

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة سعيدة د. مولاي الطاهر

UNIVERSITÉ DE SAÏDA - Dr. MOULAY TAHAR

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Civil et d'Hydraulique



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du Diplôme de MASTER en Hydraulique

Spécialité : Hydraulique Urbaine

**Étude de qualité des eaux du barrage Sarno de Sidi Hamadouche willaya
de Sidi Bel Abbés.**

Présenté par :

BOUAUDJA Abdelmoumene

BOUZIDI Messaouda

Soutenu le 25 / 06 / 2025, devant le jury composé de :

M me KIES SouadPrésidente

M me HAKEM MebarkaExamineur

M me DIAF MeriemEncadreur

Année universitaire 2024/2025

Remerciements et reconnaissance

"Grâce à Dieu qui nous a donné la force et la détermination, et a facilité notre chemin vers la connaissance, c'est par Lui que nous trouvons de l'aide et c'est par Lui que nous accomplissons, et à Lui revient toute louange pour l'achèvement de ce travail."

*J'exprime mes plus sincères remerciements et ma gratitude à la docteure superviseurice **Diaf Mariem**, pour le soutien et les conseils qu'elle a offerts tout au long de la préparation de ce mémoire.*

Je tiens également à remercier et à exprimer ma reconnaissance aux membres du comité de discussion pour leur intérêt et leurs précieuses remarques.

Je ne manque pas d'exprimer ma gratitude à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail, en particulier à ceux qui dirigent le laboratoire d'analyses

Le directeur du Centre Algérien de Contrôle de la Qualité et de l'Emballage - CACQE, branche de Saïda, et à l'Algérienne des Eaux pour leur coopération et la fourniture des moyens et des données nécessaires.

*Que Dieu vous récompense pour tout le bien que vous avez fait pour nous.
Merci.*

Messaouda
Bouaoudja Abdelmoumene

(وَأَخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنْ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ ﴿٢٠﴾)

Dédicaces

*À ma chère famille, qui a toujours été mon pilier et ma source de force
À ma mère bien-aimée, le paradis de mon cœur et la douceur de ma vie.*

Mon père

Bouzidi Boualam, lumière de mes yeux et soutien indéfectible.

Ma fille précieuse

Ouidjdane Soulef, battement de mon cœur,

À mon mari

Bouakka Mohamed, fidèle compagnon de route et moitié de mon âme.

À mes frères et sœurs

*Khalfa Allah, Fatima Zahra, Karima, Salih, Nadia et Mohamed, vous êtes
mon appui dans cette vie.*

Aux enfants qui embellissent nos journées

*la fille de ma tendre sœur Hoda, Zine El-Din, Radwan, Karim, et notre jolie
fleur, Marwa Alaa.*

*Je tiens à adresser une pensée toute particulière et pleine de reconnaissance
à ma sœur bien-aimée, Mekki Kheira Nour El Huda, lumière de mes débuts,
compagne fidèle et premier soutien à chaque étape. Grâce à elle, après Dieu,
ce travail est passé de l'espoir à la concrétisation.*

Je n'oublie pas mes chères amies

Naïma et Aïcha.

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude à

Mlle Ali M. Moulay et M. Aïmer Karim

Par :Bouzidi Messaouda

(وَأَخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنْ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ ﴿٢٠﴾)

Dédicaces

À ma chère mère, source infinie d'amour, de tendresse et de prières,

toi qui as bercé mes pas et illuminé mon chemin,

Reçois ma gratitude éternelle. Tu es le cœur de ma force et la lumière de ma vie.

À mon père bien-aimé, exemple de sagesse, de courage et de patience,

merci pour ton soutien constant et ta confiance en moi.

Ce que je suis aujourd'hui, je te le dois en grande partie.

À mon frère adoré, Mohamed, compagnon fidèle de chaque étape,

merci pour ta présence rassurante, ton écoute sincère,

et ton appui silencieux mais puissant. Tu es un pilier dans ma vie.

Par : Bouaoudja Abdelmoumene

Résumé

La surveillance de la qualité des eaux de surface est essentielle pour préserver la santé publique et l'équilibre écologique, en particulier face à l'augmentation des sources de pollution. Dans ce contexte, cette étude vise à évaluer la qualité de l'eau du barrage de Sarno, situé dans la commune de Sidi Hamdouche, wilaya de Sidi Bel Abbès, pendant les mois de mars, avril et juin, à travers l'analyse des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques, et en les comparant avec les normes algériennes et internationales.

Les résultats des analyses ont révélé des déséquilibres évidents, notamment en juin, où des valeurs anormalement élevées ont été observées. Une augmentation significative de la turbidité et de la conductivité électrique a été enregistrée, ainsi que des dépassements importants dans les concentrations de plusieurs paramètres tels que le magnésium, les matières organiques, l'ammonium, les phosphates, les nitrites, et une diminution notable de l'oxygène dissous. Ces anomalies étaient particulièrement marquées en juin, où les résultats ont largement dépassé les normes nationales et internationales. Les analyses microbiologiques ont également révélé une contamination bactérienne aiguë, représentée par des coliformes fécaux (*E. coli*), des streptocoques fécaux et *Clostridium sulfito-réducteurs*.

Les résultats de l'étude montrent que les eaux du barrage de Sarno ne respectent pas les normes en vigueur, ce qui nécessite la mise en place de mesures urgentes, telles que l'identification des sources de pollution, le renforcement des mécanismes de traitement et de surveillance, afin de garantir la sécurité de ces ressources et leur utilisation future.

Mots-clés :

Barrage de Sarno, Sidi Bel Abbès, qualité de l'eau, pollution physique et chimique, pollution bactérienne, normes de potabilité, santé publique.

الملخص

تعد مراقبة جودة المياه السطحية أمرًا بالغ الأهمية للحفاظ على الصحة العامة والتوازن البيئي، خصوصًا في ظل تزايد مصادر التلوث. في هذا السياق، تهدف هذه الدراسة إلى تقييم جودة مياه سد سارنو في بلدية سيدي حمروش، ولاية سيدي بلعباس، خلال شهر مارس وأبريل ويونيو، من خلال تحليل الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية، ومقارنتها مع المعايير الجزائرية والدولية.

أظهرت نتائج التحاليل وجود اختلالات واضحة، خاصة في شهر يونيو، حيث تم تسجيل قيم مرتفعة بشكل ملحوظ. تم ملاحظة زيادة كبيرة في العكارة والموصلية الكهربائية، بالإضافة إلى تجاوزات كبيرة في تركيز العديد من المعايير مثل المغنيسيوم، المواد العضوية، الأمونيوم، الفوسفات، النيتريت، وانخفاض كبير في الأوكسجين المذاب. كانت هذه الاختلالات أكثر وضوحًا في شهر يونيو، حيث تجاوزت النتائج بشكل كبير المعايير الوطنية والدولية. كما أظهرت التحاليل الميكروبيولوجية وجود تلوث جرثومي حاد تمثل في وجود الكوليفورمات البرازية، والمكورات العقدية البرازية، و مُخَفِّضَات الكبريتيت.

أظهرت نتائج الدراسة أن مياه سد سارنو لا تتوافق مع المعايير المعمول بها، مما يستدعي اتخاذ تدابير عاجلة، مثل تحديد مصادر التلوث، وتعزيز آليات المعالجة والمراقبة لضمان سلامة هذه الموارد واستخدامها في المستقبل.

الكلمات المفتاحية:

سد سارنو، سيدي بلعباس، جودة المياه، التلوث الفيزيائي والكيميائي، التلوث الجرثومي، معايير صلاحية المياه، الصحة العامة

Abstract

Monitoring the quality of surface waters is essential for preserving public health and ecological balance, especially in light of the increasing sources of pollution. In this context, the aim of this study is to assess the water quality of the Sarno Dam in the municipality of Sidi Hamdouche, Sidi Bel Abbès province, during the months of March, April, and June, through the analysis of physical, chemical, and biological characteristics, and by comparing them with Algerian and international standards.

The results of the analyses revealed clear imbalances, particularly in June, where significantly high values were observed. A substantial increase in turbidity and electrical conductivity was recorded, along with significant exceedances in the concentration of several parameters such as magnesium, organic matter, ammonium, phosphates, nitrites, and a significant decrease in dissolved oxygen. These anomalies were more pronounced in June, where the results greatly exceeded national and international standards. Microbiological analyses also revealed acute bacterial contamination, represented by fecal coliforms (*E. coli*), fecal streptococci, and *Clostridium sulfito-reducteurs*.

The results of the study show that the water of the Sarno Dam does not comply with the applicable standards, requiring urgent measures, such as identifying the sources of pollution, and strengthening treatment and monitoring mechanisms to ensure the safety of these resources and their future use.

Keywords:

Sarno Dam, Sidi Bel Abbès, water quality, physical and chemical pollution, bacterial contamination, potable water standards, public health.

Sommaire

Sommaire

Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
INTRODUCTION.....	
Introduction	2

CHAPITRE I : Généralité

Introduction	4
1. Définition de l'eau.....	4
1.1 Cycle de l'eau.....	4
1.1.1 Le cycle de l'eau dans l'atmosphère	5
1.1.2 Le cycle de l'eau dans le sol.....	5
1.2 L'eau dans la terre	6
1.4 Composition de l'eau	7
1.5 Origine de l'eau.....	7
1.5.1 Les eaux de surface (superficielles)	7
1.5.1.1 Caractéristiques générales.....	7
1.5.1.2 Les barrages en Algérie.....	8
1.5.2.1 Caractéristiques générales des eaux souterraines.....	9
1-6 Les besoins en eau	10
1-6-1 Besoin en eau de boisson.....	10
1.6.2 Besoins domestiques	11
1.6.3 Besoins agricoles.....	12
1.6.4 Besoins industriels.....	12
1. 6.5 Autres besoins en eau	12
1-7 Le prix de l'eau en Algérie	13
Conclusion.....	13

CHAPITRE II : Problèmes et maladies de l'eau

Introduction	15
I. Les problèmes trouvés dans les barrages	15
I.1 L'envasement des barrages	15
I.2 Pollution de l'eau	15
I.2.1 Pollution biologique.....	15
I.2.2 Pollution chimique	16
I.3 Les paramétré de pollution de l'eau barrage.....	16
I.3. 1 Paramètres organoleptiques	17
I.3.1.1 Odeur et saveur	17
I.3.1.2 Couleur.....	17
I.3.1.3 Turbidité.....	17
I.3.2 Paramètres physicochimiques	17
I.3.2.1 La température	17
I.3.2.2 Le pH (potentiel hydrogène).....	18
I.3.2.3 La conductivité (CE).....	18

Sommaire

I.3.2.4 La dureté de l'eau	18
I.3.2.5 Résidus secs	19
I.3.2.6 Oxygène dissous	19
I.3.2.7 Matière organique	19
I.3.2.8 Titre alcalimétrique complet TAC (F°).....	20
I.3.2.9 Magnésium.....	20
I.3.2.10 Calcium	20
I.3.2.11 phosphate (PO_4^{-3})	20
I.3.2.12 Chlorure (Cl^-).....	20
I.3.3 Les différentes formes d'azote.....	21
I.3.3.1 L'Azote ammoniacal (NH_4^+)	21
I.3.3.2 Les nitrates (NO_3^-).....	21
I.3.3.3 Les Nitrites (NO_2^-)	21
I.3.3.4 Evaluation de la qualité des eaux	21
-Le système d'évaluation de la qualité (SEQ-Eau)	21
-Normes et classes de la qualité des eaux superficielles	22
I.3.4 Paramètres microbiologique	23
I.3.4.1 Coliformes fécaux.....	23
I.3.4.2 Coliformes totaux.....	24
I.3.4.3 Escherichia coli	24
I.3.4.4 Streptocoques fécaux	24
I.3.4.5 Définition de Clostridium sulfito-réducteurs	24
I.3.4.6 Définition des germes aérobies totaux	25
I.3.4.7 Qualité bactériologique du l'eau du barrage en algérien	25
-Normes de qualité physicochimique	26
II. Problèmes biologiques et sanitaires en relation avec quelques constituants des eaux	27
II. 1 Les fluorures	27
II. 2 Le sodium	27
II.3 Le plomb.....	28
II. 4 Le cadmium	28
II.5 Les maladies à transmission hydrique (M.T.H).....	28
II.5 .1 Définition.....	28
II.5.2 Les facteurs favorisant la propagation des maladies à transmission hydrique en Algérie	28
II.5.3 Principales maladies d'origine hydrique	29
II.5.3.1 Fièvres Typhoïdes et Paratyphoïdes	29
II.5.3.2 Choléra.....	29
II.5.3.3 Gastro-entérite	29
II.5.3.4 Dysenterie Bacillaire	30
II.5.3.5 Dysenterie Amibienne (Amibiase)	30
II.5.3.6 Giardiases	30
II.5.3.7 Hépatite A.....	30
II.5.4 Les maladies à transmission hydrique en Algérie	30
II.5.5 Les maladies à transmission hydrique dans la wilaya de Sidi Bel Abbès	31

Sommaire

Conclusion.....	32
-----------------	----

CHAPITRE III : Présentation de la zone des études

Introduction	34
I.1 Aperçu sur la wilaya de Sidi Bel Abbes	34
I.2 Présentation de la ville de Sidi Bel Abbes	34
I.2.1 Situation géographique	34
I.2.2 Synthèse climatique	36
I.2.3 Pluviométrie.....	36
III.2.3 Température	36
I.2.4 Vents	36
I.2.5 Situation hydrogéologique	36
I.3 Présentation de commune de Sidi Hamadouche	37
I.4 Description du barrage SARNO	38
I.5 Caractéristique climatique du barrage	39
I.5.1 Pluviométrie.....	40
I.5.2 Température	40
I.5.3 Précipitations.....	40
I.5.3 Diagramme Ombrothermique de Bagnouls	40
Conclusion.....	41

CHAPITRE IV : Matériels et méthodes

Introduction	43
I. Conditionnement et transport des échantillons	43
II. Prélèvement de l'eau	43
III. Prélèvement, transport et conservation	44
III .1 Matériel de prélèvement.....	44
III .2 Transport et conservation	44
IV. Matériel et méthodes	45
IV. 1 Les analyses organoleptiques.....	45
IV. 1.1 Mesure de couleur, l'odeur et saveur.....	45
IV. 1.2 Mesure de la turbidité	45
IV. 2 Analyses physico-chimiques.....	46
IV. 2.1 Mesure de pH et Température.....	46
IV. 2.2 Mesure de la conductivité électrique.....	47
IV. 2.3 Détermination des résidus secs (RS).....	47
IV. 2.4 Mesure dosage des chlorures(Cl^-)	47
IV. 2.5 Mesure d'oxygène dissous	48
IV. 2.6 Mesure d'azote ammoniacal (NH_4^+)	49
IV. 2.7 Mesure Les nitrates (NO_3^-)	49
IV. 2.8 Mesure Dosage du nitrite (NO_2^-).....	50
IV. 2.9 Dosage du phosphate (PO_4^{3-})	50
IV. 2.10 Détermination de la matière organique (MO).....	51
a) Réactifs utilisés	51
b) Matériel nécessaire.....	51
c) Mode opératoire	51

Sommaire

d) Calcul de la concentration en matière organique	51
IV. 2.11 Mesure de la dureté totale TH	52
IV. 2.12 Mesure du magnésienne Mg^{2+}	53
IV. 2.14 Mesure du Titre Alcalimétrique (TA) et du Titre Alcalimétrique Complet (TAC) ...	53
a) Principe	53
b) Réactifs	53
c) Mode opératoire	54
d) Calculs (en option selon ta mention ou ton encadrement)	54
IV. 3 Méthode d'Analyse : Test de Jarres (Jar-Test)	55
a) Objectif de l'expérience	55
b) Principe	55
c) Réactifs.....	55
d) Matériel	55
e) Mode opératoire	55
g) Interprétation des résultats	56
IV. 5 Analyses bactériologiques.....	56
IV. 5 .1 Méthode d'analyse par filtration	56
IV. 5 .2 Recherche des coliformes totaux (CT) et fécaux (CF).....	57
IV. 5 .3 Recherche des streptocoques fécaux	58
IV. 5 .4 Escherichia coli	60
IV. 5 .5 Recherche des germes totaux	60
IV. 5 .6 Recherche des Clostridium sulfito-réducteurs et dénombrement de leurs spores.....	61
Conclusion.....	63

CHAPITRE V : Résultats et interprétations

Introduction	65
I. Caractérisations physico-chimiques.....	65
1.1 La température.....	68
1.2. Le pH.....	68
1.3. La conductivité :.....	69
I.4 Turbidité.....	70
I.5 Résidu sec (RS).....	71
I.6 dosage des chlorures(Cl^-)	71
I.7 Oxygène dissous O_2	72
I.8 Azote ammoniacal (NH_4^+)	73
I.9 Les nitrates (NO_3^-)	74
I.10 Dosage du nitrite (NO_2^-)	74
I.11 Dosage du phosphate (PO_4^{3-})	75
I.12 Matière organique	76
I.13 Dureté totale (TH).....	76
I.14 Titre alcalimétrique complet TAC (F°).....	77
I.15 Magnesium (Mg^{2+}).....	78
I.16 Calcium Ca_{2+}	78
I.16 Solutions proposées selon les paramètres physico-chimiques.....	79
II .Analyses bactériologiques	79

Sommaire

II.1 Germes Totaux à 22°C et à 37°C.....	80
II.2 Coliformes Totaux	80
II.3 Coliformes Fécaux.....	80
II.4 Escherichia coli (E. coli).....	80
II.5 Streptocoques Fécaux	80
II.6 Clostridium sulfito-réducteurs	80
II.7 Spores de Clostridium	80
II.8 Solutions microbiologiques adaptées à la région de Sarno	81
Conclusion.....	82
Conclusion.....	83
Conclusion.....	84
Références Bibliographiques.....	85
Les Annexes	93

Liste des figures

Liste des figures

Figure 1: Cycle de l'eau (USGS, 2023)	6
Figure 2: Répartition de l'eau dans le corps humain.(Guyton and Hall, 2021). ..	11
Figure 3: Évolution des maladies à transmission hydriques en Alger entre 2005-2017. (Organisation mondiale de la santé, 2023).....	31
Figure 4: Carte de localisation de la wilaya de Sidi Bel Abbès (ANAT, 2020)....	35
Figure 5: Situation du barrage Sarno	37
Figure 6: Localisation géographique du Barrage SANO (Wilaya de Sidi Bel Abbés) (ANAT, 2020)	38
Figure 7: Vue photographique du Barrage SARNO (Wilaya de Sidi Bel Abbès - Barrage de Sarno 2018).	39
Figure 8: Diagramme Ombrothermique commune de sidi hamadouche sur 10 ans (2014-2024).....	41
Figure 9: Exemple d'un système simple de prélèvement manuel en eau profonde.	44
Figure 10: Vue sur le barrage Sarno (25 mars 2025 à 11:36H).....	45
Figure 11: Schéma des étapes de recherche de coliforme totaux.....	58
Figure 12: Technique de recherche des streptocoques fécaux.....	59
Figure 13: Technique de recherche des Clostridium sulfito-réducteurs et du dénombrement de leurs spores.	63
Figure 14: Variation de la température.	68
Figure 15: Evolution de pH.	68
Figure 16: Evolution de la conductivité.	69
Figure 17: Evolution de la turbidité.	70
Figure 18: Evolution de la résidu sec (RS).	71
Figure 19: Evolution du dosage des chlorures (Cl-).	71
Figure 20: Evolution de l'oxygène dissous.	72
Figure 21: Evolution azote ammoniacal.	73

Liste des figures

Figure 22: Evolution de nitrate.....	74
Figure 23: Evolution de nitrite.	74
Figure 24: Evolution de dosage du phosphate.	75
Figure 25: Evolution de matière organique.....	76
Figure 26: Evolution de dureté totale.....	76
Figure 27: Evolution de titre alcalimétrique complet.	77
Figure 28: Evolution de magnésium.	78
Figure 29: Evolution de calcium.	78

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1: Répartition du volume d'eau sur terre (2023) (Gleick, 2023).	6
Tableau 2: Principaux ions présents dans l'eau.	7
Tableau 3: Facturation de l'eau en Algérie 2024	13
Tableau 4: Relation entre la minéralisation et la conductivité électrique (Rodier J, 2009).	18
Tableau 5: La graduation pour la dureté de l'eau (WHO, 2017).	19
Tableau 6: Grille de la qualité des eaux superficielles (ABH ,2009).	22
Tableau 7: La classification de la qualité des cours d'eau en Algérie selon (ABH, 2009)	23
Tableau 8: Qualité bactériologique du l'eau du barrage en algérien (Ouali, 2001).	25
Tableau 9: Normes bactériologiques tolérées dans l'eau de boisson (Ouali, 2001).	26
Tableau 10: Normes de quelques paramètres physicochimiques pour l'eau potable (WHO 2021, Rodier et al. 2020).	27
Tableau 11: Résultats de température sidi Hamadouche.	40
Tableau 12: Résultats de précipitation sidi hamadouche.	40
Tableau 13: Les résultats physicochimiques de l'eau brute du mois de Mars.....	65
Tableau 14: Les résultats physicochimiques de l'eau brute du mois d'Avril.....	66
Tableau 15: Les résultats physico-chimiques de l'eau brute du mois Juin, prélevée à deux points distincts (x1 et x2).	67
Tableau 16: Les résultats bactériologie de l'eau brute.....	79

Liste des abréviations

Liste des abréviations.

Ca⁺ : calcium.

Mg : Magnésium.

CO₃⁻ : Carbonates.

HCO₃⁻ : Bicarbonate

SO₄⁻ : sulfate

Cl⁻ : chlorure

NO₃⁻ : Nitrate

COT : Carbone Organique Totale

OH⁻ : ions hydroxyles

H⁺ : Protons

PH : potentiel hydrogène

MO : Matière organique

C° : Degré Celsius

Mg/l : milli gramme /litre

UV : le rayonnement ultraviolet

mS:milli Siemens

Cm : centimètre

Ω : ohm

m : mètre

% : pourcentage

OD : oxygène dissous

L : litre

C : carbone

F° : degré français

Rs : Résidu sec.

TH : titre hydrométrique (dureté totale)

NH₄OH: Ammonium hydroxide.

EDTA: Ethylene Diamine Tetraacetic Acid.

TAC : titre alcalimétrique complet

TCa : titre calcique.

OMS : organisation mondiale de la santé.

ADE :Algérienne des Eaux – Unité de la wilaya de Saïda

Liste des abréviations

NO₂⁻ : nitrate

NH₃ : ammoniac

PO₄³⁻ : phosphate

BGN : bacilles gram négatifs

CO₂:Dioxyde de carbone

Km²: Kilomètre carré

GRP : Gross rating point

mm : milli mètre

T° : Température

h : heures

CE : conductivité électrique

Pt : électron de platine

NTU: Unité Néphélométrique de Turbidité

ml : millilitre

NH₄⁺ : Ion ammonium

KMNO₄ : permanganate de potassium

H₂SO₄ : acide sulfurique

mn : minute

ech : échantillon

F : facteur de correction

C : constant

CF : Coliformes fécaux.

CT : Coliformes totaux.

E. COLI: *Escherichia coli*.

TSI : Tri-Sugar-Iron Agar.

UFC : Unité formant colonie.

VF: Viande Foie.

VRBL:Violet Red Bile Lactose

μS: micro Siemens.

INTRODUCTION

Introduction

L'eau est l'une des ressources naturelles les plus essentielles à la vie humaine, couvrant environ 71% de la surface de la terre. Elle est utilisée pour de nombreux usages tels que la consommation humaine, l'agriculture et l'industrie. Cependant, la raréfaction des ressources en eau et la détérioration de leur qualité sont des défis majeurs dans plusieurs pays, y compris en Algérie, où les problèmes liés à la disponibilité de l'eau et à sa qualité deviennent de plus en plus préoccupants. Ces défis sont exacerbés par les changements climatiques et la demande croissante en eau, en raison notamment de l'urbanisation et du développement économique.

Le barrage de Sarno, situé dans la commune de Sidi Hamadouche, wilaya de Sidi Bel Abbès, constitue une source essentielle d'approvisionnement en eau pour la région. Cependant, les eaux de ce barrage sont non traitées, ce qui rend impératif l'évaluation de leur qualité afin de garantir la sécurité sanitaire de la population locale.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la qualité de l'eau brute du barrage de Sarno à travers des analyses physico-chimiques et microbiologiques. Cette recherche se place dans un contexte national marqué par la pénurie d'eau et la dégradation de la qualité des ressources en eau. Le barrage de Sarno représente donc un exemple important de ces défis, d'autant plus qu'il fournit une partie de l'approvisionnement en eau potable pour la population de la région.

Les analyses de l'eau ont été effectuées en collaboration avec des laboratoires spécialisés, à savoir la Direction de l'Algérienne des Eaux (ADE) et la Direction du Centre Algérien du Contrôle de la Qualité et de l'Emballage (CACQE) de la wilaya de Saïda.

Ce travail est structuré en deux grandes parties :

Une description du site d'étude, détaillant le barrage, ses caractéristiques géographiques et son environnement immédiat.

Une méthodologie employée, qui décrit les protocoles et les équipements utilisés pour l'échantillonnage et les analyses.

Les échantillons d'eau du barrage de Sarno ont été prélevés durant les mois de Mars, Avril et Juin afin de réaliser les analyses en laboratoire.

Il se termine par une conclusion générale suivie de perspectives, proposant des recommandations pour une meilleure gestion de la qualité des eaux.

CHAPITRE I

Généralité

Introduction

L'eau liquide (H₂O) est généralement considérée comme une substance assez courante car il est transparent, insipide, et abondamment présent sur terre. C'est l'élément naturel le plus important pour toute forme de vie. C'est la richesse nécessaire à toutes les activités humaines.

1. Définition de l'eau

L'eau était considérée comme l'un des 4 éléments fondamentaux par les Anciens et considérée comme un corps simple jusqu'au XVIII^e siècle. Cependant, des chimistes tels que Priestley, Watts et Monge ont découvert que cette dernière n'était pas un corps simple grâce à la synthèse et l'analyse de l'eau.

L'eau est un élément crucial de notre planète, recouvrant 71% de la surface terrestre. Cependant, seulement 3% de cette eau est douce, le reste étant salé. L'eau douce est issue de différents réservoirs tels que les lacs, les rivières, les fleuves et les nappes phréatiques **(Christophe, 2006)**.

De plus des grandes étendues d'eau, l'eau liquide peut également être trouvée dans des endroits tels que les mares, les fossés, les étangs, les canaux et même les zones interstitielles du sol. En fin de compte, l'eau est une ressource vitale qui doit être gérée avec soin pour répondre aux besoins de notre planète et de ses habitants **(Culligan, 2023)**.

Le mot « eau » trouve son origine étymologique dans le latin aqua. La gestion de l'eau est une question centrale en géopolitique, en raison de son rôle primordial dans l'apparition et le maintien de la vie. L'eau est en effet essentielle à la préservation des écosystèmes et au cycle de l'eau, mais elle est également vitale pour notre organisme humain **(Culligan, 2023)**.

1.1 Cycle de l'eau

Le cycle hydrologique implique la circulation de l'eau dans le système terre-atmosphère via des processus tels que l'évaporation, la transpiration, la condensation, les précipitations et l'écoulement. La quantité totale d'eau dans le cycle reste constante, mais sa répartition entre les processus varie. Selon **(Rafferty, 2023)**

-Evaporation est le transfert de l'eau de la surface de la terre vers l'atmosphère sous forme de vapeur, influencé par la température, l'humidité, la vitesse du vent et le rayonnement solaire.

-**Vapeur** d'eau est importante pour la formation de la rosée, du givre, du brouillard, des nuages et des précipitations.

-**Condensation** est la transition de la vapeur à l'état liquide et peut avoir lieu lorsque l'air contient plus de vapeur d'eau qu'il ne peut en absorber.

- **Précipitations** sont distribuées en s'évaporant, en étant interceptées par la végétation, en percolant dans le sol et en s'écoulant directement. Les eaux souterraines proviennent principalement de précipitations percolées. La glace et la neige jouent également un rôle important dans le cycle de l'eau.

1.1.1 Le cycle de l'eau dans l'atmosphère

L'atmosphère est continuellement réalimentée en vapeur d'eau provenant des océans, des lacs et des forêts par les processus d'évaporation et de transpiration. Cette vapeur d'eau s'élève dans l'atmosphère, se condense pour former des nuages, puis est transportée par les vents sur de longues distances. Sous l'effet de phénomènes météorologiques complexes, cette vapeur retombe sous forme de précipitations, telles que la pluie ou la neige (**Marsily, 2011**).

