

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة 8 ماي 1945 قلمة

Université 8 Mai 1945 Guelma

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



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Alimentaires

Spécialité/Option : Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire

Département : Biologie

Thème

**Evaluation de la qualité physicochimique et bactériologique des
eaux du barrage de Bouhamdane, wilaya de Guelma.**

Présenté par :

- BECHAA Hayat
- LIACHA Besma
- SALAH SALAH Meriem

Devant le jury composé de :

Président :	M. MAOUI Ammar (Pr.)	Université de Guelma
Examineur :	M. GUETTAF Mohamed (MCA)	Université de Guelma
Encadreur :	M. GUEROUI Yassine (MCA)	Université de Guelma

Juin 2022

Remerciements

Nous remercions en premier lieu **ALLAH** le tout puissant pour toute la volonté, le courage et la chance qu'il nous a donné pour l'achèvement de ce mémoire.

A notre président de jury, **Mr. MAOUI Ammar** Professeur à l'université 8 Mai 1945 Guelma, qui nous a fait le grand honneur de présider ce mémoire. Qu'il trouve ici le témoignage de notre profond respect et de notre sincère reconnaissance.

Nous adressons également notre reconnaissance à **Mr. GUETTAF Mohamed**, Maître de Conférences « A » à l'université 8 Mai 1945 Guelma, pour l'intérêt qu'il a accordé à ce travail en acceptant de l'examiner et de le juger, pour ses conseils et ses recherches et informations qui nous ont grandement aidés dans ce travail.

Nous tenons à remercier notre encadreur **Mr. GUEROUI Yassine** Maître de Conférences «A», pour l'honneur qu'il nous a fait en dirigeant ce travail, pour ses aides, ses conseils, tout au long de l'élaboration de ce modeste travail. Pour le temps qu'il a consacré à nous apporter les outils méthodologiques indispensables à la conduite de cette recherche. Son exigence nous avons grandement stimulé.

Résumé

Puisque l'eau est indispensable à la vie, on a prévu d'effectuer des études dans la station des traitements des eaux de Hammam Debagh. Le but de la présente étude est de contrôler la qualité des eaux du barrage de Bouhamdane à partir des analyses physico-chimiques et bactériologiques. Pour cela, on a pris des échantillons de deux points divergents à savoir de l'eau brute et de l'eau traitée. L'analyse physicochimique est portée sur la comparaison de la qualité des eaux avant et après traitement en se basant sur la mesure des paramètres physicochimiques (la température, le pH, la conductivité, la turbidité, MES, Ammonium, Nitrites, Nitrates et Phosphate) et des paramètres bactériologiques basée sur la recherche des FMAT, Coliformes totaux et fécaux, Streptocoques fécaux et ASR. Les résultats obtenus des analyses bactériologiques révèlent que l'eau brute est d'une qualité inapte à la consommation humaine à cause de la présence des coliformes et des streptocoques mais conformes aux exigences de l'eau destinées à la production de l'eau potable. Quant à l'eau traitée au niveau de la station de traitement de Hammam Debagh, il s'avère que les qualités physico-chimiques et bactériologiques sont conformes aux exigences du Journal Officiel de la République Algérienne, ces résultats prouvent l'efficacité du traitement au niveau de la station.

Mots clés : Eau brute, eau traitée, Analyse physico-chimique, Analyse bactériologique, Station du traitement.

Abstract

Water is essential to life; that is why the current study have planned at the Hammam Debagh water treatment station. The purpose of this study is to control the water quality of the Bouhamdane dam based on physico-chemical and bacteriological analyses. For this, samples were taken from two divergent points, namely raw water and treated water. The analysis is related to the comparison of water quality before and after treatment, based on the measurement of physicochemical parameters (temperature, pH, conductivity, turbidity, MES, Ammonium, Nitrite, Nitrate and Phosphate), and bacteriological parameters based on the search for FMAT, total and faecal coliforms, faecal Streptococci and SRA. The results obtained from the bacteriological analyzes reveal that the raw water is of unsuitable quality for human consumption because of the presence of coliforms and Streptococci but complies with the standards of water intended for the production of drinking water. As for the water treated at the Hammam Debagh treatment plant, it turns out that the physico-chemical and bacteriological qualities comply with the standards of the Official Journal of the Algerian Republic, these results prove the effectiveness of the treatment at station level.

Keywords : Raw water, Treated water, Physico-chemical analysis, Bacteriological analysis, Treatment plant.

ملخص

الماء هو اساس الحياة، ولهذا خططنا لإجراء دراسات في محطة معالجة مياه لحمام الدباغ. الهدف من هذه الدراسات هو مراقبة جودة مياه السد من التحليلات الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية. و لهذا اخذنا عينات من نقطتين متباينتين، أي المياه الخام والمياه المعالجة. يركز التحليل الفيزيائي والكيميائي على مقارنة جودة المياه قبل وبعد المعالجة بناءً على قياس المعلمات الفيزيائية والكيميائية (درجة الحرارة، درجة الحموضة، التوصيل، العكارة، المواد الصلبة الذائبة، الأمونيوم، النتريت، النترات و الفوسفات) والمعلمات البكتريولوجية على أساس البحث عن FMAT، Coliformes totaux، Coliformes fécaux، Streptocoques fécaux و ASR. تظهر النتائج المتحصل عليها أن المياه الخام من سد بوحمدان ذات جودة غير صالحة للاستهلاك الأدمي لوجود Coliformes و Streptocoques و لكنها تتوافق مع متطلبات المياه المخصصة لإنتاج مياه الشرب المعالجة بمحطة معالجة حمام دباغ. اتضح أيضا أن الصفات الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية تتوافق مع معايير ومتطلبات الجريدة الرسمية للجمهورية الجزائرية، وهذه النتائج تثبت فعالية معالجة المياه على مستوى المحطة.

الكلمات المفتاحية: المياه الخام، المياه المعالجة، التحليل الفيزيائي والكيميائي، التحليل البكتريولوجي، محطة المعالجة.

LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES

SYMBOLES	
°C	Degré Celsius
°F	Degré Français
µS/cm	Micro-Siemens par Centimètre
%	Pourcentage
A	
ADE	Algérienne des eaux
ASR	Anaérobie Sulfito-Réductrices
B	
BCPL	Bouillon Lactose au Pourpre de Bromocrésol
C	
Ca ²⁺	Calcium
Cl ⁻	Chlorure
CF	Coliforme Fécaux
CT	Coliforme Totaux
D	
D/C	Double Concentration
E	
E.Coli	Escherichia Coli
EDTA	Ethylène Diamine Tétra Acétique
F	
Fe ²⁺	Fer
FeS	Sulfure de Fer
FMAT	Flore Mésophile Aérobie Totale
H	
H	Heure
HCl	acide chlorhydrique
HCO ₃ ⁻	Bicarbonate
H ₂ O	Eau
H ₂ SO ₄	Hydroxyde de Sodium
K	
Km	Kilomètre
Km ³	Kilomètre cube
L	
L	Litre
M	
m ³	mètre cube
MES	Matière En Suspension
Mg ²⁺	Magnésium
mg/l	milligramme par litre
Mn	Minute
ml	Millilitre
Mm	Millimètre
MO	Matière Organique
N	
NH ₄ ⁺	Azote Ammoniacal
NO ₂ ⁻	Nitrite

NO ₃ ⁻	Nitrate	
NPP	Nombre le Plus Probable	
NTU	Unité Néphélométrique de Turbidité	
		P
Ph	potentiel d'hydrogène.	
PO ₄ ³⁻	Phosphate	
		S
S/C	Simple Concentration	
S/m	Siemens par centimètre	
SF	Streptocoques Fécaux	
SO ₄ ²⁻	Sulfate	
		T
TA	Titre Alcalimétrique simple	
TAC	Titre Alcalimétrique Complet	
TGEA	Milieu de Tryptophane-Glucose-Extrait de levure-Agar	
TH	Titre Hydrométrique	
		V
VF	Viande de Foie	

LISTE DES FIGURES

Nº		Page
Figure 1	Différentes phases du cycle de l'eau	3
Figure 2	Procédé de dégrillage pour le traitement des eaux potables	12
Figure 3	Procédé de dessablage pour le traitement des eaux potables	12
Figure 4	Procédé de coagulation-floculation pour le traitement des eaux potables	14
Figure 5	Procédé de coagulation-floculation pour le traitement des eaux potables	15
Figure 6	Localisation du site d'étude	16
Figure 7	Détermination des TA et TAC	20
Figure 8	Détermination Titre hydrotimétrique (TH)	22
Figure 9	Détermination de la Matière Organique (MO)	23
Figure 10	Détermination du Calcium (Ca^{2+})	25
Figure 11	Détermination des Chlorures (Cl^-)	26
Figure 12	Détermination de l'Azote Ammoniacal (NH_4^+)	28
Figure 13	Dosage des Nitrates (NO_3^-)	29
Figure 14	Détermination des Nitrites (NO_2^-)	30
Figure 15	Détermination des Phosphates (PO_4^{3-})	31
Figure 16	Détermination des Sulfates (SO_4^{2-})	32
Figure 17	Détermination du fer (Fe^{2+})	33
Figure 18	Recherche et dénombrement de la Flore Totale	34
Figure 19	Recherche et dénombrement des Coliformes	37
Figure 20	Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux	38
Figure 21	Recherche et dénombrement des spores de <i>Clostridium</i> Sulfito-Réducteurs	40
Figure 22	Evolution spatio-temporelle du potentiel d'hydrogène des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh	41
Figure 23	Evolution spatio-temporelle de turbidité des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh	42
Figure 24	Evolution spatio-temporelle de la température d'hydrogène des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh	43

Figure 25	Evolution spatio-temporelle de la conductivité des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh	43
Figure 26	Evolution spatio-temporelle de matière organique des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh	44
Figure 27	Evolution spatio-temporelle de la matière en suspension des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh	45
Figure 28	Evolution spatio-temporelle du calcium des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh	46
Figure 29	Evolution spatio-temporelle du magnésium des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh	46
Figure 30	Evolution spatio-temporelle des bicarbonates des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh	47
Figure 31	Evolution spatio-temporelle des chlorures des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh	48
Figure 32	Evolution spatio-temporelle des sulfates des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh	48
Figure 33	Evolution spatio-temporelle des nitrates des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh	49
Figure 34	Evolution spatio-temporelle des nitrites des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh	50
Figure 35	Evolution spatio-temporelle de l'ammonium des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh	50
Figure 36	Evolution spatio-temporelle des phosphates des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh	51
Figure 37	Evolution spatio-temporelle du fer des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh	52
Figure 38	Evolution spatio-temporelle de la flore totale des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh	53
Figure 39	Evolution spatio-temporelle des coliformes totaux des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh	53
Figure 40	Evolution spatio-temporelle des coliformes fécaux des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh	54

Figure 41	Evolution spatio-temporelle des streptocoques fécaux des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh	55
Figure 42	Evolution spatio-temporelle des ASR des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh	56

LISTE DES TABLEAUX

N°		Page
Tableau 1	Présentation des sites et période de prélèvement	17

TABLE DES MATIERES

	Page
Remerciement	
Résumé	
Abstract	
ملخص	
Liste des abréviations et acronymes	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction	1
Chapitre 1 : Synthèse bibliographique	
1. Cycle de l'eau	3
2. Différentes sources de l'eau	3
2.1. Eaux de pluie	3
2.2. Eaux souterraines	4
2.3. Eaux de surface	4
2.4. Eaux de mer	4
3. Pollution de l'eau	4
3.1. Origines de la pollution de l'eau	5
3.1.1. Pollution domestique	5
3.1.2. pollution par les eaux pluviales urbaines	5
3.1.3. pollution industrielle	5
3.1.4. pollution par les activités agricoles	5
3.2. Différents polluants de l'eau	5
4. Critères de la qualité des eaux potables	6
4.1. Paramètres physicochimiques	6
4.1.1. Potentiel Hydrogène (pH)	6
4.1.2. Température	6
4.1.3. Turbidité	6
4.1.4. Conductivité	7
4.1.5. Matière organique (MO)	7
4.1.6. Matière En Suspension (MES)	7
4.1.7. Alcalinité	7

4.1.8. Dureté	7
4.1.9. Magnésium (Mg^{2+}) et Calcium (Ca^{2+})	8
4.1.10. Chlorure (Cl^-)	8
4.1.11. Ammonium (NH_4^+)	8
4.1.12. Nitrate (NO_3^-)	8
4.1.13. Nitrite (NO_2^-)	8
4.1.14. Phosphate (PO_4^{3-})	9
4.1.15. Sulfate (SO_4^{2-})	9
4.1.16. Fer (Fe^{2+})	9
4.2. Paramètres bactériologiques	9
4.2.1. Flore Mésophile Aérobie Totale	9
4.2.2. Coliformes Totaux et Coliformes Fécaux	10
4.2.3. Streptocoques	10
4.2.4. Anaérobies Sulfito-Réducteurs (<i>Clostridium</i>)	10
5. Traitement des eaux potables	11
5.1. Importance du traitement des eaux	11
5.2. Procédés de traitement des eaux potables	11
5.2.1. Captage	11
5.2.2. Prétraitement	11
5.2.3. Dégrillage	11
5.2.4. Dessablage	12
5.2.5. Débourage	12
5.2.6. Tamisage	13
5.2.7. Aération	13
5.2.8. Pré-chloration (Pré-oxydation)	13
5.2.9. Coagulation-floculation	13
5.2.10. Décantation	14
5.2.11. Filtration sur Sable	15
5.2.12. Désinfection (Post-chloration)	15
Chapitre 2 : Matériel et Méthodes	
1. Méthodes de travail	16
1.1. Situation géographique	16
1.2. Choix des stations de prélèvement	16

1.3. Echantillonnage	17
1.4. Préparation des échantillons	18
2. Analyse physicochimique	18
2.1. Paramètres électrochimiques	18
2.1.1. Potentiel Hydrogène (pH)	18
2.1.2. Turbidité	18
2.1.3. Température	19
2.1.4. Conductivité	19
2.2. Paramètres volumétriques	20
2.2.1. Titre Alcalimétrique, Titre Alcalimétrique Complet (TAC) et (HCO ₃ ⁻).	20
2.2.2. Titre hydrotimétrique (TH)	21
2.2.3. Détermination de la Matière Organique (MO)	21
2.2.4. Détermination du Calcium (Ca ²⁺)	24
2.2.5. Magnésium (Mg ²⁺)	24
2.2.6. Détermination des Chlorures (Cl ⁻)	25
2.2.7. Matière En Suspension	27
2.3. Paramètres de pollution	27
2.3.1. Détermination de l'Azote Ammoniacal (NH ₄ ⁺)	27
2.3.2. Dosage des Nitrates (NO ₃ ⁻)	28
2.3.3. Détermination des Nitrites (NO ₂ ⁻)	29
2.3.4. Détermination des Phosphates (PO ₄ ³⁻)	30
2.3.5. Détermination des Sulfates (SO ₄ ²⁻)	31
2.3.6. Détermination du fer (Fe ²⁺)	32
3. Analyse Bactériologique	33
3.1. Recherche et dénombrement de la Flore Aérobie Mésophile Totale (FMAT)	33
3.2. Recherche et dénombrement des Coliformes	35
3.3. Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux	36
3.4. Recherche et dénombrement des Anaérobies Sulfite-Réducteurs	38

Chapitre 3 : Résultats et Discussion

1. Analyse physicochimique	41
2. Analyse bactériologique	52

Conclusion	57
Références bibliographique	58

INTRODUCTION

Introduction

La terre se compose à 70% d'eau, ce qui lui vaut le joli nom de « planète bleue ». Ses eaux sont réparties à plus de 97% d'eau salée et moins de 3% d'eau douce plus ou moins accessible. L'eau potable est un besoin fondamental pour le développement humain, la santé et le bien-être, et pour cette raison, elle est considérée comme un droit de l'homme. C'est une ressource limitée, essentielle pour l'agriculture, les animaux, l'industrie, et encore plus importante pour l'existence humaine [1].

L'eau pure n'existe pas à l'état naturel. Dans son parcours jusqu'à nos robinets, elle se charge d'éléments à la fois indispensables à notre santé mais peut également rencontrer des substances potentiellement toxiques pour l'organisme. C'est pourquoi l'eau doit subir plusieurs traitements avant d'être considérée comme potable. Elle doit ainsi répondre à de nombreux critères pour permettre à chacun de boire une eau sans aucun risque pour la santé [1].

Les eaux de surface englobent toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents. Les eaux de surface sont rarement potables sans aucun traitement et sont toujours plus ou moins polluées par divers rejets [1].

La pollution de l'eau est une altération qui rend son utilisation dangereuse et/ou perturbe l'écosystème aquatique. Le type de pollution de l'eau peut être de nature chimique, physique ou microbiologique et ses conséquences peuvent compromettre la santé de la flore et de la faune concernées, jusqu'à l'homme, endommageant ainsi l'écosystème et les réserves d'eau à usage alimentaire (David et al., 2020).

Le choix d'un procédé de traitement dépend, entre autres, des caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de la ressource utilisée. Ces caractéristiques varient en fonction de la nature de la ressource, du sol et des activités locales (agricoles, industrielles et domestiques). En pratique, il est rare qu'une seule de ces caractéristiques doive être corrigée. Il convient alors d'associer diverses techniques, qui interviennent chacune à différentes étapes du traitement : c'est le principe des stations de potabilisation. L'enchaînement des étapes peut varier, et le rôle de chaque procédé se fait également en fonction de la place qu'il occupe dans le processus (David et al., 2020).

En Algérie, les sources d'eau potable sont soit d'origine souterraines soit de surface, la plupart des algériens consomment de l'eau potable qui provient généralement des eaux de surface que l'on peut stocker dans des barrages et après les traitée dans des stations de

traitement pour fournir une eau qui respecte les normes algériennes de potabilité (**Haidar, 2014**).

L'objectif du traitement est de protéger les consommateurs des microorganismes pathogènes et d'impuretés désagréables pour la santé. A cet effet, notre recherche est basée sur l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau brute et l'eau traitée au niveau de la station de traitement de Hammam Debagh qui comporte l'eau du barrage de Bouhamdane. Cette étude est structurée en trois chapitres interdépendants :

- ◆ **Le chapitre I** : consacré à rappeler quelques généralités sur les propriétés de l'eau (physiques, chimiques, biologiques, etc.) et à décrire la filière classique de traitement pour la production de l'eau potable ;
- ◆ **Le chapitre II** : une description du site d'étude et décrit les sites de prélèvement et la méthodologie utilisée pour la détermination de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de la station ;
- ◆ **Le chapitre III** : décrit sous forme de graphes et d'histogrammes en exposant les différents résultats obtenus au cours de l'étude.

CHAPITRE

1

Synthèse Bibliographique

1. Cycle de l'eau

L'eau est un élément fondamental de la vie, recouvrant 72% de la surface de la terre, et représentant une réserve totale de 1350 milliards de km³ dans la biosphère. La source principale d'eau douce provient de l'évaporation des océans (sous l'effet du soleil), à laquelle s'ajoutent l'évaporation des rivières et lacs, ainsi que l'évapotranspiration des végétaux. Cette vapeur d'eau se condense dans l'atmosphère et retombe sous forme de précipitations (pluvieuses ou neigeuses) dont une partie parvient aux cours d'eau, soit directement par ruissellement, soit indirectement par infiltration et stockage dans les nappes puis restitution aux cours d'eau à la faveur des exurgences (**Fig. 1**) (**Genin et al., 2003**).

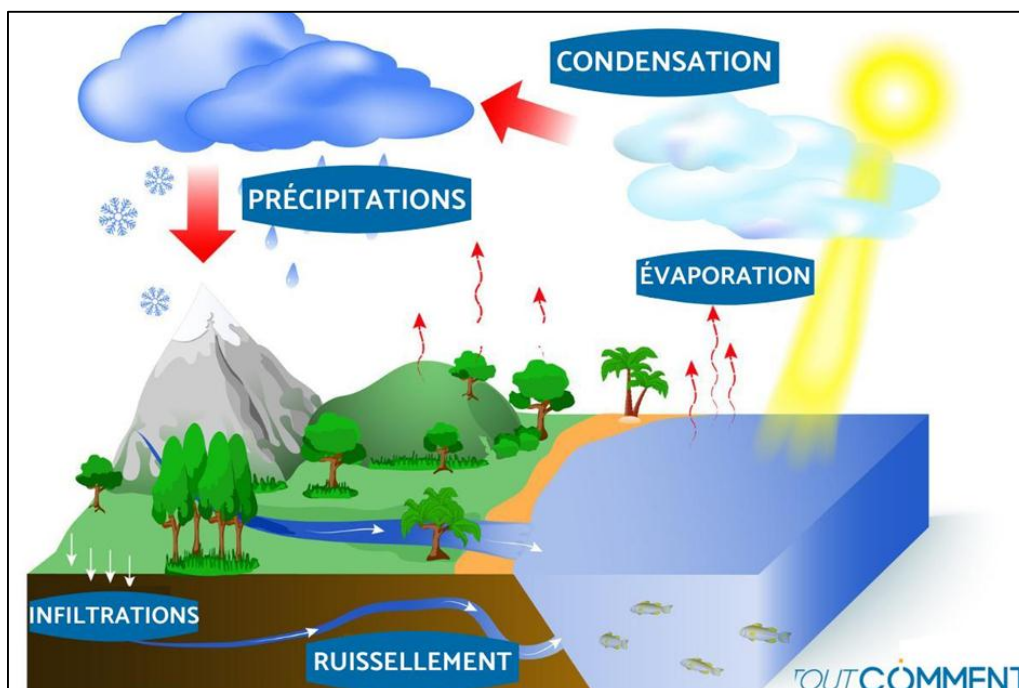


Figure 1. Différentes phases du cycle de l'eau [1].

2. Différentes sources de l'eau

Quatre sources principales d'eaux brutes : les eaux de pluie, les eaux de surface, les eaux souterraines et les eaux de mer. Les caractéristiques générales de chacune de ces sources reflètent l'interaction de l'eau et du milieu environnant (**Desjardins, 1997**).

2.1. Eaux de pluie

Les eaux de pluie sont des eaux de bonne qualité pour l'alimentation humaine. Elles sont saturées d'oxygène et d'azote et ne contiennent aucun sel dissous. Comme les sels de magnésium et de calcium ; elles sont donc très douces. Dans les régions industrialisées, les

eaux de pluie peuvent être contaminées par des poussières atmosphériques (**Desjardins, 1997**).

2.2. Eaux souterraines

Les eaux souterraines, enfouies dans le sol, sont habituellement à l'abri des sources de pollution. Les eaux souterraines sont de turbidité faible où elles bénéficient d'une filtration naturelle dans le sol. Elles présentent aussi une contamination bactérienne faible, température constante et dureté souvent élevée (**Desjardins, 1997**).

2.3. Eaux de surface

Depuis l'invention de la limnologie, les eaux de surface sont divisées par les chercheurs en deux grandes familles, d'une part les eaux courantes, d'autre part les eaux stagnantes. Les premières sont habituellement appelées cours d'eau et les secondes plans d'eau. Le terme de plan d'eau a l'avantage d'être englobant si bien qu'il regroupe généralement toutes les «collections d'eau» stagnante quel que soit le critère utilisé ensuite pour fonder la classification, les plus classiques étant l'opposition entre plans d'eau naturels et artificiels, ou le caractère distinctif de la taille, ou encore l'usage. Les auteurs ont eux-mêmes, discuté ces critères et les termes qui en découlent, pour justifier les appellations de lac, étang, mare, marais et quelques autres. Le terme de plan d'eau sera donc employé ici au sens de collection d'eau stagnante, d'origine naturelle ou anthropique, retenu dans une cuvette ou derrière un barrage, d'une superficie supérieure à un are (**Bartout and Touchart, 2013**).

2.4. Eaux de mer

Les eaux de mer sont une source d'eau brute qu'en n'utilise que lorsqu'il n'y a pas moyen de s'approvisionner en eau douce. Les eaux de mer sont caractérisées par leurs concentrations en sels dissous ; c'est ce qu'on appelle leur salinité. La salinité de l'eau n'est pas la même dans toutes les mers (**Desjardins, 1997**).

3. Pollution de l'eau

(**Leynaud and Verrel, 1980**) Définissent la pollution comme suit : «la notion de la pollution ne se réfère pas à la pureté des eaux ni même à leurs aptitudes, mais aux modifications de leurs caractéristiques dues aux actions humaines. Un cours d'eau est considéré comme étant pollué lorsque la composition ou l'état de ses eaux sont directement ou indirectement modifiées par l'action de l'homme dans une mesure telle que celles-ci se prêtent moins facilement à toutes les utilisations auxquelles elles pourraient servir à leur état naturel, ou à certaines d'entre elles ».

3.1. Origine

3.1.1. Pollution domestique

Elle provient des habitations. Elle est en général véhiculée par un réseau d'assainissement, qui collecte les rejets de chaque foyer ou centre d'activité, vers une station de traitement des eaux usées. Elle se caractérise par des fortes teneurs en matières organiques, des sels minéraux, dont l'azote et le phosphore, des détergents et des germes fécaux (**Genin et al., 2003**).

