

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

Mémoire de Projet de Fin d'Etudes
2^{ème} Année Master

***Traitement et étude de la qualité physico-chimique et
bactériologique des eaux de surface de Hammam Debagh
(Bouhamdane)-Guelma***

Filière : Génie des Procédés

Spécialité: Génie chimique

Présenté par:

Atamenia Maroua

Kouarta Amina

Sous la direction de:

Dr. Mahmoudi Ourida

Octobre 2020



Remerciements

Tout d'abord, nous tenons à remercier, «Allah» le tout puissant qui nous a procuré, patience, courage et volonté afin de réaliser ce modeste travail.

*Nous remercions vivement **Dr Mahmoudi Ourida** pour le grand honneur qu'elle nous a fait, en acceptant de nous encadrer avec ses orientations, ses encouragements, sa disponibilité constante et ses conseils pertinents qui ont été un solide repère et réconfort dans tous les moments.*

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

Tous les responsables du département de Génie des procédés et les enseignants, qui nous ont donné la base de la science.

*Tous les travailleurs aux laboratoires de la station de traitement des eaux à Hammam Debagh-Guelma, **Amel, Radia, Mbarka, Samira** et autres, merci pour votre disponibilité et vos encouragements.*

Merci à tous



Dédicace

Avec l'aide d'ALLAH, le tout puissant, ce travail est achevé; Je le dédie à toutes les personnes qui me sont chères.

A Mon cher père, Merci à toi pour les sacrifices opérés pour ma réussite et les différents conseils prodigués à ma personne qui m'ont forgé et ont contribué à la réalisation de ce travail; Que Dieu te récompense pour tout ce que tu as fait pour moi.

A Ma chère mère, Je te remercie pour toutes les prières et les paroles de bénédiction, le soutien que tu m'as apporté durant les moments difficiles que j'ai traversé tout au long de ma vie.

A Mon très cher frère et cœur Marouan et Mes adorables sœurs Nour et Rofaida ainsi que leurs enfants Iyad, Akram, Nousa, Maisa, Isra pour être présents dans mes meilleurs souvenirs que dieux les garde longtemps.

A Tous mes chères amies,

A Toute ma famille,

A Tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment

Maroua



Dédicace

Avec l'aide d'ALLAH, le tout puissant, ce travail est achevé; Je le dédie à toutes les personnes qui me sont chères.

A Mon cher père, merci à toi pour le sacrifice opéré pour ma réussite et les différents conseils prodigués à ma personne qui m'ont forgé et ont contribué à la réalisation de ce travail; Que Dieu te récompense pour tout ce que tu as fait pour moi.

A Ma chère mère, Je te remercie pour toutes les prières et les paroles de bénédiction, le soutien que tu m'as apporté durant les moments difficiles que j'ai traversé tout au long de ma vie.

A Mon très cher frère Raouf et mes adorables sœurs Karima et Leila ainsi que leurs enfants Moumou, Koussay, Djouri, pour être présents dans mes meilleurs souvenirs que dieux les garde longtemps.

À Mon mari Ilyes qui m'a soutenu et encouragé tout le temps.

A Tous mes chères amies est surtout mon amie d'enfance Nachwa

A Toute ma famille,

A Tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment

Amina

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Résumé

Introduction générale 1

Chapitre I : Généralités sur l'eau

| | |
|---|---|
| I.1. Définition de l'eau | 2 |
| I.1.1. L'eau brute | 2 |
| I.1.2. L'eau potable | 3 |
| I.2. Cycle de l'eau | 3 |
| I.3. Propriétés de l'eau | 4 |
| I.3.1. Propriétés physiques de l'eau | 4 |
| I.3.1.1. Température d'ébullition | 4 |
| I.3.1.2. Viscosité | 4 |
| I.3.1.3. Solvant | 4 |
| I.3.1.4. Tension superficielle | 4 |
| I.3.1.5. Chaleur spécifique | 4 |
| I.3.1.6. Chaleur latente | 4 |
| I.3.1.7. Capacité thermique | 5 |
| I.3.1.8. Transparence | 5 |
| I.3.2. Propriétés chimiques de l'eau | 5 |
| I.3.3. Propriétés biologiques de l'eau | 5 |
| I.4. Les ressources naturelles d'eau | 5 |
| I.4.1. Eaux de mers et océans | 6 |
| I.4.2. Eaux souterraines | 6 |
| I.4.3. Eaux de surfaces | 6 |
| I.5. Caractéristiques générales des eaux de surface | 7 |
| I.6. Critères de choix de la qualité des eaux | 7 |
| I.6.1. Paramètres organoleptiques | 7 |
| I.6.1.1. Turbidité | 7 |

| | | |
|-------------|---|----|
| I.6.1.2. | Couleur | 7 |
| I.6.1.3. | Odeur | 7 |
| I.6.1.4. | Gout | 7 |
| I.6.2. | Paramètres physico-chimiques | 8 |
| I.6.2.1. | Paramètres physiques | 8 |
| I.6.2.1.1. | Température (°C) | 8 |
| I.6.2.1.2. | Potentiel hydrogène (pH) | 8 |
| I.6.2.1.3. | Conductivité électrique (CE) | 8 |
| I.6.2.1.4. | Salinité | 8 |
| I.6.2.1.5. | Matières en suspension (MES) | 8 |
| I.6.2.1.6. | Résidu sec (RS) | 9 |
| I.6.2.1.7. | Taux des sels dissous (TDS) | 9 |
| I.6.2.2. | Paramètres chimiques | 9 |
| I.6.2.2.1. | Fer (Fe^{2+}) | 9 |
| I.6.2.2.2. | Magnésium (Mg^{2+}) | 9 |
| I.6.2.2.3. | Aluminium (Al^{3+}) | 9 |
| I.6.2.2.4. | Ammonium (NH_4^+) | 9 |
| I.6.2.2.5. | Bicarbonates (HCO_3^-) | 10 |
| I.6.2.2.6. | Calcium (Ca^{2+}) | 10 |
| I.6.2.2.7. | Chlorures (Cl) | 10 |
| I.6.2.2.8. | Matières organiques (MO) | 10 |
| I.6.2.2.9. | Nitrates (NO_3^-) | 10 |
| I.6.2.2.10. | Nitrites (NO_2^-) | 10 |
| I.6.2.2.11. | Phosphates (PO_4^{3-}) | 11 |
| I.6.2.2.12. | Sulfates (SO_4^{2-}) | 11 |
| I.6.2.2.13. | Titre alcalimétrique (TA) et (TAC) | 11 |
| I.6.2.2.14. | Dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH). | 11 |
| I.6.2.2.15. | Demande biochimique en oxygène DBO_5 | 11 |
| I.6.2.2.16. | Demande chimique en oxygène DCO | 12 |
| I.6.3. | Paramètres bactériologiques | 12 |
| I.6.3.1. | Germes totaux (GT) | 12 |

| | | |
|------------|---|----|
| I.6.3.2. | Coliformes totaux (CT) | 12 |
| I.6.3.3. | Coliformes fécaux (CF) ou coliformes thermo-tolérants | 12 |
| I.6.3.4. | Streptocoques fécaux (SF) (37°C) | 12 |
| I.6.3.5. | Clostridium sulfito-réducteur (CSR) | 13 |
| I.6.3.6. | Anaérobies sulfito-réducteurs (ASR) | 13 |
| I.6.3.7. | Escherichia coli (E-coli) | 13 |
| I.7. | Pollution des eaux | 13 |
| I.7.1. | Définition | 13 |
| I.7.2. | Classification de la pollution | 14 |
| I.7.2.1. | Classification selon le type de polluant | 14 |
| I.7.2.1.1. | Pollution physique | 14 |
| I.7.2.1.2. | Pollution chimique | 14 |
| I.7.2.1.3. | Pollution biologique | 14 |
| I.7.2.2. | Classification selon l'origine de la pollution | 14 |
| I.7.2.2.1. | Pollution domestique | 14 |
| I.7.2.2.2. | Pollution industrielle | 14 |
| I.7.2.2.3. | Pollution d'origine agricole | 15 |
| I.7.2.2.4. | Pollution d'origine naturelle | 15 |
| I.7.3. | Pollution de l'eau sur notre santé | 15 |

