الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة أكلي محند أولحاج
- البويرة -
معهد التكنولوجيا

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira -
Institut de Technologie



Rapport de soutenance

En vue de l'obtention du diplôme
De licence professionnelle en :
Hydraulique

Thème :

Contribution à l'évaluation de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine : Cas de la région de Khenchela

Réalisé par :

- TOUAM Mohamed -El- Djawad

Encadrée par :

- **Mme HAMZAOUI Sara** (Encadreur) MCB /Institut de Technologie
- **Mme BENZAIME Assia** (Tuteur) (Tuteur) Technicienne Supérieure / Laboratoire de traitements des eaux Khenchela

Soutenu devant les jurys :

- Examinateur 1: Grade / Entreprise ou Établissement
- Examinateur 2: Grade / Entreprise ou Établissement
- Président de jury : Grade / Entreprise ou Établissement

Année universitaire : 2025/2026

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira -
Institut de Technologie

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة أكلي محند أولحاج
- البويرة -
معهد التكنولوجيا

Département Génie de l'eau

Autorisation de dépôt en vue de l'obtention du diplôme Licence

Je soussigné, Monsieur ou Madame, ...HAMZAOUI SARRA.....

Encadrante des étudiants :

Nom : ..... TOUAM.....

Prénom : Mohamed -El- Djawad

Inscrits en 3ème année Licence

Domaine : Science et technologie

Filière : Génie de l'eau

Spécialité : Génie de l'eau

Après consultation et correction du manuscrit de Licence de l'étudiant, j'autorise la présentation du travail, intitulé :

Contribution à l'évaluation de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine : Cas de la région de Khenchela

Signature de l'encadrant



Bouira le : 24/06/2026.....

Dédicace

Je dédie ce travail à:



Mes chère parents

en signe de reconnaissance et de gratitude pour tout ce qu'ils ont consenti d'efforts et de moyens pour me voir réussir



Ma chère grand-mère



Mes chèrs frères



Tou ce qui ont contribué de prés ou de loin pour que ce projet soit possible

Merci infiniment

REMERCIEMENTS



Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à ma directrice de mémoire, **Mme HAMZAOUI Sara,** Maître de Conférences B à l'Institut de Technologie de l'Université de Bouira, pour sa disponibilité, ses précieux conseils et son encadrement rigoureux tout au long de la réalisation de ce projet.



J'exprime également ma vive reconnaissance à **Mme BENZAIME Assia,** Technicienne Supérieure au sein du laboratoire de traitement des eaux de l'Algérienne Des Eaux (ADE) – Direction d'unité de Khenchela, pour son accompagnement, sa supervision sur le terrain et l'accès indispensable aux infrastructures d'analyse.



J'adresse à la fois mes sincères remerciements à l'administration d'Algérienne des Eaux (ADE) de la wilaya de Khenchela pour m'avoir accueillis au sein de leur établissement et permis de réaliser cette étude dans les meilleures conditions. Mes remerciements les plus distingués s'adressent particulièrement à **Monsieur BOUFAR Hassen,** Directeur assistant, pour son accueil chaleureux et son soutien tout au long de mon travail.



Enfin, je remercie les membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce travail.

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم جودة المياه المخصصة للاستهلاك البشري في منطقة خنشلة اعتمادًا على نتائج تحاليل المياه السطحية لثلاثة سدود تُعد المصادر الرئيسية للتزويد بمياه الشرب في الولاية، وهي: سد بابار وسد تاغريست بولاية خنشلة، وسد كدية لمدور الواقع بولاية باتنة.

ويُظهر تقييم المعايير الفيزيائية والكيميائية والبكتيريولوجية أن عمليات معالجة مياه الشرب المطبقة في مختلف المحطات تُمكّن، بصفة عامة، من الحصول على مياه مطابقة للمعايير الجزائرية المعمول بها. ومع ذلك، تُبرز الدراسة وجود هشاشة موسمية في جودة المياه الخام، تتجلى في ارتفاع مستويات العكارة والمادة العضوية خلال فترات الفيضانات، إضافةً إلى مخاطر حدوث تلوثات بكتيرية ظرفية مرتبطة بالنشاطات البشرية على الأحواض المائية

ولمعالجة هذه الإشكالات، من الضروري مواصلة تحسين جرعات كواشف المعالجة من خلال اختبارات الجرة، وتعزيز حماية المسطحات المائية في المناطق العليا للأحواض، ما يضمن سلامة مياه الشرب وحماية الصحة العمومية للسكان على المدى الطويل.

الكلمات المفتاحية

الجزائرية للمياه، المعايير الفيزيائية والكيميائية، المعايير البكتيريولوجية

Résumé

Cette étude vise à évaluer la qualité des eaux destinées à la consommation humaine dans la région de Khenchela à partir des résultats d'analyses des eaux de surface des trois barrages constituant les principales sources d'approvisionnement en eau potable de la wilaya : le barrage de Babar (commune de Babar, wilaya de Khenchela), le barrage de Tagharist (commune de Yabous, wilaya de Khenchela) et le barrage de Koudiet Medawar (commune de Timgad, wilaya de Batna). L'évaluation des paramètres physico-chimiques et bactériologiques montre que les processus de potabilisation appliqués en station permettent globalement d'obtenir une eau traitée conforme aux normes algériennes en vigueur. Néanmoins, l'étude met en relief une vulnérabilité saisonnière des eaux brutes, marquée par des pics de turbidité et de charge organique lors des crues, ainsi que des risques de contaminations bactériennes ponctuelles liés aux pressions anthropiques sur les bassins versants. Pour y remédier, une optimisation continue du dosage des réactifs de traitement (Jar test) et un renforcement de la protection des plans d'eau en amont sont nécessaires afin de garantir la sécurité sanitaire durable de la population.

Mots-clés : Analyse physico-chimique, Analyse bactériologique, Algérienne des Eaux (ADE).

Abstract

The following study aims to assess the quality of water intended for human consumption in the Khenchela region based on the results of surface water analyses from the three dams that constitute the main sources of drinking water supply for the province: Babar Dam (Babar Municipality, Khenchela Province), Tagharist Dam (Yabous Municipality, Khenchela Province), and Koudiet Medawar Dam (Timgad Municipality, Batna Province).

The evaluation of physicochemical and bacteriological parameters indicates that the drinking water treatment processes implemented at the treatment plants generally produce treated water that complies with the current Algerian standards. Nevertheless, the study highlights a seasonal vulnerability of raw water quality, characterized by peaks in turbidity and organic load during flood events, as well as occasional risks of bacterial contamination associated with anthropogenic pressures on the watershed areas.

To address these issues, continuous optimization of treatment reagent dosing through Jar Tests and strengthened protection of upstream water bodies are required in order to ensure the long-term sanitary safety of the population and the sustainable quality of drinking water.

Keywords : Physicochemical analysis – Bacteriological analysis –Algérienne des Eaux (ADE).

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE
REMERCIEMENTS
ABSTRACT
RÉSUMÉ
ملخص
LISTE DES TABLEAUX
LISTE DES FIGURES
LISTE DES ABRÉVIATIONS
INTRODUCTION GÉNÉRALE 1

CHAPITRE I : CADRE CONCEPTUEL ET FONDEMENTS DE LA QUALITÉ DES EAUX

PREMIERE PARTIE 3
1. Introduction 3
2. Présentation du cadre d'étude 3
2.1. Présentation de l'organisme d'accueil : Algérienne des Eaux (ADE) 3
Historique de l'ADE 3
Missions de l'ADE 3
2.2. Description du site d'étude : Station de Babar 4
Localisation et contexte 4
Historique et missions 4
Capacité et importance 4
DEUXIEME PARTIE
1. Généralités sur l'eau 6
1.1. Ressources hydriques naturelles 6
Eaux souterraines 6
Eaux de surface 6
Eaux de mers et océans 7
1.2. Pollution des eaux 7
a) Origines de la pollution des eaux 7
b) Principaux polluants des eaux naturelles 8
c) Effets de la pollution sur les ressources en eau 8
2. Caractéristiques des eaux destinées à la consommation humaine 8
2.1. Paramètres organoleptiques 9
La couleur 9
La turbidité 9
L'odeur et le goût 9
2.2. Paramètres physico-chimiques 9
Substances indésirables et toxiques 10
2.3. Paramètres bactériologiques 10
Escherichia coli (E. coli) 11
Entérocoques intestinaux 11
Bactéries sulfito-réductrices (Spores de Clostridium) 11
Conclusion du chapitre I 14

CHAPITRE II : PROCÉDÉS DE TRAITEMENT DES EAUX
1. Introduction 16

2. Objectifs du traitement des eaux 16
3. Les procédés de traitement des eaux destinées à la consommation humaine 18
3.1. Prétraitement 18
a. Oxygénation de l'eau (Aération) 18
b. Dégrillage 19
c. Tamisage 19
3.2. Préchloration 19
3.3. Coagulation – Floculation 20
a. Coagulation 20
b. Floculation 20
3.4. Décantation 21
3.5. Filtration sur sable 22
3.6. Désinfection 22
3.7. Stockage de l'eau 23
4. Conclusion du chapitre II 23

CHAPITRE III : MATÉRIELS ET MÉTHODES D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES EAUX

1. Introduction 25
2. Protocoles d'échantillonnage et dispositifs de contrôle qualité 25
2.1. Prélèvement des échantillons 25
2.2. Conservation et transport 26
3. Analyse de la qualité des eaux de consommation 26
3.1. Analyses Physico-chimiques 26
a) Détermination du Potentiel Hydrogène (pH) 26
b) Mesure de la Turbidité 27
c) Mesure de la Conductivité Électrique 27
d) Gaz carbonique libre 28
e) Dosage du Chlore Résiduel Libre 29
f) Dosage de l'Ammonium (NH_4^+) 29
g) Dosage des Nitrites (NO_2^-) 29
h) Dosage des Nitrates (NO_3^-**)** 30
i) Dosage des Orthophosphates 30
j) Détermination de l'Oxygène Dissous 30
k) Dosage du Calcium (Ca^{2+}) et du Magnésium (Mg^{2+}) 31
l) Détermination de la Dureté Totale (TH) 31
m) Dosage des Chlorures (Cl^-) 31
n) Dosage des Sulfates (SO_4^{2-}) 32
o) Détermination du Titre Alcalimétrique (TA) 32
p) Détermination du Titre Alcalimétrique Complet (TAC) 33
q) Dureté totale 33
4. Essai de Jar-test 34
Principe 34
Matériel 34
Réactifs 34
Mode Opératoire 35
Analyses Post-Traitement et Évaluation 36
5. Analyses Bactériologiques (Protocoles Expérimentaux) 36
5.1. Germes Totaux (GT) 37
5.2. Coliformes Totaux (CT) & Fécaux (CF / E. coli) 38

5.3. Streptocoques Fécaux (SF) 39
5.4. Anaérobies Sulfito-Réducteurs (ASR) 40
6. Conclusion du chapitre III 41

CHAPITRE IV : RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. Introduction 43
2. Analyse et Discussion des Paramètres par Station 43
a) Station de Koudiet Lamdaouar (Batna) 43
Interprétation 46
Synthèse pour cette station 48
b) Station de Babar (Khenchela) 48
Interprétation 51
Synthèse pour cette station 52
c) Station de Tagharist (Yabous - Khenchela) 52
Interprétation 55
Synthèse pour cette station 56
Analyses comparatives et caractéristiques communes 57
3. Bilan comparatif des résultats des trois stations 57
3.1. Vulnérabilité de la ressource brute 57
3.2. Le défi du calcaire (Dureté) 57
3.3. Homogénéité de la désinfection 57
3.4. Diagramme de Schöeller-Berkaloff 58
4. Conclusion 59
Recommandations 59

CONCLUSION GÉNÉRALE 60
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 62

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : CADRE CONCEPTUEL ET FONDEMENTS DE LA QUALITÉ DES EAUX

Figure I.1 : Organigramme hiérarchique de la station de Babar 5

CHAPITRE II : LES PROCÉDÉS DE TRAITEMENT DES EAUX

Figure II.1 *:* Les différentes étapes de traitement dans la station de traitement Babar selon [2] 17
Figure II.2 : Prise d'eau (Station de traitement de Babar) 18
Figure II.3 : Cascade d'aération (Station de traitement de Babar) 18
Figure II.4 : Dégrilleur (Station de traitement de Babar) 19
Figure II.5 : Injection du chlore dans l'eau brute (Station de traitement de Babar) 20
Figure II.6 : Bassin de coagulation (Station de traitement de Babar) 20
Figure II.7 : Bassin de floculation (Station de traitement de Babar) 21
Figure II.8 : Décanteur lamellaire (Station de traitement de Babar) 21
Figure II.9 : Filtre à sable (Station de traitement de Babar) 22
Figure II.10 : Eau désinfectée (Station de traitement de Babar) 22
Figure II.11 : Château de distribution d'eau (Commune de Babar) 23

CHAPITRE III : MATÉRIELS ET MÉTHODES D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES EAUX

Figure III.1 : Sacs et Bouteilles à échantillon 26
Figure III.2 : pH-mère 27
Figure III.3 : Turbidimètre 27
Figure III.4 : Conductimètre 28
Figure III.5 : Fluxogramme de l'analyse de CO2 29
Figure III.6 : Spectrophotomètre 30
Figure III.7 : Fluxogramme de l'analyse de chlorures 32
Figure III.8 : Fluxogramme de l'analyse de l'alcalinité 33
Figure III.9 : Appareil de jar-test. 35
Figure III.10 : Recherche et dénombrement des germes totaux dans l'eau potable. 41

CHAPITRE IV : RÉSULTATS ET DISCUSSION

Figure IV.1 : Comparaison des paramètres : eau brute vs eau traitée (Station K. Lamdaour) 47
Figure IV.2 : Comparaison des paramètres : eau brute vs eau traitée (Station de Babar) 52
Figure IV.3 : Comparaison des paramètres : eau brute vs eau traitée (Station de Tagharist) 56

Figure IV.4 : Diagramme de Schöeller-Berkaloff représentant les profils hydrochimiques des échantillons d'eau des trois stations

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I : CADRE CONCEPTUEL ET FONDEMENTS DE LA QUALITÉ DES EAUX

Tableau I.1 : Synthèse des risques sanitaires et normes réglementaires de quelques polluants chimiques majeurs. 10
Tableau I.2 : Normes de potabilité de l'eau selon l'OMS (2022). 12
Tableau I.3 : Paramètres avec valeurs indicatives **(Normes Algériennes du ministère des ressources en eau depuis 20 février 2014)** 13

CHAPITRE III : MATÉRIELS ET MÉTHODES D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES EAUX

Tableau III.1 : Protocole séquentiel de l'essai de Jar-test 35
Tableau III.3 : Différents protocoles d'analyses des paramètres bactériologiques 37
Tableau III.4 : Différents protocoles d'analyses des paramètres bactériologiques 38
Tableau III.5 : Différents protocoles d'analyses des paramètres bactériologiques 39
Tableau III.6 : Différents protocoles d'analyses des paramètres bactériologiques 40

CHAPITRE IV : RÉSULTATS ET DISCUSSION

Tableau IV.1 : Paramètres Physiques - Station de K. Lamdaouar 43
Tableau IV.2 : Paramètres Chimiques - Station de K. Lamdaouar 44
Tableau IV.3 : Paramètres Bactériologiques - Station de K. Lamdaouar 46
Tableau IV.4 : Paramètres Physiques - Station de Babar 48
Tableau IV.5 : Paramètres Chimiques - Station de Babar 49
Tableau IV.6 : Paramètres Bactériologiques - Station de Babar 50
Tableau IV.7 : Paramètres Physiques - Station de Tagharist 52
Tableau IV.8 : Paramètres Chimiques - Station de Tagharist 53
Tableau IV.9 : Paramètres Bactériologiques - Station de Tagharist 55

LISTE DES ABRÉVIATIONS

Abréviation	Signification
ADE	Algérienne des Eaux
Ca^{2+}	Calcium
CMA	Concentrations maximales acceptables
COD	Carbone organique dissous
COT	Carbone organique total
DBO	Demande biologique en oxygène
DCO	Demande chimique en oxygène
DF	Degré français
HCO_3^-	Bicarbonate
K^+	Potassium
MES	Matières en suspension
MO	Matières organiques
Na^+	Sodium
NH_4^+	Ammonium
NO_2^-	Nitrite
NO_3^-	Nitrate
NTU	Unité néphélométrique
OMS	Organisation mondiale de la Santé
pH	Potentiel hydrogène
PO_4^{3-}	Phosphate
SO_4^{2-}	Sulfates
SPC	Sous-produits de chloration
TA	Titre alcalimétrique
TAC	Titre alcalimétrique complet
TH	Titre hydrométrique
THM	Trihalométhanes
Turb EB	Turbidité de l'eau brute
Turb ET	Turbidité de l'eau traitée
µS/cm	Microsiemens par centimètre

Introduction générale

L'eau potable constitue une ressource essentielle à la vie et un élément fondamental de la santé publique. Toutefois, la dégradation progressive des ressources hydriques superficielles et souterraines sous l'effet des activités humaines et des facteurs environnementaux peut compromettre leur qualité et représenter un risque pour les consommateurs. Dans ce contexte, le contrôle de la qualité de l'eau et l'évaluation de l'efficacité des systèmes de traitement revêtent une importance particulière.