3.1.2. Pollution par les eaux pluviales urbaines

Apparue depuis qu'il existe des réseaux de collecte spécifique, avec des points de concentration des rejets, elle engendre de graves perturbations, surtout lorsqu'elle prend une importance relative plus grande (rejets domestiques mieux traités). Ces rejets sont caractérisés par une teneur importante en matières minérales en suspension (sables, graviers, poussières), la présence de nombreux détritiques solides ou flottants de petite taille et une concentration forte en toxiques et hydrocarbures (lessivage de parking, résidus d'échappement des véhicules, résidus de corrosion des équipements métalliques, etc.) (**Genin et al., 2003**).

3.1.3. Pollution industrielle

Les activités industrielles rejettent un bon nombre de substances qui vont polluer nos rivières et nos nappes, parfois d'une manière intensive que l'on n'en connaît pas les effets à long terme. Les rejets industriels renferment des produits divers sous forme insoluble ou soluble d'origine minérale et/ou organique, à caractère plus ou moins biodégradable et parfois toxique même à très faible concentration (**Genin et al., 2003**).

3.1.4. Pollution par les activités agricoles

Elle utilise des engrais chimiques azotés et phosphorés, des produits phytosanitaires destinés à protéger les cultures, ces produits parfois toxiques lorsqu'ils sont utilisés en excès vont contaminer en période de pluie les eaux de surface et les eaux souterraines par infiltration (**Bouchemal and Hammoudi, 2016**).

3.2. Différents polluants de l'eau

3.2.1. Polluants physiques

Les polluants physiques sont les éléments solides entraînés par l'eau. C'est une pollution due aux décharges des déchets et des particules solides apportés par les eaux de ruissellement. Elle provient aussi des opérations de dragage et de l'érosion. Les polluants

solides rejetés dans le milieu aquatique peuvent être classés selon leur nature et leur taille soit industrielle, soit domestique (**Bouzit, 2012**).

3.2.2. Polluants chimiques

Ces polluants sont des rejets de produits chimiques à la fois d'origine industrielle et domestique. Le danger de ces polluants dépend de leur nature biochimique. Certains sont hydrosolubles, facilement dilués et donc leur action est minime. D'autres sont liposolubles avec un pouvoir de se concentrer au niveau des lipides et par conséquent, ils vont emprunter la chaîne trophique (**Bouzit, 2012**).

3.2.3. Polluants biologiques

Les pollutions biologiques ont une origine commune : les manifestations de la vie, végétale et animale. Tous les êtres vivants abandonnent des éléments organiques ; certains excrètent des composés chimiques résultant des métabolismes vitaux et, chaque jour, des milliards de micro-organismes. Ces résidus sont abandonnés sur le sol ou bien sont enfouis dans le sol ou bien encore sont entraînés par le ruissellement et ils finissent par gagner ou les cours d'eau superficiels ou les circulations aquifères souterraines, après avoir subi des modifications physiques, chimiques ou biologiques (**Chartier, 1974**).

4. Critères de la qualité des eaux potables

4.1. Paramètres physicochimiques

4.1.1. pH

Le pH permet de déterminer l'acidité ou l'alcalinité d'une eau et il conditionne l'équilibre physico-chimique. Les eaux minéralisées ont généralement un pH légèrement alcalin, alors que les eaux contenant des teneurs élevées en matières organiques naturelles peuvent présenter des variations de pH très importantes (**Gueroui, 2015; Legube, 2015**).

4.1.2. Température

La température de l'eau est un paramètre très important, elle joue un rôle dans l'augmentation des activités chimiques, bactériennes et de l'évaporation de l'eau. La température des eaux potables devrait être inférieure en été et supérieure en hiver à la température de l'air. (**Gueroui, 2015; Legube, 2015**).

4.1.3. Turbidité

La turbidité d'une eau est due à la présence des matières en suspension finement divisées : argiles, limons, grains de silice, matières organiques, etc. L'appréciation de

l'abondance de ces matières mesure son degré de turbidité. Celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace. Les mesures de turbidité ont donc un grand intérêt dans le contrôle de l'épuration des eaux brutes (**Rodier et al., 2009**).

4.1.4. Conductivité

La conductivité électrique d'une eau est fonction de la concentration en ions dans l'eau, donc de la minéralisation de l'eau. Sans réel danger pour la santé humaine lorsque les ions sont naturels. La conductivité électrique d'une eau s'exprime généralement en micro-Siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (**Rodier et al., 2009**).

4.1.5. Matière organique (MO)

Les matières organiques dissoutes dans l'eau proviennent souvent de l'attaque et de la décomposition par les bactéries ou des champignons inférieurs, des cadavres d'animaux et de végétaux. Mais elles peuvent également provenir du métabolisme des êtres vivants supérieurs: excréments des plantes et déjections des animaux (**Lefèvre, 1993**).

4.1.6. Matière En Suspension (MES)

Elle représente les matières qui ne sont ni à l'état soluble ni à l'état colloïdal, donc retenues par un filtre. Les MES, qui comportent des matières organiques et minérales, constituent un paramètre important qui marque bien le degré de charge polluante (**Bourrier and Selmi, 2010**).

4.1.7. Alcalinité

A l'inverse de l'acidité, l'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases et de sels d'acide faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement à la présence d'hydrogencarbonates, carbonates et hydroxydes. D'autres sels d'acides faibles peuvent aussi être dosés et interfèrent dans la mesure : acides humiques, phosphates citrates, tartrates... la silice ionique peut aussi interférer notamment lorsque le pH est supérieur à 8.5 (**Rodier et al., 2009**).

4.1.8. Dureté

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Dans la plupart des cas la dureté est surtout due aux ions calcium et magnésium auxquels s'ajoutent quelque fois les ions fer, aluminium, strontium (**Rodier et al., 2009**).

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

Le magnésium accompagne souvent le calcium dans la nature, il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite) (**Gueroui, 2015**).

Le calcium est un métal alcalin terreux, est généralement l'élément dominant des eaux potables et sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés. Le calcium est retrouvé dans les eaux qui ont traversé des roches calcaires. Avec le magnésium, il est responsable de la dureté de l'eau (**Zeghaba et al., 2018**).

4.1.10. Chlorure (Cl^-)

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution. Ils ont une influence sur la faune et la flore aquatique ainsi que sur la croissance des végétaux (Makhoukh et al, 2011). Le chlore existe dans toutes les eaux à des concentrations très variables (**Zeghaba et al., 2018**).

4.1.11. Ammonium (NH_4^+)

L'ammonium constitue le produit de la réduction finale des substances organiques azotées et de matière inorganique dans les eaux et les sols. Il provient également de l'excrétion des organismes vivants et de la réduction et la biodégradation des déchets, sans négliger les apports d'origine domestique, industrielle et agricole (**Guermah and Tadjadit, 2017**).

4.1.12. Nitrate (NO_3^-)

Les nitrates sont naturellement présents dans les eaux (cycle de l'azote) mais à une concentration de quelques mg/l, pouvant être considérée comme normale. Les concentrations bien plus importantes relevées depuis plusieurs décennies et (depuis longtemps) en progression de 1 à 2 mg/l supplémentaire par année (quel que soit le type d'eau), sont liées à l'utilisation excessive des engrais en zone agricole et au développement également excessif de l'élevage, auxquels il faut ajouter la pollution des rejets urbains et parfois industriels (**Legube, 2015**).

4.1.13. Nitrite (NO_2^-)

Ils représentent la forme du passage entre les nitrates et l'ammonium. Il s'agit d'une forme toxique, moins oxygénée et moins stable (**Gueroui, 2015**).

4.1.14. Phosphate (PO_4^{3-})

Le phosphore est un élément assez rare mais indispensable à tous les êtres vivants. Il est assimilable par les êtres vivants sous forme oxydée ou sous forme organique dans la nature. Sa présence dans l'eau est liée aux rejets urbains ou à la dissolution des engrais (NPK), et elle favorise la croissance des algues dès que l'eau est exposée à la lumière : phénomène d'eutrophisation (**Gueroui, 2015**).

4.1.15. Sulfate (SO_4^{2-})

La présence des ions sulfates dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuses. La fixation d'une référence de qualité sur les sulfates dans les eaux potables est guidée par le souci de préserver le goût et de limiter la corrosion (**Legube, 2015**).

4.1.16. Fer (Fe^{2+})

Le fer est un élément assez abondant dans les roches sous forme de silicates, d'oxydes et hydroxydes, de carbonates et de sulfures. La présence de fer dans l'eau peut favoriser la prolifération de certaines souches de bactéries qui se fixent sur les parois des canalisations et entraînent les phénomènes de corrosion avec formation de concrétions volumineuses et dures (**Rodier et al., 2009**).

4.2. Paramètres bactériologiques

4.2.1. Flore Mésophile Aérobie Totale :

Cette dénomination (anciennement « germes totaux») inclut toutes les bactéries aérobies mésophiles et hétérotrophes capables de se développer à 22°C et à 37 °C (**Legube, 2015**). Il fournit une estimation du nombre de microorganismes qui peuvent se développer à des températures mésophiles. Le dénombrement de ces bactéries peut être utilisé pour évaluer la qualité sanitaire (**Mendonca et al., 2020**).

Le dénombrement des germes revivifiables, nommés également mésophile aérobie en fonction de leurs conditions de développement, est utilisé comme indicateur de pollution, soit dans les milieux naturels de très bonne qualité microbiologique pour contrôler une possible contamination bactérienne. Ce sont essentiellement des eaux souterraines des nappes profondes qui seront ainsi contrôlées, soit dans les réseaux où une augmentation de la concentration bactérienne après la station de traitement peut être le signe d'une multiplication bactérienne dans le réseau ou d'une intrusion de bactéries à l'intérieur de celui-ci (**Rejsek, 2002**).

4.2.2. Coliformes totaux

Les coliformes sont des bactéries à Gram négatif, oxydase négatif, non sporulées, aérobies ou anaérobies facultatives. Le groupe coliforme n'est pas un groupe taxonomique valide distinct, mais il est défini fonctionnellement comme des organismes qui fermentent le lactose avec la production de gaz et d'acide à 35°C. Les membres du groupe coliforme comprennent *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Escherichia* et *Klebsiella*. Certaines définitions ajoutent également *Serratia* et *Hafnia* au groupe des coliformes. Beaucoup de ces bactéries se trouvent naturellement dans les intestins des humains et des animaux, et certains sont même présents naturellement dans le sol et l'eau (Eden, 2014).

Le terme de « coliformes fécaux » ou de « coliformes thermo-tolérants » correspond à des coliformes qui présentent les mêmes propriétés (caractéristiques des coliformes) après incubation à la température de 44°C. Le groupe des coliformes fécaux comprend entre autres les espèces suivantes : *Escherichia coli*, *Enterobacter aerogenes*, *Citrobacter freundii*... (Rodier et al., 2009).

4.2.3. Streptocoques

Les streptocoques sont des cocci à Gram positif, disposés en chainettes. Ils sont anaérobies aérotolestants, immobiles, non sporulés, catalase négatifs. Certaines espèces sont des commensaux du tube digestif humain (Streptocoques du groupe D et Enterocoques), de la muqueuse buccale et génitale (Streptocoques du groupe B), de l'arbre respiratoire. D'autres sont des pathogènes humains (*S. pyogenes*). Les streptocoques commensaux sont des germes pathogènes opportunistes (Carip et al., 2015).

Chez l'homme, les maladies associées aux streptocoques surviennent principalement dans les voies respiratoires, la circulation sanguine ou sous forme d'infections cutanées. La maladie humaine est le plus souvent associée aux streptocoques du groupe A (Baron, 1996).

4.2.4. Anaérobies sulfito-réducteurs (*Clostridium*)

Les clostrides sont des bacilles anaérobies stricts et sporulés. La spore est de grande taille, elle est parfois plus grande que la bactérie. *Clostridium spp* sont des bactéries que l'on trouve largement dans la nature, en particulier dans le sol, les eaux usées, les tissus en décomposition et le tractus gastro-intestinal des humains et d'autres animaux. Les principales clostridies pathogènes pour l'homme sont : *C. tetani*, *C. botulinum*, *C. perfringens*, *C. difficile* (Carip et al., 2015; Mendonca et al., 2020).

C. perfringens cause la gangrène gazeuse et le syndrome d'intoxication alimentaire; *C. botulinum* cause le botulisme, une cause de paralysie flasque ; *C. tetani* cause le tétanos, une

cause de paralysie rigide ; *C. difficile* est une cause fréquente de diarrhée ou de diarrhée associée à l'hôpital qui survient après la prise d'antibiotiques (**Mendonca et al., 2020**).

5. Traitement des eaux potables

5.1. Importance du traitement des eaux

Ce traitement a souvent un double but. Le premier objectif consiste à faire précipiter certaines matières organiques ou minérales qui s'oxydent avec l'élément rajouté dans l'eau. Ces résidus seront ainsi mieux filtrés. Le second objectif vise à détruire les microorganismes, qui vivent dans l'eau. Le Chlore est largement utilisé pour préserver l'équilibre sanitaire de l'eau potable et éviter la prolifération des microorganismes jusqu'au robinet. C'est pourquoi la concentration en Chlore est ajustée en fonction de l'évolution de la qualité microbiologique de l'eau (**Pierre-Alexandre, 2010**).

5.2. Procédés de traitement des eaux potables

5.2.1. Captage

Les captages sont majoritairement réalisés dans les nappes souterraines. Ces dernières, en effet, présentent des avantages indéniables : leur eau, épurée par le sol, est généralement de bonne qualité et moins vulnérable aux pollutions. Cependant l'eau brute captée en milieu naturel n'est pas toujours potable. Elle doit alors être acheminée par des canalisations jusqu'à une unité spécialisée dans le traitement de l'eau, qui la rend "potable" c'est à dire consommable sans risque (**Kettab, 1992**).

5.2.2. Prétraitement

Il consiste à faire un dégrillage et un dessablage afin d'éliminer les particules de grosse taille, les branches, le sable... Ensuite l'eau passe dans un bassin de sédimentation ou bassin de débouage afin que les particules supérieures à 1 micron de diamètre se décantent naturellement (**Kettab, 1992**).

5.2.3. Dégrillage

A l'amont de prétraitement, les prises d'eau de surface nécessitent un dégrillage afin de retenir les matières volumineuses (flottants, feuilles, mortes, etc.) et d'empêcher la pénétration de poissons. Cette opération est à effectuer avant la station de pompage afin de protéger d'abord les pompes et ensuite d'alléger les étapes ultérieures de prétraitement (**Fig. 2**) (**Bourrier and Selmi, 2010**).



Figure 2. Procédé de dégrillage pour le traitement des eaux potables [2].

5.2.4. Dessablage

L'élimination des sables présents dans les eaux brutes est une opération indispensable pour éviter les dépôts dans les aménagements et installations, protéger les pompes et autres organes mécaniques contre l'abrasion et éviter de perturber les autres stades de traitement. En théorie, le dessablage repose sur les vitesses de sédimentation ou vitesses de gravitation des particules plus lourdes que l'eau (**Fig. 3**) (**Bourrier and Selmi, 2010**).



Figure 3. Procédé de dessablage pour le traitement des eaux potables [3].

5.2.5. Débourbage

Le débourbage est une étape de séparation solide-liquide qui précède la clarification des eaux de surface particulièrement chargées lorsque la décantation classique en un seul étage n'est plus possible. Le but de cette pré-décantation est d'éliminer la majorité des matières en

suspension de l'eau brute, d'en assurer l'évacuation sous forme de boues concentrées et de fournir à l'étape de décantation principale une eau de qualité acceptable (**Monod, 1989**).

5.2.6. Tamisage

Le tamisage est une opération préconisée sur les eaux peu chargées en matières en suspension avant leur traitement. Les particules sont classées selon leur nature et leur taille, ou maille (**Bourrier and Selmi, 2010**).

5.2.7. Aération

L'aération permet de mélanger l'air à l'eau pour favoriser les réactions d'oxydation, enlever les gaz dissous ou éliminer les goûts et odeurs. L'aération peut être installée en tête de la chaîne de traitement de l'eau comme étape de pré-oxydation. Cette aération est nécessaire lorsque l'eau présente une carence en oxygène. L'aération peut aussi faire partie intégrante d'une étape de traitement spécifique et se trouver alors au milieu de la chaîne du traitement de l'eau. Enfin, l'aération peut compléter la chaîne de traitement de l'eau afin de la rendre plus agréable au goût. Elle se situe alors avant la réserve d'eau traitée et sa distribution dans le réseau (**Bourrier and Selmi, 2010**).

5.2.8. Pré-chloration

La pré-chloration des eaux brutes, en particulier les eaux provenant de barrages-réservoirs, qui présentent une teneur élevée en matière organique, améliore le processus de coagulation et floculation et la décantation. La pré-chloration de l'eau présente globalement plus d'inconvénients que d'avantages : elle s'accompagne de la production de composés organohalogénés qui diminuent l'activité biologique des filtres aux dépens de l'action du chlore, de l'action d'oxydation de l'azote ammoniacal (formant des chloramines), de l'action de l'arsenic et de l'action des métaux lourds associée à la coagulation, la décantation et la filtration, en particulier lorsque la dose de chlore utilisée est légèrement supérieure à celle correspondant au point critique (**Bourrier and Selmi, 2010**).

5.2.9. Coagulation-floculation

La coagulation et la floculation sont deux opérations indissociables et particulièrement primordiales en traitement des eaux de surface. L'objectif est de contribuer à l'élimination de la turbidité, des matières organiques dissoutes, de certains micropolluants minéraux (métaux lourds, fluor, arsenic) ainsi que des microorganismes à l'aide des étapes de clarification placées en aval (**Fig. 4.**) (**Legube, 2015**).

a. Coagulation

La charge électrique et la couche d'eau qui entourent les particules hydrophiles tendent à éloigner les particules les unes des autres et par conséquent, à les stabiliser dans la solution. Le but principal de la coagulation est de déstabiliser ces particules pour favoriser leur agglomération (**Desjardins, 1997**).

b. Flocculation

Après avoir été déstabilisées, les particules colloïdales ont tendance à s'agglomérer lorsqu'elles entrent en contact les unes avec les autres. Le taux d'agglomération des particules dépend de la probabilité des contacts et de l'efficacité de ces derniers. La flocculation a justement pour but d'augmenter la probabilité des contacts entre les particules, lesquels sont provoqués par la différence de vitesse entre ces particules (**Desjardins, 1997**).



Figure 4. Procédé de coagulation-flocculation pour le traitement des eaux potables [4].

5.2.10. Décantation

La décantation est un processus de séparation des solides et des liquides qui repose sur le principe basique de la pesanteur. Les matières organiques ou minérales grenues et les matières flocculeuses en suspension chutent au fond du bassin ou demeurent en suspension dans les eaux (**Fig. 5**). La décantation gravitaire tient une place primordiale dans les filières de traitement d'eaux de surface pour la production d'eau potable. Elle est toujours précédée de la double opération de coagulation/flocculation et toujours suivie d'une filtration. La décantation est parfois remplacée par la flottation (**Legube, 2015**).



Figure 5. Procédé de coagulation-floculation pour le traitement des eaux potables [5].

5.2.11. Filtration sur sable

La filtration sur sable est un procédé destiné à clarifier un liquide qui contient des MES en le faisant passer à travers un milieu poreux constitué d'un matériau granulaire. La rétention des particules est possible grâce à l'espace intergranulaire du matériau (Cardot, 2001).

5.2.12. Désinfection (Post-chloration) :

La désinfection est une étape primordiale en production d'eau potable. Elle est toujours utilisée quels que soient les types de filière de traitement et de ressource. C'est la première priorité du traiteur d'eau dont l'objectif est de produire et distribuer une eau exempte de germes pathogènes. Elle est généralement associée à la seule injection de réactif chimique avant distribution. Toutefois, la clarification et les traitements d'affinage contribuent également à la désinfection, soit directement par rétention des micro-organismes ou par leur inactivation, soit en atténuant les inconvénients de la désinfection chimique de la désinfection final (Desjardins, 1997).

CHAPITRE

2

Matériel et Méthodes

Pour déterminer la qualité physicochimique et microbiologique des eaux du barrage de Bouhamdane, nous avons procédé de la manière suivante :

1. Méthodes de travail

1.1. Situation géographique

Le barrage de Hammam Debagh est situé dans la wilaya de Guelma à 25 Km à l'ouest du chef-lieu entre les coordonnées $36^{\circ}27'50.07''$ N de latitude et $7^{\circ}14'10.10''$ E de longitude avec une élévation de 363 m. Il dépend administrativement de la Daira de Hammam Debagh et de la commune de Bouhamdane, occupant une superficie totale de 700 hectares. Il est alimenté principalement par Oued Bouhamdane.

La station de traitement des eaux potables de Hammam Debagh est située à 1 km à l'amont de la localité du barrage de Hammam Debagh, à environ 2 km au Nord-ouest de l'agglomération du chef-lieu de la commune et existent sur la rive droite d'Oued Bouhamdane à 40 km, elle est mise en service en 2003. Leur surface est de 3 hectares, elle est située entre $36^{\circ}27'49.04''$ N et $7^{\circ}15'21.23''$ E avec une élévation de 296 m. La station est alimentée par le barrage Bouhamdane qui possède une capacité théorique de 220 millions de m^3 (**Fig. 6**) (**ANBT, 2022**).



Figure 6. Localisation du site d'étude.

1.2. Choix des stations de prélèvement

Pour contribuer à l'évaluation de la qualité physicochimique et microbiologique des eaux du barrage de Bouhamdane, nous avons choisi deux stations au niveau de la station de traitement des eaux potables à savoir :

- **Station (1)** : l'eau brute provenant du barrage de Bouhamdane ;
- **Station (2)** : l'eau traitée destinée à la consommation humaine.

Les analyses physicochimiques et microbiologiques ont été réalisées au niveau de la station de traitement et au niveau du laboratoire de microbiologie à l'université 8 Mai 1945 de Guelma (**Tab. 1**).

Tableau 1. Présentation des sites et période de prélèvement.

Points de prélèvement	Date de prélèvement	Heure de prélèvement
Station 1 : eau brute	27/02/2022	8h :35
	15/03/2022	8h :15
	23/03/2022	8h :25
	03/04/2022	8h :40
Station 1 : eau traitée	27/02/2022	9h :10
	15/03/2022	9h :15
	23/03/2022	9h :10
	03/04/2022	9h :20

1.3. Echantillonnage

Les résultats de l'analyse n'auront pas une interprétation correcte à moins qu'elle ne soit menée dans des conditions et des procédures très précises et qu'un échantillon soit prélevé correctement pour éviter tout type de contamination, en plus de le transporter au laboratoire et de l'analyser sans délai. Les échantillons des eaux de barrage de Bouhamdane ont été prélevés durant les mois de Mars et Avril 2022, soit un total de 16 prélèvements répartis sur 8 prélèvements pour l'eau brute et 8 prélèvements pour l'eau traitée.

Pour l'analyse physicochimique, un flacon en polyéthylène rincé avec de l'eau distillée de quantité de 1,5 L a été utilisé pour effectuer le prélèvement de l'eau. La verrerie destinée aux prélèvements d'eau de 250 ml pour l'analyse microbiologique doit être propres et bien stérilisées, soit à l'autoclave (120 °C) durant 15 minutes, soit au Four Pasteur (170 °C) durant 1 heure. Pour éviter les risques de contamination, les flacons choisis pour l'échantillonnage ne doivent être ouverts qu'au moment du prélèvement de l'eau et une fois l'opération est effectuée, ils doivent être fermés hermétiquement jusqu'au moment de l'analyse. Le flacon utilisé doit assurer, une fois bouché, une protection totale contre toute contamination.

Enfin, il est nécessaire d'écrire toutes les informations sur l'échantillon, telles que la date, l'heure, les conditions météorologiques, le nombre et toute circonstance inhabituelle,

avec précision et clarté et d'une manière qui ne peut être effacée ou supprimée. Les échantillons soigneusement étiquetés sont placés dans une glacière contenant de la glace et transportés ensuite au laboratoire. Les prélèvements seront transportés dans des glaisières dont la température doit être comprise entre 4 à 6 °C (Rodier et al., 2009).

1.4. Préparation des échantillons

Pour l'analyse physicochimique, les échantillons de l'eau sont préalablement filtrés et conservés à une température de 4°C jusqu'au moment d'analyse. Pour l'analyse microbiologique, une série de dilutions décimales (1 ml dans 9 ml d'eau physiologique) est réalisée à partir de la solution mère (eau). Au moyen d'une micropipette stérile, la dilution initiale est réalisée en prélevant puis en transférant 1 ml de l'eau dans un tube contenant 9 ml d'eau physiologique stérile. A l'aide d'une nouvelle pipette stérile, 1 ml de la première dilution est transféré dans un autre tube. D'autres dilutions décimales sont ainsi préparées jusqu'à l'obtention du nombre de dilutions requis 10^{-3} .

2. Analyse physicochimique

2.1. Paramètres électrochimiques

2.1.1. pH

Le pH est en relation avec la concentration des ions hydrogène (H^+) présent dans l'eau ou les solutions.

➤ Mode opératoire

La mesure du pH se fait à l'aide d'un pH mètre de type Adwa AD 1000 :

- Prendre environ 100 ml d'eau à analyser.
- Mettre un agitateur avec une faible agitation.
- Tremper l'électrode dans le bêcher.
- Laisser stabiliser un moment avec une faible vitesse d'agitation.
- Puis noter le pH.

