon Rodier (2005), lorsque le taux de THt est supérieur à 300 mg/l, la nature des eaux étudiée est extrêmement dure.

Les eaux de barrage Guenitra dans tout le secteur étudié sont dures, ce qui implique la richesse de ces eaux en sels de calcium et de magnésium. On remarque une diminution de la dureté depuis l'amont au point (P1) jusqu'à la digue au point (P3) avec un minimum de 140 mg/l à la 1^{ère} campagne (P3), et un maximum de 260 mg/l au point (P1) de la 2^{ème} campagne (Fig. 31).

Cela est dû à la forte teneur en ions calcium et magnésium des eaux de la dissolution des roches carbonatées, dolomitiques et marneuses drainées surtout à l'amont et au centre du barrage par les eaux de ruissellement sur tout le bassin versant. Les eaux de la 1^{ère} campagne sont les plus dures à cause de l'importante précipitation recueillies lors du prélèvement à cette période et donc un grand lessivage des formations carbonatées du bassin versant.

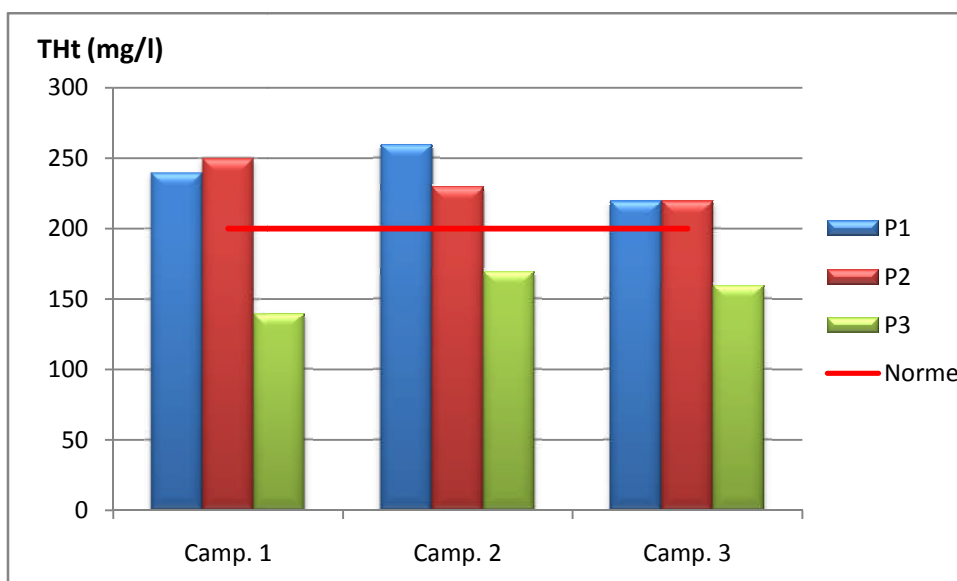


Fig. 32-Variation spatio-temporelle de THt.

2.9. Chlorure (Cl)

Les teneurs en chlorures des eaux de barrage Guenitra ne dépassent pas la norme des eaux utilisées à des fins agricoles dans tout le secteur étudié. Les eaux du point (P3) de la digue possèdent une teneur maximale de 85.2 mg/l pour la 1^{ère} campagne et un minimum de 35.5 mg/l au point (P3) de la 3^{ème} campagne, (Fig. 32). L'effet anthropique marqué par les eaux usées domestiques et les eaux ménagères largement évacuées dans les chevelu hydrographique du bassin versant est remarquable en absence de toute procédure de traitement des ces eaux dans la région, malgré les teneurs acceptable dans les eaux analysées.

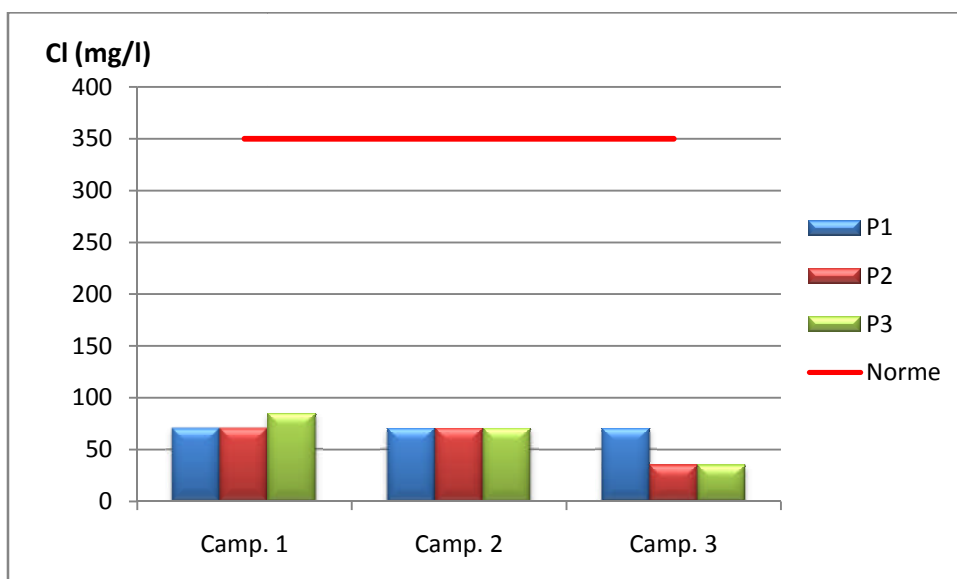


Fig. 33-Variation spatio-temporelle de chlorure.

Les eaux de la 1^{ère} campagne sont les plus concentrées en chlorures que les deux autres campagnes, ce qui marque une forte décharge des eaux ménagères usées durant cette période.

2.10. Ammonium (NH_4^+)

Radical monovalent agissant comme un métal alcalin dans les sels ammoniacaux ; c'est la forme d'azote la plus toxique (Boukhrissa, 2015).

Malgré sa présence dans l'eau, ses concentrations sont très faible, les teneurs des eaux de barrage Guenitra ne dépassent pas les lignes directives des eaux utilisées à des fins agricoles (<15 mg/l) dans tout le secteur étudié. Les eaux du point (P3) de la digue possèdent une teneur maximale de 0.46 mg/l pour la 3^{ème} campagne et une teneur minimale de 0.19 mg/l au même point (P3) de la 1^{ère} campagne, (Fig. 33).

Les eaux du barrage de Guenitra sont légèrement concentrées en cet élément suite aux effluents liquides des eaux usées évacués par une population plus dense. 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.

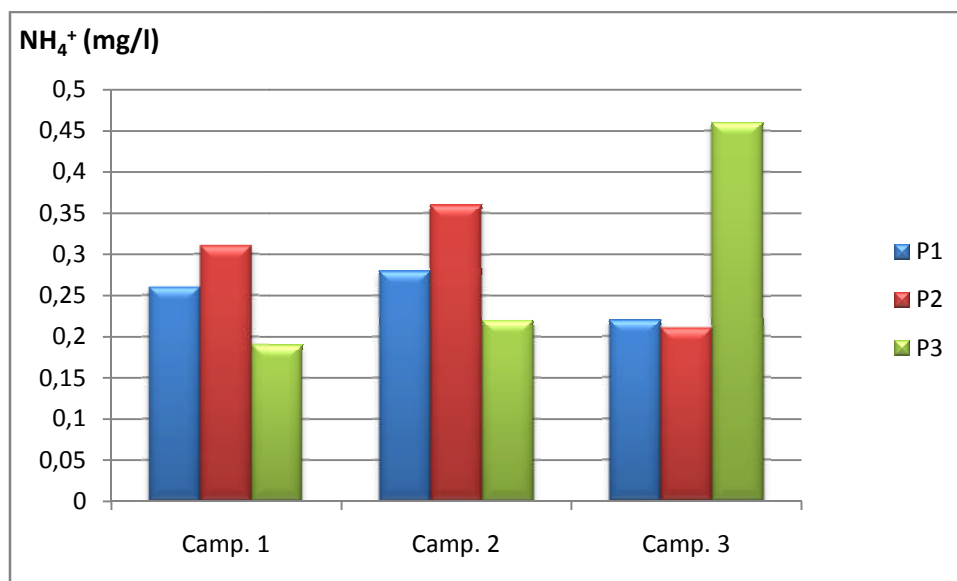


Fig.34 -Variation spatio-temporelle de l'ammonium.