Chapitre II : Traitement des eaux de surface

| | | |
|---------|--|----|
| II.1. | Introduction. | 16 |
| II.2. | Objectif du traitement | 16 |
| II.2.1. | La santé publique | 16 |
| II.2.2. | L'agrément du consommateur | 16 |
| II.2.3. | La protection des infrastructures | 16 |
| II.3. | Critères de choix de l'eau à traiter | 16 |
| II.3.1. | La quantité | 16 |
| II.3.2. | La qualité | 16 |
| II.3.3. | L'économie | 16 |
| II.4. | Traitement standard pour les eaux de surface | 16 |

| | |
|---|----|
| II.4.1. Prétraitements (traitement physique) | 17 |
| II.4.1.1. Dégrillage | 17 |
| II.4.1.2. Dessablage | 17 |
| II.4.1.3. Micro-tamissage | 18 |
| II.4.2. Pré-oxydation | 18 |
| II.4.2.1. Aération | 18 |
| II.4.2.2. Pré-chloration | 19 |
| II.4.2.2.1. Le chlore (Cl ₂) | 20 |
| II.4.2.2.2. Formes de chlore dans l'eau | 20 |
| II.4.2.2.3. Types de chlore | 21 |
| II.4.2.2.4. Chloration au point critique (break-point) | 22 |
| II.4.3. Clarification | 23 |
| II.4.3.1. Coagulation-floculation | 23 |
| II.4.3.1.1. Définition | 23 |
| II.4.3.1.2. Coagulants utilisés | 24 |
| II.4.3.1.3. Flocculants utilisés | 25 |
| II.4.3.1.4. L'essai de "jar-test" | 25 |
| II.4.3.2. Décantation | 25 |
| II.4.3.2.1. Définition | 25 |
| II.4.3.2.2. Types de décantation | 26 |
| II.4.3.3. Filtration | 26 |
| II.4.3.3.1. Définition | 26 |
| II.4.3.3.2. Différents types de filtre | 27 |
| II.4.4. Désinfection | 28 |
| II.4.4.1. Définition | 28 |
| II.4.4.2. Différentes méthodes de désinfection de l'eau | 28 |
| II.4.5. Stockage de l'eau | 30 |
| II.5. Traitement effectués dans la station de Hammam Dbagh (Bouhamdane) | 30 |
| II.5.1. Pré-chloration (préoxydation) | 30 |
| II.5.2. Coagulation-floculation | 31 |
| II.5.3. Décantation (flottation) | 31 |

| | |
|--|----|
| II.5.4. Filtration sur sable | 32 |
| II.5.5. Désinfection (postchloration). | 33 |
| II.5.6. Stockage et distribution | 33 |

Chapitre III : Matériels et mode opératoire

| | |
|--|----|
| III.1. Introduction | 34 |
| III.2. Présentation de l'organisme d'accueil | 34 |
| III.2.1. Situation géographique du barrage de Hammam Debagh (Bouhamdane) | 34 |
| III.2.2. Caractéristiques du barrage | 35 |
| III.2. Station de traitement des eaux potables (station de Hammam Debagh) | 35 |
| III.2.1. Localisation de la station de traitement | 35 |
| III.2.2. Origine de l'eau | 36 |
| III.2.3. Débit d'eau à traiter | 36 |
| III.3. Méthodes d'analyses | 36 |
| III.3.1. Détermination de la demande en chlore par la méthode break point | 36 |
| III.3.2. Essai du test de coagulation/floculation (jar-test) | 37 |
| III.3.2.1. Détermination de la dose optimale en coagulant | 38 |
| III.3.2.2. Détermination de la dose optimale en floculant | 40 |
| III.3.3. Analyses physico-chimique | 41 |
| III.3.3.1. Méthode électrochimique | 41 |
| III.3.3.1.1. Mesure de la turbidité (Turb) | 41 |
| III.3.3.1.2. Mesure de la température (°C) et du pH | 42 |
| III.3.3.1.3. Mesure de la conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 42 |
| III.3.3.1.4. Mesure TDS (mg/l) et la salinité | 43 |
| III.3.3.2. Méthode volumétrique | 44 |
| III.3.3.2.1. Détermination de l'alcalinité (TA-TAC) et les bicarbonates (HCO_3^-) | 44 |
| III.3.3.2.2. Dosage du calcium (Ca^{2+}) | 46 |
| III.3.3.2.3. Dosage de la dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH) | 46 |
| III.3.3.2.4. Détermination du magnésium (Mg^{2+}) | 47 |
| III.3.3.2.5. Dosage des chlorures (Cl^-) | 48 |
| III.3.3.2.6. Détermination de la matière organique (MO) | 48 |

| | | |
|--------------|---|----|
| III.3.3.2.7. | Détermination du résidu sec (RS) | 50 |
| III.3.3.2.8. | Détermination des matières en suspension (MES) | 50 |
| III.3.3.3. | Méthode par spectrophotométrie | 51 |
| III.3.3.3.1. | Dosage de l'ammonium (NH_4^+) | 52 |
| III.3.3.3.2. | Dosage du fer (Fe^{2+}) | 53 |
| III.3.3.3.3. | Dosage des sulfates (SO_4^{2-}) | 53 |
| III.3.3.3.4. | Dosage des phosphates (PO_4^{3-}) | 54 |
| III.3.3.3.5. | Dosage des nitrites (NO_2^-) | 54 |
| III.3.3.3.6. | Dosage des nitrates (NO_3^-) | 54 |
| III.3.3.3.7. | Dosage d'aluminium (Al^{3+}) | 55 |
| III.3.4. | Analyses bactériologiques | 56 |
| III.3.4.1. | Recherche des germes totaux à 37 °C (GT) | 56 |
| III.3.4.2. | Recherche des coliformes totaux (CT) et fécaux (CF) | 57 |
| III.3.4.3. | Recherche des streptocoques fécaux | 57 |
| III.3.4.4. | Recherche des anaérobies sulfito-réducteur (ASR) | 58 |