1.1.2 Le cycle de l'eau dans le sol

L'eau provenant des précipitations, qu'elle soit sous forme de pluie ou de neige fondue, est initialement pure. En s'infiltrant dans le sol, elle dissout progressivement des minéraux tels que le calcium, le magnésium, le fer ou le manganèse, et entre en contact avec les micro-organismes présents dans le sol. Elle poursuit ensuite sa descente à travers les différentes couches jusqu'à atteindre une couche imperméable. Là, elle s'accumule et forme une nappe phréatique. Dans certaines configurations du relief, notamment dans les vallées, cette eau peut remonter à la surface sous forme de source (**Cosandey and Robinson, 2012**).



Figure 1: Cycle de l'eau (USGS, 2023)

1.2 L'eau dans la terre

L'eau dans la terre constitue une ressource vitale pour les écosystèmes terrestres et les activités humaines. Elle est présente dans les pores du sol, alimente les nappes phréatiques, et soutient la croissance des plantes. Malgré la grande quantité d'eau sur Terre, seule une faible part est accessible sous forme d'eau douce dans le sol. Les précipitations fournissent régulièrement cette eau, mais une partie importante retourne à l'atmosphère par évapotranspiration. La gestion durable de cette eau est essentielle pour préserver la qualité des sols et assurer un approvisionnement en eau durable pour les générations futures (Talin and Bonvoisin, 2025).

Cette répartition inégale est illustrée dans le tableau suivant, qui présente les volumes d'eau présents sur Terre selon leurs états physiques (liquide, solide, gazeux). Ces données montrent que la majorité de l'eau douce est emprisonnée dans les glaciers ou stockée dans les nappes souterraines, tandis que les réserves accessibles à la surface (sol, rivières, lacs) restent extrêmement limitées (Gleick, 2023).

Tableau 1: Répartition du volume d'eau sur terre(2023) (Gleick, 2023).

Réservoir	Volume estimé (km ³)	volume total %	l'eau douce %
Océans	1 338 000 000	96,5 %	—
Glaciers et calottes glaciaires	24 064 000	1,74 %	68,7 %
Eaux souterraines	23 400 000	1,69 %	30,1 %
Humidité du sol	16 500	0,0012 %	0,047 %
Lacs	176 400	0,013 %	0,26 %
Rivières	2 120	0,0002 %	0,006 %
Atmosphère	12 900	0,0009 %	0,037 %
Total	≈ 1 384 782 000	100 %	2,53 %

1.3 L'importance de l'eau

L'eau est une ressource indispensable à la vie sur Terre. Elle joue un rôle central dans les processus biologiques, écologiques et socio-économiques. Sans eau, aucune forme de vie ne pourrait exister, et son accès est essentiel pour la santé, l'agriculture, l'industrie et la production alimentaire. La gestion durable de l'eau est donc cruciale pour assurer un avenir viable pour les générations présentes et futures (Baechler, 2024).

1.4 Composition de l'eau

L'eau contient divers ions dissous qui influencent ses propriétés chimiques et biologiques. Les principaux ions présents dans l'eau sont les suivants :

Tableau 2: Principaux ions présents dans l'eau.

Cations	Anions
Ca^{2+} (calcium)	HCO_3^- (hydrogénocarbonate)
Mg^{2+} (magnesium)	Cl^- (Chlorures)
Na^+ (sodium)	SO_4^{2-} (sulfates)
K^+ (potassium)	NO_3^- (nitrates)
NH_4^+ (Ammonium)	F^- (fluorure)
Fe^{2+} (ferreux)	PO_4^{3-} (phosphate)

(Bliefert et Perraud, 2008)

L'eau contient divers ions dissous qui influencent ses propriétés. Les ions courants incluent Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Fe^{2+} , ainsi que HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , F^- , PO_4^{3-} . Ces variations dépendent de l'origine géologique et des activités humaines (Bliefert et Perraud, 2008).

1.5 Origine de l'eau

L'eau destinée à l'approvisionnement de la population est d'origine superficielle ou souterraine (Bouziani, 2006).

1.5.1 Les eaux de surface (superficielles)

1.5.1.1 Caractéristiques générales

Elles sont constituées par toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents. Elles ont pour origine les eaux de ruissellement ou nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseau puis de rivière (Hamed, Guettache et Bouamer, 2012).

Ces eaux se rassemblent en cours d'eau, caractérisés par une surface de contact eau atmosphère

toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (étangs et lacs) ou artificielles (retenues, barrages) caractérisées par une surface d'échange eau-atmosphère quasiment immobile. La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants. Au cours de son cheminement, l'eau dissout les différents éléments constitutifs des terrains. Par échange à la surface eau-atmosphère, l'eau va se charger en gaz dissous (O_2 , N_2 , CO_2) (**Mokdadi et Messai, 2015**).

La qualité des eaux de surface varie fortement suivant leurs origines. Selon le cas elles sont naturellement riches en matières en suspension et en matières organiques naturelles, acides, peu minéralisées,...Elles sont également vulnérables aux pollutions. De ce fait, les eaux de surface nécessitent des installations de traitement conséquentes comprenant généralement des opérations de chloration, coagulation, floculation, décantation / flottaison, filtration, minéralisation, neutralisation de l'acidité.

L'eau de surface peut aussi être filtrée sur du charbon actif. L'ozonisation est aussi une technique utilisée pour éliminer les micropolluants, les germes, les mauvais goûts, les couleurs et les odeurs (**Kouidri née Belala, 2006**).

1.5.1.2 Les barrages en Algérie

En 2025, l'Algérie compte 81 barrages en exploitation et 4 en cours de réalisation, avec un taux d'avancement allant de 60 à 99 % (**APS, 2023**). Ces ouvrages permettent une capacité totale de stockage de 8,3 milliards de m^3 , qui devrait atteindre 9 milliards de m^3 après l'entrée en service de cinq nouveaux barrages. À l'horizon 2030, le pays ambitionne une capacité de 12 milliards de m^3 grâce à un programme de construction de 139 barrages au total (**ANRH, 2025**).

Le taux de remplissage national reste relativement faible, atteignant 34,96 % en janvier 2025, avec de fortes disparités régionales : 53,5 % à l'Est, 43,8 % à l'Ouest, et seulement 16,8 % au Centre (**APS, 2025**). Ce taux est remonté à 41 % en juin 2025, grâce aux précipitations hivernales.

Parmi les ouvrages majeurs, on trouve le barrage de Beni Haroun, le plus grand d'Algérie, avec une capacité de 960 millions de m^3 , mis en service entre 1996 et 2001 dans la wilaya de

Mila. Il est suivi par le barrage de Koudiat Acerdoune (Bouira), avec une capacité de 640 millions de m³, inauguré en 2009 (**Chouikh et Belarbi, 2016**).

Pour faire face à la variabilité climatique et à la demande croissante, l'Algérie mise aussi sur la dessalement de l'eau de mer. Actuellement, 25 stations sont opérationnelles, assurant 18 % des besoins nationaux. En mars 2025, de nouvelles stations sont entrées en service, permettant d'envisager une couverture de 42 % en 2024 et jusqu'à 60 % d'ici 2030 (**Ministère de l'Hydraulique, 2025**). Ce développement vise à renforcer la sécurité hydrique nationale (**ANRH, 2025**).

1.5.2.1 Caractéristiques générales des eaux souterraines

Les eaux souterraines présentent plusieurs caractéristiques physiques, chimiques et biologiques qui les distinguent des eaux superficielles :

-Faible turbidité

Les eaux souterraines subissent une filtration naturelle en traversant les sols et les formations rocheuses, ce qui réduit significativement la présence de particules en suspension et garantit une faible turbidité (**Appelo et Postma, 2005**).

-Faible contamination bactérienne

L'absence relative de matières organiques et le processus naturel de filtration limitent la prolifération bactérienne, rendant les eaux souterraines généralement plus sûres sur le plan microbiologique (**WHO, 2017**).

-Température stable

Protégées des variations atmosphériques et du rayonnement solaire, les eaux souterraines maintiennent une température relativement constante, reflétant la température moyenne du sol environnant (**Appelo et Postma, 2005**).

-Indice de couleur faible

L'absence de contact direct avec les matières organiques végétales et la filtration naturelle contribuent à une eau claire avec un faible indice de couleur (**Appelo et Postma, 2005**).

-Débit constant

Les nappes phréatiques fournissent un débit régulier et stable, moins sujet aux variations saisonnières que les cours d'eau de surface (**Fetter, 2001**).

-Dureté souvent élevée

L'interaction avec des formations rocheuses riches en ions calcium (Ca²⁺) et magnésium (Mg²⁺) conduit à une dureté notable des eaux souterraines (**Appelo et Postma, 2005**).

-Concentrations élevées en fer et manganèse

Ces éléments, présents dans le sol et les roches, peuvent se dissoudre dans les eaux souterraines, affectant parfois la qualité esthétique et chimique de l'eau (**Appelo et Postma, 2005**).

1.5.2.2 Les différentes nappes souterraines

La porosité et la structure géologique des formations souterraines jouent un rôle fondamental dans la nature et le comportement des nappes phréatiques (**Margat and Van der Gun, 2013**). On distingue principalement deux grands types de nappes :

Ces nappes se subdivisent en deux catégories principales :

- Les nappes libres.
- Les nappes captives (**Appelo et Postma, 2005**).

1-6 Les besoins en eau**1-6-1 Besoin en eau de boisson**

L'eau est essentielle à la vie et joue un rôle crucial dans la régulation thermique, le transport des nutriments, l'élimination des déchets, et le bon fonctionnement cellulaire. Le corps humain ne peut pas stocker l'eau, ce qui impose un apport quotidien régulier (**Rowland, 2021**). Ce livre, très contemporain, détaille :

- Les mécanismes cérébraux responsables de l'impression de la soif et du déclenchement de la prise de boisson.
- L'équilibre entre les apports (boissons, aliments) et les pertes (urine, transpiration, respiration), en fonction de l'effort et du contexte environnemental.
- Comment ces mécanismes évoluent avec l'âge, l'exposition à la chaleur ou lors d'exercices intensifs (**Rowland, 2021**).

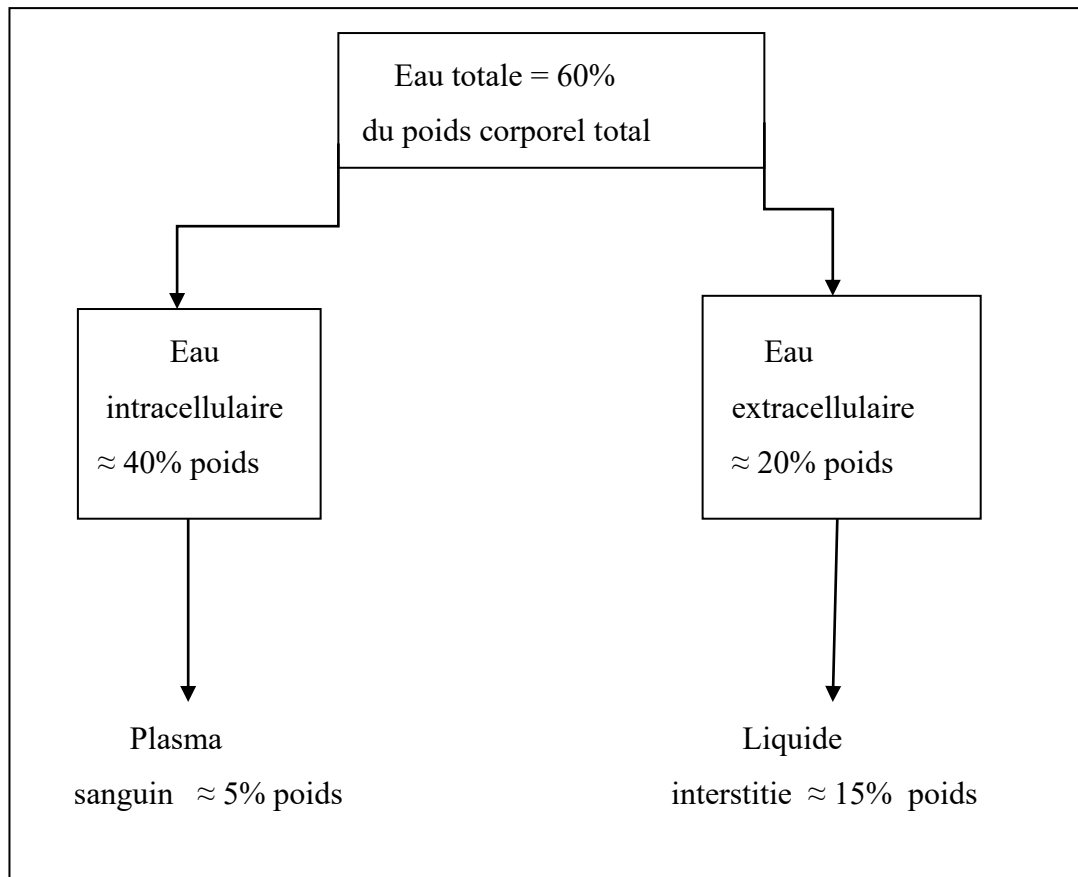


Figure 2: Répartition de l'eau dans le corps humain. (Guyton and Hall, 2021).

1.6.2 Besoins domestiques

Les besoins domestiques en eau regroupent l'ensemble des usages réalisés au sein d'un foyer pour assurer l'hygiène personnelle (bains, douches), le nettoyage (vaisselle, linge), l'alimentation (préparation des repas, boisson) ainsi que certains usages extérieurs comme l'arrosage des jardins ou le lavage des voitures. Ces besoins varient selon plusieurs facteurs, notamment le niveau de vie, les habitudes de consommation, la densité de la population et le degré d'urbanisation.

En moyenne, un habitant en milieu urbain consomme environ 230 litres d'eau par jour, dont seulement 1 % est destiné à la boisson et 6 % à la préparation des aliments. Le reste, soit 93 %, est réparti comme suit :

- bains/douches : **39 %**,
- sanitaires (toilettes) : **20 %**,
- lavage du linge : **12 %**,
- vaisselle : **10 %**,
- lavage des voitures et arrosage des jardins : **6 %**,

-autres usages domestiques : 6 % (Centre d'Information sur l'Eau, 2024).

Ces proportions sont tirées de données récentes en France, souvent utilisées comme modèle de référence dans les contextes urbains similaires, notamment en l'absence de statistiques nationales détaillées sur la répartition des usages domestiques en Algérie.

1.6.3 Besoins agricoles

Les besoins en eau dans le secteur agricole sont considérables, en particulier dans les régions semi-arides et arides. L'agriculture est responsable de la majeure partie de l'eau douce consommée à l'échelle mondiale. Cette utilisation est liée à l'irrigation des cultures, à l'abreuvement des animaux et à la transformation des produits agricoles.

Par exemple, la production de 1 kg de blé nécessite environ 1 827 litres d'eau, tandis que 2 497 litres sont requis pour produire 1 kg de riz, selon les dernières estimations de l'empreinte hydrique mondiale. Ces données soulignent l'importance d'une gestion durable des ressources hydriques pour garantir la sécurité alimentaire (Mizyed et al., 2024).

1.6.4 Besoins industriels

L'eau joue un rôle fondamental dans l'industrie. Elle est utilisée à différentes étapes du processus de fabrication : comme solvant, pour le refroidissement, le nettoyage, le rinçage, ou encore dans la composition des produits.

Selon les secteurs, les exigences de qualité varient : eau potable pour l'industrie agroalimentaire, ultra-pure pour l'industrie électronique. Par exemple, la production d'un kilogramme de papier peut nécessiter jusqu'à 150 litres d'eau, et quelques centaines de litres pour produire 1 kg d'acier. Les normes récentes favorisent une gestion plus rationnelle et contrôlée de l'eau dans l'industrie (Techniques de l'Ingénieur, 2024).

1. 6.5 Autres besoins en eau

Au-delà de l'agriculture et de l'industrie, d'autres secteurs dépendent aussi des ressources en eau. On retrouve notamment l'entretien des espaces verts, l'alimentation des piscines, des centres de loisirs aquatiques, ainsi que les besoins liés au transport maritime.

Bien que ces usages ne soient pas toujours « consommateurs » dans le sens strict, ils exigent des volumes d'eau importants et une gestion efficace. Une approche intégrée de la ressource en eau permet de prendre en compte ces besoins dits "non essentiels" mais socialement et écologiquement importants (Mizyed et al., 2024).

1-7 Le prix de l'eau en Algérie

Le prix de l'eau en Algérie est fixé par un système progressif depuis 2005. Le tarif varie de 6,30 DA/m³ pour les 25 premiers mètres cubes à 40,95 DA/m³ au-delà de 82 m³. Des taxes et frais supplémentaires s'ajoutent : taxe qualité (4 %), taxe économie d'eau (4 %), frais de gestion (3 DA/m³) et TVA (9 %). Ce système encourage une consommation responsable tout en couvrant une partie des coûts de production (AAPI, 2024 ; SEAA, 2024).

Tableau 3:Facturation de l'eau en Algérie 2024 .

Tranche de consommation	Coût du m ³
De 1 à 25 m ³	6,30 DA
De 26 à 55 m ³	20,48 DA
De 56 à 80 m ³	34,65 DA
Plus de 80 m ³	40,95 DA

DA : Dinar Algérien.

(AAPI, 2024 ; SEAA, 2024).

Conclusion

La question de l'eau ne se limite pas à sa fonction vitale pour les êtres vivants, mais elle s'impose également comme un enjeu stratégique majeur en matière de sécurité environnementale, alimentaire et sanitaire. Ressource précieuse et irremplaçable, l'eau constitue le fondement de l'équilibre écologique, et toute altération de ses sources ou de ses modes de gestion engendre des répercussions directes sur l'homme et les écosystèmes. Par conséquent, la préservation durable des ressources hydriques ainsi que l'adoption de politiques de gestion rationnelles s'imposent comme une priorité mondiale, exigeant une coopération internationale et une prise de conscience collective à l'échelle planétaire.

CHAPITRE II

Problèmes et maladies de l'eau

Introduction

Le problème de l'eau est aggravé ces dernières années par la sécheresse qui a touché l'ensemble du territoire, il était nécessaire d'accorder la plus grande attention à l'eau cette ressource vitale qui a été menacée dans sa qualité et dans sa quantité malgré la construction de nouveaux barrages et le recours au dessalement, l'Algérie enregistrera un déficit en eau de 1 milliard de m³ de l'année 2025 (**Remini, 2005**).

I. Les problèmes trouvés dans les barrages

I.1 L'envasement des barrages

En Algérie, l'envasement des barrages, causé par l'érosion accélérée des bassins versants due aux pluies intenses et au couvert végétal insuffisant, engendre une perte annuelle estimée entre 45 et 50 millions de m³ de capacité de stockage (**APS, 2024**). Pour y remédier, une campagne nationale de dévasement a été lancée en 2020, visant l'extraction de plus de 30 millions de m³ de vase d'ici 2025 sur plusieurs barrages stratégiques comme Fergoug, K'sob et Bouhnifia.

I.2 Pollution de l'eau

La pollution de l'eau Les polluants présents dans l'eau comprend les solides en suspension, les substances dissoutes, les sédiments et les organismes aquatiques. La pollution de l'eau se produit lorsqu'une certaine quantité d'eaux usées, d'eaux de ruissellement et de divers polluants pénètre dans un cours d'eau et dépasse sa capacité naturelle d'auto-épurations, ce qui entraîne une dégradation des propriétés physiques et chimiques de l'eau. Le cours d'eau peut contenir une quantité élevée de sédiments ou avoir une composition de communauté biologique médiocre. Ces changements détruisent les fonctions de l'écosystème naturel et diminuent la valeur de l'eau (**Chen et al., 2020**).

I.2.1 Pollution biologique

La pollution biologique de l'eau dépend de plusieurs facteurs, notamment l'usage domestique, l'urbanisation croissante et les pratiques agricoles intensives. Elle résulte principalement de la présence de micro-organismes pathogènes (bactéries, virus, protozoaires) qui peuvent se multiplier dans les ressources hydriques lorsque les conditions sont favorables. Cette prolifération constitue un danger sanitaire majeur, en particulier lorsque les eaux de consommation sont contaminées par des germes virulents ou des parasites résistants.

Des recherches récentes menées en Algérie confirment la présence régulière de coliformes fécaux, *E. coli* et entérocoques dans les eaux de surface, dépassant les normes de l'OMS.

Cette situation est accentuée par l'absence de traitement efficace des eaux usées dans certaines régions (Negm et al., 2020).

I.2.2 Pollution chimique

La pollution chimique des ressources en eau résulte principalement des rejets industriels, des effluents domestiques non traités et de l'usage intensif de produits agrochimiques. En Algérie, elle se traduit par la présence de substances toxiques telles que les nitrates, les phosphates, les métaux lourds (plomb, cadmium, mercure), ainsi que des résidus de pesticides et de médicaments. Ces contaminants peuvent entraîner des effets néfastes sur la santé humaine, notamment des troubles rénaux, neurologiques ou cancérogènes, lorsqu'ils sont consommés de manière chronique à travers l'eau potable.

Des études récentes menées dans plusieurs bassins hydrauliques algériens ont révélé des concentrations préoccupantes de nitrates et de métaux lourds, particulièrement dans les zones agricoles intensives ou proches de pôles industriels. Ces niveaux dépassent souvent les normes recommandées par l'OMS pour l'eau potable (Negm et al., 2020).

I.3 Les paramètres de pollution de l'eau barrage

La qualité de l'eau destinée à la consommation humaine est un enjeu primordial pour la santé publique, car des risques de pollution peuvent survenir à différents stades, depuis la retenue d'eau du barrage jusqu'à la distribution finale. Pour assurer cette qualité, l'organisation mondiale de la santé définit soixante-deux (62) paramètres essentiels qui doivent être contrôlés régulièrement (WHO, 2022). Ces paramètres sont classés en plusieurs catégories :

- **Paramètres organoleptiques** : couleur, turbidité, odeur, saveur.
- **Paramètres physico-chimiques** : pH, température, conductivité, chlorures, sulfates, calcium, magnésium, etc.
- **Substances chimiques indésirables** : nitrates, nitrites, aluminium, fer, manganèse, cuivre, etc.
- **Paramètres microbiologiques** : présence de microorganismes pathogènes comme *Escherichia coli*, coliformes totaux et entérocoques.

I.3. 1 Paramètres organoleptiques**I.3.1.1 Odeur et saveur**

L'odeur peut être comme l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles (**Hadji, 2020**).

Ce paramètre est mesuré par la dilution de l'eau à examiner avec une eau parfaitement inodore jusqu'à ce qu'elle ne présente plus d'odeur perceptible pour l'opérateur (**Hadji, 2020**).

I.3.1.2 Couleur

La propriété optique qui consiste à modifier la composition spectrale de la lumière transmise peut être classée comme suit :

1. Vraie si la couleur est due uniquement aux substances dissoutes.
2. Apparente si la couleur est due à la présence à la fois de substances dissoutes et en suspension.

La transparence de l'eau, c'est-à-dire sa visibilité, est une mesure de la profondeur à laquelle la lumière peut pénétrer. Ce paramètre est influencé par la présence de matières colorantes et de la turbidité causée par les matières en suspension.

La couleur de l'eau, ou sa teinte, peut être attribuée à des contaminants organiques ou inorganiques. Elle peut également varier en fonction du pH. Pour estimer de manière semi-quantitative la couleur de l'eau exempte de matières en suspension, on peut comparer des échantillons à des solutions étalons de chromate de potassium ou d'acide sulfurique de différentes dilutions (**Mondal Harashit, 2022**).

I.3.1.3 Turbidité

La turbidité d'une eau due à la présence de colloïde ou de matières en suspension: argile, limons, grains de silice, matières organiques, etc. La turbidité doit être éliminée pour améliorer l'aspect esthétique de l'eau de boisson, et pour permettre une désinfection efficace et éviter la possibilité de dépôt en réseau de distribution (**Richard, 1987**).

I.3.2 Paramètres physicochimiques**I.3.2.1 La température**

C'est un paramètre physique important pour la détermination des processus chimiques et biologique au sien d'un cours d'eau. Elle joue un rôle dans la solubilité des gaz, la

dissociation des sels dissouts, et la détermination du pH cela pour connaître l'origine de l'eau (Ghazali et al., 2013).

I.3.2.2 Le pH (potentiel hydrogène)

Le pH de l'eau est une mesure du degré d'acidité ou de basicité de l'eau (Tchobanoglous et al., 1985 ; Tomar, 1999) L'eau acide contient des ions hydrogène (H^+) supplémentaires et l'eau basique contient des ions hydroxydes (OH^-) supplémentaires (Alley, 2007).

Le pH varie de 0 à 14, et 7 est considéré comme neutre. Un pH inférieur à 7 indique une acidité, tandis qu'un pH supérieur à 7 indique une solution basique. (Hassan Omar, 2019).

-Le pH d'une eau naturelle est compris généralement entre 6 et 8.

-Le pH d'une eau neutre correspond à une concentration d'ions H^+ de 10^{-7} .

I.3.2.3 La conductivité (CE)

C'est la capacité de l'eau de conduire un courant électrique. On peut la déterminer par la mesure du teneur des substances dissoutes, la charge ionique, la capacité d'ionisation, et la température de l'eau. Elle renseigne sur le degré d'ionisation de l'eau (Haddad H, 2014).

La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau (Djebbar R, 2021).

Tableau 4: Relation entre la minéralisation et la conductivité électrique (Rodier J, 2009).

Conductivité électrique	Taux de minéralisation
$CE < 100 \mu S/cm$	Minéralisation faible
$100 < C.E < 200 \mu S/cm$	Minéralisation très faible
$200 < C.E < 333 \mu S/cm$	Minéralisation moyenne
$333 < C.E < 666 \mu S/cm$	Minéralisation moyenne accentuée
$666 < C.E < 1000 \mu S/cm$	Minéralisation importante
$C.E > 1000 \mu S/cm$	Minéralisation élevée

I.3.2.4 La dureté de l'eau

La dureté ou l'hydrométrie est une mesure globale de la concentration en sels dissous de l'eau en calcium et en magnésium. En excès, ces sels forment un composé insoluble ce qui entraîne pour le lavage du linge, une consommation supplémentaire de savon. Les eaux de

très faible dureté, forment avec le savon, une mousse très abondante qui laisse sur la peau une impression grasse (**Bouziyani, 2000**).

Tableau 5: La graduation pour la dureté de l'eau (**WHO, 2017**).

Dureté totale (°f)	Désignation	Valeur (mg/L de CaCO ₂)
0 – 7	Très douce	0 – 60
8 – 14	Douce	61 – 120
15 – 21	Moyennement dure	121 – 180
22 – 32	Dure	181 – 250
33 – 53	Très dure	251 – 500
> 53	Non appropriée	> 500

I.3.2.5 Résidus secs

Les **résidus secs** représentent la quantité totale de substances dissoutes dans l'eau après l'évaporation complète de l'eau, c'est-à-dire la quantité de matières solides qui restent une fois que l'eau a été évaporée. Ces résidus incluent principalement des sels minéraux et des métaux dissous. (**WHO, 2017**).

I.3.2.6 Oxygène dissous

L'oxygène dissous (OD) est considéré comme l'un des paramètres les plus importants de la qualité de l'eau dans les ruisseaux, les rivières et les lacs. Il s'agit d'un test clé de la pollution de l'eau. Plus la concentration d'oxygène dissous est élevée, meilleure est la qualité de l'eau (**Hassan Omar, 2019**).

L'oxygène est légèrement soluble dans l'eau et très sensible à la température. Par exemple, la concentration de saturation à 20°C est d'environ 9 mg/l et à 0°C de 14,6 mg/l (**Hassan Omar, 2019**).

I.3.2.7 Matière organique

La matière organique (MO) est l'ensemble des molécules contenant du carbone (C), issues des organismes vivants ou les constituants. A l'opposé se trouve la matière minérale ou matière inerte.

La matière organique regroupe :

- Les métabolites produits par les êtres vivants.
- Les cellules vivantes ou mortes, animales ou végétales et toutes les molécules résultant de la décomposition de ces cellules.

-Les molécules de synthèse dont font partie les produits phytosanitaires.

Elles constituent un milieu nutritif favorable au développement des microorganismes, notamment les pathogènes, et peuvent entraîner de mauvais goûts, notamment suite à une chloration, ainsi que des odeurs désagréables **(Desbordes, 2001)**.

I.3.2.8 Titre alcalimétrique complet TAC (F°)

Le titre alcalimétrique permet d'apprécier la concentration de tous les carbonates et bicarbonates dans l'eau. La formation d'une couche carbonatée assurant la protection des canalisations contre certains risques de corrosion nécessite une alcalinité minimale. Le titre alcalimétrique complet, donnant l'alcalinité totale de l'eau (pas seulement l'alcalinité due au bicarbonate et au carbonate), ne doit pas être inférieur à 50 °F **(Belala Koudri, 2006)**.