2.11. Le nitrite (NO_2^-)

Son origine est liée à l'agriculture et aux rejets urbains et industriels. Les nitrites représentent une forme moins oxygénée et moins stable, elle représente la forme du passage entre les nitrates et l'ammonium, c'est une forme toxique (Djemai, 2013).

La norme fixée à 30 mg/l n'est jamais atteinte, tous les résultats d'analyse de l'eau de barrage Guenitra sont inférieurs à 0.02mg/l.

2.12. Matières organique

Désigne la pollution qui provient des matières qui constituent les organismes vivants ou morts, ou produites par des organismes vivants. Elle est formée de molécules organiques (composées de carbone). L'élimination de cette pollution passe par le traitement biologique. En absence de norme limite, les eaux du barrage de Guenitra possèdent des teneurs qui dépassent la ligne directrice.

La teneur maximale est dosée au niveau du point (P1) à l'amant du barrage de la 2^{ème} campagne avec 0.1 mg/l, alors que la teneur minimale est celle du point (P3) de la 3^{ème} campagne avec 0.03 mg/l. Une augmentation progressive depuis l'amant (P1) vers la digue (P3) durant la 1^{ère} campagne implique les fortes ruissellements issues des précipitations à cette période, moins riche en M.O. à l'amant et plus concentrés vers la digue (eau stagnante), alors que la diminution progressive de la concentration durant la 2^{ème} et la 3^{ème} campagne depuis l'amant (P1) vers la digue (P3) du barrage est due à l'interruption des cours d'eau qui alimentent ce dernier et par conséquent l'augmentation des activités bactériologiques à l'amant où la température et l'éclairage sont plus élevés tant que la tranche d'eau est faible (Fig. 34).

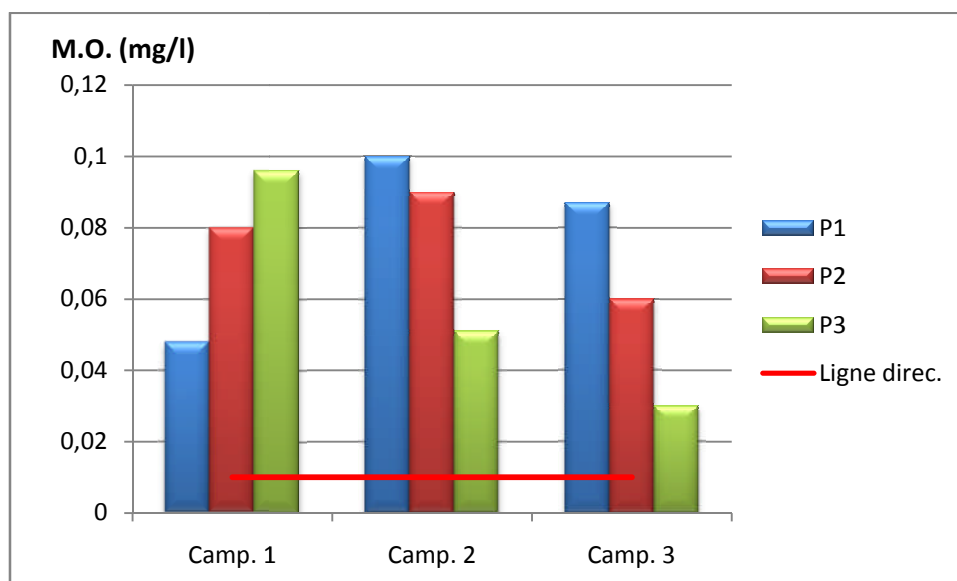


Fig. 35-Variation spatio-temporelle de la matière organique.

2.13. Le Sulfate (SO_4^{-2})

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 (Khelfaoui, 2014).

Les eaux du barrage ont des teneurs acceptables 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} (activité agricole bien individualisée aux alentours), la teneur maximale est de 227.5 mg/l au point P2 de la 3^{ème} campagne et la teneur minimale est de 56.33 mg/l à P1 de la 2^{ème} campagne (Fig. 35).

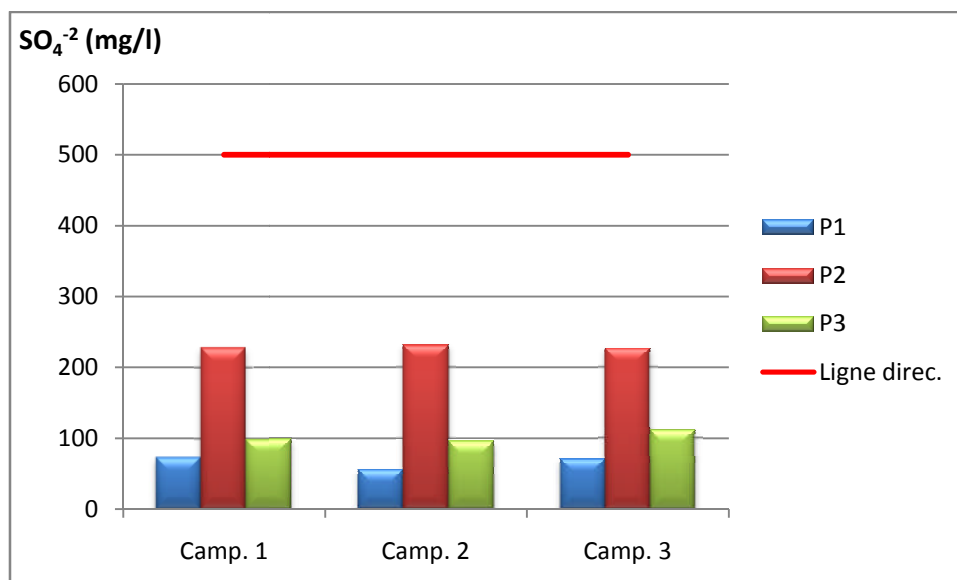


Fig. 36- Variations spatio-temporelle du sulfate.

2.14. Le phosphate (PO_4^{3-})

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 de vanes contenant des phosphates organiques et des détergents synthétiques, ainsi que par les eaux de ruissellement. Ces eaux ménagères et des toilettes sont très riches en cet élément.

Les teneurs en phosphates sont dans les normes, la teneur minimale est dosée au niveau du point P2 de la 3^{ème} campagne avec une teneur de 0.06 mg/l, alors que la teneur maximale est de 1.49 mg/l au point P1 en amant du barrage de la 2^{ème} campagne (Fig. 36). Ce qui confirme l'origine anthropique de cet élément, dont les effluents drainés par les Oueds qui alimentent le

barrage sont très riche en rejets des eaux usées ménagères largement évacuées surtout en amont au niveau de ce point.

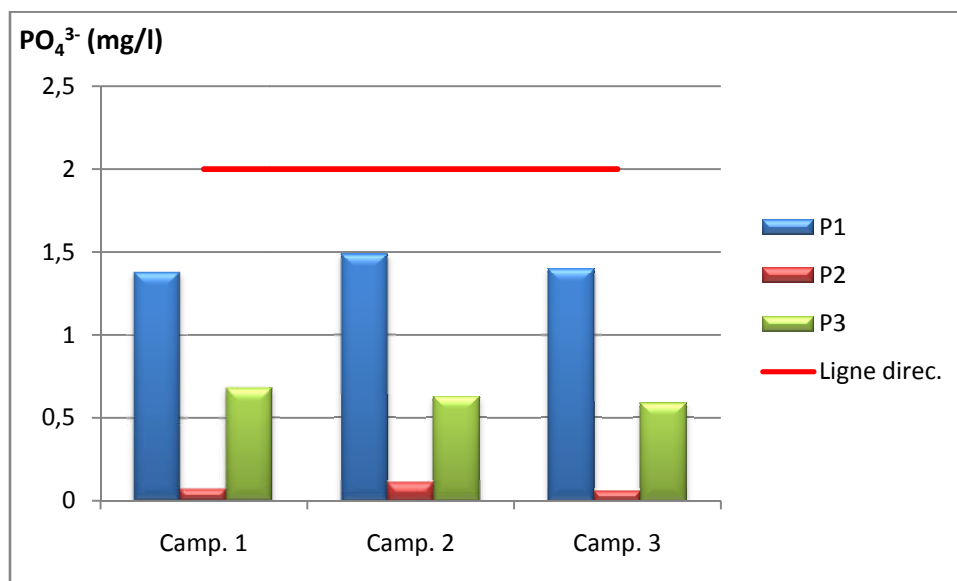


Fig.37 - Variations spatio-temporelle du Phosphate.