2.1.2. Turbidité

La comparaison de la lumière diffusée et la lumière transmise par l'échantillon d'eau et par une gamme étalon constituée de solutions de formazine. La mesure de la lumière diffusée est significative pour les eaux de faible turbidité non visible à l'œil nu (par exemple les eaux de boisson). La mesure de la lumière transmise est significative pour les eaux de turbidité visible à l'œil nu (par exemple les eaux polluées) et pour les eaux de faible turbidité contenant des substances qui ne diffusent pas. Pour tout échantillon d'eau, la mesure de la lumière

diffusée et de la lumière transmise permet la détection de matières non dissoutes, absorbant mais diffusant mal, qui passeraient inaperçues par la seule mesure de la lumière diffusée (ANBT, 2022).

➤ **Mode opératoire**

Remplir une cuvette de mesure propre et bien essuyée avec du papier hygiénique avec l'échantillon à analyser bien homogénéisé et effectuer rapidement la mesure à l'aide d'un turbidimètre de type HACH 2100N, il est nécessaire de vérifier l'absence de bulle d'air avant la mesure. La mesure est obtenue directement en NTU (ANBT, 2022).

2.1.3. Température

Il est important de connaître la température de l'eau avec précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz. Les valeurs obtenues sont estimés en degré Celsius au niveau du forage et au laboratoire (ANBT, 2022).

➤ **Mode opératoire**

La mesure se fait à l'aide d'un conductimètre de type WTW. Emerger l'électrode dans l'échantillon et mettre l'appareil en mode Température par « X » et laisser l'appareil se stabiliser puis noter la valeur de la température.

2.1.4. Conductivité

C'est la mesure de la conductance électrique d'une colonne d'eau délimitée par deux électrodes de platine (ou couvertes de noir de platine) maintenues parallèles.

➤ **Mode opératoire**

La mesure se fait à l'aide d'un conductimètre de type WTW :

- D'une façon générale, opérer de la verrerie rigoureusement propre et rincée, avant usage, avec de l'eau distillée ;
- Rincer plusieurs fois la cellule à conductivité, d'abord avec de l'eau distillée puis en la plongeant dans un récipient contenant de l'eau à examiner ; faire la mesure dans un deuxième récipient en prenant soin que les électrodes de platine soient complètement immergées ;
- Agiter le liquide (barreau magnétique) afin que la concentration ionique entre les électrodes soit identique à celle du liquide ambiant. Cette agitation permet aussi d'éliminer les bulles d'air sur les électrodes. Le résultat est donné directement en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

2.2. Paramètres volumétriques

2.2.1. Titre Alcalimétrique, Titre Alcalimétrique Complet (TAC) et (HCO_3^-)

Ces déterminations sont basés sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur colore.

➤ Mode opératoire

Pour la détermination du TA :

- 100 ml d'eau à analyser ;
- 02 à 03 gouttes de phénolphaléine ;
- Si une coloration rose apparaît, titrez avec l'acide sulfurique n/50 jusqu'à la disparition de couleur ;
- Si la couleur n'apparaît pas le TA est égal à 0 ;
- $\text{TA}^{\circ\text{f}} = \text{V titre}$.

Pour la détermination du TAC,

- 100 ml d'eau à analyser (résultat de TA) ;
- 02 à 03 gouttes de méthylorange à 0.5% ;
- Titrer par l'acide sulfurique N/50 jusqu'au virage rouge orange ;
- $\text{TAC}^{\circ\text{f}} = \text{V titre} - 0.5$, d'où 0.5 : le volume nécessaire pour le virage de couleur de l'indicateur (**Fig. 7**).

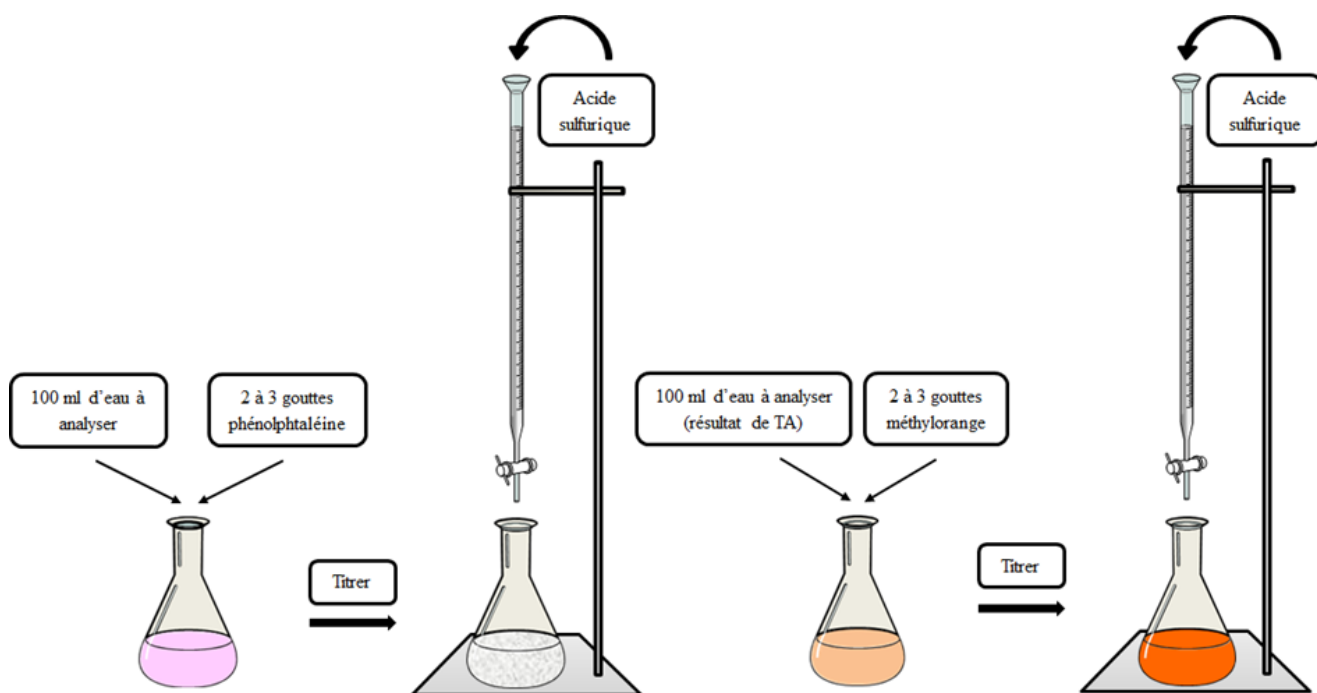


Figure 7. Détermination des TA et TAC.

Pour la détermination des bicarbonates (HCO_3^-),

$$(\text{HCO}_3^-)\text{mg/l} = \text{VA} \times \text{NA} \times \text{M}(\text{HCO}_3^-) \times \frac{1000}{\text{PE}}$$

$$(\text{HCO}_3^-)\text{mg/l} = \text{VA} \times \frac{\text{N}}{50} \times 61 \times \frac{1000}{100}$$

D'où :

V_A : Volume d'acide versé dans le titrage de TAC.

N_A : normalité d'acide versé.

MHCO_3^- : masse des bicarbonates (HCO_3^-).

P.E : prise d'essai.

2.2.2. Titre Hydrotimétrique (TH)

Les alcalino-terreux présents dans l'eau sont amènes à former un complexe du type chélate par le sel disodique de l'acide éthylène-diamine tétra acétique à $\text{pH} = 10$. La disparition des dernières traces d'éléments libres est décelée par le virage d'un indicateur spécifique en milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium, la méthode permet de dose la somme des ions calcium et magnésium (ANBT, 2022).

➤ Mode opératoire

- Prélever 100 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 2 ml de solution tampon ($\text{pH} = 9.5-10$) et quelques graines d'indicateur coloré (noir l'ériochrome T) ;
- Verser la solution d'EDTA jusqu'au virage du rouge vieux au bleu ;
- Soit V le volume de solution d'EDTA versé (Fig. 8).
- $\text{TH}^\circ \text{f} = V \text{ titre} \times 10$.

2.2.3. Détermination de la matière organique (MO)

L'opération consiste à mesurer, en milieu acide et en milieu alcalin, la quantité d'oxygène utilisée pour la réduction du permanganate de potassium par les matières organiques d'origine animale ou végétale contenues dans une eau.

➤ Mode opératoire

- Introduire dans un erlenmeyer de 500 ml, 100 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 10 ml d'acide sulfurique à 50 % ;

- Puis ajouté 10 ml de solution de permanganate de potassium N/80. Porter l'échantillon à l'ébullition ménagée pendant 10 min à partir du moment où les bulles en formation au fond du ballon viennent crever la surface du liquide ;
- Ajouter ensuite 10 ml d'acide oxalique N/80 pour décolorer ;
- Revenir immédiatement à la teinte rose faible mais persistante à l'aide d'une burette graduée, la solution de permanganate de potassium N/80 (**Fig. 9**).
- $MO (o_2/l) = V_{Ech} - V_{Blanc}$, d'où : V_{Ech} = volume de l'échantillon, V_{Blanc} = volume de l'eau distillé.

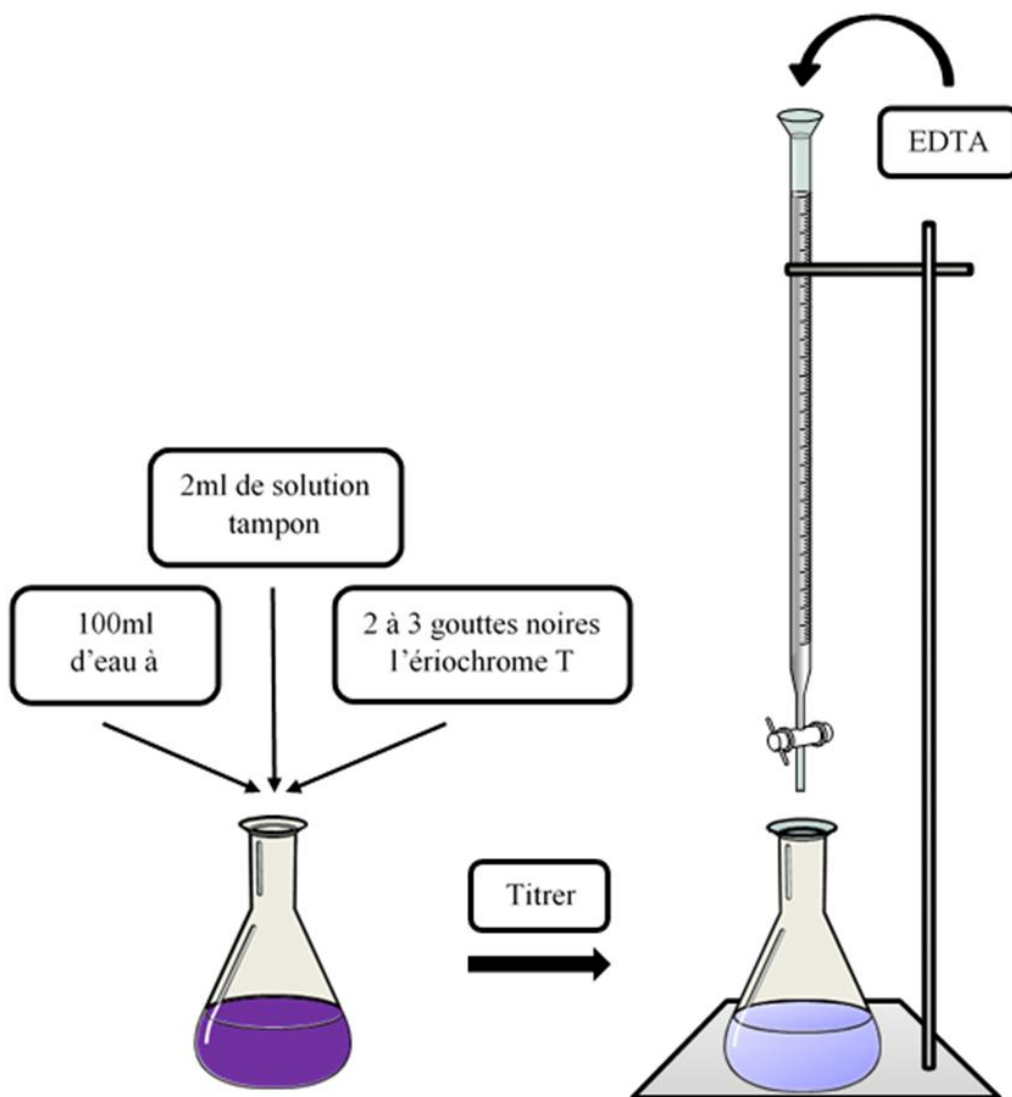


Figure 8. Détermination Titre Hydrotimétrique (TH).

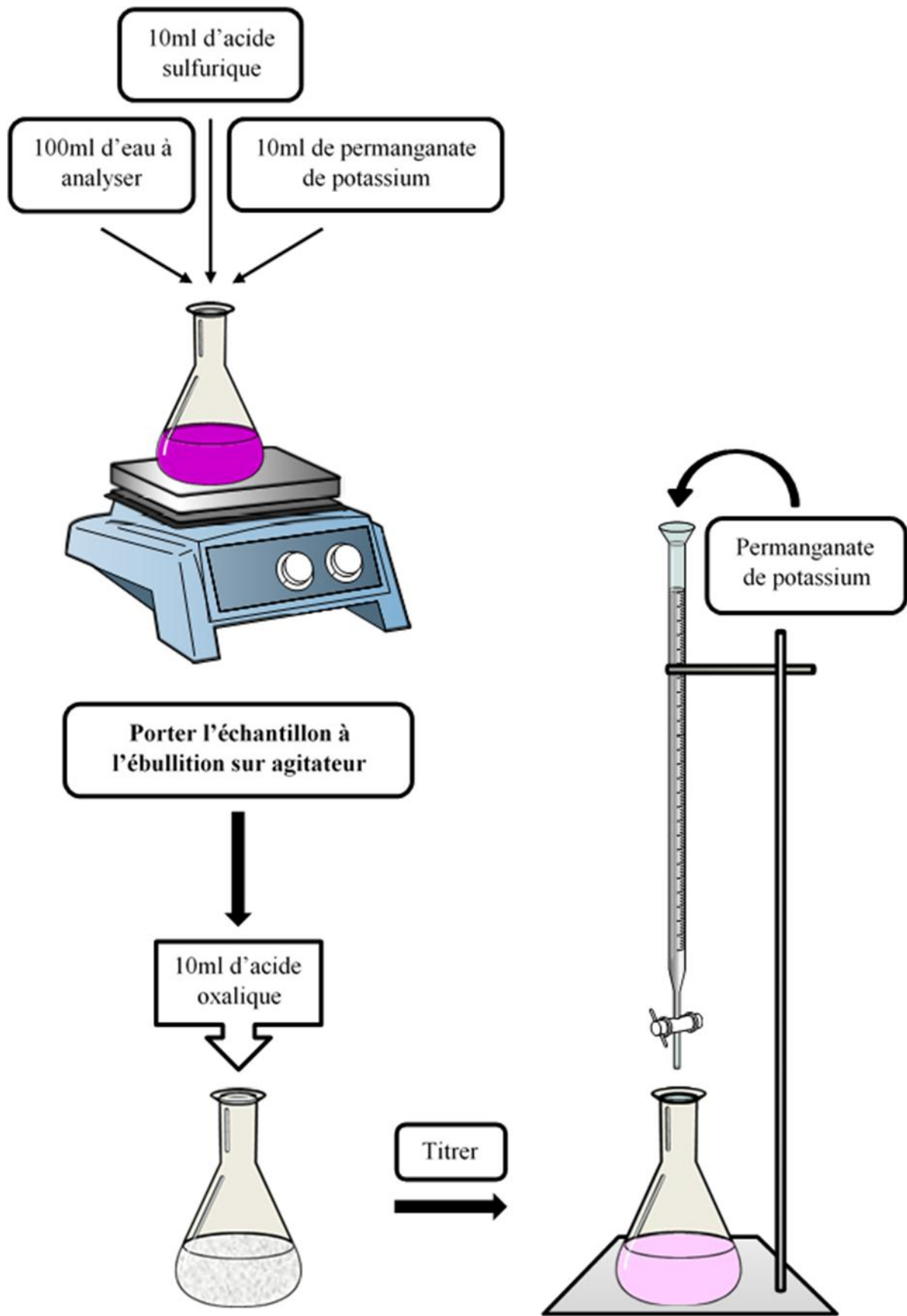


Figure 9. Détermination de la matière organique (MO).

2.2.4. Détermination du Calcium

Le principe est identique à celui de la méthode complexométrique décrite pour la dureté totale. Par ailleurs, l'indicateur choisi ne se combine qu'avec le calcium.

➤ **Mode opératoire**

- Introduire 50 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer au col large ;
- Ajouter 2 ml de solution d'hydroxyde et quelques graines d'indicateur colore ;
- Verser la solution d'EDTA jusqu'au virage du rose au violet soit V le volume de solution d'EDTA versé (**Fig. 10**) ;
- La détermination de Calcium est donnée par la formule suivante :

$$(Ca^{2+})mg/l = V_1 \times C(EDTA) \times F \times \frac{M(Ca^{2+})}{PE} \times 1000$$

D'où :

V₁ : Volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.

C : Concentration molaire d'EDTA (0,01 M/l).

M_{Ca²⁺} : Masse molaire du calcium en g.

P.E : Prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage).

F : Facteur

Donc :

$$(Ca^{2+})mg/l = V_1 \times 0.01 \times F \times \frac{40.08}{50} \times 1000$$

$$(Ca^{2+})mg/l = V_1 \times F \times 8$$

2.2.5. Magnésium

La détermination du mg/l de Magnésium est donnée par la formule suivante :

$$(Mg^{2+})mg/l = [V(TH) \times 0.2 - V(Ca^{2+}) \times 0.2] \times 24.305$$

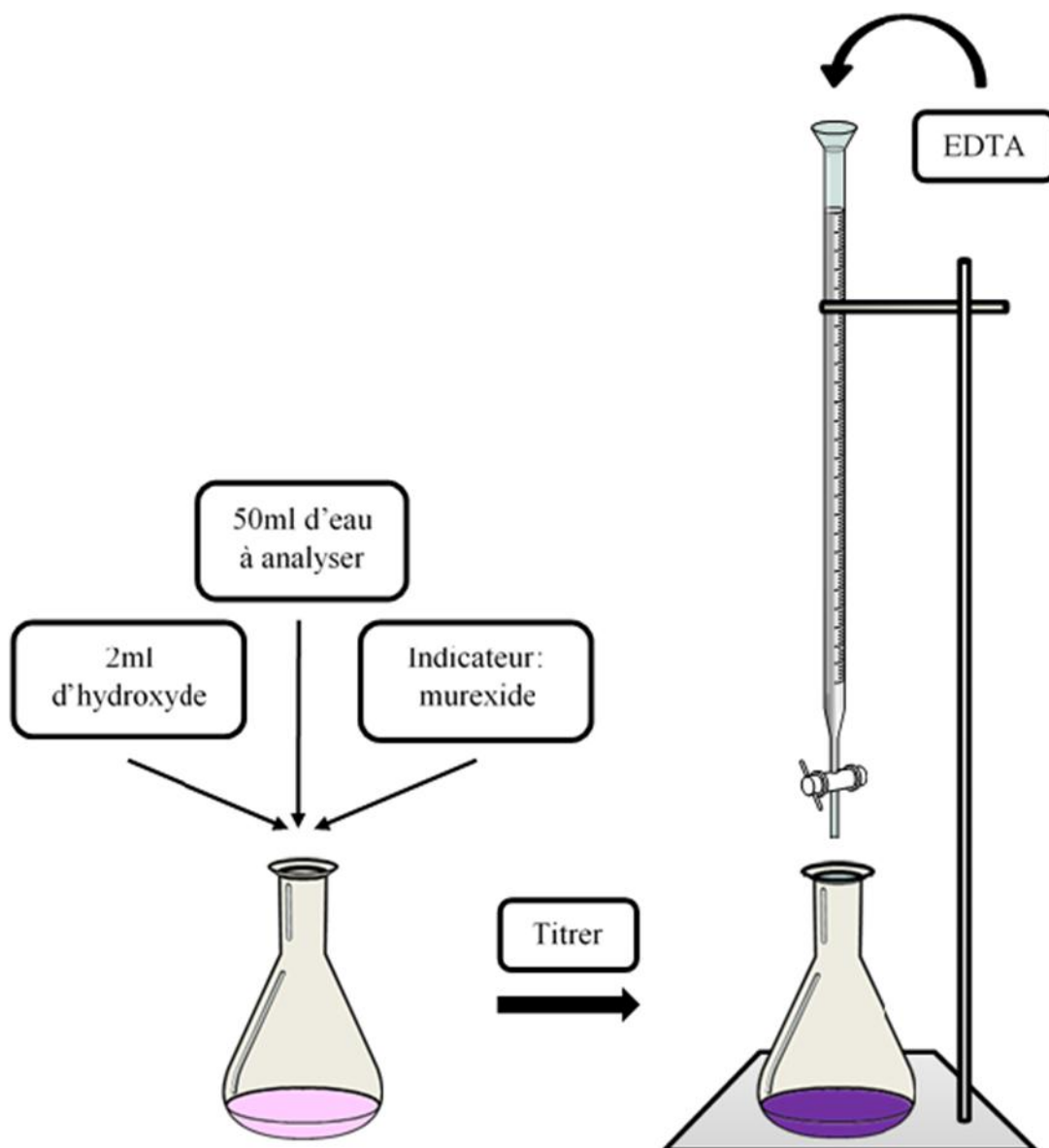


Figure 10. Détermination du calcium.

2.2.6. Détermination des Chlorures

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrates d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage.

➤ Mode opératoire

- Introduire 25 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer au col large ;
- Ajouter 02 à 03 gouttes de solution de chromate de potassium (K_2CrO_4) à 10% (coloration jaunâtre) ;

- Verser au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister 1 à 3min ;
- Soit V le nombre de millilitres de nitrate d'argent N/50 utilisés (Fig. 11).

$$\text{Cl}^- = V(\text{AgNO}_3) \times N(\text{AgNO}_3) \times \frac{M_{\text{Cl}}}{PE} = V(\text{AgNO}_3) \times 0.1 \times 35.5 \times \frac{1000}{25}$$

D'où :

V_{AgNO_3} : volume d'AgNO₃.

N_{AgNO_3} : la normalité d'AgNO₃.

M_{Cl} : la masse molaire du chlore.

PE : prise d'essai.

Teneur (mg/l) = V titre × 142

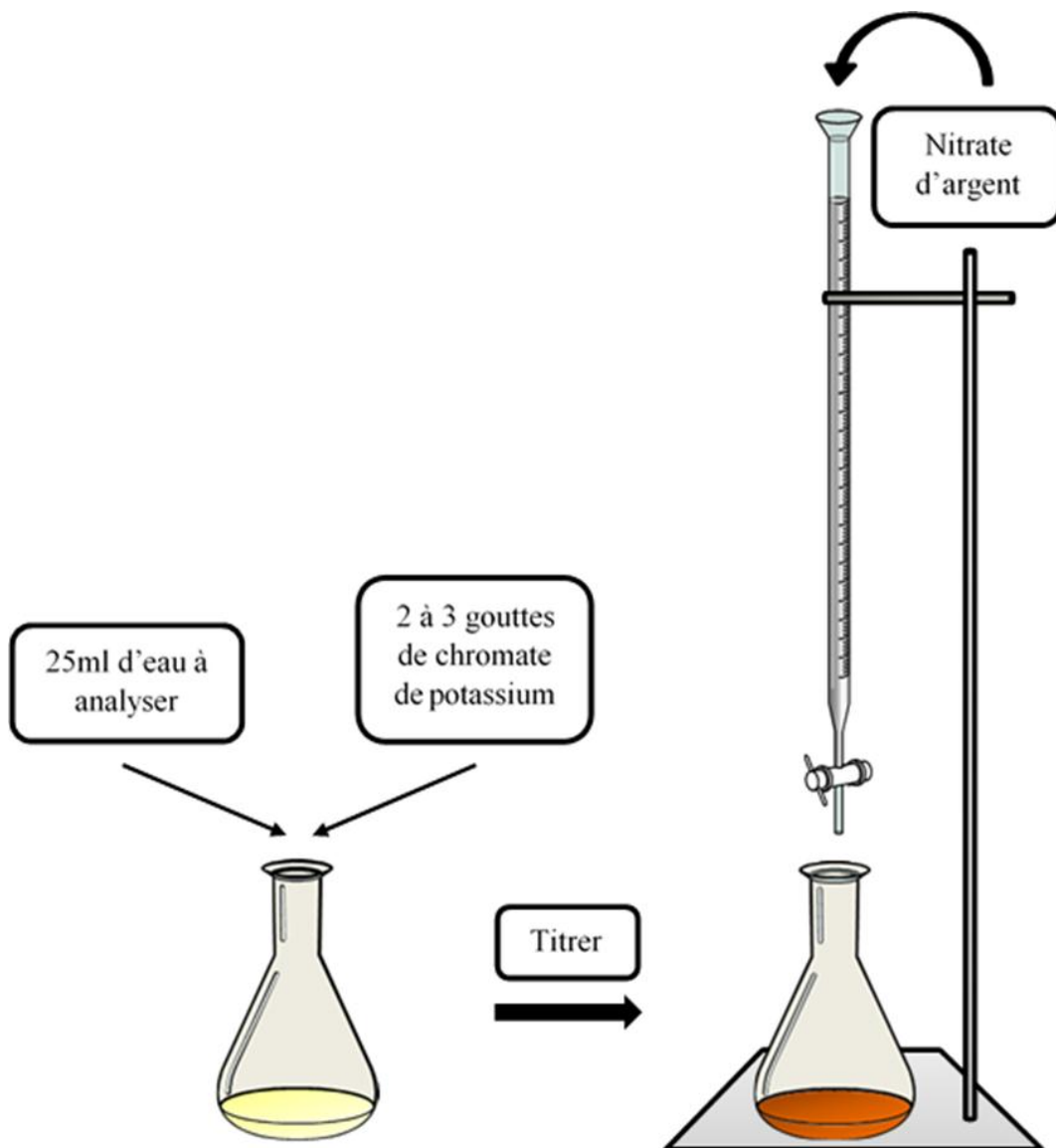


Figure 11. Détermination des chlorures.