Chapitre IV : Résultats et discussion

| | | |
|---------|--|----|
| IV.1. | Etude de pré-chloration | 59 |
| IV.1.1. | Détermination du point critique (break-point) | 59 |
| IV.2. | Détermination des doses optimales du coagulant et du flocculant à partir d'essai de jar-test | 60 |
| IV.3. | Résultats et discussion d'analyses des paramètres physico-chimiques | 62 |
| IV.3.1. | Turbidité (Turb) | 64 |
| IV.3.2. | Température (T) | 64 |
| IV.3.3. | Potentiel d'hydrogène (pH) | 65 |
| IV.3.4. | Conductivité électrique (CE) | 66 |
| IV.3.5. | Total des solides dissous (TDS) | 66 |
| IV.3.6. | Salinité | 67 |
| IV.3.7. | Dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH) | 67 |
| IV.3.8. | Titre alcalimétrique simple (TA) | 68 |
| IV.3.9. | Titre alcalimétrique complet (TAC) | 68 |

| | |
|---|-----------|
| IV.3.10. Bicarbonates (HCO_3^-) | 69 |
| IV.3.11. Calcium (Ca^{2+}) | 69 |
| IV.3.12. Magnésium (Mg^{2+}) | 70 |
| IV.3.13. Chlorures (Cl^-) | 70 |
| IV.3.14. Matières organiques (MO) | 71 |
| IV.3.15. Matières en suspension (MES) | 71 |
| IV.3.16. Résidu sec (RS) | 72 |
| IV.3.17. Nitrites (NO_2^-) | 73 |
| IV.3.18. Ammonium (NH_4^+) | 73 |
| IV.3.19. Nitrates (NO_3^-) | 74 |
| IV.3.20. Sulfates (SO_4^{2-}) | 74 |
| IV.3.21. Phosphates (PO_4^{3-}) | 75 |
| IV.3.22. Fer (Fe^{2+}) | 75 |
| IV.3.23. Aluminium (Al^{3+}) | 76 |
| IV.4. Résultats et discussion des paramètres bactériologiques | 77 |
| IV.4.1. Germes totaux (GT) | 78 |
| IV.4.2. Coliformes totaux (CT) | 78 |
| IV.4.3. Coliformes fécaux (CF) | 79 |
| IV.4.4. Streptocoques fécaux (SF) | 80 |
| IV.4.5. Anaérobies sulfito-réducteurs (ASR) | 80 |
| Conclusion générale | 81 |
| Références bibliographiques | |
| Annexe | |

Liste des figures

| Numéro | Titre des figures | Pages |
|---------------|--|--------------|
| I.1 | La particule d'eau. | 2 |
| I.2 | Cycle de l'eau dans la nature. | 3 |
| II.1 | Chaîne de traitement des eaux de surface. | 17 |
| II.2 | Prédominance des formes du chlore dans l'eau en fonction du pH. | 21 |
| II.3 | Types de "chlores". | 21 |
| II.4 | Point critique de la chloration. | 22 |
| II.5 | Schéma du procédé coagulation et de floculation. | 24 |
| II.6 | Schéma du principe de la décantation. | 26 |
| II.7 | Bassin de pré-chloration. | 30 |
| II.8 | Bassin de coagulation. | 31 |
| II.9 | Bassin de floculation | 31 |
| II.10 | Bassin de décantation. | 32 |
| II.11 | Bassin de filtration. | 32 |
| II.12 | Réservoir de stockage. | 33 |
| III.1 | Localisation du barrage du Hammam Debagh dans la région de Guelma. | 34 |
| III.2 | Station de traitement eaux potables (Hammam Debagh). | 36 |
| III.3 | Photomètre. | 37 |
| III.4 | Dispositif expérimental de l'essai de jar-test. | 39 |
| III.5 | Evaluation de la taille des flocons. | 40 |
| III.6 | Image d'un turbidimètre utilisé lors des analyses. | 41 |
| III.7 | Image d'un pH-mètre utilisé lors des analyses. | 43 |
| III.8 | Image d'un conductimètre utilisé lors des analyses. | 43 |
| III.9 | Image d'un multi-paramètre utilisé lors des analyses. | 43 |
| III.10 | Image représentant l'analyse de TA. | 44 |
| III.11 | Image représentant l'analyse de TAC. | 45 |
| III.12 | Image représentant l'analyse de TH. | 47 |

Liste des figures

| | | |
|--------|--|----|
| III.13 | Image représentant l'analyse de Cl ⁻ . | 47 |
| III.14 | Image représentant l'analyse de MO. | 49 |
| III.15 | Image d'un dessiccateur, balance analytique, étuve utilisé lors des analyses. | 50 |
| III.16 | Filtration de l'eau. | 51 |
| III.17 | Spectrophotomètre (HACH ODYSSEY). | 52 |
| III.18 | Image représentant l'analyse de NH ₄ ⁺ . | 52 |
| III.19 | Image représentant l'analyse bactériologique de l'eau. | 56 |
| III.20 | Image représentant les résultats des coliformes totaux et fécaux. | 57 |
| IV.1 | Variation du chlore résiduel en fonction du chlore injecté. | 59 |
| IV.2 | Courbe de détermination de la dose du coagulant. | 60 |
| IV.3 | Courbe de détermination de la dose du floculant. | 61 |
| IV.4 | Evolution de turbidité (Turb) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020). | 64 |
| IV.5 | Evolution de température (T) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020). | 65 |
| IV.6 | Evolution du potentiel d'hydrogène (pH) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020). | 65 |
| IV.7 | Evolution de la conductivité électrique (CE) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020). | 66 |
| IV.8 | Evolution du total des solides dissous (TDS) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020). | 66 |
| IV.9 | Evolution de la salinité en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020). | 67 |
| IV.10 | Evolution du titre hydrotimétrique (TH) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020). | 67 |
| IV.11 | Evolution du titre alcalimétrique simple (TA) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020). | 68 |
| IV.12 | Evolution du titre alcalimétrique complet (TAC) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020). | 68 |
| IV.13 | Evolution des bicarbonates (HCO ₃ ⁻) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020). | 69 |
| IV.14 | Evolution du calcium (Ca ²⁺) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020). | 69 |

Liste des figures

| | | |
|-------|---|----|
| IV.15 | Evolution du magnésium (Mg^{2+}) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020). | 70 |
| IV.16 | Evolution des chlorures (Cl^-) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020). | 70 |
| IV.17 | Evolution des matières organiques (MO) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020). | 71 |
| IV.18 | Evolution des matières en suspension (MES) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020). | 72 |
| IV.19 | Evolution du résidu sec (RS) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020). | 72 |
| IV.20 | Evolution des nitrites (NO_2^-) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020). | 73 |
| IV.21 | Evolution de l'ammonium (NH_4^+) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020). | 73 |
| IV.22 | Evolution des nitrates (NO_3^-) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020). | 74 |
| IV.23 | Evolution des sulfates (SO_4^{2-}) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020). | 74 |
| IV.24 | Evolution des phosphates (PO_4^{3-}) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020). | 75 |
| IV.25 | Evolution du fer (Fe^{2+}) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020). | 76 |
| IV.26 | Evolution d'aluminium (Al^{3+}) en fonction des mois pour l'année 2019- 2020. | 76 |
| IV.27 | Evolution des germes totaux (GT) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février2020). | 78 |
| IV.28 | Evolution des coliformes totaux (CT) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020). | 79 |
| IV.29 | Evolution des coliformes fécaux (CF) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020). | 79 |
| IV.30 | Evolution des streptocoques fécaux (SF) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020). | 80 |
| IV.31 | Evolution du anaérobies sulfito-réducteurs (ASR) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020). | 80 |