2.15. Le sodium (Na^+)

Dans la nature, il est issue généralement de l'hydrolyse des minéraux silicatés tel que les feldspaths alcalins. Suite à des contraintes d'équipement du laboratoire il est uniquement dosé pour la 3^{ème} campagne.

Les eaux de tous les points ont une teneur acceptable qui n'atteint jamais la norme (< 50 mg/l). On remarque une augmentation progressive des teneurs en sodium depuis l'amant du barrage (P1) jusqu'à la digue (P3), ce qui implique l'effet de l'accumulation de ce sel hydrolysé à partir des feldspaths et ramené jusqu'au fond du barrage par les cours d'eau (Fig. 37).

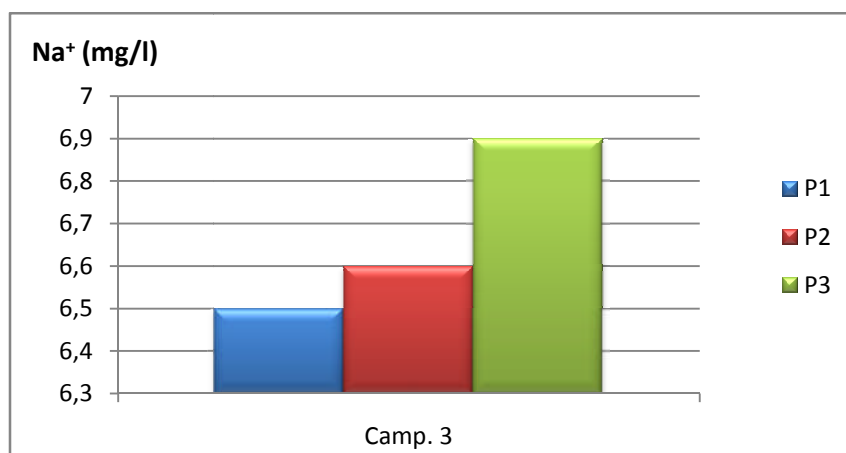


Fig.38 - Variations spatio-temporelle du sodium.

2.16. Le potassium (K^+)

Sa présence, à peu près constante dans les eaux naturelles, ne dépasse pas habituellement 10 à 15 mg/l. Sa faible présence dans les eaux pourrait provenir de l'altération des minéraux silicatés et des argiles. Dosé durant la 3^{ème} campagne, avec la même allure d'évolution du sodium depuis l'amant vers la digue (Fig. 38).

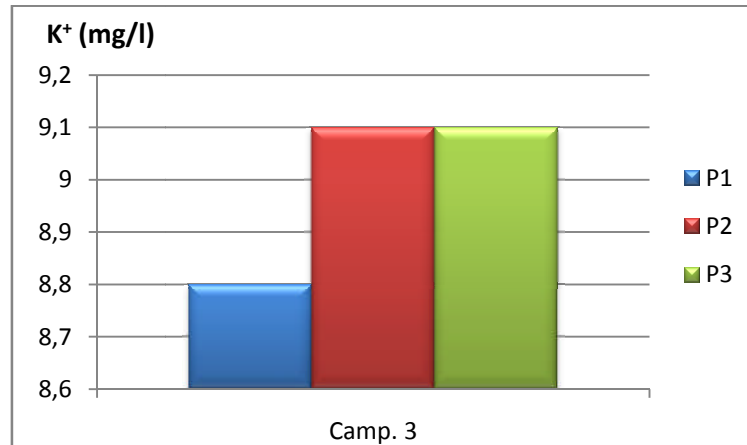


Fig.39 - Variations spatio-temporelle du potassium.

2.17. La demande biologique en oxygène (DBO₅)

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. Les valeurs de la DBO dans les eau naturelle varient de 0 à 10 mg/l (Rodier et al., 2009)

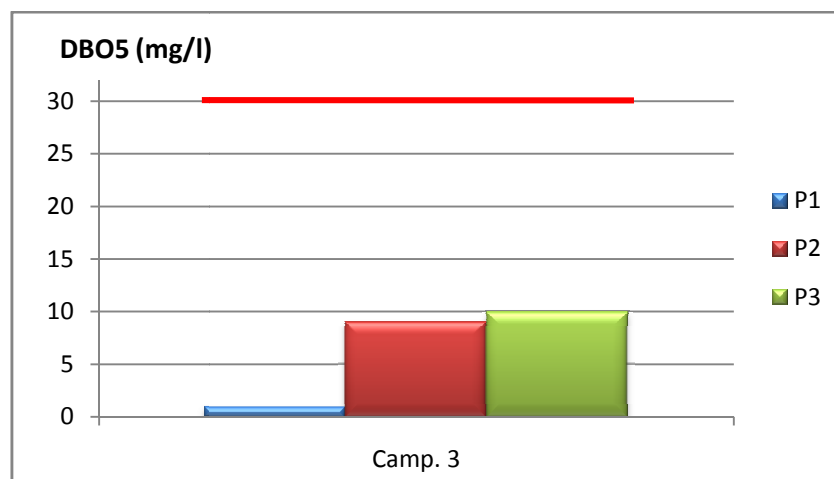


Fig.40 - Variations spatio-temporelle de la DBO₅.

Pour l'utilisation des eaux du barrage en irrigation, les teneurs de la DBO₅ de ces dernières sont acceptables et ne dépassent pas la norme. Dosé uniquement pour la 3^{ème} campagne, on remarque une augmentation progressive de l'amont vers la digue du barrage, ce qui implique une faible dégradation de la matière organique par les bactéries en profondeur et limite l'autoépuration des eaux du barrage, qui va éventuellement détériorée par conséquent la qualité de ces eaux (Fig. 39).

3. Interprétation des analyses physico-chimiques et bactériologiques

D'après les résultats obtenus dans les trois points étudiés pour les trois campagnes de prélèvement on remarque :

3.1. E-Coli

L'absence totale d'E-Coli des germes pathogènes dans les trois campagnes, les eaux usées ne constituent pas une menace pour l'utilisation des ces eaux en irrigation (Tableau 7).

Tableau.7 - Les résultats d'E-Coli du barrage de Guenitra

Paramètre	1 ^{ère} Campagne	2 ^{ème} Campagne	3 ^{ème} Campagne
E-Coli	-	-	-

(-) Absence

3.2. Coliformes Totaux et Fécaux et Streptocoque fécaux

La présence de coliforme totaux, fécaux et streptocoques fécaux avec un très faible pourcentage indique la bonne qualité bactériologique de l'eau du barrage Guenitra pour l'utilisation en irrigation, (Tableau 8).

Tableau 8 - Les résultats de coliforme totaux, fécaux et streptocoque fécaux

Paramètre	1 ^{ère} Campagne	2 ^{ème} Campagne	3 ^{ème} Campagne
Coliformes totaux	100<-	100<-	100<-
Coliformes fécaux	100<-	100<-	100<-
Streptocoque s	100<-	100<-	100<-

4. Faciès chimiques

La méthode des balances ioniques permet de contrôler la qualité des analyses effectuées sur les éléments majeurs. Cette démarche de validation est un préalable indispensable à la présentation des résultats d'analyse et à leur interprétation. Le calcul des balances ioniques se fonde sur la relation suivante :

$$\text{NICB} = 100 * \frac{[\sum \text{Cations} - \sum \text{anions}]}{[\sum \text{cations} + \sum \text{anions}]}$$

Où :

- NICB (Normalized Inorganic Charge Balance) : La balance ionique exprimée en pourcentage,
- \sum Cations : La somme des cations (unités en meq/l),
- \sum Anions : La somme des anions (unités en meq/l).

La balance ionique est l'expression d'une différence entre les charges positives (cations) et les charges négatives (anions). La théorie physique suppose la neutralité des charges au sein des échantillons d'eau, c'est-à-dire une égalité entre la somme des charges positives (cations) et la somme des charges négatives (anions). La balance ionique de tout échantillon d'eau doit donc nécessairement être proche de 0%.