La présente étude a été réalisée dans le cadre d'un stage pratique effectué du 05/04/2026 au 27/04/2026 au laboratoire d'analyse des eaux de la station de Babar (wilaya de Khenchela). Elle a été menée principalement au sein de cette station et complétée par des visites de terrain aux barrages et stations de traitement de Tagharist (Yabous) et de Koudiet Medouar (Timgad). Cette étude vise à évaluer l'efficacité des procédés de potabilisation appliqués et à vérifier la conformité physico-chimique et bactériologique de l'eau destinée à la consommation humaine conformément à la réglementation algérienne et aux recommandations de l'OMS.

Le travail est organisé en quatre chapitres complémentaires. Le premier présente les ressources en eau, les principales sources de pollution et les critères de qualité requis pour une eau potable. Le deuxième décrit les différentes étapes du traitement de l'eau, notamment la coagulation-floculation, la décantation, la filtration sur sable et la désinfection par chloration. Le troisième chapitre expose la méthodologie adoptée, incluant les protocoles d'échantillonnage, les techniques analytiques ainsi que les équipements utilisés pour les analyses physico-chimiques et bactériologiques.

Enfin, le quatrième chapitre est consacré à la présentation et à l'interprétation des résultats obtenus. Une comparaison entre la qualité de l'eau brute et celle de l'eau traitée a permis d'évaluer les performances des procédés de traitement mis en œuvre dans les différents sites étudiés et d'établir une appréciation globale de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine dans la wilaya de Khenchela.

CHAPITRE I : CADRE CONCEPTUEL ET FENDEMENTS DE LA QUALITÉ DES EAUX

PREMIÈRE PARTIE

1. Introduction

La qualité des eaux destinées à la consommation humaine constitue un enjeu majeur de santé publique et de protection de l'environnement. L'évaluation de cette qualité nécessite une bonne connaissance du contexte de l'étude, des caractéristiques des ressources hydriques et des différentes sources de pollution pouvant affecter l'eau. Ce chapitre est consacré à la présentation du cadre de stage ainsi qu'aux notions théoriques relatives à l'eau, à sa pollution et aux critères de qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

2. Présentation du cadre d'étude

2.1. Présentation de l'organisme d'accueil : Algérienne des Eaux (ADE)

a. Historique de l'ADE

L'Algérienne Des Eaux (ADE) est un établissement public national à caractère industriel et commercial doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Il a été créé par le décret exécutif n° 01-101 du 27 Moharrem 1422 correspondant au 21 Avril 2001. L'établissement est placé sous la tutelle du ministre chargé des ressources en eau, son siège social est fixé à Alger.

L'ADE est également chargée de procéder à la maintenance préventive et la remise à niveau des infrastructures d'assainissement. Visant l'efficacité du point de vue technique, économique et environnemental, pour atteindre ses objectifs elle s'est proposée de développer les moyens humains et matériels et d'introduire de nouvelles technologies, pour y arriver elle assure la formation continue à son personnel [1].

b. Missions de l'ADE

La mission principale est la surveillance de la qualité de l'eau distribuée ; ainsi que de faciliter toute action visant à économiser cette dernière, notamment par l'amélioration des réseaux de transfert et de distribution.

L'introduction de toute technique de préservation de l'eau, cet objectif sera atteint avec la mise en place de nouvelles technologies et le développement des moyens humains et matériels existants ; la lutte contre le gaspillage grâce aux campagnes d'information, qui servent à sensibiliser les usagers quant à cette ressource qui tend à se raréfier [1].

2.2. Description du site d'étude : Station de Babar

a. Localisation et contexte

La station de traitement des eaux de Babar est implantée à proximité du barrage de Babar, situé dans la partie sud de la wilaya de Khenchela. Elle constitue une infrastructure hydraulique essentielle pour l'alimentation en eau potable des populations locales et des zones environnantes [2].

b. Historique et missions

Réalisée dans le cadre des programmes nationaux de mobilisation des ressources hydriques, la station vise à améliorer l'accès à l'eau potable, à réduire les risques sanitaires et à renforcer les capacités de production. Elle assure le traitement des eaux brutes, l'élimination des polluants, la désinfection et l'alimentation continue du réseau [2].

c. Capacité et importance

Avec une capacité de 200 à 300 L/s, la station joue un rôle stratégique dans l'approvisionnement en eau potable, la protection de la santé publique et le développement socio-économique régional [2].

La structure hiérarchique, missions principales et capacités de production de la station de Babar sont représentées dans la figure suivante :



Figure I.1 : Organigramme hiérarchique de la station de Babar

DEUXIÈME PARTIE

1. Généralités sur l'eau

1.1 Ressources hydriques naturelles

Les ressources hydriques naturelles regroupent l'ensemble des eaux disponibles dans la nature et exploitables pour les besoins humains, agricoles, industriels et environnementaux. Elles constituent un élément fondamental du développement durable et de la sécurité hydrique des populations. Les principales ressources hydriques naturelles comprennent les eaux souterraines, les eaux de surface ainsi que les eaux des mers et des océans [3].

a) Eaux souterraines

Le passage de l'eau à travers les différentes couches géologiques assure une filtration naturelle qui réduit la turbidité et certains microorganismes pathogènes. Toutefois, les eaux souterraines peuvent présenter des teneurs élevées en sels minéraux tels que le calcium, le magnésium ou le fer, influençant leurs caractéristiques physicochimiques.

L'exploitation excessive des nappes peut entraîner des déséquilibres hydrogéologiques, notamment l'abaissement du niveau piézométrique et la dégradation qualitative des ressources en eau [4].

b) Eaux de surface

Les eaux de surface regroupent les rivières, les fleuves, les lacs, les barrages et les retenues d'eau situés à la surface terrestre. Elles constituent l'une des principales sources d'approvisionnement en eau potable dans de nombreuses régions du monde.

La qualité des eaux de surface dépend fortement des caractéristiques du bassin versant ainsi que des activités humaines environnantes. Ces ressources sont particulièrement vulnérables aux pollutions domestiques, agricoles et industrielles, pouvant provoquer une augmentation de la turbidité, de la matière organique et de la contamination microbiologique.

En raison de cette vulnérabilité, les eaux de surface nécessitent généralement des traitements adaptés avant leur consommation afin de garantir leur conformité aux normes sanitaires [4].

c) Eaux de mers et océans

Les mers et les océans représentent la plus grande réserve hydrique mondiale, couvrant environ 97 % des ressources en eau de la planète. Cependant, leur forte concentration en sels dissous rend ces eaux impropres à la consommation humaine sans traitement préalable.

Les eaux marines contiennent principalement du chlorure de sodium ainsi que divers sels minéraux dissous. Pour rendre ces eaux utilisables, des procédés de dessalement tels que l'osmose inverse ou la distillation thermique sont employés.

Le dessalement des eaux marines constitue aujourd'hui une solution stratégique dans les régions confrontées à la rareté des ressources conventionnelles en eau douce [4].

1.2. Pollution des eaux

La pollution des eaux désigne l'ensemble des modifications physiques, chimiques et biologiques affectant la qualité des ressources hydriques naturelles, rendant leur usage dangereux ou limité pour la consommation humaine, les écosystèmes et les activités économiques. Elle constitue aujourd'hui un problème environnemental majeur lié principalement aux activités humaines.

a) Origines de la pollution des eaux

Les origines de la pollution des eaux sont essentiellement anthropiques. Les rejets domestiques constituent une source importante de contamination, notamment à travers les eaux usées urbaines contenant des matières organiques, des détergents et des micro-organismes pathogènes.

Les activités industrielles représentent également une source majeure de pollution, en raison des rejets de substances chimiques, de composés toxiques et de métaux lourds dans les milieux aquatiques.

De plus, l'agriculture contribue fortement à la dégradation des ressources en eau, notamment par l'utilisation intensive d'engrais et de pesticides, qui peuvent être transportés vers les eaux superficielles et souterraines par ruissellement et infiltration [3].

b) Principaux polluants des eaux naturelles

Les polluants des eaux naturelles sont classés selon leur nature chimique, physique ou biologique. Les polluants chimiques organiques comprennent principalement les matières organiques issues des rejets domestiques et industriels, ainsi que certains hydrocarbures.

Les polluants chimiques inorganiques regroupent notamment les métaux lourds tels que le plomb, le mercure et le cadmium, connus pour leur toxicité élevée même à faibles concentrations.

Les polluants agricoles, tels que les nitrates et les phosphates, sont également très présents dans les eaux naturelles et peuvent provoquer des phénomènes d'eutrophisation des milieux aquatiques.

Enfin, les polluants bactériologiques incluent les bactéries, virus et parasites responsables de nombreuses maladies hydriques, surtout en cas d'absence ou d'insuffisance de traitement [5].

c) Effets de la pollution sur les ressources en eau

La pollution des eaux entraîne une dégradation progressive de la qualité des ressources hydriques, ce qui complique leur traitement et augmente les coûts de potabilisation. Elle provoque également des déséquilibres écologiques importants, notamment la diminution de la biodiversité aquatique et la perturbation des chaînes alimentaires.

Sur le plan sanitaire, l'utilisation ou la consommation d'eaux contaminées peut être à l'origine de maladies hydriques telles que les gastro-entérites, la fièvre typhoïde ou encore certaines infections parasitaires.

Ainsi, la maîtrise des sources de pollution constitue un enjeu essentiel pour la protection de la santé publique et la gestion durable des ressources en eau [3].

2. Caractéristiques des eaux destinées à la consommation humaine

L'eau destinée à la consommation humaine, communément appelée eau potable, constitue une ressource fondamentale dont la qualité sanitaire est strictement réglementée afin de préserver la santé publique. Selon les lignes directrices de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et les dispositions réglementaires nationales, une eau est qualifiée de potable lorsqu'elle est exempte de tout microorganisme, parasite ou substance chimique en concentration suffisante pour constituer un danger potentiel pour la santé. L'évaluation scientifique et technique de cette

potabilité repose sur le contrôle analytique continu de plusieurs familles de critères incontournables : les paramètres organoleptiques, physico-chimiques et bactériologiques [6].

2.1. Paramètres organoleptiques

Les paramètres organoleptiques regroupent les propriétés physiques de l'eau directement perceptibles par les sens humains (la vue, l'odorat et le goût). Bien que la non-conformité de ces paramètres n'indique pas systématiquement une toxicité directe, ils revêtent une importance capitale car ils conditionnent l'acceptabilité immédiate de l'eau par le consommateur [7].

- **Couleur :** Une eau propre à la consommation doit être idéalement incolore. Une coloration (souvent quantifiée en unités platine-cobalt) révèle généralement la présence de matières organiques dissoutes (acides humiques ou fulviques), de complexes métalliques (fer, manganèse) ou, dans des cas critiques, de rejets industriels anthropiques [7].
- **Turbidité :** Elle quantifie l'aspect trouble de l'eau provoqué par la dispersion de matières fines en suspension (argiles, limons, colloïdes organiques ou microorganismes). Exprimée en NTU (Nephelometric Turbidity Units), le maintien d'une faible turbidité est techniquement requis pour garantir l'efficacité absolue des étapes de désinfection (chloration, ozonation, UV) [7].
- **Odeur et goût :** L'eau distribuée doit présenter des qualités gustatives et olfactives neutres. Les anomalies (flaveurs métalliques, odeurs chlorées excessives, émanations de soufre ou de moisissures) signalent le plus souvent une prolifération algale, la présence de micropolluants ou la formation de sous-produits de désinfection nocifs [7].

2.2. Paramètres physico-chimiques

Cette catégorie permet de caractériser la structure hydrochimique globale de la matrice aqueuse et de quantifier précisément les substances chimiques dissoutes afin de prévenir les risques de toxicité chronique ou aiguë [5].

- **Potentiel hydrogène (pH) :** Il mesure l'équilibre acido-basique de l'eau. Les normes imposent classiquement une plage réglementaire stricte située entre **6,5 et 8,5**. Une eau trop acide (pH < 6,5) s'avère corrosive pour les réseaux de distribution, favorisant la dissolution des métaux, tandis qu'une eau basique (pH > 8,5) favorise l'entartrage et diminue l'action du chlore [5].
- **Conductivité électrique :** Directement corrélée à la charge globale en ions dissous (minéralisation totale), elle s'exprime en µS/cm. Une dérive soudaine de la conductivité traduit soit une modification de l'aquifère, soit une contamination environnementale [5].

- **Dureté totale (Titre Hydrotimétrique - TH) :** Elle reflète la concentration en ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}). Une eau excessivement douce présente des risques d'agressivité pour les infrastructures, alors qu'une eau trop dure (calcaire) génère des dépôts de tartre conséquents, bien que sans danger direct prouvé pour la santé humaine [5].

Substances indésirables et toxiques

Les législations fixent des Limites de Qualité (LQ) impératives pour les composés chimiques potentiellement nocifs [5].

Le tableau ci-après synthétise les limites réglementaires et le profil toxicologique des substances chimiques majeures :

Tableau I.1 : Synthèse des risques sanitaires et normes réglementaires de quelques polluants chimiques majeurs.

Substance chimique	Seuil réglementaire type (LQ)	Principaux impacts et origines
Nitrates (NO3-)	50 mg/L	Origine agricole (engrais) et rejets urbains. Risque accru de méthémoglobinémie chez le nourrisson.
Métaux lourds (Pb, As, Hg, Cd)	Variable (ex : Plomb < 10 µg/L)	Toxiques cumulatifs systémiques. Issus de la corrosion des anciennes canalisations ou de pollutions industrielles.
Micropolluants organiques	0,1 µg/L par substance individuelle	Pesticides, résidus médicamenteux et hydrocarbures. Toxicités chroniques et perturbations endocriniennes.

2.3. Paramètres bactériologiques

La qualité bactériologique représente le pilier sanitaire le plus critique à court terme. La consommation d'une eau contaminée bactériologiquement peut déclencher des pathologies hydriques aiguës immédiates et à fort potentiel épidémique (gastro-entérites infectieuses, dysenterie, choléra, typhoïde).

À cet effet, les normes sanitaires imposent une absence totale (0 germe / 100 mL) des principaux indicateurs de contamination bactérienne :

- **Escherichia coli (E. coli) :** Indicateur de référence universel d'une contamination fécale récente. Sa mise en évidence atteste de la présence potentielle d'autres entéropathogènes (virus, bactéries virulentes).

- **Entérocoques intestinaux :** Complément d'analyse essentiel pour caractériser les pollutions d'origine fécale. Ils possèdent une persistance dans l'environnement supérieure à celle d'E. coli, révélant des contaminations plus anciennes ou diffuses.
- **Bactéries sulfito-réductrices (Spores de Clostridium) :** Ces formes sporulées affichent une résistance physico-chimique extrême, notamment face aux agents désinfectants comme le chlore. Leur suivi permet de valider l'efficience des barrières de filtration vis-à-vis des kystes de protozoaires (Cryptosporidium et Giardia) [7].