Liste des tableaux

| Numéro | Titre des tableaux | Pages |
|---------------|---|--------------|
| II.1 | Avantages et inconvénients des différents désinfectants utilisés en Algérie. | 19 |
| II.2 | Avantages et les inconvénients de chaque méthode. | 29 |
| III.1 | Les principales caractéristiques du barrage Bouhamdane. | 35 |
| IV.1 | Résultats de l'essai du point critique (break-point). | 59 |
| IV.2 | Résultats de l'essai du choix de la dose du coagulant. | 60 |
| IV.3 | Résultats de l'essai du choix de la dose du floculant. | 61 |
| IV.4 | Résultats des analyses physico-chimiques pour les mois (Janvier 2019 à Juillet 2019). | 62 |
| IV.5 | Résultats des analyses physico-chimiques pour les mois (Aout 2019 à Février 2020). | 63 |
| IV.6 | Résultats des analyses bactériologiques pour les mois (Janvier 2019 à Juillet 2019). | 77 |
| IV.7 | Résultats des analyses bactériologiques pour les mois (Aout 2019 à Février 20120). | 77 |

Liste des abréviations

| | |
|---------------------------------|---|
| °F: | Degré Fahrenheit |
| °f: | Degré français |
| OMS : | Organisation Mondiale de la Santé. |
| °C : | Degré Celsius. |
| H ₃ O ⁺ : | Ion hydronium. |
| Cu : | Cuivre. |
| µm : | Micromètre. |
| NH ₂ Cl: | Monochloramine. |
| NHCl ₂ : | Dichloramine. |
| NCl ₃ : | Nitrogen trichloride: Trichlorure d'azote. |
| I : | Iode. |
| Br : | Brome. |
| F : | Fluor. |
| nm : | Nanomètre. |
| UV: | Ultraviolet. |
| DPD : | di-éthyle para phényle diamine. |
| ADE: | Algérienne des eaux. |
| NTU: | Nephelometric Turbidity Unit : Unité de turbidité néphélométrique |
| EDTA : | Acide éthylène diamine tétra acétique. |
| TGEA: | Gélose tryptone glucose agar. |
| UFC: | Unité formant colonie. |
| TTC: | Chlorure triphényl 2, 3,5-tétrazolium. |
| Zn : | Zinc. |

Notre travail réalisé au niveau du laboratoire de traitement des eaux de Hammam Debagh, est une étude analytique entreprise ayant pour objectif de suivre les variations de quelques paramètres de l'eau brute et l'eau traitée pour les mois de Janvier 2019 à Février 2020. Cette dernière nous a permis de déterminer :

- La dose optimale du désinfectant par l'essai du point critique.
- Les doses optimales du coagulant et du floculant par l'essai de jar-test.
- Les paramètres physico-chimique (Turb, pH, T°...) et bactériologique (CT, GT, SF...).

Tous ces paramètres sont analysés d'une manière convenable, permettant la comparaison des eaux avant et après traitement. L'analyse est portée également sur la détermination de la concentration de certains éléments physicochimiques et sur le décompte des bactéries indicatrices de contamination fécale dans ces eaux.

Les résultats obtenus indiquent que les eaux traitées du barrage de Hammam Debagh présentent une qualité physico-chimique et bactériologique notamment minérale plus acceptable ce qui les qualifie de bonne qualité à la consommation humaine. Selon les normes de potabilité émises par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et Algériennes.

Mots clés :

Laboratoire de traitement de Hammam Debagh, eau brute, eau traitée, paramètres physico-chimiques, Paramètres bactériologiques, barrage.



**INTRODUCTION
GENERALE**

L'eau est indispensable à toute vie sur terre, c'est une ressource très recherchée. Longtemps considérée comme une ressource inépuisable, pure et gratuite, l'eau potable est aujourd'hui de plus en plus rare, polluée et chère.

Les principales sources d'eau potable sont les eaux de surface (barrage, cours d'eau, lacs), les eaux souterraines, les eaux de mers et océans qui sont alimentés par le ruissellement des eaux de pluie.

L'eau potable répond à de très grandes exigences de qualité. Cependant, les eaux brutes superficielles sont toujours recyclées, soit naturellement ou dû à l'homme, donc elles ne remplissent pas toujours les critères requis en termes de qualité chimique et microbiologique. L'eau ne doit pas faire courir de risques directs ou indirects pour la santé. Une installation de traitement d'eau destinée à la consommation doit produire, en toutes circonstances, une eau répondant aux normes de potabilité avant sa mise en distribution et d'être consommée.

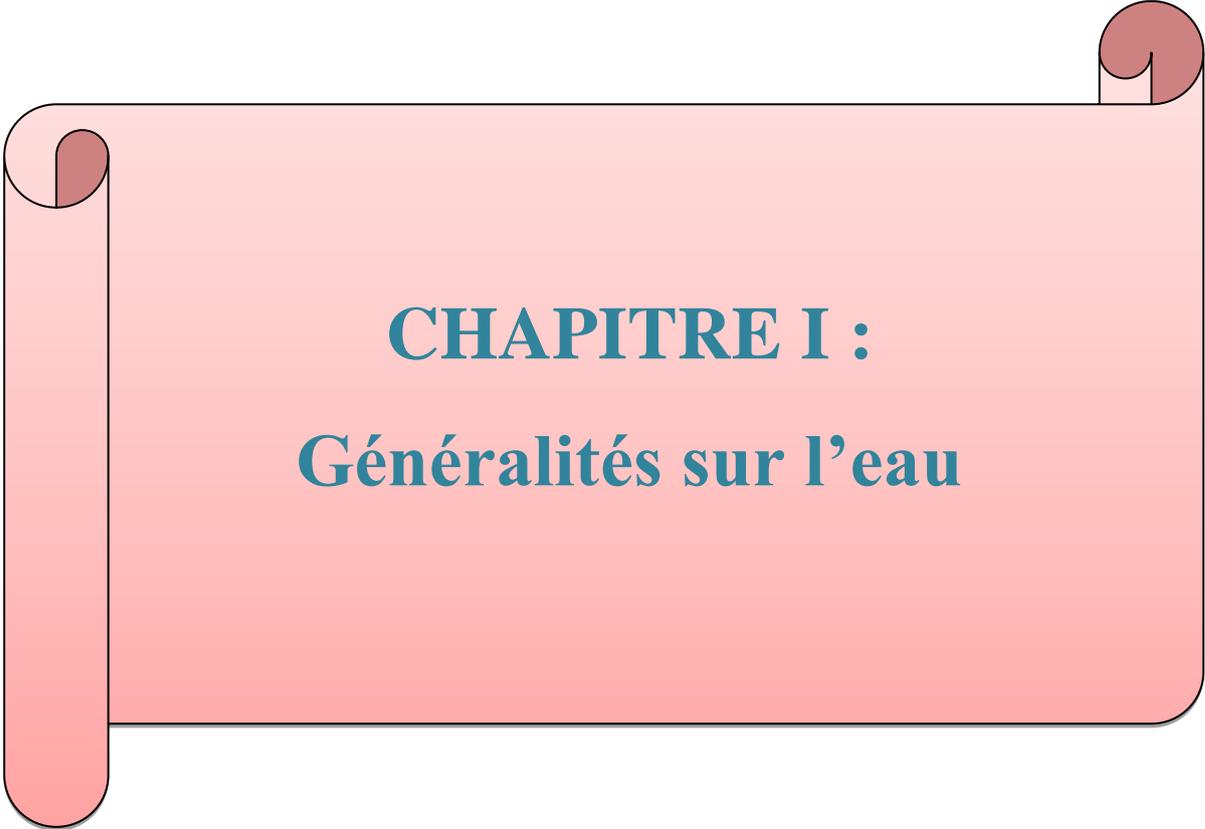
Le traitement de l'eau doit être évolutif pour suivre l'éventuel changement des caractéristiques de la ressource ou le renforcement de l'exigence des normes encadrant la qualité de l'eau distribuée. Ainsi des procédés de traitement ont été élaborés les plus courants sont: physiques (dégrillage, dessablage, tamisage, décantation, filtration), physico-chimiques (oxydation, coagulation et floculation) et biologiques (culture bactériennes appropriées).