Tout écart doit ainsi être interprété comme un biais induit lors de l'analyse. En règle générale, les résultats des analyses sont considérés de la manière suivante :

- $-1\% < \text{NICB} < +1\%$: Fiabilité des résultats d'analyses excellente.
- $-5\% < \text{NICB} < +5\%$: Fiabilité des résultats d'analyses acceptable.
- $-10\% < \text{NICB} < +10\%$: Fiabilité des résultats d'analyses médiocre.
- $\text{NICB} < -10\%$ ou $\text{NICB} > +10\%$: Mauvaise fiabilité des résultats d'analyses.

A l'aide du digramme de Piper (1944) ont pu montrer les différents faciès des eaux souterraines se résument comme suit :

- Les eaux du barrage possèdent un faciès chloruré, sulfato-calcique et magnésien pour les échantillons d'eau de la 1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} campagne (Fig. 41, 42 et 43).

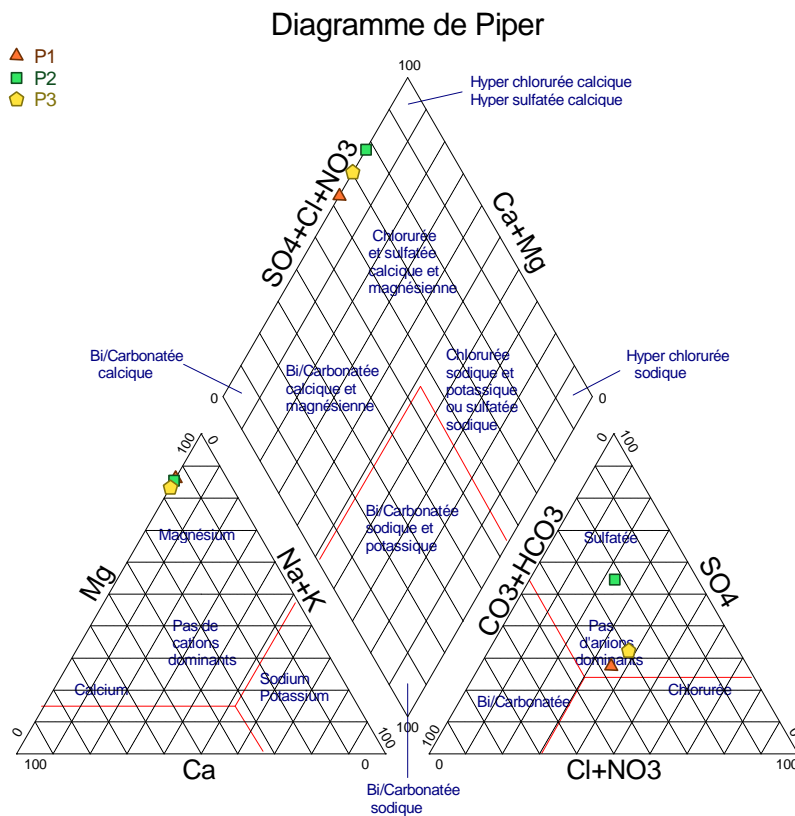


Fig. 41- Faciès chimiques des eaux de la 1^{ère} campagne d'après le diagramme de Piper.

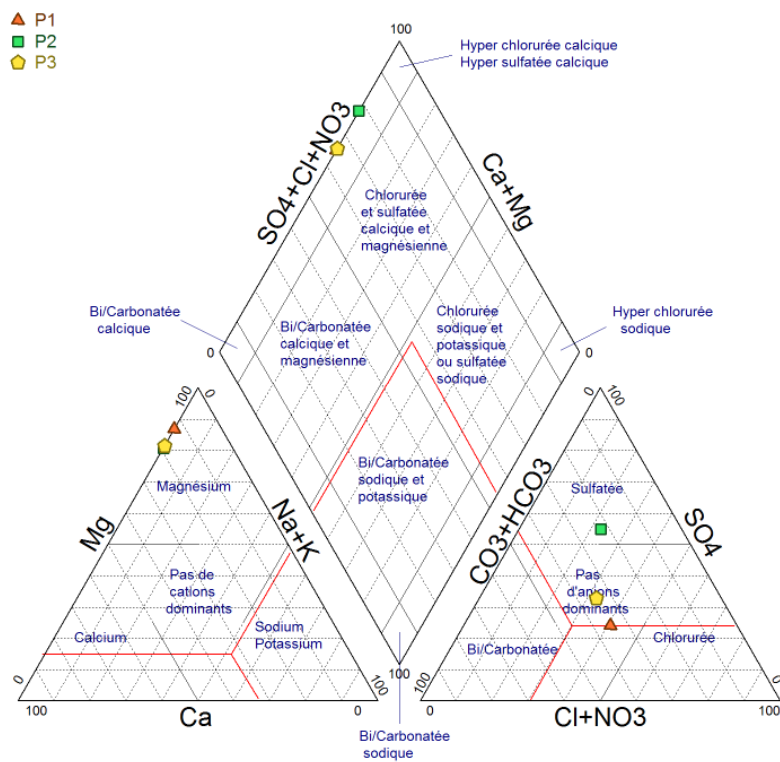


Fig. 42- Faciès chimiques des eaux de la 2^{ème} campagne d'après le diagramme de Piper.

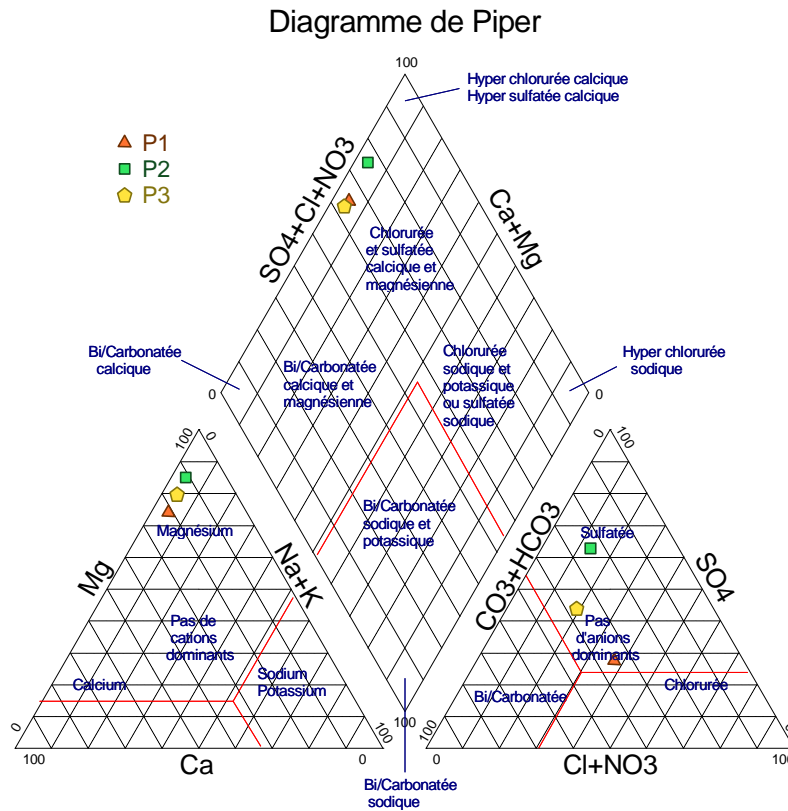


Fig. 43- Faciès chimiques des eaux de la 3^{ème} campagne d'après le diagramme de Piper.

Par le diagramme de **Schoeller-Berkaloff** ; on peut trouver les faciès suivants :

- **1^{ère} Campagne (Fig. 44) :**
 - Point P1 à l'amant du barrage, faciès bicarbonaté magnésien ;
 - Point P2 au centre du barrage, faciès sulfaté magnésien ;
 - Point P3 à la digue du barrage, faciès chloruré magnésien.
- **2^{ème} Campagne (Fig. 45) :**
 - Point P1 à l'amant du barrage, faciès chloruré magnésien ;
 - Point P2 au centre du barrage, faciès sulfaté magnésien ;
 - Point P3 à la digue du barrage, faciès bicarbonaté magnésien.
- **3^{ème} Campagne (Fig. 46) :**
 - Point P1 à l'amant du barrage, faciès chloruré magnésien ;
 - Point P2 au centre du barrage, faciès sulfaté magnésien ;
 - Point P3 à la digue du barrage, faciès sulfaté magnésien.