Les tableaux suivants synthétisent et comparent les normes de qualité de l'eau potable selon les recommandations de l'OMS et la réglementation du ministère algérien de la Santé, en se fondant sur cinq catégories de paramètres : bactériologiques, physico-chimiques, métalliques, organoleptiques et les sous-produits de désinfection.

Tableau I.2 : Normes de potabilité selon l'**OMS (2022)**

NORMES DE QUALITÉ DE L'EAU POTABLE SELON L'OMS

(GUIDELINES FOR DRINKING-WATER QUALITY – 4e ÉDITION, 2022)

CATÉGORIE	PARAMÈTRE	VALEUR GUIDE (OMS)	UNITÉ	REMARQUES
MICROBIOLOGIQUES (Priorité absolue)	*Escherichia coli* (*E. coli*)	0	UFC / 100 mL	Indicateur de contamination fécale récente
	Coliformes fécaux (thermotolérants)	0	UFC / 100 mL	Indicateur de contamination fécale
	Entérocoques intestinaux	0	UFC / 100 mL	Indicateur complémentaire de contamination fécale
PARAMÈTRES PHYSIQUES ET CHIMIQUES (De base)	pH	6,5 – 8,5	-	Influence la corrosion et l'efficacité du traitement
	Turbidité	< 5 (idéalement < 1)	NTU	Critique pour l'efficacité de la désinfection
	Conductivité	Pas de valeur guide	µS/cm à 25 °C	Dépend de la minéralisation naturelle
	Nitrates (NO_3^-)	≤ 50	mg/L	Risque de méthémoglobinémie chez le nourrisson
	Nitrites (NO_2^-)	≤ 0,2	mg/L	Très toxiques
	Ammonium (NH_4^+)	≤ 0,5	mg/L	Indicateur de pollution récente
	Chlorures (Cl^-)	≤ 250	mg/L	Goût salé
	Sulfates (SO_4^{2-})	≤ 250	mg/L	Effet laxatif à forte dose
MÉTAUX ET ÉLÉMENTS TOXIQUES	Plomb (As)	≤ 0,01	mg/L	Toxique, effets neurologiques et rénaux
	Arsenic (As)	≤ 0,01	mg/L	Cancérogène
	Cadmium (As)	≤ 0,003	mg/L	Toxique rénal
	Mercure (Hg)	≤ 0,006	mg/L	Neurotoxique
	Fer (Fe)	≤ 0,3	mg/L	Problème esthétique (couleur, goût)
	Manganèse (Mn)	≤ 0,1	mg/L	Goût désagréable, dépôts
PARAMÈTRES ORGANOLEPTIQUES (Qualité perçue)	Couleur	≤ 15	mg Pt-Co/L	Acceptabilité
	Odeur	Acceptable	-	Aucune odeur désagréable
	Goût	Acceptable	-	Aucun goût désagréable
DÉSINFECTION ET SOUS-PRODUITS	Chlore résiduel libre	0,2 – 0,5	mg/L	Assure la désinfection dans le réseau de distribution
	Trihalométhanes (THM) (total)	≤ 0,1	mg/L	Sous-produits de la désinfection par le chlore

Ces valeurs guides sont basées sur une approche de gestion des risques pour la santé et peuvent être adaptées par les autorités en fonction du contexte local.

Source : Organisation mondiale de la Santé (OMS) *Guidelines for Drinking-water Quality*, 4e édition, 2022.

World Health Organization

Tableau I.3 : Paramètres avec valeurs indicatives **(Normes Algériennes du ministère des ressources en eau depuis 20 février 2014)**

NORMES ALGÉRIENNES DE L'EAU POTABLE

(Journal Officiel de la République Algérienne – Décret n° 11-125 modifié par 14-96 (2014)

	PARAMÈTRE	VALEUR LIMITE	UNITÉ	REMARQUES
MICROBIOLOGIQUES (Priorité absolue)	Escherichia coli (E. coli)	0	UFC / 100 mL	Absence obligatoire (indicateur de contamination fécale)
	Coliformes thermotolérants	0	UFC / 100 mL	Absence obligatoire (contamination fécale récente)
	Entérocoques intestinaux	0	UFC / 100 mL	Indicateur complémentaire
PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES (De base)	pH	6,5 – 9	-	Conformité au goût et à la protection du réseau
	Turbidité	≤ 5	NTU	Idéalement < 1 après traitement
	Conductivité	2 800	µS/cm à 25 °C	Eaux minéralisées tolérées
	Nitrates (NO_3^-)	≤ 50	mg/L	Protection centre méthémoglobinémie
	Nitrites (NO_2^-)	≤ 0,1	mg/L	Très toxiques
	Ammonium (NH_4^+)	≤ 0,5	mg/L	Indicateur de pollution récente
	Chlorures (Cl^-)	≤ 500	mg/L	Goût salé au-delà
	Sulfates (SO_4^{2-})	≤ 500	mg/L	Effet laxatif à forte dose
MÉTAUX ET ÉLÉMENTS INDÉSIRABLES	Plomb (Pb)	≤ 0,01	mg/L	Protection santé publique
	Arsenic (As)	≤ 0,01	mg/L	Substance cancérigène
	Cadmium (Cd)	≤ 0,003	mg/L	Toxique rénal
	Mercure (Hg)	≤ 0,001	mg/L	Neurotoxique
	Fer (Fe)	≤ 0,3	mg/L	Problème esthétique (couleur)
	Manganèse (Mn)	≤ 0,1	mg/L	Goût désagréable, dépôts
PARAMÈTRES ORGANOLEPTIQUES (Qualité perçue)	Couleur	≤ 15	mg Pt-Co/L	Acceptabilité visuelle
	Odeur	Acceptable	-	Aucune odeur désagréable
	Goût	Acceptable	-	Aucun goût désagréable
DÉSINFECTION ET SOUS-PRODUITS	Chlore résiduel libre	0,2 – 0,5	mg/L	Assure la désinfection dans la réseau de distribution
	Trihalométhanes (THM) (total)	≤ 0,1	mg/L	Sous-produit de la chloration

Ces normes sont applicables à toutes les eaux destinées à la consommation humaine en Algérie (eaux de surface, souterraines et traitées).

Référence réglementaire :
Décret n° 11-125 modifié par 14-96 (2014) fixant les limites et références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

3. Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter le cadre institutionnel et technique de l'Algérienne des Eaux (ADE), organisme public chargé de la gestion du service public de l'eau potable, au sein duquel s'est déroulé le stage. Il a également abordé les principales notions théoriques relatives à l'eau, à sa pollution et aux critères de qualité des eaux destinées à la consommation humaine. La connaissance des missions de l'ADE, notamment en matière de traitement, de contrôle et de distribution de l'eau potable, constitue un élément fondamental pour la compréhension du contexte de l'étude et l'interprétation des résultats obtenus.

CHAPITRE II : PROCÉDÉS DE TRAITEMENT DES EAUX

1. Introduction

Le deuxième chapitre de notre étude est consacré aux procédés de traitement des eaux destinées à la consommation humaine. Il présente les principales opérations appliquées à l'eau brute dans le but d'améliorer sa qualité et de la rendre conforme aux exigences sanitaires. Ces procédés visent à éliminer les impuretés, les substances indésirables ainsi que les micro-organismes pathogènes, garantissant ainsi la production d'une eau potable répondant aux normes de qualité en vigueur.

2. Objectifs du traitement des eaux

Le traitement des eaux destinées à la consommation humaine poursuit plusieurs objectifs essentiels visant à garantir une eau potable de qualité et conforme aux exigences sanitaires :

- Le traitement des eaux destinées à la consommation humaine vise principalement à éliminer les matières en suspension et les particules responsables de la turbidité
- Réduire la charge organique et minérale présente dans l'eau brute
- Détruire les micro-organismes pathogènes susceptibles de provoquer des maladies hydriques
- Améliorer les caractéristiques organoleptiques de l'eau, notamment l'odeur, la couleur et le goût
- Garantir une eau conforme aux normes de qualité et de sécurité sanitaire
- Protéger les réseaux de distribution et les équipements contre l'encrassement et la corrosion
- Assurer une alimentation continue en eau potable répondant aux besoins de la population [5].

La figure ci-contre expose le cheminement hydraulique et physico-chimique du traitement des eaux au niveau de la station de Babar.

PROCÉDÉS DE TRAITEMENT DES EAUX BRUTES

STATION DE TRAITEMENT DU BARRAGE DE BABAR (Khénchela)



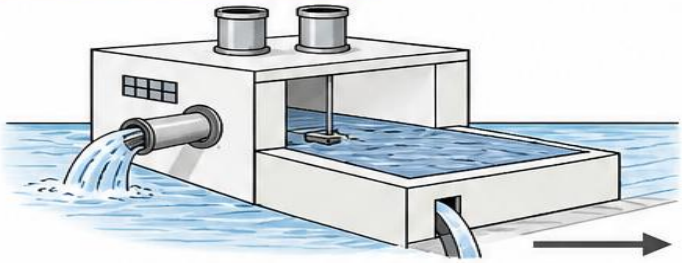
A Le pré-dégrillage (le dégrilleur)



Séparation des gros déchets (branches, plastiques, etc.)

B Le poste de relevage

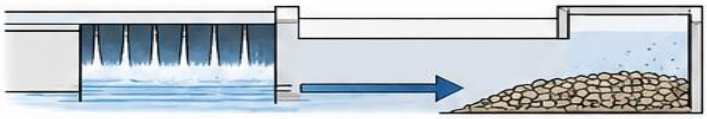
B Pompes de relevage



- Pompes de relevage pour l'acheminement de l'eau vers la station

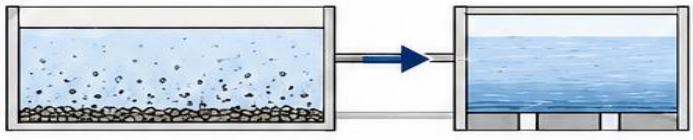
C Le débourbeur

D1 Tour d'équilibre de la coagulation



- Élimination des sables et des particules lourdes

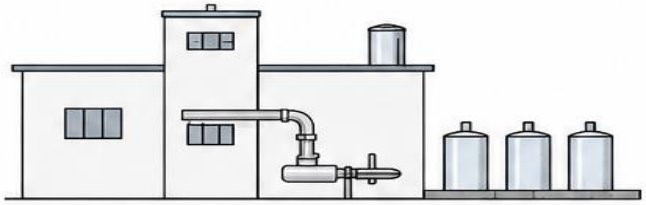
D Les décanteurs



- Formation des flocs grâce à une agitation lente
- Décantation des flocs par sédimentation gravitaire

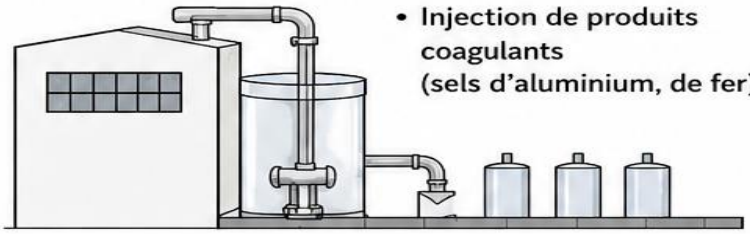
D_1 Bloc Hydraulique

D_1 Tour d'équilibre de la coagulation



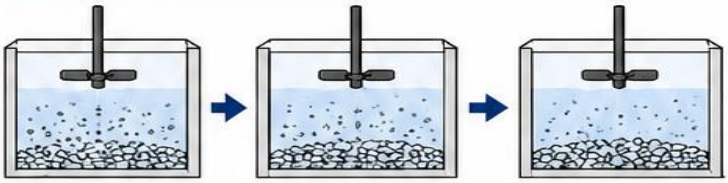
- Homogénéisation et stabilisation du débit

D_2 Chambre d'injection de réactif (vanne cylindrique)



- Injection de produits coagulants (sels d'aluminium, de fer)

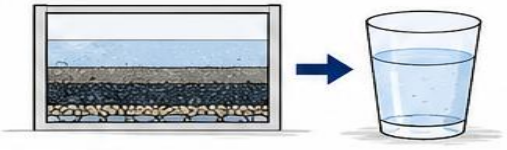
E Les floculateurs



- Décantation des flocs par sédimentation gravitaire

G Les filtres à sable

- Filtration finale de l'eau à travers des lits de sable



H La désinfection

- Chloration ou traitement UV / ozonation

Figure II.1 : Les différentes étapes de traitement dans la station de traitement Babar selon [2]

3. Les procédés de traitement des eaux destinées à la consommation humaine

3 .1. Prétraitement

a. Oxygénation de l'eau

L'oxygénation de l'eau constitue une opération physicochimique utilisée dans les stations de traitement des eaux destinées à la consommation humaine. Elle consiste à augmenter la teneur en oxygène dissous dans l'eau brute afin d'améliorer sa qualité et de favoriser certaines réactions d'oxydation nécessaires au traitement.

Cette opération est particulièrement utilisée lorsque l'eau brute contient des substances réduites telles que le fer ferreux (Fe^{2+}), le manganèse (Mn^{2+}), l'hydrogène sulfuré (H_2S) ou certaines matières organiques responsables de goûts et d'odeurs désagréables. L'apport d'oxygène permet d'oxyder ces composés en formes insolubles pouvant être éliminées ultérieurement par décantation et filtration.

L'oxygénation peut être réalisée par plusieurs procédés, notamment :

- l'aération en cascade
- l'aération par pulvérisation
- l'insufflation d'air comprimé
- les aérateurs mécaniques ou diffuseurs d'air.

Dans les stations de traitement, les ouvrages d'oxygénation sont généralement placés au début de la filière de traitement afin d'améliorer les performances des étapes suivantes. Cette technique contribue également à limiter la corrosion des conduites et à améliorer les caractéristiques organoleptiques de l'eau [8].



Figure II.2 : Prise d'eau (Station de traitement de Traitement de Babar)



Figure II.3 : Cascade d'aération (Station de traitement de Babar)

b. Dégrillage

Le dégrillage constitue la première étape du traitement des eaux. Il consiste à éliminer les déchets volumineux tels que les branches, feuilles, plastiques et autres matières flottantes à l'aide de grilles métalliques grossières ou fines. Cette opération est réalisée grâce à des dégrilleurs manuels ou automatiques équipés parfois de convoyeurs et de bennes de récupération des déchets. Le dégrillage permet de protéger les équipements et installations contre les obstructions et les détériorations [9].



Figure II.4 : Dégrilleur (Station de traitement de Babar)

c. Tamisage

Le tamisage permet de retenir les particules plus fines qui n'ont pas été éliminées lors du dégrillage. Cette opération est effectuée au moyen de tamis rotatifs ou vibrants constitués de toiles métalliques perforées et parfois dotés de systèmes de nettoyage automatique. Cette étape améliore la qualité de l'eau brute avant les traitements physicochimiques [9].

3. 2. Préchloration

La préchloration consiste à ajouter une faible quantité de chlore à l'eau brute afin de limiter le développement des micro-organismes, réduire les odeurs et faciliter les étapes ultérieures du traitement. Cette opération est réalisée à l'aide de clarificateurs, de pompes doseuses, de réservoirs de chlore et de conduites d'injection permettant une distribution contrôlée du désinfectant dans l'eau [9].



.

Figure II.5 : Injection du chlore dans l'eau brute (Station de traitement de Babar)

3. 3. Coagulation – Floculation

a. Coagulation

La coagulation est une opération chimique consistant à ajouter des réactifs appelés coagulants, tels que le sulfate d'alumine ou le chlorure ferrique. Ces produits sont injectés dans des bassins de coagulation à l'aide de pompes doseuses et de systèmes d'injection. Des agitateurs rapides assurent un mélange homogène afin de neutraliser les charges électriques des particules colloïdales et favoriser leur agglomération [9].