I.3.2.9 Magnésium

La majorité des eaux naturelles contiennent généralement une petite quantité de magnésium, sa teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées. Il provient de l'attaque par l'acide carbonique des roches magnésiennes et de la mise en solution du magnésium sous forme de carbonates et bicarbonates **(Nouayti et al., 2015)**.

I.3.2.10 Calcium

Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables et sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés (terrain calcaire ou gypseux) **(Nouayti et al., 2015)**.

I.3.2.11 phosphate (PO_4^{3-})

Les phosphates sont présents à la fois d'origine naturelle et artificielle, provenant principalement des engrais, des eaux traitées. Bien que les phosphates soient essentiels pour la croissance des plantes, leur excès dans les milieux aquatiques peut provoquer l'eutrophisation, un phénomène qui perturbe les écosystèmes aquatiques **(Chauvet, 2018)**.

I.3.2.12 Chlorure (Cl^-)

Les teneurs en chlorures des eaux extrêmement variées sont liées principalement à la nature des terrains traversés. Le gros inconvénient des chlorures est la saveur désagréable qu'ils confirment à l'eau à partir de 250 mg/l surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium **(Rodier et al., 2005)**.

I.3.3 Les différentes formes d'azote**I.3.3.1 L'Azote ammoniacal (NH_4^+)**

L'azote ammoniacal constitue le produit de la réduction finale des substances organiques azotées et de la matière inorganique dans les eaux et les sols. Il provient également d'excrétion des organismes vivants et de la réduction et la biodégradation des déchets, sans négliger les apports d'origine domestique, industrielle et agricole (**Derwich et al., 2010**).

I.3.3.2 Les nitrates (NO_3^-)

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique, leur présence dans une eau polluée atteste que le processus d'autoépuration est déjà entamé. L'activité humaine accélère le processus d'enrichissement en cet élément sur les sols subissant l'érosion, ce qui provoque l'infiltration des eaux usées, par les rejets des industries minérales et d'engrais azoté (**Nouayti et al., 2015**).

I.3.3.3 Les Nitrites (NO_2^-)

Les nitrites proviennent d'une oxydation incomplète des matières organiques. Comme les nitrates, les nitrites sont très répandus dans l'environnement, les uns et les autres se retrouvent dans la plupart des produits alimentaires, dans l'atmosphère et dans une grande partie des eaux. Les fortes teneurs correspondent à la réduction des nitrates en nitrites par les anaérobies sulfito-réducteurs. Elles peuvent également être liées à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac (**Bengoumi et al., 2013**).

Le taux normal en nitrites est fixé à 0,1mg/l selon l'OMS. La présence des Nitrites dans l'eau en quantité importante dégrade la qualité de l'eau et pourrait affecter la santé humaine. La toxicité liée au nitrite est très significative en raison de leur pouvoir oxydant (**Belghiti et al., 2013**).

I.3.3.4 Evaluation de la qualité des eaux

Différents outils d'évaluation de la qualité des cours d'eau sont utilisés. La qualité physicochimique des eaux est évaluée selon Le système d'évaluation de la qualité (**SEQ-Eau**).

-Le système d'évaluation de la qualité (SEQ-Eau)

Le Système d'Evaluation de la Qualité de l'eau, permet d'évaluer la qualité de l'eau et son aptitude à assurer certaines fonctionnalités. Les évaluations sont réalisées au moyen de plusieurs paramètres physico-chimiques, le SEQ eau, permet un diagnostic précis de la qualité de l'eau et contribue à définir les actions de correction nécessaires pour son amélioration en fonction des utilisations souhaitées (**Boissonneault, 2009**).

-Normes et classes de la qualité des eaux superficielles

La qualité des eaux est extrêmement variable dans le temps et elle est fonction de différents facteurs. Afin d'avoir une bonne connaissance de l'état globale d'un cours d'eau, et de pouvoir suivre son évolution dans le temps ; le SEQ (Système d'Evaluation de la Qualité des eaux superficielles) a mis en place un outil d'évaluation qui permet d'obtenir une image globale de la qualité des cours d'eau, et définit les aptitudes à satisfaire les équilibres biologiques et les différents usages des cours d'eau. l'ABH est inspiré du SEQ eau pour classer les eaux superficielles (tableau 6 et 7). Cette classification repose sur une grille de la qualité des eaux superficielles.

Tableau 6:Grille de la qualité des eaux superficielles (ABH ,2009).

Classe Paramètres	unité	Très bon	Bon	Passable	Mauvaise	Très mauvaise
O ₂ dissous	mg/l d'O ₂	>7	5 à 7	3 à 5	< 3	0
NH ₄ ⁺	mg/l	0.5	1.5	2.8	4	>4
NO ₃ ⁻	mg/l	2	10	25	50	>50
PO ₄ ³⁻	mg/l	0.1	0.5	1	2	>2
NO ₂ ⁻	mg/l	0.03	0.3	0.5	1	>1
Conductivité	µs/cm	180- 2500	120- 3000	60-3500	0-4000	>4000

Tableau 7:La classification de la qualité des cours d'eau en Algérie selon(ABH, 2009) .

Classe	Très bonne	Bonne	Passable	Mauvaise	Très mauvaise
Qualité Chimique	Eau exempte de pollution	Eau de qualité moindre pouvant satisfaire tous les usages	Eau de qualité médiocre, suffisante pour les usages peu exigeants	Eau polluée, inapte à la vie biologique	Eau très polluée inapte à tous les usages, pouvant constituer une menace pour la santé publique et l'environnement
Biologie	Tous les Taxons	Taxons sensibles absents	Taxons absents nombreux	Diversité faible	Diversité très Faible
Eau potable	Acceptable	Traitement simple	traitement classique	traitement complexe	Inapte

I.3.4 Paramètres microbiologique

L'eau destinée à la consommation humaine doit être exempte de micro-organismes pathogènes susceptibles de provoquer des maladies graves. Parmi les principaux paramètres microbiologiques utilisés pour évaluer la qualité de l'eau potable, on retrouve :

- Coliformes totaux et fécaux, notamment E. coli ;
- Streptocoques fécaux ;
- Clostridium sulfito-réducteurs ;
- Germe totaux (WHO, 2017).

I.3.4.1 Coliformes fécaux

Sous le terme de « coliformes » est regroupé un certain nombre d'espèces bactériennes appartenant en fait à la famille des enterobacteriaceae, correspondent à des bacilles Gram négatif, non sporulés, aéro/anaérobies facultatifs, possèdent des propriétés caractéristiques de structure et de culture à 35-37C°, ils sont sensibles au chlore. Ils se répartissent en deux catégories :

- Les germes thermophiles.
- Les germes psychrophiles (aquatique ou terrigène).
- Leur intérêt moindre pour détecter une contamination d'origine fécale.
- Les coliformes comprennent les genres : Escherichia, Citrobacter, Enterobacter, Klebsiella, Yersinia, Serratia (Rodier J, 2009).

I.3.4.2 Coliformes totaux

Selon l'organisation internationale de standardisation, il s'agit de bacilles gram négatifs (BGN) non sporulés oxydase négative aérobies ou anaérobies facultatifs, capables de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz en 24 à 48 heures à une température comprise entre 36°C et 37°C. Ils existent dans les matières fécales mais se développent également dans les milieux naturels (**Sangare et al., 2022**).

I.3.4.3 Escherichia coli

Escherichia coli est une bactérie facultative anaérobie, ce qui signifie qu'elle peut se développer dans des conditions aérobies et anaérobies. Bien qu'elle soit la bactérie aérobie la plus courante dans l'intestin inférieur des mammifères (**Tenaillon et al., 2010**). Elle représente généralement seulement 0,1% à 5% de la communauté microbienne intestinale qui comprend plus de 500 autres espèces bactériennes (**Tenaillon et al., 2010**). Cette communauté est généralement dominée par des anaérobies obligatoires, notamment des membres des firmicutes et des bactéroïdes, qui représentent au moins 90% de la population microbienne intestinale (**Bäckhed et al., 2005 ; Claesson et al., 2009 ; Tenaillon et al., 2010**). Néanmoins, *E. coli* peut se maintenir dans cette niche hautement compétitive et en constante évolution, en entretenant une relation à vie avec son hôte.

I.3.4.4 Streptocoques fécaux

Ce sont des bactéries Gram positif. Les streptocoques du groupe sérologique D de Lancefield, rapprochent aux Coliformes fécaux, ils sont de bons indicateurs de pollution. Par contre, ils sont peu utilisés comme indicateurs d'efficacité de traitement, car ils sont simplement plus résistants aux désinfectants que les coliformes et les autres entérobactéries pathogènes du genre *Salmonelles* ou *Shigella* (**Benmerine, 2017**).

I.3.4.5 Définition de Clostridium sulfito-réducteurs

Le genre *Clostridium*, de la famille des Clostridiaceae, regroupe des bactéries Gram positif sporulées apparaissant sous leur forme végétative comme des bacilles en paires ou en chaînettes courtes. La plupart des espèces du genre *Clostridium* sont obligatoirement anaérobiques ; cependant, certaines espèces peuvent être aérotolérantes ou capables de croître dans des conditions aérobies. Le genre regroupe près de 200 espèces, dont seulement quelques-unes sont pathogéniques pour l'humain. Plusieurs espèces sont oxygéniques (**Poxton, 2006 ; Johnson, 2017**).

I.3.4.6 Définition des germes aérobies totaux

Toute bactérie aérobie, levure et moisissure, capable de former des colonies dans un milieu de culture nutritif gélosé. Elle constitue un bon indicateur de la qualité hygiénique générale du réseau (**Chigneur, 2013**).

Selon les normes internationales les micro-organismes revivifiables se définissent comme étant la totalité des bactéries, levures et moisissures capable de former des colonies dans ou sur le milieu de culture spécifique dans les conditions d'essai décrites (**Bengarnia, 2013**).

Selon les normes internationales les micro-organismes revivifiables se définissent comme étant la totalité des bactéries, levures et moisissures capable de former des colonies dans ou sur le milieu de culture spécifique dans les conditions d'essai décrites (**Bengarnia, 2013**).

I.3.4.7 Qualité bactériologique du l'eau du barrage en algérien

La présence des germes de contamination fécale dans l'eau de boisson la rend inconsommable (**Maachou, et al., 2000**).

Tableau 8:Qualité bactériologique du l'eau du barrage en algérien (**Ouali, 2001**).

Coliformes fécaux	E. coli	Streptocoques fécaux	Conclusion
-	-	-	Eau de bonne qualité bactériologique (potable)
+	+	+	Eau de mauvaise qualité bactériologique (non potable)
+	+	-	Eau de mauvaise qualité bactériologique (non potable)
+	-	+	Eau de mauvaise qualité bactériologique (non potable)
+	-	-	Eau de qualité suspecte (consommation déconseillée)

(+) : Présence.

(-) : Absence.

- Normes de qualité du l'eau du barrage en algérien

Les critères de qualité de l'eau dans, chaque pays, sont généralement déterminés par rapport à des exigences nationales ou le plus souvent, sur la base des directives de l'O.M.S sur la qualité de l'eau, soit par rapport aux directives de l'Union Européenne (U.E). En fait chaque pays adopte la dose d'un paramètre selon la qualité des ressources en eau.

En Algérie, la loi n°85-05 du 16 février 1985 relative à la protection et à la promotion de la santé, pour les mesures de protection du milieu et de l'environnement, à des normes de qualité de l'eau.

Art 32 : l'eau destinée à la boisson, à l'usage ménager et à l'usage corporelle, doit satisfaire aux normes de qualité définies par voie réglementaire, tant en qualité, qu'en quantité.

Art 33 : pour l'adduction de l'eau destinée à la boisson et à l'usage ménager, il est établi des règles et normes de protection sanitaire pour assurer une qualité appropriée de l'eau (Bouziyani, 2000).

-Normes de qualité bactériologique de l'eau de consommation humaine

Une eau de consommation humaine doit répondre à des normes précises en qualité et en quantité (Ouali, 2001).

Tableau 9: Normes bactériologiques tolérées dans l'eau de boisson (Ouali, 2001).

Paramètres microbiologiques	Unités	Recommandation (O.M.S)
Germes totaux	1 ml	100
Coliformes fécaux	100 ml	0
Streptocoques fécaux	100 ml	0
Clostridium sulfito-réducteurs	20 ml	0
Salmonella	/	Absence
Vibron cholérique	/	Absence

-Normes de qualité physicochimique

La directive de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) ainsi que les normes européennes récentes, recommandent des valeurs spécifiques pour plusieurs paramètres physico-chimiques de l'eau potable afin de garantir sa sécurité et sa qualité, comme illustré dans le tableau suivant (Rodier et al., 2020).

Tableau 10: Normes de quelques paramètres physicochimiques pour l'eau potable (WHO 2021, Rodier et al. 2020).

Paramètres physicochimiques	Expression des résultats	Concentration maximale admissible (C.M.A)
Turbidité	Unité Jackson	5 NTU
Température	° C	25°C (recommandée pour la santé)
pH	Unité pH	6.5 - 8.5
Chlorure	mg/l	250 mg/l
Magnésium	mg/l	50 mg/l
Sodium	mg/l	200 mg/l
Potassium	mg/l	12 mg/l
Nitrate	mg/l	50 mg/l
Nitrite	mg/l	0.1 mg/l

II. Problèmes biologiques et sanitaires en relation avec quelques constituants des eaux

II. 1 Les fluorures

Les fluorures sont favorables et même indispensables à faible concentration : ils constituent un élément essentiel de l'alimentation et de l'eau de boisson car ils jouent un rôle particulièrement important dans la prévention de la carie dentaire chez l'enfant. Lorsque, pour certains régimes déficients, la concentration en fluorures de l'eau d'alimentation est largement inférieure à 0.5 mg/l, une augmentation statistique de l'incidence des caries dentaires est prévisible.

Inversement, si la concentration en fluorures est largement supérieure à 1 mg/l, la consommation prolongée d'eau associée à un régime riche en fluor peut être à l'origine de fluorose résultant d'effets cumulatifs et se traduisant par des manifestations dentaires (émail tacheté) et principalement osseuses comme par exemple hyper calcification et fragilisation du squelette (Vilagines, 2003) (Gajous, 1995).

II. 2 Le sodium

Bien que le problème ne soit pas parfaitement éclairci .Il se pourrait en effet que le sodium affecte certaines populations critiques (sujets souffrant de néphrites, d'hypertension, on

suyant des traitements hormonaux). Mais il semble aussi qu'il puisse à terme affecter certains sujets normaux. A cet égard, une étude a montré qu'une eau contenant 107 mg de sodium par litre conduisait chez les adolescents d'une école américaine à une augmentation significative de la tension sanguine (**Vilagines, 2003**).

II.3 Le plomb

Il est connu de longue date pour provoquer des intoxications saturnines dans certaines circonstances et en particulier, lorsque les eaux d'alimentation agressives séjournent dans des canalisations en plomb (**Vilagines, 2003**).

II. 4 Le cadmium

Très toxique pour l'homme à effet cumulatif : atteintes rénales (néphrites), troubles digestifs, hypertension artérielle (**Gajous, 1995**).

II.5 Les maladies à transmission hydrique (M.T.H)

II.5 .1 Définition

Les maladies à transmission hydrique sont des infections d'origine digestive (diarrhées, vomissements) liées à l'eau contaminée, surtout en cas de mauvaise hygiène et d'assainissement insuffisant. En Algérie, des parasites comme *Giardia* et *Cryptosporidium* restent fréquents dans certaines sources d'eau, selon une revue régionale récente (**Ayed et al., 2024**), qui rapporte une prévalence moyenne de 37,7 % pour *Giardia* et 24,5 % pour *Cryptosporidium* dans la région MENA, incluant l'Algérie.

II.5.2 Les facteurs favorisant la propagation des maladies à transmission hydrique en Algérie

Plusieurs facteurs contribuent à la propagation des maladies à transmission hydrique en Algérie. Parmi ceux-ci, on note :

-Insuffisance des ressources en eau : La rareté de l'eau, exacerbée par les sécheresses, entraîne une dégradation de la qualité de l'eau potable et une utilisation accrue d'eau non traitée pour la consommation et l'irrigation, augmentant ainsi le risque de contamination.

-Défaillance des infrastructures : L'absence ou la vétusté des réseaux d'assainissement, notamment dans les zones rurales, favorise la contamination croisée entre les eaux usées et les réseaux d'eau potable.

-Urbanisation rapide et exode rural : L'urbanisation non planifiée et l'afflux massif de populations vers les grandes villes entraînent la prolifération de bidonvilles dépourvus

d'infrastructures sanitaires adéquates, créant des foyers propices à la transmission des maladies hydriques.

-Facteurs environnementaux : Les déversements non contrôlés d'eaux usées, la pollution des cours d'eau et la gestion inadéquate des déchets solides contribuent à la dégradation de l'environnement et à la propagation des agents pathogènes.

-Changements climatiques : Les vagues de chaleur et les conditions climatiques extrêmes favorisent la prolifération de certains agents pathogènes, augmentant ainsi le risque d'épidémies liées à l'eau (Amghar et Fodil, 2017).

II.5.3 Principales maladies d'origine hydrique

De nombreuses maladies d'origine bactérienne et virale sont transmises aux humains lorsque l'eau potable est contaminée par des micro-organismes pathogènes. Depuis le XIXe siècle, les progrès scientifiques ont permis d'identifier ces agents pathogènes et de développer des méthodes pour les éliminer ou prévenir leur action. Parmi ces méthodes, on retrouve la désinfection par le chlore, l'amélioration des traitements de filtration de l'eau, ainsi que le développement de vaccins et d'antibiotiques pour protéger les populations contre les infections (Rodier et al., 2020).

II.5.3.1 Fièvres Typhoïdes et Paratyphoïdes

Les fièvres typhoïdes et paratyphoïdes sont des septicémies graves causées par des bactéries du genre *Salmonella*, principalement *Salmonella typhi* et *Salmonella paratyphi*. Ces infections se manifestent par de la fièvre, des maux de tête, des douleurs abdominales, des diarrhées, et peuvent entraîner des complications graves, parfois mortelles, telles que des hémorragies intestinales et des atteintes hépatiques et cardiovasculaires. La contamination se fait par ingestion d'eau ou d'aliments contaminés par des matières fécales humaines (Kariuki, S. et al., 2022).

II.5.3.2 Choléra

Le choléra est une maladie aiguë provoquée par la bactérie *Vibrio cholerae*. Elle est caractérisée par une diarrhée aqueuse abondante, des vomissements, une déshydratation rapide et une soif intense. En l'absence de traitement, cette maladie peut entraîner la mort dans 50% des cas graves. Le choléra est principalement transmis par l'eau contaminée par les matières fécales (Ali, M. et al., 2020).

II.5.3.3 Gastro-entérite

La gastro-entérite est une inflammation de l'estomac et des intestins, souvent accompagnée de vomissements, de diarrhées, de crampes abdominales, de fièvre et de maux

de tête. Cette maladie est fréquemment causée par des agents viraux tels que les virus Cocksackie, Adénovirus, ou Rotavirus. Cependant, des agents bactériens et parasitaires comme *Shigella*, *Salmonella* et *Escherichia coli* peuvent également être responsables (**Pereira, S. et al., 2021**).

II.5.3.4 Dysenterie Bacillaire

La dysenterie bacillaire, causée par des bactéries du genre *Shigella*, est caractérisée par une inflammation sévère du côlon. Les symptômes incluent des douleurs abdominales intenses, des selles fréquentes et sanglantes, accompagnées parfois de fièvre. Cette maladie peut se traduire par des ulcérations de la muqueuse intestinale et entraîner de graves complications, y compris la déshydratation et la septicémie (**Khalil, I. A. et al., 2021**).

II.5.3.5 Dysenterie Amibienne (Amibiase)

La dysenterie amibienne est causée par *Entamoeba histolytica*, un parasite protozoaire. Elle provoque des symptômes tels que des douleurs abdominales sévères, des diarrhées sanglantes, des crampes et parfois de la fièvre. Si elle n'est pas traitée, l'amibiase peut se propager à d'autres organes, notamment le foie, les poumons et le cerveau, où elle peut provoquer des abcès (**Khalil, I. A. et al., 2021**).

II.5.3.6 Giardiasis

La giardiose est une infection intestinale causée par le protozoaire *giardia lamblia*. Elle provoque des symptômes tels que des douleurs abdominales, des ballonnements, des selles graisseuses et malodorantes, ainsi que de la fatigue, de la déshydratation et parfois de la fièvre. Cette infection est fréquente dans les régions où l'eau potable n'est pas correctement traitée (**Savioli, L. et al., 2022**).

II.5.3.7 Hépatite A

L'hépatite A est une infection virale causée par le virus de l'hépatite A, un membre de la famille des Picornaviridae. Elle se caractérise par de la fièvre, des nausées, des vomissements, et parfois une jaunisse due à l'inflammation du foie. L'hépatite A est principalement transmise par ingestion d'eau ou d'aliments contaminés par les selles humaines (**Wang, S. et al., 2021**).

II.5.4 Les maladies à transmission hydrique en Algérie

Selon les données disponibles jusqu'en 2023, les maladies à transmission hydrique (MTH) semblent mieux maîtrisées en Algérie grâce aux progrès réalisés dans l'amélioration des conditions d'habitat et des infrastructures sanitaires. Les programmes nationaux de construction de logements ont permis de réduire le taux d'occupation par logement de 7,1

personnes en 1998 à 4,8 personnes en 2012, contribuant ainsi à limiter la propagation des MTH. Aujourd'hui, environ 85 % de la population algérienne a accès à une eau potable sécurisée et 95 % dispose d'installations d'assainissement améliorées, ce qui a contribué à une baisse notable des cas liés à ces maladies (**Organisation mondiale de la santé, 2023**).

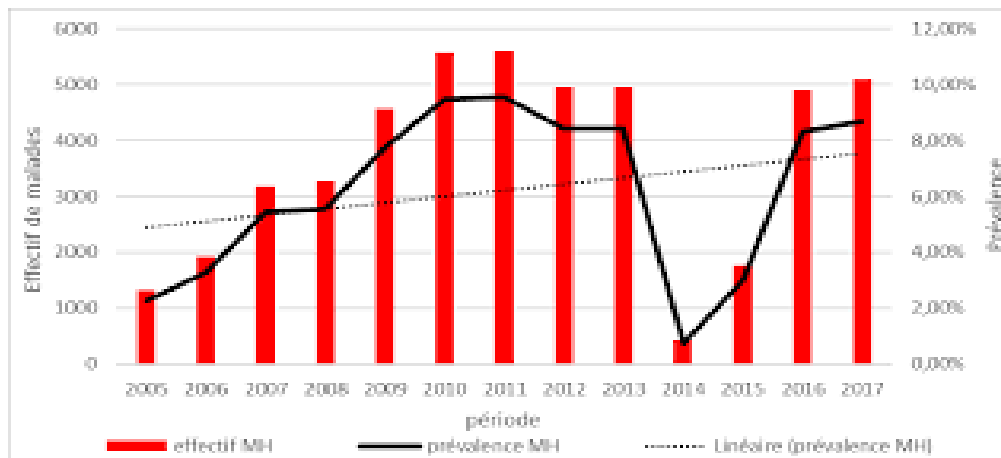


Figure 3:Évolution des maladies à transmission hydriques en Alger entre 2005-2017.
(**Organisation mondiale de la santé, 2023**).

II.5.5 Les maladies à transmission hydrique dans la wilaya de Sidi Bel Abbès

Les maladies à transmission hydrique (M.T.H) sont essentiellement 6 maladies sous surveillance au niveau de la wilaya de Sidi Bel Abbès:

- Gastro-entérite (intoxication alimentaire) ;
- Choléra ;
- Dysenterie (dysenterie bactérienne) ;
- Hépatite A ;
- Parasitoses intestinales (comme la giardiase et l'amibiase) ;
- Fièvre typhoïde .

Après avoir réalisé une étude statistique sur les maladies d'origine hydrique dans l'état de Sidi Bel Abbès, à travers une visite au service d'épidémiologie de l'état.

Les études statistiques de 2015 à 2020 montrent que le pourcentage de ces maladies est assez faible, mais en 2019 il y a eu une période épidémique dans la commune d'Ain El Bard, comme l'hépatite et l'intoxication alimentaire (**Etude des MTH dans la wilaya de Sidi bel abbès durant la période de 2015 à 2020**).

Conclusion

La pollution des eaux des barrages en Algérie, notamment dans la wilaya de Sidi Bel Abbès, constitue un risque croissant pour la santé publique et l'environnement. La dégradation de la qualité de l'eau, due principalement aux rejets domestiques et agricoles, demeure préoccupante. Malgré les efforts nationaux tels que la construction de barrages et le recours au dessalement, les maladies hydriques persistent. Cela souligne la nécessité de renforcer les mécanismes de contrôle, de traitement et de sensibilisation pour assurer une sécurité hydrique durable et protéger la santé des populations.

CHAPITRE III

Présentation de la zone des études

Introduction

Le barrage de Sarno, situé dans la commune de Sidi Hamadouche, wilaya de Sidi Bel Abbès, constitue une ressource hydrique essentielle utilisée pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation agricole.

Ce chapitre présente ainsi les principales caractéristiques géographiques, climatiques, géologiques et hydrogéologiques de la région. Ces éléments sont indispensables pour mieux comprendre les facteurs environnementaux pouvant influencer sur la qualité des eaux du barrage Sarno.

I.1 Aperçu sur la wilaya de Sidi Bel Abbès

La wilaya de Sidi Bel Abbès est située dans l'ouest de l'Algérie. Elle s'étend sur une superficie de 9 150,63 km², soit environ 15 % du territoire de la région Nord-Ouest du pays. Elle est délimitée par les wilayas suivantes :

- Au nord** : Oran et Aïn Témouchent ;
- À l'est** : Mascara et Saïda ;
- À l'ouest** : Tlemcen ;
- Au sud** : Naâma et El Bayadh.

Issue du premier découpage administratif réalisé par l'ordonnance n°74-69 du 2 juillet 1974, la wilaya comprenait initialement 6 daïras regroupant 37 communes.

À la suite du nouveau découpage administratif défini par la loi n°84-09 du 10 février 1984, elle a été restructurée, donnant naissance à la wilaya d'Aïn Témouchent, et la wilaya actuelle de Sidi Bel Abbès compte aujourd'hui 15 daïras regroupant 52 communes. (ANAT, 2020)

I.2 Présentation de la ville de Sidi Bel Abbès**I.2.1 Situation géographique**

Chef-lieu de la wilaya de Sidi Bel Abbès, localisée au nord, et située à 80 Km au sud-ouest d'Oran-ville, à une altitude de 470 m, au centre d'une vaste plaine comprise entre les monts de Tessala au nord et ceux de Dhaya au sud, traversée par l'oued Mekerra, d'une superficie avoisinant 8300 km² (ANAT, 2020) .