En conséquence le laboratoire d'analyses a un rôle très important dans le suivi d'une station de traitement car c'est lui qui doit confirmer la potabilité de l'eau après traitement et anticiper toutes les étapes nécessaires avant traitement pour l'obtention des résultats exigés.

Ainsi l'objectif général de ce travail consiste à déterminer la demande en chlore (break-point) et essai de coagulation/floculation (jar-test) et l'évolution des différents paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux brutes (EB) et des eaux traitées (ET) du barrage de Hammam de Debagh réalisés au niveau de laboratoire de la station de traitement des eaux de Hammam Debagh-Guelma.

Pour atteindre ce but notre mémoire de projet de fin d'études est constitué d'une introduction générale, quatre chapitres et une conclusion générale.

- **Le premier chapitre** renferme des généralités sur l'eau.
- **Le deuxième chapitre** est réservé aux procédés de traitement des eaux de surface et le traitement effectué dans la station de Hammam Debagh (Bouhamdane)
- **Le troisième chapitre** est consacré aux matériels et méthodes utilisés pour analyser la qualité de l'eau.
- **Le quatrième chapitre** expose les résultats d'analyse de l'eau et leurs discussions.



CHAPITRE I :
Généralités sur l'eau

I.1. Définition de l'eau

L'eau est un composé chimique simple, liquide incolore, inodore et sans saveur, de pH neutre [1]. Ubiquitaire sur terre, essentiel pour tous les organismes vivants connus [2].

Sa formule chimique est H_2O . Les liaisons OH de la molécule d'eau sont des liaisons covalentes formées par le partage d'électrons entre les atomes d'oxygène et d'hydrogène. Cependant les électrons de ces liaisons ne sont pas répartis également entre les atomes (**figure I.1**), l'oxygène est doté d'une plus grande affinité que l'hydrogène pour les électrons. C'est ainsi que l'atome d'oxygène acquiert une légère charge négative et que les atomes d'hydrogène deviennent légèrement positifs. A cause de cette distribution inégale de la charge, on dit que la molécule d'eau est une molécule polaire [3].

L'eau est liquide à température et pression ambiantes. Elle est gazeuse au-dessus de $100^{\circ}C$ ($212^{\circ}F$) et solide en dessous de $0^{\circ}C$ ($32^{\circ}F$).

C'est notamment un solvant efficace pour la plupart des corps solides trouvés sur terre, quelque fois désigné sous le nom de « solvant universel » [2].

Suivant la composition chimique de l'eau qui induit son origine et son usage, on précise les différentes eaux suivantes: eau brute, eau potable, eau minérale, eau de source, eau de rivière, eau de mer, eau de pluie. En chimie, on parle d'eau lourde, eau dure, eau distillée [1].

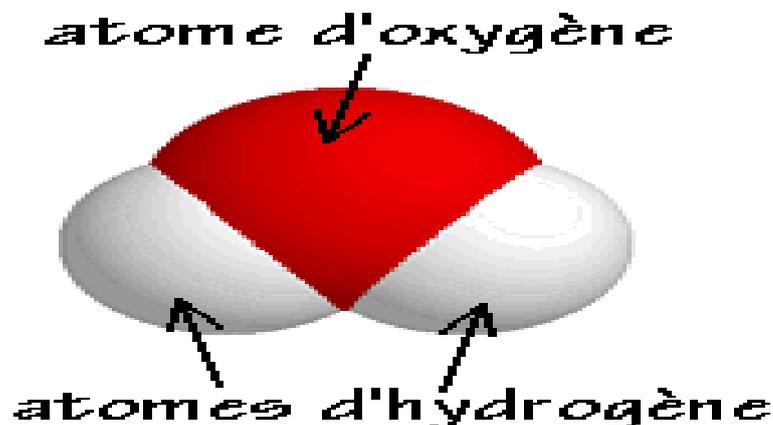


Figure I.1. La particule d'eau [1].

I.1.1. L'eau brute

On qualifie l'eau brute, l'eau qui alimente un dispositif ou une station de production d'eau potable. En termes d'environnement et de service public de l'eau, il s'agit de l'eau captée, puisée ou recueillie qui est acheminée vers une station de traitement, afin de recevoir les traitements la rendant propre à la consommation humaine avant d'être distribuée [4].

I.1.2. L'eau potable

L'eau potable est une eau brute; qui a subi des traitements avant sa distribution qui peut être définie en se référant aux normes de l'OMS comme une eau ne contenant pas de produits dangereux, ni substances chimiques, ni des germes nocifs à la santé de consommateur [1].

I.2. Cycle de l'eau

L'eau constitue un des éléments fondamentaux de notre planète, se transforme et circule en permanence dans l'atmosphère, la surface et dans le sous-sol de notre terre: c'est le cycle de l'eau [5]. Ce dernier est donné par la (**figure I.2**) [6].

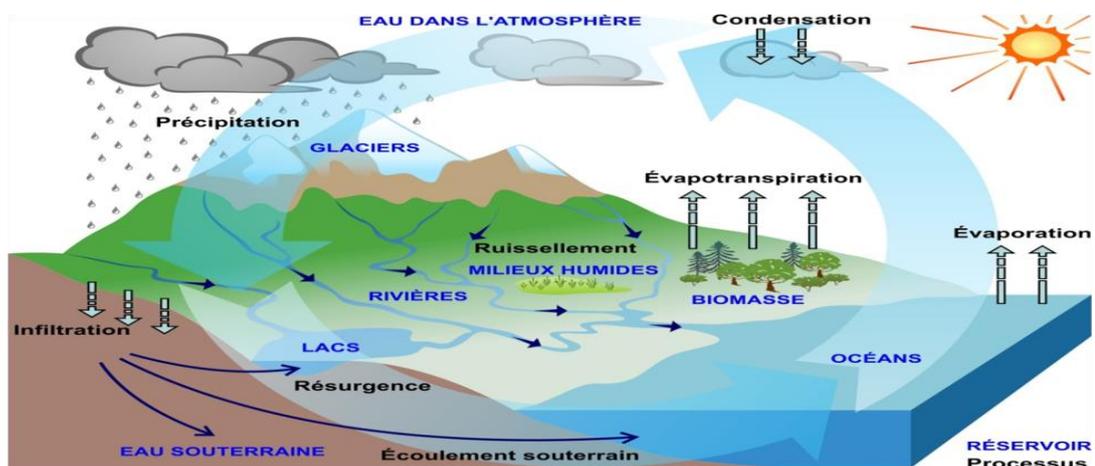


Figure I.2. Cycle de l'eau dans la nature.