Figure II.6 : Bassin de coagulation (Station de traitement de Babar)

b. Floculation

La floculation est l'étape suivant la coagulation. Elle consiste à mélanger lentement l'eau dans des bassins de floculation équipés d'agitateurs lents ou de mélangeurs mécaniques. Ce

brassage favorise la formation de flocs volumineux et plus lourds qui pourront être facilement éliminés lors de la décantation [9].



Figure II.7 : Bassin de floculation (Station de traitement de Babar)

3. 4. Décantation

La décantation permet la séparation des flocs formés lors de la floculation par effet de gravité. Cette opération se déroule dans des bassins de décantation ou décanteurs munis de racleurs de boues et de systèmes d'évacuation. Les particules lourdes se déposent au fond du bassin tandis que l'eau clarifiée est récupérée en surface grâce à des goulottes de collecte [9].



Figure II.8 : Décanteur lamellaire (Station de traitement de Babar)

3. 5. Filtration sur sable

La filtration sur sable consiste à faire passer l'eau à travers des filtres composés de couches de sable et de graviers afin d'éliminer les particules fines restantes ainsi qu'une partie des micro-organismes. Les installations comprennent des réservoirs filtrants, des vannes hydrauliques et des systèmes de lavage à contre-courant permettant le nettoyage périodique des filtres [10].



Figure II.9 : Filtre à sable (Station de traitement de Babar)

3. 6. Désinfection

La désinfection est une étape essentielle visant à détruire les micro-organismes pathogènes susceptibles de provoquer des maladies hydriques. Elle est généralement réalisée par chloration à l'aide de clarificateur, de pompes doseuses et de réservoirs de désinfectant. Dans certaines stations, des lampes à rayons ultraviolets ou des générateurs d'ozone peuvent également être utilisés pour assurer une désinfection efficace de l'eau [11].



Figure II.10 : Eau désinfectée (Station de traitement de Babar)

3. 7. Stockage de l'eau

Après traitement, l'eau potable est stockée dans des réservoirs ou châteaux d'eau avant sa distribution. Ces installations sont équipées de pompes de refoulement, de conduites de distribution, de capteurs de niveau et de systèmes de surveillance permettant de garantir la conservation de la qualité de l'eau et une alimentation continue des consommateurs [9].



Figure II.11 : Château de distribution d'eau (Commune de Babar)

4. Conclusion

En conclusion, on constate que les procédés de traitement des eaux jouent un rôle fondamental dans la production d'une eau conforme aux exigences de qualité et de sécurité sanitaire. Par la mise en œuvre successive de traitements adaptés, on assure l'élimination des différents contaminants et l'amélioration des caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de l'eau destinée à la consommation humaine.

CHAPITRE III : MATÉRIELS ET MÉTHODES D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES EAUX

1. Introduction

Ce chapitre présente et discute les résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques de l'eau brute et de l'eau traitée des stations de Koudiet Medawar (Batna), Babar et Tagharist (Khenchela). Cette étude permet d'évaluer la qualité des ressources en eau exploitées ainsi que l'efficacité des procédés de traitement appliqués.

Les campagnes d'échantillonnage, réalisées chaque semaine durant le mois d'avril 2026, ont permis de prélever 24 échantillons d'eau brute et d'eau traitée. Afin d'assurer la fiabilité des résultats, chaque analyse a été effectuée en trois répétitions.

L'objectif principal est d'évaluer l'efficacité des traitements en comparant les résultats obtenus aux normes de potabilité en vigueur, afin de vérifier leur conformité et de garantir la sécurité sanitaire des consommateurs.

.

2. Protocoles d'échantillonnage et contrôle qualité

2.1. Prélèvement des échantillons

Les prélèvements ont été réalisés sur le terrain selon les normes en vigueur, ciblant deux points stratégiques :

L'eau brute (Barrage) : Collecte dans la retenue à l'aide d'une perche télescopique à profondeur adéquate, évitant les débris de surface et les sédiments de fond. Eau traitée (Station de traitement) : Collecte au point de sortie après purge du robinet. Pour la bactériologie, l'orifice est préalablement stérilisé par flambage au chalumeau à gaz.

Le conditionnement dépend des analyses visées :

Analyses physico-chimiques : Flacons en PEHD (1L), rincés avec l'eau du site. Analyses bactériologiques : Flacons stériles (500 mL) contenant du thiosulfate de sodium pour neutraliser le chlore [12].





Sacs de prélèvement Whirl-pak (120 à 720 ml)

Bouteilles de prélèvement en verre (200 à 900 ml)

Figure III.1 : Sacs et Bouteilles à échantillon

2.2. Conservation et transport

Après prélèvement, chaque flacon est étiqueté au marqueur indélébile et immédiatement placé dans une glacière thermo-isolante équipée d'accumulateurs de froid (2°C à 4°C). Cette chaîne du froid suspend l'activité bactérienne et stabilise les paramètres jusqu'au laboratoire. Les manipulations ont été effectuées munies de gants à usage unique [12].

3. Analyse de la qualité des eaux de consommation

Les analyses physico-chimiques font appel à des techniques d'analyses très variées fondées sur les propriétés intrinsèques des molécules ou des atomes recherchés, ou encore sur leur aptitude à réagir avec des réactifs particuliers.

3.1. Analyses Physico-chimiques

a) Détermination du Potentiel Hydrogène (pH)

Principe : Mesure potentiométrique de la différence de potentiel entre une électrode de verre et une électrode de référence, traduisant l'activité des ions H^+.

Matériel et Réactifs : pH-mètre de paillasse à sonde combinée ; solutions tampons de pH 4, 7 et 10.

Mode Opératoire et Résultats : Après étalonnage de l'appareil et rinçage de l'électrode, on l'immerge dans l'échantillon sous agitation douce. Le résultat est obtenu par lecture directe après stabilisation [12].



Figure III.2 : pH-mètre

b) Mesure de la Turbidité

Principe : Néphélémétrie basée sur la mesure de l'intensité de la lumière diffusée à 90° par les particules en suspension.

Matériel et Réactifs : Turbidimètre de laboratoire ; suspensions étalons de formazine.

Mode Opératoire et Résultats : Après étalonnage, on introduit l'échantillon homogénéisé dans une cuve propre et sèche insérée dans la chambre de mesure. Le résultat est lu directement en Unités de Turbidité Néphélémétriques (NTU) [12].



Figure III.3 : Turbidimètre

c) Mesure de la Conductivité Électrique

Principe : Évaluation de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, proportionnelle à sa concentration en ions dissous.

Matériel et Réactifs : Conductimètre avec cellule de conductivité ; solution standard de chlorure de potassium (KCl).

Mode Opératoire et Résultats : Après étalonnage avec la solution de KCl, on rince et plonge la cellule dans l'échantillon en éliminant les bulles d'air. La valeur s'affiche directement en micro-Siemens par centimètre (µS/cm) [12].



Figure III.4 : Conductimètre

d) Gaz carbonique libre

Principe : Détermination de la teneur en gaz carbonique libre (CO_2 libre) par titrage acido-basique à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH). Le CO_2 libre présent dans l'eau est neutralisé par la soude jusqu'au point d'équivalence, permettant ainsi de quantifier sa concentration.

Matériel et Réactifs : Burette de laboratoire ; solution standardisée d'hydroxyde de sodium (NaOH) ; indicateur phénolphtaléine ; Erlenmeyer ; pipette jaugée.

Mode Opératoire et Résultats : On prélève un volume connu de l'échantillon dans un Erlenmeyer, puis on ajoute quelques gouttes de phénolphtaléine. L'échantillon est ensuite titré par la solution d'hydroxyde de sodium sous agitation continue jusqu'à l'apparition d'une légère coloration rose persistante, indiquant la fin du titrage. Le volume de NaOH consommé est noté (V) et permet de calculer la concentration en gaz carbonique libre selon la formule :

CO_2 Libre (mg/L)= V × 10 × Fc

Où V est le volume de NaOH utilisé (mL) et Fc le facteur de correction de la solution titrante. Les résultats sont exprimés en mg/L CO_2 Libre [12].

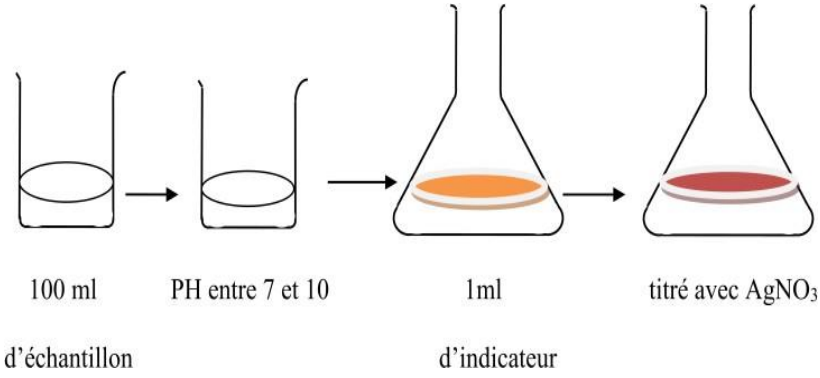


Figure III.5 : Fluxogramme de l'analyse de CO_2

e) Dosage du Chlore Résiduel Libre

Principe : Colorimétrie à la DPD (N,N-diéthyl-p-phénylènediamine) où le chlore libre oxyde le réactif pour former un composé rose proportionnel à sa concentration.

Matériel et Réactifs : Spectrophotomètre de paillasse ; sachets ou pastilles de réactif DPD.

Mode Opératoire : On réalise le blanc optique avec l'échantillon brut, puis on ajoute le réactif DPD à un second volume. Après agitation, on mesure immédiatement l'absorbance au spectrophotomètre. Le résultat est exprimé en mg/L Cl_2 [12].

f) Dosage de l'Ammonium (NH_4^+)

Principe : Spectrophotométrie UV-Visible basée sur le développement d'un complexe coloré dont l'absorbance est mesurée à une longueur d'onde spécifique.

Matériel et Réactifs : Spectrophotomètre UV-Visible ; réactifs de Nessler ou au salicylate de sodium.

Mode Opératoire : On additionne les réactifs à la prise d'essai, on observe un temps de repos à l'obscurité pour stabiliser la coloration, puis on mesure l'absorbance par rapport à un blanc d'eau distillée. La concentration est déduite via une courbe d'étalonnage (mg/L) [12].

g) Dosage des Nitrites (NO_2^-)

Principe : Formation d'un sel de diazonium en milieu acide suivi d'un couplage avec le NED pour former un complexe azoïque rose-pourpre.

Matériel et Réactifs : Spectrophotomètre ; solution réactive de sulfanilamide et de NED.

Mode Opératoire et Résultats : On traite l'échantillon avec le réactif de coloration, puis on mesure l'absorbance à la longueur d'onde maximale. La concentration est déterminée graphiquement en mg/L [12].

h) Dosage des Nitrates (NO_3^-)

Principe : Réduction préalable des nitrates en nitrites suivie d'un dosage spectrophotométrique colorimétrique.

Matériel et Réactifs : Spectrophotomètre UV-Visible ; kits de réactifs spécifiques à la réduction et à la coloration [12].



Figure III.6 : Spectrophotomètre

Mode Opératoire : L'échantillon subit un traitement réducteur chimique ou thermique. Dès l'apparition de la couleur, on mesure l'absorbance pour déduire graphiquement la teneur en mg/L [12].

i) Dosage des Orthophosphates

Principe : Réaction des orthophosphates avec le molybdate d'ammonium en milieu acide, formant un complexe phosphomolybdique réduit en bleu intense par l'acide ascorbique.

Matériel et Réactifs : Spectrophotomètre ; solution combinée contenant du molybdate d'ammonium.

Mode Opératoire et Résultats : On mélange les réactifs à l'échantillon, on attend le développement complet de la coloration bleue, puis on effectue la lecture spectrophotométrique pour obtenir le résultat en mg/L [12].

j) Détermination de l'Oxygène Dissous

Principe : Méthode chimique volumétrique (méthode de Winkler) basée sur la fixation de l'oxygène par un précipité d'hydroxyde de manganèse, puis sur sa libération sous forme d'iode dosé par un agent réducteur.

Matériel et Réactifs : Burette graduée et verrerie classique (flacons étanches de Winkler, Erlenmeyers) ; sulfate de manganèse, iodure alcalin, acide sulfurique et solution titrée de thiosulfate de sodium.

Mode Opératoire et Résultats : L'échantillon est fixé immédiatement sur site. Après acidification au laboratoire, on titre un volume précis à la burette avec le thiosulfate de sodium en présence d'un indicateur d'amidon jusqu'au virage complet. Le résultat est calculé d'après le volume équivalent (mg/L) [12].

k) Dosage du Calcium (Ca^{2+}) et du Magnésium (Mg^{2+})

Principe : Titrage complexométrique où l'EDTA forme des complexes stables avec les cations divalents, marqué par le virage d'un indicateur coloré.

Matériel et Réactifs : Burette graduée, erlenmeyers, pipettes ; solution d'EDTA titrée, solutions tampons de pH, Noir d'Éricochrome T (NET) et murexide.

Mode Opératoire et Résultats : Pour le Ca^{2+}, on opère à pH très alcalin (précipitation du Mg^{2+}) avec de la murexide. Pour le cumul (Ca^{2+}+ Mg^{2+}), on opère à pH 10 avec le NET. On titre à l'EDTA jusqu'au virage net. Les volumes versés permettent de calculer les concentrations en mg/L [12].

l) Détermination de la Dureté Totale (TH)

Principe : Détermination de la somme des ions calcium et magnésium par complexométrie à l'EDTA à un pH ajusté à 10.

Matériel et Réactifs : Burette de laboratoire ; solution standardisée d'EDTA, tampon pH 10 et indicateur NET.

Mode Opératoire et Résultats : On prélève l'échantillon, ajoute le tampon pH 10 et le NET, puis on titre pas à pas jusqu'au virage du violet-rouge au bleu franc. La dureté est calculée et exprimée en mg/L équivalent $CaCO_3$ [12].

m) Dosage des Chlorures (Cl^-)

Principe : Méthode argentométrique de Mohr où les chlorures précipitent avec le nitrate d'argent sous forme d'AgCl blanc, l'excès d'ions Ag^+ réagissant ensuite avec le chromate de potassium pour indiquer la fin de réaction.

Matériel et Réactifs : Burette graduée ; solutions titrées de nitrate d'argent ($AgNO_3$) et de chromate de potassium (K_2CrO_4) [12].

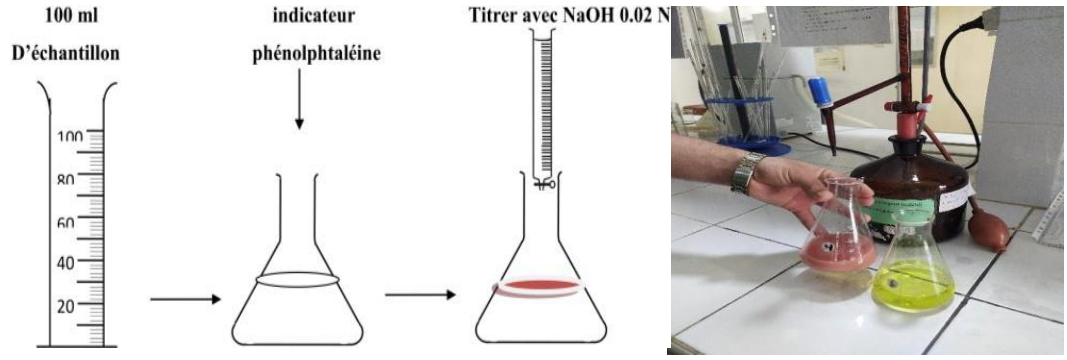


Figure III.7 : Fluxogramme de l'analyse de chlorures

Mode Opératoire et Résultats : On ajoute quelques gouttes de K_2CrO_4. Dans l'échantillon, puis on titre sous agitation constante jusqu'à l'apparition persistante d'une teinte rouge-brique. La concentration est calculée et exprimée en mg/L [12].

n) Dosage des Sulfates (SO_4^{2-})

Principe : Turbidimétrie basée sur la précipitation des sulfates par le chlorure de baryum ($BaCl_2$) en milieu chlorhydrique, formant des cristaux turbides de $BaSO_4$.