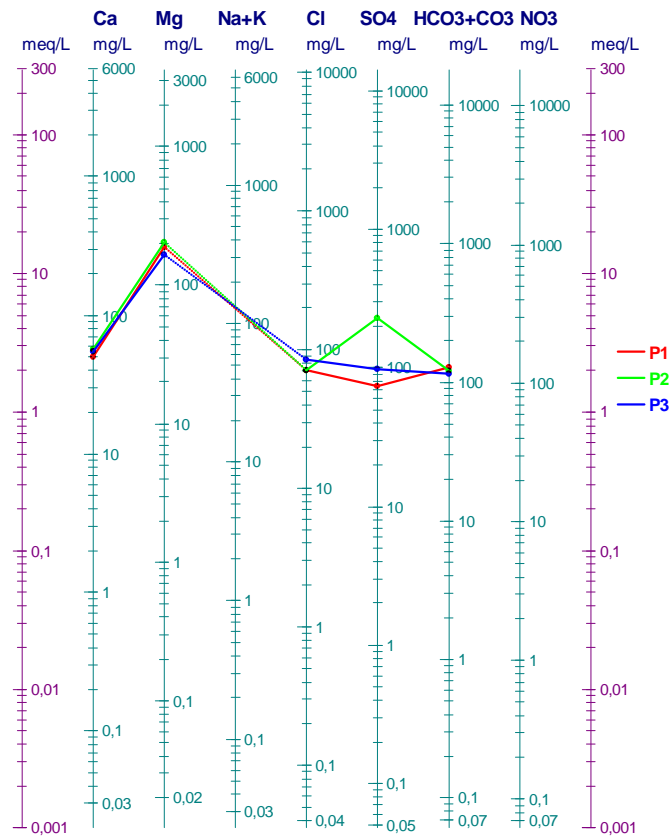


Fig. 44- Faciès chimiques des eaux de la 1^{ère} campagne d'après le diagramme de Schoeller-Berkaloff.

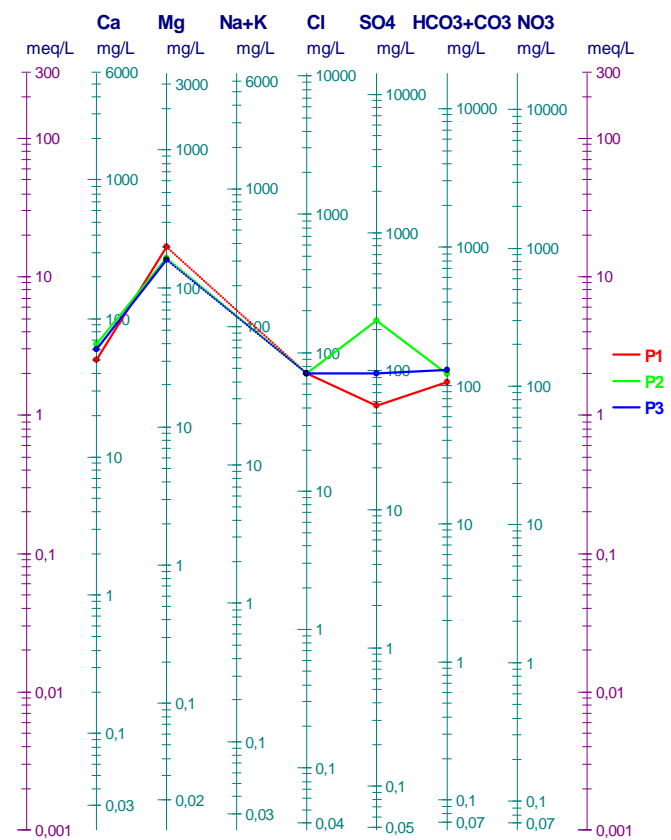


Fig. 45- Faciès chimiques des eaux de la 2^{ème} campagne d'après le diagramme de Schoeller-Berkaloff.

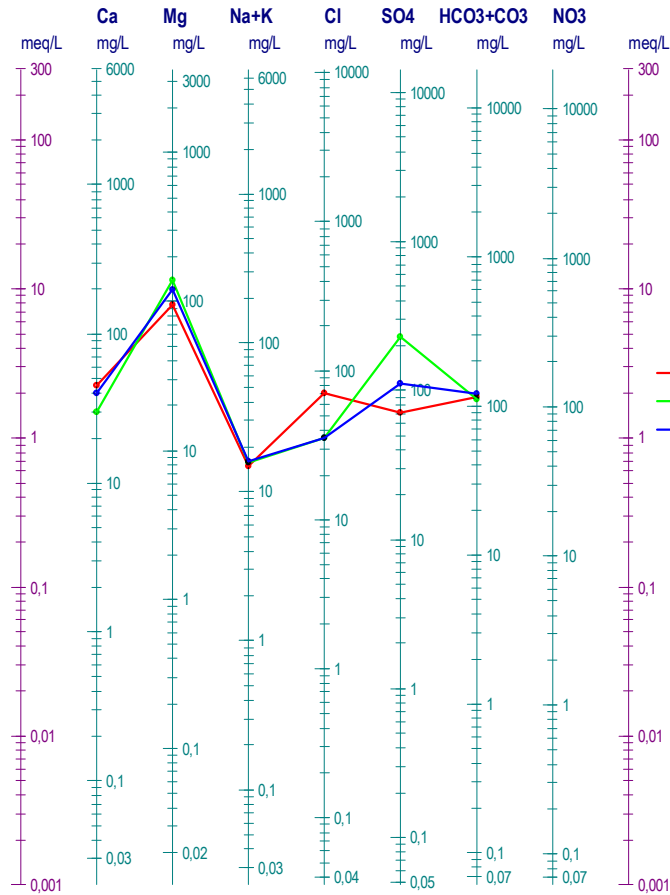


Fig. 46- Faciès chimiques des eaux de la 3^{ème} campagne d'après le diagramme de Schoeller-Berkaloff.

5. Qualité des eaux du barrage de Guenitra pour l'utilisation en irrigation

Irriguer des cultures ou des espaces verts qui utilisent toute sorte d'eau n'est pas une opération négligeable. En effet, l'eau peut transporter une pollution qui peut engendrer tant de problèmes, notamment des menaces pour la santé publique, la conservation des sols, la protection de l'environnement et des écosystèmes, qu'il ne faut pas les sous-estimer ni exagérer (Boudjebieur, 2022).

Suite à des contraintes de réalisation des analyses du Sodium et du Potassium ; seulement les résultats issus à partir de la 3^{ème} campagne sont utilisés pour déterminer la qualité des eaux en irrigation du Barrage de Guenitra par les méthodes de Wilcox, Richard, SAR, et l'Indice de Perméabilité (IP).

5.1. Les facteurs déterminant l'usage agricole de l'eau

Pour classer l'eau destinée à l'irrigation, il faut combiner les éléments chimiques présents dans l'eau avec la conductivité. Nous allons donner un aperçu sur ces méthodes. Nous présenterons un aperçu de ces méthodes, en commençant par :

5.1.1. Le Rapport D'adsorption du Sodium (SAR)

Paramètre chimique important pour estimer la suffisance de l'eau pour l'irrigation à titre de teneur en sodium ou de risque alcalin pour les cultures, qui est exprimé en taux d'adsorption de sodium (SAR). Les ions calcium et magnésium sont importants étant donné qu'ils ont tendance à contrer l'effet du sodium.

Une concentration plus élevée de SAR entraîne une dégradation de la structure physique du sol (Tableau 9). Le sodium est adsorbé et s'attache aux particules de sol. Le sol devient alors dur et compact lorsqu'il est sec et imperméable à la pénétration de l'eau (Wilcox, 1948).

Le **SAR** est calculé à partir du rapport sodium sur calcium et magnésium, il est défini par la relation suivante :

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/2}}$$

Ca^{2+} , Mg^{2+} et Na^+ sont exprimés en meq/l. les résultats sont représentés dans le tableau 10.

Tableau 9- Le risque du SAR dans l'eau d'irrigation.

SAR		Notes
Nul	< 3.0	Pas de restriction sur l'utilisation d'eau
Léger à modéré	3.0 - 9.0	Entre 3 et 6, une attention particulière doit être portée sur les récoltes sensibles. Entre 6 et 8 du gypse doit être utilisé. Récoltes non sensibles. Des échantillons de sol doivent être prélevés et examinés tous les 1 ou 2 jours pour déterminer S'il y a une augmentation des teneurs en Sodium.
Elevé	> 9.0	Domage sévère.

Tableau 10- Résultats du SAR des eaux du barrage de Guenitra pour la 3^{ème} campagne.