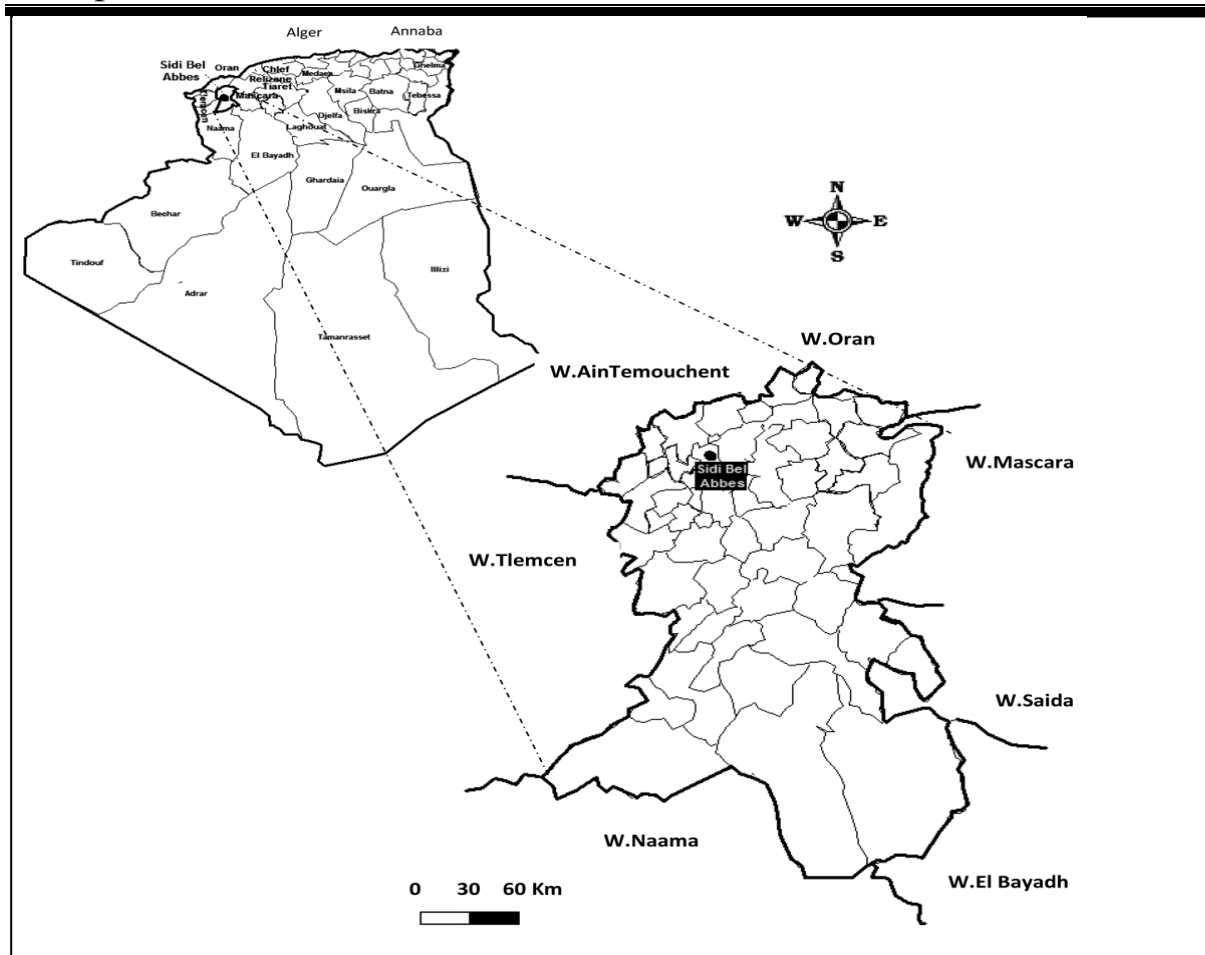


Figure 4: Carte de localisation de la wilaya de Sidi Bel Abbès (ANAT, 2020).

La commune de Sidi Bel Abbès fait partie d'une plaine à fort potentiel agricole, capable de donner d'excellents résultats agronomiques. Elle se situe à une altitude moyenne de 470 mètres, avec une légère inclinaison vers le nord, de l'ordre de 3 % à 8 %.

À l'exception de quelques élévations localisées au nord-est (quartier Sidi Djilali) et à l'est (quartier Sidi Yacine), la topographie reste globalement plate. Une légère dépression causée par le passage de l'oued Mekerra est observable au nord, notamment près des quartiers Ben Badis et Boumlik. La commune peut donc être considérée comme implantée sur un site relativement plat (APC, 2014).

La wilaya de Sidi Bel Abbès comprend à la fois des hauteurs faisant partie de l'atlas tellien et de vastes surfaces appartenant aux hauts-plateaux du Nord-Ouest algérien. L'oued Mekerra traverse la ville sur plus de cinq kilomètres, en commençant par la partie sud-ouest, connue sous le nom de la vallée des Jardins. Il quitte la ville par sa partie nord-est et poursuit son cours sur environ 35 kilomètres avant de se jeter dans l'oued Mebtouhe (APC, 2014).

I.2.2 Synthèse climatique

La plaine de Sidi Bel Abbès, située à 470 mètres d'altitude, est une vaste dépression entourée de montagnes qui la protègent des vents. Une ouverture au nord-est, le col d'Ouled Ali, laisse passer les vents marins qui se réchauffent en descendant sur les versants sud, influençant le climat local. Cette configuration explique la variation des précipitations et des températures enregistrées dans la région(ONM, 2020).

I.2.3 Pluviométrie

La région de Sidi Bel Abbès enregistre une variabilité annuelle importante des précipitations. Entre 1980 et 2009, la moyenne annuelle est estimée à 310,54 mm, avec des extrêmes variant entre 129,5 mm et 464,9 mm. Durant la dernière décennie de cette période (1999–2009), le cumul des précipitations a dépassé les 3200 mm, ce qui a entraîné une élévation du niveau de la nappe phréatique grâce à l'infiltration directe des eaux pluviales (ONM, 2020).

III.2.3 Température

Le climat de Sidi Bel Abbès se caractérise par des étés chauds et des hivers froids. La température maximale la plus élevée a été enregistrée en 2008 avec 26,5°C, tandis que la plus basse maximale a été observée en 2004 avec 21,77°C. Pour les températures minimales, la plus haute valeur a été notée en 1997 avec 12,03°C, et la plus basse en 1984 avec 5,22°C (ONM, 2020).

I.2.4 Vents

Le vent est l'un des facteurs écologiques limitant dans certains biotopes. Il joue un rôle mécanique important, notamment dans la qualité des eaux de surface. Dans la région de Sidi Bel Abbès, le vent constitue un facteur omniprésent, parfois violent, pouvant influencer les conditions microclimatiques locales ainsi que les processus d'évaporation et de dispersion des particules en suspension. (Weather Spark,2025).

I.2.5 Situation hydrogéologique

La plaine de Sidi Bel Abbès abrite une nappe phréatique libre, couvrant une superficie d'environ 730 km², avec une capacité annuelle estimée à 27 millions de m³. Elle repose sur des dépôts alluviaux limono-caillouteux, et devient semi-captive entre Sidi Khaled et Sidi Bel Abbès. La profondeur de la nappe varie entre 15 et 30 mètres, et son alimentation se fait principalement par les précipitations, l'infiltration latérale, ainsi que par les oueds en crue, notamment l'oued Sarno situé dans la commune de Sidi Hamadouche (DHW, 2020).

I.3 Présentation de commune de Sidi Hamadouche

Sidi Hamadouche est une commune algérienne relevant du district d'Ain El Berd, située dans la wilaya de Sidi Bel Abbès. Elle se trouve au nord-est de la ville de Sidi Bel Abbès, à environ 19 km de cette dernière.

Elle est bordée :

- à l'est par Boujebha El Bordj et Zerouala,
- à l'ouest par Aïn Tharid,
- au nord par Tafraoui (wilaya d'Oran) et Aïn El Berd,
- au sud par Sidi Ibrahim et Zerouala.

La commune a été fondée en 1866 et est devenue municipalité en 1870. Sa superficie est de 12 km², et elle comptait plus de 10 000 habitants selon le recensement de 2008.

Elle est composée du chef-lieu et de plusieurs centres secondaires, notamment le village d'El Dalahim, qui abrite le barrage de Sarno, une forêt ainsi qu'un centre de radiodiffusion.

Le climat de Sidi Hamadouche se caractérise par des hivers froids et pluvieux, tandis que les étés y sont relativement chauds (Wikipedia, 2024).

Ce barrage a un débit théorique de 100 l/J (1,0368 de m³/an) et n'est autorisé à produire qu'un volume d'eau potable de 1000 m³/J (0,360 million de m³/an) destiné aux villages de Sidi Hamadouche, Sidi Brahim et Zerouala. (OTMANI I, 2016).

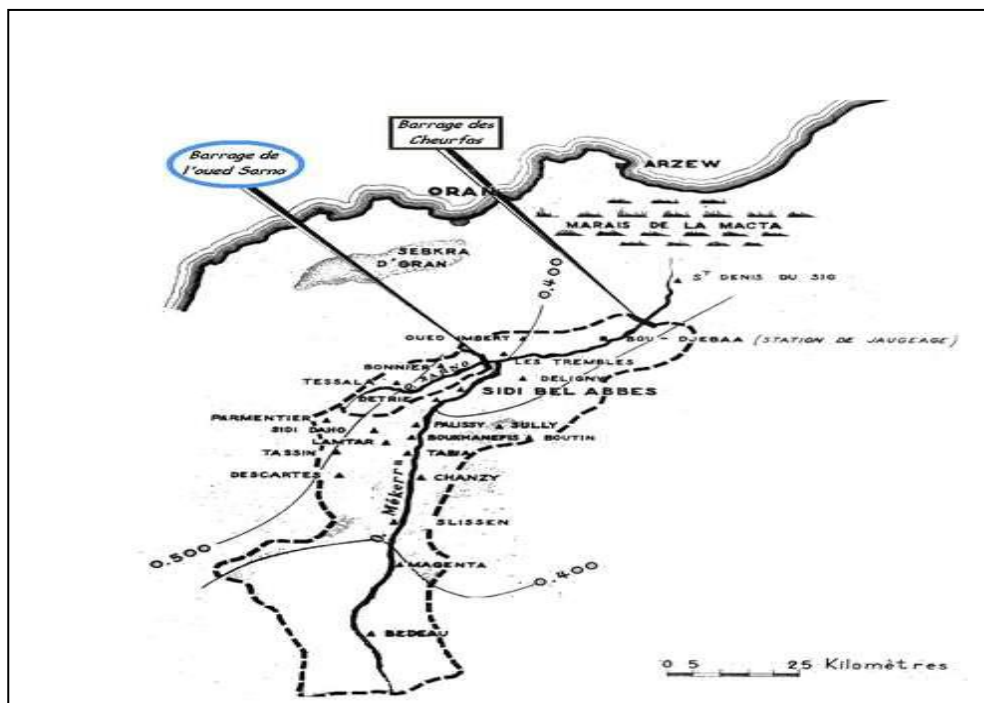


Figure 5: Situation du barrage Sarno



Figure 6: Localisation géographique du Barrage SANO (Wilaya de Sidi Bel Abbès) (ANAT, 2020) .

I.4 Description du barrage SARNO

Le barrage SARNO, unique ouvrage construit en 1947 sur le territoire de la wilaya de Sidi Bel Abbès, est situé à environ 3,5 km en amont du confluent de l'oued SARNO avec l'oued MEKERRA, à 1,5 km du village de Sidi Hamadouche et à proximité du village Dlahime. Il se trouve à 16 km au nord de la ville de Sidi Bel Abbès (**Bouderbala et Sadki, 2017**).

Il s'agit d'un barrage réservoir conçu pour compenser la faible capacité de stockage du barrage des Chourfas, affecté par un envasement préoccupant. Les eaux régularisées du barrage SARNO sont destinées à l'irrigation du périmètre agricole de SIG (5 600 ha en 1948). Ce barrage dispose d'un débit théorique de 100 L/j (soit environ 1 036,8 m³/an), avec une autorisation de production de 1 000 m³/j d'eau potable destinée principalement aux localités de Sidi Hamadouche, Sidi Brahim et Zerouala (**Otmani, 2016**).

Du point de vue géologique, la structure affleurante est constituée de formations sédimentaires récentes datant du Quaternaire, reposant localement sur des dépôts plus anciens attribués au Pliocène. Le substratum de la région appartient à l'Oligocène et se compose principalement de marnes bleues à grises, parfois jaunâtres à verdâtres, entrecoupées de bancs de calcaire gris à grains fins, d'épaisseur irrégulière (**Beladjeri, 2016**). C'est dans cette couverture sédimentaire à caractère torrentiel que se dessine la topographie du barrage.

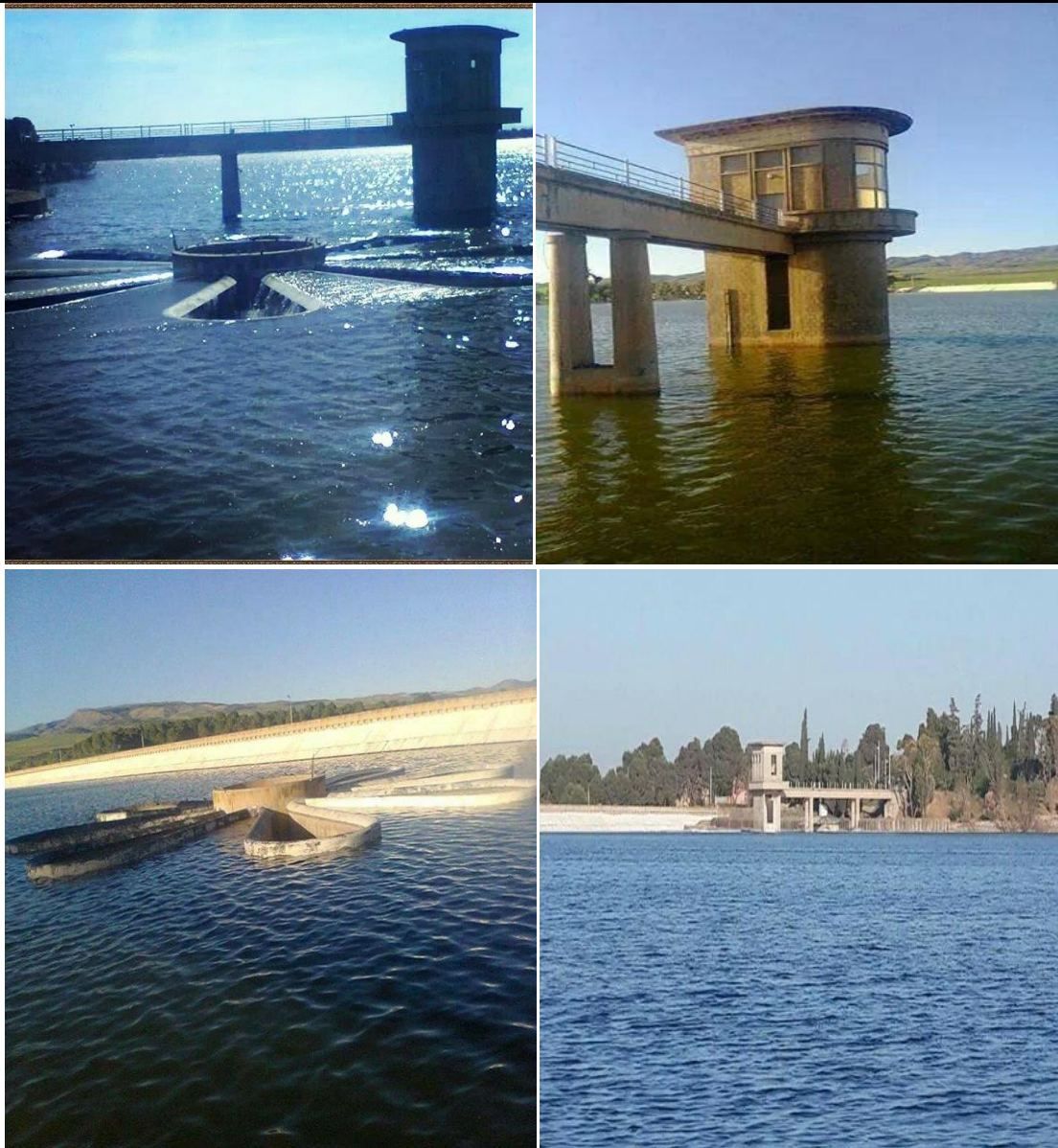


Figure 7: Vue photographique du Barrage SARNO (Wilaya de Sidi Bel Abbès - Barrage de Sarno 2018).

I.5 Caractéristique climatique du barrage

Le barrage sarno est à 431 m d'altitude dans un climat d'atlas tellien. Les précipitations oscillent entre 400 et 500 mm par an selon le climato-gramme Dembeger; il appartenait à l'étage et au sous étage bioclimatiques semi-aride frais et actuellement, il est considéré surtout dans les dix dernières années comme semi-aride (Aydoun Z et Atia I, 2019).

La région de Sidi Bel Abbès, de par sa position géographique, est soumise aux conditions climatiques continentales et aux faibles influences maritimes. Son climat se définit par une période chaude et sèche et période fraîche ou prédominante, les caractéristiques du climat méditerranéen surtout à travers son régime de pluie est très contrasté (Office Nationale de Météorologie, 2016).

I.5.1 Pluviométrie

D'après l'OMN (2016) de la wilaya de Sidi Bel Abbès, la hauteur moyenne annuelle des pluies est relativement assez faible, elle n'excède qu'exceptionnellement les 400 mm par an, une année sur cinq en moyenne (Otmani I, 2016).

I.5.2 Température

Les températures moyennes mensuelles et annuelles sidi hamadouche durant la période (2014-2024) sont données par le tableau suivant :

Tableau 11:Résultats de température sidi Hamadouche.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jui	juil	Aout	Sep
Température (c°)	23,4	20,8	14,4	11,3	8,3	8,35	9,9	12,3	15,4	18,9	27,2	25,2	22,5

Le mois de janvier est le plus froid alors que les mois juillet et Août sont considérés les plus chaud. Les températures varient entre 8.3 °C et 27.2 °C. (ONM, 2024)

I.5.3 Précipitations

Tableau 12:Résultats de précipitation sidi hamadouche.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jui	juil	Aout	Sep
Précipitations (mm)	6	8	3	2	50	42	51	42	28	7	1	3	13

Nous notons que les mois de janvier, février, mars et avril ont enregistré de fortes précipitations mensuelles de 50 mm, 42 mm, 51 mm et 42 mm respectivement. En mai et en octobre, les précipitations sont moyennes, tandis que les autres mois, elles sont faibles.

I.5.3 Diagramme Ombrothermique de Bagnouls

Ces diagrammes figurent, sur un même graphique, les courbes de pluies et de températures, qui permettent de délimiter la durée de la période sèche où : $P < 2 T$.

P : Précipitations moyennes mensuelles. **T** : Température moyenne mensuelle.

Le climat est sec lorsque la courbe des températures est au-dessus de celle des précipitations et humide dans le cas contraire (Laala, 2009 ; Hakemi, 2019).

Pour établir ce type de graphique, nous utilisons la formule : $P \text{ (mm)} < 2T \text{ (°C)}$. nous pouvons identifier la période sèche pour la commune de Sidi Hamdouche, qui s'étend de mai à fin octob

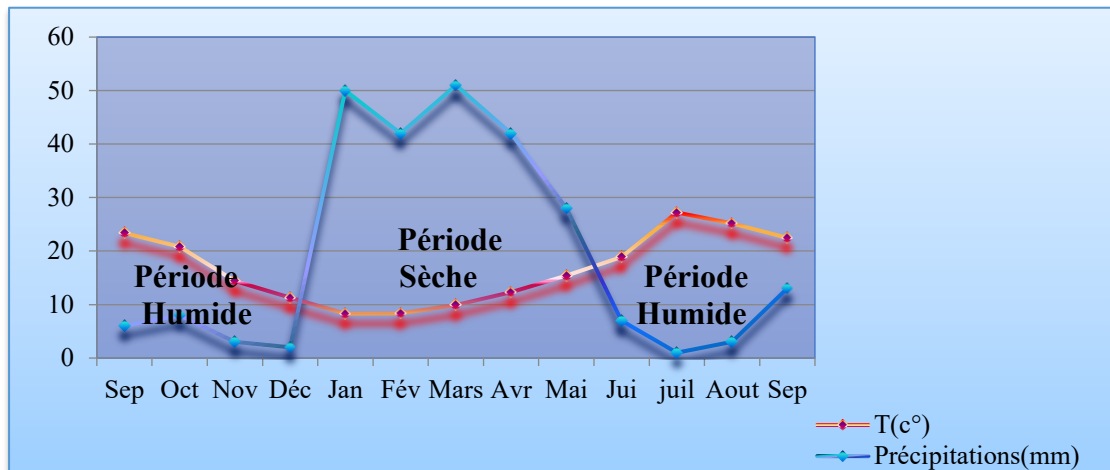


Figure 8:Diagramme Ombrothermique commune de sidi hamadouche sur 10 ans (2014-2024).

Conclusion

L'étude des caractéristiques géographiques, climatiques et hydrogéologiques de la wilaya de Sidi Bel Abbès, et plus particulièrement de la commune de Sidi Hamadouche, permet de mieux cerner le contexte environnemental dans lequel se trouve le barrage de Sarno. Ces données sont essentielles pour interpréter les résultats des analyses de la qualité de l'eau.

En effet, les facteurs naturels tels que la pluviométrie, la température, la nature géologique du sol et le régime hydrique influencent directement les propriétés physico-chimiques et microbiologiques des eaux.

CHAPITRE IV

Matériels et méthodes

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons aborder le protocole analytique des matériels utilisés. Des échantillons d'eau ont été prélevés du barrage de Sarno, situé dans la commune de Sidi Hamadouche, wilaya de Sidi Bel Abbès, puis elles sont analysées dans les laboratoires du Centre Algérien du Contrôle de la Qualité et de l'Emballage (CACQE) et l'ADE de la wilaya de Saïda.

I. Conditionnement et transport des échantillons

L'étape du prélèvement influe directement la qualité des résultats analytiques obtenus. En effet, la bonne pratique du prélèvement va conditionner en grande partie la validité des analyses et donc l'interprétation qu'on peut en faire.

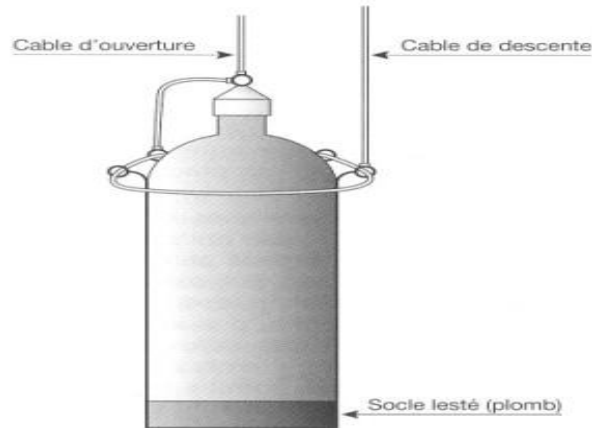
Des précautions élémentaires doivent être prises pour obtenir un échantillon représentatif afin de minimiser les risques associés à la contamination de l'échantillon par le préleveur et de permettre le maintien de l'intégrité des échantillons. Les échantillons peuvent être contaminés par un manque de soins dans l'application des techniques de prélèvement.

II. Prélèvement de l'eau

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en seront donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physicochimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc.).

Étant donné que dans la plupart des cas le responsable du prélèvement n'est pas l'analyste, il convient que le préleveur ait une connaissance précise des conditions du prélèvement et de son importance pour la qualité des résultats analytiques. Globalement Il est donc nécessaire de créer une organisation, avec des personnels qualifiés, pour développer une méthodologie qui s'adapte à chaque situation, ainsi de choisir judicieusement les points d'échantillonnage.

Et utilisez le matériel approprié (**Rodier .J Analyse de l'eau,2005**).



Exemple de système simple de prélèvement manuel en eau profonde

Figure 9:Exemple d'un système simple de prélèvement manuel en eau profonde.

III. Prélèvement, transport et conservation

III .1 Matériel de prélèvement

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

Le récipient utilisé doit assurer, une fois bouché, une protection totale contre toute contamination. Il ne doit pas céder à l'échantillon de substances toxiques vis-à-vis des bactéries. On peut utiliser des flacons en verre de 250, 500 ou 1000 ml, soigneusement lavés et rincés, sans aucune trace de détergent ou antiseptique.

Le flacon et le bouchon doivent être stérilisés soit à l'autoclave (120 °C, 15 min), soit au four Pasteur (170 °C, 1 h), puis protégés dans un étui métallique pendant le transport.

Pour les opérateurs inexpérimentés, un conditionnement simplifié est recommandé, en obturant directement le goulot par le bouchon rodé avec une bande de papier filtre. (Rodier J Analyse De L'eau,2005)

III .2 Transport et conservation

Un examen bactériologique ne peut être valablement interprété que s'il est effectué sur un échantillon correctement prélevé, dans un récipient stérile, selon un mode opératoire précis évitant toute contamination accidentelle, correctement transporté au laboratoire et analysé après une courte durée de conservation dans des conditions satisfaisantes.

La teneur initiale en germes des eaux risque de subir des modifications dans le flacon, après le prélèvement. C'est pour cela que toute analyse doit être effectuée le plus rapidement possible.

La circulaire du 21 janvier 1960, relative aux méthodes d'analyse bactériologique des eaux d'alimentation spécifie:« si la durée du transport dépasse 1 heure, et si la température extérieure est supérieure à 10 °C, les prélèvements seront transportés dans des glacières dont la température doit être comprise entre 4 à 6 °C. Même dans ces conditions, l'analyse bactériologique doit débiter dans un délai maximal de 8 heures, après le recueil de l'échantillon ».(Rodier J analyse de l'eau)



Figure 10:Vue sur le barrage Sarno (25 mars 2025 à 11:36H).

IV. Matériel et méthodes

Dans ce chapitre, nous présenterons les méthodes et les matériaux permettant de réaliser les analyses physiques et chimiques et bactériologie de l'eau du barrage de Sarno.

Toutes les analyses physico-chimiques bactériologiques ont été effectuées au laboratoire de CAQUE de Saida.

IV. 1 Les analyses organoleptiques

IV. 1.1 Mesure de couleur, l'odeur et saveur

Il s'agit d'une appréciation subjective. La mesure des paramètres organoleptiques (couleur, odeur et saveur) est basée -tout simplement- sur la finesse des sens : la vue, l'odorat et le goût de l'opérateur sans utilisation d'appareillage.

IV. 1.2 Mesure de la turbidité

- Principe:

Un liquide trouble s'éclaire vivement lorsqu'il est traversé par un faisceau lumineux, c'est le phénomène dit Tyndall due aux particules insolubles en suspension diffusant latéralement une partie des rayons lumineux.

- Mode opératoire:

Remplir une cuve de mesure avec l'échantillon à analyser (eau). Assurer que la cuve soit propre. Essuyer la cuve avec un chiffon propre. Éliminer les bulles d'air. Effectuer une légère agitation pour homogénéiser l'échantillon. Insérer la cuve dans l'appareil. Après Lire le résultat.

IV. 2 Analyses physico-chimiques

Une eau potable du point de vue chimique doit contenir sans excès un certain nombre d'éléments minéraux dont la présence lui confère une saveur agréable, à l'exclusion de ceux qui seraient l'indice d'une contamination ainsi que toute autre substance toxique. Dans le tableau ci-dessous (**voir annexe3**), nous présentons les appareils utilisés dans toutes les analyses.

IV. 2.1 Mesure de pH et Température**a) Température**

Il est importé de connaître la température des eaux. Car elle permet de corriger les autres paramètres d'analyse.

La température doit être mesurée in situ. Pour avoir une idée globale sur l'environnement ainsi pour étalonner d'autre appareillages comme le conductimètre et le pH-mètre. Ceci consiste à plonger la sonde du thermomètre dans l'échantillon, on attend que la valeur se stabilise, et on la note. la valeur mesurée qui est donnée en (C°).

b) pH

La détermination électro métrique du pH s'effectue par mesure de la différence de potentiel entre une électrode en verre et une électrode de référence (calomel KCl saturé) qui plongent dans une même solution cette différence de potentiel est une fonction linéaire du pH de la solution. Selon la Loi de Nernst, le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H^+ présent par la relation.

- Mode opératoire :

Assurer que le pH-mètre est correctement branché à une source d'alimentation électrique. Après avoir effectué un rinçage, plongez les deux sondes (sonde de température et sonde de pH) dans le milieu à analyser. Attendre que les lectures du pH et de la température se stabilisent (environ 1 minute) et noter les deux valeurs.

IV. 2.2 Mesure de la conductivité électrique**- Principe:**

Elle est Mesure de la conductance électrique d'une colonne d'eau délimitée par deux électrodes de platine (Pt) (ou couvertes de noir de platine) maintenues parallèle.

- Mode opératoire:

Pour effectuer une mesure de la conductivité, suivez ces étapes :

Plongez la sonde du conductimètre dans le bécher contenant l'eau à analyser. Tapotez légèrement la sonde sur le fond du bécher pour éliminer toutes les bulles d'air qui pourraient affecter la mesure. Allumez l'instrument en appuyant sur le bouton ON/OFF et sélectionnez la gamme de mesure appropriée. Attendez un moment pour que la lecture se stabilise, puis prenez la mesure.

IV. 2.3 Détermination des résidus secs (RS)**a) Matériels**

- Bécher de 250 ml ;
- Balance analytique ;
- Etuve réglable à 105°C ;
- Dessiccateur ;
- Fiole jaugée.

b) Mode opératoire

- Peser le bécher à vide, et noter le poids P_v ;
- Prélever 200 ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée et la déverser dans un bécher ;
- Porter ce dernier à l'étuve à 105 °C pendant 24 heures ;
- Laisser refroidir pendant 1/4 d'heure au dessiccateur ;
- Peser immédiatement et rapidement, et noter le poids P_p .

c) Expressions des résultats

$$RS \text{ (mg/l)} = (P_p - P_v) \times 5 \times 1000 \dots\dots\dots 1$$

Où :

P_p : poids du bécher plein en mg;

P_v : poids du bécher vide en mg.