Matériel et Réactifs : Spectrophotomètre ; cristaux ou solution de $BaCl_2$.

Mode Opératoire et Résultats : On traite l'échantillon avec le $BaCl_2$ de façon standardisée. Après un temps de sédimentation contrôlé, on mesure la turbidité au spectrophotomètre et on déduit la concentration via une courbe d'étalonnage (mg/L) [12].

o) Détermination du Titre Alcalimétrique (TA)

Principe : Détermination du titre alcalimétrique (TA) par dosage acido-basique des hydroxydes et de la moitié des carbonates présents dans l'eau à l'aide d'une solution d'acide fort jusqu'au point d'équivalence correspondant au virage de la phénolphtaléine.

Matériel et Réactifs : Burette de laboratoire ; solution standardisée d'acide sulfurique (H_2SO_4) ou d'acide chlorhydrique (HCl) ; phénolphtaléine ; erlenmeyer ; pipette jaugée.

Mode Opératoire et Résultats : On prélève un volume connu de l'échantillon dans un erlenmeyer, puis on ajoute quelques gouttes de phénolphtaléine. Si une coloration rose apparaît, on effectue le titrage par la solution acide jusqu'à disparition complète de la couleur rose (virage à l'incolore). Le volume d'acide consommé est noté et permet de calculer le titre alcalimétrique (TA), exprimé en mg/L équivalent $CaCO_3$ ou en degrés français (°F) [12].

p) Détermination du Titre Alcalimétrique Complet (TAC)

Principe : Détermination de l'alcalinité totale (TAC) par dosage acido-basique des ions hydroxydes, carbonates et bicarbonates présents dans l'eau à l'aide d'une solution d'acide fort jusqu'au point d'équivalence correspondant au virage du méthylorange.

Matériel et Réactifs : Burette de laboratoire ; solution standardisée d'acide sulfurique (H_2SO_4) ou d'acide chlorhydrique (HCl) ; méthylorange (ou mélange indicateur vert de bromocrésol/rouge de méthyle) ; erlenmeyer ; pipette jaugée.

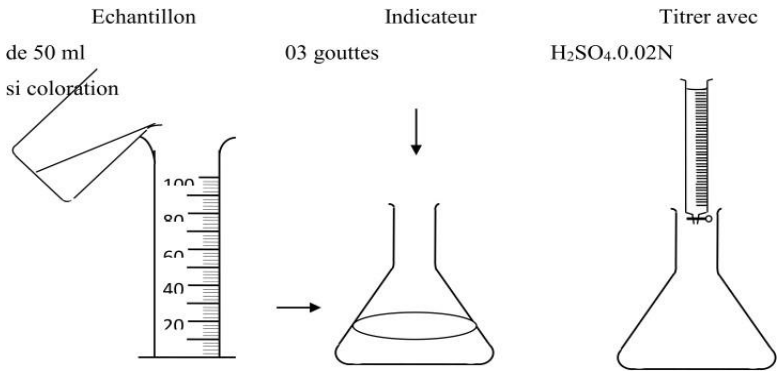


Figure III.8 : Fluxogramme de l'analyse de l'alcalinité

Mode Opératoire et Résultats : On prélève un volume connu de l'échantillon dans un Erlenmeyer, puis on ajoute quelques gouttes de méthylorange. L'échantillon est ensuite titré progressivement par la solution acide jusqu'au virage de la couleur jaune au jaune-orangé (ou orangé selon l'indicateur utilisé). Le volume d'acide consommé est noté et permet de calculer l'alcalinité totale (TAC), exprimée en mg/L équivalent $CaCO_3$ ou en degrés français (°F) [12].

q) Dureté Totale

Principe : Détermination de la dureté totale de l'eau par dosage complexométrique des ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}) à l'aide d'une solution d'EDTA en milieu tamponné à pH 10. L'EDTA forme des complexes stables avec ces ions, permettant ainsi l'évaluation du titre hydrotimétrique de l'eau.

Matériel et Réactifs : Burette de laboratoire ; solution d'EDTA N/50 ; solution tampon à pH 10 ; indicateur Noir Ériochrome T (NET) ; Erlenmeyer ; pipette jaugée.

Mode Opératoire et Résultats : On prélève 10 mL d'eau à analyser dans un Erlenmeyer. On ajoute ensuite 10 mL de solution tampon à pH 10 ainsi que quelques milligrammes d'indicateur

NET. La burette est remplie avec la solution d'EDTA N/50, puis le titrage est effectué jusqu'au virage de la couleur rouge-violet au bleu franc. Le volume d'EDTA consommé à l'équivalence est noté (V, en mL) et permet de calculer la dureté totale de l'échantillon. Les résultats sont exprimés en mg/L équivalent $CaCO_3$ ou en degrés français (°F) [12].

4. Essai de Jar-test

Principe

La détermination de la dose optimale de coagulant est réalisée par voie expérimentale au moyen de l'essai de floculation en vases communicants, communément désigné « Jar-test ». Cette méthode consiste à soumettre une série d'échantillons identiques d'eau brute à des concentrations croissantes de réactif coagulant. À la suite des phases successives d'agitation et de décantation, diverses analyses physico-chimiques sont effectuées sur le surnageant afin d'évaluer l'efficacité du traitement. La dose optimale (ou « optimum de floculation ») est définie comme la concentration minimale de réactif permettant d'atteindre les objectifs de qualité requis, en fonction des caractéristiques de la matrice hydrique étudiée.

Matériel

Le dispositif expérimental requis pour la réalisation de cet essai se compose des éléments suivants :

- **Floculateur de laboratoire (Jar-test) :** Équipé de six agitateurs munis d'hélices, entraînés par un moteur électrique central à vitesse de rotation variable.
- **Récipients d'analyse :** Six béchers en verre borosilicaté d'une capacité nominale de 1 litre chacun.

Réactifs

Les solutions de traitement préparées pour l'expérimentation incluent :

- **Solution de coagulant :** Sulfate d'alumine hydraté, de formule chimique $\mathbf{Al_2(SO_4)_3 \cdot 18\ H_2O}$.
- **Solution de floculant (adjuvant de coagulation) :** Alginate de sodium ou poly-électrolyte synthétique, préparé à une concentration résiduelle de **1 g/L**.



Figure III.9 : Appareil de jar-test.

Mode Opératoire

Dans chacun des six béchers, introduire un volume précis de 1 litre d'échantillon d'eau brute préalablement homogénéisé, puis positionner les récipients sous les arbres d'agitation du floculateur. Le protocole séquentiel se déroule comme suit :

Tableau III.1 : protocole séquentiel de l'essai de Jar-test

Phase / Action	**Paramètres Opératoires**	**Description / Observations**
Mise en régime	Vitesse : ~120 tr/min	Initialisation de l'agitation mécanique pour assurer l'homogénéisation du milieu.
Pré-oxydation et Coagulation	Vitesse : ~120 tr/min Durée : 2 minutes	Injection simultanée du chlore (agent oxydant) et des doses croissantes de sulfate d'alumine dans les béchers respectifs. Cette phase d'agitation rapide favorise la déstabilisation colloïdale (coagulation).
Floculation (Agitation lente)	Vitesse : 40 tr/min Durée : 40 minutes	Introduction d'une dose constante de floculant (**0,1 mg/ L**) au début de cette phase. La réduction de la vitesse permet la croissance et l'agglomération des microflocs. Les caractéristiques macroscopiques (apparition, cinétique et aspect des flocs) doivent être consignées dès le début de cette période.
Décantation	Vitesse : 0 tr/min	Arrêt complet de l'agitation mécanique. Une estimation visuelle de la vitesse de sédimentation est effectuée dès l'initiation de cette phase stationnaire.

Analyses Post-Traitement et Évaluation

À l'issue de la période de décantation, des prélèvements du liquide surnageant sont effectués dans chaque bécher afin de caractériser l'efficacité de la clarification. Les paramètres suivants sont mesurés rigoureusement :

- Le potentiel hydrogène (pH), la turbidité résiduelle, l'oxydabilité au permanganate de potassium et la concentration en chlore résiduel.
- Une fraction du surnageant est ensuite soumise à une filtration sur papier filtre « bande blanche » (dont les performances de rétention sont analogues à celles d'un filtre à sable de laboratoire) afin d'en déterminer la turbidité finale et l'alcalinité (titre alcalimétrique complet - TAC).

5. Analyses Bactériologiques

Dans les écosystèmes aquatiques, les microorganismes, notamment les bactéries et les moisissures, exercent une influence déterminante sur la dynamique et l'évolution de la qualité des eaux. Les analyses bactériologiques ont pour objectif fondamental de mettre en évidence et de quantifier la présence de communautés bactériennes susceptibles d'altérer l'aptitude d'une ressource hydrique à un usage donné.

Conformément à la méthodologie standardisée appliquée pour les analyses physicochimiques, les protocoles opératoires des paramètres bactériologiques sont structurés et synthétisés ci-dessous de manière systématique (Principe, Réactifs, Mode opératoire, Incubation et Interprétation des résultats).

Tableaux III.2 à 5 : Différents protocoles d'analyses des paramètres bactériologiques

Paramètre Analysé	Protocole Expérimental
5.1. Germes Totaux (GT) Évaluation de la charge microbienne globale et de l'efficacité du traitement de désinfection.	• **Principe :** Dénombrement des microorganismes aérobies hétérotrophes revivifiables par incorporation en masse dans un milieu nutritif non sélectif. • **Mode opératoire :** ◦ Introduire stérilement 20 gouttes (provenant de l'échantillon d'eau à analyser) au centre d'une boîte de Petri vide et préalablement stérilisée. ◦ Couler immédiatement un volume d'environ 19 ml de gélose TGEA en surfusion. ◦ Homogénéiser l'inoculum par des mouvements circulaires et oscillatoires réguliers imprimés à la boîte en forme de « 8 ». ◦ Laisser le milieu se solidifier complètement sur une paillasse plane et horizontale. • **Incubation :** Retourner les boîtes et incuber à l'étuve régulée à **37 °C pendant 24 à 48 heures**. • **Lecture & Interprétation :** Compter la totalité des colonies lenticulaires développées en masse ou en surface. Le résultat est converti et exprimé en Unités Formant Colonie par millilitre de sédiment ou d'eau (**UFC/ml**).

Paramètre Analysé	Protocole Expérimental
5.2. Coliformes Totaux (CT) & Fécaux (CF) Indicateurs d'efficacité de traitement (CT) et de contamination fécale d'origine humaine ou animale (CF / E. coli).	• **Principe :** Rétention des cellules bactériennes par filtration de l'échantillon sur une membrane poreuse, suivie d'une culture sur un milieu sélectif et différentiel contenant un indicateur coloré. • **Mode opératoire :** ◦ **Filtration :** Verser de manière aseptique 100 ml de l'eau à analyser dans l'entonnoir stérile du système de filtration. Actionner la rampe à vide pour faire traverser l'échantillon. ◦ **Coliformes Totaux :** Retirer la membrane à l'aide d'une pince stérile et la déposer délicatement, face active vers le haut, sur le milieu gélosé TTC Tergitol en boîte de Petri. ◦ **Coliformes Fécaux :** Transférer similairement la membrane filtrante sur son milieu spécifique, ou repiquer les colonies suspectes de la membrane dans le milieu sélectif de Schubert. • **Incubation :** ◦ **Coliformes totaux :** Incubation à l'étuve à **37 °C pendant 24 heures**. ◦ **Coliformes fécaux (Escherichia coli) :** Incubation à température sélective à **44 °C pendant 24 heures**. • **Lecture & Interprétation :** ◦ À 37 °C, les coliformes totaux et fécaux apparaissent sous forme de petites colonies caractéristiques de couleur jaune ou orangée. ◦ À 44 °C, l'apparition d'un anneau rouge autour de la colonie ou dans le milieu de Schubert confirme spécifiquement la présence d'Escherichia Coli. Effectuer le dénombrement final.

Paramètre Analysé	Protocole Expérimental
5.3. Streptocoques Fécaux (SF) Indicateurs rigoureux de contamination fécale, caractérisés par une persistance élevée dans les milieux aquatiques.	• **Principe :** Isolement et dénombrement par filtration sur membrane de porosité fine, suivie d'une culture sur milieu sélectif contenant de l'acide de sodium (inhibiteur de la flore d'accompagnement). • **Mode opératoire :** ◦ Stériliser l'ensemble de l'entonnoir de filtration à la flamme d'un bec Bunsen, puis assurer son refroidissement à l'aide d'eau distillée stérile ou de l'eau à analyser. ◦ Insérer aseptiquement une membrane de 0,45 µm sur le support poreux à l'aide d'une pince stérile et verrouiller l'entonnoir avec la pince de serrage. ◦ Introduire un volume de 50 ml de l'échantillon d'eau et appliquer le vide. ◦ Après passage du fluide, extraire stérilement la membrane et la déposer rigoureusement sur la gélose Slanetz et Bartley. • **Incubation :** Placer les boîtes en étuve thermostatisée à **37 °C pendant 48 heures**. ◦ **Lecture & Interprétation :** Les colonies de streptocoques fécaux se développent sous la forme de petites colonies lisses, légèrement bombées, de coloration rouge, marron ou rose. Procéder au comptage direct des colonies visibles.

Paramètre Analysé	Protocole Expérimental
5.4. Anaérobies Sulfito-Réducteurs (ASR) Indicateurs de pollutions lointaines, anciennes ou intermittentes, sous forme de spores hautement résistantes.	• **Principe :** Élimination de la flore végétative par choc thermique, suivie d'une numération en masse en milieu profond (anaérobiose) basée sur la précipitation du fer en présence de sulfures produits. • **Mode opératoire :** ◦ Transférer un volume de 25 ml de l'échantillon d'eau dans un tube stérile. ◦ Séquence de pasteurisation (Choc thermique) : Immerger le tube au bain-marie à **80 °C pendant 10 minutes** pour détruire les formes végétatives et n'activer que les spores. ◦ Refroidir instantanément le tube sous un flux d'eau courante. ◦ Répartir le volume traité de manière homogène dans 4 tubes stériles vides (soit 5 ml par tube). ◦ Ajouter environ 20 ml de gélose Viande-Foie préalablement fondue et stabilisée en surfusion à 45 ± 1 °C. L'incorporation doit s'effectuer profondément pour limiter l'intégration d'air. ◦ Mélanger avec précaution par retournements successifs lents pour éviter les bulles d'air et préserver l'anaérobiose. Laisser solidifier 30 minutes sur paillasse. • **Incubation :** Incuber les tubes à l'étuve à **37 °C pendant 24 à 48 heures**. • **Lecture & Interprétation :** Dénombrer l'ensemble des colonies noires (d'un diamètre minimal de 0,5 mm) développées en profondeur dans la masse du milieu (réduction du sulfite en sulfure précipitant avec le fer). Le cumul des comptages des 4 tubes permet de déterminer la concentration totale en ASR dans les 20 ml effectifs d'échantillon.