Points	Ca (meq/l)	Mg (meq/l)	Na (meq/l)	SAR	Résultats
P1	2	10	0,3	0.12	Pas de restriction sur l'utilisation d'eau
P2	1,5	11,66	0,28	0.1	Pas de restriction sur l'utilisation d'eau
P3	2	10	0,3	0.12	Pas de restriction sur l'utilisation d'eau

5.1.2. Pourcentage de sodium (%Na)

Le pourcentage de sodium (% Na) est aussi largement utilisé pour évaluer la qualité de l'eau à des fins d'irrigation. L'excès de sodium dans les eaux souterraines entraîne des effets indésirables, car le pourcentage de Na⁺ réagit avec le sol pour réduire sa perméabilité et favorise une croissance faible voire nulle de la plante. Le pourcentage Na est calculé en respectant les proportions relatives des cations présents dans l'eau, où les concentrations d'ions sont exprimées en méq/l :

$$\text{Na \%} = \frac{\text{Na}^+ + \text{K}^+}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+} \quad (\text{en méq/l})$$

Tableau 11- Résultats du %Na des eaux du barrage de Guenitra pour la 3^{ème} campagne.

Points	Ca (meq/l)	Mg (meq/l)	Na (meq/l)	K	% Na (x100)
P1	2	10	0,3	0,22	0,41
P2	1,5	11,66	0,28	0,23	3.73
P3	2	10	0,3	0,23	4,22

Les valeurs calculées de Na% vont de 0.41 % minimum à 4.22 % au maximum, avec % de Na ne devrait pas dépasser 60% dans les eaux d'irrigation.

5.2. Aptitude des eaux à l'irrigation

Deux méthodes ont été adoptées pour la classification des eaux du barrage de Guenitra, cités ci-dessous :

5.2.1. La méthode de Richards (Riverside)

Il met en évidence différentes classes d'eau qui ont été définies sur la base du taux d'absorption de sodium (S.A.R) et sur la concentration de l'eau sous la forme de la conductivité électrique. On peut trouver les classes suivantes :

Tableau 12- Classification de Wilcox.

Degré	Qualité	Classe	L'état d'utilisation
1	Excellente	C1-S1	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart du sol.
2	Bonne	C2-S1 C2-S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel sur sols ayant une bonne perméabilité.
3	Admissible	C3-S1 C3-S2 C2-S3	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
4	Médiocre	C4-S1 C4-S2 C3-S3	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.
5	Mauvaise	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions. Sol très perméables, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel.

Les valeurs obtenues à partir des échantillons analysés ont été reportés sur le diagramme de Richards (Fig. 47).

Tous les échantillons des points d'eau du barrage de Guenitra appartiennent à la classe **C2S1**, **bonne eau d'irrigation**.

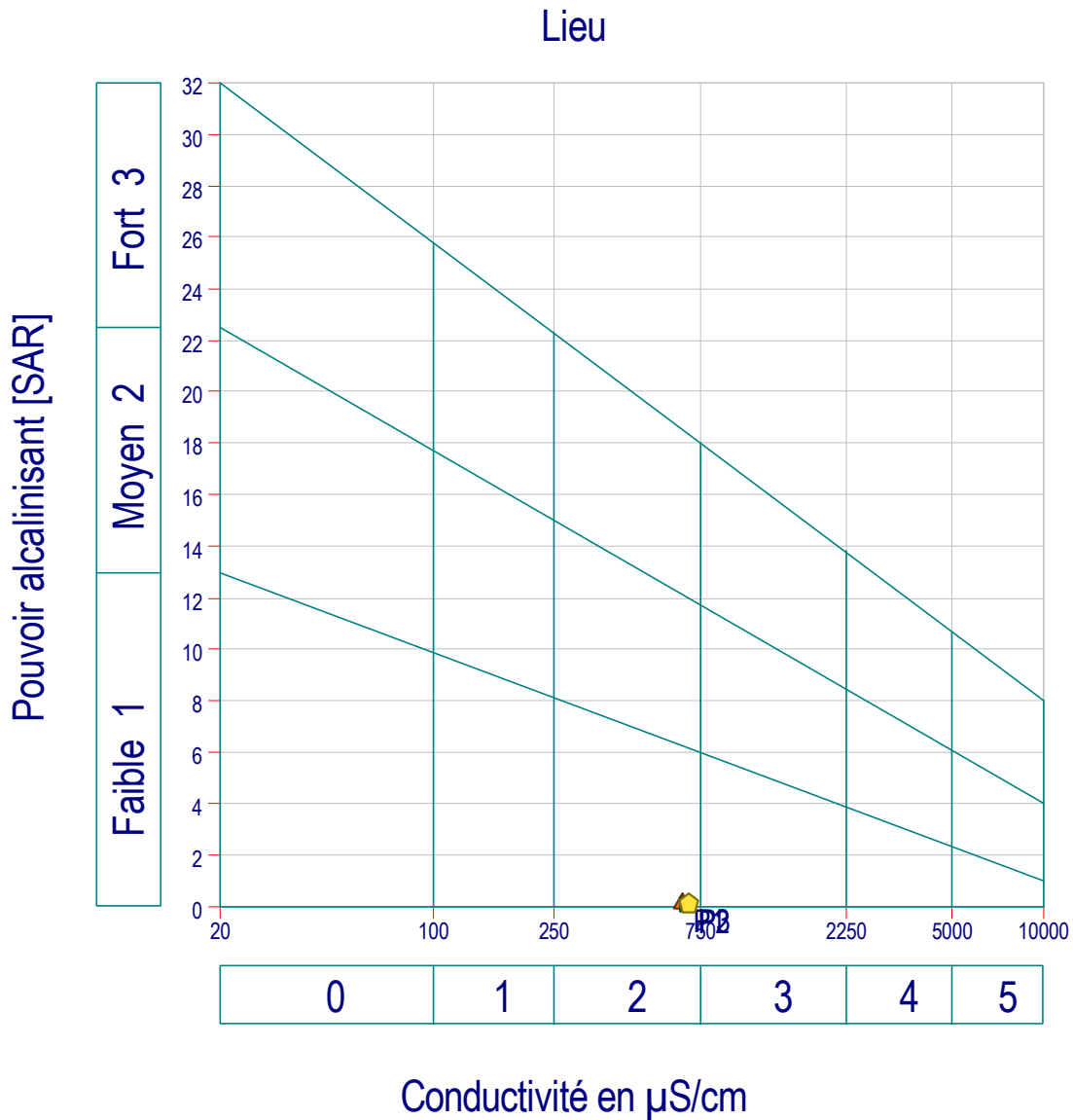


Fig. 47- Classification des eaux d'irrigation par la méthode de Richards (Riverside).

5.2.2. La méthode de Wilcox

Le diagramme de Wilcox est basé sur la formule dite pourcentage de Na+, elle s'écrit :

$$Na\% = \frac{Na^+ + K^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+} * 100$$

La classification de Wilcox est fondée sur la combinaison de la teneur en sodium dans l'eau et la conductivité électrique, généralement connu en %, cette classification définit cinq classes (Tableau 13) : excellente, bonne, admissible, médiocre et mauvaise.

Le diagramme selon la classification de Wilcox (Fig. 48), montre que les eaux du barrage de Guenitra appartiennent à la classe : **Excellente**, ce qui confirme leur bonne utilisation comme eau d'irrigation.