IV. 2.4 Mesure dosage des chlorures(Cl^-)**a) Réactifs**

- Solution de chromate de potassium (K_2CrO_4) à 10% ;
- Solution de nitrate d'argent ($AgNO_3$) N/10.

b) Matériels

- Ajouter de 25 à 50 ml d'eau;
- Matériel courant de laboratoire : fioles, pipettes, béchers...

c) Mode opératoire

- Introduire 25 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer ;
- Ajouter 2 à 3 gouttes de solution de chromate de potassium à 10% ;
- Verser au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister 1 à 3 min ;
- Soit V le nombre de millilitres de nitrate d'argent N/10 utilisé.

V : volume utilisé de solution de nitrate d'argent en millilitres à l'atteinte du point final (apparition de la couleur rouge permanente).

N : Normalité" (la concentration équivalente).

d) Expressions des résultats

$$\text{Cl}^-(\text{mg/l}) = (\text{VAgNO}_3 \times \text{N AgNO}_3 \times \text{M}(\text{Cl}) \times 1000) / \text{PE} = (\text{VAgNO}_3 \times 0,1 \times 35,5 \times 1000) / 25 \dots\dots 2$$

Où :

VAgNO₃: volume de nitrate d'argent en millilitres;

NAgNO₃: normalité d'Argent soit 0,1 (mol/l) ;

M (Cl) : masse molaire du chlore = 35,5 g/mol;

PE : prise d'essai = 25 ml.

Après les calculs :

$$\text{Cl}^-(\text{mg/l}) = \text{VAgNO}_3 \times 142 \dots\dots\dots 3$$

IV. 2.5 Mesure d'oxygène dissous**- Principe:**

La mesure de l'oxygène dissous (OD) permet d'évaluer la quantité d'oxygène gazeux présente dans l'eau. L'oxygène dissous joue un rôle essentiel dans la plupart des processus biologiques. De plus, il est impliqué dans les réactions de dégradation biochimique et chimique.

Mode opératoire

La détermination de l'oxygène dissous (O₂) est réalisée au terrain à l'aide d'un oxymétrie portatif. La méthode de mesure se base sur l'électrolyse se produisant entre une anode en argent et une cathode en or. L'appareil permet la mesure des paramètres suivants :

- Concentration en O₂ dissous (mg/l).

-Saturation en O₂ dissous (%), qui est fonction de la pression et de la température.

-La température (C°). Plonger l'électrode de l'appareil dans l'eau à analyser et procéder à la mesure sans délai.

Le temps de stabilisation de mesure est d'environ 1 minute.

IV. 2.6 Mesure d'azote ammoniacal (NH₄⁺)

L'ion ammonium représente la forme ionisée de l'azote ammoniacal, sa présence dans les eaux profondes résulte le plus souvent de la décomposition anaérobie de matières organiques azotées. On les trouve souvent à des teneurs variantes entre 0,1 à 0,2 mg/l (Detay,1993).

a) Mode opératoire

-Prendre 40ml d'eau à analyser ;

-Ajouter 4 ml du réactif I (Dichloroisocyanurate de sodium) ;

-Ajouter 4 ml du réactif II (réactif coloré) et ajuster à 50ml avec H₂O distillé et attendre 1h.30min ;

L'apparition de la coloration verdâtre indique la présence de : NH₄⁺

IV. 2.7 Mesure Les nitrates (NO₃⁻)

Les nitrates, NO₃⁻, sont des ions minéraux nutritifs solubles dans l'eau, qui sont directement assimilables par les plantes. Ils sont ajoutés au sol soit directement par les agriculteurs soit indirectement par le fumier ou le purin. A cause de leur bonne solubilité dans l'eau, les nitrates sont facilement éliminés du sol en direction de la nappe phréatique, en particulier quand le sol est en jachère, par exemple en hiver. Ils sont généralement l'indice d'une pollution.

Le nitrate constitue le stade final de l'oxydation de l'azote. En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrososylate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique. Le résultat est donné directement en mg/l à une longueur d'onde égale à 420 Nanomètres. Les étapes de détection des nitrates à l'aide de l'appareil sont détaillées dans l'annexe (voir annexe3 Figure2).

a) Réactifs

b) Solution de salicylate de sodium à 0.5% ;

-Solution d'hydroxyde de sodium à 30% ;

-Solution de tartrate double de sodium et de potassium ;

-Acide sulfurique (H₂SO₄) concentré.

b) Matériel

-Balance analytique de laboratoire ;

-fioles de 100 ml ;

- Pipettes 10 ml, 5 ml, 2 ml, 1 ml et poires à pipeter ;
- Etuve ou bain marie pour séchage ;
- Spectrophotomètre UV-Visible à longueur d'onde de 415 nm.

c) Mode opératoire

- Introduire 10 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 3 gouttes de la solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 30% ;
- Ajouter 1 ml de solution de salicylate de sodium à 0.5 % ;
- Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75 - 88°C ;
- Prendre le résidu avec 2 ml d'acide sulfurique concentré ;
- Laisser reposer 10 min ;
- Ajouter 15 ml d'eau distillée ;
- Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium ;
- Faire la lecture au spectromètre UV-Visible (**Rodier.2005**).

IV. 2.8 Mesure Dosage du nitrite (NO_2^-)**a) Réactifs :**

- Solution du réactif mixte.

b) Mode opératoire

- Prendre 50 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 1 ml du réactif mixte ;
- Attendre 10 min ;
- L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO_2^- ;
- Faire la lecture au spectrophotomètre UV-Visible à longueur d'onde de 540 nm.

IV. 2.9 Dosage du phosphate (PO_4^{3-})**a) Réactifs**

- Réactif mélange ;
- Acide ascorbique ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$).

b) Mode opératoire

- Prendre 40 ml d'eau à analyser et 1 ml d'acide ascorbique ;
- Ajouter 2 ml du réactif mélange ;
- Attendre 10 min ;
- L'apparition de la coloration bleue indique la présence des phosphates ;
- Fait la lecture à l'aide du spectrophotomètre UV-visible à 700 ou 880 nm

IV. 2.10 Détermination de la matière organique (MO)**a) Réactifs utilisés**

- Solution d'acide sulfurique H_2SO_4 à 50 % ;
- Solution de permanganate de potassium $KMnO_4$ N/80 ;
- Solution d'acide oxalique $H_2C_2O_4$ N/80 ;

(Voir Annexe 3, Figure 1 et Figure 4 pour la liste complète des réactifs utilisés en laboratoire).

b) Matériel nécessaire

- Plaque chauffante ;
- Agitateur mécanique ;
- Burette graduée ;
- Verrerie courante de laboratoire (béchers, fioles, pipettes, etc.).

c) Mode opératoire

- Introduire dans un erlenmeyer de 500 ml, 100 ml d'échantillon d'eau à analyser ;
- Ajouter 10 ml d'acide sulfurique à 50 % ;
- Ajouter ensuite 10 ml de solution de permanganate de potassium N/80 ;
- Chauffer doucement jusqu'à ébullition ménagée pendant 10 minutes, à partir du moment où les bulles remontent régulièrement à la surface ;

-Après chauffage, ajouter 10 ml de solution d'acide oxalique N/80 pour décolorer l'excès de $KMnO_4$;

-Titrer immédiatement, pendant que la solution est encore chaude, avec la même solution de $KMnO_4$ N/80, jusqu'à l'obtention d'une coloration rose pâle stable pendant environ 30 secondes ;

-Noter le volume V_1 de $KMnO_4$ utilisé ;

-Réaliser un essai à blanc en suivant le même protocole, en remplaçant l'échantillon par 100 ml d'eau distillée, et noter le volume V_0 de $KMnO_4$ utilisé.

d) Calcul de la concentration en matière organique

$$MO (O_2 \text{ mg /l}) = (V_0 - V_1) \times F \times K \dots\dots\dots 4$$

V_0 : volume de $KMnO_4$ (N/80) utilisé pour l'essai à blanc (en ml).

V_1 : volume de $KMnO_4$ (N/80) utilisé pour l'échantillon (en ml).

F : facteur de correction de la solution de $KMnO_4$.

K=0,8: constante de conversion pour exprimer la concentration en O_2 mg/ l.

IV. 2.11 Mesure de la dureté totale TH**a) Principe**

La dureté de l'eau est principalement due à la présence des ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}).

Elle est déterminée par complexation avec l'acide éthylènediaminetétraacétique (EDTA), qui forme des complexes stables avec ces ions. Un indicateur coloré, le noir ériochrome T (NET), est utilisé pour détecter le point d'équivalence. Le dosage s'effectue dans un milieu tamponné à $\text{pH} = 10$ à l'aide d'une solution ammoniacale ($\text{NH}_4\text{OH}/\text{NH}_4\text{Cl}$), afin d'éviter la précipitation du magnésium.

b) Réactifs

- Solution d'EDTA titrée à 0,01 mol/L ;
- Indicateur noir ériochrome T (NET), en poudre ou en solution ;
- Solution tampon ammoniacale ($\text{NH}_4\text{OH}/\text{NH}_4\text{Cl}$) à $\text{pH} = 10$;
- Échantillon d'eau à analyser.

c) Matériel

- Burette graduée de 25 à 50 ml ;
- Verrerie courante de laboratoire : béchers, fioles, pipettes, erlenmeyers...
- Agitateur ou plaque chauffante (facultatif).

d) Mode opératoire

- Prélever 50 ml d'échantillon d'eau dans un erlenmeyer ;
- Ajouter 2 ml de solution tampon ammoniacale ;
- Ajouter une pincée ou quelques gouttes de NET : la solution devient rose à rouge vineux ;
- Titrer avec la solution d'EDTA jusqu'au virage au bleu clair, indiquant la fin de la complexation ;
- Noter le volume d'EDTA utilisé (V_2).

e) Calcul du titre hydrotimétrique (TH)

La dureté totale, exprimée en degrés français ($^\circ\text{F}$), est donnée par la formule :

$$\text{TH } (^\circ\text{F}) = V_{\text{EDTA}} \times 2 \dots\dots\dots 5$$

Chaque 1 ml de solution d'EDTA à 0,01 mol/l correspond à 1 $^\circ\text{F}$ (ou 10 mg/l de CaCO_3).

IV. 2.12 Mesure du magnésienne Mg^{2+}

Après avoir déterminé la dureté calcique (par dosage sélectif du calcium), la teneur en magnésium est calculée par différence :

$$[Mg^{2+}] = TH - [Ca^{2+}] \dots\dots\dots 6$$

IV. 2.13 Mesure du Calcium Ca^{2+}

Le dosage des ions calcium se réalise par titrage avec une solution d'EDTA à 0,01 mol/l, dans un milieu fortement basique ($pH \approx 12-13$), ce qui permet de précipiter le magnésium et de doser exclusivement le calcium.

Mode opératoire

Remplir la burette avec la solution d'EDTA jusqu'au repère zéro.

-Introduire 50 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer.

-Ajouter 2 ml de NaOH 2N.

-Ajouter une petite quantité de poudre de murexide.

-Titrer goutte à goutte avec l'EDTA jusqu'au virage net de la couleur vers le violet pâle.

-Noter le volume d'EDTA utilisé (V_1).

Calcul de la dureté calcique :

$$[Ca^{2+}](^{\circ}F) = V_1 \times 2 \dots\dots\dots 7$$

IV. 2.14 Mesure du Titre Alcalimétrique (TA) et du Titre Alcalimétrique Complet (TAC)**a) Principe**

Le titre alcalimétrique (TA) représente la teneur de l'eau en alcalis libres et en carbonates alcalins (hydroxydes et carbonates).

Le titre alcalimétrique complet (TAC) mesure la teneur totale en bases, incluant les alcalis libres, les carbonates et les bicarbonates.

Ces deux paramètres sont déterminés par neutralisation acido-basique, à l'aide d'un acide minéral dilué, en présence d'indicateurs colorés (phénolphtaléine pour le TA, méthylorange pour le TAC).

b) Réactifs

-Acide chlorhydrique (HCl) ou acide sulfurique (H_2SO_4), N/50

-Solution de phénolphtaléine à 0,5 % dans l'éthanol

-Solution de méthylorange à 0,5 % dans l'eau

-Eau distillée dégazée (exempte de CO₂ libre), obtenue par ébullition pendant 15 minutes puis refroidie à l'abri de l'air

c) Mode opératoire

-Prélever 100 ml d'eau à analyser dans une capsule de porcelaine blanche (diamètre env. 12cm).

-Ajouter 1 à 2 gouttes de solution alcoolique de phénolphtaléine.

-Si la solution prend une coloration rose, cela indique la présence d'hydroxydes et/ou carbonates (TA).

-Titrer avec l'acide N/50, goutte à goutte, en agitant doucement, jusqu'à disparition complète de la teinte rose.

Le volume utilisé correspond au Titre Alcalimétrique (TA).

-Ajouter ensuite quelques gouttes de méthylorange.

-La solution devient jaune en milieu basique et rose orangée à l'équivalence.

-Continuer le titrage jusqu'au changement de couleur (jaune → rose orangé).

-Le volume total d'acide utilisé (depuis le début) correspond au Titre Alcalimétrique Complet (TAC).

d) Calculs (en option selon ta mention ou ton encadrement)

Les résultats peuvent être exprimés en °f (degré français) selon la formule :

$$\text{TA ou TAC (°f)} = V \times 5 \dots\dots\dots 8$$

Où :

V : volume (en ml) d'acide N/50 consommé

1 °f = 10 mg/l de CaCO₃ équivalent.

c) Mode opératoire

Remplir la burette avec Acide sulfurique jusqu'au trait zéro. Introduire 100 ml d'eau à analyser dans l'erlenmeyer. Ajouter 2 à 3 gouttes de méthyle orange à la solution, celle-ci prendra une teinte jaune. (Voir annexe3 Figure5 pour la liste des réactifs utilisés en laboratoire).

IV. 3 Méthode d'Analyse : Test de Jarres (Jar-Test)

a) Objectif de l'expérience

Déterminer la dose optimale de coagulant (ex. : sulfate d'aluminium) et de flocculant (polymère) à injecter dans l'eau brute, permettant d'obtenir une eau clarifiée, avec une turbidité minimale et une bonne décantation des floes.

b) Principe

Le test de Jarres est un essai expérimental utilisé en traitement physico-chimique de l'eau. Il consiste à ajouter des doses croissantes de coagulant dans plusieurs béchers contenant la même eau brute, suivies de l'ajout d'une dose constante de flocculant, puis à observer la formation des floes et mesurer des paramètres tels que pH et turbidité après décantation.

La dose optimale est celle qui permet d'obtenir :

- Une eau la plus claire possible (faible turbidité) ;
- Une bonne formation et décantation des floes ;
- Un pH acceptable pour le traitement.

c) Réactifs

- Solution de sulfate d'aluminium : $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (coagulant);
- Solution de polymère flocculant : (ex. : polyacrylamide cationique ou anionique selon le cas).

d) Matériel

- Appareil Jar-Test (flocculateur à 6 stations) ;
- pH-mètre ;
- Turbidimètre ;
- Béchers de 1 l (x6) ;
- Pipettes, éprouvettes, eau distillée.

e) Mode opératoire

Remplir 6 béchers d'1 litre d'eau brute chacun.

- les béchers dans le flocculateur ;
- Ajouter des doses croissantes de coagulant (par exemple : 5, 10, 15, 20, 25, 30 mg/l de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$;
- Démarrer l'agitation rapide à 180 rpm pendant 5 minutes pour favoriser la coagulation ;
- Ajouter la même dose de flocculant (ex. : 0,2 mg/L) dans chaque bécher ;
- Réduire la vitesse à 40 rpm pendant 15 minutes (agitation lente) pour favoriser l'agglomération des floes ;
- Laisser les béchers en décantation statique pendant 30 minutes.

f) Mesurer

- Le pH de chaque bécher à l'aide d'un pH-mètre ;
- La turbidité de chaque échantillon décanté à l'aide d'un turbidimètre.
- Nettoyer le matériel après chaque essai avec de l'eau distillée.

g) Interprétation des résultats

La dose optimale de coagulant/floculant est celle qui donne ;

- La turbidité la plus faible ;
- Un pH acceptable (généralement entre 6,5 et 8,5 selon les normes)

Une décantation rapide et claire ;

- Des floes denses, volumineux, bien formés (CACQE, laboratoire de Saïda, 2025).

IV. 5 Analyses bactériologiques

Le principe général des techniques des examens microbiologiques des eaux consiste à ensemencer une quantité d'échantillon d'eau sur un milieu de culture (solide ou liquide). On suppose que pendant l'incubation chaque microorganisme présent se développe pour donner soit une colonie visible directement sur un milieu solide soit des changements d'apparence dans un milieu liquide. Le choix d'une technique d'ensemencement dépend de la nature des microorganismes recherchés, de celle de l'eau examinée (I.S.O, 1987).

Selon le Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire (J.O.R.A.D.P) n°35 de Mercredi Aouel Safar 1419 correspondant au 27 Mai 1998 les critères microbiologiques des eaux de distribution traitées sont :

- Les coliformes totaux (CT) et fécaux (CF)
- Les streptocoques fécaux
- Les germes totaux.
- Les Clostridium sulfito-réducteurs et de leurs spores (J.O.R.A.D.P n° 35, 1998).

IV. 5.1 Méthode d'analyse par filtration

Cette technique permet la mise en évidence des germes grâce à des membranes (filtres) poreuses dont les pores ont un diamètre très réduit qui retiennent les microorganismes. Ces microorganismes seront ensuite isolés sur des milieux d'isolement spécifiques. Cette méthode est rapide, simple, normalisée, mais nécessite la disponibilité d'une rampe de filtration.

-Mode opératoire de filtration

Tout d'abord, il faut stériliser un entonnoir à l'aide d'un bec Bunsen. Mettre en place de façon aseptique une membrane de filtration entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérile. Remplir de façon aseptique l'entonnoir avec 100 ml d'eau à analyser Actionner la pompe à vide pour permettre le passage de l'eau à travers la membrane. Retirer ensuite la membrane à l'aide d'une pince stérile et la placer dans une boîte de pétrie de 45mm de diamètre. **Les étapes détaillées de cette procédure sont présentées dans l'annexe3 Figure7.**

IV. 5.2 Recherche des coliformes totaux (CT) et fécaux (CF)

La gélose VRBL est un milieu sélectif pour l'isolement et la numération des coliformes totaux et fécaux dans l'eau, le lait et les autres produits laitiers, le matériel de laiterie et autres denrées alimentaires.

a) Mode opératoire

- Prélever 1 ml de l'échantillon initial et l'ajouter dans un tube contenant 9 ml d'eau stérile $\Rightarrow$ dilution 10^{-1} .
- Prélever 1 ml de la dilution 10^{-1} et le transférer dans un second tube contenant 9 ml d'eau stérile $\Rightarrow$ dilution 10^{-2} .
- Prélever 1 ml de la dilution 10^{-2} et le transférer dans un troisième tube $\Rightarrow$ dilution 10^{-3} .

b) Ensemencement

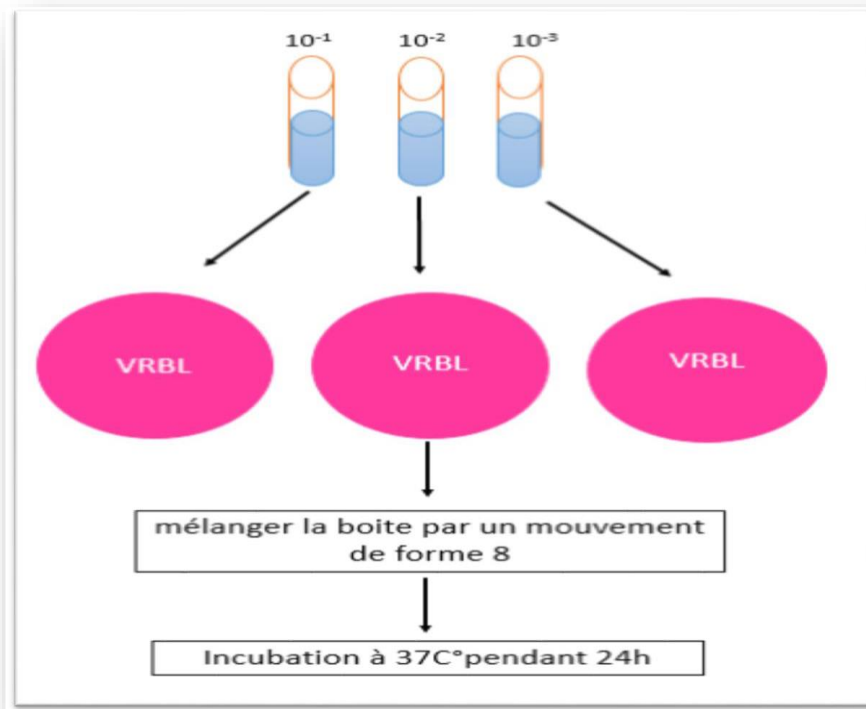
- Prélever 1 ml de chaque dilution (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3}) et le déposer dans une boîte de Pétri stérile.
- Verser environ 15 ml de gélose VRBL fondue et refroidie à 45–50°C dans chaque boîte.
- Mélanger doucement en effectuant un mouvement circulaire ou en forme de 8.
- (Optionnel : verser une couche de surface de gélose VRBL — overlay — après solidification de la première couche.)

c) Incubation

- Incuber les boîtes à 37°C pendant 24 ± 2 heures.
- Retourner les boîtes après solidification pour éviter la condensation.

Lecture

Les colonies typiques apparaissent rouges avec un centre foncé, en raison de la fermentation du lactose et de la production d'acides.



VRBL : Violet Red Bile Lactose agar

Figure 11: Schéma des étapes de recherche de coliforme totaux.

IV. 5 .3 Recherche des streptocoques fécaux

a) Principe

Après ensemencement d'eau à analyser dans un flacon de milieu de culture qui contient une certaine quantité d'acide de sodium, le repiquage (si le milieu présente un trouble microbien) sur un milieu nettement plus inhibiteur (plus forte concentration en acide de sodium et présence d'éthyle violet), ne laisse se développer que les streptocoques fécaux (**Rodier et al., 2005**).

b) Mode opératoire

a) Test présomptif

Ensemencer 50 ml d'eau à analyser dans un flacon de milieu de Rothe à double concentration contenant 50 ml de milieu. Homogénéiser soigneusement, par agitation, le contenu du flacon pour assurer l'uniformité du milieu avec l'échantillon. Incuber le flacon à 37° C et l'examiner après 24 heures et 48 heures (**Rodier et al., 2005**).

Lecture

Le flacon présentant un trouble microbien pendant cette période est présumé contenir des streptocoques fécaux et est soumis au test confirmatif (**Rodier et al., 2005**).

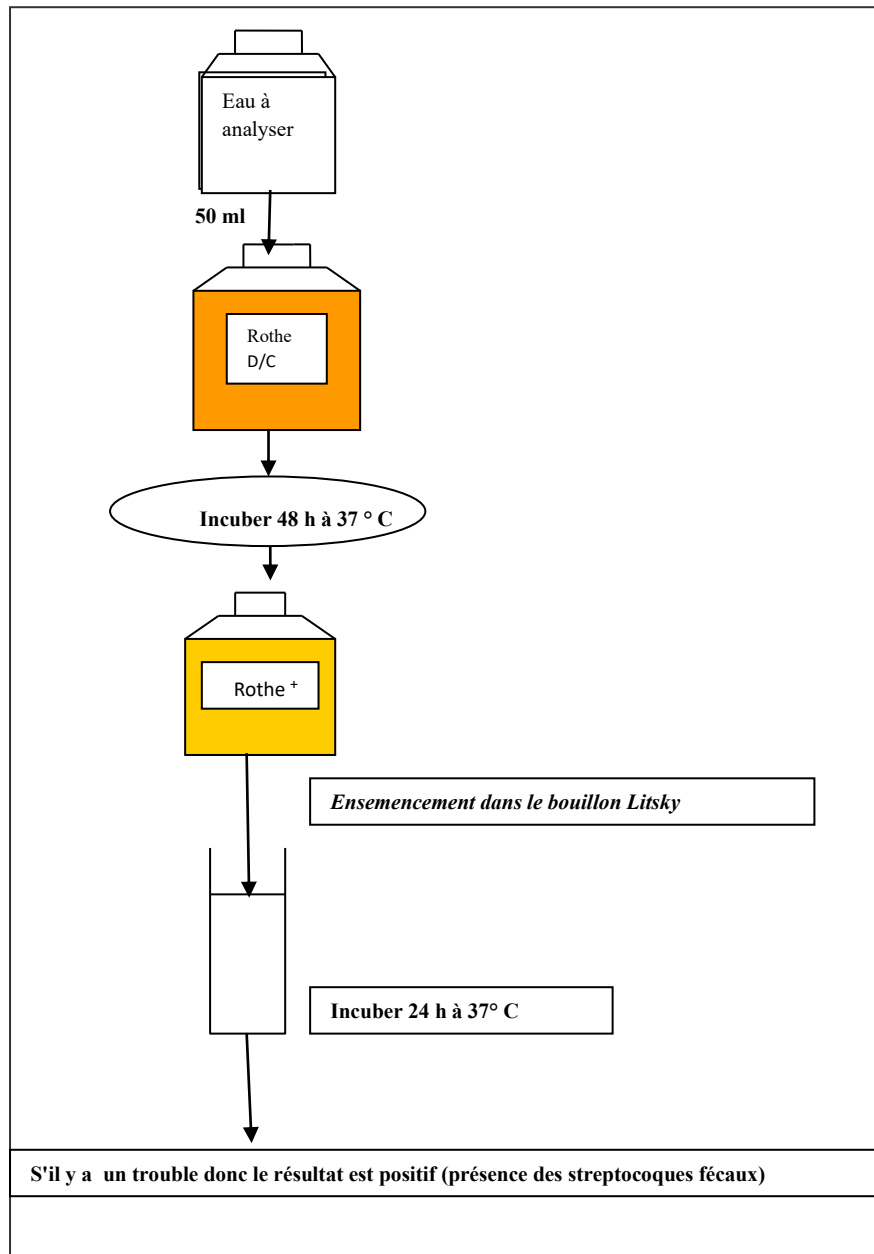


Figure 12: Technique de recherche des streptocoques fécaux

b) Test confirmatif

Après agitation du flacon positif, prélever trois gouttes avec une pipette Pasteur, et les reporter dans un tube du milieu litsky à l'éthyle violet et à l'acide de sodium. Incuber à 37°C pendant 24 à 48 heures.

Lecture

L'apparition d'un trouble microbien confirme la présence de streptocoques fécaux. Parfois, la culture s'agglomère au fond du tube en fixant le colorant et en formant une pastille violette de signification identique à celle du trouble (Rodier et al., 2005).

Expression des résultats

Les résultats de recherche des streptocoques fécaux sont exprimés par la présence ou l'absence de ces bactéries dans 50 ml (**Rodier et al., 2005**).

IV. 5 .4 Escherichia coli

Adjonction de 2 à 3 gouttes du réactif de kovacs dans les tubes positifs.

Lecture

Après 10 secondes :

Apparition de l'anneau rouge indiquent l'Escherichia coli.

IV. 5 .5 Recherche des germes totaux**a)Principe**

L'eau est inoculée par incorporation dans un milieu strictement défini et non sélectif. La lecture est faite après 48 heures d'incubation à 36 °C ou après 72 heures d'incubation à 22 °C. Cette méthode fait cependant subir un choc thermique aux micro-organismes au moment de l'incorporation de la gélose.

b)Mode opératoire

Stérilisation du lieu et des matériels à l'aide de bec bunsen. A partir de l'eau à analyser porter aseptiquement 1 ml (20 gouttes) en double dans deux boîtes de pétri vides numéroté. Compléter ensuite avec environ 19ml de gélose PCA fondue puis refroidie, Le temps qui s'écoule entre le moment où l'on a distribué l'inoculation dans la boîte et celui où le milieu est coulé ne doit pas excéder 15 minutes. Faire ensuite des mouvements circulaires et de va-et-vient en formes de 8 pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose, sur une surface fraîche et horizontale. Laisser solidifier les boîtes sur paasse puis rajouter une deuxième couche d'environ 5 ml de la même gélose. Cette double couche à un rôle protecteur contre les contaminations externes diverses. Les boîtes seront partagées en deux Etuve distinctes :

-La première sera incubée à 22°C pendant 72heurs.

-La seconde sera incubée à 37°C pendant 48°heurs (**CACQE, laboratoire de Saïda, 2025**).

Lecture

-Apparition des colonies dans l'Etuve de 22° cela indique la présence des bactéries originales de l'eau (Saprophyte) en abondance.

-Apparition des colonies dans l'Etuve 37° cela indique la présence des bactéries situé dans l'intestin (Entérobactéries).