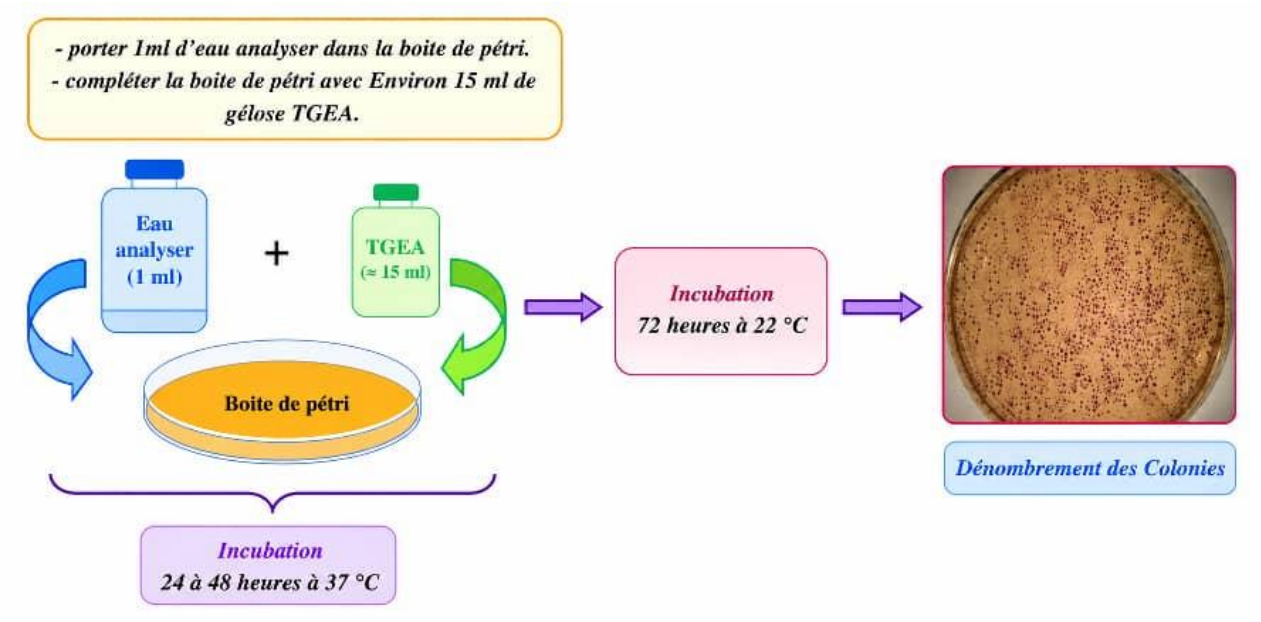


Figure III.10: Recherche et dénombrement des germes totaux dans l'eau potable.

6. Conclusion

En somme, ce chapitre a permis d'exposer de manière exhaustive l'ensemble des méthodes de dosage et des équipements analytiques mobilisés pour le suivi de la qualité de l'eau. La rigueur appliquée dans le choix des protocoles, allant des mesures directes sur site aux analyses volumétriques et spectrophotométriques approfondies au laboratoire, garantit la fiabilité et la reproductibilité de nos données expérimentales. Ces outils et démarches méthodologiques constituent le socle indispensable sur lequel s'appuiera l'interprétation des résultats physico-chimiques dans le chapitre suivant.

CHAPITRE IV : RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation et à la discussion des résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques de l'eau brute et de l'eau traitée au niveau de trois infrastructures clés interconnectées : la station de Koudiet Lamdaouar située dans la wilaya de Batna, ainsi que les stations de Babar et de Tagharist, situées dans la wilaya de Khenchela. L'étude repose sur l'analyse de 24 échantillons prélevés au cours du mois d'avril 2026, selon une fréquence régulière permettant de suivre la qualité des eaux durant cette période. Afin d'assurer la fiabilité et la reproductibilité des résultats, chaque analyse a été réalisée en trois répétitions expérimentales. Les résultats obtenus sont comparés aux normes algériennes et aux recommandations de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), afin d'évaluer l'efficacité du traitement appliqué et la conformité de l'eau destinée à la consommation humaine.

2. Analyse et Discussion des Paramètres par Station

Les analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux brutes et traitées des barrages de Koudiet Lamdaouar, Babar et Tagharist montrent une qualité d'eau globalement satisfaisante. Des différences ont été observées entre les trois stations pour certains paramètres physiques, chimiques et bactériologiques, traduisant l'influence des conditions locales. Les résultats présentés dans les tableaux ci-dessous permettent d'évaluer l'état des ressources en eau de la région de Khenchela et leur aptitude à l'alimentation en eau potable.

a. Station de Koudiet Lamdaouar

Tableau IV.1 : Paramètres Physiques - Station de K. Lamdaouar

Paramètre	**Unité**	**Eau brute**	**Eau traitée**	**Normes Algérienne**	**Normes de l'OMS**	**Conformité / Remarque**
Couleur	UCV	/	/	≤ 15	≤15	Conforme (Traitée.)
Odeur à 25°C	Taux de dilution	20	04	≤ 4	≤ 2–4	Conforme (Traitée)
Saveur à 25°C	Taux de dilution	/	04	≤ 4 (Traitée)	≤ 4	Conforme (Traitée)
Turbidité	NTU	/	1.2	≤ 5	≤ 5	Conforme

Paramètre	Unité	Eau brute	Eau traitée	Normes Algérienne	Normes de l'OMS	Conformité / Remarque
Conductivité	µS/cm	1073	1250	≤ 2800	≤ 1400–2800	Conforme
Température	°C	16.3	14.7	≤ 25	≤ 25	Conforme
TDS / Salinité	mg/L	443	766	≤1500	< 500-1500	Conforme (Faible minéralisation)
Résidu sec à 180°C	mg/L	953	766	≤1500	≤ 2000	Conforme

Tableau IV.2 : Paramètres Chimiques - Station de K. Lamdaouar

Paramètre	Unité	Eau brute	Eau traitée	Normes Algérienne	Normes de l'OMS	Conformité / Remarque
pH	/	8.27	7.8	6.5 – 8.5	6,5–8,5	Conforme
Chlore résiduel libre	mg/L	/	1.05	> 0.1	0,2–0,5	Conforme (Désinfection efficace)
Oxygène dissous	mg/L	9.34	9.34	≥5	≥5	Excellente oxygénation
Ammonium (NH_4^+)	mg/L	0.155	0	0.5	≤0,5	Conforme (Élimination totale)
Nitrites (NO_2^-)	mg/L	0.04	0	0.2	≤0,2	Conforme
Nitrates (NO_3^-)	mg/L	6.44	6.42	≤ 50	≤50	Conforme

Paramètre	Unité	Eau brute	Eau traitée	Normes Algérienne	Normes de l'OMS	Conformité / Remarque
Oxydabilité	mg/L	3.52	1.58	5	≤5	Conforme (Réduction de la matière organique)
Calcium (Ca^{2+})	mg/l	117.04	112.22	200	≤200	Conforme
Magnésium (Mg^{2+})	mg/l	34.99	42.8	≤150	≤150	Conforme
Dureté totale (TH)	mg/l $CaCO_3$	444	456	≤ 500	≤500	Conforme (Eau moyennement dure)
Sodium (Na^{+})	mg/l	44.3	42	200	≤200	Conforme
Potassium (K^{+})	mg/l	/	/	12	≤12	Conforme
Chlorures (Cl^{-})	mg/l	43.38	155.57	500	≤250	Conforme (Augmentation post-traitement)
Sulfates (SO_4^{2-})	mg/l	390	243	200	≤250	Conforme
Bicarbonates (HCO_3^{-})	mg/l	115.9	137.66	/	≤500	Conforme
Titre Alcalimétrique Complet (TAC)	mg/l $CaCO_3$	99	113	≤200	≤200	Tampon de l'eau stable
Fer	mg/l	/	ND	0.3	≤0,3	Conforme

Paramètre	Unité	Eau brute	Eau traitée	Normes Algérienne	Normes de l'OMS	Conformité / Remarque
Manganèse	mg/l	/	ND	0.05	≤0,1	Conforme
Aluminium	mg/l	/	0.067	0.3	≤0,2	Légèrement au-dessus de la norme

Tableau IV.3 : Paramètres Bactériologiques - Station de K. Lamdaouar

Paramètre	Unité	Eau brute	Eau traitée	Norme Algérienne	Normes de l'OMS	Conformité / Remarque
Coliformes totaux	/100ml	460 (NPP)	ABS	0 UFC/100	0 UFC/100	Excellente élimination (Conforme)
Escherichia coli	/100ml	93 (NPP)	ABS	0 UFC/100	0 UFC/100	Excellente élimination (Conforme)
Entérocoques	/100ml	03	ABS	0 UFC/100	0 UFC/100	Excellente élimination (Conforme)
Bactéries sulfito-réductrices	/100ml	/	ABS	0 UFC/20	0 UFC/20	Conforme

Interprétation

Les résultats obtenus pour la station de Koudiet Lamdaouar mettent en évidence une eau brute fortement influencée par les conditions environnementales du bassin versant. La présence de coliformes totaux, d'Escherichia Coli et d'entérocoques dans l'eau brute témoigne d'une contamination fécale récente probablement liée au ruissellement des eaux pluviales, aux activités agricoles ou à la présence d'animaux à proximité de la retenue du barrage.

La diminution du pH après traitement peut être attribuée à l'utilisation du sulfate d'alumine lors des étapes de coagulation-floculation. En effet, l'hydrolyse de ce coagulant libère des ions H^+ qui tendent à acidifier légèrement le milieu, tout en maintenant le pH dans la plage optimale pour la potabilisation.

L'augmentation de la conductivité après traitement reflète vraisemblablement l'apport d'ions issus des réactifs de traitement, notamment les sels d'aluminium et les produits de chloration. Cette augmentation reste toutefois limitée et n'altère pas la qualité globale de l'eau.

L'élimination totale de l'ammonium et des nitrites constitue un indicateur important de performance. Ces composés sont généralement associés à une pollution azotée récente. Leur disparition suggère l'efficacité des phénomènes d'oxydation chimique et de rétention particulaire au cours du traitement.

La réduction significative des sulfates peut résulter d'un phénomène de coprécipitation avec les hydroxydes métalliques formés lors de la coagulation. Cette diminution traduit également une bonne capacité du procédé à éliminer une partie des espèces dissoutes associées aux matières colloïdales.

La forte teneur en calcium, magnésium et dureté totale traduit la nature géologique du bassin versant. La circulation de l'eau au contact des formations carbonatées favorise la dissolution des calcaires et des dolomies, enrichissant l'eau en ions Ca^{2+} et Mg^{2+}. Cette caractéristique est typique des eaux superficielles alimentées par des terrains carbonatés du Nord-Est algérien.

L'absence totale de germes indicateurs après traitement confirme que la chaîne de désinfection constitue une barrière sanitaire efficace. Le maintien d'un chlore résiduel supérieur au seuil minimal garantit également la protection de l'eau au cours du transport et de la distribution

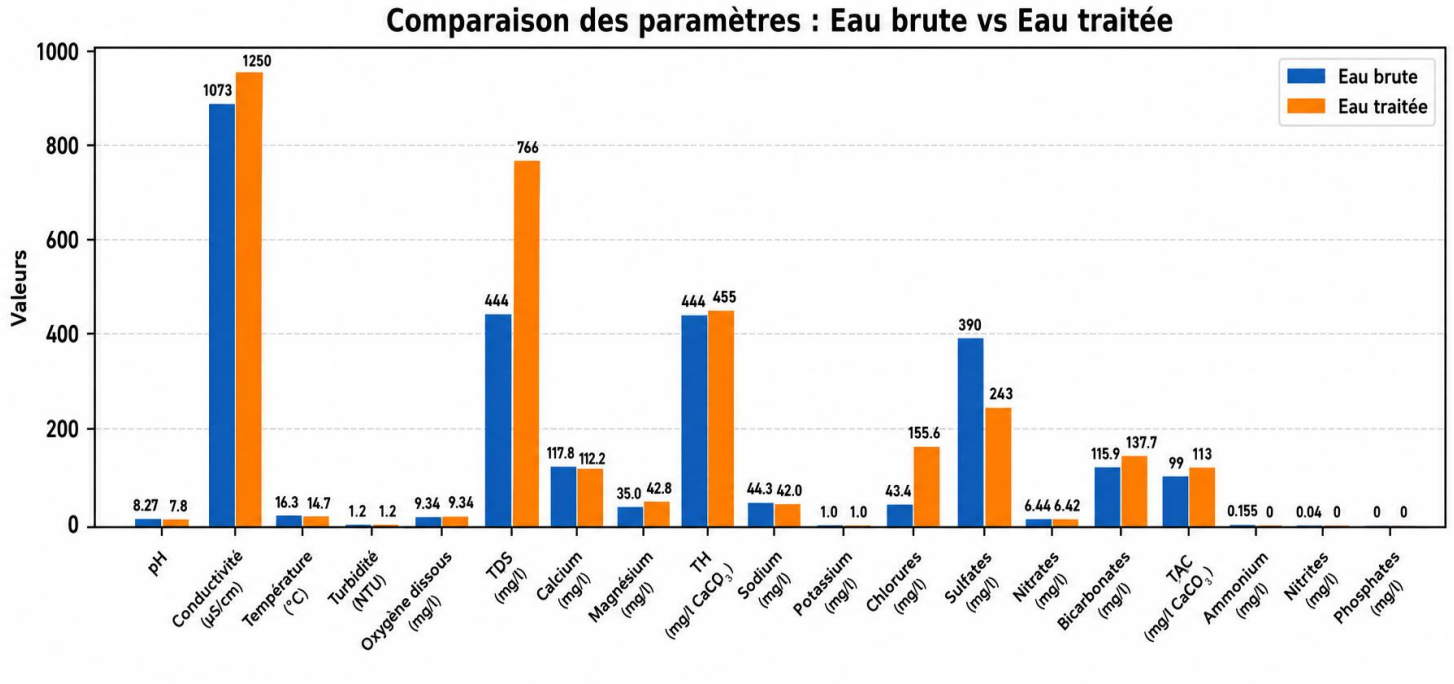


Figure IV.1 : Comparaison des paramètres : eau brute vs eau traitée (Station K. Lamdaour)

Synthèse pour cette station

Les résultats issus du suivi de la station de K. Lamdaouar démontrent une efficacité globalement satisfaisante de sa chaîne de traitement, assurant une élimination probante de la turbidité et une excellente maîtrise de la désinfection bactériologique. Néanmoins, l'analyse des paramètres chimiques révèle de manière récurrente une dureté de l'eau (titre hydrotimétrique) relativement élevée, flirtant parfois avec les seuils supérieurs recommandés par les directives sanitaires. Bien que cette forte minéralisation ne présente pas de danger direct pour la santé humaine, elle engendre à long terme des désagréments techniques (entartrage des canalisations et des équipements) et altère les qualités organoleptiques (goût) de l'eau distribuée.

b. Station de Babar

La station de Babar présente un profil initial distinct, caractérisé par une qualité bactériologique brute nettement supérieure mais une charge minérale plus contraignante.