Parmi les phénomènes du cycle de l'eau, on retiendra [7]:

- **Évaporation** : chauffée par le soleil, l'eau des océans, des rivières et des lacs s'évapore et monte dans l'atmosphère.
- **Condensation** : au contact des couches d'air froid de l'atmosphère, la vapeur d'eau se condense en minuscules gouttelettes qui, poussées par les vents, se rassemblent et forment des nuages.
- **Précipitations** : les nuages déversent leur contenu sur la terre, sous forme de pluie, neige ou grêle.
- **Ruissellement** : la plus grande partie de l'eau tombe directement dans les océans. Le reste s'infiltrate dans le sol pour former des nappes souterraines qui donnent naissance à des sources ou ruisselles pour aller grossir les rivières qui à leur tour, vont alimenter les océans et le cycle recommence.

I.3. Propriétés de l'eau

I.3.1. Propriétés physiques de l'eau

Le caractère polaire de la molécule d'eau est à l'origine d'associations possibles entre les molécules d'eau: il donnera lieu à bien des particularités physiques que nous signalons brièvement [7], telles que:

I.3.1.1. Température d'ébullition

Anormalement élevée, si on la compare avec celle des composés de masse moléculaire du même ordre et possédant plusieurs atomes d'hydrogène. Dans les conditions normales elle est de 100°C [7].

I.3.1.2. Viscosité

Elle diminue lorsque la température croît ; par contre, elle augmente avec la teneur en sels dissous. Contrairement aux autres liquides, une pression modérée, rend l'eau moins visqueuse aux basses températures [7].

I.3.1.3. 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. A titre indicatif, l'eau de pluie issue de l'atmosphère connaît une teneur moyenne en sels dissous de l'ordre de 7g /m³ ; l'eau des rivières connaît une teneur moyenne en sels dissous de l'ordre de 120 g /m³; l'eau de mer connaît une teneur moyenne en sels dissous de l'ordre de 35000g /m³ [8].

I.3.1.4. Tension superficielle

Elle est définie comme une force de traction qui s'exerce à la surface du liquide en tendant toujours à réduire le plus possible l'étendue de cette surface. La tension superficielle diminue avec l'augmentation de la température [9].

I.3.1.5. Chaleur spécifique

L'eau est l'élément naturel dont la chaleur spécifique est la plus élevée: 4185 J/Kg.K. Elle demande donc beaucoup d'énergie pour être réchauffée et pour être refroidie [8].

I.3.1.6. Chaleur latente

La chaleur latente de transformation est la quantité de chaleur nécessaire pour effectuer le changement d'état de l'unité de masse portée au préalable à la température associée à la pression régnante. Cette chaleur est libérée lors du passage à l'état condensé. Les enthalpies de transformation sont pour la fusion de 334 KJ/ Kg et pour la vaporisation de 2259 KJ/Kg à la pression normale et à 100°C [1].

I.3.1.7. Capacité thermique

Très élevée pour un liquide, pour l'eau elle vaut 4,18 KJ/Kg.°C ou KJ/Kg.K à 20 °C. Elle varie avec la température en présentant un minimum de 4,1784 KJ/Kg.K à 30°C, pour remonter à 4,2159 KJ/Kg.K à 100°C [1].

I.3.1.8. Transparence

La transparence de l'eau dépend de la longueur d'onde de la lumière qui la traverse. Utilisée pour apprécier certaines formes de pollution, et en conséquence l'efficacité des traitements d'épuration, de même condition l'emploi des ultraviolets en désinfection [1].

I.3.2. Propriétés chimiques de l'eau

L'eau est une substance qui a une forte propension à dissoudre d'autres éléments. De ce fait, elle peut attaquer les parois d'un récipient qui la contient, sculpter des paysages. Elle peut aussi dissoudre des gaz présents dans l'air comme le gaz carbonique ou l'oxygène (oxygène dissous).

La première opération chimique réalisable avec l'eau est sa dissociation en protons H⁺ et en ions hydroxydes OH⁻. La répartition entre les deux se mesure avec le pH (potentiel hydrogène). L'échelle va de 0 à 14 : plus on se rapproche de 0, plus l'eau est acide, plus on se rapproche de 14, plus elle est basique. L'eau est neutre lorsque son pH est à 7. L'eau joue un rôle très important dans toutes les réactions chimiques qui impliquent des matières chargées électriquement [10].

I.3.3. Propriétés biologiques de l'eau

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 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 » [11].

I.4. Les ressources naturelles d'eau

Les eaux de potabilisation pour la consommation humaine sont de différentes natures [9].

I.4.1. Eaux de mers et océans

Les mers et les océans constituent d'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 souterraines 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 le coût élevé de leur traitement [12].

I.4.2. Eaux souterraines

Sont toutes les eaux se trouvant sous la surface du sol, dans la zone de saturation et en contact direct avec le sol ou le sous-sol et qui transitent plus ou moins rapidement dans les fissures et les pores.

Elles sont naturellement alimentées par la surface, et sont issues grâce aux précipitations ou de la neige ou les eaux provenant des rivières, infiltrent les sols dans les différents systèmes. Par la suite, elles peuvent éventuellement remonter à la surface, ou rejoindre des lacs ou des océans [4].

Et elles sont potables sans traitement, leur contenu minérale est très variable selon la nature du sous-sol et la profondeur de la nappe [13].

I.4.3. Eaux de surfaces

Ce terme englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents [14].

Les eaux de surface se répartissent en eaux véhiculées par les cours d'eau, contenues dans les lacs, maintenues derrière les barrages réservoirs. Elles ont pour origine, soit les nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseaux, de rivières, soit rassemblements des eaux de ruissellement.

La composition chimique de eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants. Au cours de son cheminement, généralement les eaux de surface sont très sensibles à la pollution minérale et organique [15].

Elles sont rarement potables, car elles sont polluées bactériologiquement et chimiquement (industrie et agriculture). Elles doivent subir un traitement particulier les débarrassant de tous organismes pathogènes ou polluants dangereux pour les utilisateurs [14].

I.5. Caractéristiques générales des eaux de surface

Les eaux de surface sont caractérisées par [15]:

- La présence de gaz dissous, en particulier l'oxygène
- La charge importante en matière en suspension, tout au moins pour les eaux courantes.
- La présence de matières organiques d'origine naturelle.
- La présence de plancton (phytoplancton et zooplancton).
- Les variations journalières (température et pluviométrie).

La qualité de l'eau est variable dans le temps. A l'échelle d'une journée, des phénomènes naturels comme la photosynthèse influent sur la teneur en oxygène dissous. Par ailleurs, le débit du cours d'eau peut être très variable ce qui peut avoir une influence sur la qualité de l'eau [15].

I.6. Critères de choix de la qualité des eaux

I.6.1. Paramètres organoleptiques

I.6.1.1. Turbidité

Est liée à sa transparence. Elle donne une idée sur la teneur en matières en suspension. Les eaux troubles sont chargées de substances finement divisées (grains de silice, matière organique, limons...). Elles forment parfois d'importants dépôts dans les tuyauteries et dans les réservoirs [16].

I.6.1.2. Couleur

L'eau peut provenir de substances minérales comme le fer ou le manganèse et de substances organiques. Les substances organiques comprennent généralement des algues, des protozoaires et des produits naturels provenant de la décomposition de la végétation. IL ne faut pas confondre couleur et turbidité. La couleur est très préjudiciable pour l'esthétique [17].