2.2.7. Matières en suspension

L'eau est filtrée et le poids de matières retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle.

➤ Mode opératoire

- Mettre les membranes filtrantes dans une étuve à 105 °C pendant 20 mn ;
- Laisser refroidir dans le dessiccateur ;
- Ensuite les peser soit **p1** : poids des membranes avant filtration ;
- Placer les membranes dans la rampe à filtration et faire passer 200 ml d'eau à analyser à travers ;
- Rendre les membranes à l'étuve (105 °C) afin de les sécher pendant 20 min ;
- Les laisser refroidir au dessiccateur puis les peser une 2^{ème} fois soit **p2** : poids des membranes après filtration ;
- **MES (mg/l) = (p1-p2) × 5 × 1000.**

2.3. Paramètres de pollution

2.3.1. Détermination de l'Azote Ammoniacal (NH₄⁺)

C'est une mesure spectrométrique à environ 655 nm du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium.

➤ Mode opératoire

- Prendre 40 ml d'eau à analyser dans une fiole de 50 ml ;
- Ajouter 4 ml du réactif I (réactif coloré);
- Ajouter 4 ml du réactif II (Dichloroisocyanurate de sodium) et ajuster à 50 ml avec l'eau distillée et attendre 1h ;
- L'apparition de la couleur verte indique la présence de l'ammonium ;
- Effectuer la lecture à l'aide d'un spectrophotomètre UV visible à 655 nm ;
- Le résultat est donné directement en mg/l (**Fig. 12**).

2.3.2. Dosage des Nitrates (NO_3^-)

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosoulate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

➤ Mode opératoire

- Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser ;
- Ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30 % ;
- Ajouter 1 ml de salicylate de sodium ;
- Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75 - 88°C ;
- (Ne pas surcharger ni surchauffer très longtemps) laisser refroidir ;
- Reprendre le résidu avec 2 ml H_2SO_4 laissé reposer 10 mn ;
- Ajouter 15 ml d'eau distillée ;
- Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium puis passer au spectrophotomètre au 415 nm (**Fig. 13**).

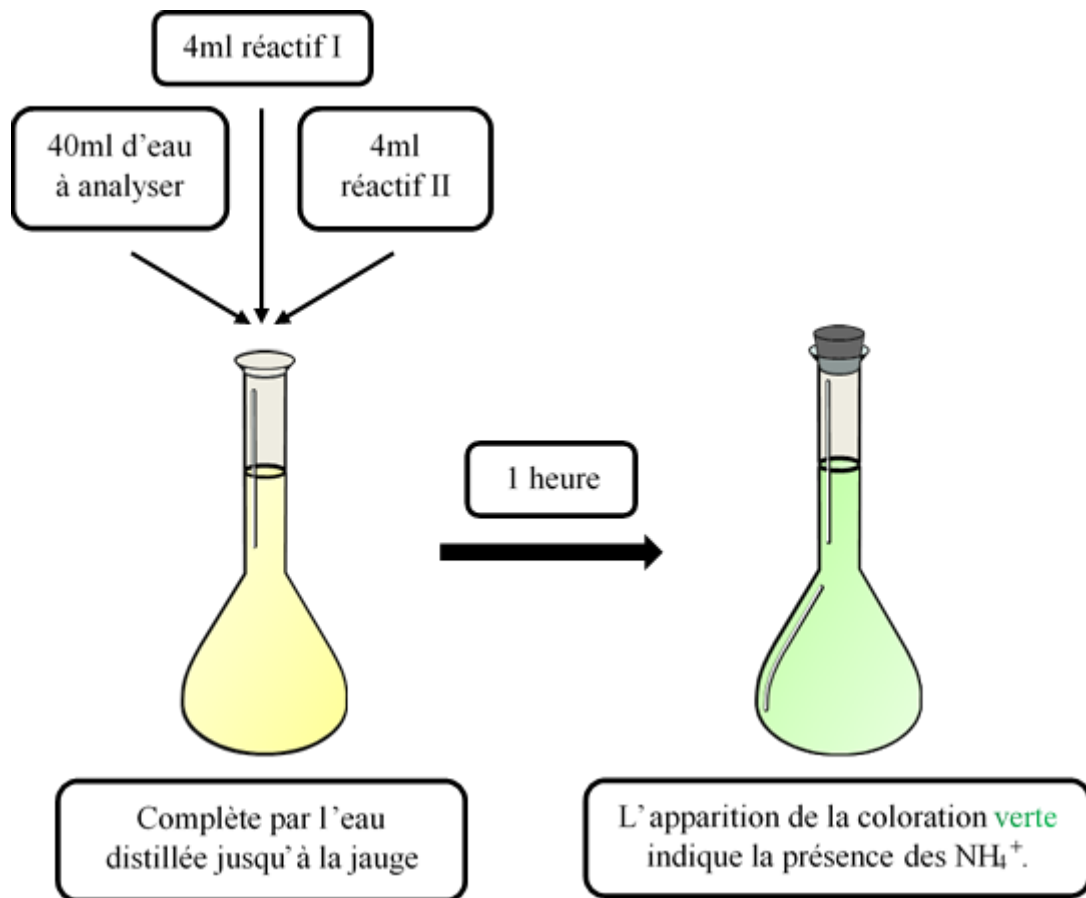


Figure 12. Détermination de l'Azote Ammoniacal (NH_4^+).

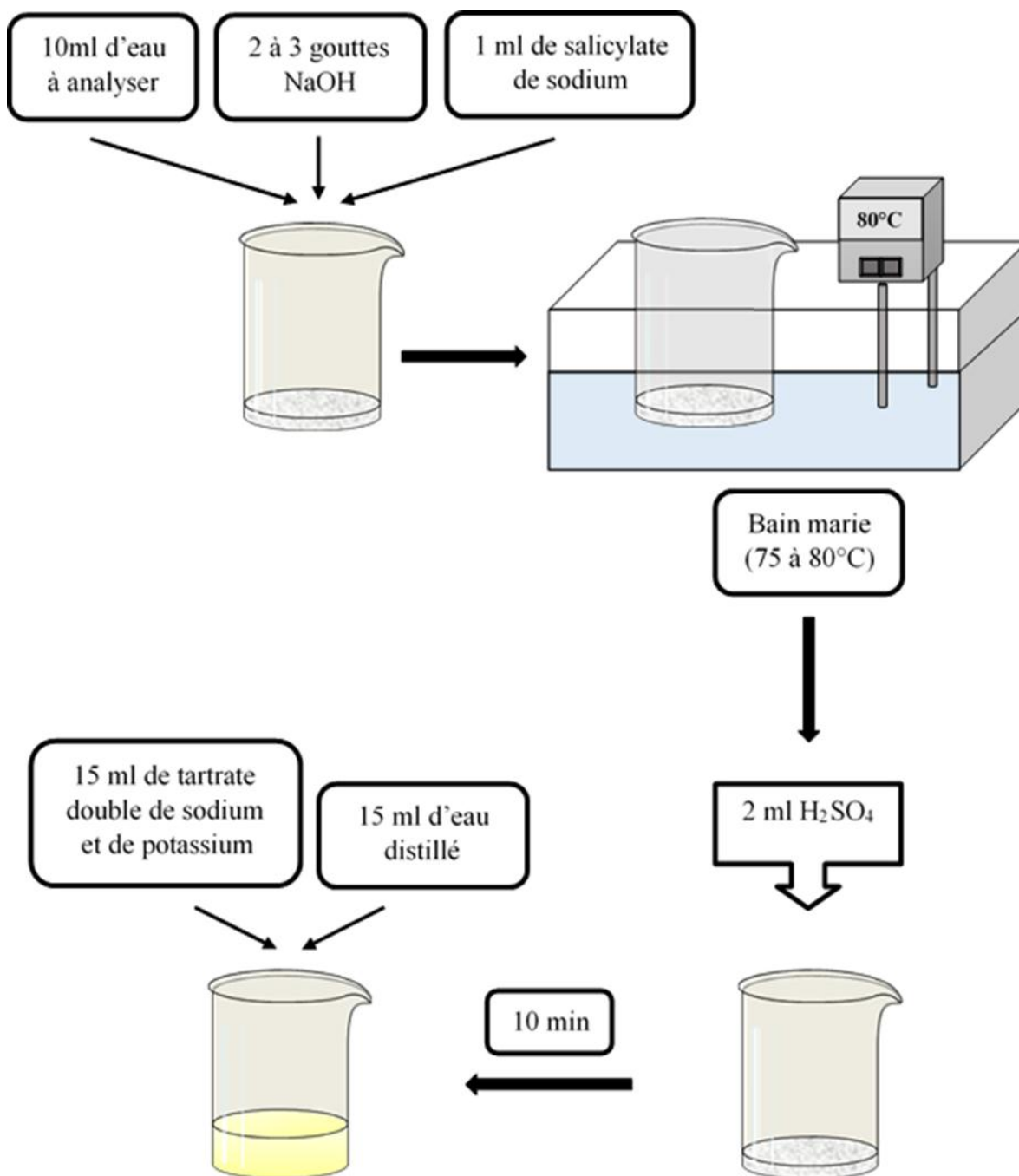


Figure 13. Détermination des nitrates (NO_3^-).

2.3.3. Détermination des Nitrites (NO_2^-)

Les ions nitrites réagissent en milieu acide avec la sulfamilade en formant sel de diazonium (diazotation) qui forme avec le N-(1-naphtyl)-éthylènediamine-dichlorohydraté un colorant azoïque rouge.

➤ Mode opératoire

- Prendre 50 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 1 ml du réactif mixte ;

- Attendre 10 mn ;
- L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO_2^- ;
- Effectuer la lecture à 543 nm ;
- Le résultat est donné directement en mg/l (**Fig. 14**).

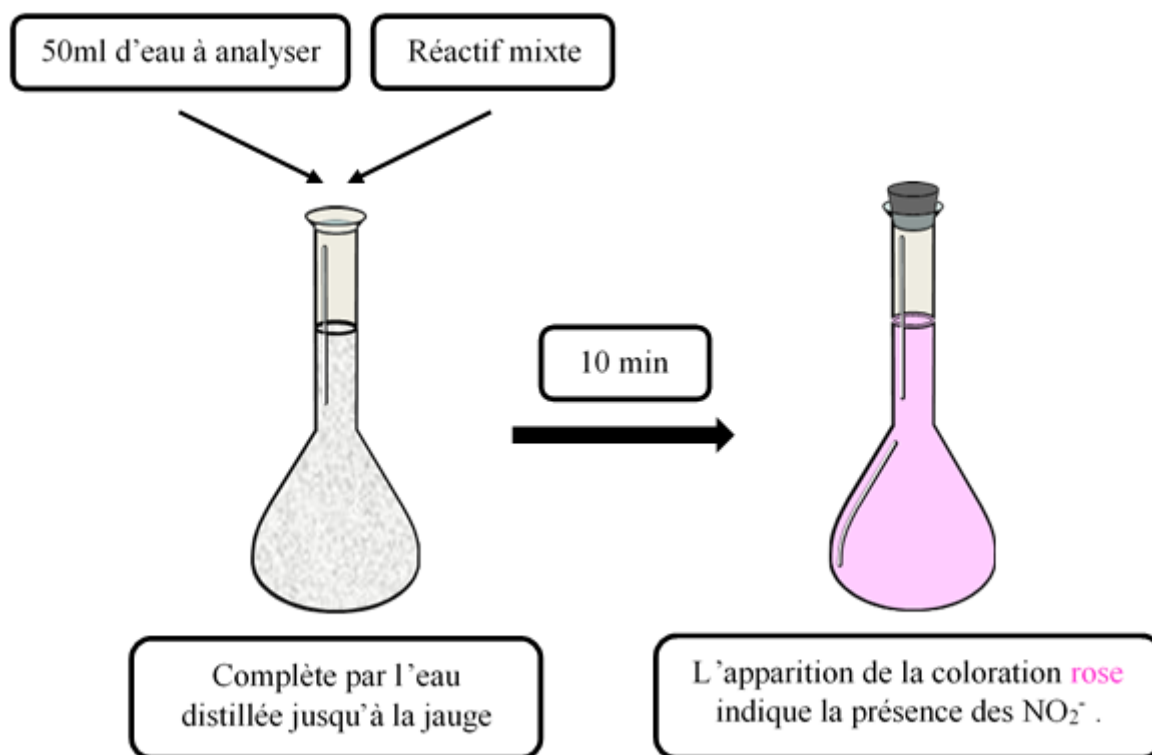


Figure 14. Détermination des nitrites (NO_2^-).

2.3.4. Détermination des Phosphates (PO_4^{3-})

C'est la formation en milieu acide d'un complexe avec le molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de potassium. La réduction par l'acide ascorbique en un complexe coloré en bleu qui présente deux valeurs maximales d'absorption (l'une vers 700 nm, l'autre plus importante à 880 nm).

➤ Mode opératoire

- Prendre 40 ml d'eau à analyser.
- 1 ml d'acide ascorbique.
- Ajouter 2 ml du réactif mixte.
- Attendre 10 mn.
- L'apparition de la coloration bleue indique la présence des PO_4^{3-} .
- Effectuer la lecture à une longueur d'onde λ à 700 ou 880 nm.
- Le résultat est donné directement en mg/l (**Fig. 15**).

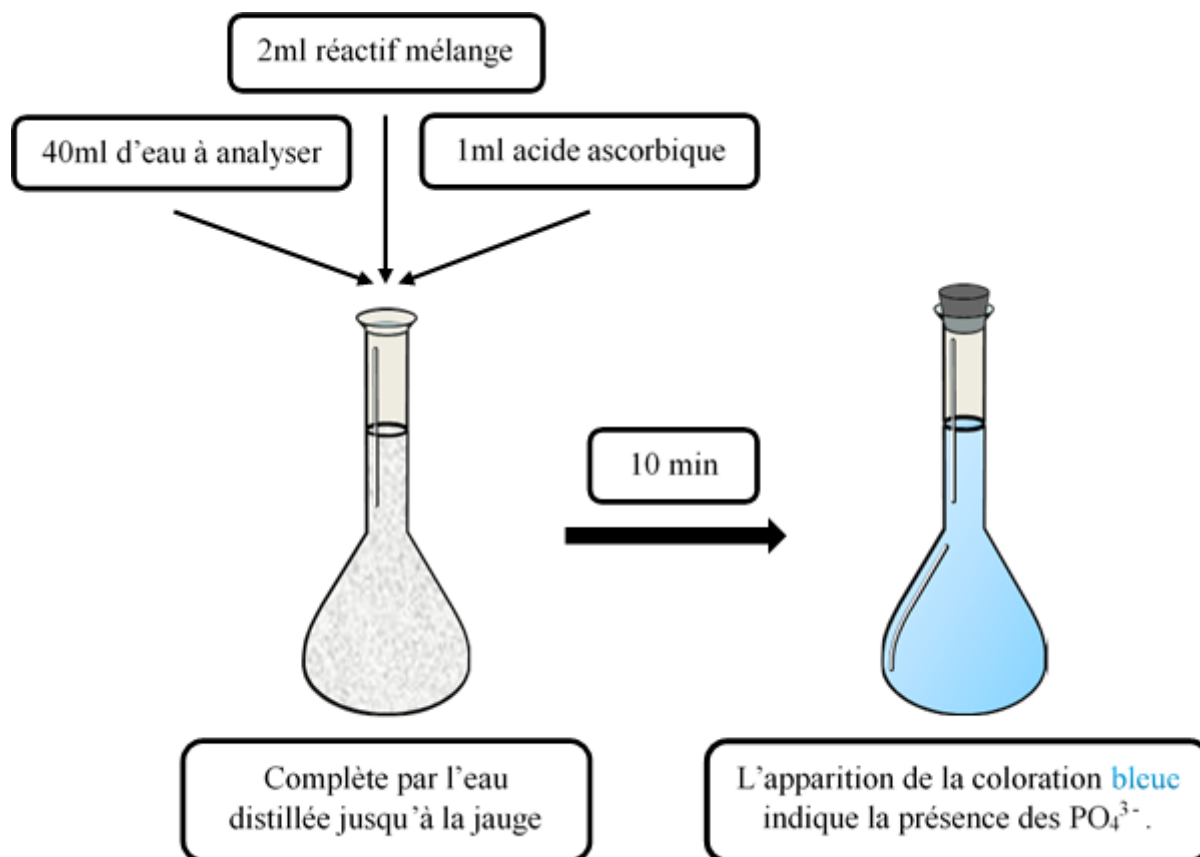


Figure 15. Détermination des Phosphates (PO_4^{3-}).

2.3.5. Détermination des Sulfates (SO_4^{2-})

Les ions sulfates sont précipités et pesés à l'état de sulfate de baryum.

➤ Mode opératoire

- Prendre 20 ml d'eau à analyser puis compléter à 93 ml d'eau distillée ;
- Ajouter 5 ml de la solution stabilisante ;
- Ajouter 2 ml de chlorure de baryum ;
- Agiter énergiquement pendant 1 mn ;
- Faire la lecture au spectrophotomètre à 420 nm (**Fig. 16**) ;
- SO_4^{2-} mg/l = la valeur lue sur le spectrophotomètre.

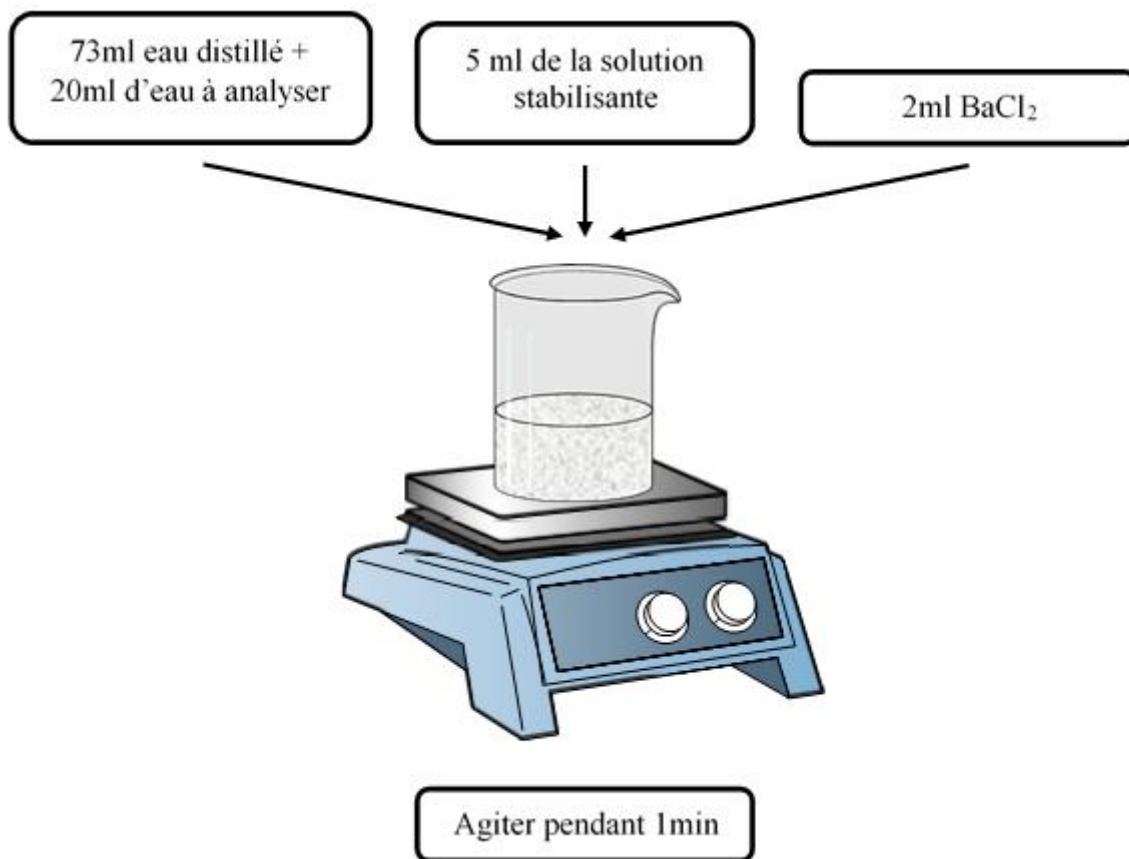


Figure 16. Détermination des Sulfates (SO_4^{2-}).

2.3.6. Détermination du Fer (Fe^{2+})

Addition d'une solution de phénanthroline-1,10 à une prise d'essai et mesurage photométrique du complexe rouge-orange à une longueur d'onde de 510nm.

Pour le dosage du fer total et du fer total dissous, du chlorhydrate d'hydroxylamine est ajouté pour réduire le Fe^{3+} en Fe^{2+} (ANBT, 2022).

➤ Mode opératoire :

- Prendre 50 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer de 100 ml ;
- Ajouter 1ml de la solution de chlorhydrate d'hydroxylamine ;
- Mélanger soigneusement. Ajouter 2ml de tampon acétate pour obtenir un pH compris entre 3,5 et 5,5 de préférence 4,5 ;
- Ajouter 2 ml de la solution de phénanthroline et conserver à l'obscurité pendant 15 min (Fig. 17) ;
- Enfin passer au spectrophotomètre pour mesurage à la longueur d'onde de 510 nm ;
- Le résultat est donné en mg/l.

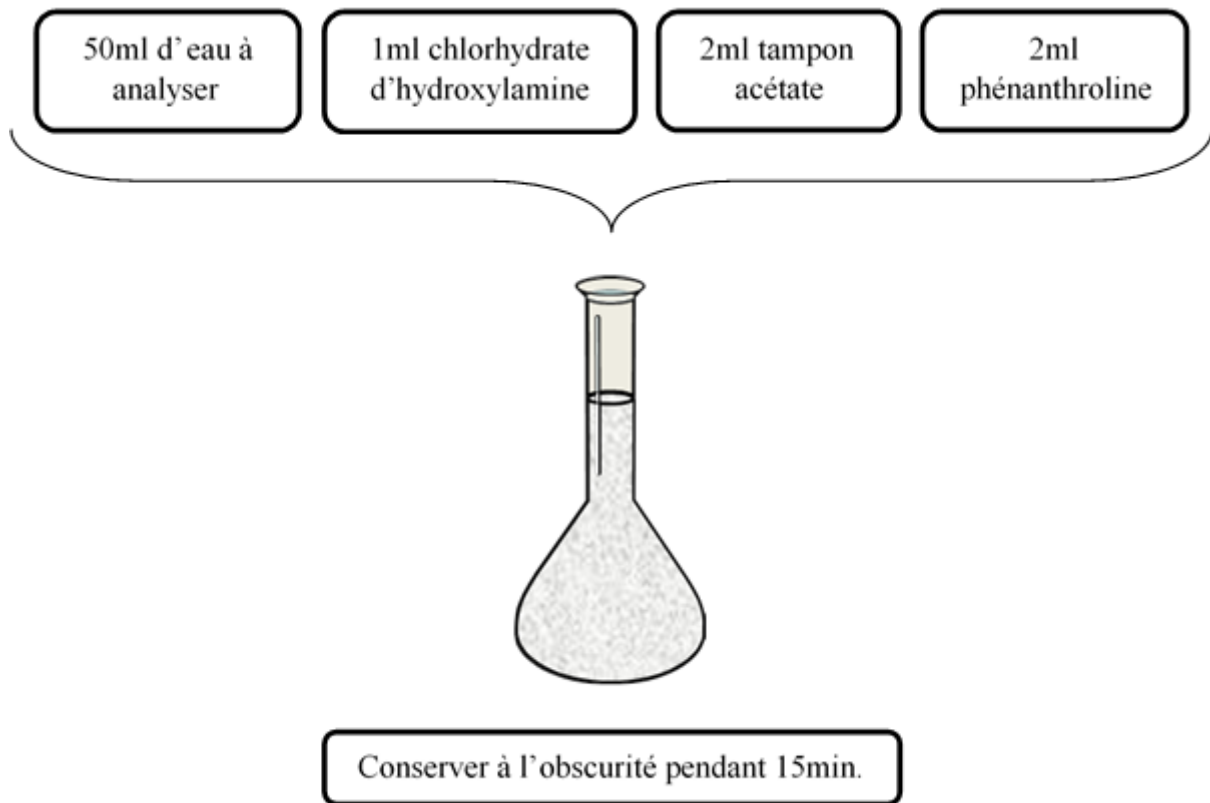


Figure 17. Détermination du Fer (Fe^{2+}).