Tableau IV.4 : Paramètres Physiques - Station de Babar

Paramètre	**Unité**	**Eau brute**	**Eau traitée**	**Normes Algérienne**	**Normes de l'OMS**	**Conformité / Remarque**
Couleur	/	/	/	≤ 15	≤15	Conforme d'après note
Odeur à 22°C	Tdilut	/	/	≤ 4	≤ 2–4	Conforme
Saveur à 22°C	Tdilut	/	/	≤ 4	≤ 4	Conforme
Turbidité	NTU	6.76	1.50	≤ 5	≤ 5	Conforme (Forte réduction par filtration)
Conductivité	µS/cm	874	909	≤ 2800	≤ 1400–2800	Conforme
Température	°C	15.7	15.7	≤ 25	≤ 25	Conforme

Paramètre	Unité	Eau brute	Eau traitée	Normes Algérienne	Normes de l'OMS	Conformité / Remarque
TDS / Salinité	mg/l	429	446	≤1500	< 500-1500	Faible minéralisation
Résidus secs	mg/l	13	/	≤1500	≤ 2000	Conforme

Tableau IV.5 : Paramètres Chimiques - Station de Babar

Paramètre	Unité	Eau brute	Eau traitée	Normes Algérienne	Normes de l'OMS	Conformité / Remarque
pH	/	8.18	8.18	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5	Conforme
Chlore résiduel libre	mg/l	/	1.1	0,2–0,5	0,2–0,5	Légèrement au-dessus de la norme
Oxygène dissous	mg/l	6.64	/	≥5	≥5	Normal
Ammonium (NH_4^+)	mg/l	0.031	0.031	≤0,5	≤0,5	Conforme
Nitrates (NO_3^-)	mg/l	1.86	1.21	≤ 50	≤50	Conforme
Phosphore (P)	mg/l	<0.031	<0.031	0.5	1	Conforme
Oxydabilité / Mat. Organiques	mg/l	0.35	2.48	≤5	≤5	Conforme
Calcium (Ca^{2+})	mg/l	1250.4	224.07	≤200	≤200	Légèrement au-dessus de la norme
Magnésium (Mg^{2+})	mg/l	58.32	156	≤150	≤150	Légèrement au-dessus de la norme

Paramètre	Unité	Eau brute	Eau traitée	Normes Algérienne	Normes de l'OMS	Conformité / Remarque
Dureté totale (TH)	mg/l $CaCO_3$	552	552	≤ 550	≤500	Légèrement au-dessus (Eau dure)
Sodium (Na^+)	mg/l	55.6	/	/		-
Potassium (K^+)	mg/l	5.3	/	/		-
Chlorures (Cl^-)	mg/l	92.3	/	320	≤250	Au-dessus de la norme
Sulfates (SO_4^{2-})	mg/l	22.39	/	400	≤250	Au-dessus de la norme
Bicarbonates (HCO_3^-)	mg/l	106.14	/	/	≤500	-
Titre Alcalimétrique Complet (TAC)	mg/l $CaCO_3$	87	87	≤200	≤200	Stable

Tableau IV.6 : Paramètres Bactériologiques - Station de Babar

Paramètre	Unité	Eau brute	Eau traitée	Normes Algérienne	Normes de l'OMS	Conformité / Remarque
Coliformes totaux	/100ml	Absence	Absence	0 UFC/100	0 UFC/100	Conforme
Escherichia coli	/100ml	Absence	Absence	0 UFC/100	0 UFC/100	Conforme
Entérocoques	/100ml	Absence	Absence	0 UFC/100	0 UFC/100	Conforme

Interprétation

La station de Babar présente un profil hydrochimique différent de celui observé à Koudiet Lamdaouar. L'absence de contamination bactérienne dans l'eau brute traduit une meilleure protection du bassin versant ou une pression anthropique moins importante sur la retenue.

La turbidité relativement élevée observée dans l'eau brute indique néanmoins un apport notable de particules minérales en suspension. Cette situation est probablement liée aux phénomènes d'érosion des sols et au transport de sédiments lors des épisodes pluvieux. La réduction de la turbidité après traitement démontre la bonne efficacité des opérations de coagulation, floculation, décantation et filtration.

La stabilité du pH avant et après traitement révèle une bonne capacité tampon de l'eau, assurée principalement par les bicarbonates présents dans le milieu. Cette stabilité est favorable au maintien de l'efficacité de la désinfection chlorée.

Les faibles concentrations en nitrates, ammonium et phosphore témoignent d'une faible influence des rejets agricoles ou domestiques sur la qualité de la ressource. L'absence d'accumulation de composés azotés indique que le bassin versant est relativement préservé des pollutions diffuses.

Le principal élément caractéristique de cette station est la dureté très élevée de l'eau. Cette dernière est directement liée aux concentrations importantes en calcium et magnésium. D'un point de vue géochimique, cette situation reflète une forte interaction entre l'eau et les roches carbonatées du bassin hydrologique.

Le maintien de cette dureté après traitement confirme que les procédés conventionnels de potabilisation ne sont pas conçus pour éliminer les sels dissous responsables de la minéralisation. Les étapes mises en œuvre visent essentiellement la clarification et la désinfection, sans action significative sur les équilibres ioniques.

Bien que cette dureté ne représente pas un risque sanitaire direct, elle peut engendrer des dépôts calcaires dans les canalisations, diminuer le rendement thermique des équipements domestiques et affecter l'acceptabilité organoleptique de l'eau.

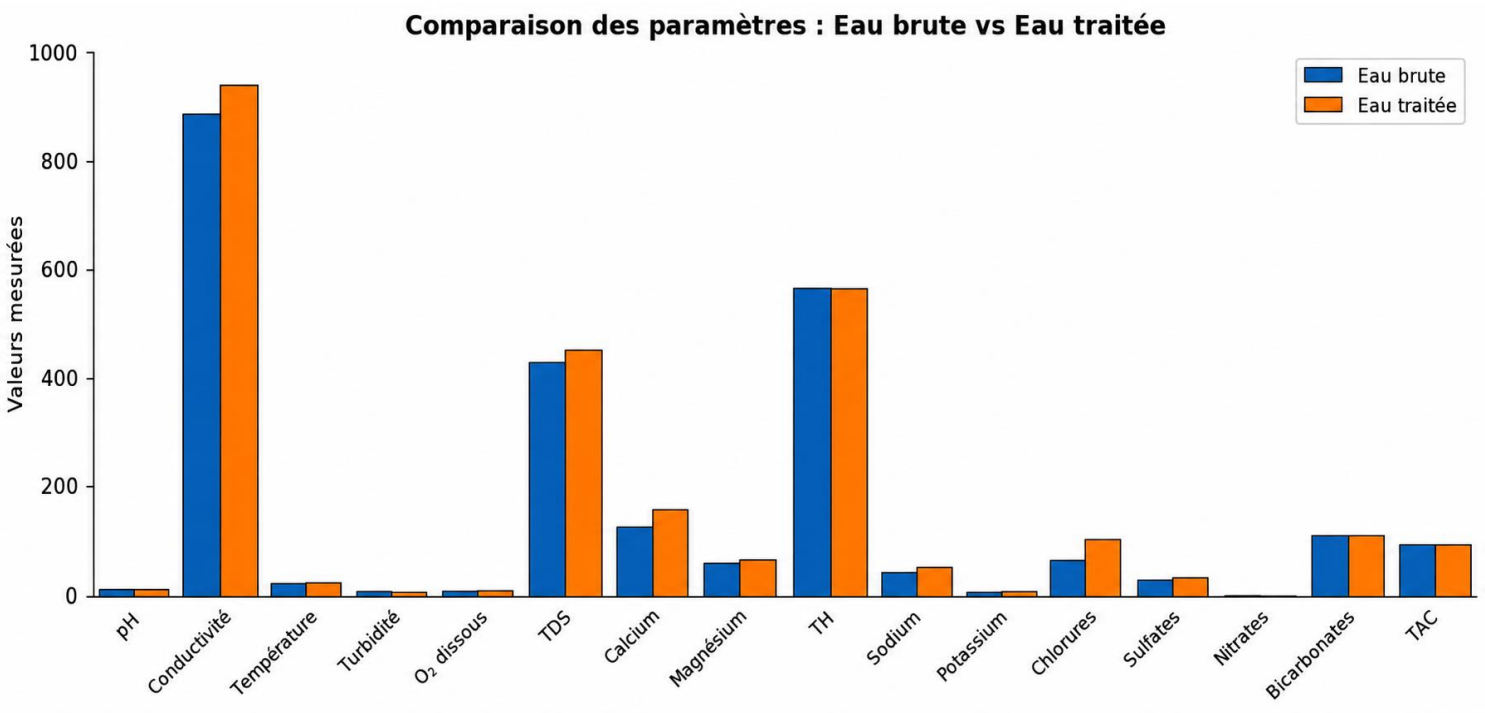


Figure IV.2 : Comparaison des paramètres : eau brute vs eau traitée (Station Babar)

Synthèse pour cette station

L'évaluation de la qualité de l'eau au niveau de la station de Babar met en avant des indicateurs bactériologiques impeccables, témoignant d'une chloration finale parfaitement calibrée pour l'éradication des germes pathogènes. Sur le plan physico-chimique, la station fournit une eau conforme aux exigences de potabilité pour la majorité des critères fondamentaux. Toutefois, une nuance doit être apportée concernant les fluctuations saisonnières de la turbidité en amont, qui se répercutent de façon mesurée sur l'eau décantée lors des périodes de fortes variations de la ressource brute. De plus, à l'instar de la région, la conductivité et la dureté globale de l'eau méritent une attention continue afin d'éviter qu'elles ne se stabilisent durablement dans la tranche haute des normes en vigueur.

c. Station de Tagharist (Yabous)

Tableau IV.7 : Paramètres Physiques - Station de Tagharist

Paramètre	Unité	Eau brute	Eau traitée	Normes Algérienne	Normes de l'OMS	Conformité / Remarque
Couleur	/	/	/	≤ 15	≤15	Conforme d'après notes

Paramètre	Unité	Eau brute	Eau traitée	Normes Algérienne	Normes de l'OMS	Conformité / Remarque
Odeur à 25°C	Tdilut	/	/	≤ 4	≤ 2–4	Conforme (Traitée)
Saveur à 25°C	Tdilut	/	/	≤ 4	≤ 4	Conforme (Traitée)
Turbidité	NTU	6.76	1.90	≤ 5	≤ 5	En amélioration, Conforme
Conductivité à 25°C	µS/cm	874	909	≤ 2800	≤ 1400–2800	Conforme
Température	°C	15.7	15.9	≤ 25	≤ 25	Conforme
TDS	mg/l	429	446	≤1500	< 500-1500	Faible minéralisation
Résidus secs	mg/l	13	/	≤1500	≤ 2000	Conforme

Tableau IV.8 : Paramètres Chimiques - Station de Tagharist

Paramètre	Unité	Eau brute	Eau traitée	Normes Algérienne	Normes de l'OMS	Conformité / Remarque
pH	/	8.18	8.34	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5	Conforme
Chlore résiduel libre	mg/l	/	1.1	0,2–0,5	0,2–0,5	Conforme
Oxygène dissous	mg/l	9.31	9.64	≥5	≥5	Très bonne oxygénation
Ammonium (NH_4^+)	mg/l	0.031	0.031	≤0,5	≤0,5	Conforme
Nitrates (NO_3^-)	mg/l	1.86	1.21	≤50	≤50	Conforme
Phosphore (P)	mg/l	0.022	<0.001	0.5	1	Conforme

Paramètre	**Unité**	**Eau brute**	**Eau traitée**	**Normes Algérienne**	**Normes de l'OMS**	**Conformité / Remarque**
Oxydabilité	mg/l	0.92	0.35	≤5	≤5	Conforme
Calcium (Ca^{2+})	mg/l	125.04	150.7	≤200	≤200	Conforme
Magnésium (Mg^{2+})	mg/l	58.32	58.32	≤150	≤150	Conforme
Dureté totale (TH)	mg/l $CaCO_3$	552	552	≤500	≤500	Légèrement au-dessus de la norme
Sodium (Na^{+})	mg/l	34.2	39.6	≤200	≤200	Conforme
Potassium (K^{+})	mg/l	3.4	5.3	≤12	≤12	Conforme
Chlorures (Cl^{-})	mg/l	60.74	92.3	≤250	≤250	Conforme
Sulfates (SO_4^{2-})	mg/l	27.20	27.39	≤250	≤250	Conforme
Bicarbonates (HCO_3^{-})	mg/l	106.14	106.14	≤500	≤500	Conforme
Titre Alcalimétrique Complet (TAC)	mg/l $CaCO_3$	87	87	≤200	≤200	Stable

Tableau IV.9 : Paramètres Bactériologiques - Station de Tagharist

Paramètre	Unité	Eau brute	Eau traitée	Norme Algérienne	Normes de l'OMS	Conformité / Remarque
Coliformes totaux	/100ml	Absence	Absence	0 UFC/100	0 UFC/100	Conforme
Escherichia coli	/100ml	Absence	Absence	0 UFC/100	0 UFC/100	Conforme
Entérocoques	/100ml	Absence	Absence	0 UFC/100	0 UFC/100	Conforme
Streptocoques fécaux	/100ml	0	/	0 UFC/100	0 UFC/100	Absence
Bactéries sulfito-réductrices	/100ml	/	/	0 UFC/20	0 UFC/20	Conforme

Interprétation

Les résultats de Tagharist montrent une qualité physico-chimique et bactériologique globalement satisfaisante. Les faibles teneurs en ammonium, nitrates et phosphore traduisent une faible pression anthropique sur le bassin versant et une préservation relative de la ressource.

La très bonne oxygénation observée dans l'eau brute et traitée suggère un renouvellement efficace de l'eau dans la retenue ainsi qu'une activité biologique équilibrée. Des concentrations élevées en oxygène dissous limitent le développement des processus anaérobies susceptibles de générer des goûts, odeurs ou composés indésirables.

La réduction de l'oxydabilité après traitement indique une élimination efficace d'une partie de la matière organique naturelle. Cette diminution présente un intérêt sanitaire important car elle réduit le potentiel de formation des sous-produits de chloration lors de la désinfection.

L'augmentation modérée du calcium, du sodium et des chlorures après traitement peut être liée à l'utilisation des réactifs chimiques employés dans la filière de potabilisation. Ces variations restent toutefois faibles et largement conformes aux normes de qualité.

Comme à Babar, la dureté totale demeure élevée. Cette similitude suggère une origine géologique commune ou des caractéristiques hydrochimiques proches des bassins alimentant les deux stations. La prédominance des ions calcium, magnésium et bicarbonates traduit une

minéralisation de type bicarbonatée calcique et magnésienne, caractéristique des eaux circulant dans des formations calcaires.

L'absence complète de germes indicateurs confirme l'efficacité du traitement et atteste du bon état sanitaire de la ressource. Le maintien d'un résiduel chloré adéquat assure une sécurité microbiologique durable dans le réseau de distribution.

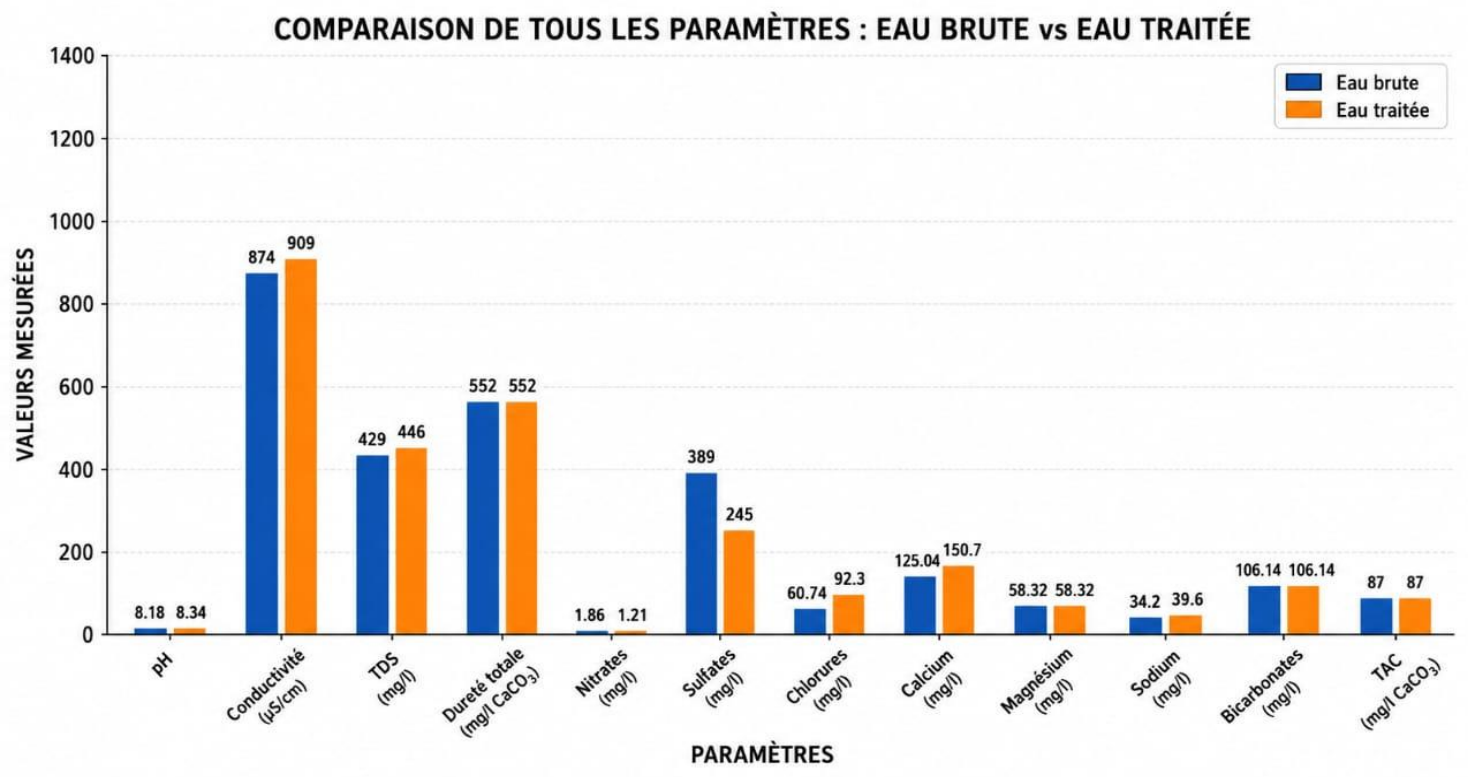


Figure IV.3 : Comparaison des paramètres : eau brute vs eau traitée (Station de Tagharist)

Synthèse pour cette station

La station de Tagharist affiche des performances robustes en matière de clarification et de sécurisation sanitaire des eaux destinées à la consommation, consolidant son rôle de source d'approvisionnement fiable pour la localité. Les résultats analytiques soulignent l'efficacité des étapes de coagulation-floculation et de filtration. L'aspect restrictif, bien que mesuré, réside dans la vulnérabilité de cette ressource vis-à-vis des variations physico-chimiques liées aux conditions climatiques. La minéralisation globale de l'eau montre parfois des pics de dureté qui, bien que n'entachant pas la potabilité immédiate de l'eau selon la réglementation locale, indiquent qu'un ajustement continu des doses de réactifs reste un défi quotidien pour maintenir une régularité optimale de la qualité de l'eau.

