

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8 Mai 1945 Guelma



Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie des Procédés
Filière : Génie des Procédés
Spécialité : Génie des Procédés des Matériaux
Mémoire de projet de fin d'études

***Eau: Étude Physico-Chimique et Bactériologique
Et Développement d'un Système de Traitement
(membrane à Base de Charbon Actif)***

Présenté par :

- **Aouissi Lamaa**
- **Merabti wided**

Sous la direction de :

Professeur Bordjiba Tarik

Année universitaire 2018/2019

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciement

Nous remercions en premier lieu **Allah** qui nous a donné à la fois la volonté, le courage, et la patience afin d'élaborer ce mémoire de fin d'études.

Nous adressons nos plus vifs remerciements à notre encadreur professeur **BORDJIBA TARIK** pour sa rigueur scientifique et son amitié sincère dont il a fait preuve le long de ce travail. Merci également de nous avoir encouragées dans les moments les plus difficiles, sur le plan scientifique autant qu'humain.

Bien évidemment nos remerciements se doivent d'aller vers madame **Nabti Zineb** pour nous avoir été la directrice de notre mémoire et surtout pour ses conseils et orientations durant les moments délicats.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à tous les membres de jury qui ont accepté de rapporter ce mémoire.

Nous remercions vivement nos parents et frères qui nous ont beaucoup soutenus durant les moments difficiles et une spéciale remerciement pour mon marie .

Nous exprimons également nos gratitude à tous les professeurs et enseignants pour leur effort qu'ils ont fournis depuis la première année d'étude jusqu'à la fin de cycle universitaire.

Dédicace

je dédie cet ouvrage

*A Mon mari Hocine qui m'a soutenu et en courage durant
ces années d'études.*

A mes enfant Zaki ,anise , Ademe, lshake, Islame.

*A mes ch2res sœurs et frères qui mon toujours encouragé
et à qui je souhaite plus de succès .*

A tout ma famille .

A tous les amis.

Merci.

Table des matières

Table des matières	<i>i</i>
Table des figures	<i>ii</i>
Liste des tableaux	<i>iii</i>
Introduction générale	1

Chapitre I Généralité sur l'eau

1. Définition de l'eau.....	3
2. Cycle d'eau	3
3. Importance de l'eau	4
4. Etat de l'eau	5
4.1. L'état solide	5
4.2. L'état liquide	5
4.3. L'état gazeux	6
5. Composition de l'eau	6
5.1. Les sels minéraux.....	7
5.2. Autres minéraux et oligo-éléments.....	7
5.3. Autres substances naturelles	7
6. Propriétés de l'eau	8
6.1. Propriétés physiques de l'eau.....	8
6.1.1. Point d'ébullition	8
6.1.2. Viscosité	8
6.1.3. Solvant	9
6.1.4. Tension superficielle	9
6.1.5. Chaleur spécifique	9
6.1.6. Chaleur latente	9
6.1.7. Capacité thermique	9
6.1.8. Transparence	9
6.2. Propriétés chimiques de l'eau	9
6.3. Propriétés biologiques	10

Table des matières

7. Classification des eaux.....	10
7.1. Les eaux naturelles.....	10
7.1.1. Les eaux souterraines	10
7.1.2. Eaux de surface.....	11
7.1.3. Eaux de mers et océans	11
7.2. Les eaux usées	11
7.3. Les eaux de consommation	12
8. Pollution de l'eau.....	12
8.1. Origine de pollution	12
8.1.1. L'industrie	12
8.1.2. L'agriculture.....	12
8.1.3. Pollution domestique.....	13
8.1.4. Pollution par les eaux pluviales	13
8.1.5. Pollution d'origine naturelle.....	13
8.2. Principaux polluants	13
8.2.1. Polluants physiques	13
8.2.2. Polluants chimiques.....	13
8.2.3. Polluants biologiques	13
9. Risques sanitaire.....	13

Chapitre II: Traitement des eaux

1. Normes de potabilité d'une eau.....	15
2. Paramètres de l'eau potable	15
2.1. Paramètres physicochimiques	16
2.2. Paramètres concernant des substances indésirables	16
2.3. Paramètre concernant les substances toxiques	17
2.4. Paramètres de pollution	18
2.5. Paramètres biologiques	18
3. Description de la station de traitement	19
3.1. Origine de l'eau.....	19
3.2. Canal de l'eau brute	19
3.3. Bassin de mélange	19
3.3.1. Sous bassin de pré-oxydation	19
3.3.2. Sous-bassins de coagulation-floculation	20
3.4. Décantation	21
3.5. Filtration par le sable	22

Table des matières

3.6.	Désinfection et stockage	23
4.	Critères de choix de la qualité des eaux	24
4.1.	Caractéristiques organoleptiques	24
4.1.1.	Mesure de la couleur	24
4.1.2.	Évaluation de l'odeur	24
4.1.3.	Évaluation de goût	24
4.2.	Paramètres physicochimiques	24
4.2.1.	Température	24
4.2.2.	pH	24
4.2.3.	Conductivité	25
4.2.4.	Turbidité	26
4.2.5.	Taux des sels dissous	27
4.2.6.	Matière en suspension (MES)	27
4.2.7.	Nitrite (NO_2^-) et nitrate (NO_3^-)	27
4.2.8.	Ammonium (NH_4^+)	28
4.2.9.	Phosphates (PO_4^{3-})	28
4.2.10.	Dureté	28
4.2.11.	Oxygène dissout	29
4.2.12.	Fer (Fe^{2+})	29
4.2.13.	Sulfate (SO_4^{2-})	29
4.2.14.	Aluminium (Al^{3+})	30
4.3.	Paramètres bactériologiques	30
4.3.1.	Coliformes totaux	30
4.3.2.	Coliformes totaux	30
4.3.3.	Coliformes fécaux	31
4.3.4.	Streptocoques fécaux	32
4.3.5.	Demande biochimique en oxygène DBO_5	33
4.3.6.	Demande chimique en oxygène DCO	34
4.3.7.	Risque pour la santé	34

Chapitre III: Application de charbon actif pour la filtration de l'eau

1.	Définition.....	35
2.	Différentes formes de charbon actif.....	35
2.1.	Charbon actif en poudre (CAP)	35
2.2.	Charbon actif en granulé (CAG).....	35
3.	Applications	36

Table des matières

4. Principales voies de fabrication.....	36
4.1. L'activation physique (Voie I).....	37
4.2. L'activation chimique (Voie II).....	38
4.3. Traitements supplémentaires.....	38
2. 5. Propriétés physico-chimiques des charbons actifs	39
5.1 Microstructure des charbons actifs	39
5.2. Porosité des charbons actifs	40
5.3. Propriétés chimiques de la surface des charbons actifs	41
5.4. Fonctions de surface.....	42
6. Description des mécanismes d'adsorption des polluants en utilisant les Charbons actifs ...	43
6.1. Adsorption	43
6.2. Physisorption	44
6.3. Chimisorption.....	45
7. La filtration sur charbon actif.....	45
8. Régénération de charbon	45
8.1. Régénération à la vapeur	46
8.2. Régénération thermique.....	46
8.3. Régénération chimique	46
8.3. Régénération biologique.....	46

Chapitre IV: Méthode et matériel

1. Présentation de l'organisme d'accueil	47
1.1. Situation géographique du Barrage de Hammam Debagh (Bouhamdane).....	47
1.2. Localisation de la station de traitement.....	47
1.3. Caractéristiques du barrage de Hammam Debagh	47
1.4. Aperçu géologique	49
2. Echantillonnage	50
3. Méthodes d'analyses	51
3.1. Analyse physico-chimique	51
3.1.1. Détermination de la température	51
3.1.2. Détermination de pH	51
3.1.3. Détermination de la conductivité	52
3.1.4. Détermination de la turbidité.....	52
3.2. Analyses chimiques	53
3.2.1. Alcalinité	53
3.2.2. Titre Alcalimétrique (TA).....	53

Table des matières

3.2.3. Titre alcalimétrique complet (TAC)	54
3.2.4. HCO_3^-	55
3.2.5. Titre hydrométrique TH	56
a. Titre hydrométrique totale (TH_T)	56
b. Titre calcique (TH Ca)	56
c. Titre de magnésium (TH Mg)	57
3.2.6. Détermination des chlorures	58
3.2.7. Résidu sec (RS)	58
3.2.8. Matières en suspension (MES)	59
3.2.9. Phosphate (PO_4^{3-})	59
3.2.10. Aluminium (Al^{3+})	59
3.2.11. Sulfate (SO_4^{2-})	60
3.2.12. Fer (Fe^{2+})	60
3.2.13. Nitrate (NO_3^-)	60
3.2.14. Nitrite (NO_2^-)	61
3.2.15. Ammonium (NH_4^+)	62
3.3. Analyse bactériologique	62
3.3.1. Détermination des germes totaux	62
3.3.2. Recherche dénombrement des coliformes totaux et fécaux	63
3.3.3. Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux	64
3.3.4. Dénombrement des spores des anaérobies sulfite réducteurs (ASR)	65
4. Filtration des eaux par une membrane	65
4.1. Définition de membrane	65
4.1.1. Techniques de caractérisation de la membrane a base de charbon actifs	66
4.1.2. Le microscope optique	66
4.1.3. Spectroscopie infrarouge	68
5. Etiquetage des échantillons (prélèvements)	70

Chapitre V: Résultats et discussions

1. Comparaison entre l'eau brute et l'eau traitée	72
1.1. Paramètres physico-chimiques	72
1.1.1. Turbidité	72
1.1.2. Potentiel d'hydrogène (PH)	72
1.1.3. Conductivité	73
1.1.4. Titre alcalimétrique simple (TA) et complet (TAC)	73
1.1.5. Matières en suspension (MES) et matière organique (MO)	74

Table des matières

1.1.6. Résidu sec (RS)	75
1.1.7. Ammonium (NH_4^+), Nitrates (NO_3^-) et nitrites (NO_2^-)	75
1.1.8. Phosphates (PO_4^{3-})	76
1.1.9. Fer (Fe^{2+})	77
1.1.10. Sulfate (SO_4^{2-}) et Aluminium (AL^{3+})	77
1.1.11. Autres paramètres	78
1.2. Paramètres bactériologiques	78
1.2.1. Germes totaux	78
1.2.2. Coliformes totaux	79
1.2.3. Coliformes fécaux	80
2. La compression entre l'eau de robinet et l'eau traitée	82
2.1. Paramètres physico-chimiques	82
2.1.1. Turbidité	82
2.1.2. Conductivité	82
2.1.3. Température	83
2.1.4. Potentiel hydrogène (pH)	83
2.1.5. Total des solides dissouts (TDS)	84
2.1.6. Sels	84
2.1.7. Ammonium (NH_4^+)	84
3.4. Paramètres bactériologiques	85
3.4.1. Germes totaux	85
3.4.2. Coliformes totaux	86
3.4.3. Coliformes fécaux et streptocoques.	86
3. Le microscope optique	87
4. Spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)	88
5. Comparaison entre l'eau de robinet et eau traitée par la membrane de charbon actif	90
5.1. Paramètres physico-chimiques	90
5.1.1. Turbidité	90
5.1.2. Température	90
5.1.3. pH	91
5.1.4. Conductivité	91
5.1.5. Ammonium (NH_4^+)	92
5.1.6. Germes totaux et coliformes totaux	93
Conclusion générale	95
Annexe	97
Bibliographie	99

Tables des figures

Figure I. 1. Cycle de l'eau dans la nature.	4
Figure I. 2. Structure cristalline des molécules.....	5
Figure I. 3. Désordre des molécules.	6
Figure I. 4. Désordre maximal des molécules.	6
Figure I. 5. Molécule d'eau.	8
Figure II. 1. Canal d'amenée des eaux brutes (station Hammam Debagh).	19
Figure II. 2. Bassin de mélange (Station Hammam Debagh).	20
Figure II. 3. Bassin de coagulation	20
Figure II. 4. . Bassin de floculation.	21
Figure II. 5. Bassin de décantation.	22
Figure II. 6. Bassin de filtration.....	23
Figure II. 7. Réservoir de stockage.	23
Figure II. Les streptocoques dans l'eau.	33
Figure III. 1. (a) Représentation de la microstructure d'un charbon actif, (b) Vue symbolique du graphite.	40
Figure III. 2. phénomène d'adsorption de l'eau sur la surface de charbon actif.	43
Figure III. 3. Mécanismes de transfert de polluant sur un matériau adsorbant (d'après Çeçen et al. [70]).	44
Figure IV. 1. Photo satellitaire du barrage Hammam Debagh (Google Earth).	48
Figure IV. 2. Photo satellitaire de la station de traitement de Hammam Debagh (Google Earth)	48
Figure IV. 3. Image d'un pH-mètre utilisé lors des analyses.	51
Figure IV. 4. Image d'un conductimètre utilisé lors des analyses.	52
Figure IV. 5. Image d'un turbidimètre utilisé lors des analyses.	53
Figure IV. 6. Résultat de la recherche de TAC.....	55
Figure IV. 7. Image représentant le dosage de nitrate.	61
Figure IV. 8. Image représentant le dosage de nitrite.	62
Figure IV. 9. Image représentant le dosage de l'ammonium.	62

Tables des figures

Figure IV. 1. Image représente l'analyse bactériologique de l'eau.....	63
Figure IV. 10. Image représente les résultats des coliformes totaux et fécaux.	64
Figure IV. 11. Principe d'un microscope simplifié [52].	67
Figure IV. 12. Schéma descriptifs d'une microscopie optique [52].	68
Figure IV. 13. Spectrophotomètre FT-IR.	69
Figure V. 1. Comparaison de la turbidité entre l'eau brute et l'eau traitée.....	72
Figure V. 2. Comparaison de pH entre l'eau brute et l'eau traitée.....	73
Figure V. 3. Comparaison de la conductivité entre l'eau brute et l'eau traitée.....	73
Figure V. 4. Comparaison de TAC entre l'eau brute et l'eau traitée.....	74
Figure V. 5. Comparaison de MES entre l'eau brute et l'eau traitée.	74
Figure V. 6. Comparaison de M.O entre l'eau brute et l'eau traitée.	74
Figure V. 7. Comparaison des RS entre l'eau brute et l'eau traitée.	75
Figure V. 8. Comparaison de l'ammonium entre l'eau brute et l'eau traitée.	75
Figure V. 9. Comparaison de nitrate entre l'eau brute et l'eau traitée.	76
Figure V. 10. Comparaison de phosphate entre l'eau brute et l'eau traitée.....	76
Figure V. 11. Comparaison de fer entre l'eau brute et l'eau traitée.	77
Figure V. 12. Comparaison de l'aluminium entre l'eau brute et l'eau traitée.	77
Figure V. 13. Comparaison de sulfate entre l'eau brute et l'eau traitée.	78
Figure V. 14. Comparaison des germes totaux entre l'eau brute et l'eau traitée.	79
Figure V. 15. Comparaison des coliformes totaux entre l'eau brute et l'eau traitée.	80
Figure V. 16. Comparaison des coliformes fécaux entre l'eau brute et l'eau traitée.	80
Figure V. 17. Comparaison entre la turbidité de l'eau traitée et l'eau de robinet.	82
Figure V. 18. Comparaison entre la conductivité de l'eau traitée et l'eau de robinet.	83
Figure V. 19. Comparaison entre la température de l'eau traitée et l'eau de robinet.....	83
Figure V. 20. Comparaison entre pH de l'eau traitée et l'eau de robinet.	83
Figure V. 21. Comparaison entre TDS de l'eau traitée et l'eau de robinet.....	84
Figure V. 22. Comparaison entre l'ammonium de l'eau traitée et l'eau de robinet.....	84
Figure V. 23. Comparaison des germes totaux entre l'eau traitée et l'eau de robinet.....	85
Figure V. 24. Comparaison des coliformes totaux entre l'eau traitée et l'eau de robinet.	86
Figure V. 25. (a) la microscopie optique de la membrane de charbon actif développée avant d'effectuer le traitement d'eau. (b) la microscopie optique de la membrane de charbon actif développée après le traitement d'eau.	87
Figure V. 26. Spectre infrarouge du charbon actif.	88
Figure V. 27. Comparaison de la turbidité entre l'eau de robinet et l'eau filtrée.	90
Figure V. 28. Comparaison de la température entre l'eau de robinet et l'eau filtrée.	91
Figure V. 29. Comparaison de pH entre l'eau de robinet et l'eau filtrée.....	91
Figure V. 30. Comparaison de la conductivité entre l'eau de robinet et l'eau filtrée.	91
Figure V. 31. Comparaison de l'ammonium entre l'eau de robinet et l'eau filtrée.	92
Figure V. 32. Comparaison des germes totaux entre l'eau de robinet et l'eau filtrée.	93
Figure V. 33. Comparaison des coliformes totaux entre l'eau de robinet et l'eau filtrée.	93

Liste des tableaux

Tableau II. 1. Normes des paramètres organoleptiques d'une eau potable.	17
Tableau II. 2. Norme des paramètres physico-chimiques d'une eau potable.	17
Tableau II. 3. Normes des substances indésirables d'une eau potable.	17
Tableau II. 4. Normes des substances toxiques d'une eau potable.	18
Tableau II. 5. Norme des paramètres de pollution d'une eau potable.	19
Tableau II. 6. Norme des Paramètres microbiologiques.....	19
Tableau II. 7. Classification des eaux d'après leur pH.	26
Tableau II. 8. Classification des eaux d'après leur conductivité.....	26
Tableau II. 9. Classes de turbidité usuelles (NTU, nephelometric turbidity unit).	27
Tableau II. 10. la norme de l'OMS la classification du TH.....	30
Tableau II. 11. Échelle de valeurs de DBO5.....	34
Tableau III. 1. Classification de la taille des différents pores des CAs selon l'IUPAC.	41
Tableau IV. 1. Principales caractéristiques du barrage de Hammam Debagh (ADE).....	49
Tableau V. 1. Les valeurs d'analyse enregistrée.....	78
Tableau A. 1. Les résultats physico-chimiques des échantillons d'eau brute, Eau traité, Eau de robinet, Eau filtrée. ..	97
Tableau A. 2. Paramètres bactériologiques des échantillons d'eau brute, Eau traité, Eau de robinet, Eau filtré. ..	98

Introduction générale

L'eau est une ressource naturelle indispensable pour la survie de l'humanité et de toute espèce animale ou végétale et pour l'environnement. Aucune substance ne peut remplacer l'eau, c'est pourquoi elle a besoin d'être protégée, traitée et économisée.

Une eau est dite potable si elle respecte les valeurs imposées par la loi de portabilité traduite par des normes. La norme pour un paramètre dans l'eau est représentée par un chiffre, qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser et une limite inférieure à respecter [1].

Une des problématiques majeures de l'humanité est le risque de contamination et la mauvaise qualité de l'eau de consommation. La détérioration de la qualité de ce liquide vital représente un grand problème sanitaire, les maladies transmises par l'eau causent la mort de plus d'un million et demi d'enfants chaque année, et environnemental. Pour cela, il faut effectuer un traitement pour protéger les consommateurs des microorganismes pathogènes et d'impuretés désagréables ou dangereuses pour la santé et assurer un approvisionnement de l'eau potable aux citoyens au niveau de leurs domiciles.

À la wilaya de Guelma, les eaux brutes du Barrage de Hammam Debagh (Bouhamdane) sont objets des analyses physico-chimiques et bactériologiques. Ensuite, il y aura des traitements suivis par des analyses physico-chimiques et bactériologiques au niveau de la station de traitements des eaux située à proximité du barrage. Les eaux traitées seront acheminée aux consommateurs à travers des conduites, canalisations et châteaux d'eau. Il faut noter qu'il y a de forts risque de contaminations des eaux traitées au lors de transport à travers les conduites, les canalisations et les châteaux d'eau, ce qui représente un danger pour la santé des citoyens.

À cet effet, les objectifs principaux de ce projet de fin d'études sont :

- Maitriser les procédés de traitements des eaux effectués au niveau de la station des traitements des eaux Hammam Debagh (Bouhamdane - Guelma).
- Maitriser les techniques d'analyse physico-chimique et bactériologique des eaux.

Introduction générale

- Étude physico-chimique et bactériologique des eaux brutes et les traiter au niveau de la station des traitements des eaux Hammam Debagh,
- Développement d'un système de traitement à base d'une membrane de charbon actif installable au niveau du domicile d'un consommateur et les caractérisations structurelles de cette membrane.
- Étude physico-chimique et bactériologique des eaux de robinet et les eaux de robinet traitées en utilisant le système de traitement à base d'une membrane de charbon actif installable au niveau du domicile d'un consommateur.

Ce mémoire de projet de fin d'études est constitué d'une introduction générale, cinq chapitres et une conclusion générale. Le premier chapitre est dédié à des notions fondamentales et essentielles sur l'eau. Les procédés de traitement des eaux, les normes de portabilité sont exposés dans le second chapitre. Dans le troisième chapitre, nous présenterons les bases scientifiques sur le charbon actif et son utilisation dans le traitement des eaux. Dans le quatrième chapitre, nous exposerons les matériels et les méthodes utilisées dans ce travail y compris la description du site d'étude et les méthodes d'analyse physico-chimiques et bactériologiques des eaux ainsi que les techniques de caractérisation de la membrane de charbon actif développée au niveau du laboratoire de recherche. Les principaux résultats, discussions et interprétations sont illustrés dans le cinquième chapitre.

Chapitre 01

Généralités sur l'eau

Introduction

Indispensable à la vie, catalyseur de nombreuses réactions chimiques, l'eau est également le principal agent d'érosion et sédimentation et donc un facteur déterminant de la formation des paysages. Le caractère banal de l'eau qui nous environne, fait parfois oublier que ce liquide qui nous est si familier s'avère en réalité par ses propriétés si particulières à la fois le fluide le plus indispensable à la vie et celui dont la complexité est la plus remarquable [1].

Dans ce chapitre, nous présentons la définition l'eau, et leur passage dans la nature et les caractéristiques (propriétés) et leur classification ; Et nous mettons fin aux types de pollution.

1. Définition de l'eau

L'eau est une substance liquide, transparente, sans saveur ni odeur, réfractant la lumière et susceptible de dissoudre un grand nombre de corps. Elle est formée chimiquement de deux molécules d'hydrogène et une d'oxygène. Elle se trouve dans la nature à trois états : solide, liquide, gazeuse [2].

L'eau, sous sa forme liquide, est essentielle aux organismes vivants à la fois pour ses caractéristiques mécaniques et ses propriétés chimiques. D'un point de vue mécanique, la pression exercée par l'eau, appelée pression hydrostatique, est utilisée par les organismes pour se soutenir, que ce soit dans l'eau (méduse...) ou sur terre (végétaux). D'un point de vue chimique, l'eau dissout la majorité des corps solides et facilite ainsi les réactions chimiques, donc le métabolisme. L'eau est en effet un solvant essentiel, parfois qualifié de « *solvant universel* ». C'est d'ailleurs la présence permanente d'eau liquide qui permet de définir la zone habitable circumstellaire où il est possible de découvrir une forme de vie extraterrestre comparable à celle que nous connaissons [3].

2. Cycle d'eau

L'eau circule sans arrêt sur la terre. Elle s'évapore des océans et y revient sous forme de pluie. Le soleil fait s'évaporer l'eau des rivières, des lacs, des mers, des océans en de fines gouttelettes. En se regroupant, elles forment des nuages qui, poussés par le vent, rencontrent des masses d'air froid et donnent naissance à la pluie.

L'eau de pluie s'infiltré dans le sol et rejoint les nappes phréatiques, les sources, les rivières, les fleuves, pour recommencer sans fin le même voyage [4].

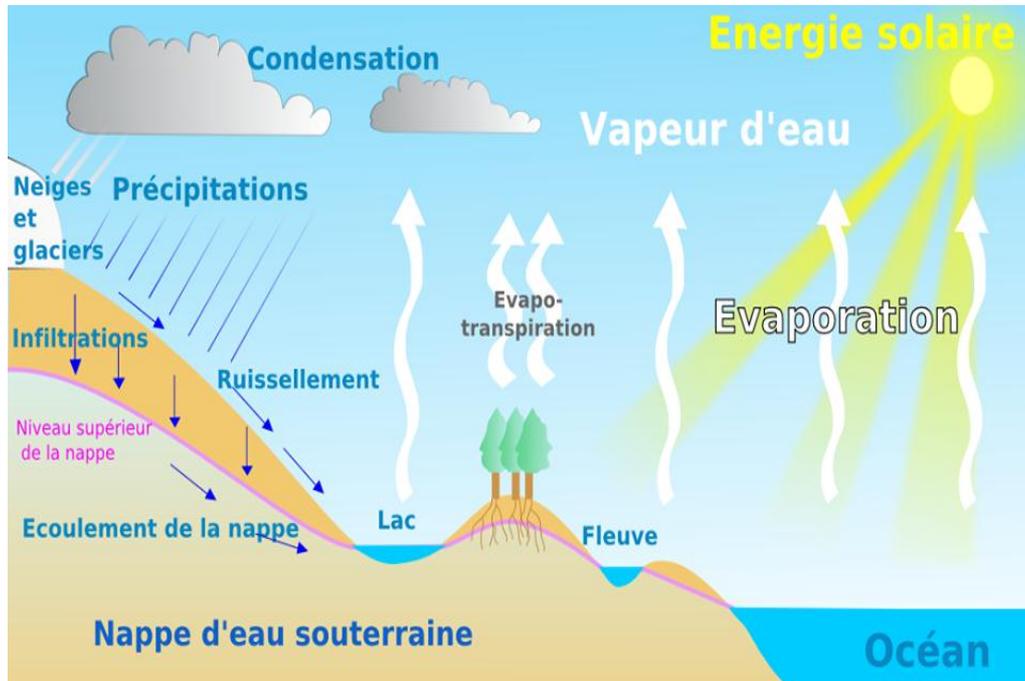


Figure I. 1. Cycle de l'eau dans la nature.

3. Importance de l'eau

L'eau est une ressource naturelle indispensable pour la survie de l'humanité et de toute espèce animale ou végétale sur terre et pour l'environnement d'une façon générale. Aucune substance liquide ne peut remplacer l'eau. En effet, elle a plusieurs particularités qui la rendent unique parmi les autres substances minérales. Dans sa phase liquide, elle a l'atout d'être un support des formes de vie. C'est le dissolvant des composants qui transporte les molécules clés et active les réactions chimiques. On parle aussi de l'eau en tant que molécule polaires disposant de terminaison positive (Hydrogène) et une autre négative (Oxygène). Ses atomes d'hydrogènes ont la capacité de tendre des liaisons avec d'autres molécules. Aucun autre liquide ne peut former un réseau aussi souple et résistant et agir comme solvant à autant de substances acides ou basiques [5].