IV. 5.6 Recherche des Clostridium sulfito-réducteurs et dénombrement de leurs spores**a) Principe**

L'échantillon est incorporé à un milieu fondu, additionné de sulfite de sodium et de sels de fer. L'incorporation de l'eau dans le milieu se fait dans un tube et non dans une boîte afin de limiter la surface de contact entre le milieu et l'air. Après solidification et incubation, la présence de Clostridium sulfito-réducteurs se traduit par un halo noir autour des colonies (Rodier et al., 2005).

b) Mode opératoire**Préparation du milieu**

Placer un tube de milieu de culture de gélose viande foie (contenant 20 ml de milieu) au bain marie bouillant pour assurer la fusion du milieu.

Maintenir 10 minutes dans ce bain pour assurer l'élimination des gaz dissous. Refroidir à 55° C environ.

Ajouter à ce tube 1 ml de la solution de sulfite de sodium et 4 gouttes de la solution d'alun de fer ensuite mélanger sans faire de bulles (Rodier et al., 2005).

Inoculation et incubation

Dans un tube stérile, contenant 1 ml d'eau à analyser, couler le contenu d'un tube de milieu, mélanger doucement sans incorporer d'air.

Refroidir sous l'eau du robinet. Incuber à 37° C et faire une première lecture après 24 heures et une deuxième après 48 heures (Rodier et al., 2005).

Expression des résultats

Les résultats se caractérisent par la présence ou l'absence des Clostridium sulfito-réducteurs dans 1ml (Rodier et al., 2005).

IV. 5.7 Recherche des Dénombrement des spores**a) Principe**

Après destruction des formes végétatives par chauffage à 80° C, l'échantillon est incorporé à un milieu fondu, additionné de sulfite de sodium et de sels de fer. L'incorporation de l'eau dans le milieu se fait dans un tube et non dans une boîte afin de limiter la surface de contact entre le milieu et l'air. Après solidification et incubation, la présence des spores de Clostridium sulfito-réducteurs se traduit par un halo noir autour des colonies (Rodier et al., 2005).

b) Mode opératoire**Préparation du milieu**

Placer quatre tubes de milieu de culture de gélose viande foie (contenant chacun 20 ml de milieu) au bain marie bouillant pour assurer la fusion du milieu.

Maintenir 10 minutes dans ce bain pour assurer l'élimination des gaz dissous. Refroidir à 55° C environ.

Ajouter à chaque tube 1 ml de la solution de sulfite de sodium et 4 gouttes de la solution d'Alun de fer ensuite mélanger sans faire de bulles **(Rodier et al., 2005)**.

Destruction des formes végétatives

Placer 20 ml d'eau à analyser dans un tube et le porter au bain marie à 80° C $\pm$ 2° C de façon à ce qu'il demeure 10 minutes à cette température ensuite refroidir rapidement à environ 55° C (choc thermique) **(Rodier et al., 2005)**.

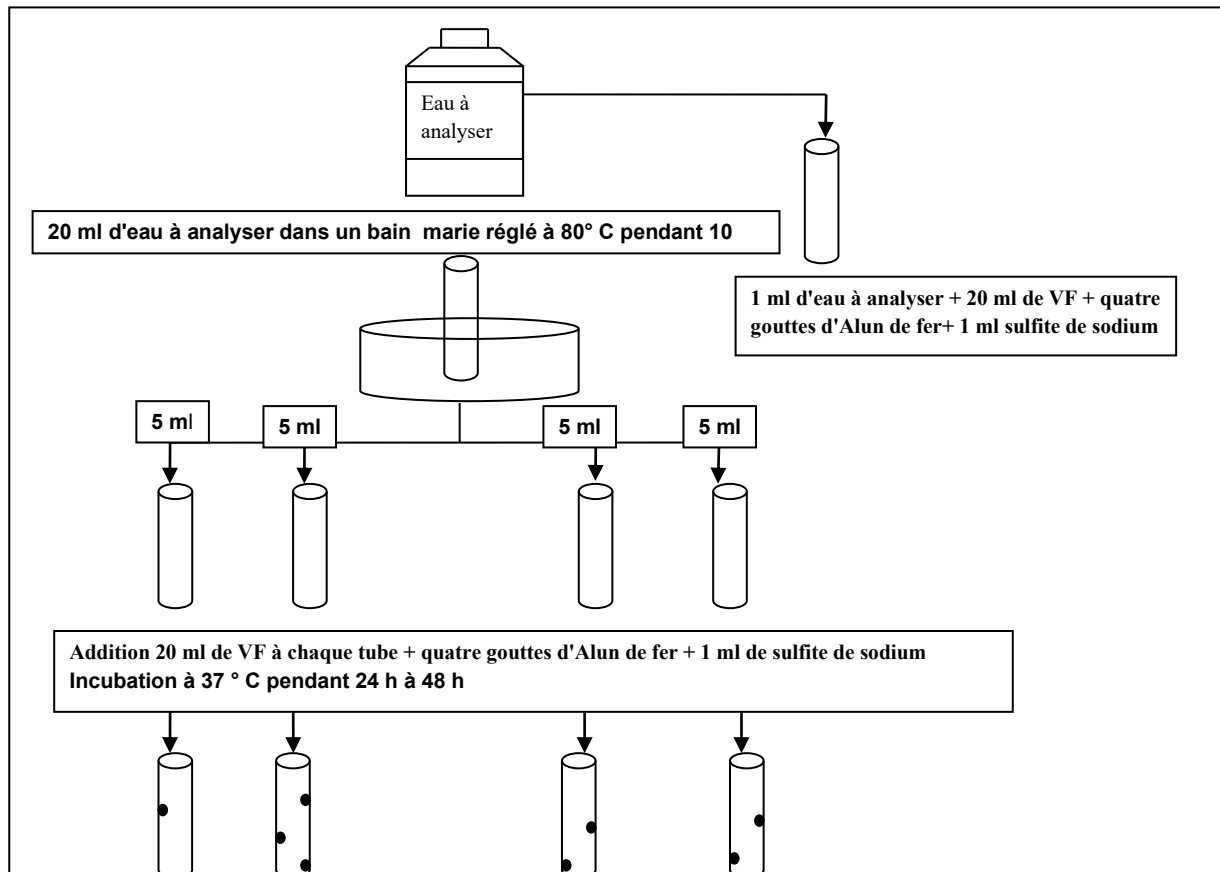
Inoculation et incubation

Dans quatre tubes stériles, répartir 5 ml d'eau (sous choc thermique), couler dans chacun d'eux le contenu d'un tube de milieu, mélanger doucement sans incorporer d'air.

Refroidir sous l'eau du robinet. Incuber à 37° C. Faire une lecture après 24 heures; une deuxième après 48 heures **(Rodier et al., 2005)**.

Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en nombre de spores par 20ml **(Rodier et al., 2005)**.



VF : Viande fois.

(Rodier et al., 2005).

Figure 13: Technique de recherche des *Clostridium* sulfito-réducteurs et du dénombrement de leurs spores.

Conclusion

En conclusion, les analyses physico-chimiques réalisées sur les échantillons prélevés au barrage de Sarno ont permis d'obtenir des données essentielles pour évaluer la qualité de l'eau dans cette région. Le protocole rigoureux suivi, ainsi que l'utilisation d'équipements adaptés au sein des laboratoires du CACQE et de l'ADE de Saïda, garantissent la fiabilité des résultats présentés dans ce mémoire. Ces résultats constituent une base solide pour toute étude future visant à la gestion durable des ressources en eau de la wilaya de Sidi Bel Abbès.

Chapitre V

Résultats et interprétations

Introduction

Notre chapitre vise à étudier la qualité de l'eau brute du barrage Sarno, situé dans la commune de Sidi Hamadouche, wilaya de Sidi Bel Abbès, à travers des analyses physiques, chimiques et bactériologiques réalisées dans deux laboratoires (Direction de l'Algérienne des Eaux (ADE) et la Direction du Centre Algérien du Contrôle de la Qualité et de l'Emballage (CACQE)). Nous présenterons les résultats de toutes les analyses effectuées durant, les mois de Mars, Avril et Juin.

I. Caractérisations physico-chimiques

Tableau 13: Les résultats physicochimiques de l'eau brute du mois de Mars.

Les paramètres		Eau brute	Normes	
			ALG	OMS
Paramètres physico-chimiques	T (°C)	13.8	25	25
	PH	7,32	(6,5-8,5)	(6,5-9,2)
	Conductivité(μs/cm)	4710	2800	≤ 2500
	Turbidité (NTU)	32.8	5	≤ 5
	TAC (F°)	11,5	12	≤ 5
	TH (mg/l)	685	500	≤ 200
	Mg ²⁺ (mg/l)	155	150	100
	Ca ²⁺ (mg/l)	25	150	≤ 150
	Matière organique (mg/l)	37	5	≤ 3 – 5
	RS (mg/l)	3420	2000	≤ 1000 – 1500
	Oxygène dissous (mg/l)	3,26	> 5	> 5
	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	0,97	≤ 0,5	≤ 0,5
	NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,72	≤ 0,5	≤ 0,5
	NO ₃ ⁻ (mg/l)	7	≤ 50	≤ 50
	NO ₂ ⁻ (mg/l)	0,26	≤ 0,2	≤ 0,2
	Cl ⁻ (mg/l)	1278	500	≤ 250

NA : Norme Algérienne.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

Tableau 14: Les résultats physico-chimiques de l'eau brute du mois d'Avril.

Les paramètres		Eau brute	Normes	
			ALG	OMS
Paramètres physico-chimiques	T (°C)	14.1	25	25
	PH	7,3	(6,5-8,5)	(6,5-9,2)
	Conductivité (µs/cm)	4689	2800	≤ 2500
	Turbidité (NTU)	35	5	≤ 5
	TAC (F°)	11,22	12	≤ 5
	TH (mg/l)	683,9	500	≤ 200
	Mg ²⁺ (mg/l)	146,6	150	100
	Ca ²⁺	33,2	150	≤ 150
	Matière organique (mg/l)	35	5	≤ 3 – 5
	RS (mg/l)	3409	2000	≤ 1000 – 1500
	Oxygène dissous (mg/l)	2,98	> 5	> 5
	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	0,86	≤ 0,5	≤ 0,5
	NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,78	≤ 0,5	≤ 0,5
	NO ₃ ⁻ (mg/l)	6	≤ 50	≤ 50
	NO ₂ ⁻ (mg/l)	0.19	≤ 0,2	≤ 0,2
	Cl ⁻ (mg/l)	1266	500	≤ 250

NA : Norme Algérienne.

OMS :Organisation Mondiale de la Santé

Le tableau ci-dessous présente les résultats des analyses physico-chimiques de deux échantillons du barrage Sarno, désignés par X1 et X2. Les prélèvements ont été effectués au mois du Juin ; les deux échantillons sont espacés d'environ 35 mètres afin d'analyser les variations potentielles de la qualité de l'eau au sein du site.

Les graphes ci-dessous montrent les moyennes et les variations des analyses physiques et chimiques de l'eau de barrage Sarno.

Tableau 15: Les résultats physico-chimiques de l'eau brute du mois Juin, prélevée à deux points distincts (x1 et x2).

Les paramètres		Eau brute		Normes	
		x1	x2	ALG	OMS
Paramètres physico-chimiques	T (°C)	23	23	25	25
	PH	8,85	8.8	(6,5-8,5)	(6,5-9,2)
	Conductivité (µs/cm)	16130	15000	2800	≤ 2500
	Turbidité (NTU)	50	42	5	≤ 5
	TAC (F°)	550	500	12	≤ 5
	TH (mg/l)	950	870	500	≤ 200
	Mg ²⁺ (mg/l)	1083,9	980	150	100
	Ca ²⁺ (mg/l)	835,7	770	150	≤ 150
	Matière organique (mg/l)	20,1	17.5	5	≤ 3 – 5
	RS (mg/l)	4560	4200	2000	≤ 1000 – 1500
	Oxygène dissous (mg/l)	3,6	4.2	>5	> 5
	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	1,45	1.2	0,5	≤ 0,5
	NH ₄ ⁺ (mg/l)	20,7	18.5	0,5	≤ 0,5
	NO ₃ ⁻ (mg/l)	21	18.5	50	≤ 50
	NO ₂ ⁻ (mg/l)	1,8	1.5	0,2	≤ 0,2
	Cl ⁻ (mg/l)	5715,5	5200	500	≤ 250

NA : Norme Algérienne.

X1 :Échantillon 1.

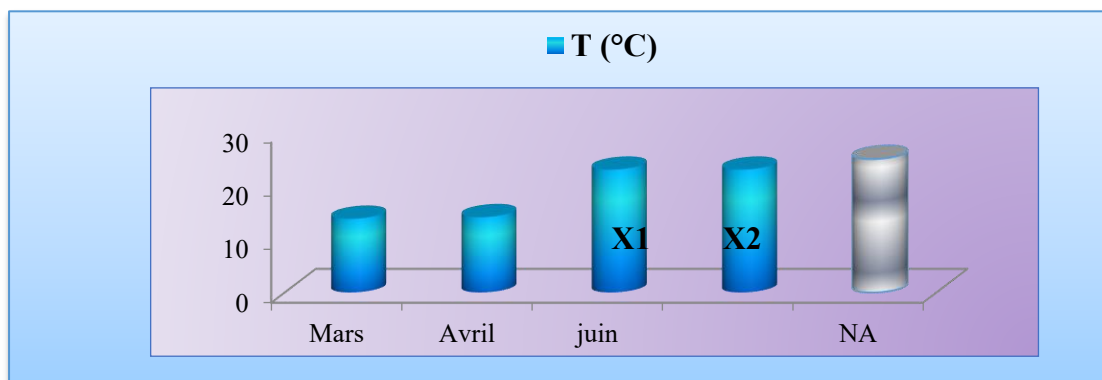
X2 : Échantillon 2.

OMS :Organisation Mondiale de la Santé.

Les graphes ci-dessous montrent les moyennes et les variations des analyses physiques et chimiques de l'eau de barrage Sarno.

1.1 La température

La T°C joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique des bactéries et l'évaporation des eaux.



NA : Norme Algérienne.

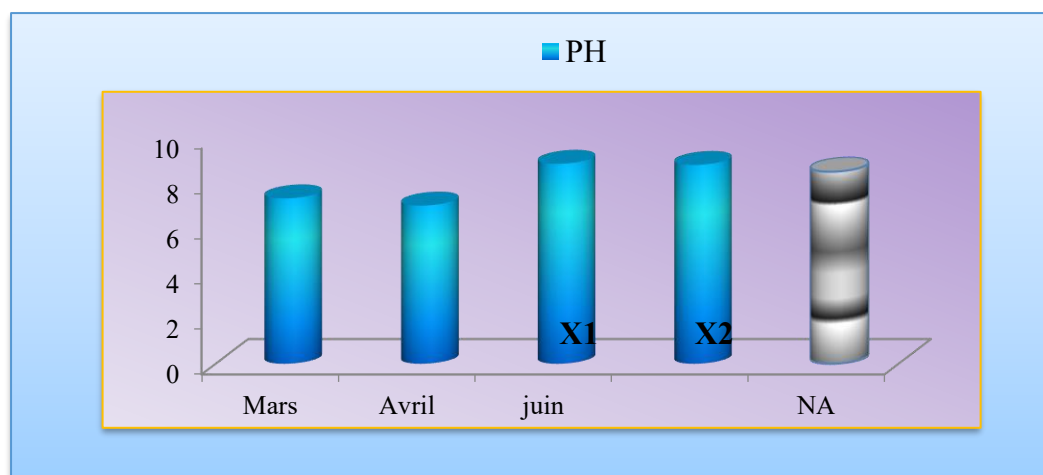
X1 : Échantillon 1.

X2 : Échantillon 2.

Figure 14: Variation de la température.

Les températures en Mars et Avril sont basses (13,8°C et 14,1°C), ce qui est normal pour cette période de l'année. En Juin, les températures augmentent à 23°C, ce qui est attendu en raison des conditions climatiques plus chaudes. Ces valeurs sont toutes conformes à la norme algérienne de 25°C.

1.2. Le pH



NA : Norme Algérienne.

X1 : Échantillon 1.

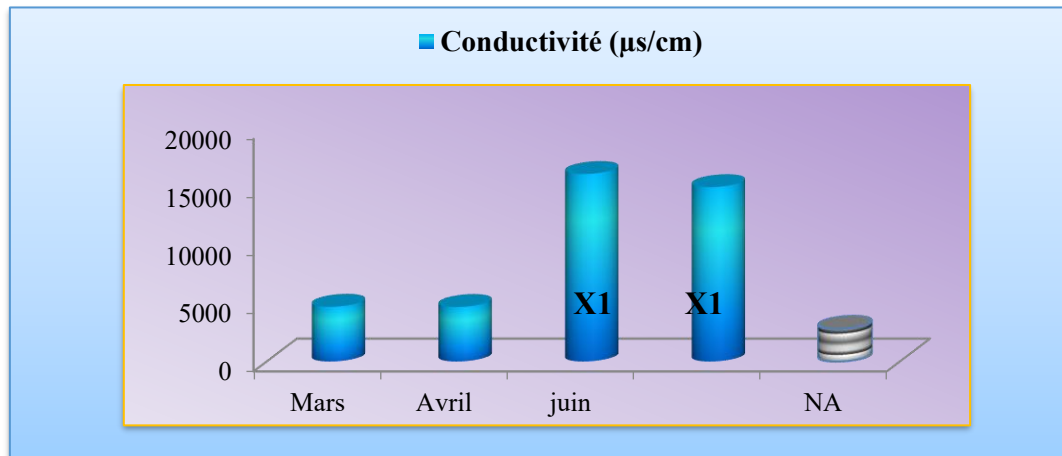
X2 : Échantillon 2.

Figure 15: Evolution de pH.

Au cours des mois de Mars (7,32) et Avril (7,30), les valeurs de pH étaient proches de la neutralité, indiquant une stabilité chimique de l'eau sans caractère acide ni basique marqué. Ces valeurs respectent les normes algériennes (6,5 – 8,5). En revanche, au mois de Juin, une augmentation du pH a été enregistrée avec des valeurs atteignant 8,5 et 8,8 dans deux échantillons différents, dépassant ainsi la limite supérieure autorisée. Cette élévation pourrait être due à une augmentation de l'activité biologique, comme la prolifération d'algues liée à la hausse des températures, ou à une contamination par des substances basiques. Cette variation

indique une perturbation possible de la qualité de l'eau en juin, nécessitant un suivi et une analyse approfondie des causes.

1.3. La conductivité :



NA : Norme Algérienne.

X1 : Échantillon 1.

X2 : Échantillon 2.

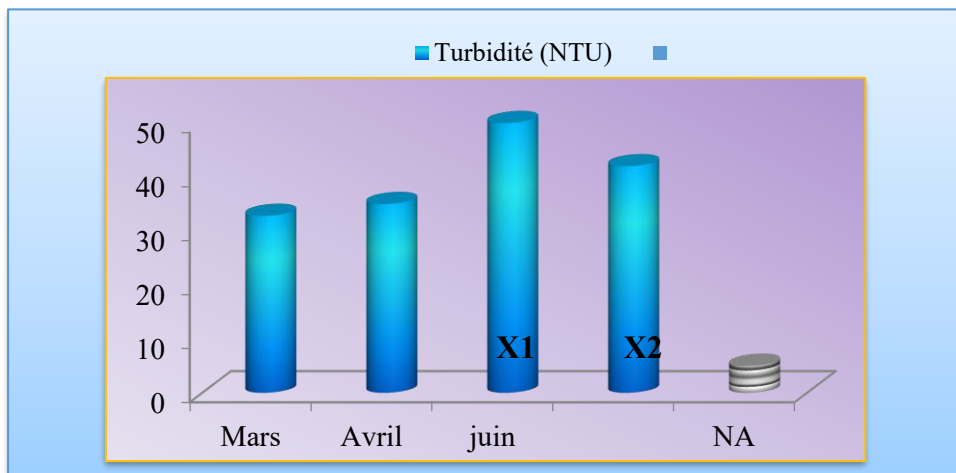
Figure 16: Evolution de la conductivité.

La conductivité électrique élevée en Mars (4710 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et Avril (4689 $\mu\text{S}/\text{cm}$), dépassant la norme algérienne (2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$), est due à la présence excessive de sels dissous provenant notamment des activités agricoles et industrielles, ainsi que de la dissolution naturelle des minéraux. En Juin, la forte augmentation (16130 $\mu\text{S}/\text{cm}$) s'explique par élévation de température et l'évaporation accrue ainsi la présence des sels dans la solution et une possible pollution supplémentaire.

Cette situation affecte la potabilité de l'eau, nuit aux organismes aquatiques et peut détériorer la qualité des sols agricoles. Il est crucial d'identifier les sources de pollution et de surveiller régulièrement la qualité de l'eau.

I.4 Turbidité

Nous avons mesuré la turbidité en unité de turbidité néphélométrie (NTU) des eaux analysées par un Turbidimètre, et la salinité en milligramme par litre (mg/l) à l'aide d'un Multi paramètre.



NA : Norme Algérienne.

X1 :Échantillon 1.

X2 : Échantillon 2.

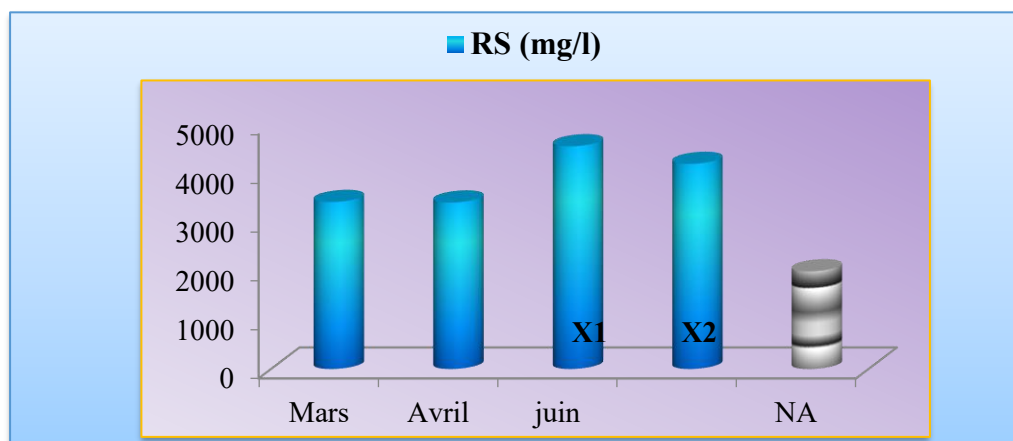
Figure 17:Evolution de la turbidité.

Les résultats de la turbidité de l'eau du barrage de Sarno montrent une augmentation significative au cours des mois de Mars (32,8 NTU) et Avril (35 NTU), dépassant largement la norme algérienne fixée à 5 NTU. En Juin, les niveaux de turbidité ont atteint leurs valeurs les plus élevées, avec 50 NTU dans l'échantillon x1 et 42 NTU dans l'échantillon x2, ce qui indique une dégradation plus marquée de la qualité de l'eau pendant cette période.

Cette augmentation peut être attribuée à plusieurs facteurs, notamment les précipitations, qui provoquent l'entraînement de sédiments et de particules vers le barrage, ainsi que les activités humaines et agricoles, qui contribuent à la charge en matières en suspension.

Une turbidité élevée a des effets négatifs sur la qualité de l'eau, en réduisant sa transparence, ce qui perturbe le processus de photosynthèse des organismes aquatiques. Elle engendre également des difficultés dans les opérations de traitement et de purification, en raison de la forte concentration de matières solides.

I.5 Résidu sec (RS)



NA : Norme Algérienne.

X1 : Échantillon 1.

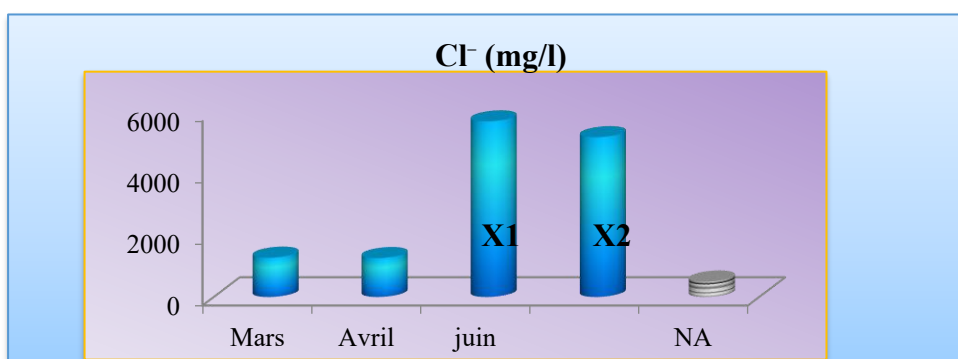
X2 : Échantillon 2.

Figure 18: Evolution de la résidu sec (RS).

Les résultats des résidus secs dans l'eau du barrage de Sarno sont inacceptables, car ils dépassent largement la norme algérienne fixée à 2000 mg/l. En Mars et Avril, les valeurs enregistrées étaient déjà élevées, révélant une concentration importante en substances dissoutes. La situation s'est nettement aggravée en Juin, avec l'analyse de deux échantillons (x1 et x2) ayant montré des valeurs encore plus élevées, indiquant une accumulation accrue de sels minéraux, de matières organiques et d'autres éléments dissous dans l'eau du barrage.

Cette augmentation peut être liée à plusieurs facteurs, notamment :

- le ruissellement des eaux de pluie transportant des particules en suspension ;
- l'intensification des activités agricoles et humaines autour du barrage ;
- une évaporation importante en période estivale, qui accentue la concentration des solides dissous.

I.6 dosage des chlorures(Cl^-)

NA : Norme Algérienne.

X1 : Échantillon 1.

X2 : Échantillon 2.

Figure 19: Evolution du dosage des chlorures (Cl^-).

Le graphique représentant la concentration de chlorure (Cl^-) dans l'eau du barrage de Sarno au cours des mois de Mars, Avril et Juin montre des valeurs élevées, à savoir : 1278 mg/l en

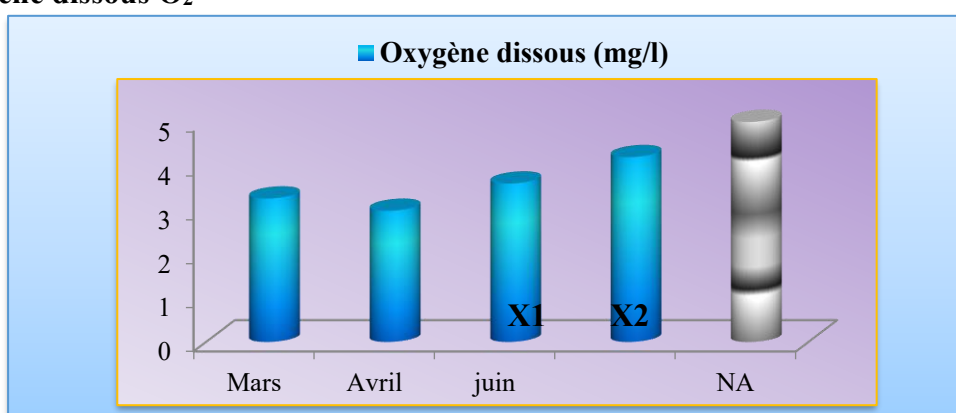
mars, 1266 mg/l en avril, et des pics beaucoup plus importants en juin, avec 5715,5 mg/l dans l'échantillon x1 et 5200 mg/l dans l'échantillon x2.

Malgré une légère baisse observée en avril, les concentrations restent largement supérieures à la norme algérienne pour l'eau potable, qui fixe la concentration maximale en chlorures à 500 mg/l. Cette élévation marquée, particulièrement en juin, indique une pollution potentielle de l'eau du barrage, pouvant être due à plusieurs sources, telles que :

- des sources naturelles, notamment la présence de sols salins dans le bassin versant ;
- des activités humaines, notamment les rejets d'eaux usées industrielles ou agricoles.

Cette forte concentration en chlorures peut avoir des impacts négatifs sur la qualité de l'eau, affecter la potabilité, et avoir des conséquences sur les écosystèmes aquatiques.

I.7 Oxygène dissous O₂



NA : Norme Algérienne.

X1 : Échantillon 1.

X2 : Échantillon 2.