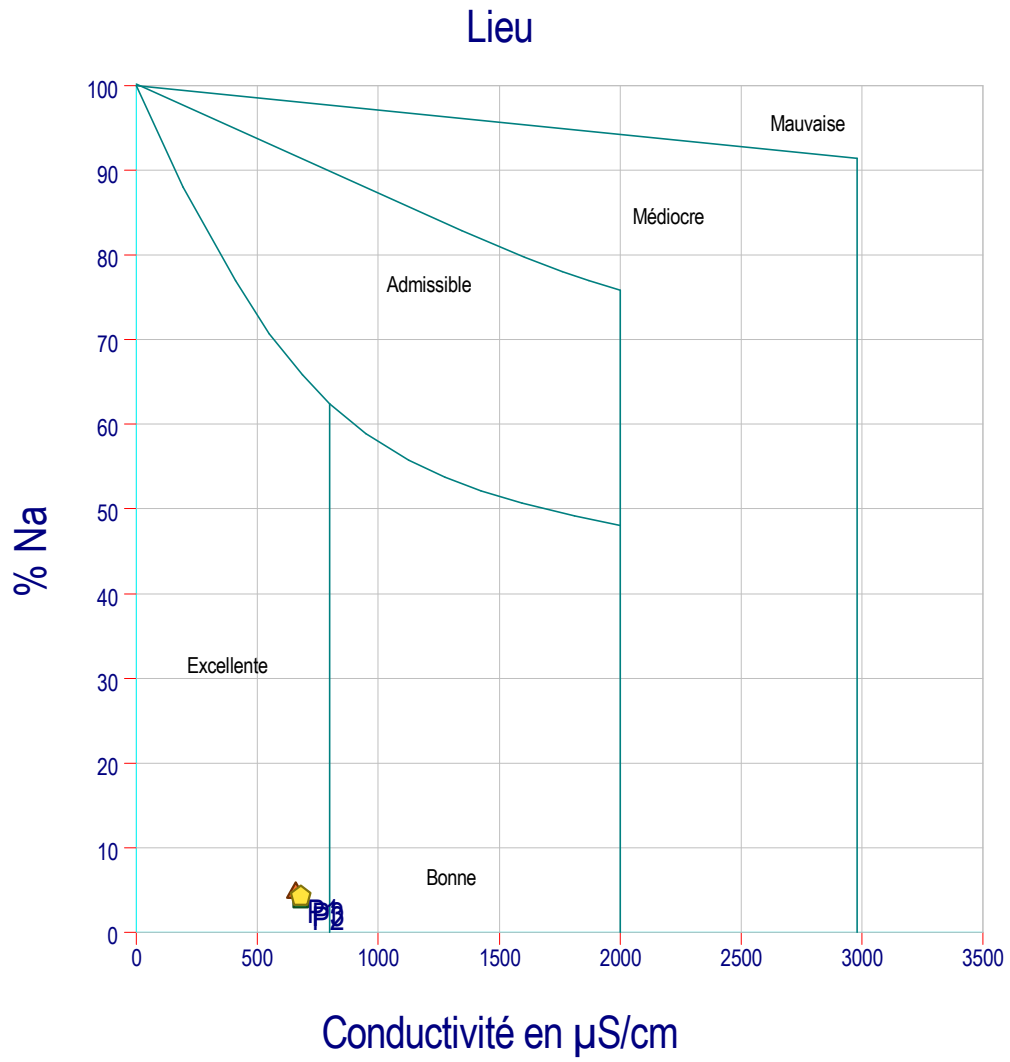


Fig. 48- Classification des eaux d'irrigation par la méthode de Wilcox.

Conclusion générale

Le barrage de Guenitra situé dans le sous bassin versant de l'Oued Guebli du Côtiers Constantinois Centre est localisé dans la commune d'Oum Toub à l'Ouest du chef lieu de la Wilaya de Skikda, il est considéré comme le plus grand barrage selon sa capacité brute de 125 millions m^3 parmi les trois autres barrages de la wilaya. A cause des faibles précipitations ces dernières années, leur taux de remplissage jusqu'Avril 2023 est de 49.154 millions de m^3 . Il est construit sur le lit de l'Oued Fessa qui constitue le principal cours d'eau qui alimentant ce barrage, dans un point de cote 110 m et avec un sous bassin versant d'environ 202 km^2 caractérisé par un réseau hydrographique important ($4.04 km/km^2$) les autres affluents sont Oued Charfa qui longe au pied d'un relief escarpé la limite Est du sous bassin versant, Oued Mégramène et Oued Mellouh, entre lesquels est situés le village d'Oum Toub, Oued Essouk, parcourant la zone minière de Sidi Kamber dont la pente est la plus élevée, le taux d'envasement annuel est de l'ordre de $0.35 hm^3/an$. Le domaine forestier et le domaine agricole occupent la majorité de la superficie totale. Cette prédominance affirme la vocation et la tradition rurale du SBV du Guebli. La région manque d'installations industrielles et ne se caractérise par aucune activité industrielle connue.

Contrairement au Nord magmatique et métamorphique, en rencontre dans la partie sud de la Wilaya de Skikda où se localise le barrage de Guenitra un changement de faciès important d'où l'affleurement de grandes couvertures de couches sédimentaires caractérisée surtout par des formations carbonatées avec alternances de couches argileuses et gréseuses qui recouvrent le socle Kabyle métamorphique.

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 ce barrage, qui ne cesse de se 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 à long terme si cette situation persiste.

Dans le but de ce suivi qualitatif et spatio-temporel des eaux du barrage de Guenitra, trois campagnes de prélèvement des eaux superficielles ont été exécutées suivant trois points d'échantillonnage distribués en amont, au centre et la digue.

Les résultats obtenus montrent que les eaux du barrage sont de bonne qualité pour leur utilisation en irrigation, néanmoins, quelques paramètres possèdent des teneurs supérieures à

la norme, mais ne constituent pas un danger grave immédiat sur les sols et les plantes comme :

- La turbidité : les eaux du barrage 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 du barrage 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 affluents 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.
- Le magnésium : qui constitue l'un des minéraux de la dureté de l'eau avec le calcium, son apport provient ainsi du lessivage des couches géologiques carbonatés (calcaires, dolomies et marnes) de la région.

La détermination des faciès chimiques par les différentes méthodes après l'analyse des paramètres physicochimiques des eaux du barrage de Guenitra montre que :

- Par le digramme de Piper le faciès chimique dominant des eaux du barrage est chloruré, sulfato-calcique et magnésien pour les échantillons d'eau de la 1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} campagne.
- Par le diagramme de Schoeller-Berkaloff ; on peut trouver les faciès suivants : pour la 1^{ère} campagne bicarbonaté, sulfaté et chloruré magnésien. Pour la 2^{ème} campagne chloruré, sulfaté et bicarbonaté magnésien. Pour la 3^{ème} campagne faciès chloruré et sulfaté magnésien;

La détermination de la qualité des eaux du barrage de Guenitra pour l'utilisation en irrigation basée sur la teneur en sels alcalins, alcalino-terreux et la conductivité montre que :

- Le Rapport D'adsorption du Sodium (SAR) est inférieur à 3, ce qui indique pas de restriction sur l'utilisation d'eau en irrigation.
- Le Pourcentage de sodium (%Na) est très faible inférieur à 60%, bonne qualité.
- La méthode de Richards (Riverside) : montre que tous les échantillons des points d'eau du barrage de Guenitra appartiennent à la classe C2S1, bonne eau d'irrigation.
- La méthode de Wilcox : montre que les eaux du barrage de Guenitra appartiennent à la classe : Excellente, ce qui confirme leur bonne utilisation comme eau d'irrigation.

Dans la cadre de la protection de la qualité des eaux du barrage des mesures de protection doivent être prise en considération tel que :

- Sensibiliser le public pour protéger ces ressources en eau ;
- Informer les agriculteurs sur l'utilisation rationnelle d'engrais et de pesticides aux alentours du barrage pour réduire les risques de pollution des eaux ;
- 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 ;
- Surveillance continue des autorités responsables et application des consignes pour constituer un périmètre de protection et confirmation de la nécessité de respecter les règles.

Références Bibliographiques

Aberkane M, (2011). Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux d'un écosystème lacustre cas de Garaet hadj Tahar (Skikda), Université 8 Mai 1945 Guelma, mémoire de Master.

AFNOR, (2000). Qualité de l'eau. Détermination de l'indice biologique diatomées (IBD)-Norme NF T 90-354, p63.

ANRH (2000). Cahier de l'Agence Nationale des Ressources Hydrique, n°04,

Belhadj, M-Z. (2017). Qualité des eaux de surface et leur impact sur l'environnement dans la wilaya de Skikda, Thèse de Doctorat, Université Mohamed Khider-Biskra.

Ben Rabah S., (2006). Etat actuel des ressources en eau dans la wilaya de Skikda (essai de synthèse) bilan – gestion – perspective. Mémoire de magister, Université d'Annaba, 209p.

Bira B., Chaouche N., Messisha S. (2018). Variations spatiales et temporelles de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de l'Oued Guebli, dans la région de Tamalous, Skikda. Mémoire de Master, Université de Skikda.

Bouanani A. (2005). Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW-Algerie). Thèse de Doctorat d'état en géologie appliquée : Université. Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 250p.