4. Etat de l'eau

L'eau est le seul composé naturel qui existe sous forme solide, liquide et gazeuse. Avec l'action conjuguée de la chaleur (solaire) et de la pression (atmosphérique), elle change d'état. Ces changements d'états interviennent par rupture des liaisons hydrogène qui unissent les molécules d'eau entre elles.

4.1. L'état solide

L'eau est à l'état solide si la température est inférieure ou égale à 0° Celsius. A cet état, la disposition la plus courante des molécules est une structure cristalline (figure II.1):

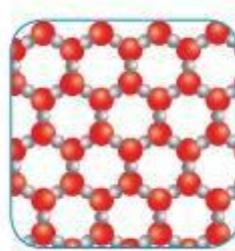


Figure I. 2. Structure cristalline des molécules.

Voici quelques exemples de présentation de l'eau à l'état solide :

- la glace : elle résulte du gel de l'eau, elle se forme à 0° Celsius,
- la neige : c'est un minuscule cristal de glace en forme d'étoiles ; les flocons se forment par agglomération de ces cristaux,
- le givre : c'est le gel du brouillard,
- le glacier : il est le résultat du tassement de la neige accumulée.

4.2. L'état liquide

L'eau est à l'état liquide pour des températures oscillant entre 0° et 100° Celsius à une pression normale (1 bar). Dans cet état, les molécules sont en désordre, elles sont plus serrées qu'à l'état solide, ce qui explique qu'un litre d'eau occupe plus d'un litre quand elle gèle.

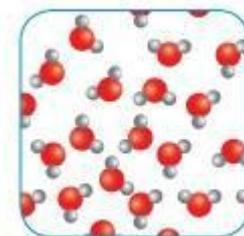


Figure I. 3. Désordre des molécules.

Voici quelques exemples de présentation de l'eau à l'état liquide :

- les nuages : ils sont formés par l'accumulation de gouttelettes d'eau,
- la pluie : elle est constituée des gouttelettes d'eau libérées par les nuages,
- le brouillard : il est constitué de gouttelettes d'eau en suspension dans l'air.

4.3. L'état gazeux

L'eau est à l'état gazeux, ou état de vapeur, dès 100° Celsius à pression normale. Mais elle peut l'être aussi à température inférieure : c'est ce qui se passe au-dessus des océans lors de l'évaporation. L'état gazeux est celui du désordre maximal des molécules : ces dernières sont tellement agitées que les forces d'attraction terrestre s'exercent de façon beaucoup moins forte.

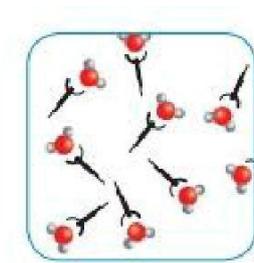


Figure I. 4. Désordre maximal des molécules.

Il est à noter que la vapeur d'eau est invisible. Ce que l'on voit, c'est sa transformation. Par exemple la vapeur qui rencontre une paroi froide se condense sur celle-ci et se transforme en eau, c'est un changement d'état [6].

5. Composition de l'eau

L'eau absolument pure ne contient que la molécule H_2O . Elle n'existe pas dans la nature, et elle son absence de minéralisation la rend mauvaise pour la santé.

Les eaux naturelles contiennent des substances dissoutes, principalement des sels minéraux provenant des couches géologiques que l'eau a traversées. Pour être propre à la consommation, l'eau doit contenir un peu de sels minéraux. Le corps humain est arrangeant : il accepte une très grande variation de composition d'eau.

Nos cellules et notre sang contiennent des électrolytes (des sels). Une eau complètement déminéralisée (ou de l'eau distillée) est mauvaise, car un phénomène "osmotique" conduirait les sels de nos cellules ou de notre sang à migrer dans l'eau, réduisant ainsi leur concentration normale dans notre corps [7].

5.1. Les sels minéraux

Ils sont constitués de cations (chargés positivement) et d'anions (chargés négativement) dissous dans l'eau, dont les principaux sont :

- Le calcium Ca^{2+}
- Le magnésium Mg^{2+}
- Le sodium Na^+
- Le potassium K^+
- Le bicarbonate HCO_3^- (appelé aussi hydrogénocarbonate)
- Le sulfate SO_4^{2-}
- Le chlorure Cl^-
- Le nitrate NO_3^-
- Le fluorure F^-

Les ions ci-dessus sont bénéfiques ou neutres. Leur concentration varie entre quelques mg/L et quelques centaines de mg/L. Seuls les deux derniers ne devraient pas être présents à forte concentration. C'est surtout le cas du fluorure. Le nitrate est inoffensif pour l'homme adulte, mais peut créer de graves problèmes chez le nourrisson. Voir d'autres détails dans ma page principale.

5.2. Autres minéraux et oligo-éléments

Les eaux contiennent de nombreux autres éléments en concentration plus faible, notamment des métaux : fer, zinc, cuivre, etc. Certains sont considérés comme bénéfiques (un peu de fer, de zinc ou de cuivre), d'autres sont toxiques, comme le plomb, le cadmium, l'uranium, qui font partie des "métaux lourds". Le mot "oligo-élément" est utilisé, sans avoir une définition scientifique précise, pour indiquer que certains métaux à très faible concentration sont considérés comme bénéfiques sur le plan médical. D'autres substances minérales dissoutes qui ne sont pas des métaux sont toxiques à diverses concentrations : c'est le cas de l'arsenic, du sélénium ou du bore.

5.3. Autres substances naturelles

L'eau contient encore d'autres substances naturelles dissoutes :

- De l'oxygène O_2
- Du gaz carbonique CO_2 (les bulles de l'eau Perrier)
- De la silice SiO_2

- Des matières organiques provenant de la décomposition de végétaux (feuilles, herbe etc.) dans les eaux de surface (rivières, lacs, étangs)
- Des bactéries, dans les eaux de surface également

6. Propriétés de l'eau

L'eau ne représente pas la même chose pour tout le monde. Elle possède des propriétés physiques et chimiques uniques et d'autres propriétés : on peut la faire geler, fondre, évaporer ou chauffer et la mélanger.

Rappelons que la molécule est la plus petite quantité d'un corps pur qui puisse exister à l'état libre. C'est un assemblage d'atomes. La molécule conserve toutes les propriétés physiques et chimiques de ce corps.



Figure I. 5. Molécule d'eau.

6.1. Propriétés physiques de l'eau

L'eau sur terre connaît une phase liquide particulièrement importante et elle possède les propriétés physiques principales suivantes [6] :

6.1.1. Point d'ébullition

Dans les phases liquide et solide de l'eau, les liaisons hydrogène lient les molécules fortement entre elles. C'est parce qu'il faut briser ces liaisons que l'eau a une température d'ébullition particulièrement élevée pour une molécule de cette masse molaire. Cette caractéristique de l'eau permet à une importante phase liquide d'exister aux températures que nous connaissons sur terre. Cette phase liquide est nécessaire à l'apparition et au maintien de la vie telle que nous la connaissons sur cette planète.

6.1.2. Viscosité

La viscosité de l'eau est très variable en fonction de sa composition chimique et de sa température de telle sorte que deux eaux peuvent être non miscibles. Ce phénomène est particulièrement important pour la continuité des grands courants océaniques qui règlent le climat planétaire.

6.1.3. Solvant

L'eau est le plus important solvant de la surface de la planète. Elle se charge donc des minéraux et substances organiques qu'elle croise et dissout.

6.1.4. Tension superficielle

La tension superficielle de l'eau est très élevée. Cette propriété permet la formation de gouttes et favorise l'ascension capillaire.

6.1.5. Chaleur spécifique

L'eau est l'élément naturel dont la chaleur spécifique est la plus élevée : $4185 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

Elle demande donc beaucoup d'énergie pour être réchauffée et pour être refroidie.

6.1.6. Chaleur latente

Les chaleurs latentes de fusion et de vaporisation de l'eau sont élevées. Comme l'énergie est prélevée sur le substrat on comprend que le phénomène d'évaporation de l'eau vers l'atmosphère refroidisse continuellement les océans. Ces caractéristiques expliquent que l'hydrosphère liquide agisse comme un tampon thermique qui régularise la température terrestre.

6.1.7. Capacité thermique

L'eau présente une très grande capacité thermique de tous les fluides. Du fait de cette capacité, les masses d'eau agissent comme des tampons ou régulateur contre les changements élevés de température.

6.1.8. Transparence

L'eau est transparente dans le spectre visible, mais elle absorbe le rayonnement infrarouge dès les premiers mètres d'épaisseur, ce qui explique que seules les eaux superficielles se réchauffent [6].

6.2. Propriétés chimiques de l'eau

L'eau est un excellent solvant qui dissout un très grand nombre de sels, de gaz, de molécules organiques. Les réactions chimiques de la vie se passent en milieu aqueux ; les organismes sont très riches en eau (jusqu'à plus de 90%). Elle a longtemps été considérée comme un solvant neutre intervenant peu ou pas dans les réactions chimiques. La dilution dans l'eau permettait en particulier de ralentir l'activité des réactifs. En fait, l'eau est un agent chimique très agressif qui risque

d'attaquer les parois du récipient qui la contient comme par exemple dans un flacon en verre, des ions silicium passent dans l'eau.

L'eau pure peut exister du point de vue réglementaire, c'est-à-dire, eau sans contaminants bactériens et chimiques, mais elle n'existe pratiquement pas du point de vue chimique (même l'eau distillée contient des traces d'ions ou de molécules organiques prélevées aux conduites et aux récipients).

Dans les réactions chimiques, l'eau intervient d'abord par sa dissociation en protons H^+ , souvent associés à H_2O pour former des protons hydratés H_3O^+ , et en ions hydroxyle OH^- . C'est le rapport entre ces 2 types d'ions qui détermine le pH de la solution (pH : logarithme de l'inverse de la concentration molaire en H^+). De nombreux métaux peuvent décomposer l'eau en produisant un dégagement d'hydrogène et un hydroxyde métallique [8].

6.3. Propriétés biologiques

L'eau, l'oxygène et le dioxyde de carbone contribuent à créer des conditions favorables au développement des êtres vivants. Il existe un cycle biologique, au cours duquel s'effectue une série d'échanges grâce à l'eau. Celle-ci est le constituant principal (en volume) des êtres vivants, et plus particulièrement du protoplasme de toutes les cellules. L'eau compose aussi la plus grande partie de nos aliments (70 à 95 % de la plupart de nos viandes et de nos fruits et légumes). Il est donc évident que « l'eau, c'est la vie », mais il convient de préciser quelques-unes des multiples relations qui existent entre elle et les êtres vivants [9].

7. Classification des eaux

7.1. Les eaux naturelles

Les réserves disponibles d'eaux naturelles sont constituées : des eaux souterraines (infiltration, nappe), des eaux de surface retenues ou en écoulement (barrages, lacs, rivières) et des eaux de mer.

7.1.1. Les eaux souterraines

Du point de vue hydrogéologique les couches aquifères se divisent en :

- Nappes phréatiques ou alluviales : peu profondes et alimentées directement par les précipitations pluvieuses ou les écoulements d'eau en dessus.

- Nappes captives : plus profondes que le premier et séparées de la surface par une couche imperméable. L'alimentation de ces nappes est assurée par l'infiltration sur leurs bordures.

La nature du terrain sous lequel se trouvent ces eaux est un déterminant de leurs compositions chimiques, cependant elles sont appelées aussi les eaux propres car ils répondent en général aux normes de potabilité. Pourtant, ces eaux sont moins sensibles aux pollutions accidentelles, elles perdent totalement leur pureté originale dans le cas de contamination par des polluants [10].

7.1.2. Eaux de surface

Ce type des eaux englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (rivières, lacs, étangs, barrages,...). La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leurs parcours dans l'ensemble des bassins versants. Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés dedans et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur. C'est à cause de ça que ces eaux sont rarement potables sans aucun traitement [1].

7.1.3. Eaux de mers et océans

Les mers et les océans constituent des énormes réservoirs d'eau. Elles représentent près de 97.4% du volume d'eau existant actuellement sur notre planète. Le reste est la part des eaux continentales (eaux souterraine et superficielles).

Les eaux de mers sont caractérisées par une grande salinité. Elles sont dénommées aussi « eaux saumâtres », ce qui rend leur utilisation difficile. Notamment leur coût très élevé pour leur traitement [1].

7.2. Les eaux usées

Les eaux usées sont les eaux résiduelles d'une industrie ou d'une communauté, qui sont destinées à être rejetées après usage. Elles sont des eaux ayant perdu, par leur utilisation industrielle ou domestique, leur pureté initiale, et qui sont devenues impropres à d'autres utilisations de qualité. Les eaux usées ne doivent pas être rejetées en masse dans le milieu naturel avant d'avoir été traitées en vue de l'élimination des polluants indésirables par passage dans une station d'épuration [11].

7.3. Les eaux de consommation

Une eau potable est une eau douce chimiquement et biologiquement saine, conforme pour un usage lié à la consommation humaine pour éviter toute maladie. Les normes appliquées à une telle eau ne devraient pas être inférieures à celles proposées dans la dernière édition de "Normes internationales pour l'eau potable" publiée par l'Organisation mondiale de la santé (OMS). L'eau du robinet est très utilisée par les ménages car son niveau de potabilité est élevé.

L'eau potable est une eau non salée, une eau douce suffisamment sûre et saine pour être consommée par les humains ou utilisée avec un faible risque de préjudice immédiat ou à long terme [11].

8. Pollution de l'eau

La pollution de l'eau est une dégradation physique, chimique, biologique ou bactériologique de ses qualités naturelles, provoquée par l'homme et ses activités. Elle perturbe les conditions de vie de la flore et de la faune aquatiques. La dégradation des ressources en eau, sous l'effet des rejets d'eaux polluées, peuvent non seulement détériorer gravement l'environnement mais aussi entraîner des risques de pénurie [12].

8.1. Origine de pollution

8.1.1. L'industrie

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 [11].

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.

8.1.2. L'agriculture

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 [13].

8.1.3. Pollution domestique

Nos eaux usées urbaines sont constituées de matière organique biodégradable certes mais de grandes consommatrices d'oxygène, de germes pathogènes et des produits chimiques [14].

8.1.4. Pollution par les eaux pluviales

Il ne faut pas oublier par ailleurs la pollution générée par les eaux pluviales. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles).

8.1.5. Pollution d'origine naturelle

Certaines substances naturellement présentes dans l'environnement entraînent parfois des problèmes de contamination de l'eau potable. Des composés inorganiques comme le baryum, l'arsenic, les fluorures, le sodium, les chlorures, le mercure, le cadmium et les cyanures peuvent contaminer l'eau potable. L'eau souterraine est particulièrement vulnérable lorsqu'il y a présence de métaux dans les formations géologiques environnantes [13].

8.2. Principaux polluants

8.2.1. Polluants physiques

La pollution physique représente les éléments solides entraînés par l'eau. Ils se subdivisent en plusieurs catégories selon leur nature et leur dimension : les éléments grossiers, les sables, la matière en suspension (MES) [15].

8.2.2. Polluants chimiques

La pollution chimique d'une eau est plus complexe et peut avoir plusieurs sources. On distingue selon la nature de la pollution chimique :

- Les éléments chimiques minéraux ;
- Les éléments chimiques organiques

8.2.3. Polluants biologiques

L'eau peut contenir des microorganismes pathogènes : des virus, des bactéries, des parasites etc. Qui sont dangereux pour la santé humaine, et limitent donc les usages que l'on peut faire de l'eau [15].

9. Risques sanitaire

Les risques sanitaires liés à l'eau sont dus à l'utilisation d'une eau polluée, impropre à l'usage voulu, comme par exemples :

- La consommation de l'eau (boisson, ...), de produits vivants ou issus de cultures en milieux aquatiques (coquillages, ...) ;
- La baignade ;
- L'utilisation en milieu hospitalier (eau chaude sanitaire, eau ultra pure, ...).

Le risque sanitaire est de nature infectieuse (virus, bactéries, parasites, champignons), chimique (minéral, organique), ou physique (thermique, radioactif).

Les risques encourus le sont à plus ou moins longs termes. Certains sont connus et avérés pour la santé, et d'autres sont suspectés voire émergents. Les principaux risques sanitaires à court terme liés à l'eau sont généralement d'ordre infectieux. Ils proviennent de la présence de micro-organismes (bactéries, virus, parasites). Les effets sont généralement bénins (troubles digestifs, mycoses) mais peuvent s'avérer plus importants (hépatites, leptospirose, typhoïde, cholera, légionellose ...). Pour les risques encourus à long terme, les symptômes dépendent de la dose et de la durée d'exposition. Les maladies développées ont souvent une origine chimique : saturnisme lié au plomb, cancers liés à l'arsenic, au mercure, au chrome, aux nitrates, aux hydrocarbures ... présents dans l'eau [16].

Conclusion

L'eau est la matière la plus importante pour l'existence de l'homme, elle est indispensable pour la survie et pour le développement de la société moderne. Elle est exposée à la pollution par des interventions humaines ou naturelles qui perturbent les conditions de vie de tous les êtres vivants, raison pour laquelle, elle a besoin de protection, de traitement, de conservation et d'économiser leur utilisation.

Chapitre 02

Traitement des eaux

Introduction

L'objectif de ce chapitre consiste d'une part à présenter les normes de potabilité des eaux, en particulier les paramètres physicochimiques de l'eau potable, et d'autre part, d'exposer la station étudiée de traitement des eaux et les critères de choix de la qualité de ces eaux.

1. Normes de potabilité d'une eau

Généralement, pour chaque paramètre de potabilité, on cherche sa présence et l'on détermine sa quantité dans l'eau. La norme pour un paramètre dans l'eau est représentée par un chiffre, qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser et une limite inférieure à respecter. Ce paramètre dépasse la concentration limite où il y a absence de conformité par rapport aux normes établies.

À ce titre, l'OMS, dans ses recommandations, ne fixe pas des normes strictes, mais plutôt des valeurs guides qui sont susceptibles d'être utilisées avec une certaine souplesse, dans le souci constant de protection de la santé de la population, tout en permet de porter un jugement comparatif sur la qualité de l'eau [17].

Une eau est dite potable si elle respecte les valeurs imposées par la loi de potabilité. Il existe six catégories de paramètres : organoleptique, physico-chimiques, biologiques, de pollution, en ce qui concerne des substances indésirables et en ce qui concerne des substances toxiques.

Concernant les qualités sensibles de l'eau (la couleur, le goût, l'odeur, la transparence), ces critères n'ont pas de valeur sanitaire directe, car une eau peut être trouble, colorée, sentir le chlore et être parfaitement consommable d'un point de vue sanitaire.

2. Paramètres de l'eau potable

Les normes des différentes caractéristiques, rapportées sur le tableau (II.1) ci-dessous, sont des valeurs maximales admissibles pour une eau potable selon les normes [18-20].

Tableau II. 1. Normes des paramètres organoleptiques d'une eau potable.

Paramètres organoleptiques	Unité	Norme (OMS, 2006)	Norme (UA, 1998)	Norme (Algérienne, 2000)
Turbidité	Unité NTU	<5	2	Au maximum 2
Couleur	mg/l de platine	15	-	Au maximum 25
Odeur	Seuil de perception à 25°C	4	2	Au maximum 4
Saveur	Seuil de perception à 25°C	2	4	Au maximum 4

2.1. Paramètres physicochimiques

Dans le règlement de l'eau potable, seules les substances présentant un risque direct pour la santé ou donnant une mauvaise qualité esthétique sont contrôlées. Leurs concentrations doivent être comparées aux concentrations maximales acceptables (CMA). Donc, il est intéressant de comparer ces normes des paramètres physico-chimiques avec les recommandations [21].

Tableau II. 2. Norme des paramètres physico-chimiques d'une eau potable.

Paramètres physico-chimiques	Unité	Norme (OMS, 2006)	Norme (ADE, 2005)	Norme (Algérienne, 2000)
Température	°C	≤ 25	≤ 25	-
pH	-	6,5 à 8,5	6,5 à 9	6,5 à 8,5
Conductivité	μ s/cm	2800	1000	Max 2800
Résidus secs	mg/l après séchage	Max 2000	Max 1500	1.5 à 2
Alcalinité totale	°F(degré français)	≥ 2,5	≥ 2,5	-
Dureté totale	°F(degré français)	≤ 15	≤ 15	10 à 50
Chlorure	mg/l de Cl ⁻	200	200	200 à 500
Sulfates	mg/l de SO ₄ ⁻	200	200	200 à 400
Sodium	mg/l de Na ⁺	200	150	200

2.2. Paramètres concernant des substances indésirables

Les substances indésirables contenues dans l'eau destinée à la consommation ne présentent aucun danger pour la santé humaine, mais dépassant un certain seuil, elles

peuvent provoquer des désagréments d'ordre esthétique ou organoleptique, tels que le fer et le manganèse (tableau II.3).

Tableau II. 3. Normes des substances indésirables d'une eau potable.

Paramètres Indésirables	Unité	Norme (OMS, 2006)	Norme (ADE, 2005)	Norme (Algérienne, 2000)
Azote	mg/l	50	Non Mentionnée	Au maximum 1
Fluor	mg/l	1.5	1.5	0.2 à 2
Hydrogène Sulfuré	mg/l	0,05 à 1	-	Peut-être décelable organoleptiquement
Fer	mg/l	0.3	0.2	Au maximum 0.3
Manganèse	mg/l	0.5	0.05	Au maximum 0.5
Cuivre	mg/l	2	2	Au maximum 1.5
Zinc	mg/l	3	Non Mentionnée	Au maximum 5
Argent	mg/l	Pas de valeur Guide	-	Au maximum 0.05

2.3. Paramètre concernant les substances toxiques

Les substances toxiques présentes présentées dans l'eau peuvent s'avérer très dangereuses pour la santé humaine si elles dépassent certaines teneurs détaillées sur le tableau II. 4.

Tableau II. 4. Normes des substances toxiques d'une eau potable.

Paramètres Toxiques	Unité	Norme (OMS, 2006)	Norme (UE, 1998)	Norme (Algérienne, 2000)
Arsenic	mg/l	0.01	0.01	Au maximum 0.05
Cadmium	mg/l	0.003	0.005	Au maximum 0.01
Cyanure	mg/l	0.07	0.05	Au maximum 0.05
Chrome	mg/l	0.05	0.05	Au maximum 0.05
Mercure	mg/l	0.001	0.001	Au maximum 0.01
Plomb	mg/l	0.01	0.01	Au maximum 0.05
Sélénium	mg/l	0.01	0.01	Au maximum 0.01

2.4. Paramètres de pollution

La pollution des eaux est due à plusieurs facteurs, dont l'activité industrielle, l'activité agricole, le déversement des effluents domestiques et industriels, comme il est précité dans le premier chapitre [22].

Tableau II. 5. Norme des paramètres de pollution d'une eau potable.

Paramètres de pollution	Unité	Norme (OMS, 2006)	Norme (UE, 1998)	Norme (Algérienne, 2000)
Nitrates	mg/l	(Voir azote)	50	Au maximum 50
Nitrites	mg/l	(Voir azote)	0.5	Au maximum 0.1
Ammonium	mg/l	0.5	Max 0.5	Au maximum 0.5
Phosphate	mg/l	0.5	Max 0.5	-

2.5. Paramètres biologiques

L'eau ne doit contenir ni microbes, ni bactéries, ni virus qui pourraient entraîner une contamination biologique et être la cause d'une épidémie.

Le dénombrement bactérien consiste à chercher des bactéries vivant aérobies, c'est-à-dire de développant en présence d'oxygène.

Tableau II. 6. Norme des Paramètres microbiologiques.

Paramètres	Unités	Normes	Norme franco anglaise	Norme française
Coliformes totaux	N/100 ml	0 dans 100 ml	-	0 dans 100 ml
Coliformes fécaux	N/100 ml	0 dans 100 ml	0 dans 100 ml	0 dans 100 ml
Streptocoques	N/200 ml	0 dans 100 ml	0 dans 51	0 dans 100 ml
Fécaux	N/200 ml	-	0 dans 100 ml	0 dans 200 ml
Clostridium	N/51 ml	0 dans 51	0 dans 201	0 dans 51
Salmonelle	N/100 ml	0 dans 100 ml	-	0 dans 100 ml
Staphylocoque	N/101	0 dans 101	-	0 dans 101
Pathogène	-	-	-	-
Entérovirus	-	-	-	-

3. Description de la station de traitement

3.1. Origine de l'eau

L'eau brute captée à partir du barrage de Bouhamdene, doit passer par la prise d'eau afin de régulariser le débit entre 1800 et 2000 m³/h selon la turbidité, et d'où les gros déchets sont maintenus au moyen de trois (3) grilles automatiques.

La prise d'eau est composée d'un régulateur de débit de 300 Tr/min, et une prise de regard pour arrêter le débit en cas de curage et coupure de courant [23].

3.2. Canal de l'eau brute

A l'entrée de la station, l'eau brute est passée dans une conduite de 700 mm de diamètre vers le bassin de mélange. Elle est équipée de : un clapet antiretour, une vanne de régulation du débit et un manomètre et un réducteur de pression (figure II.1).



Figure II. 1. Canal d'amenée des eaux brutes (station Hammam Debagh).

3.3. Bassin de mélange

Le bassin de mélange est de type rectangulaire dont les dimensions sont (21.50m X 9.20m) avec une profondeur de 5 m. Il consiste un procédé physico-chimique de clarification des eaux appelée la coagulation-floculation. Il est divisé en trois (3) sous bassins :

3.3.1. Sous bassin de pré-oxydation

La pré-oxydation se fait à l'entrée du bassin de mélange par l'injection d'hypochlorite de sodium d'une concentration de 48°. Cette opération sert à la destruction des germes pathogènes et à l'oxydation des algues et les matières organiques et métaux lourds (fer, manganèse...etc.) [23].

La dose optimale est déterminée au laboratoire au moyen de la méthode du break-point (figure II.2).



Figure II. 2. Bassin de mélange (Station Hammam Debagh).

3.3.2. *Sous-bassins de coagulation-floculation*

a. *Coagulation*

La coagulation est un processus qui consiste à neutraliser les charges portées par les substances colloïdales ou dissoutes indésirables à l'aide d'un produit chimique de charge opposée, appelé coagulant avec une agitation rapide, afin de faciliter leur agglomération en flocons décantables ou filtrables [24].

Le coagulant, qui peut être introduit dans un bassin de coagulation, est le sulfate d'alumine $[(Al_2(SO_4)_3)]$. Les caractéristiques de ce bassin sont les suivantes :

Longueur : 3.2 m

Largeur : 2.4 m.

Profondeur : 5 m.

Le bassin doit être équipé d'une unité mécanique de mélange rapide (figure II.3).



Figure II. 3. Bassin de coagulation

b. Flocculation

La flocculation est une opération complémentaire à la coagulation. Elle vise à favoriser la croissance de floccs par une agitation lente et prolongée de l'eau provenant des bassins de coagulation. Elle est réalisée dans un bassin pourvu d'une unité mécanique d'agitation et implique habituellement l'ajout d'un flocculant [24].