3. Analyse bactériologique :

3.1. Recherche et dénombrement de la Flore Aérobie Mésophile Totale (FMAT)

La Flore Aérobie Mésophile Totale (FMAT) est le premier indicateur de qualité qui nous renseigne sur la charge microbienne globale de l'échantillon. Elle représente la totalité des bactéries, levures et moisissures aéro-anaérobies, capables de former des colonies dans ou sur un milieu de culture.

➤ Mode Opératoire

- À partir de l'eau à analyser porter aseptiquement 1 ml dans un boîtes de Pétri vides, numérotées ;
- Compléter ensuite avec environ 15 ml de gélose TGEA fondue puis refroidie à $45 \pm 2^\circ\text{C}$.
- Faire ensuite des mouvements circulaires et de va-et-vient en forme de « 8 » pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose, sur une surface fraîche et horizontale.
- Laisser solidifier les boîtes sur paille, puis rajouter une deuxième couche d'environ 5 ml de la même gélose ou de gélose blanche. Cette double couche, a un rôle protecteur contre les contaminations externes diverses.
- L'incubation se fait à 37°C pendant 72 heures (**Fig. 18**).

➤ **Lecture et interprétation**

Les colonies des FMAT apparaissent en masse sous formes lenticulaires et bien distinctes.

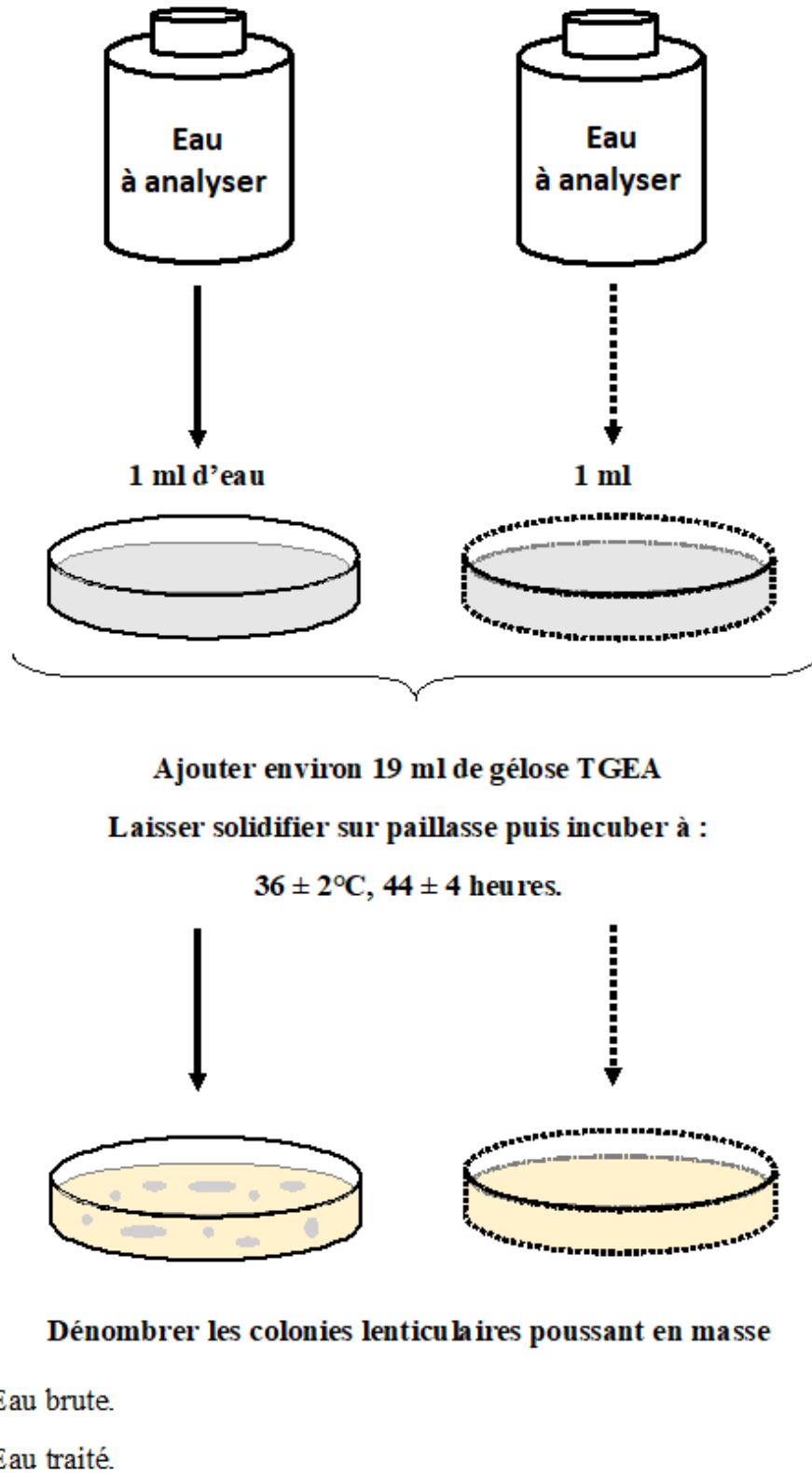


Figure 18. Recherche et dénombrement de la flore totale.

3.2. Recherche et dénombrement des coliformes

Les coliformes sont des bacilles à Gram négatifs, aérobies ou anaérobies facultatif, non sporulés, ne possédant pas d'oxydase, capables de se multiplier en présence des sels biliaries et capables de fermenter le lactose à avec production d'acides et de gaz en 24 à 48 heures à une température comprise entre 36 et 37 °C (**Delarras and Trébaol, 2003**).

Les coliformes fécaux, ou coliformes thermo-tolérants, sont un sous-groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44 °C. L'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est *Escherichia coli*, dans une moindre mesure, certaines espèces des genres *Citrobacter*, *Enterobacter* et *Klebsiella*. *Escherichia coli* sont des coliformes thermo-tolérants ayant la particularité de produire de l'indole à partir du tryptophane présent dans le milieu à une température voisine de 42°C ± 2°C (**Bourgeois and Leveau, 1980**).

➤ Mode opératoire

La recherche et le dénombrement des coliformes et l'identification d'*E coli* ont été effectués par la méthode de trois tubes du nombre le plus probable (NPP) appelée aussi la colimétrie. Cette méthode est une estimation statistique du nombre de microorganismes supposés être disséminés dans l'eau de manière parfaitement aléatoire (**Rejsek, 2002**).

Cette technique se fait en deux étapes consécutives :

- Le test présomptif : Réservé à la recherche des coliformes ;
- Le test confirmatif : réservé à la recherche des coliformes fécaux et *E. coli* (**Mouffok, 2001**).

- Test de présomptif

- Il est effectué en utilisant le bouillon lactose au pourpre de bromocrésol à simple concentration (BCPL S/C) et à double concentration (BCPL D/C) ;
- Tous les tubes sont munis d'une cloche de Durham pour déceler le dégagement éventuel de gaz dans le milieu ;
- Avant d'ensemencer les tubes, il faut vérifier qu'il n'y a pas de bulle d'air sous la cloche, pour éviter de fausser les résultats ;
- A partir de des dilutions des solutions d'eau, il faut préparer de manière aseptisée :
 - ❖ 03 fois 10 ml dans 3 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL D/C.
 - ❖ 03 fois 1 ml dans 3 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL S/C.
 - ❖ 03 fois 0.1 ml dans 3 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL S/C.

- Chasser l'air éventuellement présent dans les cloches de Durham et bien mélanger le milieu et l'inoculum.
- L'incubation se fait cette fois-ci au l'incubateur à 37 °C pendant 24 à 48 heures.
- Seront considérés comme positifs, les tubes présentant à la fois : un dégagement de gaz (supérieur au 1/10 de la hauteur de la cloche) et un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu au jaune (ce qui constitue le témoin de la fermentation du lactose présent dans le milieu). Ces deux caractères étant témoins de la fermentation du lactose dans la condition opératoire décrite (**Mouffok, 2001**).

- Test de confirmation (test de Mac Kenzie)

Le test de confirmation est basé sur la recherche de coliformes thermo-tolérants parmi lesquels on redoute surtout la présence d'*Escherichia coli*. Les tubes de BCPL trouvés positifs lors du dénombrement des coliformes feront l'objet d'un repiquage à l'aide d'une anse bouclée dans un tube contenant le milieu Schubert muni d'une cloche de Durham. Chasser l'air éventuellement présent dans les cloches de Durham et bien mélanger le milieu et l'inoculum. L'incubation se fait cette fois-ci au l'incubateur à 44°C pendant 24 heures. Sont considérés comme positif, les tubes présentant à la fois :

- Un dégagement gazeux ;
- Un anneau rouge en surface, témoignant de la production d'indole par *Escherichia coli* après adjonction de 2 à 3 gouttes du réactif de Kovacs (**Fig. 19**). La lecture finale s'effectue également selon la prescription de la table du NPP en étant donné que les coliformes fécaux font partie des coliformes totaux, il est impossible de trouver plus de coliformes fécaux que de coliformes totaux. Les résultats sont exprimés en germes par 100 ml d'eau a analysé (**Labres and Mouffok, 2008**).

3.3. Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux

Ces bactéries appartiennent à la famille de *Streptococcaceae*, au genre *Streptococcus* et au groupe sérologique D (**Lancefield and Hare, 1935**). Ils sont définis comme étant des cocci sphériques légèrement ovales et gram positifs. Ils se disposent le plus souvent en diplocoques ou en chaînettes, se développent mieux à 37°C et ils possèdent le caractère homoférmementaire avec production de l'acide lactique sans gaz (**Krieg and Manual, 1984**).

➤ Mode opératoire

La recherche et le dénombrement des streptocoques fécaux dans les eaux ; en milieu liquide par la technique du NPP, se fait en deux étapes consécutives :

- Le test présomptif : Réservé à la recherche des streptocoques ;
- Le test confirmatif : réservé à la confirmation réelle des streptocoques fécaux à partir des tubes positifs du test de présomption (Chaouch, 2007).

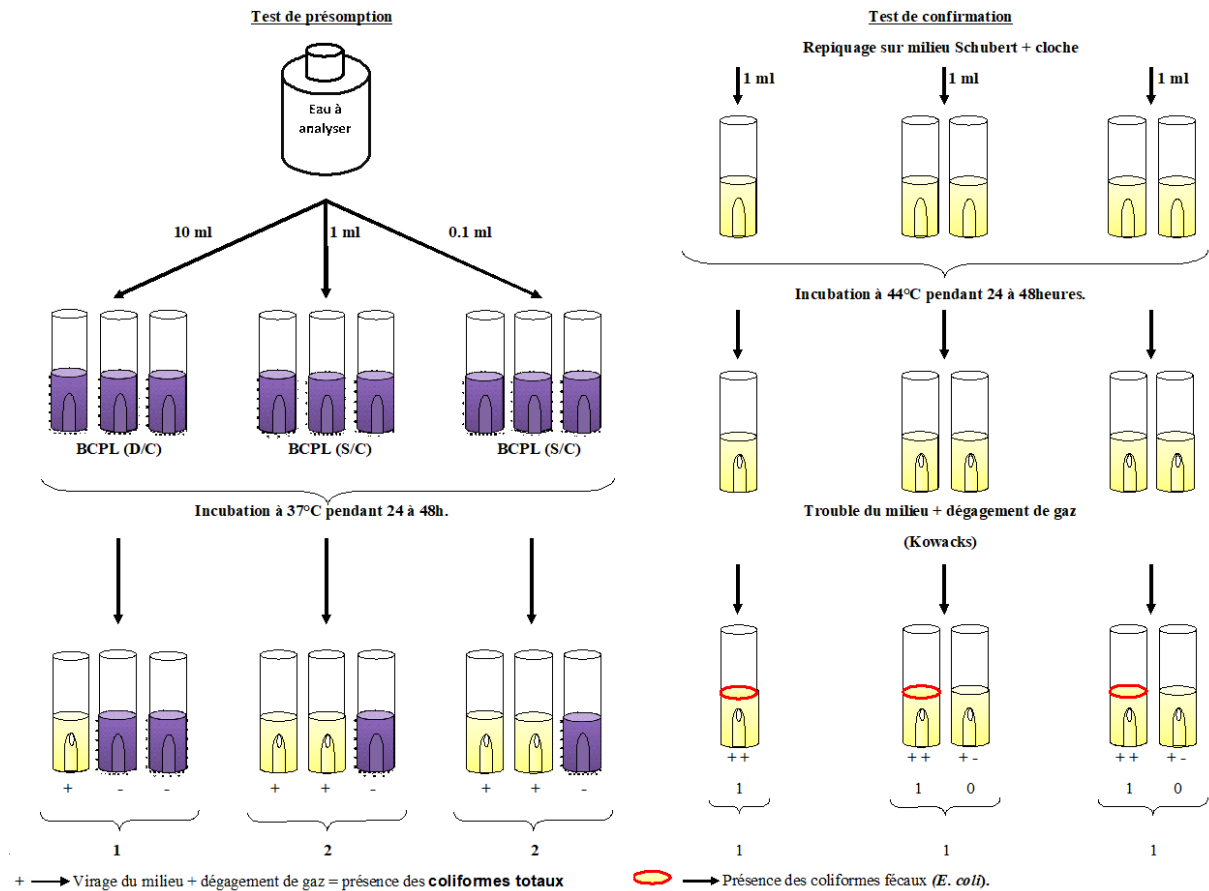


Figure 19. Recherche et dénombrement des coliformes.

- Test de présomptif

- La recherche se fait en bouillon Rothe S/C et D/C (Bouillon à l'acide de sodium simple concentration et double concentration).
- A partir des dilutions des solutions d'eau, porter aseptiquement :
 - ❖ 3 fois 10ml dans 3 tubes contenant 10 ml de milieu Rothe D/C.
 - ❖ 3 fois 1 ml dans 3 tubes contenant 10 ml de milieu ROTHE S/C.
 - ❖ 3 fois 0.1 ml dans 3 tubes contenant 10 ml de milieu ROTHE S/C.
- Bien mélanger le milieu. L'incubation se fait à 37 °C pendant 24 à 48 heures. Seront considérés comme positifs, les tubes présentant un trouble microbien (Labres and Mouffouk, 2008).

- Test de confirmation

- Le test de confirmation est basé sur la confirmation des streptocoques fécaux éventuellement présents dans le test de présomption. Après agitation des tubes positifs ; prélever sur chacun d’eaux successivement bouclés ou quelques gouttes par une pipette Pasteur, et les reporter dans des tubes du milieu Eva Litsky.
- Bien mélanger le milieu et l’inoculum. Incuber à 37 °C pendant 24 à 48 heures.
- Seront considérés positifs les tubes présentant :
 - ❖ Un trouble dû au développement bactérienne.
 - ❖ Une pastille violette (blanchâtre) au fond du tube Parfois, la culture s’agglomère au fond du tube en fixant le colorant et en formant une pastille violette (**Fig. 20**) (**Labres and Mouffouk, 2008**).

La lecture finale s’effectue également selon les prescriptions de la table du NPP.

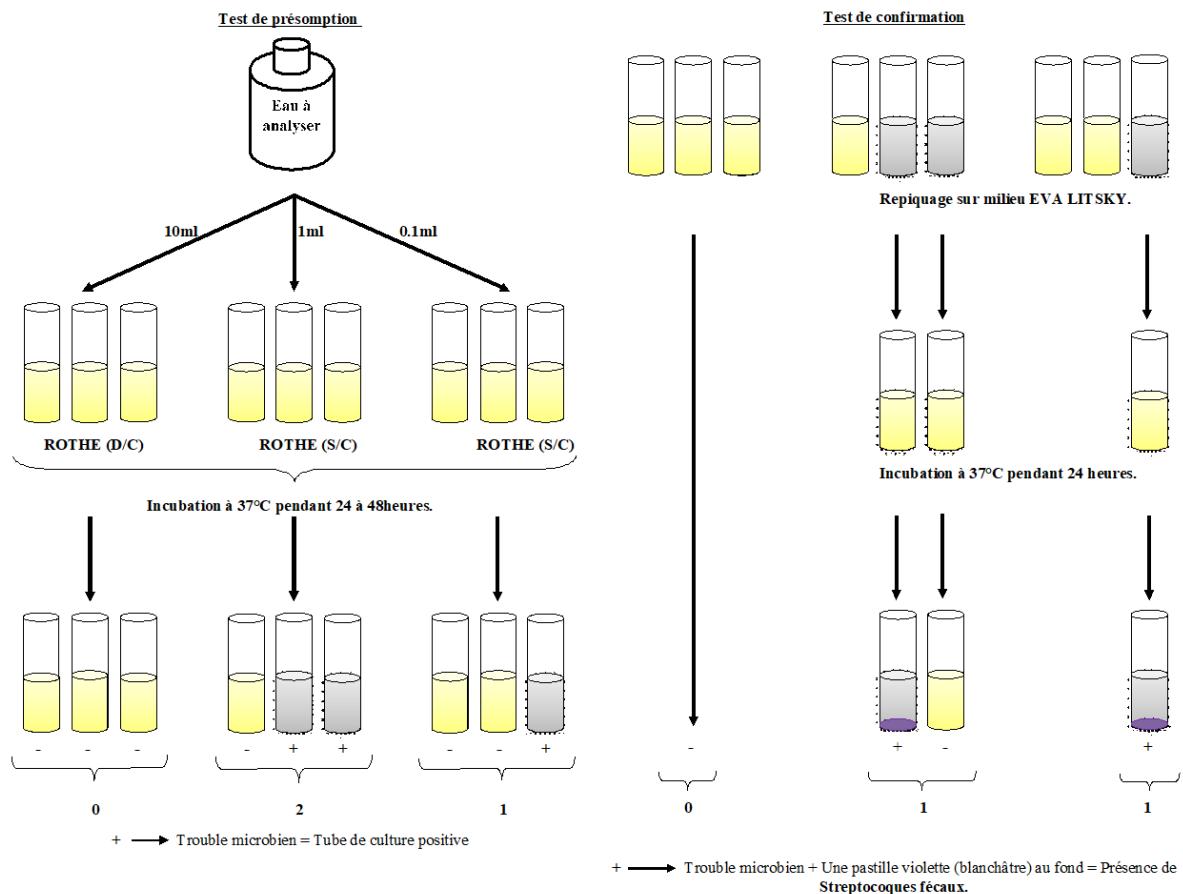


Figure 20. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux.

3.4. Recherches et dénombrement des spores Clostridium sulfito-réducteurs

Les bactéries anaérobies sulfito-réductrices (ASR) présentent sous forme de gram positif, se développant en 24 à 48 heures sur une gélose VF en en donnant des colonies

typique réduisant du sulfite de sodium (Na_2SO_3), qui se trouve dans le milieu, en sulfure qui en présence de Fe^{+2} qui donne FeS (sulfure de fer) de couleur noir. Les spores des ASR constituent généralement des indices de contamination (**Labres et al., 2006**).

➤ **Mode opératoire**

- La recherche et dénombrement des spores des ASR dans l'eau se fait par la méthode d'incorporation en gélose sur tube profonds :
 - ❖ Prendre environ 25 ml à partir des solutions d'eau à analyser, dans un flacon stérile, qui sera par la suite soumis à un chauffage de l'ordre de 80 °C pendant 8 minutes, dans le but de détruire toutes les formes végétatives des ASR éventuellement présentes.
 - ❖ Après chauffage, refroidir immédiatement le flacon en question, sous l'eau de robinet.
 - ❖ Répartir ensuite le contenu de ce flacon, dans 4 tubes différents et stériles, à raison de 5 ml par tube.
 - ❖ Ajouter environ 20 ml de gélose Viande Foie, fondue, additionnée d'une 4 gouttes d'Alun de fer et d'une 0.5 ml de Sulfite de sodium, puis refroidie à 45 ± 1 °C.
 - ❖ L'incorporation se fait dans un tube et non dans une boîte afin de limiter la surface de contact entre le milieu et l'air.
 - ❖ Mélanger doucement le milieu et l'inoculum en évitant la formation des bulles d'air et en évitant l'introduction d'oxygène.
 - ❖ Laisser solidifier sur paillasse pendant 30 minutes environ,
 - ❖ Ajoutez e deux gouttes d'huile de paraffine ; puis incubé à 37 °C, pendant 24 à 48 heures (**Labres and Mouffouk, 2008**).

Considérer comme résultat d'une spore de bactérie anaérobie sulfite-réductrice toute colonie noire entourée d'un halo noir. Exprimer le résultat en nombre de spore par 20 ml d'eau à analyser. La première lecture doit absolument être faite à 16 heures et la deuxième lecture se fera à 24 heures et la troisième et la dernière après 48 heures. Dénombrer toute colonie noire de 0.5 mm de diamètre, ayant poussé en masse et rapporter le nombre total des colonies dans les quatre tubes à 20 ml d'eau à analyser (**Fig. 21**) (**Labres et al., 2006**).

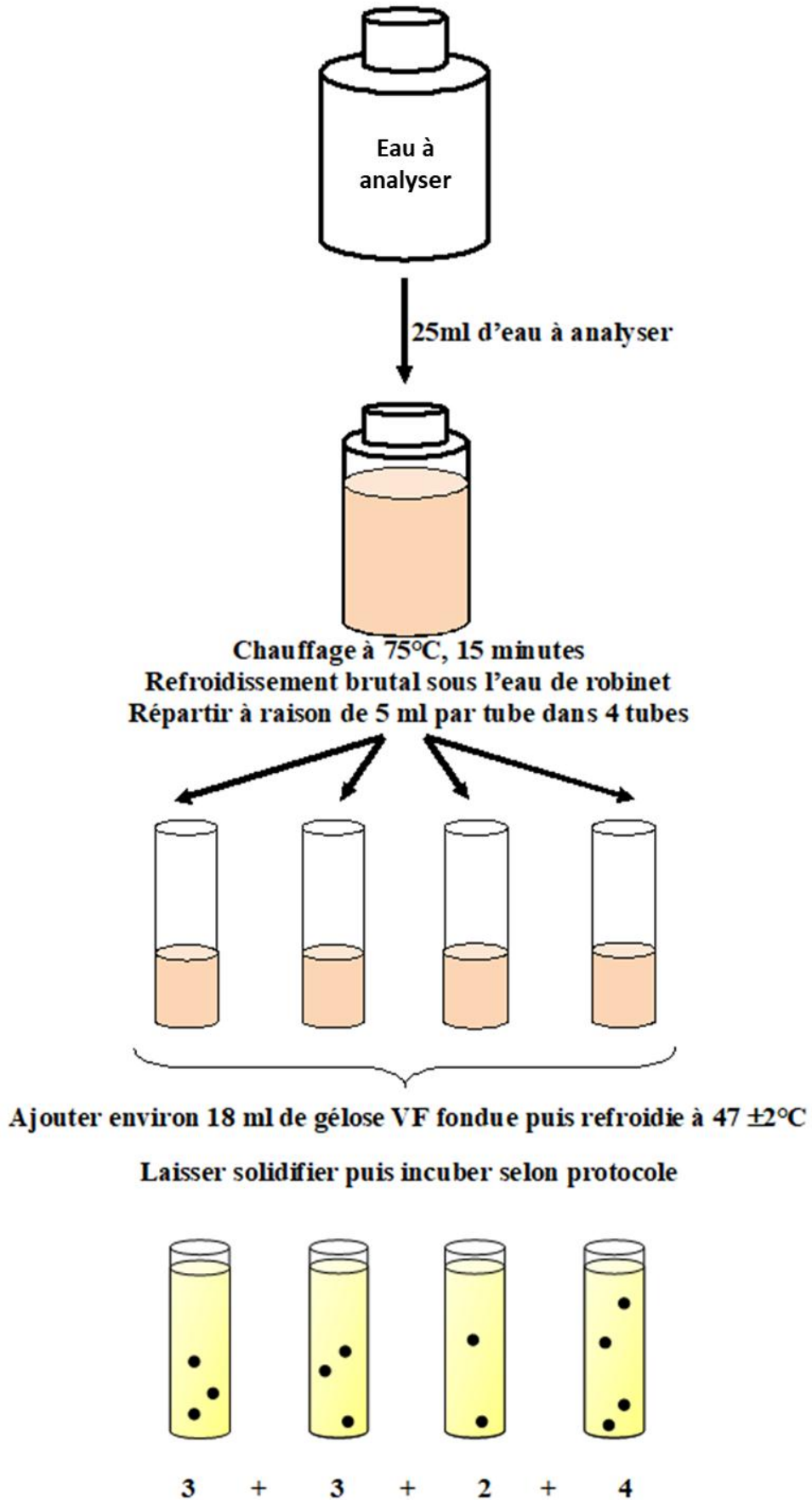


Figure 21. Recherches et dénombrement des spores de *Clostridium* sulfito-réducteur.

CHAPITRE

3

Résultats et Discussion

1. Analyse physicochimique

1.1. pH

Le pH d'une eau représente son acidité ou son alcalinité, il est lié à la nature géologique des terrains traversés, à pH égale à 7 l'eau est dite neutre, à un pH inférieur à 7 l'eau est dite acide et à un pH supérieur à 7, elle est dite basique (Cardot, 2001).