Boudjebieur E. (2022). Modélisation de la gestion des eaux dans la région de Guelma (moyenne Seybouse). Thèse e Doctorat LMD, Université Badji Mokhtar –Annaba

Bouillin J. P. et Kornprobst J. (1974). Associations ultrabasiqes 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.

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.

Chaoui M. (2013).Contribution a l'étude de laqualité physico-chimique et métallique des eaux de surface (oued Moulouya/barrage Hassan n) au voisinage de lamine abandonnée Zeïda (haute Moulouya).Mémoire de Master, Université Cadi Ayyad.

Direction du Développent Agricole les zones Aride et semi-arides. (2013). Conseille pratiques pour l'investissement en irrigation. Conception d'un projet d'irrigation. S/DTI DDAZASA (MADR). 17p.

Djaballah Aouat A., Elkenz S. (2018). Etude de l'évolution spatiale et temporelle de la qualité physicochimique des eaux des barrages Guenitra, Oum-Toub.

Djaffar S ., Kettab A. (2018) Algerian Journal of Environmental Science and Technology April edition. Vol.4. No1. (2018).

Djemai I.,(2013). Comportement des éléments chimiques dans les eaux de surface du barrage de Foug el Gueiss (Est-Algérie). Mémoire de magister, Univ. Batna, 105p.

Domzig A. (2006). Déformation active et récente, et structuration tectono-sédimentaire de la marge sous-marine algérienne. Thèse de Doctorat, Université de Bretagne Occidentale 332p.

Doneen, L.D. (1964) Water Quality for Agriculture. Department of Irrigation, University of California, Davis, 48 p.

Festy B .,HARETMANN p .,Ledrans M .,Levallois P.,Payment P.,Tricard D.(2003) Qualité de l'eau .In environnement et santé publique -fondements et pratiques,pp.33-368.

Gennin B., Chauvin C., Menard F., (2003). Cours d'eau et indices biologiques : pollution, méthodes, IBGN ; 2ème édition : 221p.

Guergueb M ., Ferhat A.(2021).Journal of advanced F.conomie Research.El oued university. Eloued. Algeria. Vol 06.Issue 01. June 2021.

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.

Kherbache N. (2020). Water policy in Algeria: limits of supply model and perspectives of water demand management (WDM). Desalination and Water Treatment, 180:141-155. DOI:10.5004/dwt.2020.25009.

Labar S., (2009). Evaluation de la pollution des eaux souterraines dans un milieu industriel (Cas de la zone industrielle de Skikda, N.E. algérien. Thèse de doctorat, Université d'Annaba, 168p.

Leyral G, Ronnefoy C, Guillet F. (2002). Microbiologie et qualité des industries agroalimentaire. Ed. Doin, Paris, 245p.

Maynard, D.N. and Hochmuth G.J.(1997). Knott's handbook for vegetable growers, fourth edition.Wiley, New York, NY.

Mecibah I. (2017). Les ressources en eau et gestion intégrée du bassin versant d'Oued Guebli (Nord-Est Algérien). Thèse de doctorat, univ. D'Annaba, 314p.

Mekaooussi N. (2014). Comportement des éléments chimique dans les eaux de surface de hammam Debagh (Est Algérien). Mémoire de Magister. Université Hadj Lakhdar- Batna.

Merabet S. (2010). Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux brutes et distribuées du barrage réservoir de Beni Haroun, mémoire de Magister, université de Constantine.

Normes marocaines des eaux d'irrigation : https://www.eau-tensift.net/fileadmin/user_files/pdf/publications/3_Irrigation.pdf. site consulté le 20/05/2023.

Osuolal O., Okoh A. (2017). Human enteric bacteria and viruses in five wastewater treatment plants in the Eastern Cape, South Africa. *Journal of Infection and Public Health* 10, 541–547. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2016.11.012>.

Ouar A., Satouh A., Sayoud C. (2022). Etude comparative de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux des barrages de Guenitra et Beni Zid (Wilaya de Skikda). Mémoire de Master, université de Skikda,

Peterson, H.G. Water quality and Micro-irrigation for Horticulture, Agriculture et Agroalimentaire Canada. http://www.agr.gc.ca/pfra/water/microirr_e.htm 4p.

Peterson, H.G. Water quality and Micro-irrigation for Horticulture, Agriculture et Agroalimentaire Canada. http://www.agr.gc.ca/pfra/water/microirr_e.htm 4p.

Raoult J.-F. (1974). Géologie du centre de la Chaîne numidique: Nord du Constantinois, Algérie. Thèse Paris. . Mém. Soc. géol. Fr., 163 p.

RICHARDS L.A., sous la direction de (1954) - Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Édit. US Department of Agriculture, Agricultural Handbook n° 60, Washington (USA), 160 p.

Rodier .J. 2005. L'analyse de l'eau eaux naturelles eaux résiduaires eaux de mer .9^{ème} édition du nod Paris p 66.

Rodier J, Legube B, Merlet N. et coll. (2009). L'analyse de l'eau, 9^{ème} édition, Dunod , Paris, 1579p.

Rodier, J. (2005). L'analyse d'eau. 5^{ème} édition. Dunod, Paris.

Sacchi C.F., Testard P. (1971). Ecologie animale (organismes et milieu). Edition Doin, 480p.

SEQ-EAU (système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'Eau). Grilles d'évaluation version 2, 21 mars. Ministère de l'agriculture du Canada, 40p.s

Souleyman S ., Bengrina M., Mahcene Z (2020) L'innovation une problématique de la gestion de l'eau en Algérie Innovation a problem of water management in Algeria .El Wahat pour les Recherches et les Etudes Vol.13 (N°1)/ (2020) :1264-1285. Thèses de Doctorat. Université d'Annaba.

United Nations Environment program (UNEP). (2005). Lignes méditerranéenne. UNEP (DEC/MED WG. 264/9. 73P.

Villa, J. M. (1980). La chaîne Alpine d'Algérie orientale et des couffins Algéro-Tunisiens. Thèse doctorat d'état, Université Paris VI, 3 volumes, 650p.

Wilcox L.V. (1948) - The quality of water for agricultural use. Édit. US Department of Agriculture, Technical Bulletin, vol. 962, Washington (USA), 40 p.

Nom et prénom : -BOUBETTA Kawther

- BOUGHAZI Nesrine

- BOULOUDNINE Souad

-BOUSSAIDA NADJAT

Titre : Étude de l'évolution des paramètres de la qualité des eaux en irrigation du barrage de Guenitra (Oum Toub)

Résumé : Il est très utile d'exploiter toutes les ressources hydriques d'une façon rationnelle pour lutter contre la sécheresse qui se développe en Algérie d'une année à l'autre, le barrage de Guenitra situé dans la commune d'Oum Toub vers l'Ouest du chef-lieu de la wilaya de Skikda est considéré comme le plus grand parmi les quatre barrages en exploitation de région, il sert à l'alimentation en eau potables de plusieurs communes de populations importantes ainsi que sa vaste alimentation en eau de l'utilisation industrielle et l'irrigation agricole. Suite à son vaste et multitudes usages, le suivi de la qualité de ses eaux semble indispensable pour les préserver contre toute éventuelle pollution. Dans ce chemin, la présente étude concerne à enquêter sur les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques pour déterminer le développement de la qualité des eaux superficielles brutes du barrage de Guenitra. Les prélèvements d'échantillons effectués dans les trois points ; à l'entrée, au centre et à la digue de ce barrage effectués pour les différentes campagnes durant les mois de mars, avril et mai 2023, ont montrés que les eaux du barrage ont une acceptable et bonne teneur en pH, Température, Conductivité Electrique, Cl⁻, Ca²⁺, TAC, TA, PO₄³⁻, NH₄⁺, NO₂⁻, SO₄⁻², DBO₅, Na⁺, K⁺ et germes pathogènes, alors qu'elles sont vulnérables à la pollution en d'autres comme le Turbidité, Mg²⁺, THt et Matière Organique. La détermination de la qualité des eaux du barrage de Guenitra pour l'utilisation en irrigation basée sur la teneur en sels alcalins, alcalino-terreux et la conductivité montre qu'elles ont un bon Rapport D'adsorption du Sodium (SAR) et Pourcentage de sodium, elles sont bonnes à excellentes eau d'irrigation selon les diagrammes de Richard et de Wilcox.

Mots clés : *Barrage Guenitra, Irrigation, Qualité, Norme, Eau, Teneur.*

Année Universitaire : 2022/2023