Elle complète la phase de coagulation et vise à assurer une plus grande cohésion du floc et une meilleure vitesse de sédimentation (figure II.9).

L'adjuvant ou le flocculant qui peut être introduit dans un bassin de flocculation est le poly-électrolyte. Les dimensions de ce bassin sont :

Longueur : 17 m.

Largeur : 9.2 m.

Profondeur : 5 m.

Le bassin doit être équipé d'une unité mécanique de mélange lent. Le temps nécessaire pour la coagulation-flocculation est de 20 à 30 minutes [24].



Figure II. 4. . Bassin de flocculation.

3.4. Décantation

La décantation est un procédé physique, qui consiste à laisser déposer les particules dans le fond du bassin dont la densité de ces particules est supérieure à celle de l'eau.

Toute particule présente dans l'eau est soumise à deux forces : la force de la pesanteur qui est l'élément moteur, car elle permet la chute de la particule, et les forces de frottements qui s'opposent à ce mouvement.

Ces particules seront périodiquement éliminées du fond du bassin de décantation. L'eau clarifiée, se situant à la surface du décanteur, est ensuite redirigée vers un filtre. La vitesse de chute des particules est proportionnelle au diamètre et à la masse volumique de la particule.

Le mélange d'eau brute et des coagulants-floculants sont introduits à la base du décanteur.

Il se trouve dans le décanteur du microsable qui « colle » aux floccs et leste. Ceux-ci tombent alors au fond du décanteur. L'eau décantée est évacuée par le haut de la cuve, mais elle doit auparavant traverser des modules lamellaires inclinés qui forcent la décantation des particules plus légères entraînées par le courant ascensionnel de l'eau au fond du décanteur. La boue est pompée en continu et envoyée vers un hydrocyclone (un appareil simple qui sépare la boue et le microsable) grâce à la force centrifuge. Elle permet d'éliminer environ 80% des matières en suspension. Le microsable est ensuite réinjecté dans le décanteur alors que les boues sont dirigées vers l'unité de traitement des boues [23].

On utilise un décanteur à recirculation de boue avec du sable. Les matières coagulées s'agglutinent autour de chaque grain de sable. Elle joue un rôle de lest des matières coagulées ce qui accélère fortement la décantation (figure II.5).



Figure II. 5. Bassin de décantation.

3.5. Filtration par le sable

La filtration par le sable est l'une des méthodes de traitement de l'eau les plus anciennes. Un filtre à sable est constitué par une couche de sable de qualité adéquate,

à travers laquelle l'eau circule à vitesse relativement faible (figure II.6). Cette technique purifie l'eau à de trois manières différentes :

- La filtration permet d'intercepter les dernières particules visibles à l'œil nu de l'eau à traiter.
- Flocculation pendant laquelle les substances se collent à la surface du sable et viennent grossir la taille de ce dernier.
- Assimilation par des micro-organismes qui se nourrissent des polluants de l'eau.



Figure II. 6. Bassin de filtration.

3.6. Désinfection et stockage

Les eaux filtrées et collectées sont transportées ensuite à travers une conduite vers le réservoir de stockage (Figure II.7) où elles vont subir une désinfection par l'injection du chlore (hypochlorite de calcium) ou bien par l'hypochlorite de sodium. Le réservoir est d'une capacité de 3000 m^3 [23].



Figure II. 7. Réservoir de stockage.

4. Critères de choix de la qualité des eaux

4.1. Caractéristiques organoleptiques

4.1.1. Mesure de la couleur

La couleur peut être due à certaines impuretés minérales, mais également à certaines matières organiques.

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle et dite aussi apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration, les couleurs réelles et apparentes sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité.

4.1.2. Évaluation de l'odeur

Une eau destinée à l'alimentation doit être inodore en effet toute odeur est un signe de pollution ou de présence de matière organique en décomposition se substance sont en général en quantité si minime.

4.1.3. Évaluation de gout

Le gout peut être défini comme l'ensemble des sensations gustatives et la propriété des produits provoquant cette sensation [24].

4.2. Paramètres physicochimiques

4.2.1. Température

Il est très important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique et dans la détermination du pH d'une façon générale, la température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air et leur origine [25].

4.2.2. pH

Le potentiel hydrogène plus connu sous le nom du pH est la valeur qui détermine si une substance est acide, neutre ou de base, il est calculé à partir du nombre d'ions d'hydrogène présents. Le pH d'une solution aqueuse varie de 0 à 14, un pH de 7 signifie que la solution est neutre, un pH inférieur à 7 indique que la solution est acide, un pH supérieur à 7 indique que la solution est basique, une solution est neutre lorsque'il y'a autant de H^{3+} que d' OH^{-} [25] (figure II.8).

Tableau II. 7. Classification des eaux d'après leur pH.

pH < 5	Acidité fort → présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH = 7	PH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée → majorité des eaux de surface
5.5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte évaporation intense

4.2.3. Conductivité

La conductivité est une mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, donc une mesure indirecte de la teneur de l'eau en ions. Ainsi, plus l'eau contient des ions comme le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le sodium (Na^{2+}), le potassium (K^+), le bicarbonate (HCO_3^-), le sulfate (SO_4^{2-}), et le chlorure (Cl^-), plus elle est capable de conduire un courant électrique et plus la conductivité mesurée est élevée [26].

Tableau II. 8. Classification des eaux d'après leur conductivité.

Classe	Conductivité	Qualité des eaux
1	50 à 400	Qualité excellente
2	400 à 750	Bonne qualité
3	750 à 1500	Qualité médiocre mais eau Utilisable
4	>1500	Minéralisation excessive

4.2.4. Turbidité

La turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoute [27] (figure II.14).

Leur origine peut être extrêmement variable : érosion des roches, entrainement des matières minérales ou organiques du sol, déversement d'eaux usées domestiques ou industrielles riches en matières en suspensions grossières [28]. La turbidité est un facteur écologique important, qui peut traduire :

une teneur importante (normale ou non) en matières en suspension : argile, limon
particules fines organiques ou inorganiques (consécutive par exemple à l'érosion, au

lessivage de sols fragiles, dégradés ou agricoles labourés) ;

Une teneur élevée en plancton ;

Une pollution ou eutrophisation de l'eau, cause éventuelle d'asphyxie (par anoxie) du milieu ou de colmatage des branchies des poissons.

Tableau II. 9. Classes de turbidité usuelles (NTU, nephelometric turbidity unit).

Classe	Turbidité	Observation
1	NTU < 5	Eau claire
2	5 < NTU < 30	Eau clairement trouble
3	NTU > 50	Eau trouble
4	NTU	La plupart des eaux de surface en Afrique atteint ce niveau de turbidité

4.2.5. Taux des sels dissous

La quantité des sels minéraux dissous influence la conductivité, la mesure qui permet de déterminer la quantité totale des sels minéraux dissous dans l'eau qui est appelée le TDS.

Une eau, dont la minéralisation est inférieure à 600 mg/l, est généralement considérée comme bonne. La mesure de la TDS se fait dans le laboratoire à l'aide d'un multi-paramètre ou un TDS-mètre en mettant une quantité de l'eau à analyser dans une cuve stérile est introduire cette eau dans l'un des appareils [27].

4.2.6. Matière en suspension (MES)

Ce sont des particules solides très fines et généralement visibles à l'œil nu, théoriquement elles ne sont pas ni solubilisées, ni à l'état colloïdal. Elles déterminent la turbidité de l'eau [29].

Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière et, par la suite, la photosynthèse. Elles peuvent également gêner la respiration des poissons. Par ailleurs, les matières en suspension peuvent accumuler des quantités élevées de matières toxiques (métaux, pesticides, huiles minérales, hydrocarbures aromatiques polycyclique...etc) [15].

La mesure de la MES permet d'apprécier la charge solide en suspension d'une eau naturelle ou résiduaire [27].

4.2.7. Nitrite (NO_2^-) et nitrate (NO_3^-)

Les nitrites et les nitrates constituent la forme la plus abondante d'azote dans l'eau, bien que naturellement présente en faible quantité dans les eaux de surface, des concentrations trop élevées de nitrites-nitrates peuvent être toxiques pour la faune aquatique et provoquer une maladie infantile (méthémoglobinémie) [30].

La présence de nitrates dans l'eau est un indice d'origine agricole (engrais), urbaine (dysfonctionnement des réseaux d'assainissement) ou industrielle.

La présence des nitrites est due, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac, soit à la réduction des nitrates, sa présence peut indiquer une pollution organique (faible taux d'oxydation) [31].

Les ions réagissent en milieu acide ($\text{pH}=1.9$) avec la sulfamide en formant un sel de diazonium (diazotation) qui forme avec le N-(1-naphtyl)-éthylènediamine-dichlorohydraté un colorant azoïque rouge. Pour le dosage : En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosylate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

4.2.8. Ammonium (NH_4^+)

L'ammonium dans l'eau traduit habituellement un processus de dégradation incomplet de la matière organique. L'ammonium provient de la réaction de minéraux contenant du fer avec des nitrates. C'est donc un excellent indicateur de la pollution de l'eau par des rejets organiques d'origine agricole, domestique ou industriel [28].

L'ammonium doit être éliminé dans les eaux de consommation, car c'est un aliment qui peut permettre à certaines bactéries de se proliférer dans les réseaux de distribution [30].

4.2.9. Phosphates (PO_4^{3-})

Les phosphates font partie des anions facilement fixés par le sol, leurs présences dans les eaux naturelles, proviennent principalement de l'activité agricole, les eaux usées domestiques et de l'activité industrielle [31]. Le phosphore joue un rôle important dans le développement des algues, il est susceptible de favoriser leur multiplication dans les réservoirs, les canalisations de grand diamètre et les eaux des lacs où il contribue à l'eutrophisation

4.2.10. Dureté

Est la concentration de tous les minéraux contenus dans une solution d'eau, plus cette concentration est forte plus l'eau est dure, au contraire plus cette concentration est faible plus l'eau est douce.

Tableau II. 10. la norme de l'OMS la classification du TH.

Classe	Dureté	Observation
1	0 à 5° TH	On a affaire à une eau très douce
2	5 à 10° TH	On a affaire à une eau douce
3	10 à 15° TH	On parlera d'une eau moyenne
4	Au-dessus de 9 GH	Il s'agira d'une eau dure et d'une eau très dure au-delà de 16°GH (30°TH)

4.2.11. Oxygène dissout La présence de l'oxygène dissout dans l'eau est indispensable pour le suivie de nombreux organismes aquatiques et favorise la photosynthèse.

La solubilité de l'oxygène dans l'eau est en fonction de la pression atmosphérique de la température et de la minéralisation de l'eau.

4.2.12. Fer (Fe^{2+})

Le complexe fer (II) –phénanthroline-1.10 est stable dans l'intervalle de pH de 2.5 à 9 et l'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de fer (II) présent. La relation entre la concentration et l'absorbance est linéaire jusqu'à une concentration de 5mg de fer par litre. Le maximum d'absorbance se situe à environ 510nm (coefficient d'absorption $11 \cdot 10^3$ /mol.cm).

4.2.13. Sulfate (SO_4^{2-})

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

4.2.14. Aluminium (Al^{3+})

Les ions d'aluminium se combinent avec le rouge d'alzarine pour former un complexe jaune-rouge qui peut être mesuré à 490 nm.

4.3. Paramètres bactériologiques

4.3.1. Coliformes totaux

L'eau ne doit contenir ni bactérie ni virus qui pourraient entraîner une contamination microbiologique et être la cause d'une épidémie. Les dénombrements bactériens consistent à rechercher des germes aérobies, autrement dit se développant en présence d'oxygène.

Cette analyse est surtout significative pour l'étude de la protection des nappes phréatiques.

La présence de coliformes fécaux ou de streptocoques fécaux indique une contamination de l'eau par des matières fécales (figure II.13). Dans les deux cas, des mesures doivent être prises pour interdire la consommation de l'eau ou en assurant le traitement [25].

4.3.2. Coliformes totaux

Les coliformes totaux sont des entérobactéries qui incluent des espèces bactériennes qui vivent dans l'intestin des animaux homéothermes, mais aussi dans l'environnement en général (sols, végétation et eau).

Ce groupe bactérien est utilisé depuis très longtemps comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau parce qu'ils peuvent être indirectement associés à une pollution d'origine fécale. La presque totalité des espèces est non pathogène et ne représente pas de risque direct pour la santé à l'exception de certaines souches d'*Escherichia coli* [34].

Ce sont des bactéries en forme de bâtonnets, aérobies ou anaérobies facultatives, possédant l'enzyme β -galactosidase, qui permet de libérer un agent chromogène utilisé dans des milieux de culture servant à les identifier. Les principaux genres bactériens inclus dans le groupe sont: *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Klebsiella* et *Serratia*. La presque totalité des espèces est non pathogène et ne représente pas de risque direct pour la santé [34],

à l'exception de certaines souches d'*E. Coli* ainsi que de rares bactéries pathogènes opportunistes[35]

Ce sont des bactéries en forme de bâtonnets, aérobies ou anaérobies facultatives, possédant l'enzyme β -galactosidase, qui permet de libérer un agent chromogène utilisé dans des milieux de culture servant à les identifier. Les principaux genres bactériens inclus dans le groupe sont: Citrobacter, Enterobacter, Escherichia, Klebsiella et Serratia. La presque totalité des espèces est non pathogène et ne représente pas de risque direct pour la santé [34], à l'exception de certaines souches d'E. Coli ainsi que de rares bactéries pathogènes opportunistes[35]

4.3.3. Coliformes fécaux

Les coliformes fécaux, ou coliformes thermo-tolérants, sont un sous-groupe des coliformes totaux sont capable de fermenter le lactose à une température de 44°C (figure II.14).

L'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est Escherichia coli et dans une moindre mesure, certaines espèces des genres Citrobacter, Enterobacter et Klebsiella.

La bactérie E. Coli représente toutefois 80 à 90% des coliformes fécaux détectés bien que la présence de ces derniers témoigne habituellement une contamination d'origine fécale. Plusieurs coliformes fécaux ne sont pas d'origine fécale, provenant plutôt d'eaux enrichies en matière organique, tels les effluents industriels du secteur des pâtes et papiers ou de la transformation alimentaire. C'est pourquoi il serait plus approprié d'utiliser le terme générique « coliformes thermotolérants » plutôt que celui de « coliformes fécaux ». L'intérêt de la détection de ces coliformes, à titre d'organismes indicateurs, réside dans le fait que leur survie dans l'environnement est généralement équivalente à celle des bactéries pathogènes et que leur densité est généralement proportionnelle au degré de pollution produite par les matières fécales. Par ailleurs, puisque les coliformes fécaux ne prolifèrent habituellement pas dans un réseau de distribution, ils sont utiles pour vérifier son étanchéité, permettant de détecter une contamination fécale découlant par exemple d'infiltrations d'eau polluée dans les canalisations. Ils sont aussi de bons indicateurs de l'efficacité du traitement de l'eau, mais comme leur nombre est moins élevé que celui des coliformes totaux, ces derniers leur sont préférables pour cette fonction [36].

Les *Escherichia coli* sont des coliformes thermotolérants ayant la particularité de produire de l'indole à partir de tryptophane dans le milieu à une température voisine de $42\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ [37].

4.3.4. *Streptocoques fécaux*

Ces bactéries appartiennent à la famille de Streptococcaceae, au genre *Streptococcus* et au groupe sérologique « D » de Lance Field. Ils sont définis comme étant des cocci sphériques légèrement ovales, Gram positifs. Ils se disposent le plus souvent en diplocoques ou en chaînettes, se développent à 37 °C et ils possèdent le caractère homoférentaire avec production de l'acide lactique sans gaz. Il y a 5 espèces reconnues parmi les streptocoques fécaux : *S. bovis*, *S. equinus*, *S. avium*, *S. faecalis* et *S. faecium* [38] (figure II.5).

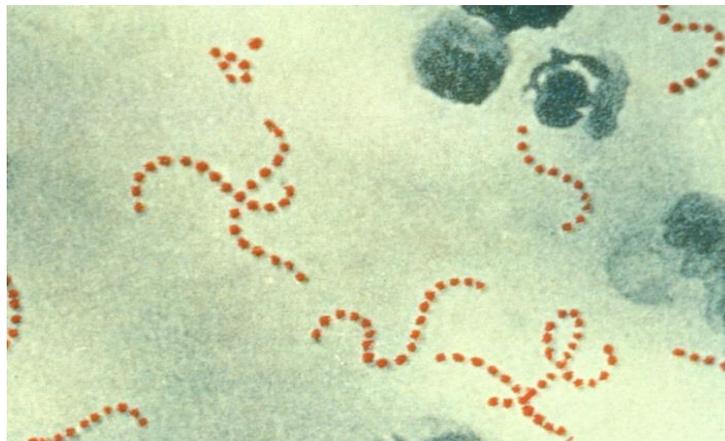


Figure II. 8. Les streptocoques dans l'eau.

4.3.5. *Demande biochimique en oxygène DBO₅*

La demande biochimique en oxygène exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau par le développement de micro-organismes.

Par convention la durée de l'essai est fixée à 5 jours, l'essai à normalisé provoquant un ensemencement microbien de l'échantillon à mesure est une incubé à 20 °C .

Cette mesure est très utilisée pour le suivi des rejets des stations d'épurations, car elle donne approximation de la charge en matières organiques biodégradables [39].

Tableau II. 11. Échelle de valeurs de DBO5.

Station	DBO ₅ mg/l « O ₂ »
Eau naturelle pure et vive	< 1
Rivière légèrement polluée	1 < C < 3
Egout	100 < C < 400
Rejet station d'épuration efficace	20 < C < 40

4.3.6. Demande chimique en oxygène DCO

La demande chimique en oxygène exprime la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques « biodégradable ou non » d'une eau à l'aide d'un oxydant.

Ce paramètre offre une représentation plus ou moins complète des oxydables présentes dans l'échantillon, cette mesure a l'avantage de fournir rapidement un résultat mais ne renseigne pas directement sur la biodégradabilité de l'eau [39].

4.3.7. Risque pour la santé

La présence d'E. Coli dans l'eau potable signifie que celle-ci a été contaminée par des matières fécales pouvant contenir des micro-organismes pathogènes, comme des bactéries, des virus ou des parasites. Les conséquences d'une exposition à des bactéries, des virus et des parasites pathogènes présents dans l'eau peuvent varier. Les symptômes les plus courants sont les suivants : nausée, vomissements et diarrhée. Les enfants en bas âge, les personnes âgées, ainsi que les personnes dont le système immunitaire sont affaiblis, peuvent avoir des symptômes plus graves. Dans les cas extrêmes, certains pathogènes peuvent infecter les poumons, la peau, les yeux, le système nerveux, les reins, ou encore le foie, et les effets peuvent être plus graves, chroniques, voire mortels. Il ne faut jamais supposer que l'eau que nous consommons est bonne à boire simplement parce qu'elle ne nous a jamais rendus malades. Si des bactéries sont présentes dans une eau, les risques de maladies sont réels [40].

Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons décrit les principales normes fixent de potabilité notamment les valeurs limites qui ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nocives qui peuvent être présentes dans l'eau.

Dans le chapitre suivant nous allons présenter les notions de base concernant le charbon actif et son application pour le traitement de l'eau.

Chapitre 03

Application de charbon actif pour
la filtration de l'eau

Introduction

Les charbons actifs sont très connus et très utilisés dans le monde industriel. Ce sont de très bons adsorbants qui sont utilisés généralement en milieux aqueux ou gazeux pour l'adsorption de composés organiques.

Dans ce chapitre nous allons présenter des notions de base sur le charbon actif.

1. Définition

Le charbon actif également appelé charbon activé est un matériau noir principalement sous forme granulaire ou pulvérulente composé essentiellement de matière carbonée à structure poreuse. De part cette porosité, la surface développée par le charbon actif est énorme, un gramme de charbon actif présente une surface interne pouvant atteindre plus de 1500 m².g-1 et cette caractéristique unique est responsable de ses propriétés d'adsorption [52].

Les CAs peuvent être obtenus à partir de tout type de matériaux solides à base de carbone qui peuvent être d'origines variées : soit i) végétale (les bois, les coques de fruits ou de noyaux [53]...) soit ii) minérale (houille, coke.).

2. Différentes formes de charbon actif

Le charbon actif est disponible sous deux formes différentes : en poudre ou en granulé [54].

2.1. Charbon actif en poudre (CAP)

Le charbon actif en poudre ou CAP prend la forme de grains de taille comprise entre 10 et 50 µm et il est généralement utilisé en combinaison avec un traitement clarificateur. Le CAP est ajoutée continuellement avec l'eau à traiter avec des agents flocculant. Ils sont recommandés d'utiliser des clarificateurs pour augmenter le temps de contact entre le charbon et l'eau.

2.2. Charbon actif en granulé (CAG)

L'élimination des micropolluants organiques et de la matière organique est l'enjeu majeur de l'emploi du CAG. Les pesticides et les composés sapides sont les principaux micropolluants organiques. L'élimination de la matière organique sous

forme de carbone organique dissous biodégradable fait appel aux phénomènes d'adsorption et de biodégradation. Cette bio élimination est rendue possible par la présence d'une biomasse colonisatrice de la surface du charbon, cette colonisation du filtre demande 1 à 2 mois.

3. Applications

Les charbons actifs sont utilisés dans les filières de traitement des eaux, de purification de produits alimentaires, et de purification de gaz. Il permet d'éliminer par adsorption des micropolluants organiques ou minéraux dans des fluides liquides ou gazeux. Plus précisément, les charbons actifs produits à partir de précurseurs lignocellulosiques ont été utilisés pour éliminer les colorants, les ions métalliques et les polluants organiques et inorganiques tels que le phénol, le chlorophénol, le nitrophenol, le fluor [55].

Ils sont également utilisés aussi dans les filtres de cigarettes pour adsorber une partie du nuisible des composants de tabac, et en tant que catalyseur ou support de catalyseur [56].

4. Principales voies de fabrication

Le principe de fabrication des charbons actifs réside dans l'obtention d'une matrice carbonée poreuse à partir de matériaux organiques contenant initialement du carbone. La carbonisation (ou pyrolyse) transforme le composé de départ en matériau carboné par décomposition thermique à haute température sous un courant continu de gaz inerte.

La matière première, basée sur une structure organique macromoléculaire, est décomposée thermiquement par des réactions de déshydratation intramoléculaires au cours desquelles il y a formation principalement de liaisons insaturées (C=C). Cette première étape entraîne l'obtention de produits primaires principalement sous forme gaz et vapeurs. Ces espèces peuvent entraîner la formation du charbon actif (réactions secondaires) mais dépendent fortement de la température et du temps de séjour. Au cours de cette étape, différents phénomènes peuvent être observés :

- Pour des températures proches de 500°C, il y a peu de réactions secondaires et les composés obtenus sont principalement composés de produits primaires stabilisés tels que des hydrocarbures aromatiques polycycliques ou des oléfines.

- Pour des températures proches de 1000°C, les réactions secondaires de type condensation Diels-Alder sont favorisées. Ces réactions permettent la formation de charbon actif par enrichissement en carbone et augmentation du caractère aromatique par rapport au précurseur.

Les atomes de carbone se réarrangent de façon aléatoire pour former des cycles aromatiques. Cet arrangement entraîne la formation d'interstices entre les feuillets, également appelés pores. Mais le produit obtenu ne possède qu'une porosité rudimentaire à cause des goudrons et autres matières carbonées désorganisées qui obstruent ces pores.

Dans ces conditions, le charbon actif ne peut pas être employé comme adsorbant sans une étape supplémentaire.

L'étape d'activation permet de générer une microstructure poreuse et d'augmenter l'accessibilité à la structure interne, ainsi que de créer de nouveaux pores et d'élargir le diamètre de ceux déjà créés lors de la carbonisation. Pour cela, deux méthodes d'activation : l'activation physique (Voie I) et l'activation chimique (Voie II) [57].

4.1. L'activation physique (Voie I)

L'activation physique consiste en une oxydation du charbon à haute température (800 à 1000°C) à l'aide d'un agent faiblement oxydant pendant 24 à 72 heures. Les réactifs gazeux principalement utilisés sont l'air, la vapeur d'eau ainsi que le dioxyde de carbone. Tous ces gaz peuvent être employés seuls ou en mélange. Dans ce processus, les matières désorganisées carbonées obstruant les pores sont éliminées par la réaction suivante :



Le contrôle de la température est un paramètre important, car au-dessus de 1000°C, la réaction engendre une dégradation du matériau. En revanche, en dessous

de 800°C la réaction est trop lente ou incomplète et donc économiquement inintéressante. Généralement, les charbons actifs produits par cette activation physique présentent une structure poreuse fine (pores étroits).

4.2. L'activation chimique (Voie II)

Contrairement à l'activation physique, l'activation chimique est classiquement réalisée simultanément avec l'étape de carbonisation en présence de catalyseurs d'oxydation tels que l'acide phosphorique, l'acide sulfurique, le sulfure de potassium, le chlorure de zinc, des sels de cuivre ou la potasse. Le matériau brut est imprégné d'un de ces agents chimiques puis chauffé sous atmosphère inerte entre 400°C et 600°C. La réorganisation structurale permet de développer une microporosité et une méso porosité par élargissement du diamètre des pores.

Les revues portant sur cette voie d'activation montrent que la taille des pores dans le charbon actif final est déterminée par le degré d'imprégnation : plus celui-ci est élevé, plus le diamètre des pores est grand. De plus, ces charbons actifs présentent une structure poreuse ouverte (les pores débouchent à la surface du grain), idéale pour l'adsorption de grosses molécules.

Néanmoins, les charbons activés chimiquement gardent généralement des traces de l'agent responsable de l'oxydation de surface (phosphore, soufre, zinc, cuivre, potassium) [57].

4.3. Traitements supplémentaires

La phase d'activation peut éventuellement être suivie d'une troisième phase consistant à modifier la surface des charbons vides réactions acido-basiques. Il s'agit le plus souvent de créer des sites acides ou basiques supplémentaires pour favoriser des interactions électrostatiques ou des liaisons hydrogène avec l'adsorbat.

Néanmoins, la fonctionnalisation de surface peut aussi être réalisée avant le processus de carbonisation par modification chimique de la matière première. En effet, Burg et coll [57] ont déjà montré que des traitements à l'urée ou des processus de déminéralisation puis d'ammonoxidation (oxydation par l'air en présence d'ammoniac) de lignites entraînaient un enrichissement du charbon actif final en fonctions basiques azotées. Ces auteurs ont montré que ces modifications de surface induisaient des changements des propriétés d'adsorption des charbons actifs. Ce

comportement a été attribué, par exemple, à une augmentation de la basicité de surface qui a induit une meilleure affinité pour les composés faiblement acides comme le dichlorométhane [57].