Analyses comparatives et caractéristiques communes

Les données analytiques de la station de Tagharist à Yabous s'avèrent rigoureusement identiques à celles de la station de Babar, indiquant des caractéristiques hydrochimiques communes ou une similarité de la source d'eau exploitée.

- On y retrouve la même efficacité de clarification vis-à-vis de la turbidité, qui chute de 6,76 NTU à un niveau très satisfaisant de 1,80 NTU.
- La problématique de la dureté totale (TH) est également calquée à **552 mg/l de $CaCO_3$,** confirmant que l'eau distribuée aux consommateurs de la commune de Yabous présente une concentration en calcaire supérieure à la limite de potabilité idéale (500 mg/l).
- La sécurité sanitaire est totale, la désinfection par le chlore (1,1mg/l de chlore libre) garantissant une eau exempte de coliformes, d'E. Coli et d'entérocoques (ABS).

3. Bilan comparatif des résultats des trois stations

3.1. Vulnérabilité de la ressource brute

L'eau brute de la station de K. Lamdaouar subit une contamination bactériologique et organique exogène marquée, ce qui exige une vigilance constante et un traitement d'oxydation/désinfection sans faille. À l'inverse, les eaux brutes de Babar et Yabous, vu leur situation géographique, bénéficient d'une excellente protection naturelle contre les agressions microbiennes directes.

3.2. Le défi du calcaire (Dureté)

La station de K. Lamdaouer distribue une eau équilibrée sur le plan minéral, tandis que les stations de Babar et Yabous se heurtent à un dépassement de la norme. Cette concentration élevée en carbonate de calciumprésente des inconvénients techniques majeurs (entartrage accéléré des réseaux de distribution, obstruction des canalisations, baisse d'efficacité des appareils thermiques domestiques) et altère les qualités organoleptiques (goût plus lourd), sans toutefois impacter la santé des consommateurs.

3.3. Homogénéité de la désinfection

Les trois infrastructures appliquent un protocole de chloration rigoureux et protecteur, maintenant un taux de chlore libre résiduel optimal compris entre 1,05 et 1,10 mg/l, ce qui prévient efficacement toute reviviscence bactérienne au cours du transit de l'eau dans les réseaux de distribution.

3.4. Diagramme de Schöeller-Berkaloff

Le diagramme de Schöeller-Berkaloff met en évidence une similitude du profil hydrochimique des eaux des trois stations, caractérisée par une prédominance du calcium (Ca^{2+}) parmi les cations et du chlorure (Cl^{-}) parmi les anions. Cette distribution ionique permet d'identifier un faciès hydrochimique de type chloruré calcique (Ca–Cl). Toutefois, les concentrations des ions majeurs varient d'une station à l'autre, la station de Babar présentant les teneurs les plus élevées, suivie de K. Medawar, tandis que la station de Tagharist affiche les concentrations les plus faibles. Cette différence traduit un degré de minéralisation plus important à Babar, probablement lié à une interaction eau-roche plus intense et/ou à une plus forte influence des facteurs anthropiques.

L'origine des ions majeurs est principalement contrôlée par les processus géochimiques naturels. Les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} résultent essentiellement de la dissolution des formations carbonatées (calcite et dolomite), tandis que les ions Na^{+} et K^{+} peuvent provenir de l'altération des minéraux silicatés et, localement, de la dissolution de formations évaporitiques. La prédominance des ions Cl^{-} est susceptible de refléter la dissolution des sels solubles présents dans les formations géologiques, mais également des apports d'origine anthropique tels que les rejets domestiques ou les activités agricoles. Les ions SO_4^{2-} peuvent être associés à la dissolution du gypse ou à l'oxydation de minéraux sulfurés, alors que les ions HCO_3^{-} sont principalement issus de la dissolution des carbonates sous l'action du dioxyde de carbone. Enfin, la présence des nitrates (NO_3^{-}) constitue un indicateur d'une influence anthropique, généralement liée à l'utilisation d'engrais azotés, aux effluents domestiques ou aux activités d'élevage.

La forme globalement parallèle des courbes traduit une origine géochimique commune des eaux étudiées, tandis que les différences d'amplitude reflètent essentiellement des variations du niveau de minéralisation plutôt qu'un changement de faciès hydrochimique. Ces résultats suggèrent que les eaux des trois stations évoluent dans un contexte hydrogéologique similaire, tout en étant soumises à des degrés variables d'interaction eau-roche et d'influence anthropique.

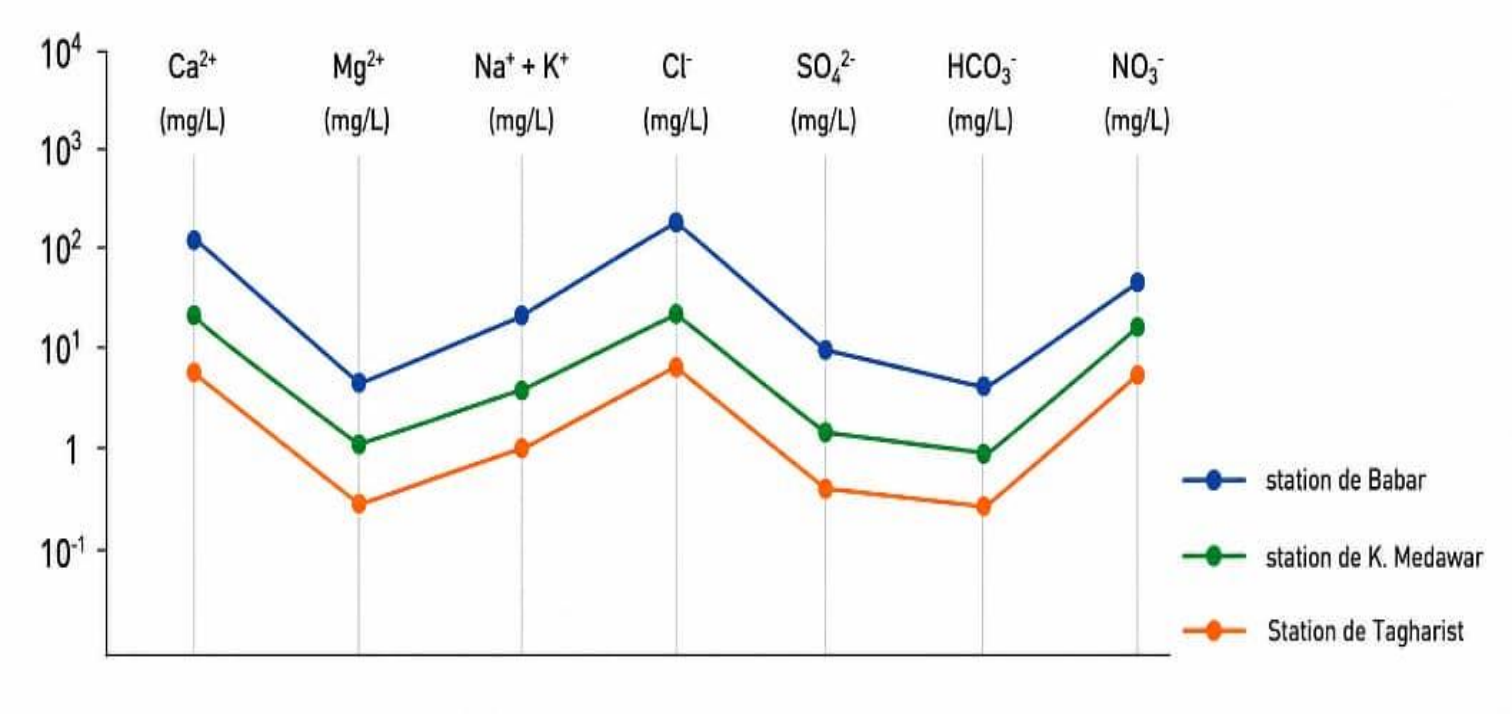


Figure IV.4 : Diagramme de Schöeller-Berkaloff représentant les profils hydrochimiques des échantillons d'eau des trois stations

4. Conclusion

En conclusion, l'évaluation des performances des trois stations constituant les principales sources d'approvisionnement en eau potable de la wilaya de Khenchela met en évidence une parfaite maîtrise des risques sanitaires à court terme. Sur le plan de la potabilité bactériologique, l'élimination des bactéries pathogènes (coliformes, E. coli, entérocoques) est totale, et la turbidité finale garantit une eau limpide et agréable à l'œil sur l'ensemble des sites. Cependant, des hétérogénéités apparaissent sur le plan physico-chimique à long terme :

- L'eau issue de la station de **K. Lamdaouar** offre le meilleur compromis global entre minéralisation, clarification et équilibre ionique.
- Les eaux des stations de **Babar** et **Tagharist (Yabous)** souffrent d'une dureté calcique excessive qui dépasse le seuil réglementaire de 500 mg/l de $CaCO_3$.

Recommandations : Afin d'optimiser durablement la qualité de l'eau distribuée dans la commune de Babar et de Yabous, il est vivement recommandé d'étudier la faisabilité technique et économique de l'implantation d'une unité d'adoucissement (par décarbonatation chimique ou échange d'ions), ou d'envisager un couplage/dilution des ressources avec des eaux de sources locales moins minéralisées afin de ramener la dureté totale sous le seuil réglementaire.

Conclusion générale

La présente étude avait pour objectif d'évaluer la qualité des eaux destinées à la consommation humaine au niveau des stations de traitement de Koudiet Lamdaouar, Babar et Tagharist, à travers l'analyse des principaux paramètres organoleptiques, physico-chimiques et bactériologiques. Elle visait également à apprécier l'efficacité des procédés de traitement mis en œuvre et à vérifier la conformité des eaux produites aux exigences de la réglementation algérienne et aux recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

Les résultats obtenus mettent en évidence une efficacité globale satisfaisante des filières de traitement. Les analyses révèlent une amélioration significative de la qualité des eaux après traitement, caractérisée notamment par une réduction importante de la turbidité, le maintien du pH dans les limites réglementaires, l'élimination complète de l'ammonium et des nitrites, ainsi que le maintien de faibles concentrations en nitrates. Les valeurs de conductivité observées traduisent une minéralisation globalement maîtrisée, malgré une légère augmentation liée à l'utilisation des réactifs de traitement. Sur le plan bactériologique, les opérations de désinfection se sont révélées efficaces, comme en témoigne l'absence de contamination bactérienne dans les eaux traitées et le maintien d'un taux de chlore résiduel libre assurant une protection sanitaire satisfaisante.

L'étude met également en évidence une dureté relativement élevée des eaux de Babar et de Tagharist, ainsi qu'une eau demeurante dure à Koudiet Lamdaouar. Cette caractéristique est principalement liée à la nature géologique des ressources exploitées et constitue une limite du traitement conventionnel, qui ne permet pas de réduire significativement la minéralisation de l'eau. Bien qu'elle ne représente pas un risque direct pour la santé, cette dureté peut favoriser l'entartrage des installations et des réseaux de distribution.

Cette étude présente néanmoins certaines limites, liées principalement à une période d'investigation relativement courte, correspondant à la durée du stage, ainsi qu'à l'analyse d'un nombre limité de paramètres de qualité. Un suivi sur une période plus longue, couvrant les différentes saisons hydrologiques, permettrait de mieux apprécier les variations temporelles de la qualité des eaux et d'obtenir une évaluation plus représentative des ressources étudiées.

Dans cette perspective, il apparaît souhaitable de renforcer le suivi analytique des eaux brutes et traitées, de poursuivre l'optimisation des procédés de traitement, notamment par l'ajustement des doses de coagulant à l'aide du Jar-test, et d'étudier la faisabilité de solutions permettant de réduire la dureté des eaux, telles que l'installation d'unités d'adoucissement ou le mélange avec des ressources moins minéralisées, en particulier pour les stations de Babar et de Tagharist.

CONCLUSION GÉNÉRALE

En définitive, cette étude confirme l'efficacité globale des procédés de traitement mis en œuvre dans les stations étudiées et la conformité des eaux distribuées aux exigences de qualité applicables. Elle souligne également l'importance d'une surveillance continue, d'une optimisation permanente des traitements et d'une gestion durable des ressources hydriques afin de garantir, à long terme, une eau potable de qualité et une protection optimale de la santé publique.

Références bibliographiques

[1] Décret exécutif n° 01-101 du 27 Moharrem 1422 portantes créations de l'Algérienne des eaux (A.D.E.). (2001, 21 avril). Journal officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire.

[2] Algérienne Des Eaux (ADE). (2026). Rapport technique interne : Fiche technique et caractéristiques de la station de traitement de Babar (Wilaya de Khenchela). Direction de zone, Unité de Khenchela.

[3] Viessman, W., & Hammer, M. J. (2005). Water Supply and Pollution Control (7th ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson Education.

[4] Degremont. (2005). Mémento technique de l'eau. Paris : Lavoisier Tec & Doc.

[5] Rodier, J., Legube, B., Merlet, N., et al. (2016). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer (11e éd.). Paris : Dunod.

[6] Rejsek, F. (2002). Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques. Bordeaux: CRDP d'Aquitaine.

[7] Association Française de Normalisation (AFNOR). (2019). Qualité de l'eau : Recueil des normes françaises relatives aux analyses des eaux. Paris, France.

[8] Miquel, G. (2003). L'eau : qualité et pollution. Paris : Presses Universitaires de France (PUF).

[9] Kroumi, N. E., Doucene, M., Baghdadi, W. & Belouadah, N. (2023). Évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique de trois sources d'eaux potables à Hammam Dalaa (M'Sila). Mémoire de Master, Université Mohamed Boudiaf de M'Sila, Algérie.

[10] Hem, J. D. (1985). Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water (3rd ed.). Washington: U.S. Geological Survey.

[11] Boutoutaou, D., et al. (2021). « Évaluation de la qualité des eaux de consommation en Algérie : approche physico-chimique et microbiologique ». Larhyss Journal, n° 45, pp. 101–118.

[12] Laboratoire de l'Algérienne des Eaux (ADE) de Khenchela. Protocoles et méthodes analytiques en vigueur pour le contrôle de la qualité des eaux, document interne de référence, 2026.