I.6.1.3. Odeur

Dans l'eau, diverses molécules sont responsables des odeurs. Elles proviennent essentiellement de la dégradation des composés azotés ou soufrés : amines, ammoniac, mercaptans, etc. mai la molécule qui pose le plus de problème est généralement l'hydrogène sulfuré (H₂S) [17].

I.6.1.4. Gout

L'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue par l'organe gustatif lorsqu'ils sont en contact avec l'eau testée [17].

I.6.2. Paramètres physico-chimiques**I.6.2.1. Paramètres physiques****I.6.2.1.1. Température (°C)**

Est un paramètre de confort pour l'utilisateur. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température. Cette dernière doit être mesurée sur place [18].

I.6.2.1.2. Potentiel hydrogène (pH)

Est le logarithme décimal de l'inverse de sa concentration en ions d'hydrogène (H^+), il est inférieur ou supérieur à 7 suivant que l'eau est acide ou basique.

Il n'a pas de signification hygiénique mais il représente une notion importante de la détermination de l'agressivité de l'eau et la précipitation des éléments dissous [18].

I.6.2.1.3. Conductivité électrique (CE)

Est la conductance d'une colonne d'eau entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 et distantes l'une de l'autre de 1 cm.

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^+), le potassium (K^+), les bicarbonates (HCO_3^-), les sulfates (SO_4^{2-}) et les chlorures (Cl^-), plus elle est capable de conduire un courant électrique et plus la conductivité mesurée est élevée [16].

I.6.2.1.4. Salinité

La présence de sel dans l'eau modifie certaines propriétés (densité, compressibilité, point de congélation, température du maximum de densité). Alors que certains paramètres comme la viscosité, l'absorption de la lumière ne sont pas influencés de manière significative. Enfin certains sont essentiellement déterminés par la quantité de sel dissous dans l'eau (conductivité, pression osmotique).

Le chlorure de sodium ($NaCl$) n'est qu'un des très nombreux sels composant l'eau, pour la mesure de la salinité on utilise un multi paramètre [19].

I.6.2.1.5. Matières en suspension (MES)

Sont les matières non dissoutes contenues dans l'eau. Elles comportent à la fois des éléments minéraux et organiques. Les MES comprennent les matières décantées et les colloïdes mais pas les matières dissoutes. Elles comportent souvent dans les cours d'eau des particules de nature argilo-humique provenant de l'érosion des sols, ainsi que d'autres

constituants, en particulier d'origine organique. Les MES sont la cause essentielle de la turbidité de l'eau [20].

I.6.2.1.6. Résidu sec (RS)

Donne une information sur la teneur en substances dissoutes non volatiles (le taux des éléments minéraux) [16].

I.6.2.1.7. Taux des sels dissous (TDS)

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 [21].

I.6.2.2. Paramètres chimiques

I.6.2.2.1. Fer (Fe^{2+})

Les eaux de surfaces peuvent contenir jusqu'à 0.5 mg/l de fer qui peut avoir pour origine des terrains traversés ou les pollutions industrielles. Ce métal à l'état ferreux est assez soluble dans l'eau.

Le fer de l'eau ne présente certes aucun inconvénient du point de vue physiologique, mais à des teneurs très importantes, il influe sur la qualité organoleptique de l'eau (mauvais goût, couleur et saveur) [22].

I.6.2.2.2. Magnésium (Mg^{2+})

Elément indispensable à la vie, jouant un rôle important dans la respiration, son origine est soit naturelle ou industrielle. La dureté manganésienne de l'eau représente ordinairement le tiers de la dureté totale. Le magnésium en excès donne une saveur amère à l'eau [22].

I.6.2.2.3. Aluminium (Al^{3+})

Le test de l'aluminium est indiqué pour les stations de traitement où le sulfate d'aluminium est utilisé comme coagulant. Un dosage incorrect de ce coagulant se note à la quantité significative d'aluminium qui persiste dans l'eau traitée [23].

I.6.2.2.4. 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.

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 [8].

I.6.2.2.5. Bicarbonates (HCO_3^-)

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des composés carbonatés (cipolin, calcaire) par des eaux chargées en gaz carbonique [24].

I.6.2.2.6. Calcium (Ca^{2+})

Est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous formes de carbonates. C'est aussi un composant majeur de la dureté de l'eau [20].

I.6.2.2.7. Chlorures (Cl^-)

En plus de l'agressivité et de la minéralisation qu'ils confèrent aux eaux, des taux élevés modifient la saveur de l'eau et contribuent aux dépôts de sels néfastes pour l'agriculture [25].

I.6.2.2.8. Matières organiques (MO)

Sont dissoutes dans toutes les eaux et même si elles existent seulement sous forme de traces, leur teneur indique une charge de l'eau en matières polluantes [2].

I.6.2.2.9. Nitrates (NO_3^-)

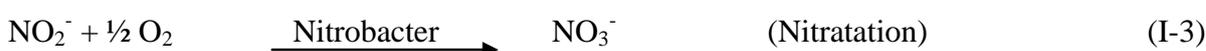
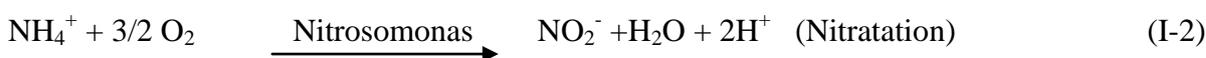
Sont présents naturellement dans les eaux, les apports excessifs ou mal maîtrisés d'engrais azotés provoquent une augmentation des nitrates dans les ressources. Les nitrates se transforment en nitrites dans l'estomac [25] selon l'équation [26]:



Ces nitrites peuvent provoquer la transformation de l'hémoglobine du sang en méthémoglobine, impropre à fixer l'oxygène. Ce phénomène est à l'origine de cyanoses, notamment chez les nourrissons. La consommation d'eau chargée en nitrates ou nitrites par la femme enceinte ou le nourrisson peut constituer un risque pour le nouveau-né [25].

I.6.2.2.10. Nitrites (NO_2^-)

Constituent une étape importante dans la métabolisation des composés azotés. Ils s'insèrent dans le cycle de l'azote entre l'ammonium et les nitrates. Leur présence est due, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammonium, soit à la réduction des nitrates [24] selon l'équation [26]:



Ils ne représentent qu'un stade intermédiaire et sont facilement oxydés en nitrates, leur présence dans les eaux naturelles est faible. Une eau contenant des nitrites est à considérer comme suspecte car cette présence est souvent liée à une détérioration de qualité microbiologique [24].

I.6.2.2.11. Phosphates (PO_4^{3-})

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. 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 [8].

I.6.2.2.12. Sulfates (SO_4^{2-})

Les eaux naturelles contiennent pratiquement des sulfates, en proportion très variables. Leur présence résulte de la solubilité des sulfates de calcium des roches gypseuses et de l'oxydation des sulfures répandus dans les roches. Les eaux traitées au sulfate d'aluminium ajouté lors du traitement en mesurant la teneur en sulfates avant et après la coagulation, bien qu'une légère fraction d'ions SO_4^{2-} soit entraînée par adsorption avec le floc [25].

I.6.2.2.13. Titre alcalimétrique (TA) et (TAC)

Le titre alcalimétrique permet d'apprécier la concentration de tous les carbonates et bicarbonates dans l'eau.