Finalement, dans certains cas les charbons actifs bénéficient d'une dernière étape de préparation appelée la mise en forme. Celle-ci consiste à agglomérer les charbons actifs pour obtenir des grains de dimensions contrôlées (par exemple de l'ordre du millimètre) et de résistance mécanique suffisante. Ces grains peuvent être cylindriques (obtenus par extrusion) ou sphériques (obtenus par granulation) [57].

2. 5. Propriétés physico-chimiques des charbons actifs

5.1 Microstructure des charbons actifs

La microstructure des charbons actifs contient des Unités Structurales de Base des (USB) qui sont proches de celles du graphite pur. Cette microstructure se présente sous la forme d'un empilement de couches planes d'atomes de carbone ordonnés en hexagones réguliers voir Figure 2 a. La structure du graphite est représentée sur la Figure 2b où l'on remarque que les atomes de carbones sont rangés par plans parallèles successifs distants de 0, 335 nm. Sur chaque plan parallèle, les atomes de carbones constituent un réseau d'hexagones de 0,142 nm de côté ayant un atome de carbone à chaque angle. Les charbons actifs présentent une structure amorphe faite d'USB et proche du graphite plus ou moins relié entre eux. Ils se caractérisent par une grande diversité de taille des pores, avec une microstructure poreuse qui est un réservoir potentiel pour adsorber de nombreuses molécules simples ou complexes dans une phase gazeuse ou liquide [58].

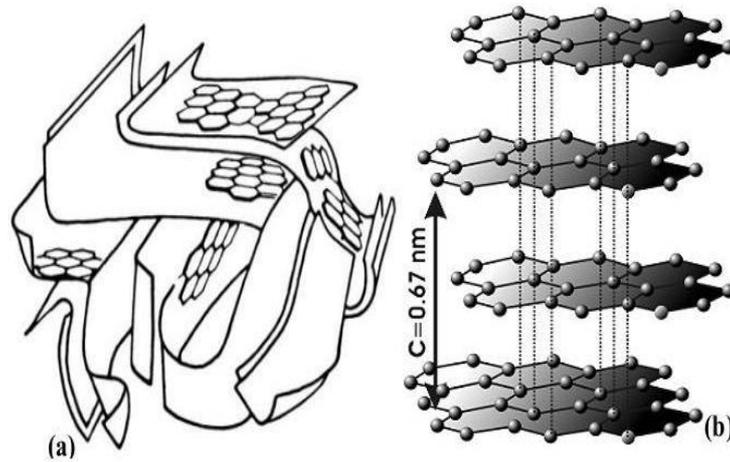


Figure III. 1. (a) Représentation de la microstructure d'un charbon actif, (b) Vue symbolique du graphite.

5.2. Porosité des charbons actifs

La porosité des CAs est caractérisée par la mesure de la surface spécifique exprimée en m^2/g , le volume des pores exprimé en cm^3/g , la forme géométrique et la distribution de la taille des pores. La surface spécifique des CAs correspond à l'étendue de la surface (externe et interne) accessible par un atome ou une molécule sonde par unité de masse du solide.

Classiquement la mesure de la surface spécifique se fait avec l'azote qui sert de molécule sonde de référence. Cette surface spécifique peut aller au-delà de $1500 \text{ m}^2/\text{g}$.

Le volume poreux correspond à l'espace intra-intra granulaire et le vide des pores au sein de la particule. Ce volume poreux peut atteindre $1,2 \text{ cm}^3/\text{g}$. En fonction de la nature du précurseur et du mode de préparation, les CAs ont une masse volumique qui peut varier de $0,1 \text{ g/cm}^3$ jusqu'à $0,6 \text{ g/cm}^3$.

Avec des pores intragranulaires qui peuvent varier en taille et en forme. En ce qui concerne la forme, il est généralement considéré que le type prédominant est les pores en forme de fente. La connaissance du diamètre des pores et leur volume ont un intérêt particulier puisqu'ils interviennent dans les phénomènes de stockage de gaz et d'adsorption de polluants de diverses tailles moléculaires en phase liquide ou gazeuse. Une classification des pores en fonction de leur diamètre moyen a été adoptée par l'Union Internationale de la Chimie Pure Appliquée (UICPA) [58].

Tableau III. 1. Classification de la taille des différents pores des CAs selon l'IUPAC.

Taille des pores	Diamètre (Å)	Volume poreux (cm ³ /g)
Macropores	Supérieur à 500	0,2 - 0,5
Méso pores	Comprise entre 20-500	0,1 - 0,4
Micropores	Inférieur à 20	0,2 - 0,6

Les micropores peuvent se différencier en deux catégories en fonction du rapport entre le diamètre de l'ouverture du pore et le diamètre de la molécule sonde. Si l'ouverture du pore n'est pas plus grande qu'au moins deux fois le diamètre de la molécule sonde, les micropores sont qualifiés d'ultra micropore. Leur remplissage s'opère à de très faibles valeurs de P/P_0 et impliquent des interactions adsorbant-adsorbat fortes. Les micropores plus larges sont qualifiés de super micropores et leur remplissage s'opère dans un domaine de pression relative légèrement plus élevé dans la région de l'adsorption multicouche.

5.3. Propriétés chimiques de la surface des charbons actifs

Il existe de nombreux sites actifs qui interviennent dans les phénomènes d'adsorption à la surface des charbons actifs. Ces sites actifs proviennent de la matière première utilisée et du procédé de fabrication du CAs. Les sites actifs de surface sont principalement des sites oxygénés et, éventuellement des sites aminés.

Si le charbon actif subit un traitement chimique oxydant, d'autres groupes fonctionnels oxygénés peuvent être introduits spécifiquement (ce processus est appelé oxydation des charbons actifs). Les fonctions oxygénées sont formées quand le charbon actif est traité avec des agents oxydants en solution liquide ou en phase gazeuse [58]. Ces traitements créent généralement trois types d'oxydes à la surface qui peuvent être acides, basiques ou neutres [64-65].

Les sites de type acide sont des groupes carboxyliques (-COOH), phénoliques (Ph-OH), carbonyliques (Ph-C=O), anhydrides (Ph-(C=O-O-O=C)), éther (Ph(-O-)Ph), quinone (O=Ph=O) et lactone (Ph-C=OO-Ph'). Les sites acides rendent le charbon actif plus hydrophile. L'introduction d'un CA aux propriétés acides dans une solution aqueuse induit une diminution du pH avec une augmentation de la densité de charges négatives à sa surface. Les sites basiques sont essentiellement du type base de Lewis correspondant à des régions riches en électrons π situés aux plans basaux [58].

D'après Fernandez [66]. Le processus d'oxydation avec des agents oxydants tels que

l'acide nitrique (HNO_3) ou l'eau oxygénée (H_2O_2), augmentent le contenu en oxygène tout en diminuant la densité électronique des charges et, par conséquent, décroît la basicité à la surface [67-68].

La connaissance de la nature chimique de la surface est essentielle pour comprendre les phénomènes liés à l'adsorption de certains composés organiques et inorganiques en solution aqueuse, par des charbons actifs [69].

Outre les groupements oxygénés générés lors du traitement d'activation, la surface des charbons actifs peut présenter d'autres éléments tels que du calcium, du magnésium ou du sodium, provenant du matériau précurseur et qui n'ont pas été éliminés lors des phases de pyrolyse et d'activation. Enfin, les charbons activés chimiquement gardent généralement des traces de l'agent activant responsable de l'oxydation de la surface. Ainsi, il est fréquent de retrouver des espèces phosphorées à la surface de charbons activés avec H_3PO_4 ou du zinc à la surface des charbons actifs activés avec ZnCl_2 [58].

5.4. Fonctions de surface

La surface très développée fait des charbons actifs des matériaux aux propriétés physiques très intéressantes. Néanmoins, bien que le carbone soit l'élément majoritaire du charbon actif, il peut également contenir des quantités variables d'oxygène et d'hydrogène mais également en quantités résiduelles des atomes de chlore, de phosphore, de soufre... Ces éléments peuvent provenir du précurseur, du catalyseur d'oxydation ou des traitements postérieurs et deviennent partie intégrante de la structure chimique du matériau.

Ainsi, des teneurs pouvant atteindre par exemple 30 % molaire en hydrogène ou 15 % molaire en oxygène peuvent être rencontrées et ces atomes sont à l'origine de groupes fonctionnels situés aux extrémités des unités poly aromatiques constituant le charbon actif.

Ces groupes fonctionnels déterminent les propriétés chimiques de surface du charbon actif et donc influencent l'affinité avec l'adsorbat. Les premiers travaux s'intéressant à l'identification et la quantification des fonctions de surface ont été réalisés par Boehm et Donne dans les années 60. Globalement, il y a une majorité de groupements acides qui prédominent à la surface des pores, telles que des fonctions de

types acide carboxylique, lactone et phénol. En revanche, on peut retrouver également des groupements basiques de type chromène et pyrone [57].

6. Description des mécanismes d'adsorption des polluants en utilisant les Charbons actifs

6.1. Adsorption

L'adsorption est un traitement efficace pour enlever la matière organique, particulièrement quand la charge moléculaire est importante et la polarité est faible. Le charbon actif peut donc être utilisé pour enlever les phénols, les hydrocarbures saturés qui sont des molécules insolubles difficilement attaquables par l'ozone, les pesticides, les métaux lourds, les agents tensio-actifs [59].

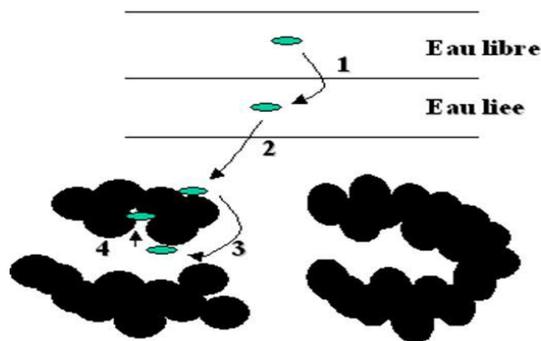


Figure III. 2. phénomène d'adsorption de l'eau sur la surface de charbon actif.

Le niveau d'activité de l'adsorption est basé sur la concentration de la substance dans l'eau, la température et la polarité de la substance. Une substance polaire (soluble dans l'eau) ne peut pas ou est très mal supprimée par le charbon actif, alors qu'une substance non polaire peut être totalement supprimée par le charbon actif. L'adsorption est moins efficace contre les solvants polaires et les composés chlorés avec une faible charge moléculaire .

L'adsorption des composés ionisés est faible . Toute sorte de charbon a sa propre isotherme d'adsorption [59].

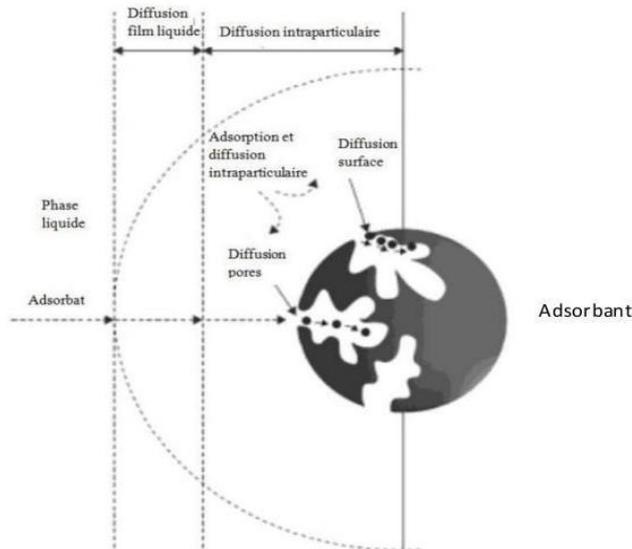


Figure III. 3. Mécanismes de transfert de polluant sur un matériau adsorbant (d'après Çeçen et al. [70]).

Le transfert de masse externe correspond à la migration du polluant présent dans la solution vers la surface externe des particules. Le transfert de masse interne concerne le fluide contenu dans les pores. La diffusion de surface correspond au transport des polluants le long des surfaces des pores. Cette diffusion de surface dépend essentiellement des fonctions chimiques de surface présentes sur l'adsorbant [70].

Deux types de force sont responsables des interactions qui peuvent s'établir entre le solide adsorbant et l'adsorbat, et permet de distinguer deux types d'adsorption : l'adsorption physique (physisorption) et l'adsorption chimique (chimisorption) [60].

6.2. Physisorption

L'adsorption physique est un phénomène réversible qui résulte de l'interaction des forces intermoléculaires d'attraction entre les molécules d'adsorbants et celles de l'adsorbat. Le déplacement de l'équilibre dans le sens de l'adsorption est favorisé aux basses températures.

Les forces d'interaction mises en jeu, qui sont de l'ordre de $30 \text{ à } 40 \text{ kJ.mol}^{-1}$, sont des forces de types Van der Waals ou forces de London, des forces polaires résultant d'un champ électrique à la surface de l'adsorbant ou des liaisons hydrogène dues à la présence de certains groupements à la surface [58].

6.3. Chimisorption

La chimisorption résulte d'une interaction chimique qui se manifeste par un transfert électronique sous forme de liaison ionique ou covalente entre les molécules adsorbées et le groupement fonctionnel de l'absorbant. Cette réaction chimique provoque alors la formation d'un nouveau type de composé à la surface de l'absorbant. Ce type d'adsorption met en jeu une enthalpie de transformation élevée. Dans ce cas la désorption du produit adsorbé est difficile et nécessite des procédés onéreux à cause de la formation de liaison forte entre l'adsorbé et l'adsorbant [58].

7. La filtration sur charbon actif

La filtration sur charbon actif consiste à biodégrader et oxyder les matières organiques ainsi qu'éliminer ou absorber certains micropolluants pour améliorer le goût, l'odeur et la couleur de l'eau. Le phénomène physique est l'adsorption, c'est à dire l'adhésion des matières à filtrer sur la surface d'un solide, sans réaction chimique. Ainsi, le filtre composé de grains de charbon actif retient les bactéries. Par ailleurs, le charbon actif est le composé le plus adsorbant actuellement connu, car sa structure extrêmement poreuse augmente la surface en contact avec l'eau, elle possède donc une grande surface permettant d'absorber et de dégrader les matières organiques et les micros polluants (pesticides) par voie microbiologique. Par ailleurs, grâce à la pré-ozonation de l'eau qui a augmenté la biodégradabilité des micropolluants c'est-à-dire la capacité d'une molécule à être dégradée par l'action d'organismes biologiques. Le charbon actif participe à l'élimination de la matière organique et de l'ammoniac [61].

Le rôle de cette filtration est triple :

- Retenir les dernières matières en suspension
- Arrêter les pesticides qui auraient franchi la décantation (malgré traitement)
- Eliminer la matière organique et les sels d'ammoniaque.

8. Régénération de charbon

Le charbon actif est un produit relativement coûteux, c'est pourquoi il est très souvent régénéré. Il existe trois méthodes de régénération [62] :

8.1. Régénération à la vapeur

Cette méthode est réservée à la régénération des charbons actifs qui ont simplement adsorbés des produits très volatils. Cependant, le traitement à la vapeur peut être utile pour déboucher la surface des grains de charbons et désinfecter le charbon.

8.2. Régénération thermique

Cette opération est réalisée par pyrolyse ou en brûlant les matières organiques absorbées par les charbons actifs. Dans le but d'éviter d'enflammer les charbons, ils sont chauffés aux alentours de 800 °C au sein d'une atmosphère contrôlée. C'est la méthode de régénération la plus largement utilisée et régénère parfaitement les charbons actifs. Cependant elle a quelques désavantages : très coûteuse avec l'achat de plusieurs fours, il y a une perte de charbon de l'ordre de 7-10 %. L'utilisation de fours électriques réduit ces pertes.

8.3. Régénération chimique

Procédé utilisant un solvant utilisé à une température de 100 °C et avec un pH important. L'avantage de cette méthode réside dans la minimisation des pertes de charbons (environ 1%). Les polluants sont ensuite détruits par incinération.

8.3. Régénération biologique

Cette méthode de régénération n'a pas encore été appliquée à l'échelle industrielle.

Conclusion

Au cours de ce chapitre nous avons vu les propriétés physico-chimiques et la technique d'adsorption des polluants sur le charbon actif ainsi que leur filtration et régénération.

Dans le chapitre qui suit nous allons voir la station de traitement et les méthodes des analyses physico-chimiques et bactériologiques de la qualité des eaux, ainsi que le développement d'un nouveau système de filtration des eaux.

Chapitre 04

Matériels et méthodes

Introduction

Les objectifs de ce projet de fin d'études sont :

- a. L'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau brute, traitée au niveau de la station de traitement des eaux de bassin de Hammam Debagh qui comporte l'eau du barrage de Bouhamdane.
- b. L'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau robinet (originale de l'eau traitée à la station) livrée aux domiciles de la commune de Benjarah, Wilaya de Guelma.
- c. Le développement d'un nouveau système de filtration des eaux de robinet.
- d. L'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau traitée par le système de filtration développé.

Ce travail a été effectué en deux parties :

- *Partie A* : au niveau de la station des traitements des eaux du Barrage de Hammam Debagh (Bouhamdane).
- *Partie B* : au niveau de le laboratoire de Génie Electrique de Guelma (LGEG) de l'Université 8 Mai 1945 Guelma.

Partie A

1. Présentation de l'organisme d'accueil

1.1. Situation géographique du Barrage de Hammam Debagh (Bouhamdane)

Le barrage de Hammam Debagh est situé dans la wilaya de Guelma à 25 km à l'ouest du chef-lieu. Il dépend administrativement de la Daïra de Hammam Debagh et de la commune de Bouhamdane, occupant une superficie totale de 700 hectares. Il est alimenté principalement par Oued Bouhamdane (figure IV.1).



Figure IV. 1. Photo satellitaire du barrage Hammam Debagh (Google Earth).

1.2. Localisation de la station de traitement

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 $7^{\circ}15'21.23''E$. Élévation : 296 m (Figure IV.2).

La station est alimentée par le barrage Bouhamdane qui possède une capacité théorique de 220 millions de m^3 (ADE).



Figure IV. 2. Photo satellitaire de la station de traitement de Hammam Debagh (Google Earth).

1.3. Caractéristiques du barrage de Hammam Debagh

Les principales caractéristiques du barrage de Hammam Debagh sont présentées dans le Tableau suivant.

Tableau IV. 1. Principales caractéristiques du barrage de Hammam Debagh (ADE).

Caractéristique	Leur propriété
Début des travaux	Octobre 1980
Achèvement des travaux	Décembre 1987
Effluents	Oued Bouhamdane
Type	En terre avec noyau centrale
Capacité hydrique	200 h m ³ (1988) 184,347 h m ³ (2004)
Superficies du bassin versant	1070 km ²
Apport annuel moyen	69 h m ³
Profondeur maximale	93 m
Hauteur de l'eau	95m
Envasement moyen annuel	0,53 h m ³
Sources d'approvisionnement en eau	Oued Bouhamdane et ses affluents
Longueur en crête	430 m
Largeur en crête	9 m
Volume de la digue	6500000 m
Largeur à la base	516 m
Longueur de couronnement	430 m
Excavations	1.700.000 m ³
Coffrages	6.500.000 m ²
Remblais	130.000 m ²
Aciers	6.000 T
Béton	198.000 m ³
Forages et injections	39.0

1.4. Aperçu géologique

La région de Hammam Debagh appartient aux nappes épi telliennes qui résultent d'une poussée vers le sud de la chaîne du djebel Debagh du Grar et du Kef - Haroun, ou affleure un substratum formé de calcaires Crétacés. C'est sur celui-ci qu'ont été charriées les nappes dites telliennes.

2. Echantillonnage

L'eau de bassin de Hammem Debagh (brute, traitée) et l'eau de robinet ont été prélevées et analysées durant la période de Mars et avril 2019.

En effet, les échantillons peuvent être contaminés par un manque de soin dans l'application des techniques d'échantillonnages. Pour l'analyse bactériologique les échantillons sont prélevés à l'aide des flacons en verre pyrex munis de bouchon métallique à vis, stérile.

Pour l'analyse des paramètres physicochimiques, les échantillons doivent être prélevés dans des récipients propres, et en plastique.

Pour faciliter le travail et l'exploitation des résultats tout en évitant les erreurs, il est essentiel que les échantillons soient clairement étiquetés immédiatement avant les prélèvements et que les étiquettes soient lisibles et non détachables [25]. Aussi noté la date, l'heure, les conditions météorologiques, un numéro et toutes circonstances anormales.

Dans le cas du robinet, il est indispensable de faire couler l'eau pendant un certain temps qui ne sera jamais inférieur à 10 mn [28]. Durant les prélèvements, les flacons sont rincés trois fois avec de l'eau à analyser puis remplis jusqu'au bord. Le bouchon est placé de telle manière à ce qu'il n'y ait aucune bulle d'air et qu'il ne soit pas éjecté au cours du transport.

Les prélèvements sont effectués dans les meilleures conditions de stérilisation. Pour procéder aux prélèvements, il y a lieu de suivre les étapes suivantes :

- Se laver très soigneusement les mains et les avant-bras, les rincer à l'alcool et les laisser sécher.
- Flamber le robinet pendant au moins 1 minute en utilisant par exemple une lampe à souder portative au gaz butane ou une tige en fer enrobée de coton imbibé d'alcool.
- Ouvrir le robinet et laisser couler 10 minutes avant de faire le prélèvement, tout en gardant la flamme allumée à côté du robinet [28].
- Il est très important de procéder à l'analyse dans un délai très court, inférieur à 8 heures, l'analyse ne doit être effectuée lorsque le délai dépasse 24 heures. Si le transport doit dépasser une heure, il faut utiliser une boîte isotherme munie d'éléments réfrigérants.

3. Méthodes d'analyses

3.1. Analyse physico-chimique

L'analyse physico-chimique contient les paramètres suivants : la température, pH, conductivité, turbidité, titre alcalimétrique (TA), titre alcalimétrique complet (TAC), titre hydrométrique (TH), titre hydrométrique total (TH_T), titre calcique (TH_{Ca}), titre de magnésium (TH_{Mg}), Cl⁻, résidu sec (RS), matière en suspension (MES), Fe⁺², HCO₃⁻, PO₄⁻³, SO₄⁻², Al⁺³.

3.1.1. Détermination de la température

La température est un paramètre très important dans l'analyse des eaux. Elle joue un rôle dans la dissociation des sels dissous et la détermination de pH, la conductivité électrique et la vitesse de la réaction dans l'eau.

- *Appareillage.* Elle doit être mesurée par un thermomètre aussi mesuré par l'appareil multi paramètre.
- *Mode opératoire.* Le thermomètre placé dans une gaine terminée par un réservoir qui évite les variations de température du moment de mesure.

3.1.2. Détermination de pH

Le potentiel hydrogène ou pH d'une solution aqueuse est une mesure de l'activité chimique des ions hydrogènes. Il mesure l'acidité ou la basicité d'une solution. Ainsi, dans un milieu aqueux à 25°C.

- *Appareillage.* Le pH peut être mesuré à l'aide d'un pH mètre à électrode de verre (figure IV.3).



Figure IV. 3. Image d'un pH-mètre utilisé lors des analyses.

- *Mode opératoire.* Nous rinçons les électrodes de pH-mètre avec de l'eau distillée, les mesures sont faites automatiquement nous plongeons les électrodes dans l'eau à analyser nous attendons jusqu'à ce que la valeur indiquée reste constante.

3.1.3. Détermination de la conductivité

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques.

L'unité de la conductivité est le micro siemens par centimètres ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

- *Appareillage.* La conductivité électrique a été mesurée par lecture directe sur un conductimètre (figure IV.4).



Figure IV. 4. Image d'un conductimètre utilisé lors des analyses.

- *Mode opératoire.* Avant de commencer la mesure, il faut d'abord rincer l'électrode de l'appareil par l'eau distillée.

Plonger l'électrode dans le récipient contenant l'eau à analyser en prenant soin que l'électrode soit complètement immergée.

3.1.4. Détermination de la turbidité

La turbidité est un indice de la présence de particules en suspension dans l'eau composées d'argile, de limon, de particules organiques de plancton et de divers autres organismes microscopiques.

- *Appareillage.* Turbidimètre (Hach 2100N) (figure IV.5). Cuve stérile.



Figure IV. 5. Image d'un turbidimètre utilisé lors des analyses.

- *Mode opératoire.* Les mesures ont été faites le plus rapidement après prélèvement les échantillons ont été introduits un par un au niveau de la cellule optique de l'appareil.

Les valeurs de la turbidité ainsi obtenues sont données par l'unité NTU (nephelometry turbidity unit).

3.2. Analyses chimiques

3.2.1. Alcalinité

La détermination de l'alcalinité est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué en présence d'un indicateur coloré.

Réactifs

Acide chlorhydrique ou sulfurique N/50

Solution de phénolphtaléine dans l'alcool à 0,5%

Solution de méthylorange à 0,5%

Eau permutée exempte d'anhydrique carbonique libre (par ébullition de 15 min)

3.2.2. Titre Alcalimétrique (TA)

C'est le premier point de neutralisation à pH=8,3 en présence de la phénolphthaléine il correspond à la neutralisation des bases libres « soude chaux » et à la demi neutralisation des carbonates.

Expression des résultats

$$TA = [\text{OH}^-] + \frac{1}{2}[\text{CO}_3^{2-}]$$

- *Mode opératoire.* Prendre 100 ml d'eau à analyser dans un bécher, ajouter 2 à 3 goutte de solution de phénolphthaléine, donne une coloration rose. Verser ensuite doucement l'acide sulfurique H_2SO_4 (N/50) dans le bécher à l'aide d'une burette, avec l'agitation la couleur se dispersé.

Si la couleur n'apparaît pas TA=0 (PH<8,3 donc TA=0).

Expression des résultats

$$\text{TA } ^\circ\text{F} = \text{V litre}$$

Ce volume correspond à V₁ exprimé en ppm de CaCO₃ donnant le TA, est donné par la relation :

$$\text{TA (mg/l)} = \text{V}_1 \cdot \text{N} \cdot 50 \cdot 10^3 / \text{V}_p$$

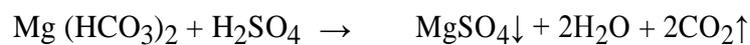
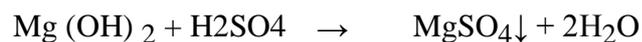
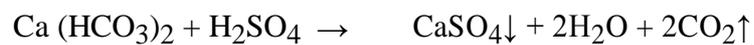
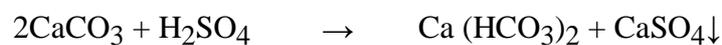
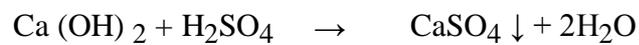
V₁ : volume H₂SO₄

N : normalité de H₂SO₄

50 : l'équivalent gramme du CaCO₃

V_p : le volume en ml de la prise d'essai

Réactions



3.2.3. Titre alcalimétrique complet (TAC)

C'est le deuxième point de neutralisation à pH=4,5 caractérisé par le passage de méthylorange de jaune pâle à l'orange. Il correspond à la neutralisation des bicarbonates (figure IV.6).