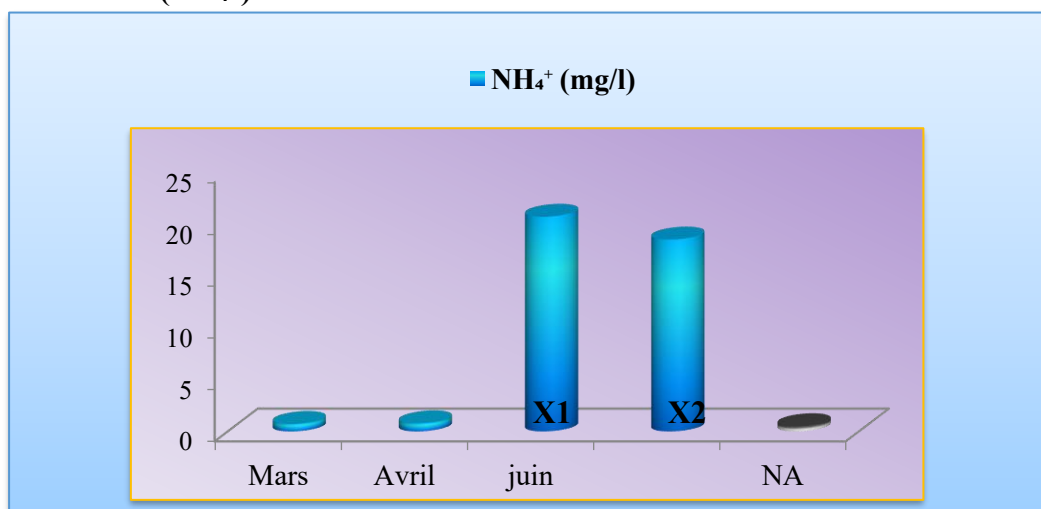
Figure 20: Evolution de l'oxygène dissous.

Les concentrations d'oxygène dissous enregistrées dans l'eau du barrage de Sarno sont les suivantes : 3,26 mg/l en Mars, 2,98 mg/l en Avril, avec une légère amélioration en Juin où les deux échantillons analysés montrent respectivement 3,6 mg/l (x1) et 4,2 mg/l (x2).

Ces valeurs restent cependant inférieures au seuil idéal de 5 mg/l nécessaire pour maintenir un équilibre optimal de l'écosystème aquatique.

Cette diminution de l'oxygène dissous peut s'expliquer par plusieurs facteurs :

- Une accumulation de matières organiques dont la décomposition consomme une grande quantité d'oxygène ;
- Une stagnation de l'eau qui limite l'aération naturelle ;
- Une hausse des températures au printemps qui réduit la solubilité de l'oxygène dans l'eau.

I.8 Azote ammoniacal (NH_4^+)

NA : Norme Algérienne.

X1 : Échantillon 1.

X2 : Échantillon 2.

Figure 21: Evolution azote ammoniacal.

Le graphique à barres montre une augmentation de la concentration en azote ammoniacal (NH_4^+) dans l'eau du barrage de Sarno, passant de 0,72 mg/l en Mars à 0,78 mg/l en Avril, des valeurs qui dépassent déjà la norme algérienne fixée à 0,5 mg/l.

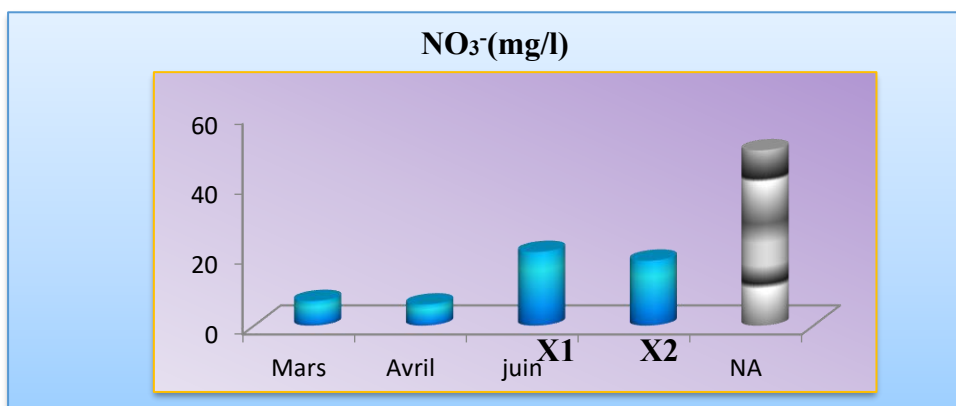
En Juin, la situation devient alarmante avec des concentrations extrêmement élevées mesurées dans deux échantillons : 20,7 mg/l (x1) et 18,5 mg/l (x2), ce qui révèle une pollution organique intense.

Cette augmentation importante peut être liée à :

- des rejets agricoles (engrais azotés),
- des déversements d'eaux usées domestiques ou industrielles,
- une dégradation accélérée de la matière organique dans un milieu pauvre en oxygène.

Ces niveaux critiques d'azote ammoniacal traduisent une détérioration sévère de la qualité de l'eau, pouvant avoir des effets toxiques sur la faune aquatique.

La situation exige une surveillance régulière et une enquête environnementale urgente pour identifier les sources précises de pollution et limiter leur impact.

I.9 Les nitrates (NO_3^-)

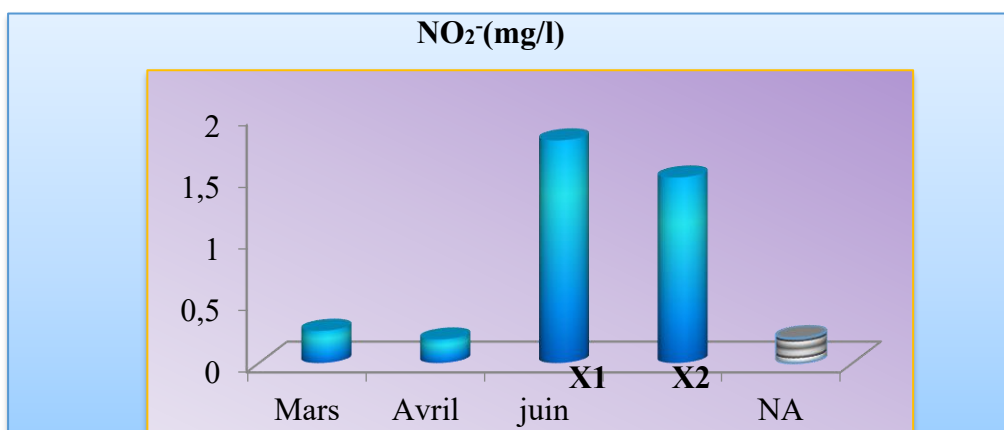
NA : Norme Algérienne.

X1 : Échantillon 1.

X2 : Échantillon 2.

Figure 22: Evolution de nitrate.

Durant les mois de mars et d'avril, les concentrations en nitrates étaient faibles (7 mg/l en Mars et 6 mg/l en Avril), restant bien en dessous de la norme algérienne (50 mg/l), ce qui indique une conformité de l'eau du point de vue de la pollution par les nitrates. La légère variation observée peut être considérée comme naturelle et liée à des facteurs environnementaux tels que les précipitations ou la baisse de l'utilisation d'engrais. En Juin, deux échantillons ont été prélevés, montrant une augmentation des concentrations (21 mg/l et 18,5 mg/l). Bien que ces valeurs restent inférieures à la limite autorisée, cette hausse peut être liée à l'activité agricole et nécessite une surveillance régulière.

I.10 Dosage du nitrite (NO_2^-)

NA : Norme Algérienne. X1 : Échantillon 1.

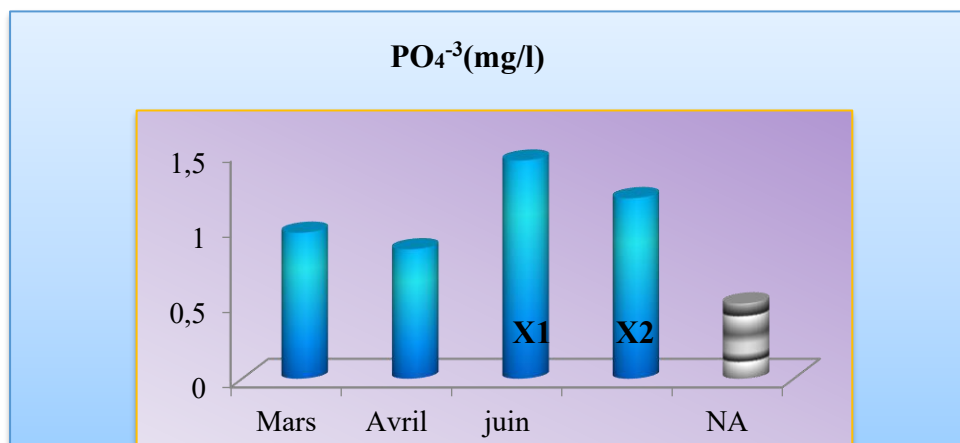
X2 : Échantillon 2.

Figure 23: Evolution de nitrite.

On observe durant les mois de Mars et Avril une mesure des concentrations en nitrites de 0,26 mg/l en mars, diminuant à 0,19 mg/l en avril. Bien que la valeur d'avril reste inférieure au seuil maximal autorisé par les normes algériennes (0,2 mg/l), celle de mars dépasse légèrement ce seuil, indiquant une présence ponctuelle de nitrites au-delà de la norme.

En Juin, deux analyses ont révélé des concentrations nettement élevées, atteignant 1,8 mg/l et 1,5 mg/l, ce qui dépasse largement la limite réglementaire. Cette situation suggère une contamination significative en nitrites, probablement liée à une dégradation de la matière organique ou à un apport excessif en azote d'origine agricole ou domestique. Une vérification approfondie de la source de pollution et un suivi régulier sont fortement recommandés.

I.11 Dosage du phosphate (PO_4^{3-})



NA : Norme Algérienne. X1 : Échantillon 1.

X2 : Échantillon 2.

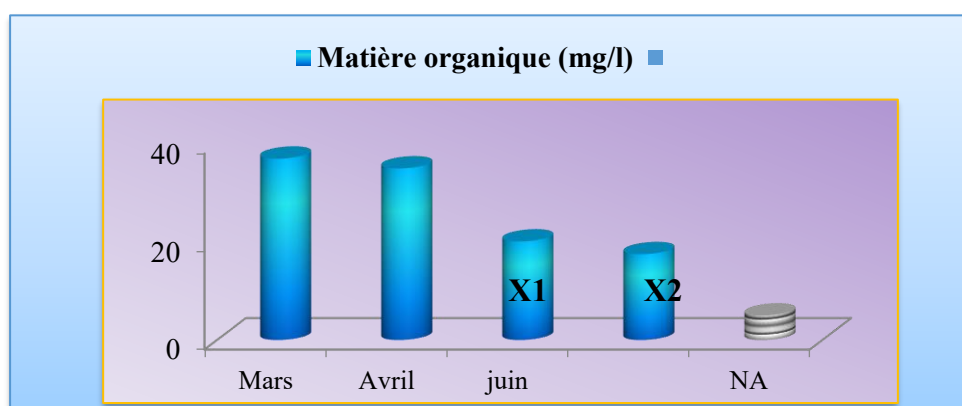
Figure 24: Evolution de dosage du phosphate.

La concentration en phosphate (PO_4^{3-}) dans les eaux du barrage de Sarno a été mesurée à 0,97 mg/l en Mars, puis a légèrement diminué à 0,86 mg/l en Avril, soit une baisse d'environ 11 %, indiquant une amélioration relative de la qualité de l'eau. Cette diminution pourrait être liée à une réduction des apports en polluants, notamment les eaux usées ou les engrais phosphatés.

Cependant, en Juin, deux analyses ont révélé une hausse marquée des concentrations en phosphate, atteignant 1,45 mg/l et 1,2 mg/l, soit des valeurs largement supérieures à la norme algérienne fixée à 0,5 mg/l. Ce dépassement est préoccupant, car le phosphate est un facteur clé de l'eutrophisation, un processus qui peut entraîner la prolifération d'algues, la diminution de l'oxygène dissous et un déséquilibre écologique dans l'écosystème aquatique.

Par conséquent, une surveillance continue s'impose afin de prévenir toute dégradation de la qualité de l'eau du barrage et protéger sa biodiversité.

I.12 Matière organique



NA : Norme Algérienne.

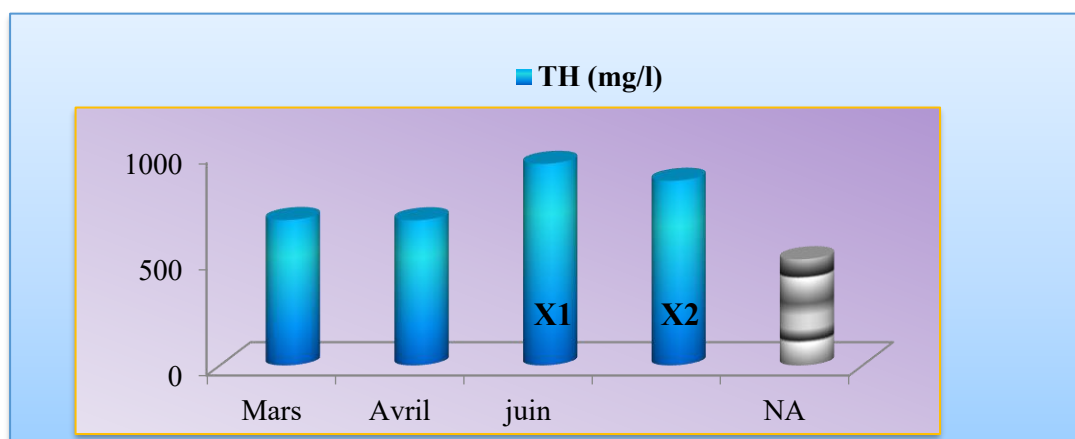
X1 : Échantillon 1.

X2 : Échantillon 2.

Figure 25: Evolution de matière organique.

Les concentrations élevées de matière organique en Mars et Avril dans l'eau du barrage de Sarno sont dues au rejet des eaux usées et à l'activité agricole voisine. En Juin, une diminution est observée, indiquant une possible amélioration temporaire. Cette pollution organique peut causer l'asphyxie des organismes aquatiques, un déséquilibre écologique, ainsi que la propagation de maladies hydriques si l'eau est utilisée sans traitement.

I.13 Dureté totale (TH)



NA : Norme Algérienne.

X1 : Échantillon 1.

X2 : Échantillon 2.

Figure 26: Evolution de dureté totale.

Le graphique montre que la dureté totale (TH) de l'eau du barrage "Sarno" était élevée au mois de Mars (685 mg/l) et au mois d'Avril (683,9 mg/l), ce qui indique que l'eau contient des quantités importantes de minéraux dissous tels que le calcium et le magnésium. Selon les normes algériennes pour l'eau potable, une eau avec une dureté totale supérieure à 500 mg/l est

considérée comme dure, ce qui peut entraîner l'accumulation de dépôts dans les canalisations et les appareils domestiques. En Juin, la dureté a encore augmenté pour atteindre 950 mg/l, ce qui accentue ces risques techniques. Sur le plan sanitaire, bien qu'une eau très dure ne présente pas un danger majeur immédiat, elle peut provoquer certains problèmes tels que les calculs rénaux ou des troubles digestifs chez certaines personnes en cas de consommation prolongée.

I.14 Titre alcalimétrique complet TAC (F°)

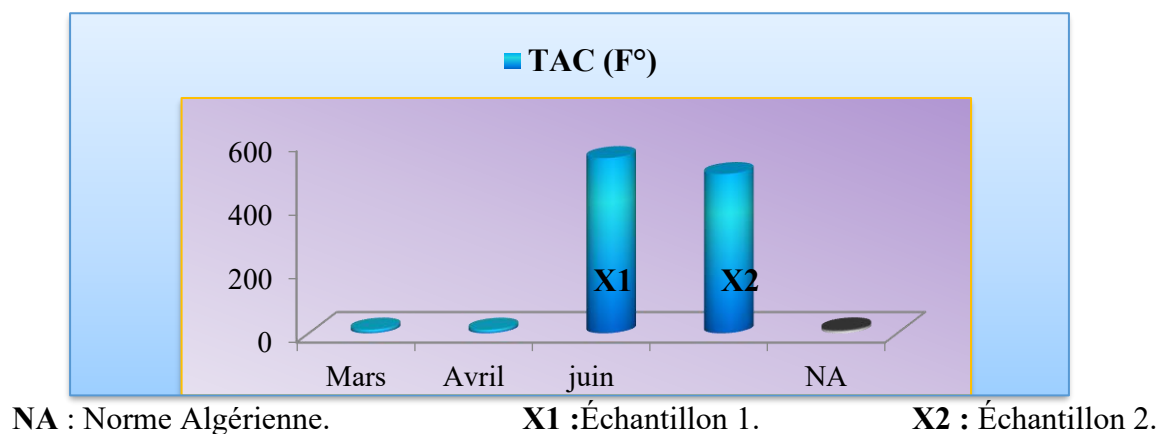
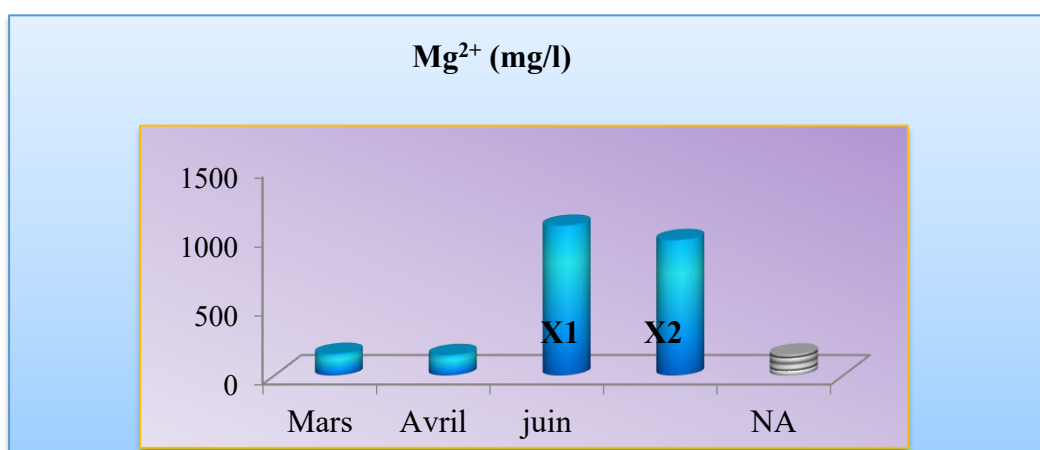


Figure 27: Evolution de titre alcalimétrique complet.

Le graphique montre une stabilité de l'alcalinité totale (TAC) de l'eau du barrage de Sarno, avec une valeur de 11,5 °F en Mars et une légère diminution à 11,22 °F en Avril, ce qui reste dans la plage acceptable selon les normes algériennes. Cependant, en Juin, on observe une augmentation spectaculaire à 550 °F, suivie d'une légère baisse à 500 °F dans l'échantillon suivant. Ces valeurs très élevées indiquent une forte présence de bicarbonates et carbonates dans l'eau, ce qui peut entraîner des problèmes tels que la formation de dépôts calcaires dans les canalisations et une altération de la qualité de l'eau pour certains usages.

I.15 Magnesium (Mg^{2+})

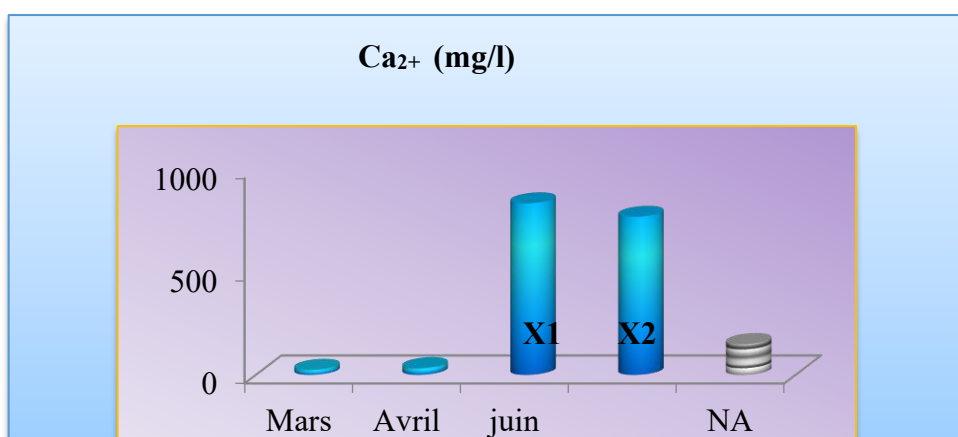
NA : Norme Algérienne.

X1 : Échantillon 1.

X2 : Échantillon 2.

Figure 28: Evolution de magnésium.

Le graphique montre une augmentation significative de la concentration en magnésium en Juin (1083,9 mg/l) par rapport aux mois de Mars et Avril, où les concentrations étaient beaucoup plus faibles. Cette hausse est due à l'élévation des températures et à l'évaporation en été, ce qui réduit le volume d'eau et augmente la concentration en minéraux. De plus, la pollution agricole liée à l'utilisation d'engrais riches en magnésium contribue à cette augmentation. Les conséquences incluent la formation de dépôts dans les canalisations et des risques sanitaires, notamment des troubles digestifs et rénaux.

I.16 Calcium Ca^{2+} 

NA : Norme Algérienne.

X1 : Échantillon 1.

X2 : Échantillon 2.

Figure 29: Evolution de calcium.

La concentration en calcium (Ca^{2+}) dans l'eau du barrage de Sarno a augmenté de 25 mg/l en Mars à 33,2 mg/l en Avril, puis a connu une forte hausse en juin atteignant 835,7 mg/l

avant de diminuer légèrement à 770 mg/l. Malgré cette augmentation importante en Juin, ces valeurs dépassent largement la limite maximale de 150 mg/l fixée par les normes algériennes. Cette élévation est principalement due à la dissolution des roches calcaires, à l'augmentation du ruissellement lié aux précipitations et à l'activité agricole locale. Bien que cette variation soit naturelle, les concentrations très élevées en calcium peuvent entraîner des dépôts calcaires dans les installations et poser des risques pour la qualité de l'eau.

I.16 Solutions proposées selon les paramètres physico-chimiques

1. Réduction de la turbidité

- Création de bassins de décantation à l'entrée des affluents du barrage.
- Utilisation de filtres naturels, comme les roseaux.

2. Réduction de la conductivité et des sels dissous

- Contrôle et réduction des sources de pollution agricole (engrais, pesticides).
- Usage de plantes aquatiques pour absorber l'excès de sels.

3. Augmentation de la teneur en oxygène dissous

- Installation d'aérateurs flottants simples pour enrichir l'eau en oxygène.
- Utilisation de micro-organismes bénéfiques pour améliorer l'aération biologique.

4. Traitement des matières organiques et des phosphates

- Mise en place de filtres naturels (roseaux, algues) pour une purification biologique.
- Réduction des rejets d'eaux usées agricoles et industrielles.

5. Gestion des métaux et des nitrates/nitrites

- Surveillance régulière des niveaux de ces polluants.

II .Analyses bactériologiques

Tableau 16:Les résultats bactériologie de l'eau brute.

Les paramètres	Mars	Avril	Juin		NA
			Échantillon 1	Échantillon 2	
Germes Totaux à 37°	92	82	158	140	10/100ml
Germes Totaux à 22°	530	420	750	650	10/100ml
Coliformes totaux	3200	3200	4020	3500	0/100ml
Coliformes fécaux	870	900	1100	900	0/100ml
E. coli	750	750	1008	850	0/100ml
Streptocoques fécaux	420	450	580	450	0/100ml
Clostridium sulfito-réducteurs	95	103	130	110	0/100ml
Spoires de Clostridium	60	68	90	75	0/100ml

II.1 Germes Totaux à 22°C et à 37°C

En Mars et Avril, les concentrations étaient modérées, ce qui indique une contamination naturelle due à l'environnement et aux eaux de surface. En Juin, surtout dans l'échantillon x2, une augmentation marquée a été observée, favorisée par la chaleur et l'intensification des activités agricoles locales.

Effet : Cela montre un début de dégradation de la qualité de l'eau, affectant l'équilibre de l'écosystème.

II.2 Coliformes Totaux

Présents en faibles à moyennes concentrations en mars et avril, signalant une contamination organique diffuse. En juin, des valeurs élevées ont été enregistrées (x1 et x2), probablement dues aux rejets agricoles ou domestiques.

Effet : Réduction de la qualité bactériologique de l'eau, avec un risque sanitaire croissant.

II.3 Coliformes Fécaux

Faibles ou absents en mars et avril, mais présents en grande quantité en juin, ce qui indique une pollution fécale récente d'origine humaine ou animale.

Effet : Contamination directe et grave, rendant l'eau impropre à la consommation.

II.4 Escherichia coli (E. coli)

Absente en mars et avril, détectée en juin dans les deux échantillons, confirmant une pollution fécale active.

Effet : Présente un risque sanitaire immédiat, responsable de troubles gastro-intestinaux.

II.5 Streptocoques Fécaux

Faiblement détectés en mars et avril, mais fortement présents en juin, traduisant une contamination animale, probablement liée au pâturage ou aux écoulements agricoles.

Effet : Confirme un apport fécal et accentue les risques sanitaires.

II.6 Clostridium sulfito-réducteurs

Présents à des niveaux modérés en mars et avril, indiquant une contamination organique ancienne. En juin, les concentrations ont augmenté, signalant une pollution stable et persistante.

Effet : Ces bactéries sont résistantes aux traitements classiques et témoignent d'un problème chronique.

II.7 Spores de Clostridium

Faibles en mars et avril, très élevées en juin, indiquant une pollution ancienne difficile à éliminer.

Effet : Risque élevé de contamination durable malgré les traitements désinfectants standards.

II.8 Solutions microbiologiques adaptées à la région de Sarno**1. Bassins de lagunage et filtres plantés**

-Utilisation de bassins à plantes aquatiques (roseaux, jonc) pour épurer naturellement l'eau par absorption des bactéries et des matières organiques.

-Coût faible et entretien simple.

2. Filtration lente sur sable

-Passage de l'eau à travers des couches de sable fin pour réduire la charge bactérienne.

-Technique économique, efficace contre plusieurs germes pathogènes.

3. Désinfection solaire

-Solution très économique adaptée aux petites quantités.

4. Chloration contrôlée

-Application de petites doses de chlore pour désinfecter l'eau, avec contrôle strict pour éviter le surdosage.

-Méthode simple, répandue et efficace.

5. Sensibilisation et prévention

-Éducation des populations locales sur l'hygiène, la protection des sources d'eau, et la gestion des déchets pour réduire la contamination microbiologique.

-Très important pour limiter la pollution dès sa source.

Conclusion

Les analyses physico-chimiques et microbiologiques de l'eau du barrage de Sarno révèlent une dégradation significative de sa qualité, particulièrement en juin. Les dépassements aux normes de la conductivité, des chlorures, la dureté, le magnésium, l'ammonium, les nitrites et les phosphates aux normes témoignent une pollution organique et minérale, qui sont causés par l'évaporation estivale, et à l'effet des rejets agricoles et domestiques. Parallèlement, la qualité microbiologique est également détériorée dans les mois Mars, Avril et Juin dont on trouve une forte présence de germes pathogènes (*E. coli*, coliformes fécaux, spores de *Clostridium*), rendant l'eau impropre à la consommation humaine et à l'irrigation. Cette situation nécessite une surveillance continue et des mesures correctives urgentes pour préserver la santé publique et l'environnement.

Conclusion

Conclusion

L'eau n'est pas seulement une ressource naturelle, mais elle est le nerf de la vie sur lequel reposent toutes les formes d'existence. La préservation de sa qualité est une responsabilité collective qui nécessite une conscience environnementale et une application stricte des normes sanitaires. À travers l'étude des eaux du barrage de Sarno, situé dans la commune de Sidi Hamdouche dans la wilaya de Sidi Bel Abbès, il a été constaté que la négligence prolongée de cette ressource vitale a eu des répercussions négatives sur ses caractéristiques physiques, chimiques et biologiques. Des dépassements ont été observés dans plusieurs indicateurs, parmi lesquels l'augmentation de la turbidité et de la conductivité électrique, l'augmentation de la concentration des matières organiques et des métaux lourds, ainsi qu'une diminution des niveaux d'oxygène dissous.

Malgré ces indicateurs préoccupants, la situation n'est pas désespérée. En effet, l'adoption des techniques de traitement modernes telles que l'osmose inverse pour éliminer les sels excédentaires, le traitement biologique pour analyser les matières organiques, et la désinfection par rayons ultraviolets pour garantir la désinfection microbienne, est capable d'améliorer efficacement la qualité de l'eau. De plus, le renforcement des systèmes de surveillance et des analyses périodiques constitue l'un des piliers essentiels pour garantir une réponse rapide à toute détérioration potentielle de la qualité de l'eau.