Les résultats montrent un pH varie entre un minimum de 8,11 noté pour l'eau brute lors du prélèvement du mois d'avril et un maximum de 8,38 enregistré pour l'eau traitée lors du prélèvement du 23 mars (Fig. 22). Selon les normes algériennes relatives à la qualité de l'eau de consommation humaine, le pH est neutre et dans les normes de potabilité (JORA, 2011).

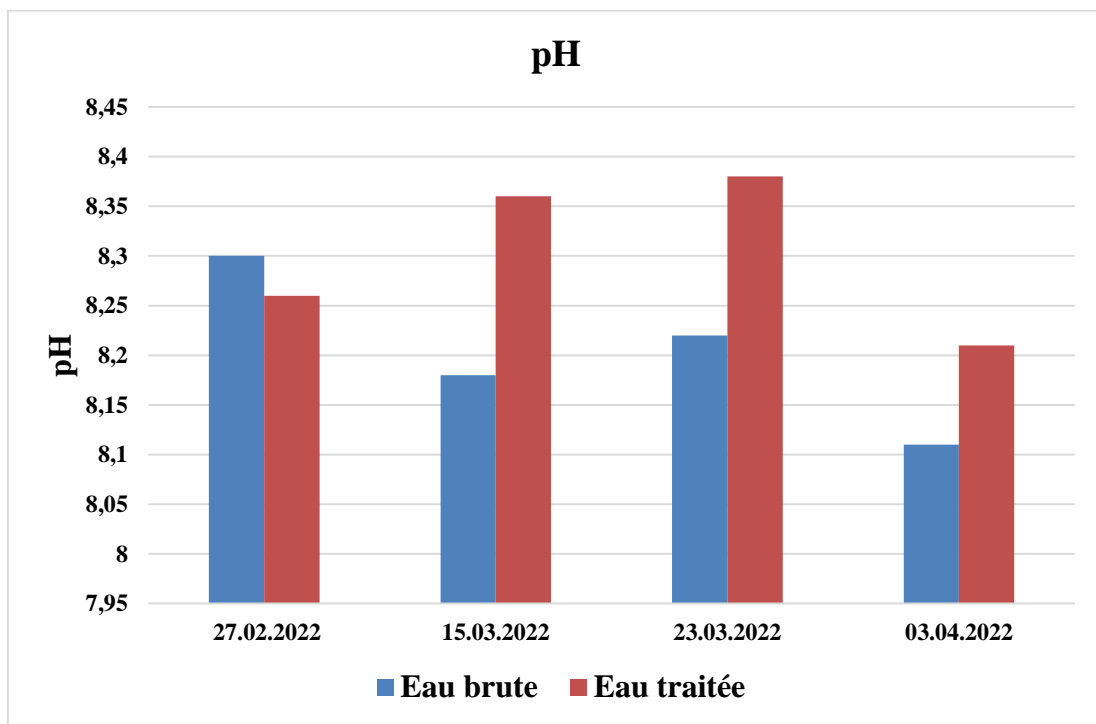


Figure 22. Evolution spatio-temporelle du potentiel d'hydrogène des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh.

1.2. Turbidité

Les valeurs de la turbidité indiquent que les eaux brutes sont légèrement troubles avec des valeurs comprises entre 7,11 et 11,4 NTU tandis que les eaux traitées présentent des valeurs généralement basses et varient entre 1.06 et 1.75 NTU ce qui donne l'aspect clair à ces eaux (Fig. 23).

Les valeurs élevées de ce paramètre dans l'eau brute sont synonymes de pollution par des particules qui augmentent la turbidité ensuite le processus de traitement diminue progressivement ces valeurs pour atteindre les valeurs normales en fin de processus (Bouzi and Chelhi, 2017).

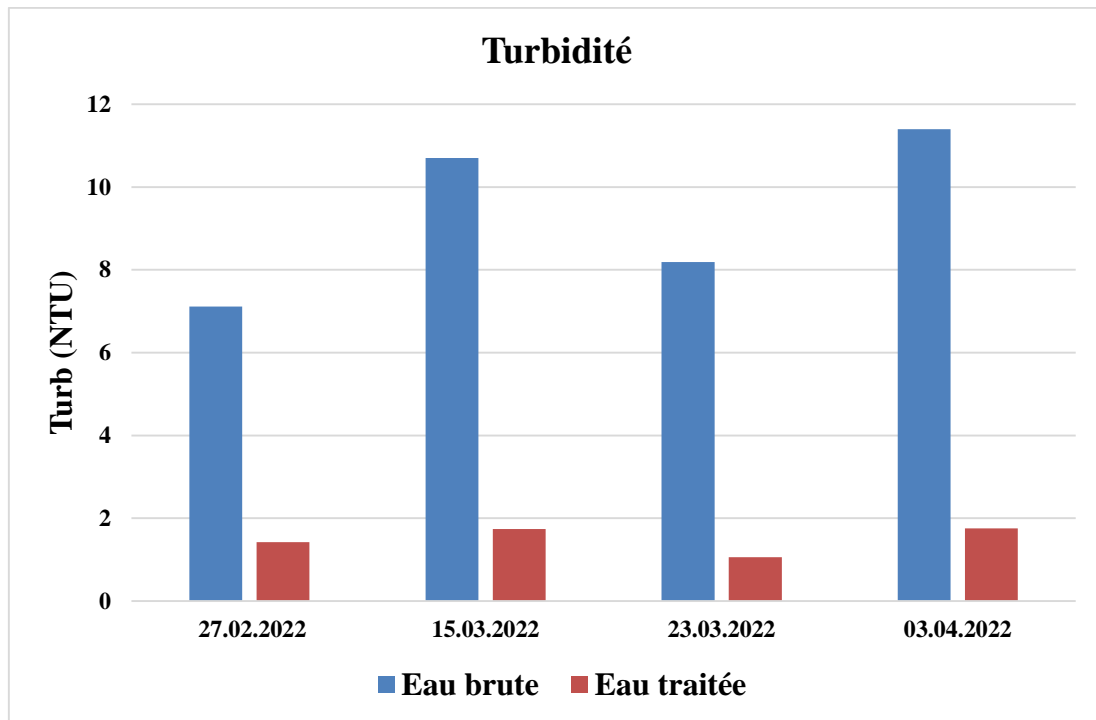


Figure 23. Evolution spatio-temporelle de turbidité des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh.

1.3. Température

Les résultats obtenus montrent que les températures varient entre un minimum de 9,1 °C température la plus basse enregistrée pour l'eau traitée et 13,1 °C la température la plus élevée notée pour l'eau brute lors du prélèvement du 15 Mars (**Fig. 24**). Les températures enregistrées durant la période d'étude indique que les eaux de barrage Hammam Debagh sont dans les normes de potabilité (**JORA, 2011**).

1.4. Conductivité

La conductivité est un paramètre important dans la mesure où elle reflète la minéralisation globale de l'eau. Notons que les valeurs mesurées ont été corrigées par rapport à une température standard de 25 °C.

Les résultats obtenus montrent que les valeurs de la conductivité varient entre un minimum de 746 $\mu\text{s}/\text{cm}$ enregistrée pour l'eau brute pendant le mois de février et un maximum de 855 $\mu\text{s}/\text{cm}$ notée pour l'eau traitée lors du prélèvement du mois d'avril (**Fig. 25**). Les valeurs enregistrées de la conductivité durant la période d'étude indique que les eaux de barrage de Hammam Debagh sont dans les normes de potabilité (**JORA, 2011**). Ces valeurs traduisent la minéralisation de notre eau et surtout de la typologie de la région de Bouhamdane qui influence directement sur la composition minérale de cette eau.

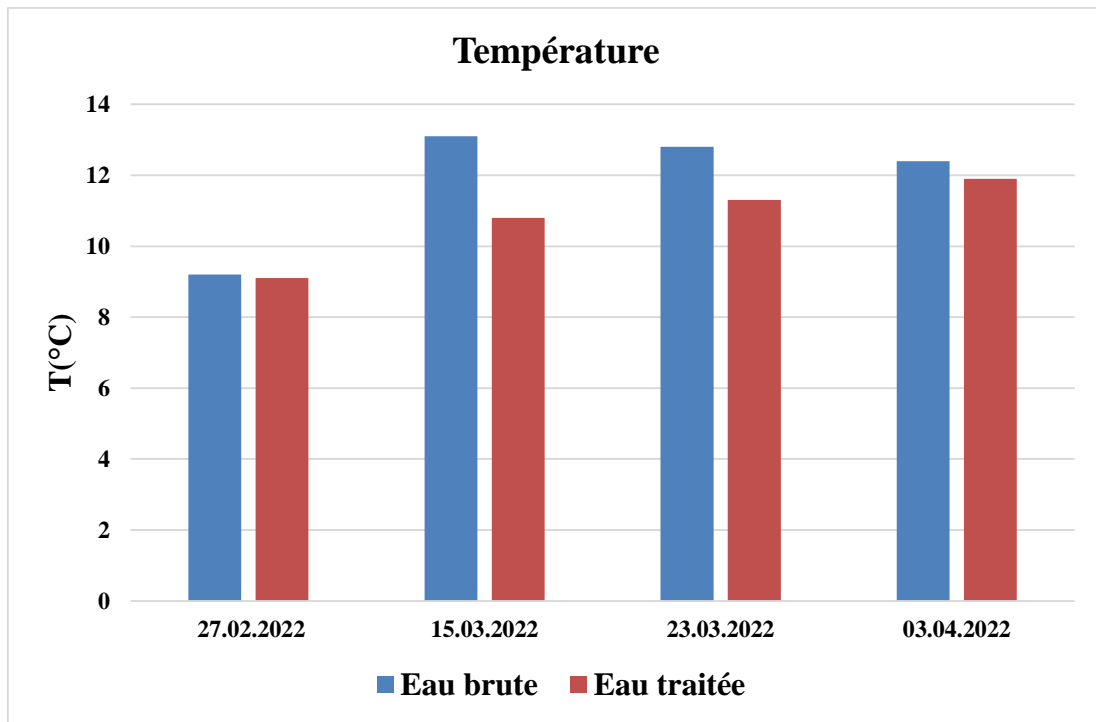


Figure 24. Evolution spatio-temporelle de la température des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh.

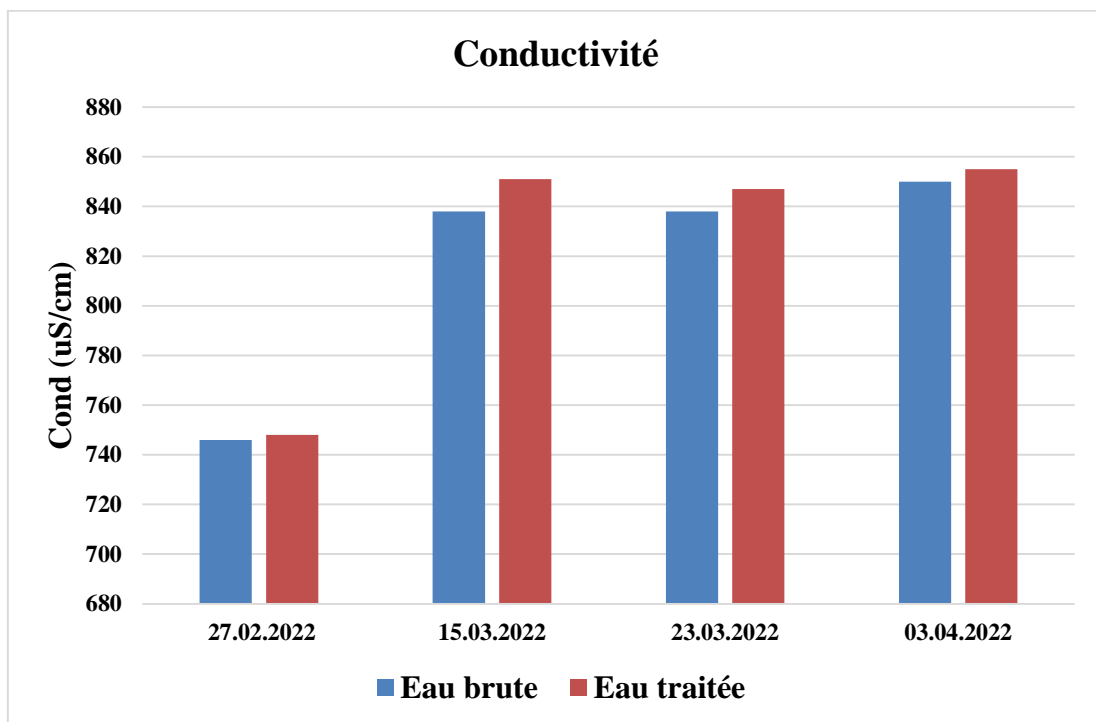


Figure 25. Evolution spatio-temporelle de la conductivité des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh.

1.5. Matière organique

Les résultats obtenus montrent que les valeurs de la matière organique varient entre un minimum de 1.7 mg/l enregistrée pour l'eau traitée pendant le mois de mars et un maximum de 5,5 mg/l notée pour l'eau brute lors du prélèvement du mois de février (**Fig. 26**). Les valeurs élevées de ce paramètre dans l'eau brute sont synonymes de pollution ensuite le processus de traitement diminue progressivement ces valeurs pour atteindre les valeurs normales en fin de processus.

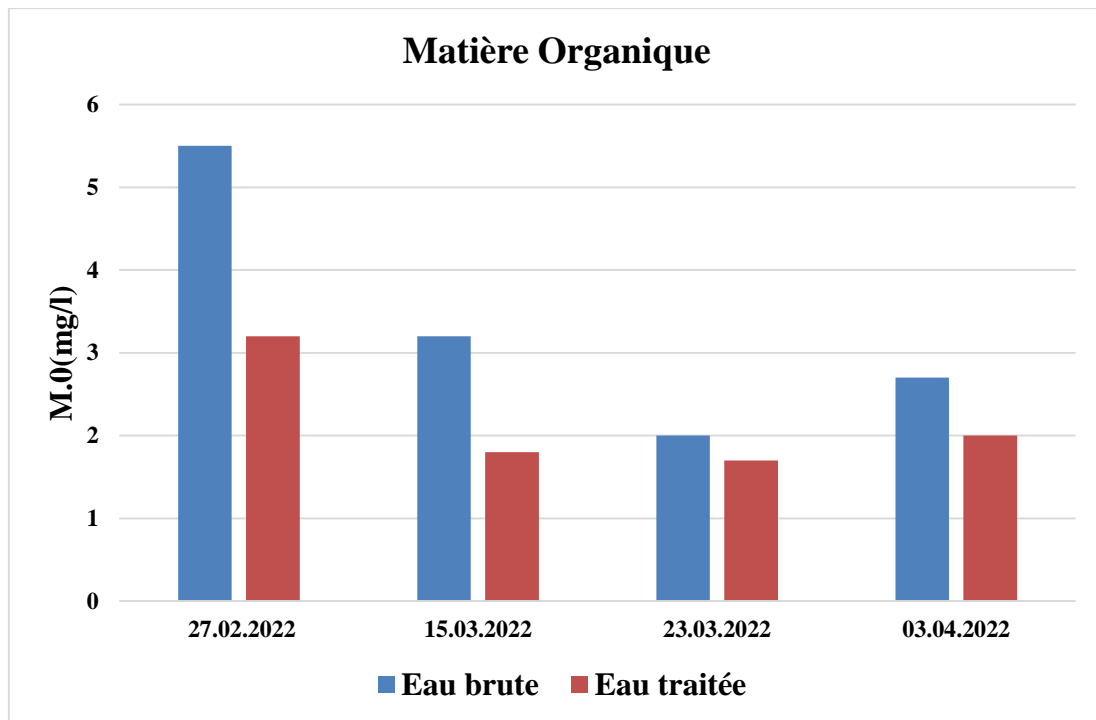


Figure 26. Evolution spatio-temporelle de matière organique des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh.

1.6. Matière en suspension

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension, le plancton et autres micro-organismes de l'eau. Elle est en fonction de la nature des terrains traversés, de la pluviosité ainsi que des rejets liquides (**Bouzidi and Chelhi, 2017**). Les valeurs de la matière en suspension pour l'eau brute varient de 0 à 4 mg/l ; cela peut s'expliquer par le facteur de charriage des matériaux et des matières en suspension lors des fortes pluies (**Fig. 27**). Par ailleurs, elles sont nulles dans les eaux traitées ce qui explique l'efficacité du traitement et le bon rendement du processus.

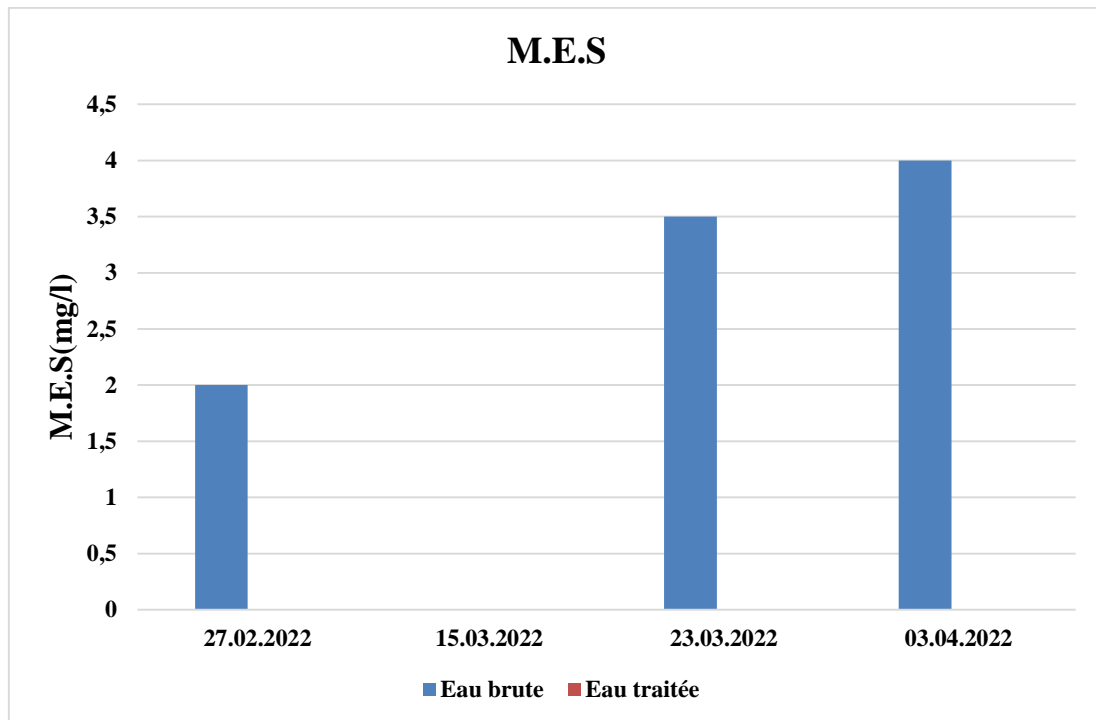


Figure 27. Evolution spatio-temporelle de la matière en suspension des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh.

1.7. Calcium

Les ions du calcium dans l'eau peuvent provenir soit de la dissolution des formations carbonatées soit la dissolution des formations gypseuses soit des deux en même temps.

Les résultats obtenus montrent que les valeurs de du calcium varient entre un minimum de 70,48 mg/l et un maximum de 72,89 mg/l notée pour les deux stations de l'eau brute et de l'eau traitée (**Fig. 28**). Ces valeurs sont dans les normes de potabilité et indique l'influence des formations calcaires (**JORA, 2011**).

1.8. Magnésium

Cet élément accompagne souvent le calcium dans la nature, il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite).

Les résultats montrent des teneurs en Mg^{2+} varient entre un minimum de 22,36 mg/l et un maximum de 26,73 mg/l notée pour les deux stations de l'eau brute et de l'eau traitée (**Fig. 29**). Ces valeurs dépassent les limites de la norme de potabilité, ce qui indique l'influence des formations carbonatées (**JORA, 2011; Gueroui, 2014**).

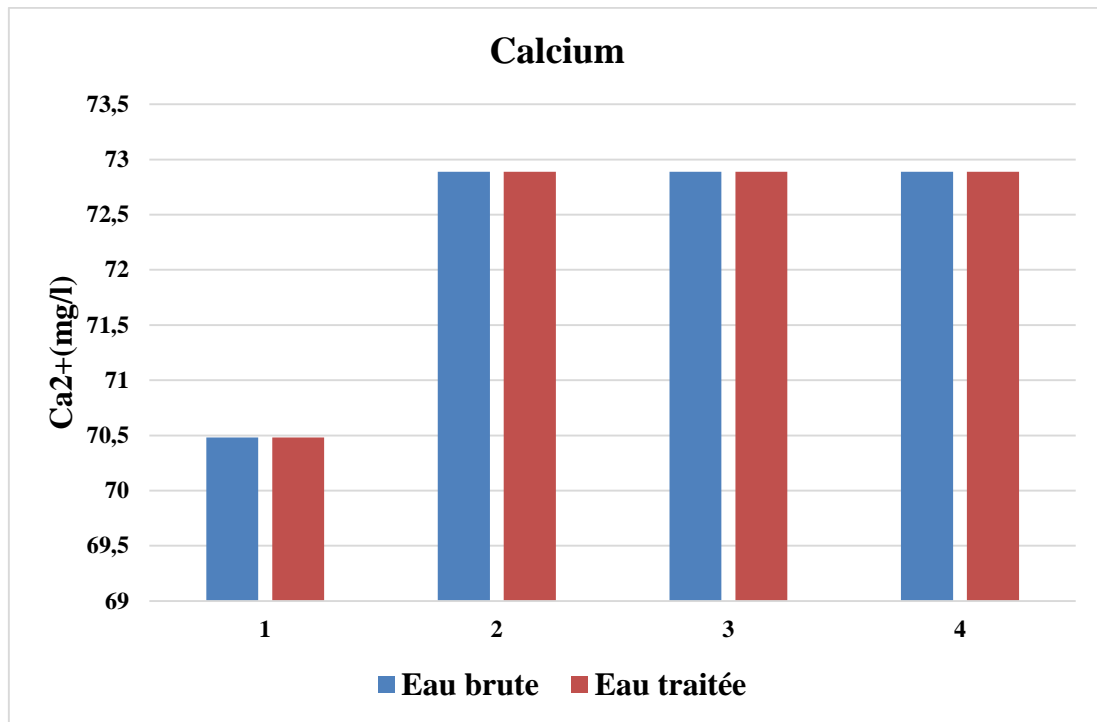


Figure 28. Evolution spatio-temporelle du calcium des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh.

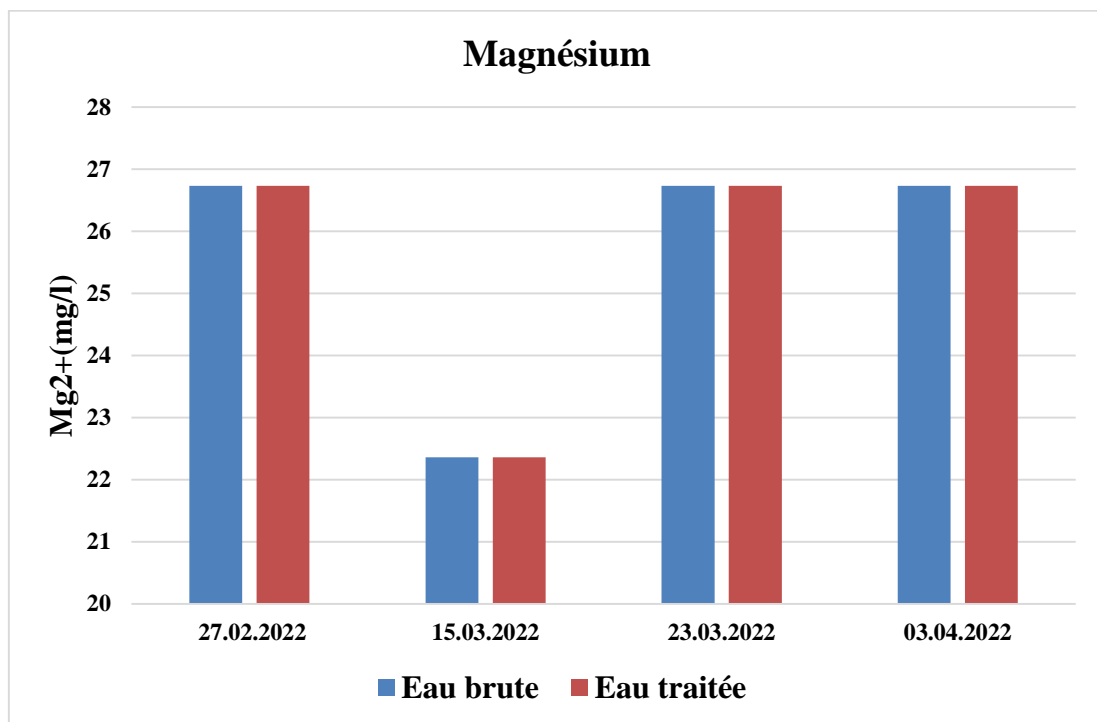


Figure 29. Evolution spatio-temporelle du magnésium des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh.

1.9. Bicarbonates

Les concentrations en bicarbonates sont très variables, elles varient de 167,14 à 196,42 mg/l enregistré pour l'eau brute (**Fig. 30**). Ces valeurs trouvées sont dans les limites de potabilité. Cependant, la présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (calcaire) (**JORA, 2011; Gueroui, 2014**).