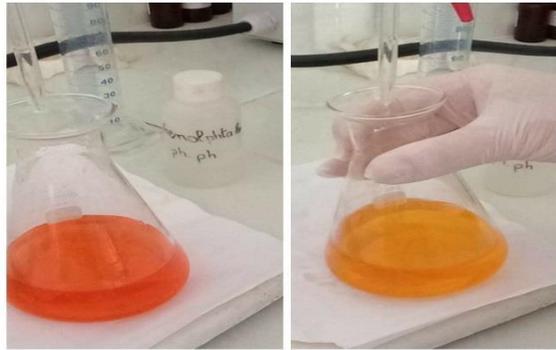


Figure IV. 6. Résultat de la recherche de TAC.

Expression de résultat

$$\text{TAC} = [\text{OH}^-] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]$$

- *Mode opératoire.* Utiliser les échantillons traités précédemment utilisés pour l'obtention de TA. Ajouter 2 à 3 gouttes de méthylorange et traiter avec l'acide sulfurique jusqu'au virage du jaune orangé pH=4,3 qui correspond à un volume V_2 .

Le TAC exprime en ppm le CaCO_3 est donnée par la relation.

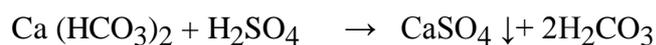
$$\text{TAC (mg/l)} = V_2 \cdot N \cdot 50 \cdot 10^3 / V_p$$

V_2 : volume de H_2SO_4

N : Normalité de H_2SO_4

50 : l'équivalent gramme du CaCO_3

V_p : le volume en ml de la prise d'essai

Reactions*3.2.4. HCO_3^-*

Le volume est déterminé par les expressions suivantes :

$$\text{HCO}_3^- \text{ (mg/l)} = V_A \cdot N_A \cdot M_{\text{HCO}_3} \cdot 1000 / \text{PE}$$

$$\text{HCO}_3^- \text{ (mg/l)} = V_A \cdot (N/50) \cdot 61.1000/100$$

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

N_A : normalité d'acide versé.

M_{HCO_3} : masse des bicarbonates (HCO_3).

PE : prise d'essai.

Expression des résultats

$$\text{HCO}_3^- \text{ (mg/l)} = V \cdot 12,2$$

3.2.5. Titre hydrométrique TH

a. Titre hydrométrique totale (TH_T)

La mesure de TH est déterminer la concentration totale en ions de calcium et de magnésium en effectuant un dosage avec l'acide éthylène diamine tétra acétiques (EDTA) qui forment un complexe du type chélate à $\text{pH}=10$ en utilisant l'ériochrome noir NET comme indicateur.

Réactifs

Solution NH_4OH

Solution Na OH

Solution de l'EDTA N/50

Solution de NET

- *Mode opératoire.* Introduire 100 ml d'eau à analyser dans un bécher de 250 ml, ajouter 2 ml de la solution tampon de NH_4OH et 2 à 3 gouttes de la solution noire eriochrome T. la solution doit colorer en rouge foncé violet, et son PH doit être de 10. Titre immédiatement à l'aide de la solution d'EDTA jusqu'au virage de la couleur rouge vineux au bleu vif qui lui correspond un volume V.

On donne le titre hydrométrique en ppm par la relation :

$$\text{TH}_T \text{ (mg/l)} = V \cdot N \cdot 100000/V_P$$

V : volume de l'EDTA.

N : normalité de l'EDTA

V_P : le volume en ml de la prise d'essai

b. Titre calcique (TH Ca)

Le calcium est un métal alcalino-terreux très répandu dans la nature.

La détermination des concentrations en ions calcium s'effectue par l'hydroxyde de sodium et on utilise l'ENT comme indicateur.

Réactifs

Solution de Na OH (2N)

Murexide

Solution de l'EDTA (N/50)

- *Mode opératoire.* Prendre 100 ml d'eau à analyser dans un bécher de 250 ml, ajouter 2ml de solution tampon de Na OH avec une pincée de l'indicateur murexide en fin titrer avec l'EDTA (N/50) jusqu'au virage de couleur du rose au mauve qui correspond au volume en ppm de CaCO₃.
- *Expression des résultats*

$$\text{TH Ca (mg/l)} = V_{\text{EDTA}} \cdot f \cdot 8$$

Le facteur f :

Réactifs

CaCl₂ solution mère

Solution tampon de Na OH (2N)

Murexide

Solution de l'EDTA

- *Mode opératoire.* Prendre 50 ml de solution mère de CaCl₂ et 2 ml de Na OH (2N) et pincée de murexide avec le titrage par l'EDTA (N/50) jusqu'à virage de couleur violet.

$$f = 12,2 / V_{\text{EDTA}}$$

c. Titre de magnésium (TH Mg)

Le magnésium est un des éléments aussi très répandus dans la nature.

La détermination des ions de magnésium s'effectue par un dosage par l'EDTA à pH=10

Réactifs

Solution EDTA N/50

Noir eriochrome T

Solution NH₄OH

- *Mode opératoire.* Dans un bécher de 250 ml on prend 50 ml d'eau à analyser et on ajoute 2 à 3 gouttes de NH₄OH jusqu'à pH=10 et une pincée de eriochrome noire T et titrer avec l'EDTA N/50 jusqu'à virage de la couleur bleu.
- *Expression des résultats*

$$\text{TH}_{\text{Mg}} (\text{mg/l}) = (V_2 - V_1) \cdot f \cdot 4.8$$

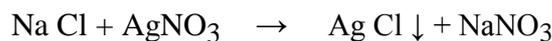
V₂ : volume titre de calcium et de magnésium

V₁ : volume titré de calcium

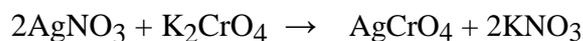
3.2.6. Détermination des chlorures

Le dosage des chlorures est réalisable en milieu neutre par une solution titré de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium.

Le chromate d'argent Ag₂CrO₄ donne la couleur rouge qui indique la fin de la réaction.



Après la transformation de tous les ions de l'Ag Cl chaque point s'ajoute d'AgNO₃ fait une réaction avec K₂CrO₄.



- *Mode opératoire.* Dans un erlenmeyer prendre 25 ml d'eau à analyser et ajoute 2 à 3 gouttes de HNO₃ puis pincée de CaCO₃ et 3 gouttes de solution de chromate de potassium à 10%. Et titrer avec le nitrate d'argent AgNO₃ jusqu'à l'apparition d'une teinte rouge brique qui doit laisser 1 à 3 minutes.

La teneur en chlorures est donnée par la formule :

$$[\text{Cl}^-] (\text{mg/l}) = V_{\text{titré}} \cdot 142$$

* . 1000 / V_p = 142

N : normalité d'AgNO₃ 0,1N

M : masse molaire de Cl

V_p : volume de la prise d'essai

3.2.7. Résidu sec (RS)

La détermination de résidu permet de d'estimé la teneur en matière dissous et en suspension d'une eau non filtré c'est le résidu total. Si l'eau est filtrée préalablement à la mesure, le résidu correspond alors aux matières dissoutes.

- **Matériel** . Capsule en porcelaine. Balance analytique. Etuve réglable
- **Mode opératoire**. Laver la capsule et rincée dans l'eau distillée puis desséchée, prélever 100 ml d'eau à analyser dans une bécher et porter à l'étuve à 105 C° pendant 24 heure laisser la refroidir pendant ¼ heure au dessiccateur et peser immédiatement et rapidement.
- **Expression des résultats**

$$RS \text{ (mg/l)} = (P_p - P_v) \cdot 10 \cdot 1000$$

P_p : poids de bécher plein

P_v : poids de bécher vide

3.2.8. Matières en suspension (MES)

La détermination de poids de la matière retenue par le filtre par pesée différentielle on filtre sur flâne de verre.

- **Matériel**. Dispositif de filtration sous vide ou sous pression, disque filtrant en flânes de verres.
- **Mode opératoire**. Laver et sécher le disque de filtration jusqu'à une masse constante puis le peser à 0.1 mg pris après passage au dessiccateur.
Mettre en service le dispositif d'aspiration ou de pression, verser l'échantillon sur le filtre, rincer la fiole ayant contenu l'eau à analyser avec 10 ml d'eau distillée. Faire passer sur le filtre cette eau de lavage laissé essorer.

3.2.9. Phosphate (PO_4^{-3})

C'est une réaction des ions ortho phosphates avec une solution acide contenant des ions molybdate et d'antimoine pour former un complexe d'antimonyl-phosphomolybdate.

Réactifs

Acide sulfurique à 9 mol/l (dilution de ½)

Réactif mélange (solution molybdate acide)

- **Mode opératoire.** Prendre 40 ml d'eau à analyser dans une fiole jager, verser 1 ml d'acide ascorbique et 2 ml de réactif mélange. Laisser la solution 10 min. L'apparition de la coloration bleue indique la présence des PO_4^{-3}

3.2.10. Aluminium (Al^{3+})

Les ions d'aluminium se combinent avec le rouge d'alzarine pour former un complexe jaune-rouge qui peut être mesuré à 490 nm.

Réactifs

Chlorure de calcium ($\text{CaCl}_2, 6\text{H}_2\text{O}$) à 0,7 g/l

Acide Thio glycolique $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_5$ à 80%

Solution tampon pH=4,6

Rouge d'alzarine ($\text{C}_{14}\text{H}_6\text{Na}_2\text{O}_7\text{S}$)

- **Mode opératoire.** Prendre 25 ml d'eau à analyser dans une fiole jager, verser 25 ml CaCl_2 et 1 ml acide Thio glycolique et 5 ml tampon acétate et 1 ml rouge alzarine et 15,5 ml eau distillé, laisser la solution 90 à 120 minute.

3.2.11. Sulfate (So^{2-}_4)

Réactifs

BaCl_2

Solution stabilisante

- **Mode opératoire.** Dans un bécher prendre 73 ml d'eau distillé avec 20 ml échantillon et 5 ml solution stabilisante faire une agitation pendant 1 minute et puis verser 2 ml de BaCl_2 .

3.2.12. Fer (Fe^{2+})

Réactifs

Chlorhydrate d'hydroxylamine

Tampon acétate

Phenanthroline

- **Mode opératoire.** Prendre fiole jugé versé 50 ml d'eau à analyser et 1 ml chlorhydrate d'hydroxylamine et 2 ml tampon acétate et 2 ml phenanthroline, Laisser 15 minute.

3.2.13.. Nitrate (NO_3^-)

Les nitrates donnent du paranitrosonylate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique en présence de salicylate de sodium.

Réactifs

Solution de salicylate de sodium à 0,5 % (renouveler toutes les 24 h).

Solution d'hydroxyde de sodium 30 %.

H_2SO_4 concentré.

Tartrate double de sodium et de potassium.

- **Mode opératoire.** Prendre 10 ml d'eau à analyser, ajouter 3 gouttes Na OH et 1 ml de salicylate de sodium. Puis mettons la solution dans un bain marie ou l'étuve pour évaporé à sec (75-88 °C), laissé refroidir et prendre le résidu avec 2 ml d' H_2SO_4 , laisser aussi 10 minute pour reposer (figure IV.7).

Ajouter 15 ml d'eau distillée et 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium.



Figure IV. 7. Image représentant le dosage de nitrate.

3.2.14. Nitrite (NO_2^-)

Réactifs

Solution du réactif mixte.

- **Mode opératoire.** Prendre 50 ml d'eau à analyser, Ajouter 1 ml du réactif mixte puis Attendre 10 mn.

L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO_2^- (figure IV.8).



Figure IV. 8. Image représentant le dosage de nitrite.

3.2.15. Ammonium(NH_4^+)

La réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et Hypochlorite en présence de nitropenta cyano ferrate (III) de sodium forme La mesure spectrométrique du composé bleu.

- **Mode opératoire.** Prendre 40 ml d'échantillon dans une fiole de 50 ml. Ajouter 4 ml de réactif (I), puis ajouter 4 ml de la solution de réactif (II). Compléter jusqu'à la jauge, Attendre au minimum 45 min. L'apparition de la couleur verte indique la présence de l'ammonium.



Figure IV.9. Image représente l'analyse le dosage d'ammonium.

3.3. Analyse bactériologique

3.3.1. Détermination des germes totaux

- **Mode opératoire**

Préparées et numérotées deux boîtes de Pétri vides, à partir une solution d'eau à analyser porter aseptiquement deux fois une quantité de 1 ml au fond des deux boîtes.

Compléter avec une quantité de 15 à 20 ml de gélose TGEA fondue, laisser refroidir à 45°C.

Puis maintenir une agitation délicate pour mélanger l'eau avec la gélose, laisser 10 minutes pour solidifier et ajouter 5 ml de la même gélose, L'incubation se fait à 37 °C pendant 48h pour la première boîte et à 22 °C pendant 72h.

Nous avons procédé à la lecture des résultats après 24 heures et 48 heures à 37°C et après 72 heures à 22°C (figure IV.10).

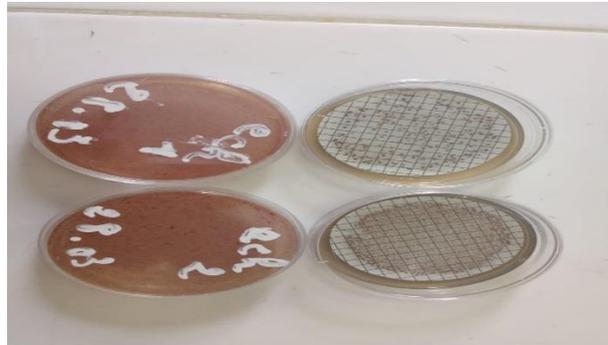


Figure IV.10. Image représente l'analyse bactériologique de l'eau.

3.3.2. Recherche dénombrement des coliformes totaux et fécaux

La colimétrie consiste à déceler et dénombrer les germes coliformes. Ces bactéries fermentent le lactose avec un dégagement du gaz en utilisant bouillon la cotisé ou Bromocrésol (bouillon BC PL) (figure IV.11).

- *Mode opératoire*

Prendre 1 flacon de 50 ml de bouillon BCPL double concentration avec 50 ml d'eau, prendre aussi 5 tubes de 10 ml de bouillon BCPL double concentration avec 10 ml d'eau, et 5 tubes de bouillon BCPL à simple concentration avec 1 ml d'eau.

L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures, Chassez le gaz présent éventuellement dans les cloches et bien mélanger le milieu, les tubes présentant une culture avec un virage du bouillon au jaune et de gaz dans les cloches seront considérés comme positif.

Noter le nombre de tube positifs et se reporter aux tables du NPP pour obtenir le nombre de coliformes présents dans 100 ml d'eau.

- *Test de confirmation*

Le test de confirmation ou test de Marc Kenzi est basé sur la recherche des coliformes fécaux parmi lesquels on redoute surtout la présence d'Escherichia Coli. Après l'agitation, et a partir les tubes de BCPL positifs ensemercer 2 à 3 gouttes dans un tube de milieu de Schubert muni d'une cloche de Durham.

L'incubation se fait à 37°C et la lecture après 24 heures, lorsque les tubes présentent une culture du gaz dans la cloche et une réaction indole positive (Un anneau rouge en surface témoin de la production d'indole par *Escherichia Coli* après adjonction de 2 à 3 gouttes du réactif de Kovacs), sont considérées comme positives on note le nombre de tubes positifs dans chaque série et se répartir aux tables du NPP pour obtenir le nombre d'E coli.



Figure IV. 11. Image représente les résultats des coliformes totaux et fécaux.

3.3.3. Recherche et dénombrement des *Streptocoques fécaux*

Les streptocoques fécaux sont des bactéries gramme + qui font partie de la flore indicatrice de la contamination fécale qui nous témoigne un signe de pollution fécale.

- *Mode opératoire*

La recherche se fait en bouillon à l'acide de sodium (bouillon de Rothe) simple et double concentration.

Prendre un flacon de 50 ml de bouillon de Rothe double concentration avec 50 ml d'eau.

5 tubes de 10 ml de bouillon avec 10 ml d'eau double concentration et 5 tubes de 10 ml de bouillon avec 1 ml d'eau simple concentration.

L'incubation est faite à 37°C pendant 48 heures, après les tubes présentant une couche microbienne sera considérée comme pouvant contenir un streptocoque fécal, ils seront obligatoirement soumis au test confirmatif.

- *Test de confirmation*

Après l'agitation et à partir des tubes de Rothe positifs ensemercer 2 à 3 gouttes dans un bouillon à l'éthyle et acide de sodium.

L'incubation est faite à la même température 37°C et la lecture après 24 heures. Les tubes présentant une culture et une couleur jaune seront considérés comme positif, on note généralement la présence dans le fond les tubes d'une pastille violette.

3.3.4. *Dénombrement des spores des anaérobies sulfite réducteurs (ASR)*

- *Mode opératoire*

Prendre un tube stérile, qui sera par la suite soumis à un chauffage de l'ordre de 80°C pendant 10 minutes, dans le but de détruire toutes les formes végétatives des bactéries anaérobies sulfite-réductrices éventuellement présentes. Transférer 25 ml d'eau à analyser.

Après refroidir immédiatement le flacon destiné à l'analyse, sous l'eau de robinet.

Ensuite diviser le contenu dans 4 tubes différents et stériles, chaque tube contient 5 ml

Ajouter environ 18 à 20 ml de gélose Viande Foie, fondue puis refroidie à 45°C, additionnée de leurs additifs spécifiques, Mélanger doucement le milieu et l'inoculum en évitant d'introduire des bulles d'air, laisser solidifier sur paillasse pendant 30 minutes.

L'incubation est faite à 37°C pendant 48 heures.

Partie B

4. Filtration des eaux par une membrane

4.1. Définition de membrane

La membrane est une structure de faible épaisseur, de taille mince. Les membranes sont de plus en plus utilisées pour des procédés de traitements d'eaux. Le principe est assez simple : la membrane agit comme un filtre très spécifique qui laisse passer l'eau, tandis qu'elle retient les solides en suspension et d'autres substances [50].

Nous avons préparé au niveau de laboratoire de recherche (LGEG) un système de filtration à base d'une membrane à base de charbon actif qui sera utilisé pour le traitement des eaux des robinets au niveau des domiciles.

Matériel

- *Mode opératoire*

Le traitement des eaux par la membrane développée est précédé par une stérilisation de l'équipement de laboratoire afin d'obtenir des résultats fiables et de qualité.

En premier lieu et afin de déterminer l'efficacité du système de traitement des eaux développé. L'eau de robinet (cinq litres) a été traitée par filtration à travers le système de filtration développé à base de charbon actif.

L'eau traitée a été sujet des analyses physico-chimiques et bactériologiques et organoleptiques suivantes : La température, pH, conductivité, turbidité, titre alcalimétrique (TA), titre alcalimétrique complet (TAC), titre hydrométrique (TH), titre hydrométrique total (TH_T), titre calcique (TH_{Ca}), titre de magnésium (TH_{Mg}), chlorures (Cl⁻), résidu sec (RS), matière en suspension (MES), Fe⁺², HCO⁻³, PO⁻³₄, SO⁻²₄, Al⁺³, la couleur et l'odeur.

4.1.1. Techniques de caractérisation de la membrane à base de charbon actifs

L'élément principal dans le système de filtration développé est la membrane de filtration à base de charbon actif. À cet effet, des analyses microscopique (microscope optique) et spectroscopique (spectroscopie infrarouge) seront effectuées pour déterminer les caractéristiques physique et chimique de cette membrane. Des brèves explications des principes de fonctionnement de ces deux techniques seront présentées dans les sections suivantes.

4.1.2. Le microscope optique

a. Définition

Le microscope optique est un système optique à lentilles dont le but est d'obtenir une image agrandie de l'objet observé [51].

L'objet à observer est placé devant le premier groupe optique appelé « objectif ». Si l'objet est au-delà de la distance focale, cela forme une image réelle renversée de taille différente ; l'image est plus grande que l'objet si celui-ci est situé à une distance inférieure au double de la distance focale de l'objectif.

Le deuxième groupe optique du côté de l'observateur est l'oculaire : il est positionné de sorte que l'image soit dans son plan focal. Ainsi, l'œil observe une image « à l'infini » (pour un observateur standard), donc en relâchant les muscles chargés de l'accommodation, offrant un meilleur confort visuel (figure IV.11) [51,52].

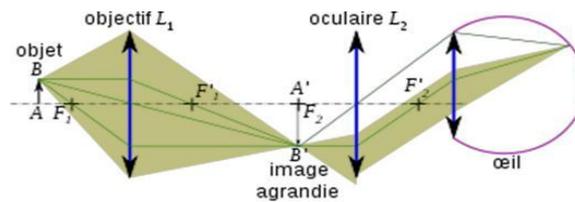


Figure IV. 12. Principe d'un microscope simplifié [52].

b. Constitution du microscope

Le microscope optique est constitué par (figure IV.12)[52]:

- **Miroir** : sert à réfléchir la lumière ambiante pour éclairer l'échantillon par en dessous, dans le cas d'un échantillon transparent (par exemple une lame mince en biologie ou en géologie, ou un liquide) ;
- **Source de lumière** : artificielle de meilleure température de couleur et de stabilité et par l'usage d'un condenseur qui permet à cette lumière de remplir d'une façon homogène et régulière le champ observé, et surtout de ne pas faire voir, par son réglage adéquat, les détails mécaniques de la source de lumière (spires du filament de l'ampoule). La source d'éclairage peut être plus élaborée et comporter un boîtier indépendant, éventuellement en lumière polarisée ou ultraviolet, pour faire ressortir certaines propriétés chimiques de la matière, ou éclairer l'échantillon par-dessus (notamment en métallurgie).
- **Diaphragme** : ouverture de diamètre variable permettant de restreindre la quantité de lumière qui éclaire l'échantillon. Comme pour un appareil photo, le diaphragme permet principalement de faire varier la profondeur de champ (ouvert à fond pour des coupes histologiques et plus fermé pour des recherches d'œufs de parasites digestifs) ;
- **Platine porte-échantillon** : où l'on pose l'échantillon ; les « valets » servent à tenir l'échantillon lorsque celui-ci est mince (par exemple une lame). La platine peut être mobile (gauche-droite et avant-arrière), ce qui permet de balayer l'échantillon et de sélectionner la partie observée ;
- **Objectifs** : lentille ou ensemble de lentilles réalisant le grossissement. Il y a en général plusieurs objectifs, correspondant à plusieurs grossissements, montés sur un barillet. Certains objectifs sont dits à immersion car leur puissance ne peut être atteinte qu'en éliminant la lame d'air entre

l'échantillon couvert par la lamelle et la frontale de l'objectif. On utilise pour cela de l'huile de cèdre ou des huiles de synthèse dont l'indice de réfraction est proche de celui du verre.

- **Mise au point rapide et micrométrique** ; pour que l'image soit nette, il faut que l'objet soit dans le plan focal de l'objectif ; ces molettes font monter et Descendre l'ensemble objectif-oculaire avec un système de crémaillère, afin d'amener le plan focal sur la zone de l'échantillon à observer ;
- **Oculaire** : lentille ou ensemble de lentilles formant l'image d'une manière reposante pour l'œil ; les rayons arrivent parallèles, comme s'ils venaient de très loin, ce qui permet un relâchement des muscles contrôlant le cristallin ; deux oculaires placés sur une tête dite binoculaire rend plus confortable l'observation (même si elle n'apporte pas de vision stéréoscopique).
- **L'oculaire** peut être remplacé par un appareil photographique, ou - dans le cas de la vidéo microscopie - par une caméra vidéo ou une caméra CCD pour faire une acquisition numérique. Ceci permet de faire l'observation sur un moniteur vidéo (écran de type télévision) et de faciliter l'utilisation et le traitement des images (impression, traitement informatique, télémédecine, etc.).

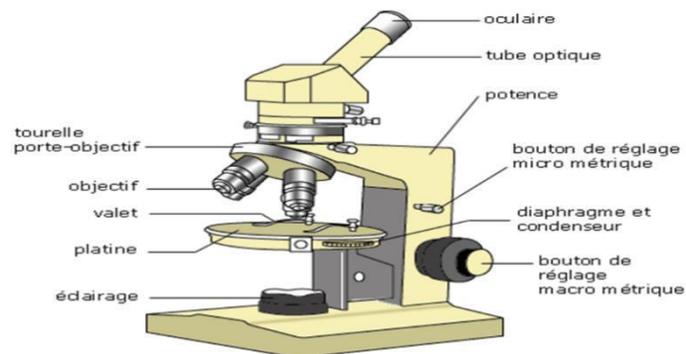


Figure IV. 13. Schéma descriptifs d'une microscopie optique [52].

4.1.3. Spectroscopie infrarouge

a. Définition

La spectroscopie infrarouge (parfois désignée comme spectroscopie IR) est une classe de spectroscopie qui traite de la région infrarouge du spectre électromagnétique. Elle recouvre une large gamme de techniques, la plus commune étant un type de spectroscopie d'absorption. Comme pour toutes les techniques de spectroscopie, elle

peut être employée pour l'identification de composés ou pour déterminer la composition d'un échantillon. Les tables de corrélation de spectroscopie infrarouge sont largement présentes dans la littérature scientifique [53].

Les spectres d'absorption IR en phase solide ont été enregistrés avec le spectromètre IR Spectroscopy Software (Perkin Elmer). Le domaine de fréquences étudié est compris entre 4000 et 650 cm^{-1} ce qui permet de caractériser les groupements fonctionnels qui nous intéressent (figure IV.13).



Figure IV. 14. Spectrophotomètre FT-IR.

b. Principe

La spectroscopie infrarouge est un moyen de diagnostic permettant de déterminer la nature des liaisons chimiques présentes dans une molécule. En effet, l'expérience montre que certaines fréquences de vibration, dites « fréquences de groupe », sont caractéristiques de la présence d'un groupement chimique dans la molécule étudiée. La théorie mécanique des vibrations permet de prévoir l'existence des fréquences de groupe à partir des ordres de grandeur des différents types de constante de force. Ainsi, la spectroscopie infrarouge est un très puissant moyen de caractérisation pour identifier des groupements moléculaires et obtenir de nombreuses informations microscopiques sur leur conformation et leurs éventuelles interactions. L'échantillon est soumis à un rayonnement électromagnétique dans la gamme de longueur d'onde du centre infrarouge ($0,7\mu\text{m}$ à $100\mu\text{m}$). Le champ électrique induit par l'onde électromagnétique peut interagir avec un moment dipolaire d'une entité moléculaire présente dans le matériau. Lorsque la fréquence de champ coïncide avec la fréquence de vibration d'un mode propre de la molécule, l'interaction créée engendre la vibration de certaines liaisons et l'absorption de l'énergie de l'onde excitatrice

correspondante. La fréquence à laquelle est absorbé le rayonnement dépend de la nature des liaisons, de la masse des atomes concernés et de l'environnement proche du groupement considéré [54,55].