Cette étude souligne que garantir la sécurité de l'eau ne nécessite pas seulement l'amélioration des infrastructures, mais appelle également à la création d'une culture environnementale basée sur la durabilité et la prévention, ainsi qu'à l'intégration des efforts scientifiques et pratiques pour préserver cette ressource précieuse. Le barrage de Sarno, malgré ses défis actuels, possède le potentiel de redevenir une source fiable d'eau, s'il reçoit les soins et la réhabilitation nécessaires dans un cadre scientifique et méthodique durable.

Enfin, l'eau n'est pas seulement une ressource vitale, mais elle est aussi le reflet de la conscience et du progrès des sociétés. Sa préservation, tant en qualité qu'en quantité, est un engagement humain et scientifique commun, qui doit être ancré pour garantir un avenir environnemental sûr et sain pour les générations à venir.

Références

Bibliographiques

«A»

AAPI (2024) Agence algérienne pour la promotion et le développement du patrimoine Immobilier Tarification des coûts relatifs à l'eau en Algérie. Consulté le 28 juin 2025. <https://aapi.dz/cout-des-facteurs-de-lalgerie>

ABH (2009) Agence de Bassin Hydrographique Grille de la qualité des eaux superficielles Algérie.

Aissaoui A (2013) Evaluation du niveau de contamination des eaux de Barrage Hammam Grouz de la région d'oued Athmana (wilaya de mila) par les activités agricoles. Thèse de magister, université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, faculté de science Biologique et science Agronomique, (Algérie), p. 75.

Ali M , Nelson A , LopezA L , Sack D (2020) Global cholera epidemiology and impact of vaccination. The Lancet Infectious Diseases, 20(4), 420–430. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30249-1](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30249-1)

Alley E (2007) Water quality control handbook. 2nd ed. New York: McGraw-Hill.

Amoros C, Petts G (1993) Hydro systèmes fluviaux. Collection d'écologie. Paris: Masson.

Amghar W, Fodil T (2017) Résurgence des maladies à transmission hydrique en Algérie : entre causes et effets. Université Mouloud Mammeri.

<https://dspace.ummto.dz/handle/ummto/5454>

ANRH (2025) Agence nationale des ressources hydrauliques État des barrages en Algérie : capacités, taux de remplissage et perspectives à l'horizon 2030.

Appelo C, Postma D (2005) Geochemistry, groundwater and pollution (2nd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420037542>.

APS (2023) Agence Presse Service. Hausse des capacités de mobilisation des barrages à 9 milliards m³ en 2024. <https://www.aps.dz>

Ayed L (2024) Waterborne Cryptosporidium species and Giardia. Journal of Water and Health, 22(8), 1491–1503. <https://doi.org/10.2166/wh.2024.107>

«B»

Baechler L (2024) L'accès à l'eau : Un enjeu majeur du développement durable.

Balala Kouidri Z (2006) Etude et traitement de l'eau du barrage Djorf-eltorba de la wilaya de Bechar par filtration sur sables. Mémoire magister, université Hassiba ben Bouali de Chlef, (Algérie), p.18-20.

Bäckhed R , Sonnenburg J (2005) Host-bacterial mutualism in the human intestine. Article de National Library of Medicine, Science, p. 20, doi: 10.1126/science.1104816.

Belghiti M , Chahlaoui A , Bengoumi D (2013) Étude de la qualite physico-chimique et bacteriologique des eaux souerraines de la plio-quaternaire dans la région de Meknès (Maroc). Larhyss Journal, Université Moulay Ismail Maroc, ISSN 1112-3680, n°14, pp. 21-36. <https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/125/10/3/54948>.

Bengoumi M (2013) Qualite de l'eau en élevage avicole dans la région de Meknes (Maroc) impact sur la santé et la production. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°13. <https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/125/10/2/54929>.

Bengarnia B (2016) Contribution à l'étude et l'évaluation de la qualité physico- chimique et bactériologique des eaux de consommation de la région d'oued es- Saoura cas de Aéni-Abbès,. Thèse doctorat en biologie, Université Ahmed Ben Bella Oran, (Algerie), p. 4-87.

Remini B (2005) La problématique de l'eau en Algérie [Ouvrage]. Blida, Algérie : Université de Blida 1.

Bliefert C, Perraud R (2008) Chimie de l'environnement : Air, eau, sols, déchets (2^e éd.). De Boeck Supérieur.

Bouziani M (2000) L'eau dans tous ses états ; Dar Al Gharb : Oran, 2006,206 pages.

Bouziani M (2000) L'eau de la pénurie aux maladies. Oran, Algérie : Éditions Ibn Khaldoun.

Boissonneault A (2009) Le système d'évaluation de la qualité de l'eau (SEQ eau) : Méthodologie et applications. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, Canada.

« C »

Centre d'Information sur l'Eau (2024) Les Français et l'eau – 28^e édition du Baromètre Kantar-C.I.Eau. Paris. <https://www.cieau.com/barometre-kantar-cieau-les-francais-et-leau-28eme-edition>.

Chevalier C (2003) Coliformes totaux. Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine. Groupe scientifique sur l'eau, Institut national de santé publique du Québec, p. 4.

Chen X , Wang L (2020) Water pollution and its impact on aquatic ecosystems: A review. Environmental Science and Pollution Research, 27(25), 31234–31248. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09496-0>

Chigeur M (2013) La qualité microbiologique des eaux à l'hôpital ibn sina de rabat. Thèse doctorat université mohamed v–souissi faculté de médecine et de pharmacie, rabat. p. 46-47.

Chouikh A, Belarbi R (2016) Les barrages et la gestion de l'eau en Algérie : Réalités et perspectives. Éditions El-Hikma. p. 100.

Christophe (2006) Propriétés d'eau physique chimique. www.econologie.com/proprietes-eau-physiques-chimiques.

Cosandey C, Robinson M (2012) Hydrologie continentale (2e éd., 447–448 pp.). Collection U. Armand Colin.

Culligan F (2023) Qu'est ce que l'eau. [Www.culligan.fr/conseils/qu-est-ce-que-l-eau](http://www.culligan.fr/conseils/qu-est-ce-que-l-eau). Consulté le 10.04.2023

«D»

Desbordes M (2001) Innovation management in the sports industry: lessons from the salomon case. *European Sport Management Quarterly*, p. 501, 10.1080/16184740108721892.

Derwich E, Benaabidate L, Zian A, Sadki O, Belghity D (2010) Caractérisation physico-chimique des eaux de la nappe alluviale du haut sebou en aval de sa confluence avec Ouedfes. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°08 p.107-108,110. <https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/125/8/1/54851>. Consulté le 21.5.2023).

«F»

Fetter C (2001) Applied hydrogeology (4th ed.). Prentice Hall.

«G»

GAJOUS D (1995) La pollution des milieux aquatiques : Aide mémoire ,2ème; P:220 [Ouvrage]. - londrès, paris, New York : Ed ;Tec et Doc, 1995

Ghazali D, Zaid A (2013) Étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain Salama-Jerri (Région de Meknès, Maroc). *Larhyss Journal*, (12), 22–36.

Gleick P (2023) The World's Water: The Biennial Report on Freshwater Resources. Island Press.

«H»

Hamed M , Guettache A , Bouamer L (2012) Étude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage Djorf-Torba, Béchar (Mémoire d'ingénieur d'état en Biologie). Département des Sciences, Université de Béchar.

Hall J Eguyton Hall (2021) Textbook of medical physiology (14th ed.). Elsevier.

Hadji A (2020) caractères organoleptique des eaux de boisson. Cour faculté de pharmacie, Université de Batna 2 (Algérie).

Haddad H, Ghoualem H (2014) Caractérisation physico-chimique des eaux du bassin hydrographique cotier algerois. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°18, P. 155-167. <https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/125/11/2/55>. Conduité le 24.4.2023).

Hassan O (2019) Water Quality - Science, Assessments and Policy, intechopen,p.
<http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.89657>

«*K*»

Kariuki S (2022) Typhoid and paratyphoid fever: New challenges and treatment approaches. Clinical Microbiology Reviews, 35(2), 35-54. DOI: 10.1128/CMR.00121-21.

Kassim Coulibaly (2004-2005) Etude De La Qualite Physico-Chimique Et Bacteriologique De L'eau Des Puits De Certains Quartiers Du District De Bamako.

Khalil I (2021) Global epidemiology of Shigella and Entamoeba histolytica infections. The Lancet Infectious Diseases, 21(2), 165-176.

«*M*»

Madigou E (2005) Influence du statut trophique de cours d'eau sur les fonctionnalités microbiennes des bios films (Epipsammonet Epilithon), thèse de doctorat, Université Claude-Bernard-Lyon 1, France, p. 235.

Marsily G (2011) Le climat à découvert – Le développement durable à découvert: Le cycle de l'eau (Chapitre 8, pp. 64–65).

Margat J (2013) Groundwater around the world: A geographic synopsis. CRC Press.

Mandal Harashit K (2022) Organoleptic Properties of Water Reservoir in Phagwara City (Punjab), Jodhpur, Environment and Microbial Biotechnology, University Narnadi (india), p.110.

Maachou k , Boukhari L (2000) Etudes supérieures en microbiologie et biochimie [Ouvrage]. - ORAN.

Ministère de l'Hydraulique (2025) Programme national de dessalement d'eau de mer – Bilan.

Mizyed A , Moghier Y , Hamada M (2024) Employing the agricultural water footprint concept to enhance the sustainable management of water resources: A review. Water Practice and Technology, 19(11), 4435–4452. <https://doi.org/10.2166/wpt.2024.274>.

Mokdadi H , Messai A (2015) Contribution à l'étude de la qualité physicochimique et bactériologique des quelques zones humides de la wilaya d'El-Oued (Cas du lac Ayata, chott Marouan, lac Sif El-Menadi et chott Halloufa), Université Echahid Hamma Lakhdar D'el-Oued, mémoire de Master, 2015, 114 pages.

«N»

Negm A M, Bouderbala A, Chenchouni H , Barceló D (2020) Water Resources in Algeria – Part II: Water Quality, Treatment, Protection and Development.

Nouayti N, Khattach D, Hilali M (2015). Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du jurassique du haut bassin de ziz (haut atlas central, Maroc). Oujda, Maroc, Journal of Materials and Environmental Science, p. 1068-1081.

«O»

Organisation mondiale de la santé (2023) Données et rapports sur l'eau potable et l'assainissement en Afrique du Nord.

«P»

Pereira S (2021) Bacterial and viral gastroenteritis in developed countries. Journal of Clinical Microbiology, 59(5), e0 2387-20. <https://doi.org/10.1128/JCM.02387-20>.

Poxton I R, Stephen H, Gillespie, Peter M, Hawkey .(2006). Other clostridium spp, principles and practice of clinical bacteriology, 2nd ed, West sussex : john wiley, sons, ltd. p. 567-574.

«R»

Rafferty J (2023) water cycle, (disponible sur: <https://www.britannica.com/science/water-cycle>). Consulté le 2.5.2023).

Rodier J, Bazin C, Broutin J, Champon P, Champsaur H. (2005). L'analyse de l'eau. 8ème Edition. P. 135, 138,140.

Richard Y (1987) Vade-mecum du chef d'usine du traitement : technique et documentation [Ouvrage]. Paris .

Rodier J, Bazin C, Broutin J, Champon P, Champsaur H (2005) L'analyse de l'eau. 8ème Edition. P. 135, 138,140.

Rodier J (2009) L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer. 9th Edition, Dunod, paris, p. 1384.

Rodier J , Bazin C , Chambon P (2020) La qualité de l'eau potable. 11e édition, Dunod. ISBN : 978-2-10-076509-9.

Rowland N (2021) Thirst and body fluid regulation. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108878166>.

«S»

Sangare M, Kalivogui S, Bah M (2022) Etudes de la qualité microbiologique d'une pâte alimentaire faite de maïs (zea mays), d'arachides (Arachis Hypogaea), de sésames (Sesamum Indicum) et de moringa (Moringa Oleifera), consommée dans la région de kindia, Institut de recherche en biologie Appliqué de Guinée (IRBAG), Département de Bactériologie, v19, n°3.

Savioli L (2022) Giardiasis: New findings on pathogenesis, clinical manifestations, and treatment. Infectious Disease Reports, 14(1), 34-47.

«T»

Talin A , Bonvoisin S (2025) Cultiver l'eau douce : Du jardin de pluie à l'hydrologie régénérative, des solutions concrètes pour régénérer nos écosystèmes.

Tchobanoglous G, Peavy H S , Rowe D R.(1985) Environmental engineering. Américan Journal of Analytical chemistry, v6, n6, New York.

Techniques de l'Ingénieur (2024) L'eau en industrie et usages sectoriels. Base documentaire. <https://www.techniques-ingenieur.fr>.

Tenaillon O, Skurnik D, Picard B (2010) The population genetics of commensal Escherichia coli. Nat rev microbiol, v8, p. 207–17.

«U»

U.S. Geological Survey (2023) Guidelines for field-measured water-quality properties (U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 9, chap. A6.0, version 1.1, July 17, 2023) (22 p.). <https://doi.org/10.3133/tm9A6.0>

«V»

Vilagines R (2003) Eau, environnement et santé publique : Introduction à l'hydraulique 2ème Ed ;Tec et Doc ; P:198 [Section]. - Londres , Paris , New York : médical internationales.

«W»

Wang S. (2021) Hepatitis A: Recent epidemiological trends and control strategies. Viral Hepatitis Review, 34(2), 103-110.

Wikipedia (2024) Liste des barrages en Algérie. Wikipédia. Consulté le 1 juillet 2025. https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_barrages_en_Alg%C3%A9rie

World Health Organization (2017) Guidelines for drinking-water quality (4th ed.). WHO Press. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>

World Health Organization (WHO) (2022) Guidelines for Drinking-Water Quality, 4^e édition, avec premier et deuxième addenda. Genève : Organisation mondiale de la Santé.
<https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>.

Les Annexes

Annexe 1.

Tableau1 Caractéristiques principales de l'ouvrage de barrage

Caractéristique de l'ouvrage	Unité	Données techniques du réservoir et du barrage
Altitude de la retenue normale	m	424,50 m (NGA)
Surface du plan d'eau à la cote de retenue normale : 260 hectares	hectares	260 hectares
Capacité totale initiale du réservoir	hectares	260 hectares
Hauteur maximale au-dessus du point le plus bas des fondations	m	33,40 m
Hauteur maximale au-dessus du thalweg	m	27,40 m
Cote du thalweg	m	400,00 m (NGA)
Cote de la crête du barrage	m	427,40 m (NGA)
Largeur en crête	m	4,80 m
Largeur à la base (y compris le terre-plein)	m	150,00 m
Longueur du barrage en crête	m	310,00 m
Pente du parement amont (par rapport à la verticale)		2,5:1 en partie inférieure et 1,5:1 en partie supérieure
Présence d'une risberme aval à la cote	m	420,00 m (NGA) : largeur de 4,00 m
Revêtement du parement aval		plantation de ficoïdes (plantes de couverture anti-érosion)
Nature du terrain de fondation		conglomérats et marnes
Volume du remblai (corps du barrage)	m	300 000 m ³

Annexe 2

En raison de l'absence d'une station météorologique indépendante sur le site de notre étude (commune de Sidi Hamdouche), les données climatiques ont été collectées auprès de la station météorologique de la commune de Sidi Hamdouche ou de la station la plus proche de la région. Le tableau ci-dessus présente les données climatiques collectées sur une période de 10 ans, de 2014 à 2024.

Tableau 1. Données climatiques de la station météorologique de la commune de Sidi Hamdouche (2014-2024) (Station météorologique de la commune de Sidi Hamdouche)

	T° moyenne (c°)	Précipitation (mm)	Humidité relative(%)	Vent	
				Vitesse moyenne (M/sec)	Vitesse max(M/sec)
Janvier	8,6	23,3	80	2,5	4,5
Février	8,35	11,5	75	2,3	4
Mars	9,9	13,1	70	2,1	3,8
Avril	12,3	7,9	65	2	3,5
Mai	15,4	11,7	60	2,2	3,2
Juin	18,9	9,8	55	2,1	3
Juillet	27,2	4	50	2	2,8
Août	25,2	2,5	50	1,8	2,5
Septembre	22,5	13,1	60	2	3
Octobre	18,9	13,8	65	2,1	3,5
Novembre	18,3	12,8	70	2,3	4
Décembre	13,4	10,6	75	2,4	4,2

Annexe 3. Appareillages Physiques, Chimiques et Analytiques avec leurs Phases d'Utilisation.

Tableau1. Les appareillages utilisés dans les analyses.

Paramètres	Appareillages
pH mètre qui mesure : ➤ Température. ➤ ☐ pH.	
Multimètre qui mesure: ➤ Conductivité. ➤ ☐ Oxygène dissous. ➤ Chlorure. ➤ ☐ L'azote ammoniacal et le nitrate.	
Turbidimètre qui mesure : ➤ Turbidité.	
Comparteur pour : ➤ ☐ Chlore libre. ➤ Chlore totale.	

Jar test.



Figure1. Appareillage de l'oxygène dissous.

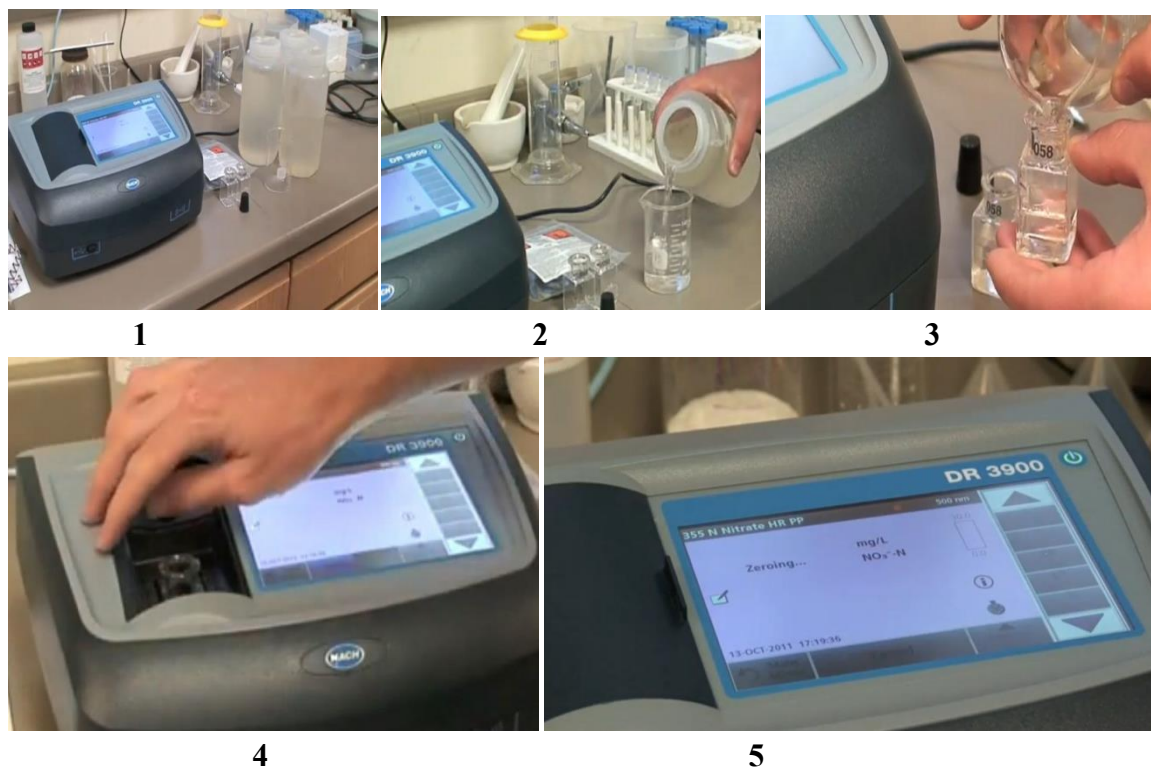


Figure2. Etapes d'analyse (NO₃-)

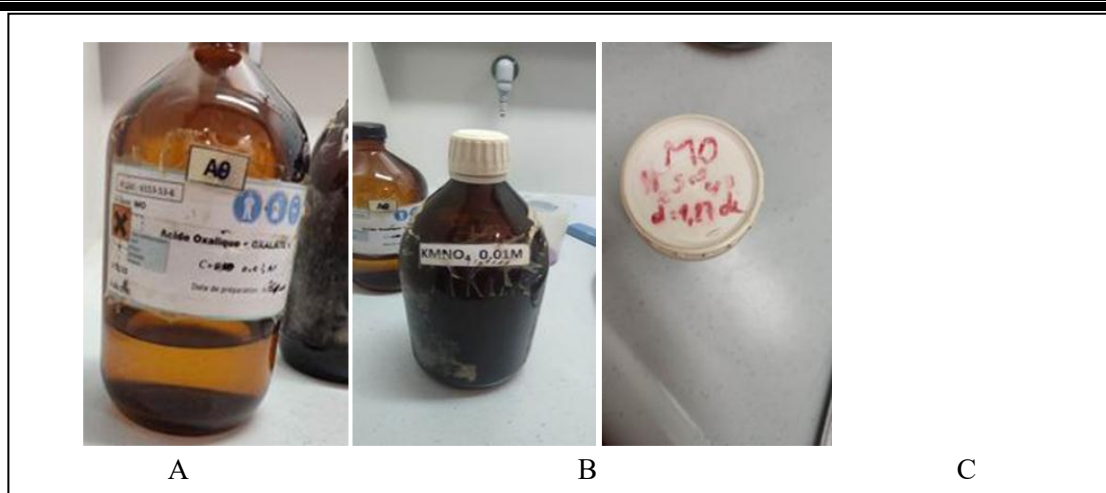


Figure3. A : Acide oxalique, B: KMNO₄, C : H₂SO₄.

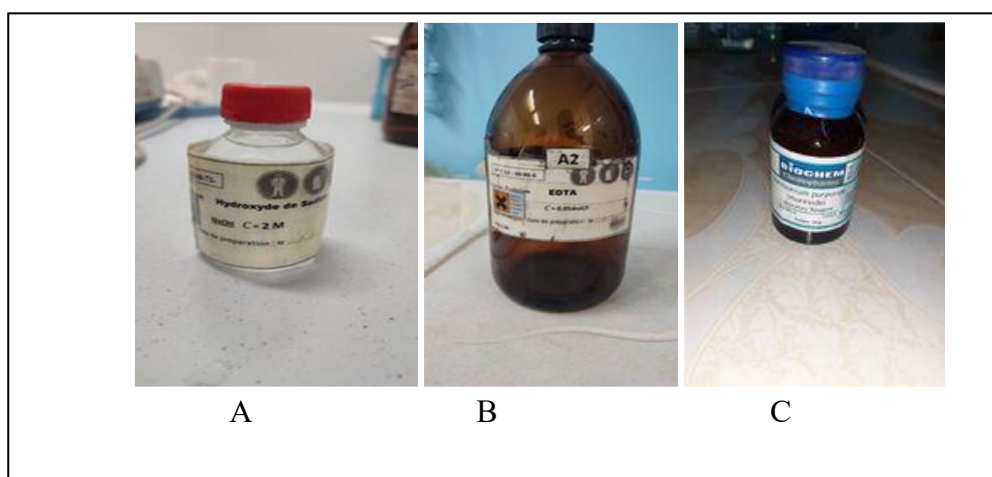


Figure 4. A: NaOH, B: EDTA, C: Murixide.

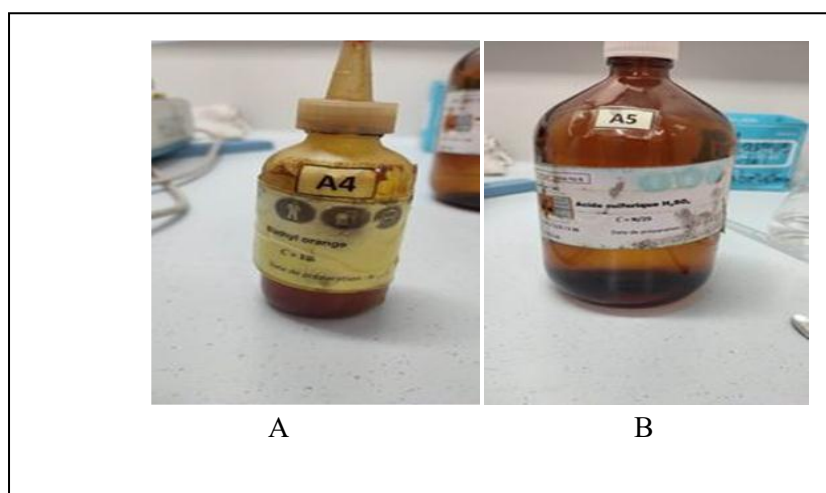


Figure 5. A: Methyle Orange, B: Acide Sulfurique

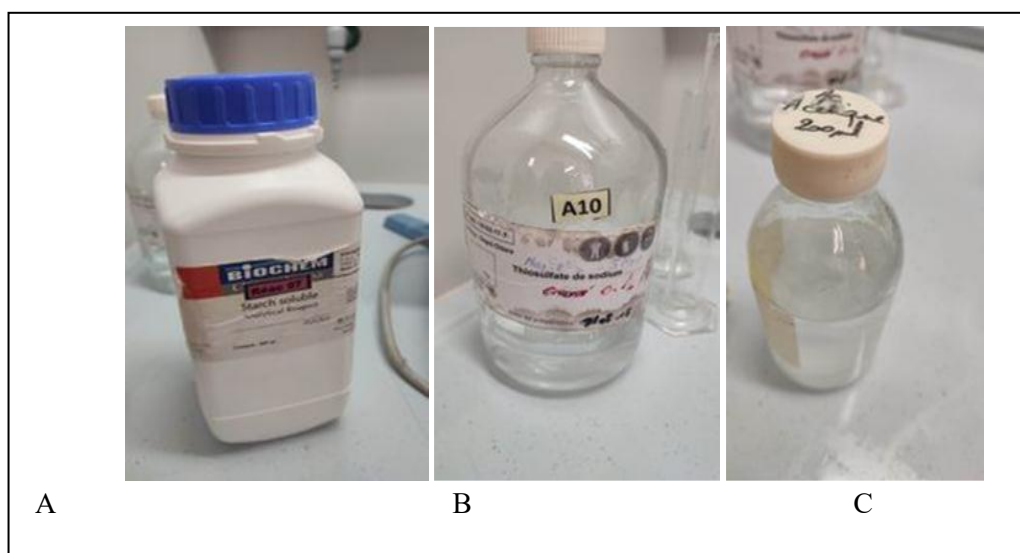


Figure 6. A: Thiosulfate de sodium, B: Amidon, C: Acide acétique

Annexe 3. Appareillages Physiques, Chimiques et Analytiques avec leurs Phases d'Utilisation.

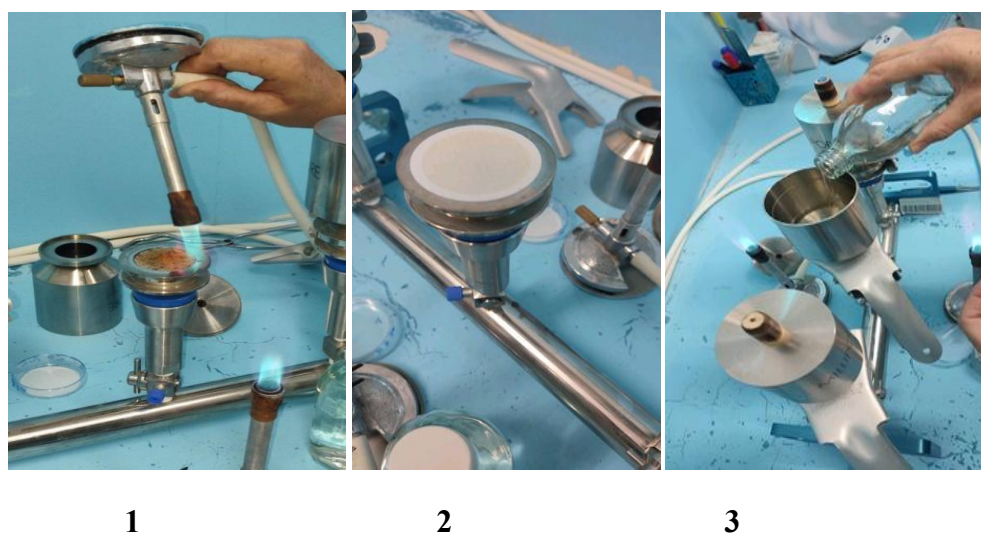


Figure 7. Les étapes d'analyses par filtration



Figure 8 .Appareil de filtration sur membrane



Figure 9. Étapes de recherches les germes totaux.