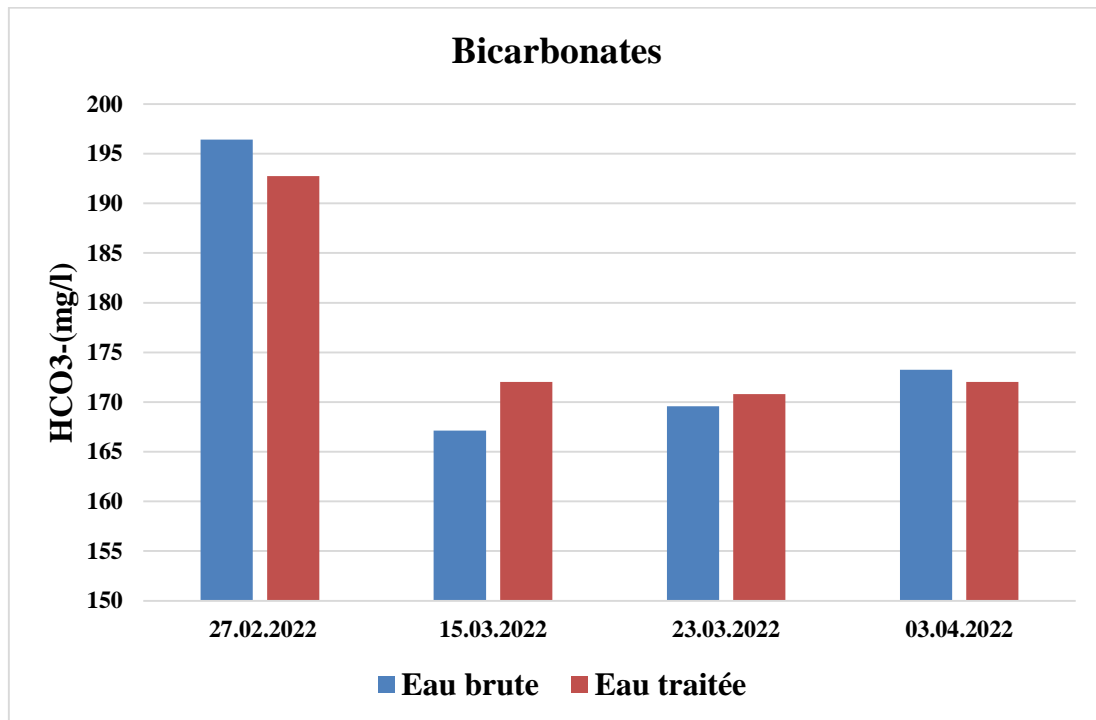


Figure 30. Evolution spatio-temporelle des bicarbonates des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh.

1.10. Chlorures

Les concentrations en chlorures sont constantes, elles sont de 99,4 mg/l soit pour l'eau brute, soit pour l'eau traitée. Ces valeurs trouvées sont dans les limites de potabilité (**Fig. 31**).

Cependant, La présence de ces éléments peut être liée à deux origines naturelles : l'effet de la salinité marine et surtout la dissolution des formations évaporitiques (salifères) (**JORA, 2011; Gueroui, 2014**).

1.11. Sulfates

La présence des ions sulfates dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuses. Les teneurs moyennes de cet élément dans les eaux de barrage de Bouhamdane sont dans les normes de potabilité. Cependant, des variations sont enregistrées, allant d'un minimum de 117,5 mg/l notée pour l'eau traitée au mois de mars à un maximum de 155 mg/l notée pour l'eau brute au mois de mars (**Fig. 32**). Ces concentrations peuvent être liées à la

dissolution des formations gypseuses par lessivage des évaporitiques (JORA, 2011; Gueroui, 2014).

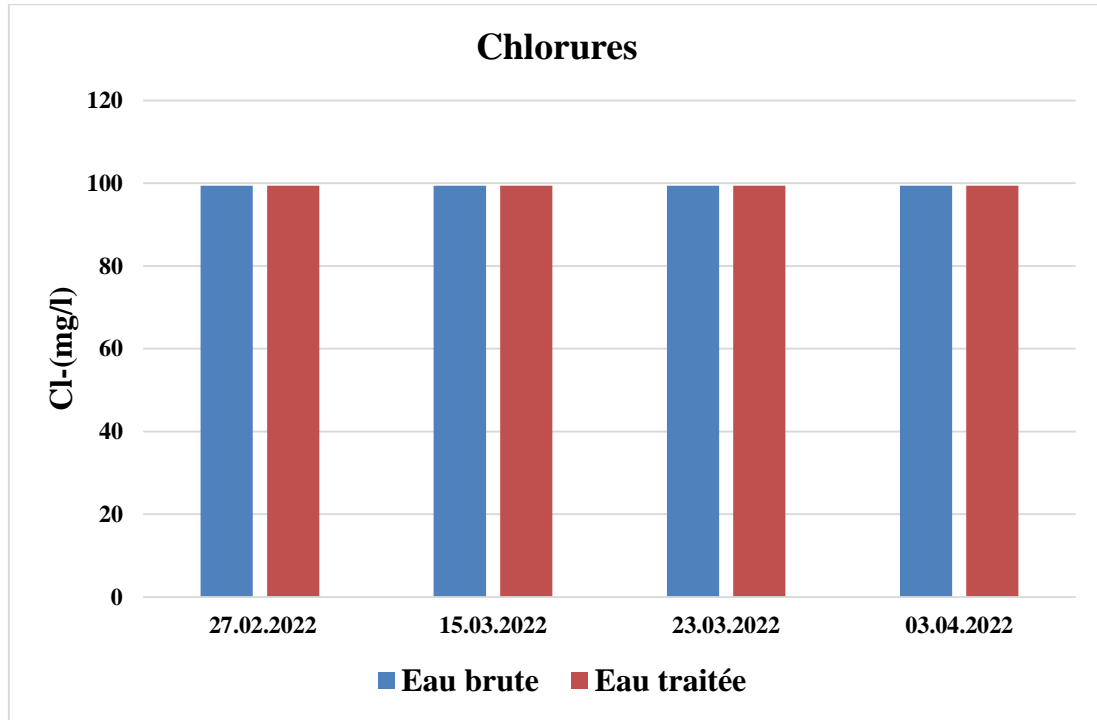


Figure 31. Evolution spatio-temporelle des chlorures des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh.

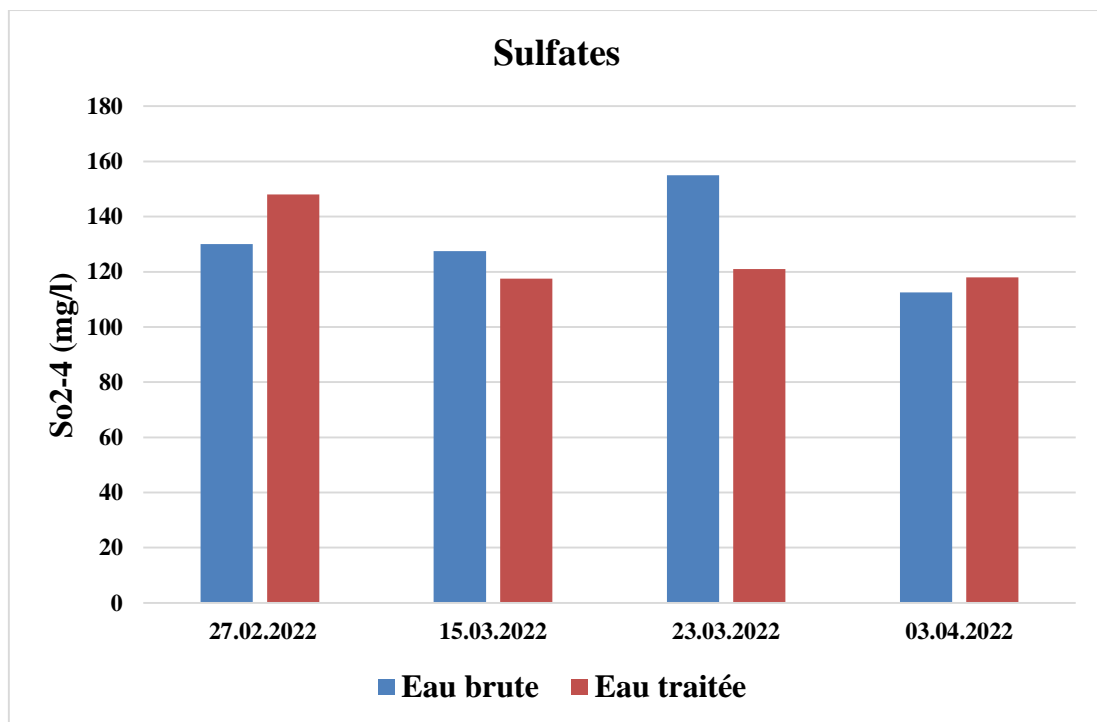


Figure 32. Evolution spatio-temporelle des sulfates des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh.

1.12. Nitrates

Les concentrations en nitrates sont très faibles pour l'eau brute et traitée, elles varient de 0,973 à 1,89 mg/l (**Fig. 33**). Ces valeurs trouvées sont dans les limites de potabilité. Cependant, Leur présence dans l'eau atteste d'une bonne récupération en cas de pollution organique (**JORA, 2011; Gueroui, 2014**).

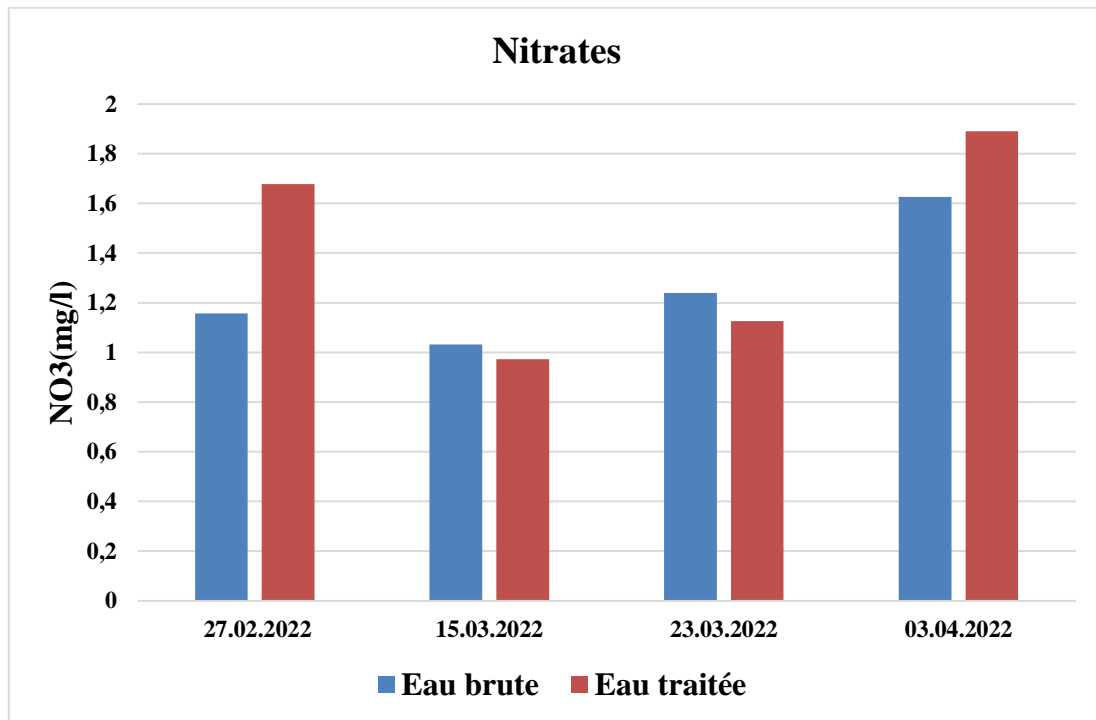


Figure 33. Evolution spatio-temporelle des nitrates des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh.

1.13. Nitrites

Les valeurs moyennes observées sont dans les normes de potabilité algériennes. Elles sont négligeables varient de 0,001 à 0,026 mg/l (**Fig. 34**). Les nitrites représentent la forme du passage entre les nitrates et l'ammonium. Il s'agit d'une forme toxique, moins oxygénée et moins stable (**JORA, 2011; Gueroui, 2014**).

1.14. Ammonium

Dans les eaux du barrage de Bouhamdnae, les valeurs de l'ammonium varient de 0 à 0,008 mg/l pour l'eau brute. Par contre, l'eau traitée présente des valeurs nulles (**Fig. 35**). Ces concentrations sont dans les normes de potabilité algériennes. L'origine de l'ammonium dans l'eau est peut être liée soit au rejet domestique et l'activité pastorale et agricole, soit par réduction des formes azotées (nitrates et nitrites) (**JORA, 2011; Gueroui, 2014**).

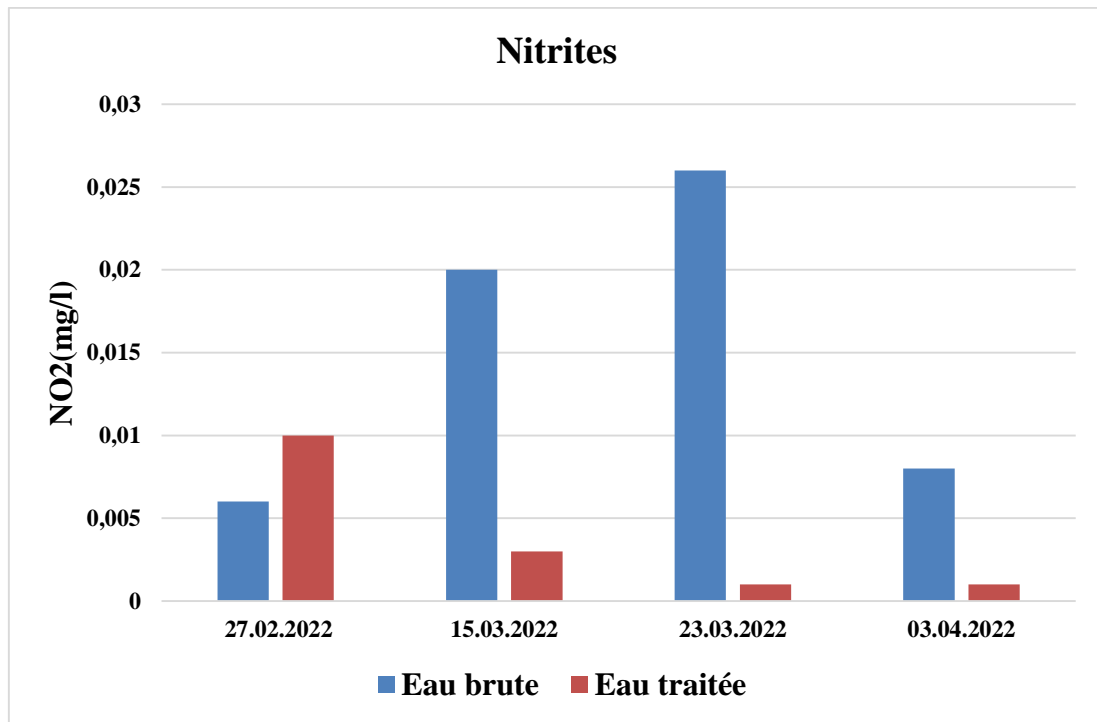


Figure 34. Evolution spatio-temporelle des nitrites des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh.

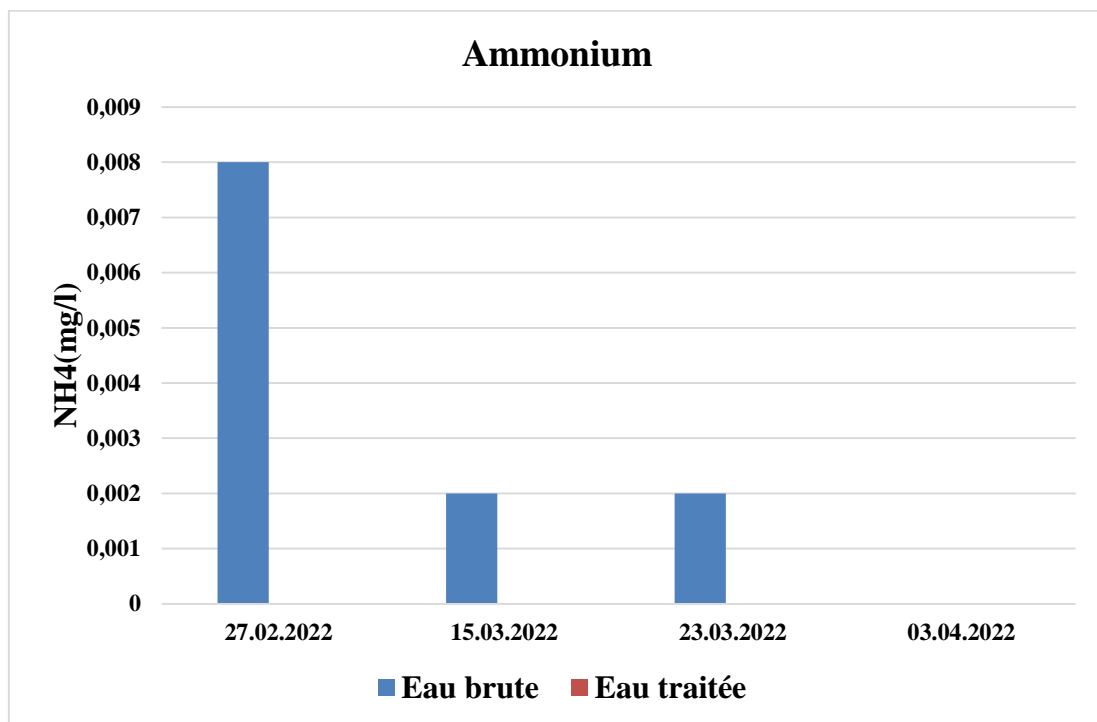


Figure 35. Evolution spatio-temporelle de l'ammonium des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh.

1.15. Phosphates

Les teneurs en phosphate dans les eaux du barrage de Bouhamdane sont très faibles, varient de 0 à 0,091 mg/l et elles sont dans les normes de potabilité des eaux (**Fig. 36**). Le phosphore est un élément assez rare mais indispensable à tous les êtres vivants. Il est assimilable par les êtres vivants sous forme oxydée ou sous forme organique dans la nature. Sa présence dans l'eau est liée aux rejets urbains ou à la dissolution des engrais (NPK), et elle favorise la croissance des algues dès que l'eau est exposée à la lumière : phénomène d'eutrophisation (**JORA, 2011; Gueroui, 2014**).

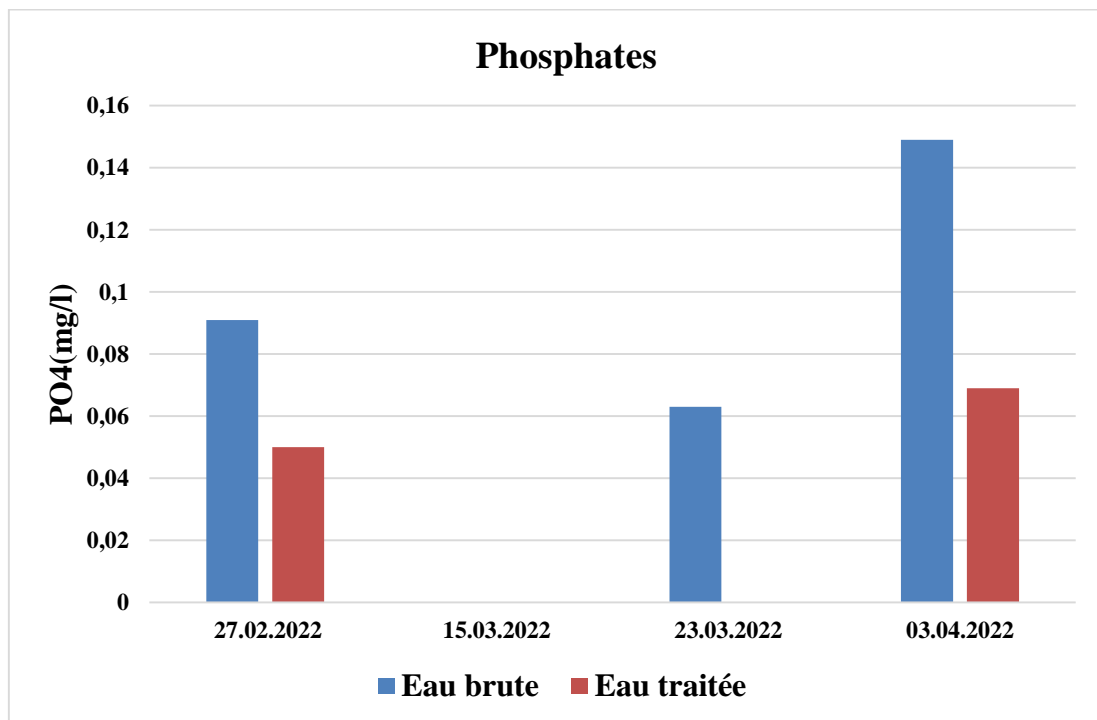


Figure 36. Evolution spatio-temporelle des phosphates des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh.

1.16. Fer

Les résultats obtenus montrent que les valeurs du fer varient entre un minimum de 0 mg/l enregistrée pour l'eau traitée pendant le mois de février et un maximum de 0,17 mg/l notée pour l'eau brute lors du prélèvement du mois d'avril (**Fig. 37**). Les valeurs élevées de ce paramètre dans l'eau brute sont synonymes de pollution ensuite le processus de traitement diminue progressivement ces valeurs.

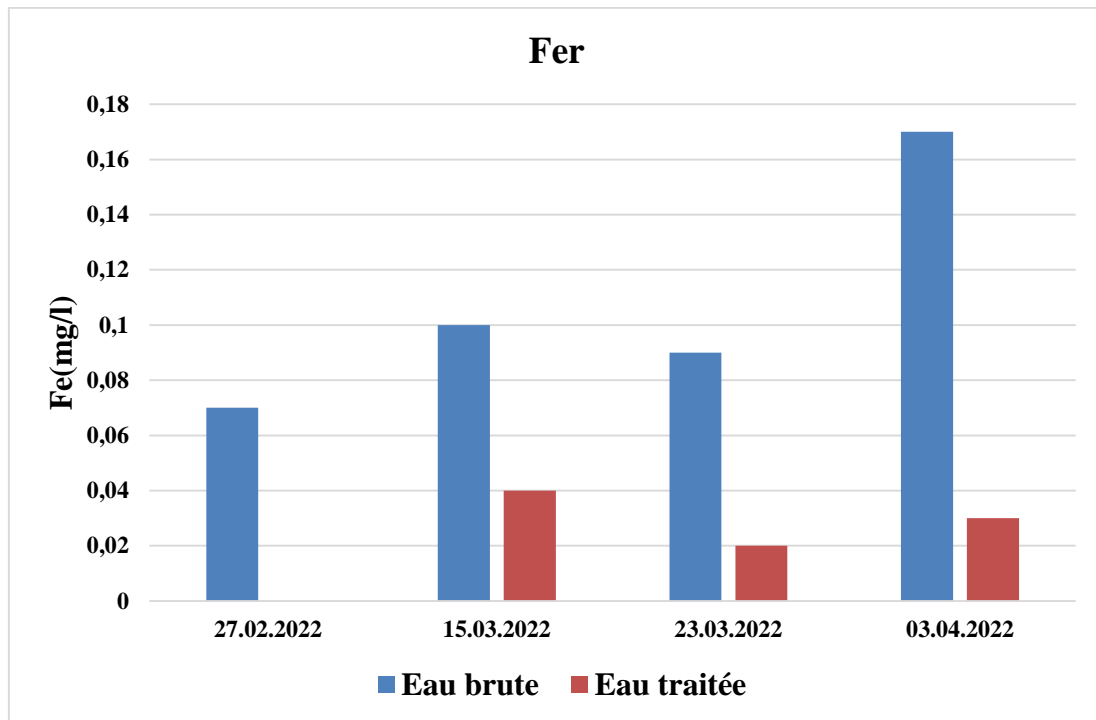


Figure 37. Evolution spatio-temporelle du fer des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh.

2. Analyse bactériologique

2.1. Flore Mésophile Aérobie Totale

Dans les analyses microbiologiques, la flore aérobie mésophile totale est la flore la plus recherchée qui nous renseigne toujours sur la qualité et la charge microbienne globale de l'eau. Les résultats montrent que les concentrations de la flore mésophile aérobie totale oscillent de 11 à 84 UFC/l pour l'eau brute, tandis que l'eau traitée présente une charge nulle des FMAT (**Fig. 38**). Pour l'eau brute, la densité de la flore totale n'est pas assez importante, ceci peut être dû à la présence de prédateurs bactériens tels que les protozoaires, comme elle peut être liée aux rejets de produits toxiques (**Gueroui, 2014**).

2.2. Coliformes totaux

Les coliformes constituent avec les Streptocoques fécaux le groupe de bactéries le plus fréquemment utilisé pour l'examen bactériologique. Ils sont recherchés dans eaux comme témoins de contamination fécale (**Gaujous, 1995**).