5. Etiquetage des échantillons (prélèvements)

La période de prise des échantillons a été entre mars 2019 et avril 2019. Nous avons pris deux échantillons (prélèvements) pour chaque catégorie. Les catégories ont été nommées comme suit :

P1B : prélèvement 1 d'eau brute.

P2B : prélèvement 2 d'eau brute

P1T : prélèvement 1 de l'eau traitée

P2T : prélèvement 2 de l'eau traitée

P1R : prélèvement 1 de l'eau de robinet

P2R : prélèvement 2 de l'eau de robinet

P1R T LOT1 : prélèvement 1 après le traitement de 5 L de l'eau de robinet en utilisant le système de filtration développé à base membrane de charbon actif.

P2R T LOT1 : prélèvement 2 de 8 L de l'eau de robinet traité par la membrane de charbon actif développée.

P2R T LOT2 : prélèvement 2 de 11 L de l'eau de robinet traité par la membrane de charbon actif développée.

Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons évoqué la description des étapes du procédé de traitement des eaux dans la station, la détermination de la qualité des eaux brute, eau traitée et eau du robinet. Aussi, nous avons présenté la possibilité de développer un système de filtration à base d'une membrane de charbon actif installable aux niveaux des domiciles ainsi que les techniques des caractérisations structurelles de la membrane. Une brève description des techniques des analyses physicochimique et bactériologiques de l'eau a été présentée.

Dans le chapitre suivant, nous présenterons et interprétons les résultats obtenus des analyses physicochimiques et bactériologiques des eaux étudiées ainsi que la membrane de charbon actif développée.

Chapitre 05

Résultats et discussions

Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons les résultats suivants :

Partie 1. Les résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques des échantillons :

- P1B : prélèvement 1 d'eau brute
- P2B : prélèvement 2 d'eau brute
- P1T : prélèvement 1 de l'eau traitée
- P2T : prélèvement 2 de l'eau traitée

Partie 2. Les résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques des échantillons :

- P1T : prélèvement 1 de l'eau traitée
- P2T : prélèvement 2 de l'eau traitée
- P1R : prélèvement 1 de l'eau de robinet
- P2R : prélèvement 2 de l'eau de robinet

Partie 3. Les résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques des échantillons :

- P1R : prélèvement 1 de l'eau de robinet
- P2R : prélèvement 2 de l'eau de robinet
- P1R T LOT1 : prélèvement 1 de 5 L de l'eau de robinet traité par la membrane de charbon actif développée.
- P2R T LOT1 : prélèvement 2 de 8 L de l'eau de robinet traité par la membrane de charbon actif développée.
- P2R T LOT2 : prélèvement 2 de 11 L de l'eau de robinet traité par la membrane de charbon actif développée.

Partie 4. Les résultats des caractérisations des membranes de charbon actif développées.

Partie 1 : l'eau brute, traité et l'eau de robinet

Les résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques et la comparaison entre l'eau brute, traitée et l'eau de robinet dans les deux prélèvements effectués sont les suivants.

1. Comparaison entre l'eau brute et l'eau traitée

3.1. Paramètres physico-chimiques

1.1.1. Turbidité

La figure V.1 présente une comparaison de la turbidité entre l'eau brute (P1B/P2B) et l'eau traitée (P1T/P2T). L'analyse de ces résultats montre que les eaux brutes sont très troubles avec des valeurs comprises entre (12.5 et 14.25 NTU) largement supérieures aux normes des eaux potables qui sont de l'ordre de 5 NTU, cette turbidité est due principalement aux pluies et aux phénomènes d'érosion. Suite aux traitements des eaux effectués dans la station, nous pouvons constater une diminution significative de la turbidité pour atteindre des valeurs de 2 et 3 NTU qui sont dans les normes de la turbidité des eaux potables imposées par l'OMS.

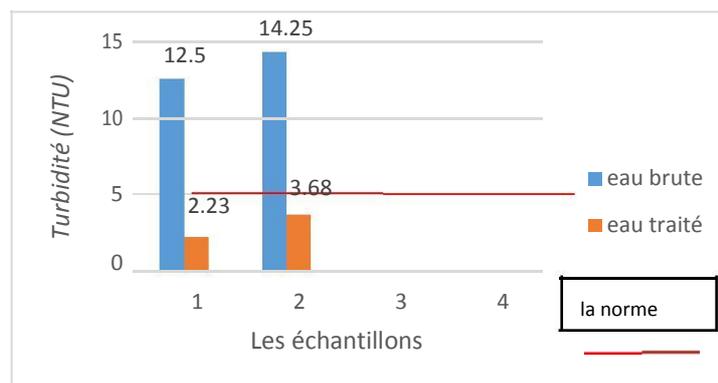


Figure V. 1. Comparaison de la turbidité entre l'eau brute et l'eau traitée.

1.1.2. Potentiel d'hydrogène (PH)

La figure V.2 présente une comparaison du pH entre l'eau brute (P1B/P2B) et l'eau traitée (P1T/P2T). L'analyse de ces résultats stipule que le pH des eaux brutes est compris entre (8-7). En général, le pH dans le cas de l'eau de barrage de Hammem debagh est dans les normes et il n'est pas nécessaire d'utiliser des produits pour élever ou diminué le pH, donc le pH de cette eau est acceptable. Les norme entre 7 et 8.

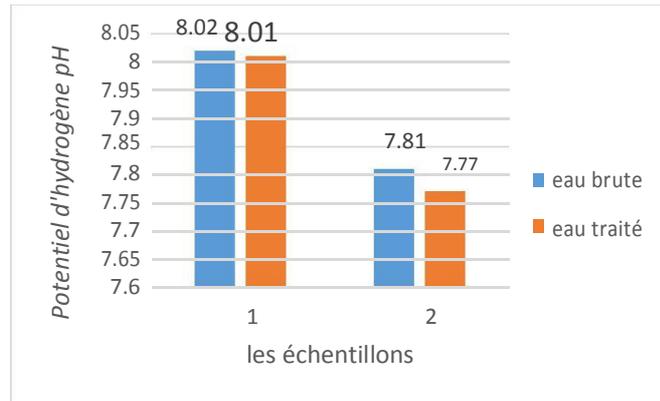


Figure V. 2. Comparaison de pH entre l'eau brute et l'eau traitée.

1.1.3. Conductivité

La figure V.3 présente une comparaison de la conductivité entre l'eau brute (P1B/P2B) et l'eau traitée (P1T/P2T). Selon ces résultats, les valeurs de la conductivité de l'eau brute mesurées varient entre 377 et 392 $\mu\text{s/cm}$ et les valeurs de l'eau traitée varient entre 387 et 391 $\mu\text{s/cm}$. Ces valeurs sont dans les normes proposées par l'OMS qui est de 50-400 $\mu\text{S/cm}$, donc l'eau brute et l'eau traitée est de qualité excellente.

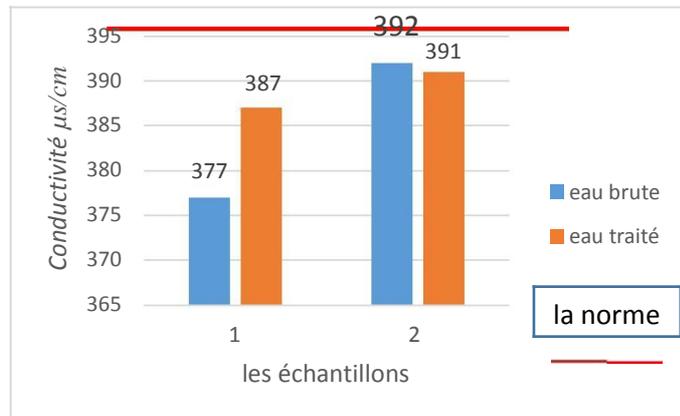


Figure V. 3. Comparaison de la conductivité entre l'eau brute et l'eau traitée.

1.1.4. Titre alcalimétrique simple (TA) et complet (TAC)

La figure V.4 présente une comparaison de TAC entre l'eau brute (P1B/P2B) et l'eau traitée (P1T/P2T). L'analyse de ces résultats montre que toutes les valeurs varient entre (12,1-11,5 mg/l). Les valeurs de TAC dans la norme d'OMS (50 °F). Et la teneur de titre alcalimétrique (TA) obtenir dans les prélèvements (P1B. P1T/P2B.P2T) sont nulles.

Si le pH est compris entre 4,5 et 8,5 ce que les cas des eaux naturelles, on remarque l'absence de TA.

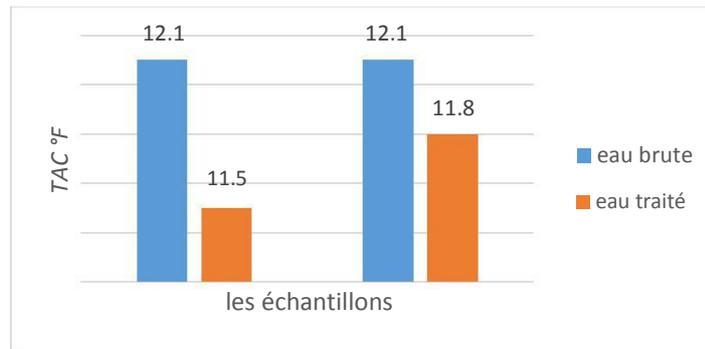


Figure V. 4. Comparaison de TAC entre l'eau brute et l'eau traitée.

1.1.5. Matières en suspension (MES) et matière organique (MO)

La figure V.5 présente la comparaison de MES entre l'eau brute (P1B/P2B) et l'eau traitée (P1T/P2T). La teneur en matière en suspension (MES) enregistré dans le premier prélèvement est 6 (mg/l) puis elle diminue dans le prélèvement suivant cela peut s'expliquer par les fortes pluies, mais après traitement cette teneur devient nulle.

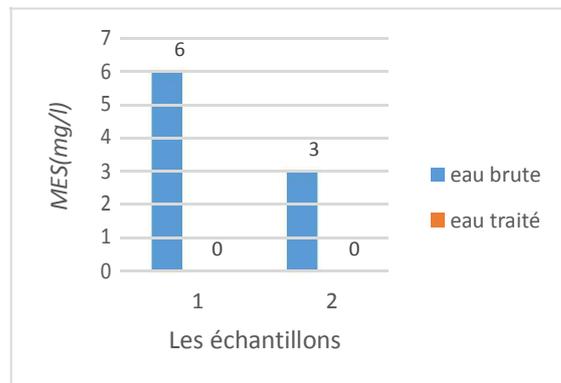


Figure V. 5. Comparaison de MES entre l'eau brute et l'eau traitée.

Pour la matière organique (M.O) une diminution remarquable dans les valeurs après faire un traitement cela explique l'efficacité de traitement.

Les résultats obtenus sont reportées dans l'histogramme qui suit (figure V.6).

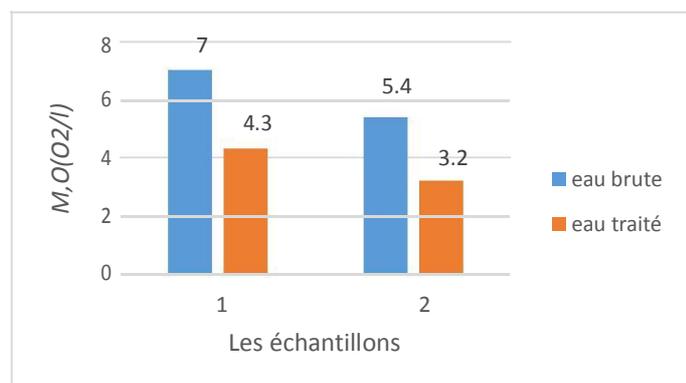


Figure V. 6. Comparaison de M.O entre l'eau brute et l'eau traitée.

1.1.6. Résidu sec (RS)

La figure V.7 présente la comparaison des RS entre l'eau brute (P1B/P2B) et l'eau traitée (P1T/P2T). Les valeurs obtenues des résidus secs sont valables et dans les normes. Sachant que la norme de la teneur de RS est 1000 mg/l.

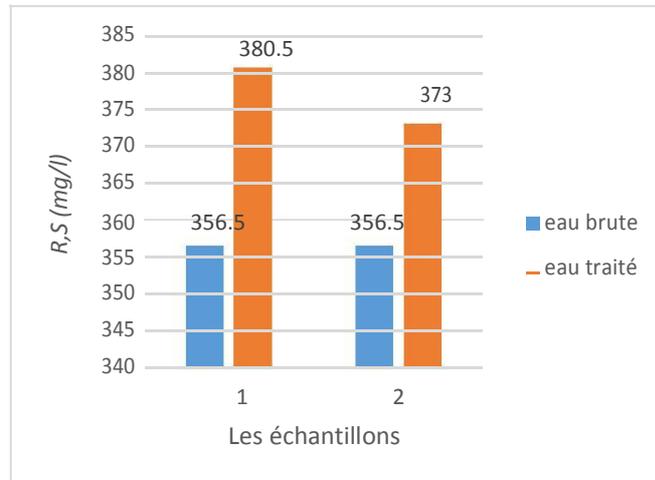


Figure V. 7. Comparaison des RS entre l'eau brute et l'eau traitée.

1.1.7. Ammonium (NH_4^+), Nitrates (NO_3^-) et nitrites (NO_2^-)

Les valeurs nitrite constatées sont nulles et dans la norme (0,2 mg/l).

La figure V.8 présente la comparaison de l'ammonium entre l'eau brute (P1B/P2B) et l'eau traitée (P1T/P2T). Nos résultats de concentration d'ammonium représentent des valeurs maximales de (0,003-0,05 mg/l) dans l'eau brute et nulle dans l'eau traitée pendant le mois de Mars cela explique l'efficacité de traitement. La norme de la teneur en ammonium est 0,5 mg/l.

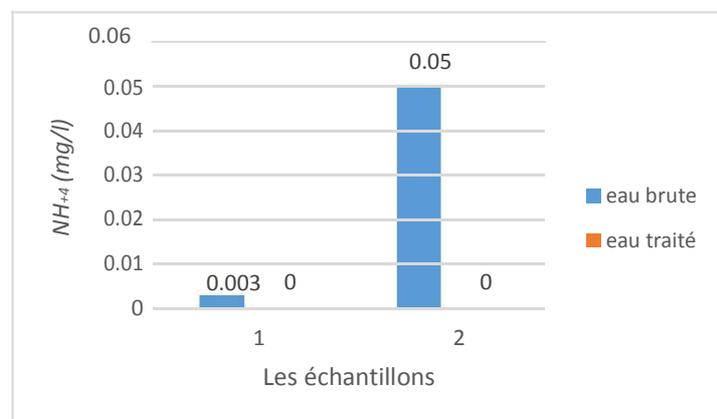


Figure V. 8. Comparaison de l'ammonium entre l'eau brute et l'eau traitée.

La figure V.9 présente la Comparaison de nitrate entre l'eau brute (P1B/P2B) et l'eau traitée (P1T/P2T). Les nitrates sont relativement supérieurs dans l'eau brute

entre (1,626-1,775 mg/l) et traitée entre (2,02- 2,152 mg/l) mais la valeur maximale enregistrée ne dépasse jamais les normes proposées par l'OMS 50 mg/l.

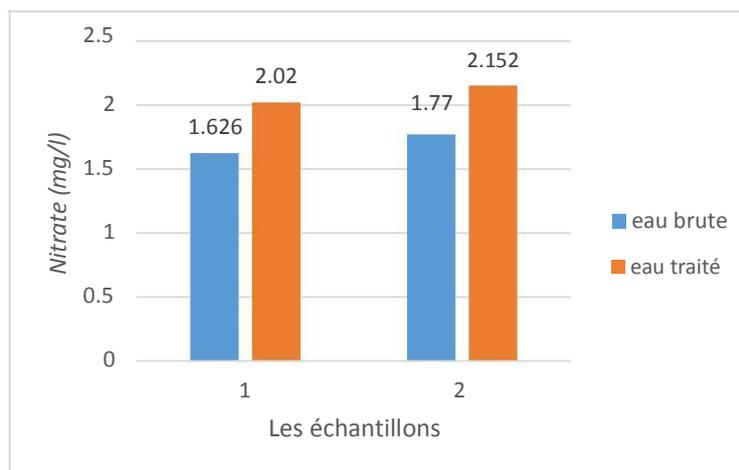


Figure V. 9. Comparaison de nitrate entre l'eau brute et l'eau traitée.

1.1.8. Phosphates (PO_4^{3-})

Le phosphore peut se trouver sous différentes formes oxydées ; sous la forme acide, on trouve les acides (méta (HPO_3), pyro ($H_4P_2O_7$) et ortho (H_3PO_4)). En milieu aqueux, les acides métras et pyro tendent vers une forme plus stable : l'orthophosphate.

Pratiquement, c'est sous cette forme qu'on le rencontre dans les eaux superficielles dont le pH est compris entre 5 et 8 [28].

La figure V.10 présente la comparaison de phosphate entre l'eau brute (P1B/P2B) et l'eau traitée (P1T/P2T). La teneur de l'eau brute en PO_4^{3-} varie entre (0-0,089 mg/l) et pour les eaux traitées la teneur entre (0-0,111 mg/l). Ces résultats présentent des taux de phosphates relativement faibles et inférieurs à la concentration maximale admissible retenue par les normes Algériennes (5 mg/l).

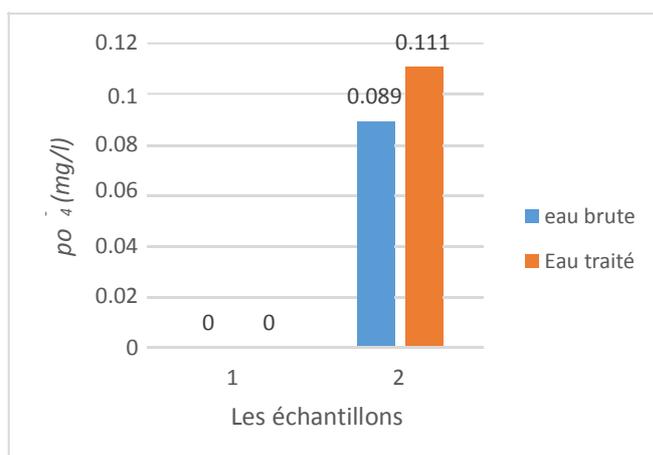


Figure V. 10. Comparaison de phosphate entre l'eau brute et l'eau traitée

1.1.9. Fer (Fe^{2+})

La figure V.11 présente la comparaison de fer entre l'eau brute (P1B/P2B) et l'eau traitée (P1T/P2T). Le fer varie dans les deux prélèvements de l'eau brute entre (0,003-0,02 mg/l) après le traitement les valeurs diminuent à une valeur constante 0,01 mg/l à cause l'efficacité de traitement. On peut dire alors qu'il reste juste des traces de fer mais sans influence sur la santé.

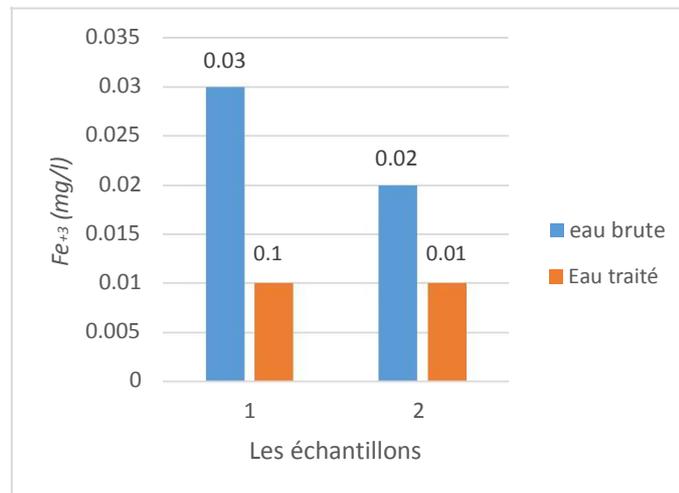


Figure V. 11. Comparaison de fer entre l'eau brute et l'eau traitée.

1.1.10. Sulfate (SO_4^{2-}) et Aluminium (AL^{3+})

La figure V.12 présente la comparaison de l'aluminium entre l'eau brute (P1B/P2B) et l'eau traitée (P1T/P2T). Les résultats montrent l'absence de l'aluminium dans l'eau brute. Cependant, l'aluminium apparaît dans les eaux traitées et sa valeur est de 0,28 mg/l ; cette présence est due au cours de l'addition de sulfate d'alumine dans l'étape de coagulation avec des valeurs toujours dans la norme.

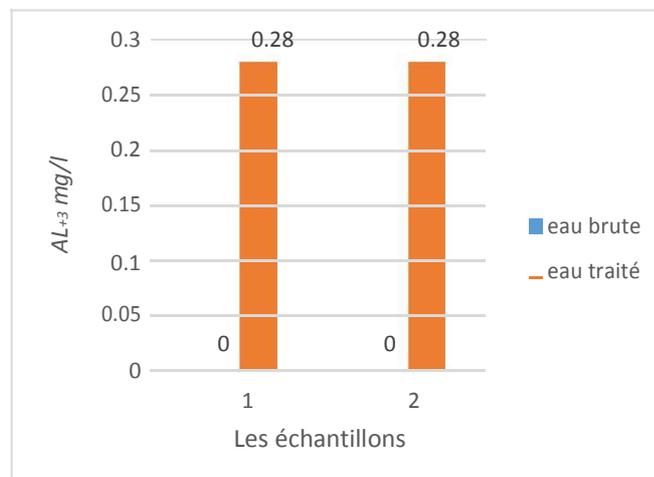


Figure V. 12. Comparaison de l'aluminium entre l'eau brute et l'eau traitée.

La figure V.13 présente la comparaison de sulfate entre l'eau brute (P1B/P2B) et

l'eau traitée (P1T/P2T) les valeurs d'eau brute varié entre (49-15 mg/l) et (61,5-21,1mg/l) de l'eau traité ces valeurs reste toujours dans les normes.

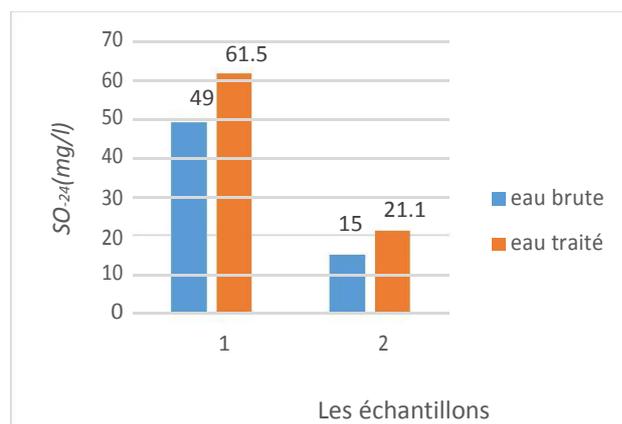


Figure V. 13. Comparaison de sulfate entre l'eau brute et l'eau traitée.

1.1.11. Autres paramètres

Dans la comparaison entre l'eau brute et l'eau traitée, il y a des paramètres qui ne changent pas lors de ce traitement comme (température (T°), total des solides dissouts (TDS), sel, titre hydrométrique (TH), HCO^{-3} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^{-} car l'eau de barrage ne besoin pas un traitement pour modifier ces paramètres puisqu'il occupe une classe A de l'eau brute. Les valeurs d'analyse enregistrée dans le tableau suivant:

Tableau V. 1. Les valeurs d'analyse enregistrée

	TDS	sel	TH	HCO^{-3}	Ca^{2}	Mg^{2}	Cl^{-}
P1B	254	00	21,8	147,62	56,87	18,47	71
P1T	201	00	21,8	140,356	56,87	18,47	71
P2B	259	00	21,6	147,62	56,87	17,1	71
P2T	262	00	21,6	143,69	56,87	17,1	71

3.2.1.2. Paramètres bactériologiques

1.2.1. Germes totaux

La figure V.14 présente la comparaison des germes totaux entre l'eau brute (P1B/P2B) et l'eau traitée (P1T/P2T). Les résultats obtenus montrent qu'il y'a des différences remarquables dans les valeurs entre l'eau brute et l'eau traitée.

Les germes totaux des eaux brutes varient entre (400-220 GT/100ml), ces valeurs montrent que la densité de la flore totale énumérée à 22°C et à 37°C n'est pas assez importante, ceci peut être expliqué qu'une grande partie de ces bactéries, dans les environnements naturels, ne se développent pas sur les milieux de culture et à des températures habituellement utilisées pour l'isolement au laboratoire, elle peut également être due à la présence de prédateurs bactériens tels que les protozoaires (sont souvent unicellulaires, ce sont toujours de petits organismes, ils vivent dans l'eau ou dans les sols humides ou à l'intérieur de l'organisme responsables de nombreuses maladies telles que la malaria). Comme elle peut être liée aux rejets de produits toxiques d'origine industrielle [56].

La variation de ces bactéries pour les eaux traitées est nul ce qui explique l'efficacité de ce traitement.

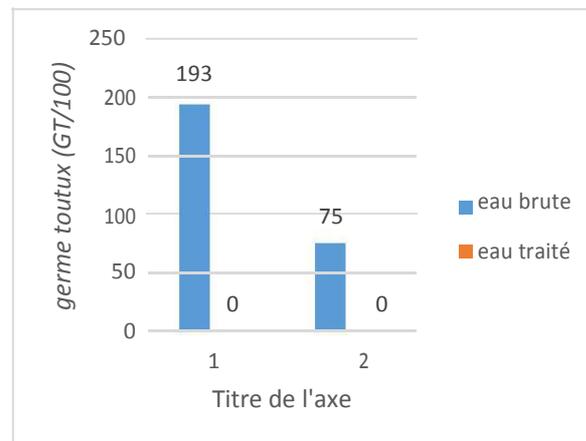


Figure V. 14. Comparaison des germes totaux entre l'eau brute et l'eau traitée.

1.2.2. Coliformes totaux

La figure V.15 présente la comparaison des coliformes totaux entre l'eau brute (P1B/P2B) et l'eau traitée (P1T/P2T). La variation des charges bactériennes dans l'eau brute varie d'une manière très importante les valeurs compris entre (1000- 455 CT/100ml), par ailleurs ; le dénombrement de ces bactéries pour l'eau traité est nul en d'autre terme ne dépasse pas les normes Algériennes (00 CT/100ml) ce qui explique l'efficacité de cette traitement.

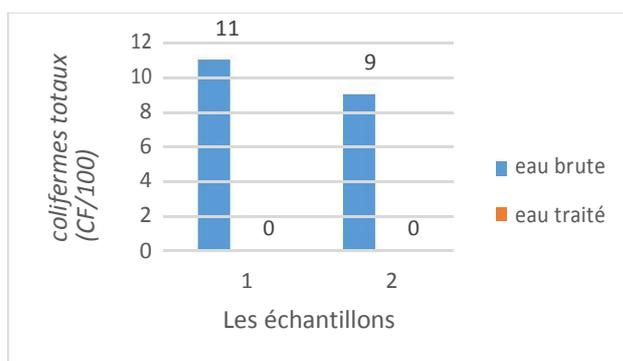


Figure V. 15. Comparaison des coliformes totaux entre l'eau brute et l'eau traitée.

1.2.3. Coliformes fécaux

La figure V.16 présente la comparaison des coliformes fécaux entre l'eau brute (P1B/P2B) et l'eau traitée (P1T/P2T). Les valeurs constatées pour l'eau brute sont respectivement (72-230 CF/100ml). Pour l'eau traitée les charges bactériennes sont nuls cela montre l'efficacité de traitement et la bonne acceptabilité pour la consommation.

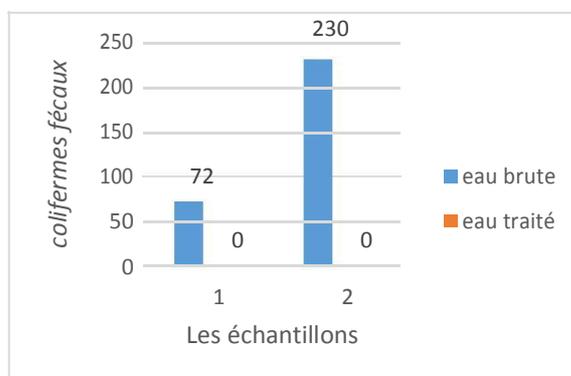


Figure V. 16. Comparaison des coliformes fécaux entre l'eau brute et l'eau traitée.

Conclusion

Dans cette étude, les résultats des analyses physicochimiques de l'eau brute et l'eau traitée obtenues confirment clairement que tous les paramètres sont retenus au-dessous des valeurs guides. On peut alors conclure que l'eau brute est de bonne qualité en comparaison aux normes de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) et à celle de la législation algérienne en matière des eaux brutes. Au point de vue bactériologique les eaux brutes contiennent une faible fréquence des bactéries indicatrices de contamination fécale, ces germes n'ont pas été détectés au niveau des eaux traitées grâce au bon rendement du processus de traitement de la station de Hammam Debagh.

L'eau traitée au niveau de la station est acheminée par un réseau de distribution pour atteindre les consommateurs. Ce passage affecte la qualité de l'eau et peut être une source de contamination. Dans la partie suivante, nous présenterons la comparaison entre les résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de robinet et l'eau traitée afin de détecter la qualité des eaux livrées aux consommateurs.

Partie 2

2. La compression entre l'eau de robinet et l'eau traitée

3.3.2.1. Paramètres physico-chimiques

3.3.1. 2.1.1. Turbidité

La figure V.17 présente la comparaison entre la turbidité de l'eau traitée (P1T/P2T) et l'eau de robinet (P1R/P2R). D'après l'analyse de l'eau de robinet on remarque qu'il y a une augmentation des valeurs de la turbidité entre (2,51-4,72 NTU) ces valeurs sont dans les normes mais avec le changement de la couleur et l'existence de l'odeur indique que cette eau est contaminée, cette variation due aux cassures et la corrosion des conduites.

Bien que la valeur de la turbidité $4,72 < 5$ (la teneur de la norme de turbidité) mais cette eau reste indésirable.

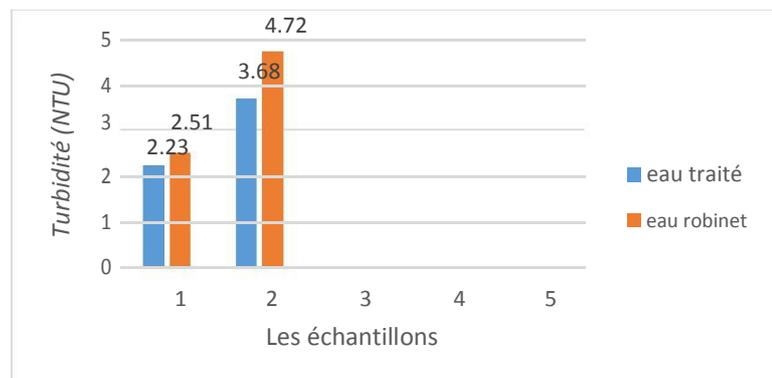


Figure V. 17. Comparaison entre la turbidité de l'eau traitée et l'eau de robinet.

2.1.2. Conductivité

La figure V.18 présente la comparaison entre la conductivité de l'eau traitée (P1T/P2T) et l'eau de robinet (P1R/P2R). Il y a changement marqué dans les valeurs de la conductivité de l'eau de robinet au cours de mois de Mars et Avril est (452-519 $\mu\text{s}/\text{cm}$) et les valeurs enregistrées pour l'eau traitée (387-391 $\mu\text{s}/\text{cm}$), ces valeurs sont également influencées par la corrosion des conduites

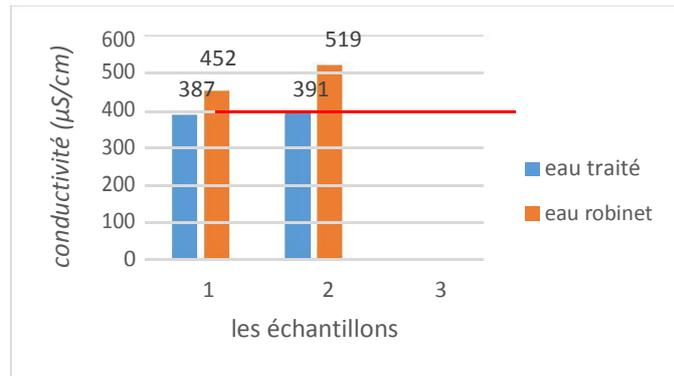


Figure V. 18. Comparaison entre la conductivité de l’eau traitée et l’eau de robinet .

2.1.3. Température

La figure V.56 présente la comparaison entre la température de l’eau traitée (P1T/P2T) et l’eau de robinet (P1R/P2R). Le changement de température résultant de la variation climatique, le transport dans les canalisations et le lieu de conservation.

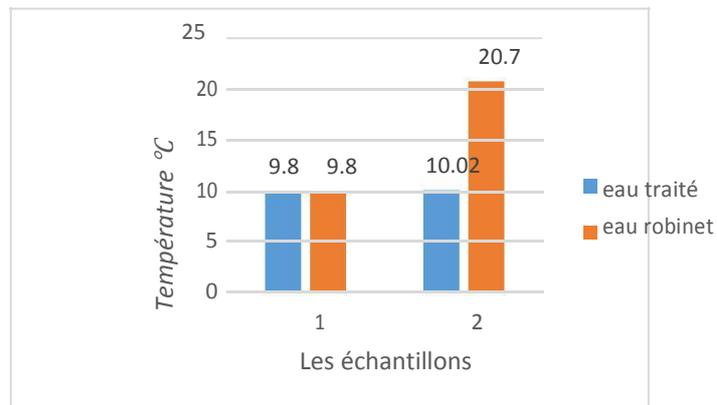


Figure V. 19. Comparaison entre la température de l’eau traitée et l’eau de robinet.

2.1.4. Potentiel hydrogène (pH)

On peut dire qu’il y a une variation négligeable de pH, les résultats présentés dans l’histogramme dans la figure V.20.

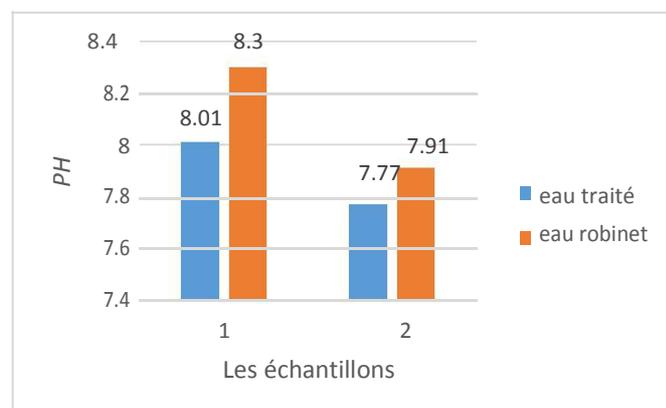


Figure V. 20. Comparaison entre pH de l’eau traitée et l’eau de robinet.

2.1.5. Total des solides dissouts (TDS)

La figure V.21 présente la comparaison entre TDS de l'eau traitée (P1T/P2T) et l'eau de robinet (P1R/P2R). Il y'a une variation dans les valeurs enregistrées à cause de passage de l'eau dans les canalisations de mauvaise qualité.

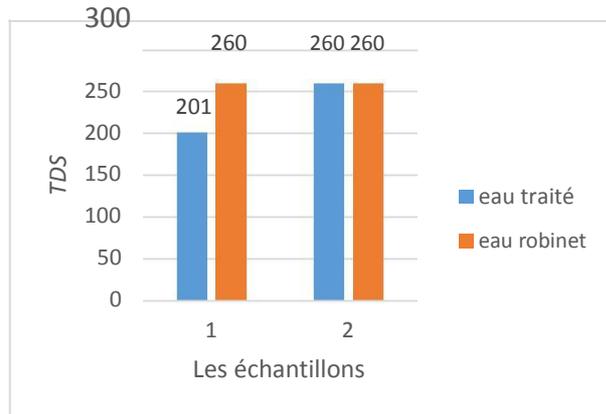


Figure V. 21. Comparaison entre TDS de l'eau traitée et l'eau de robinet.

2.1.6. Sels

Les sels dans l'eau traitée et l'eau de robinet sont nuls.

2.1.7. Ammonium (NH_4)

La figure V.22 présenté la comparaison entre l'ammonium de l'eau traitée (P1T/P2T) et l'eau de robinet (P1R/P2R). Les valeurs d'eau traitée sont nulles et les valeurs d'ammonium enregistré dans l'eau de robinet varient entre (0,253-0,005 mg/l). Cette augmentation des valeurs peut être due aux cassures des conduites et le mélange avec les eaux usées.

La présence de l'ammonium donne le nitrite et le nitrate par la nitrification, la toxicité des nitrates résulte de leur réduction en nitrites et de formation de méthémoglobine (maladie rare caractérisée par une capacité réduite du sang à transporter l'oxygène) [57].

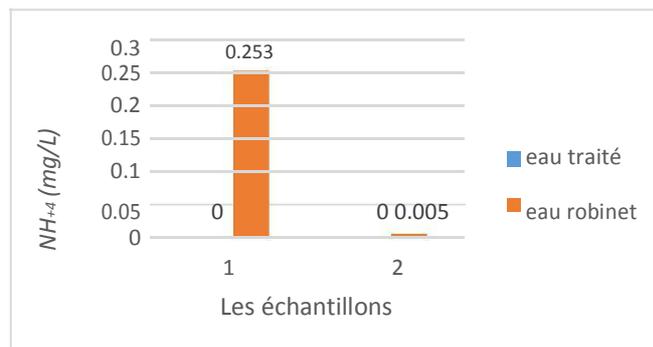


Figure V. 22. Comparaison entre l'ammonium de l'eau traitée et l'eau de robinet.

Les paramètres qui ne changent pas entre l'eau traitée et l'eau de robinet sont les suivantes :

Titre hydrométrique (TH), titre alcalimétrique (TA), titre alcalimétrique complet (TAC), HCO^{-3} , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^{-} , matière organique (MO), matière en suspension (MES), résidus sec (RS), NO^{-2} , NO^{-3} , SO^{-2}_4 , PO^{-3}_4 , Fe^{+2} , Al^{+3} .

	T	H	T	A	TAC	HC	C	M	Cl ⁻	MO	MES	RS	N	NO ⁻³	SO ⁻²⁴	PO ⁻³⁴	Fe ⁺²	Al ⁺³
P1T	21,8	21,8	0	0	11,5	140,35	56,86	18,47	71	4,3	0	380,5	0	2,02	61,5	0	0,01	0,28
P1R	21,8	21,8	0	0	11,5	140	55	18,47	71	4,3	0	380,5	0	2,02	61,5	0	0,01	0,28
P2T	21,6	21,6	0	0	11,8	143,69	58,47	17,1	71	3,2	0	373	0	2,15	21,1	0,1	0,01	0,28
P2R	21,6	21,6	0	0	11,8	143,69	58,47	17,1	71	3,2	0	373	0	2,15	21,1	0,1	0,01	0,28

3.4. Paramètres bactériologiques

2.2.1. Germes totaux

La figure V.23 présente la comparaison des germes totaux entre l'eau traitée (P1T/P2T) et l'eau de robinet (P1R/P2R). Les variations des nombres de germes totaux lors des deux prélèvements effectués au niveau de la station de traitement sont nulles, d'autre côté il y a une augmentation remarquable dans les prélèvements d'eau de robinet les valeurs comprises entre (175-25 GT/100ml). On peut avancer que cette eau est contaminée et ne peut pas être consommée à cause des dangers de ces bactéries pour la santé.

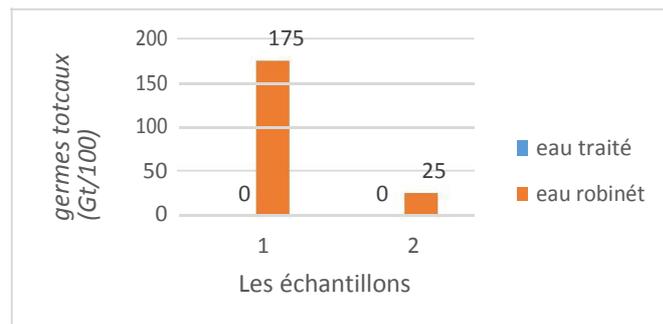


Figure V. 23. Comparaison des germes totaux entre l'eau traitée et l'eau de robinet.

3.4.2. 2.2.2. Coliformes totaux

La figure V.24 présente la comparaison des coliformes totaux entre l'eau traitée (P1T/P2T) et l'eau de robinet (P1R/P2R). Le dénombrement de ces bactéries pour l'eau traitée est nul. Pour les eaux de robinets la charge bactérienne varie entre (26-38 CT/100ml), cette augmentation à cause de la corrosion et la cassure des canalisations et le manque de traitement au niveau des châteaux d'eau.

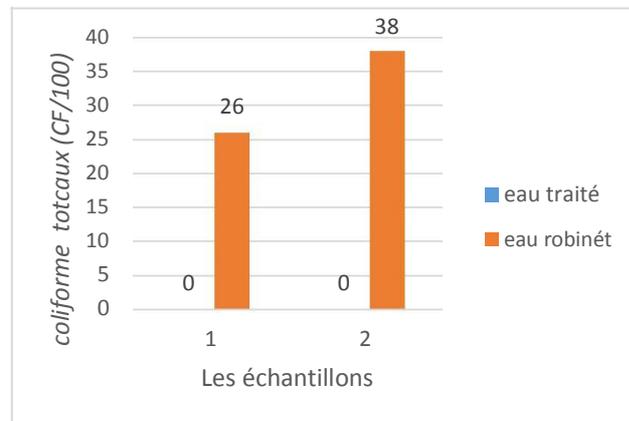


Figure V. 24. Comparaison des coliformes totaux entre l'eau traitée et l'eau de robinet.

3.4.3. 2.2.3. Coliformes fécaux et streptocoques.

On remarque l'absence totale des coliformes fécaux et streptocoques dans l'eau traitée et l'eau de robinet.

Conclusion

Dans cette partie de notre étude, nous pouvons conclure que les eaux de robinet ne sont pas valables pour la consommation humaine à cause de l'odeur, la couleur, l'ammonium et les bactéries dangereuses pour la santé. Cette détérioration de la qualité des eaux est due aux cassures, corrosion et vieillissement des canalisations de transports des eaux. Aussi, cela, et peut être du a une défaillance de traitements secondaire au niveau des châteaux d'eau.

Pour résoudre ce problème de la mauvaise qualité des eaux de robinet, nous proposons le développement d'un système de traitement par filtration installable au niveau des domiciles. À cet effet, un système de traitement des eaux a été développé. Ce système est : (i) simple (ii) peu couteux (iii) facile à entre tenir. Le système développé est à base de membrane de charbon actif. Dans la prochaine partie, nous présenterons les résultats de caractérisation de la membrane à base de charbon actif.

Partie 3

Cette partie englobe les résultats de la caractérisation de la membrane de charbon actif par :

- Le microscope optique.
- La Spectroscopie infrarouge.

3. Le microscope optique

La membrane de charbon actif a été caractérisée par le microscope optique avant et après l'utilisation (traitement des eaux), les résultats obtenus sont illustrés sur la figure V.25. D'après les observations microscopiques, nous constatons que la membrane est microporeuse, la surface est homogène se compose par des grains solides ce qui peut être intéressant pour la filtration et le traitement des eaux. Pour déterminer l'efficacité de la membrane à base de charbon actif, des observations microscopiques ont été effectuées postérieurement aux traitements des eaux de robinet. Des particules et des bactéries ont été retenues sur la membrane (V.25 b).

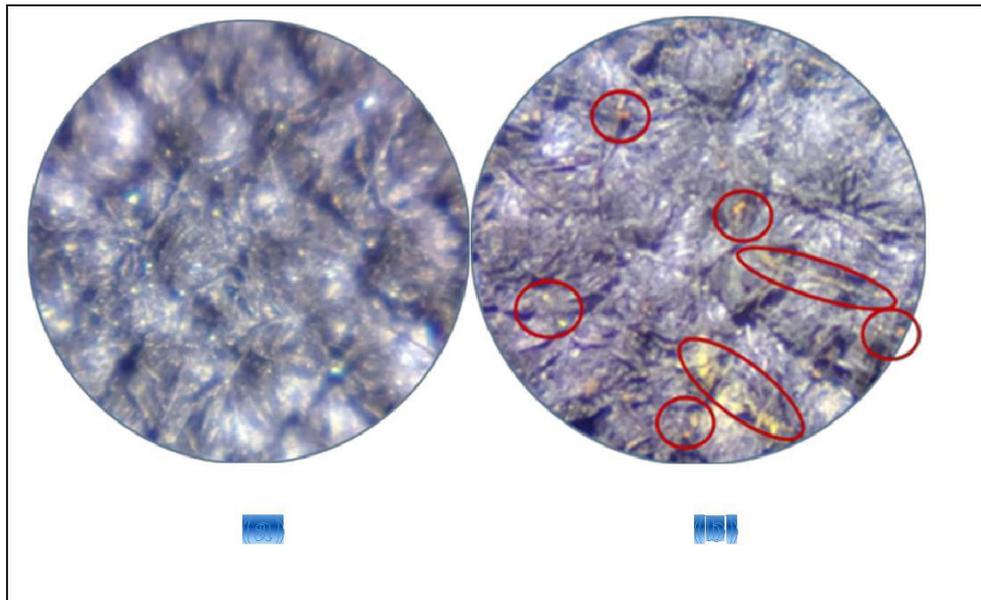


Figure V. 25. (a) la microscopie optique de la membrane de charbon actif développée avant d'effectuer le traitement d'eau. (b) la microscopie optique de la membrane de charbon actif développée après le traitement d'eau.

4. Spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)

Pour déterminer les groupements fonctionnels à la surface de la membrane du charbon actif, nous avons choisi l'analyse par infrarouge. La spectrométrie infrarouge est une méthode d'analyse non destructive, basée sur l'étude de l'absorption par l'échantillon des radiations électromagnétiques de longueurs d'ondes entre 1 et 1000 μ m, soit un nombre d'ondes $\nu = (1/\lambda)$ compris entre 1 et 10^{-3} m^{-1} . L'analyse de la membrane développée par spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier, a été également réalisée. Les spectres obtenus sont regroupés sur la (figure V.26).

Sample ID:2019-04-21T12-08-31	Method Name:test_CM
Sample Scans:16	User:admin
Background Scans:8	Date/Time:04/21/2019 12:08:31 PM
Resolution:4	Range:4000 - 650
System Status:Bon	Apodization:Happ-Genzel
File Location:C:\Users\Public\Documents\Agilent\MicroLab\Results\2019-04-21T12-08-31.a2r	

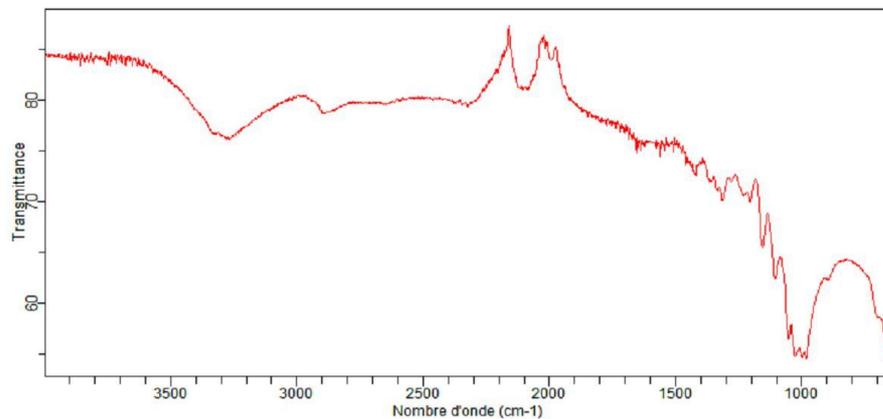


Figure V. 26. Spectre infrarouge du membrane a base de charbon actif.

Les spectres infra-rouge de la membrane développée présentent plusieurs bandes :

- Une bande d'adsorption intense sous forme d'un simple pic dans les domaines 3 478-3 462 cm^{-1} . Cette bande est attribuée au groupement (O-H) [58].
- Dans le domaine 2 932 -2 945 cm^{-1} le spectre présente le groupement C-H (la carbone tétragone) [58].
- Dans le domaine 2200-2000 cm^{-1} le spectre présente le groupement C=CH et N=C=H.
- Dans le domaine 1700-1500 cm^{-1} le spectre présente le groupement C=O.

- Dans le domaine 1645 cm^{-1} et 1637 cm^{-1} le spectre présente le groupement C=C. [58].
- Dans le domaine 1645 cm^{-1} et 1637 cm^{-1} le spectre présente le groupement C=C. [58].
- Dans le domaine $1041,0\text{ cm}^{-1}$: vibration d'élongation C-O (-C-OH) de groupements alcooliques ou éventuellement phénoliques.

Conclusion

Au cours de cette partie, nous avons présenté les caractérisations de la membrane développée à base du charbon actif. Nous avons constaté que cette membrane est microporeuse, de surface solide et homogène. Aussi, cette membrane est caractérisée par la présence des groupements fonctionnels. Ce qui rend cette membrane convenable pour le traitement des eaux. Dans la prochaine partie, nous présenterons l'efficacité de ce système dans le traitement des eaux de robinet.

Partie 4

5. Comparaison entre l'eau de robinet et eau traitée par la membrane de charbon actif développée

5.1. Paramètres physico-chimiques

5.1.1. Turbidité

La figure V.27 présente la comparaison de la turbidité entre l'eau de robinet (P1R/P2R) et l'eau filtrée (P1R T LOT 1) (P2R T LOT 1) (P2R T LOT 2). Après la filtration sur la membrane de charbon actif développée, les valeurs de la turbidité sont diminuées parce que le traitement d'eau de robinet par la membrane de charbon actif consiste à biodégrader et oxyder les matières organiques ainsi qu'éliminer ou absorber certains micropolluants pour améliorer le goût, l'odeur et la couleur de l'eau, Le phénomène physique est l'adsorption, c'est à dire l'adhésion des matières à filtrer sur la surface d'un solide, sans réaction chimique [61].

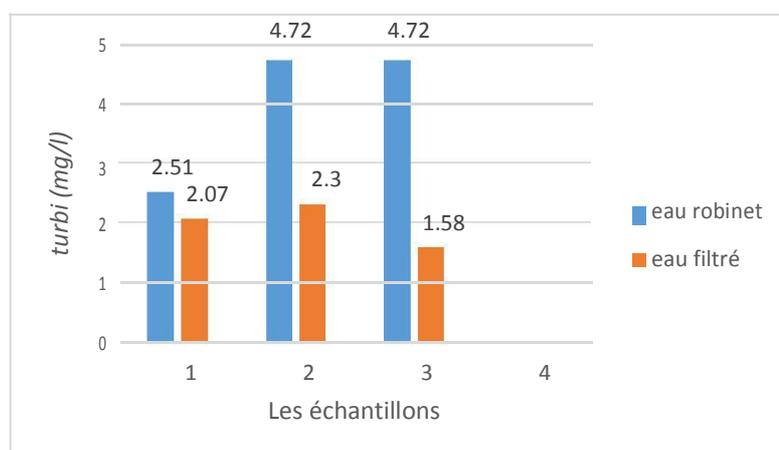


Figure V. 27. Comparaison de la turbidité entre l'eau de robinet et l'eau filtrée.

5.1.2. Température

La figure V.28 présente la comparaison de la température entre l'eau de robinet (P1R/P2R) et l'eau filtrée (P1R T LOT 1) (P2R T LOT 1) (P2R T LOT 2).

Le changement de la température à cause de lieu de conservation et le changement climatique.

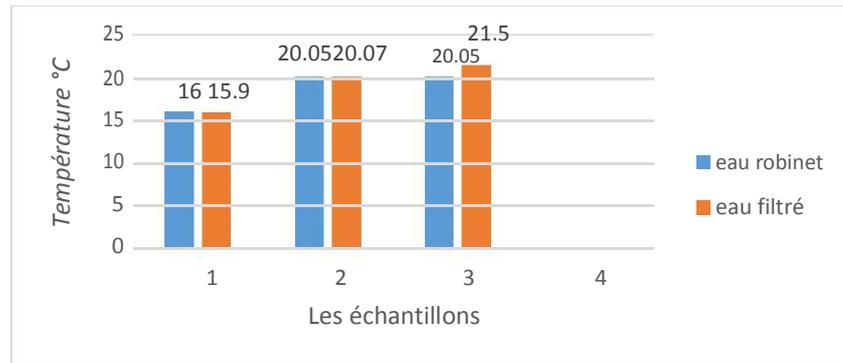


Figure V. 28. Comparaison de la température entre l'eau de robinet et l'eau filtrée.