Seulement les prélèvements de l'eau brute du 15 et 23 mars qui présentes des valeurs de 30 et 15 CT/100 ml respectivement (**Fig. 39**). Cependant, nous constatons une absence totale de ces germes dans les eaux traitées. En effet, la présence des coliformes totaux peut être attribuée à l'influence des rejets et la mauvaise protection de l'entourage (**Gueroui, 2014**).

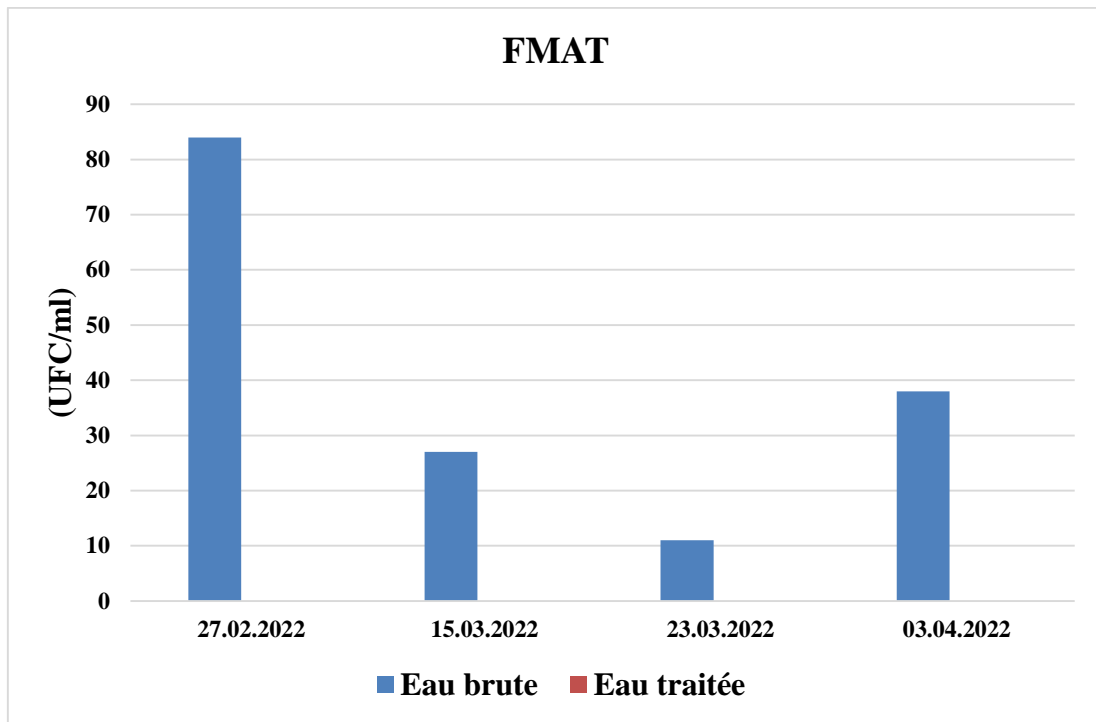


Figure 38. Evolution spatio-temporelle de la flore totale des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh.

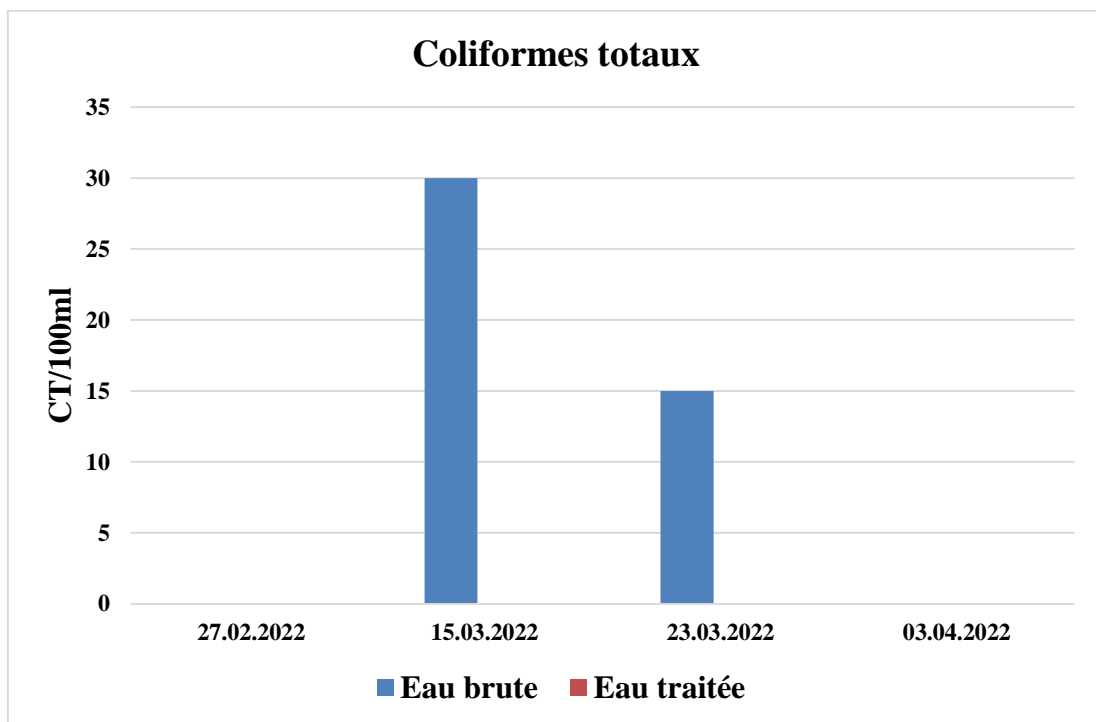


Figure 39. Evolution spatio-temporelle des coliformes totaux des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh.

2.3. Coliformes fécaux

La présence des coliformes d'origine fécale dans les eaux indique une pollution ou une contamination fécale provenant de l'homme ou de l'animal. Les résultats obtenus indiquent une absence totale des coliformes fécaux dans les eaux traitées du barrage de Bouhamdane. Ces résultats concordent avec les normes algériennes qui exige une absence totale de ces germes dans les eaux (JORA, 2011). Cependant, les prélèvements de l'eau brute du 15 et 23 mars présentes des valeurs 6 CF/100 ml (Fig. 40).

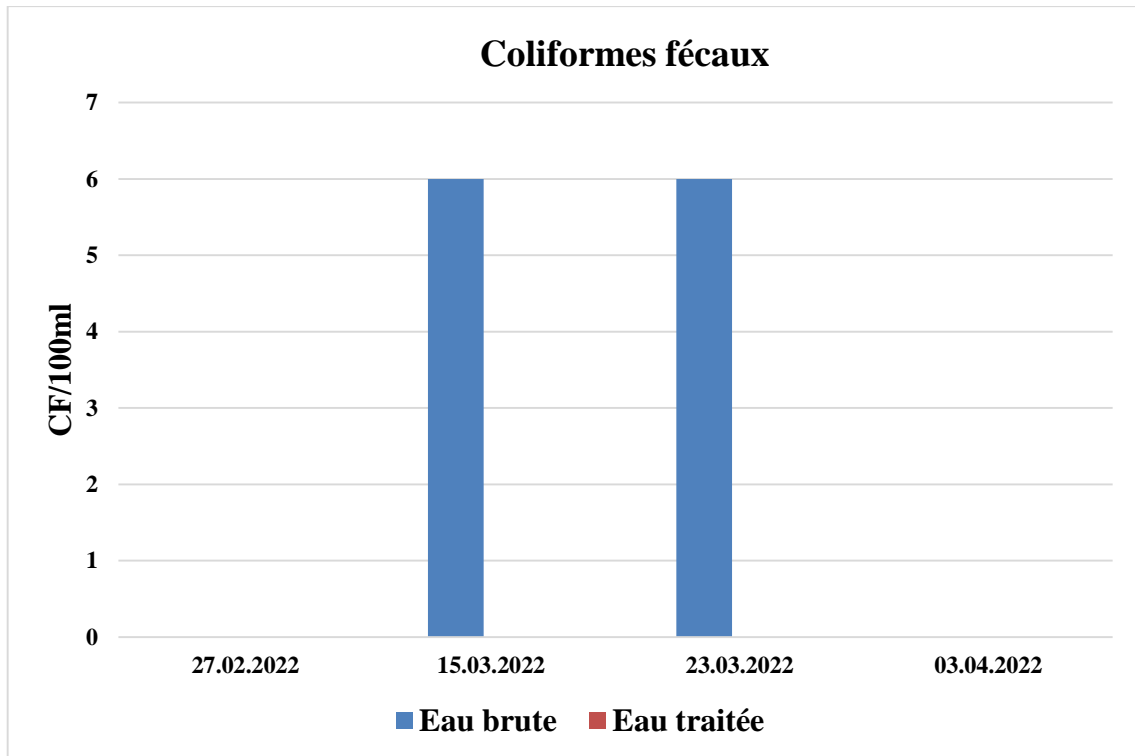


Figure 40. Evolution spatio-temporelle des coliformes fécaux des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh.

2.4. Streptocoques fécaux

Les streptocoques fécaux sont considérés comme des germes de contamination fécale, ubiquitaires dans l'environnement et résistent mieux aux conditions défavorables que les coliformes (Gantzer et al., 1998).

Tous les échantillons étudiés de l'eau brute et de l'eau traitée présente une absence totale de ces germes à l'exception du prélèvement du 23 mars de l'eau brute qui présente une valeurs de 3 SF/100 ml dépassant les normes algériennes qui exige une absence de ces bactéries (Fig. 41) (JORA, 2011). La présence des streptocoques pourrait être due par des pollutions avoisinantes tel que le lessivage des terres agricoles chargées d'énormes quantités de fumier et l'élevage de bétails (Gueroui, 2014).

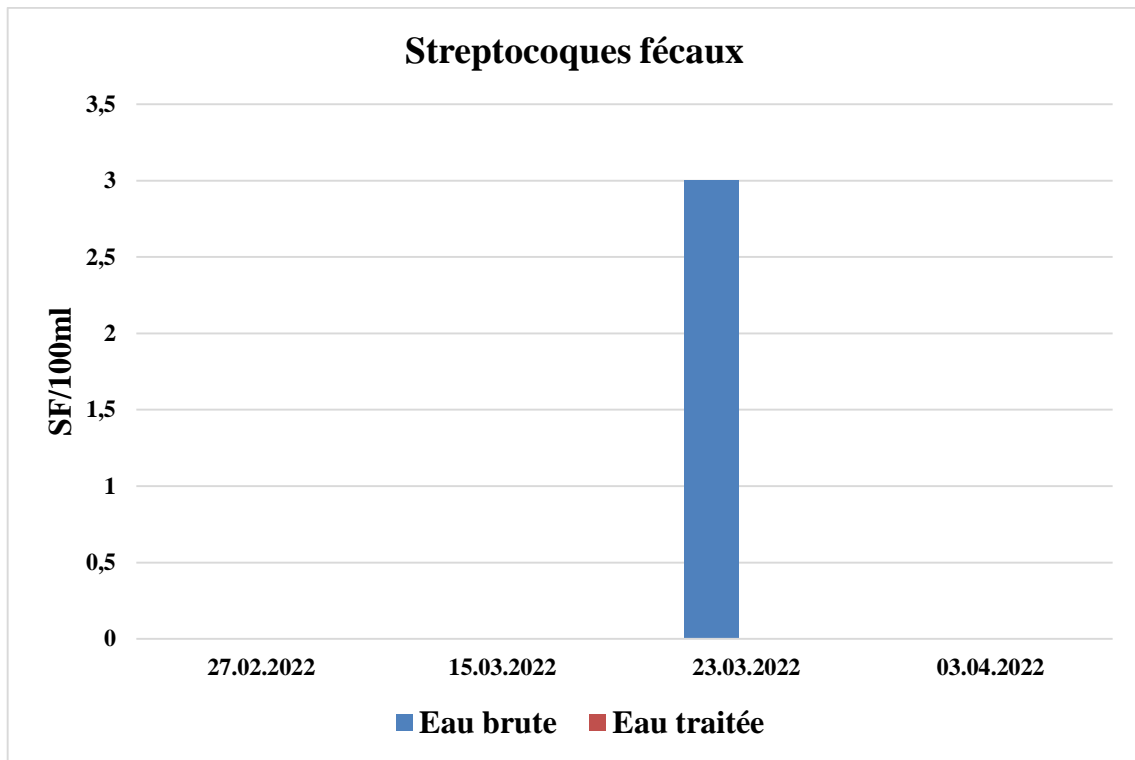


Figure 41. Evolution spatio-temporelle des streptocoques fécaux des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh.

2.5. Anaérobies sulfito-réducteurs

Les spores des ASR constituent généralement des indices de contamination ancienne. Les résultats obtenus indiquent une absence totale des spores des ASR dans l'eau traitée, tandis que l'eau brute présente des valeurs oscillant de 0 à 5 ASR/20 ml (**Fig. 42**). La réglementation algérienne exige une absence totale de ces germes dans les eaux (**JORA, 2011**). La contamination par les anaérobies sulfito-réducteurs nous fait penser à une contamination fécale et, en l'absence de bactéries coliformes, à une contamination déjà ancienne.

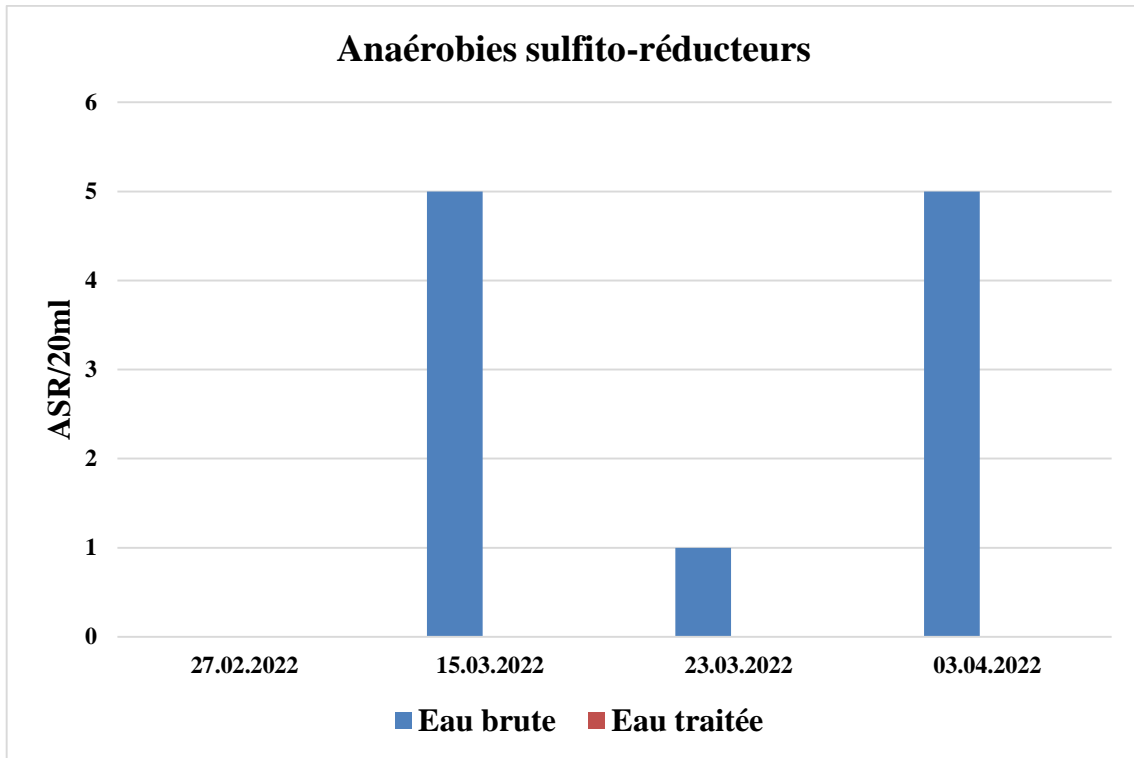


Figure 42. Evolution spatio-temporelle des ASR des eaux au niveau de la station de Hammam Debagh.

CONCLUSION

Conclusion

La potabilisation de l'eau destinée à la consommation humaine doit bénéficier d'une attention particulière. Cette eau doit contenir ni substances chimiques, ni germes pathogènes nocifs susceptibles à plus ou moins long terme à la santé des individus.

Dans ce travail nous avons apprécié que le fait qu'une eau soit potable (conforme aux normes), il faut qu'elle suive plusieurs étapes et analyses physico-chimie et bactériologique. Les résultats des analyses physicochimiques et bactériologiques obtenus dans cette étude confirment clairement que tous les paramètres sont retenus au-dessous des valeurs guides. On peut alors conclure que l'eau traitée est de bonne qualité après comparaison aux normes de la législation Algérienne.

D'un point de vue bactériologique, l'eau de consommation de la wilaya de Guelma est de bonne qualité ce qui indique l'efficacité du traitement. Mais malheureusement il y'a un manque des normes concernant l'eau brute ce qui conduit à une difficulté pour connaître la qualité de ce dernier.

D'un point de vue physicochimique, les valeurs pour les paramètres mesurés (T°C, pH, Conductivité, Turbidité, MES....etc.) indiquent que la qualité d'eau du barrage de Bouhamdane est acceptable vue que ses eaux sont légèrement troubles, mais grâce aux processus de traitement la pollution est diminuée et l'eau devient potable.

Néanmoins, il faut signaler que la station de traitement Hammam Debagh n'accomplie pas la totalité des tests pour évaluer la qualité de l'eau, ainsi il serait essentiel que la station :

- Complete l'analyse organoleptique en ajoutant le test de l'odorat à la liste d'analyse car il est prépondérant dans la détermination de la qualité perçue par la population ;
- Ajouter d'autres paramètres tels que les métaux lourds, les pesticides... ;

Nous tenions à rappeler que cette étude reste avant tout un exercice pédagogique, en temps limité (seulement 40 jour). Ainsi de nombreux points restent encore à approfondir.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- ANBT, 2022. Agence Nationale des Barrages et des Transformation, Guelma.
- Baron, S., 1996. Medical microbiology.
- Bartout, P., Touchart, L., 2013. L'inventaire des plans d'eau français: outil d'une meilleure gestion des eaux de surface. *Annales de géographie*. Armand Colin, pp. 266-289.
- Bouchemal, M., Hammoudi, C.E., 2016. Analyse de la Qualité des eaux de la station de traitement de Hammam Debegeh.
- Bourgeois, C., Leveau, J., 1980. Techniques d'analyse et de contrôle dans les industries agro-alimentaires, Technique & documentation.
- Bourrier, R., Selmi, B., 2010. Techniques de la gestion et de la distribution de l'eau: des ressources à la consommation écogérée, Éd. le Moniteur.
- Bouzidi, S., Chelihi, Z., 2017. Caractérisation physico-chimique et bactériologique avant et après traitement de l'eau du barrage de Hammam Debagh-Geulma.
- Bouzit, F.Z., 2012. Etude d'un mécanisme de traitement des eaux superficielles à base des plantes végétales.
- Cardot, C., 2001. Techniques appliquées au traitement de l'eau: hydraulique, électrotechnique, procédés de traitement, résumés de cours et problèmes résolus: génie de l'environnement, Ellipses-Marketing.
- Carip, C., Salavert, M.-H., Tandeau, A., 2015. Microbiologie, hygiène et droit alimentaire, Lavoisier-Tec & Doc.
- Chaouch, R., 2007. Identification et quantification des déchets solides encombrant les plages de la ville d'annaba: aspects physico-chimiques et bactériologiques des eaux. Université de Annaba-Badji Mokhtar.
- Chartier, M., 1974. Les types de pollutions de l'eau. *Norois* 82, 183-193.
- David, F., Diop, K., Naulet, F., Riquelme, A.S., Lecorre, M., Achouline, S., 2020. Potabilisation des eaux de surface en Afrique de l'Ouest: Solutions techniques adaptées de l'expérience de la vallée du fleuve Sénégal, Quae.
- Delarras, C., Trébaol, B., 2003. Surveillance sanitaire et microbiologique des eaux: réglementation, prélèvements, analyses, Tec & Doc.
- Desjardins, R., 1997. Le traitement des eaux, Presses inter Polytechnique.
- Eden, R., 2014. ENTEROBACTERIACEAE, COLIFORMS AND E. COLI| Classical and Modern Methods for Detection and Enumeration.
- Gantzer, C., Lucena, F., Schwartzbrod, L., Jofre, J., 1998. Indicateurs de contamination virale du milieu hydrique: mythe ou réalité? *Virologie* 2, 117-125.

- Gaujous, D., 1995. La pollution des milieux aquatiques: aide-mémoire, Lavoisier.
- Genin, B., Chauvin, C., Ménard, F., 2003. Cours d'eau et indices biologiques: pollution, méthodes, IBGN, Educagri éditions.
- Guermah, D., Tadjadit, K., 2017. Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux brutes et traitées du barrage Taksebt (cas de la station monobloc). Université Mouloud Mammeri.
- Gueroui, Y., 2014. Caractérisation Hydrochimique et Bactériologique des Eaux Souterraines de L'aquifère Superficiel de la Plaine de Tamlouka (Nord-Est Algérien).
- Gueroui, Y., 2015. Caractérisation Hydrochimique et Bactériologique des Eaux Souterraines de L'aquifère Superficiel de la Plaine de Tamlouka (Nord-Est Algérien). Thèse de Doctorat, Université 8 Mai 1945, p200. GUELMA.
- Haidar, C.M., 2014. Evaluation de la qualité de l'eau du bassin supérieur de la rivière du litani, liban: approche hydrogéochimique. Université de Lorraine.
- JORA, 2011. Journal Officiel de la République Algérienne : Décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.
- Kettab, A., 1992. Traitement des eaux (les eaux potables). OPU, Alger.
- Krieg, N.R., Manual, H., 1984. Systematic bacteriology. Williams Baltimore.
- Labres, E., Azizi, D., Boudjellab, B., 2006. Cours d'Hygiène et de Microbiologie des Eaux: Microbiologie des eaux et des boissons, Institut Pasteur d'Algérie. Documentation interne.
- Labres, E., Mouffouk, F., 2008. Les cours national d'hygiènes et de microbiologies des eaux de boisson. Manuel des travaux pratiques des eaux. Institut Pasteur d'Algérie. Algérie. 53p. • Lemkeddem C et Telli.
- Lancefield, R.C., Hare, R., 1935. The serological differentiation of pathogenic and non-pathogenic strains of hemolytic streptococci from parturient women. The Journal of experimental medicine 61, 335.
- Lefèvre, D., 1993. Reminéralisation de la matière organique en milieux hydrologiques particuliers: fronts géostrophiques en Méditerranée et lentilles d'eau méditerranéenne en Atlantique. Aix-Marseille 2.
- Legube, B., 2015. Production d'eau potable: Filières et procédés de traitement, Dunod.
- Leynaud, G., Verrel, J., 1980. Modifications du milieu aquatique sous l'influence des pollutions. La pollution des eaux continentales: incidence sur les biocénoses aquatiques. Gauthier-Villars (Publ.), Paris, France (345 p), 1-28.

- Mendonca, A., Thomas-Popo, E., Gordon, A., 2020. Microbiological considerations in food safety and quality systems implementation. *Food Safety and Quality Systems in Developing Countries*, Elsevier, pp. 185-260.
- Monod, J., 1989. *Mémento technique de l'eau*.
- Mouffok, F., 2001. *Guide technique d'analyses bactériologiques des eaux de mer*. Institut Pasteur d'Alger 40.
- Pierre-Alexandre, N., 2010. *Les secrets de l'eau*. Digeon, Terre de lys, 279p.
- Rejsek, F., 2002. *Analyse des eaux: techniques et aspects réglementaires*. Scérèn CRDP Aquitaine, Bordeaux. 358p.
- Rodier, J., Legube, B., Merlet, N., Brunet, R., Mialocq, J., Leroy, P., Houssin, M., Lavison, G., Bechemin, C., Vincent, M., 2009. *L'analyse de l'eau-9e éd. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer*. Dunod, 564-571.
- Zeghaba, N., Laraba, A., Mahia, M., 2018. *Qualité des eaux brutes du barrage Hammam Debagh, Wilaya de Guelma (Nord-Est Algérien) Quality of raw waters of the dam Hammam Debagh, Town of Guelma (North-East Algeria)*.

Webographie

[1]: <https://www.suezwaterhandbook.fr/eau-et-generalites/quelles-eaux-a-traiter-pourquoi/les-eaux-naturelles/les-eaux-de-surface> 31/05/2022.

[2]: <https://education.toutcomment.com/article/schema-du-cycle-de-l-eau-resume-15011.html> 31/05/2022.

[3]: <http://traitementeaux.e-monsite.com/pages/iii-procedes-de-traitement/iii-a-les-principaux-procedes-de-traitement-physique/1-le-pretraitement.html> 31/05/2022.

[4]: <https://www.ciffasystemes.com/fr/eau-potable-les-couvertures-aquacif/pre-traitement/dessableur-frx586a6e9865cf196e69bda6ab.htm> 31/05/2022.

[5]: <https://fr.sawakinome.com/articles/environmental-science-biology-science-nature/difference-between-coagulation-and-flocculation-in-water-treatment.html> 31/05/2022.

[6]: <https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/eau-eau-potable-sont-etapes-traitement-eau-1124/> 31/05/2022.