5.1.3. pH

Pas de changement remarquable dans les valeurs de pH, donc les valeurs sont acceptables. Les résultats obtenus présentés dans l'histogramme qui suit :

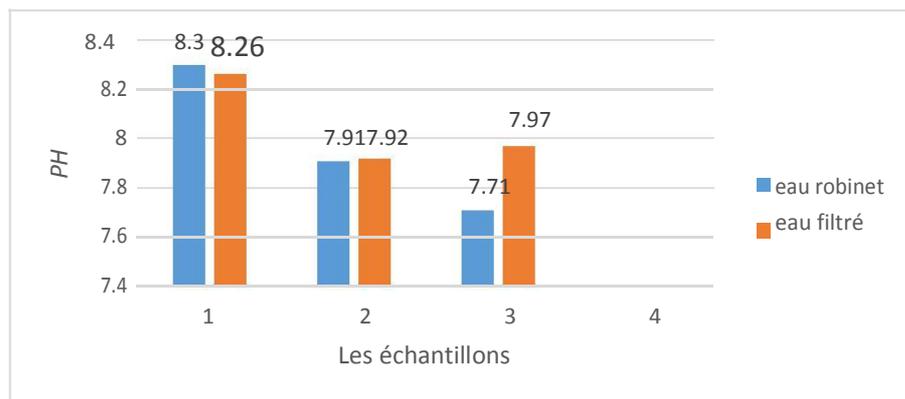


Figure V. 29. Comparaison de pH entre l'eau de robinet et l'eau filtrée.

5.1.4. Conductivité

La figure V.30 présente la comparaison de la conductivité entre l'eau de robinet (P1R/P2R) et l'eau filtrée (P1R T LOT 1) (P2R T LOT 1) (P2R T LOT 2).

Aucune variation remarquable après faire un traitement sur la membrane de charbon actif développée.

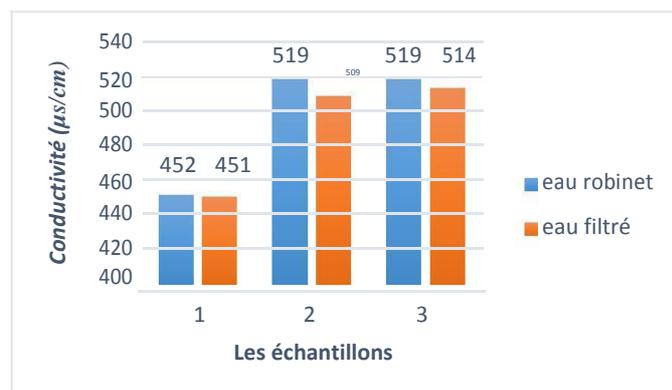


Figure V. 30. Comparaison de la conductivité entre l'eau de robinet et l'eau filtrée.

Les paramètres qui ne changent pas dans la comparaison entre l'eau de robinet et l'eau traitée par la membrane développée sont :

Les sels, total des solides dissouts (TDS), titre hydrométrique (TH), titre alcalimétrique complet (TAC), titre alcalimétrique (TA), HCO_3^- , Ca^{+2} , Mg^{+2} , matière organique (MO), matière en suspension (MES), résidus sec (RS), Cl^- , Fe^{+2} , Al^{+3} .

	Sel	TDS	TH	TAC	TA	HCO_3^-	Ca^{+2}	Mg^{+2}	MO	MES	RS	Cl-	Fe^{+2}	Al^{+3}
P1R	0	260	21,8	11,5	0	140	55	18,47	4,3	0	380,5	71	0,01	0,28
P1RTLO T1	0	260	21,8	11,5	0	140	55	18,47	4,3	0	380,5	69	0,01	0,28
P2R	0	260	21,6	11,8	0	143,69	58,47	17,1	3,2	0	373	71	0,01	0,28
P2RTLO T1	0	260	21,6	11,8	0	143,69	58,47	17,1	3,2	0	373	71	0,01	0,28
P2RTLO T2	0	260	21,6	11,8	0	143,69	58,47	17,1	3,2	0	373	71	0,01	0,28

5.1.5. Ammonium (NH_4^+)

La figure V.31 présente la comparaison de l'ammonium entre l'eau de robinet (P1R/P2R) et l'eau filtrée (P1R T LOT 1) (P2R T LOT 1) (P2R T LOT 2). Un changement remarquable de la teneur en ammonium est constaté après la filtration. L'ammonium a été extrêmement éliminé cela confirme l'efficacité de traitement sur la membrane de charbon actif développée, cela expliqué par la propriété de charbon et les groupements fonctionnels contient sur leur surface.

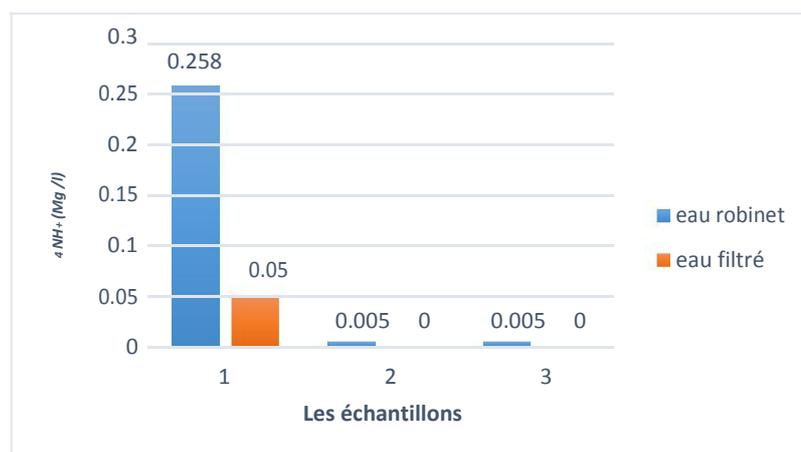


Figure V. 31. Comparaison de l'ammonium entre l'eau de robinet et l'eau filtrée.

5.1.6. Germes totaux et coliformes totaux

Les deux figures V.32,33 présentent la comparaison des germes et coliformes totaux entre l'eau de robinet (P1R/P2R) et l'eau filtrée (P1R T LOT 1) (P2R T LOT 1) (P2R T LOT 2). On remarque qu'il y a une diminution dans les valeurs des germes et coliformes totaux. Le système de traitement composé par des grains de charbon actif retient les bactéries. Le charbon actif est le composé le plus absorbant actuellement connu, car sa structure extrêmement poreuse augmente la surface en contact avec l'eau, elle possède donc une grande surface permettant d'absorber et de dégrader les matières organiques et les micros polluants (pesticides) par voie microbiologique. D'autre coté l'absence totale des coliformes fécaux et streptocoques. Ce résultat implique que le traitement par la membrane est efficace.

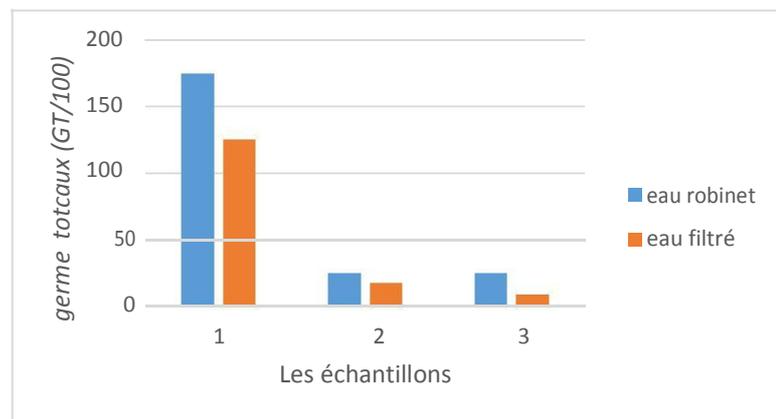


Figure V. 32. Comparaison des germes totaux entre l'eau de robinet et l'eau filtrée.

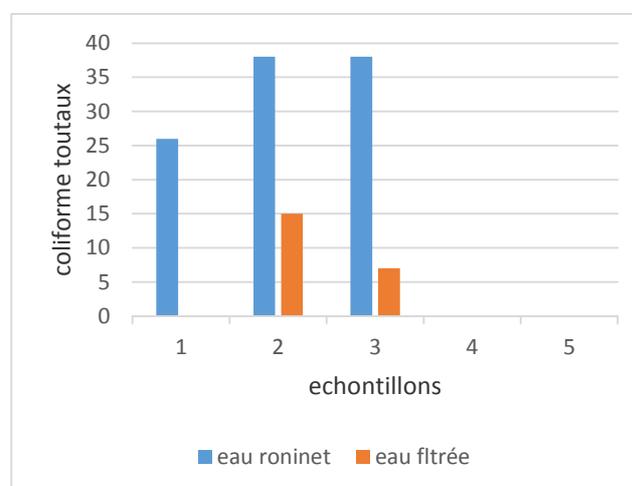


Figure V. 33. Comparaison des coliformes totaux entre l'eau de robinet et l'eau filtrée.

Conclusion

Les résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de robinet montrent que ces eaux sont contaminées, il y a un changement de la couleur, l'odeur et turbidité avec l'augmentation de la teneur en ammonium qui donne le nitrite et le nitrate par la nitrification, la toxicité des nitrates résulte de leur réduction en nitrites et de la provocation de la maladie méthémoglobine, qui est une maladie rare caractérisée par une capacité réduite du sang à transporter l'oxygène essentiellement due à la présence de nitrates dans l'eau de boisson. L'utilisation de la membrane de charbon actif dans les systèmes de traitement des eaux installable au niveau des domiciles permet la purification l'eau, l'amélioration considérablement de sa qualité et la rétention des bactéries.

Remarque

Tous les norme des paramètre physique chimique et bactériologique enregistrée dans le tableau (A. 1) voir la annexe.

Conclusion générale

L'eau apporte les nutriments essentiels au bon fonctionnement du corps humain, régule notre température, favorise l'élimination des déchets et des toxines. L'eau est indispensable à notre santé, d'ailleurs, elle constitue 60 % de notre organisme et nous avons besoin tous les jours d'une quantité moyenne d'1,5 litre d'eau.

Les problématiques de l'eau sont la pollution, son degré de propreté, le contrôle de sa qualité et portabilité de l'eau qui doit se faire de l'amont (nappe, eau de surface) jusqu'à l'aval (au robinet), car elle peut aussi se dégrader durant son stockage et son passage dans les réseaux de distribution.

L'objectif de notre travail de recherche se base sur la caractérisation et l'étude comparative de la qualité physique chimique et bactériologique des eaux brutes, eaux traitées, eaux de robinet et les eaux traitées par un système de filtration à base d'une membrane de charbon actif. Ce système a été développé au niveau du Laboratoire de Génie Electrique de Guelma (LGEG). Ce système installable en aval au niveau des domiciles des consommateurs afin d'assurer une qualité supérieure de l'eau à proximité des consommateurs.

Notre travail a été réalisé au sein de la station des traitements des eaux de hammam Debagh à Guelma, et dans le Laboratoire de Génie Electrique (LGEG) à l'Université 8 Mai 1945 Guelma.

Les résultats principaux de ce projet de fin d'études sont :

1. La maîtrise des procédés de traitements des eaux effectués au niveau de la station des traitements des eaux Hammam Debagh (Bouhamdane - Guelma).
2. La Maitrise des techniques d'analyse physico-chimique et bactériologique des eaux.
3. L'eau brute du barrage de Hammam Debagh est de bonne qualité car il a besoin d'un traitement simple, mais elle ne peut être consommée directement sans traitement.
4. L'eau traitée dans la station de traitement de Hammam Debagh est de bonne qualité et dans les normes exigées par l'OMS et la réglementation algérienne

Conclusion générale

en matière des eaux potables. Cela confirme l'efficacité des procédés de traitements opérés au niveau de la station de Hammam Debagh.

5. Les résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de robinet montrent que ces eaux sont contaminées, il y a un changement de la couleur, l'odeur et turbidité avec l'augmentation de la teneur en ammonium qui donne le nitrite et le nitrate par la nitrification, la toxicité des nitrates résulte de leur réduction en nitrites ce qui peut provoquer plusieurs maladies.
6. La détérioration de la qualité des eaux de robinet est due aux cassures, corrosion et vieillissement du réseau de distribution. Aussi, cela, peut-être dû aux défaillances de traitements secondaires au niveau des châteaux d'eau. Pour résoudre ce problème, un système de traitement par filtration installable, en aval, au niveau des domiciles a été développé au Laboratoire de Génie Electrique de Guelma (LGEG), l'élément principal de ce système est une membrane à base de charbon actif.
7. La membrane à base de charbon actif développée est une membrane microporeuse, de surface solide et homogène. Aussi, cette membrane est caractérisée par la présence des groupements fonctionnels. Ce qui rend cette membrane convenable pour le traitement des eaux.
8. L'utilisation de la membrane de charbon actif dans les systèmes de traitement des eaux installable au niveau des domiciles permet la purification l'eau, l'amélioration considérablement de sa qualité et la rétention des bactéries.
9. Contrairement à l'eau du robinet, l'eau traitée par le système développé est une eau potable dans les normes de l'OMS et la réglementation algérienne.

Annexe

Les tableaux A.1 et A.2 ci-dessous présentent les différents résultats des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des différents échantillons.

Tableau A. 1. Les résultats physico-chimiques des échantillons d'eau brute, Eau traité, Eau de robinet, Eau filtrée.

Paramètres	P1B	P1T	P1R	P1R TLOT 1	P2B	P2T	P2R	P2R TLOT 1	P2R TLOT 2	Normes
Turbidité NTU	12.5	2.23	2.51	2.07	14.25	3.68	4.72	2.3	1.58	<5
PH	8.02	8.01	8.30	8.26	7.81	7.77	7.91	7.92	7.97	6.5 à 9
Conductivité (µS/cm)	377	387	452	451	392	391	519	509	514	400
TDS	254	201	260	260	259	262	260	260	260	<600
Sel	00	00	00	00	00	00	00	00	00	
Température °C	9.8	9.8	16	15.9	10.06	10.02	20.05	20.7	21.5	25
TH (mg/l)	21.8	21.8	21.8	21.8	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	10°F
TA (mg/l)	00	00	00	00	00	00	00	00	00	
TAC (mg/l)	12.1	11.5	11.5	11.5	12.1	11.8	11.8	11.8	11.8	2.5°F
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	147.62	140.356	140	140	147.62	143.69	143.69	143.69	143.69	
Ca ⁺² (mg/l)	56.87	56.87	55	55	58.47	58.47	58.47	58.47	58.47	200
Mg ⁺² (mg/l)	18.47	18.47	18.47	18.47	17.01	17.1	17.1	17.1	17.1	50
Cl ⁻ (mg/l)	71	71	71	69	71	71	71	71	71	250
M.O (O ₂ /l)	7	4.3	4.3	4.3	5.4	3.2	3.2	3.2	3.2	
MES (mg/l)	6	00	00	00	3	00	00	00	00	-
R.S (mg/l)	356.5	380.5	380.5	380.5	356.5	373	373	373	373	1500
NO ₂	00	00	00	00	00	00	00	00	00	0.2

Annexe

(mg/l)										
NH_4^+ (mg/l)	0.003	00	0.253	0.052	0.05	00	0.005	00	00	0.5
NO_3^- (mg/l)	1.626	2.02	2.02	2.02	1.775	2.152	2.152	2.152	2.152	50
SO_4^{2-} (mg/l)	49	61.5	61.5	61.5	15	21.1	21.1	21.1	21.1	250
PO_4^{3-} (mg/l)	00	00	00	00	0.089	0.111	0.111	0.111	0.111	5
Fe^{+2} (mg/l)	0.003	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	
Al^{+3}	00	0.28	0.28	0.28	00	0.28	0.28	0.28	0.28	0.2

Tableau A. 2. Paramètres bactériologiques des échantillons d'eau brute, Eau traitée, Eau de robinet, Eau filtré.

Prélèvements	P1B	P1T	P1R	P1R T LOT 1	P2B	P2T	P2R	P2R T LOT 1	P2R T LOT 2	.
Cl_2 (mg/l)	00	00	00	00	00	00	00	00	00	
Germes totaux à 37°C	193	00	175	125	75	00	25	18	9	00
Coliformes Totaux	11	00	26	00	9	00	38	15	7	00
Coliformes Fécaux	72	00	00	00	230	00	00	00	00	00
Streptocoques	2	00	00	00	11	00	00	00	00	00
ASR	-	-	-	-	-			-	-	00
Turbidité	12.5	2.23	2.51	2.07	14.25	3.68	4.72	4.23	1.58	<5

Bibliographie

Bibliographie

1. Boeglin Jean-Claude. Propriétés des eaux naturelles. Technique de l'ingénieur, traité environnement, G1 110.
2. www.larousse.fr/dictionnaires/francais/eau/27209_23. Consulter le 27/05/2019.
3. <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/developpement-durable-eau-5715/> consulter le 27/05/2019.
4. <http://www.eau-artois-picardie.fr/education-leau-dossiers-thematiques/le-grand-cycle-de-leau>. Consulter le 27/05/2019.
5. <http://www.greenkiss.fr/quel-est-le-role-de-leau-dans-notre-environnement/> Consulter le 27/05/2019.
6. <http://www.septiemecontinent.com/pedagogie/lesson/eau-liquide-solide-gazeuse/>. Consulter le 27/05/2019.
7. http://dardel.info/eau_composition.html. Consulter le 27/05/2019.
8. <https://www.econologie.com/proprietes-eau-physiques-chimiques/>. Consulter le 27/05/2019.
9. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/eau-proprietes-qualite-valeurs-d-usage-42506210/caracteristiques-et-proprietes-des-eaux-w110/proprietes-biologiques-de-l-eau-w110niv10005.html> consulter le 27/05/2019.
10. Cardot Claude. Génie de l'environnement : les traitements de l'eau. Paris, 1999, P : 9.
11. <https://www.aquaportail.com/definition-4161-eaux-usees.html> consulter le 27/05/2019.
12. Zeghoud, M. (2014) : Etude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village de Méghibra. Mémoire de master, Université d'el-Oued. P20.
13. Djemmal S. (2008-2009), Les Ressources en Eau et L'environnement, l'effet de la sebkha sur la qualité des eaux Souterraines dans la partie sud -est de Sétif Cas du Guidjal, Université de Constantine, Algérie.
14. Degremont. Mémento technique de l'eau, Technique et documentation, tome 1, 1989, P : 5, 24,25.
15. Lounnas, A. (2008) : Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station Hamadi-Kroma de Skikda, Algérie. Mémoire de magister, Université du 20 Aout 1955 Skikda, p120.
16. <http://www.eau-poitou-charentes.org/risques-sante-maladies-eau.html>. Consulter le 27/05/2019.
17. Bouziani M. (2000), L'eau de la pénurie aux maladies, Editions IBN-KHALDOUN, Algérie.
18. Bensaci T. (2006). Détermination De la Qualité Physico-chimique Et Bactériologiques Des Eaux De Surface : Cas du Barrage Tingad (W. d'Oum El Bouaghi). Mémoire de Magister, Centre Université Larbi Ben M'hidi, Oum El-Bouaghi. 98 p.
19. OMS. (2006), Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable, mises à jour en 2006, Organisation Mondiale de la Santé, Genève, Suisse.

20. Desjardins R. (1997), Le traitement des eaux, 2ème édition, Revue et amélioré Edition de l'école poly technique, de Montréal, Canada.
21. U E. (1998), Normes de l'Union Européenne sur l'eau potable. Directive du conseil 98/83/EC sur la qualité de l'eau attendue pour la consommation humaine.
22. E.NA.GEO. (1971). Entreprise Nationale De Géophysique. Etude Géophysique Dans La Région De Guelma. 52 p.
23. Bouchemal .M et hammoudi .A.C. (2016). Analyse de la qualité des eaux de la station de traitement de Hammam Debagh. Mémoire de master 2, Université Larbi Ben M'hidi (Oum El Bouaghi). 52 p.
24. Aouissi L. 2007. étude physico-chimique et bactériologique avant et après traitement de l'eau du barrage de Hammam Debagh-Geulma. Mémoire de licence DUA, Université 8 Mai 1945 Guelma. P
25. Rodier, 1999. L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. Paris, 7ème édition, Dunod.
26. Hamed et al, 2012. Etude des propriétés physicochimiques et bactériologiques de l'eau du barrage Djofra-Tourba Bechar. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Biologie, Option : Contrôle de qualité et d'analyse, Université de Bechar, 134p.
27. Rejsek, 2002. Analyse des eaux–Aspects règlementaires et techniques biologie technique CRDP d'aquitaine, p358.
28. Rodier et al, 2005. L'Analyse de l'eau, Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eaux de Mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats, Ed Dunod, paris, p384.
29. Hakmi, 1994. Traitement de l'eau de source Bousfer, Oran. Memoire de licence traitement des eaux, Université des sciences et de la Technologie, Oran, p48.
30. Tremblay, 1995 ; Mouly et al, 2008. Caractérisation physicochimique des bois raméaux fragmentés et leur effet sur la croissance des plantes. Mémoire de maitrise, Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval, Québec. p173. (Rapport d'étude des sous-produit de chloration dans l'eau destinée à la consommation humaine France – Compagne d'Analyse des quatre systèmes de distribution d'eau et modélisation de l'évolution des trialomthanes, Saint-Maurice (Fra. Institut de veille sanitaire).
31. Morabbi, 2013. Caractérisation la qualité des ressources en eau dans le sous-bassin. Ksob (Région d'Essaouira, Maroc. Mémoire de licence, Université Cadi Ayyed, p27-28.
32. Bouteffas W. Benoughidene S. Contribution à l'étude de la qualité physico-chimiqueet bactériologique de quatre sources d'eau dans le bassin de Guelma, Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master.Juin 2016.
33. <https://www.inspq.qc.ca/eau-potable/coliformes-totaux> consulter le 28 avril 2019.
34. <https://www.inspq.qc.ca/eau-potable/coliformes-fecaux> consulter le 28 avril 2019.
35. Merzoug, 2009. Etude de la qualité microbiologique et physico-chimique de l'eau de l'écosystème lacustre Gareat Hadj-Taher (Benazzouz, wilaya de Skikda). Mémoire de Magister, Université 8 mai 1945, Guelma, 119p.
36. Marchal, 1982. Les milieux de culture pour l'isolement et l'identification biochimique des bactéries, biologie appliquée. Doin, Paris, 482p.
37. <https://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/hs/pdf/fr/MilieusSains/eau/Coliformf.pdf> consulter le 28 avril 2019.

38. Bastami, T.R. and M.H. Entezari, Activated carbon from carrot dross combined with magnetite nanoparticles for the efficient removal of p-nitrophenol from aqueous solution. *Chemical Engineering Journal*, 2012. 210(0) : p. 510-519.
39. Manocha, et al., Porosity development on activation of char from dry and wet Babbool wood. *Carbon Science*, 2002. 3 : p. 133-141.
40. <https://www.lenntech.fr/francais/charbonactif-grain-poudre.htm>. consulter le 28 avril 2019.
41. V. H. Montoya and A. B. Petriciolet, "Lignocellulosic Precursors Used in the Synthesis of Activated Carbon -Characterization Techniques and Applications in the Wastewater Treatment," INTECH, pp. 100, 2012.
42. A. Mohammad-Khah and R. Ansari, "Activated Charcoal: Preparation, characterization and Applications: A review article," *International Journal of ChemTech Research*, vol. 1, no. 4, pp. 859–864, 2009.
43. Nicolas KANIA. 2010. Utilisations de charbons actifs dans des procédés d'adsorption de Composés Organiques Volatils et des procédés de catalyse dans l'eau, thèse de DOCTEUR EN CHIMIE ORGANIQUE ET MACROMOLECULAIRE. UNIVERSITE D'ARTOIS. p15.
44. Mbaye GUEYE. 2015. Développement de charbon actif à partir de biomasses lignocellulosiques pour des applications dans le traitement de l'eau, thèse de Docteur en Sciences et Technologies de l'Eau, de l'Energie et de l'Environnement. P23.
45. <https://www.lenntech.fr/adsorption.htm#ixzz5ksSTf4oy> consulter le 7 juin 2019.
46. F. Çeçen, Ö. Aktaş, in:., *Act. Carbon Water Wastewater Treat.*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA, 2011, pp. i–xxviii.
47. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01620244/document> consulter le 7 juin 2019.
48. <http://traitementeaux.e-monsite.com/pages/iii-procedes-de-traitement/iii-d-les-principaux-procedes-de-traitement-biologique/1-la-filtration-sur-charbon-actif.html> consulter le 7 juin 2019.
49. https://www.lenntech.fr/francais/charbonactif_regeneration.htm#ixzz5ksV8Wa9q consulter le 7 juin 2019.
50. <https://www.lenntech.fr/francais/membrane-technologie.htm> consulter le 7 juin 2019.
51. Salmi Ouahida, Allele Asma, Electrodeposition de l'oxyde de Zinc sur des Substrats de Carbone Synthèse, Caractérisation et Mécanisme de Croissance, Université 8 Mai 1945 Guelma, Juin 2017
52. https://fr.wikipedia.org/wiki/Microscope_optique. consulter le 7 juin 2019.
53. https://fr.wikipedia.org/wiki/Spectroscopie_infrarouge. consulter le 7 juin 2019.
54. Adrien Mery, Oxydes de Manganèse et ses composites à base de nanotubes de Carbone ou de Graphène pour la réalisation de supercondensateurs, Laboratoire physicochimie des Matériaux et des Electrolytes pour l'Energie (PCM2E)-Université François-Rabelais de Tours, le 19 Octobre 2016.
55. Mathias Borella, Contrôle de la fonctionnalisation de surface de revêtements obtenus par PEVCD à partir d'un composé organosilicé cyclique, Ecole doctorale EMMA, le 24 Novembre 2006.
56. Bouzidi S. Chelhi Z. Caractérisation physico-chimique et bactériologique avant et après traitement de l'eau du barrage de Hammam Debagh-Geulma, Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master. Juin 2017.
57. <https://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9th%C3%A9moglobine> consulter le 26 juin 2019.

Bibliographie

58. Estevinho B.N., Ratola N., Alves A. & Santos L., 2006. Pentachlorophenol removal from aqueous matrices by sorption with almond shell residues. *J. Hazard. Mater.*, **137**, 1175-1181.
59. Biloe S, Goetz V, and Mauran S, Characterization of adsorbent composite blocks for methane storage. *carbon*, 2001.39(11): p. 1653-1662.
60. Mohan D and Pittman Jr. C.U, Steele P. H. Single, binary and multi-component adsorption of copper and cadmium from aqueous solutions on Kraft lignin--a biosorbant. *J. of Coll. and Interf. Sci*, 2005.
61. Ibañez, E.F., Etude de la carbonisation et de l'activation de précurseurs végétaux durs et moux. these de l'Université de Granada, decembre,2002.
62. J Darnell H Lodish and D Baltimore, *Molecular Cell Biology*, ed. D.b.W.H.F.a.c. Second Edition. Scientific American Books. 1990.
63. Peternel W S, Winkler-Hechenleitner A A, and Gómez Pineda E A, Adsorption of Cd (II) and Pb (II) onto functionalized formic lignin from sugar cane bagasse. *Biores.Technol*, 1997. 68(1999): p. 95-100.
64. Reddad Z, Procédés d'élimination des ions métalliques par adsorption sur un polysaccharide naturel - Etude expérimentale et modélisation. Thèse, Nantes, Université de Nantes, 2002: p. 287-288.
65. F. Çeçen, Ö. Aktaş, in: *Act. Carbon Water Wastewater Treat.*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA, 2011, pp. i-xxviii.