La formation d'une couche carbonatée assurant la protection des canalisations contre certains risques de corrosion nécessite une alcalinité minimale. Le titre alcalimétrique complet, donnant l'alcalinité totale de l'eau (pas seulement l'alcalinité due au bicarbonate et au carbonate) [20].

I.6.2.2.14. Dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH)

Correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Elle est proportionnelle aux concentrations en calcium et magnésium [18].

I.6.2.2.15. Demande biochimique en oxygène DBO_5

L'oxydation des composés organiques biodégradables par les microorganismes entraîne une consommation d'oxygène ; le milieu exerce donc une certaine demande biochimique d'oxygène. La mesure de cette DBO_5 permet d'évaluer le contenu d'une eau en matières organiques biodégradables et donc, dans une certaine mesure, sa qualité ou son degré de pollution.

La dégradation complète des matières organiques peut être relativement longue (plusieurs semaines). D'autre part, l'oxydation des dérivés ammoniacaux et des nitrites en nitrates (nitrification) absorbe également de l'oxygène. Cette nitrification, dans les eaux naturelles, ne débute qu'au bout d'une dizaine de jours. Pour ces deux raisons, on mesure la DBO en 5 jours, ou DBO₅, c'est-à-dire la quantité d'oxygène consommée ; pendant ce laps de temps, pour l'oxydation partielle des matières organiques biodégradables sous l'action des microorganismes [27].

I.6.2.2.16. Demande chimique en oxygène DCO

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 [8].

I.6.3. Paramètres bactériologiques

I.6.3.1. Germes totaux (GT)

Sont des germes qui se développent dans des conditions aérobies. Leur présence est indicatrice de pollution bactérienne. Leur dénombrement donne une information sur la qualité hygiénique de l'eau destinée à la consommation humaine [20].

I.6.3.2. Coliformes totaux (CT)

Selon l'organisation internationale de standardisation, il s'agit de bacilles gram négatifs (BGN) non sporulés oxydase négative aérobies ou anaérobies facultatifs, capables de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz en 24 à 48 heures à une température comprise entre 36°C et 37° [20].

La presque totalité des espèces sont non pathogènes et ne représentent pas de risque direct pour la santé à l'exception de certaines souches de *Escherichia coli* [21].

I.6.3.3. Coliformes fécaux (CF) ou coliformes thermo- tolérants

Sont les plus appropriés que les CT comme indicateurs de contamination fécale [20]. Il s'agit des coliformes possédant les mêmes caractéristiques que les coliformes mais à 44°C [8]. Ce groupe est majoritairement constitué d'*Escherichia coli* mais comprend aussi des *Klebsiella*, des *Enterobacter* et des *Citrobacter* [20].

I.6.3.4. Streptocoques fécaux (SF) (37°C)

Sont des bactéries de forme sphérique ou coccoïde, gram⁺, disposées en pair ou en chaînette, dépourvues de catalase, capables de croître à 37 °C en 48 h ; elles font partie de la

flore intestinale normale humaine ou d'autres animaux à sang chaud. Ces bactéries constituent un indice de contamination fécale ancienne [17].

I.6.3.5. Clostridium sulfito-réducteur (CSR)

Les spores de clostridies, ce bacille à gram positif, anaérobie, sporogène, se rencontre normalement dans les matières fécales humaines et animales ; ses spores peuvent survivre dans l'eau et dans l'environnement pendant plusieurs mois, elles ne seraient pas toujours inactivées par le chlore et par les rayons ultraviolets [20].

I.6.3.6. Anaérobies sulfito-réducteurs (ASR)

Sont des micro-organismes anaérobiques formant des spores, sulfito-réducteurs, appartenant à la famille des bacillacées et au genre clostridium. Les spores des micro-organismes anaérobies sulfito-réducteurs sont largement répandues dans l'environnement. Elles sont présentes dans les matières fécales humaines et animales ainsi que les eaux usées et le sol. À la différence des coliformes, les spores survivent dans l'eau pendant longtemps, car elles sont plus résistantes à l'action des facteurs chimiques et physiques que les formes végétatives. Elles peuvent ainsi fournir des indications sur une pollution éloignée ou intermittente [22].

I.6.3.7. Escherichia coli (E-coli)

Est une bactérie qui se trouve couramment dans le tractus gastro-intestinal des humains et des animaux à sang chaud. En raison de sa prévalence élevée dans le tractus gastro-intestinal et dans les fèces. E-coli est un indicateur privilégié de la contamination fécale lors de l'évaluation de la qualité de l'eau. La plupart des E-coli sont des organismes commensaux inoffensifs lorsqu'ils sont contenus dans leur habitat naturel l'intestinal. Plusieurs souches d'E-coli sont des agents pathogènes gastro-intestinaux dangereux pour les humains, et certaines sont également pathogènes pour les jeunes animaux d'élevage [22].

I.7. Pollution des eaux

I.7.1. Définition

Le terme pollution peut être défini comme suit : c'est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine au travers des effets directs ou indirects, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement à travers des ressources agricoles, en eau et autres produits biologiques.

Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il possède, les milieux ou encore en défigurer la nature [28].

I.7.2. Classification de la pollution

Dépend de plusieurs critères tel que : l'origine et la nature des polluants, la nature des nuisances créées (répercussions sur la santé publique, sur l'équilibre écologique en rivière ou en lac...) [29] :

I.7.2.1. Classification selon le type de polluant

I.7.2.1.1. Pollution physique

La pollution physique représente les éléments solides entrainés 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) [8].

I.7.2.1.2. Pollution chimique

La pollution chimique d'une eau est plus complexe et peut avoir plusieurs sources. On distingue selon la nature de la pollution chimique [8]:

- Les éléments chimiques minéraux ;
- Les éléments chimiques organiques.

I.7.2.1.3. Pollution biologique

L'eau peut contenir des microorganismes pathogènes (des virus, des bactéries, des parasites). Ils sont dangereux pour la santé humaine, et limitent donc les usages que l'on peut faire de l'eau [8].

I.7.2.2. Classification selon l'origine de la pollution

I.7.2.2.1. Pollution domestique

Les eaux domestiques sont riches en déchets organiques, en graisses, matières minérales et hydrocarbonées, azote, phosphore et potassium, qui polluent l'eau. Si le niveau de pollution n'atteint pas le seuil critique, l'eau est capable de s'auto épurer, c'est-à-dire d'éliminer progressivement les agents polluants [18].

I.7.2.2.2. Pollution industrielle

Les caractéristiques des eaux industrielles varient d'une industrie à l'autre en plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micros polluants organiques des hydrocarbures. Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industries avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte [18].

I.7.2.2.3. Pollution d'origine agricole

C'est une pollution permanente et diffuse due à l'utilisation d'engrais et de produits de traitements des végétaux qui contaminent par infiltration les eaux souterraines.

Ces eaux deviennent impropres à la consommation dans de nombreuses régions là où les activités agricoles et pastorales sont intenses [29].

En effet, cette pollution agricole est causée principalement par [29]:

- Les engrais;
- Les produits phytosanitaires : herbicides et pesticides;
- Les déjections animales qui accompagnent les élevages intensifs;
- Les accumulations de métaux (Cu, Zn) provenant des compléments alimentaires des animaux d'élevage et des résidus d'antibiotiques utilisés contre les infections animales ou pour favoriser leur croissance.

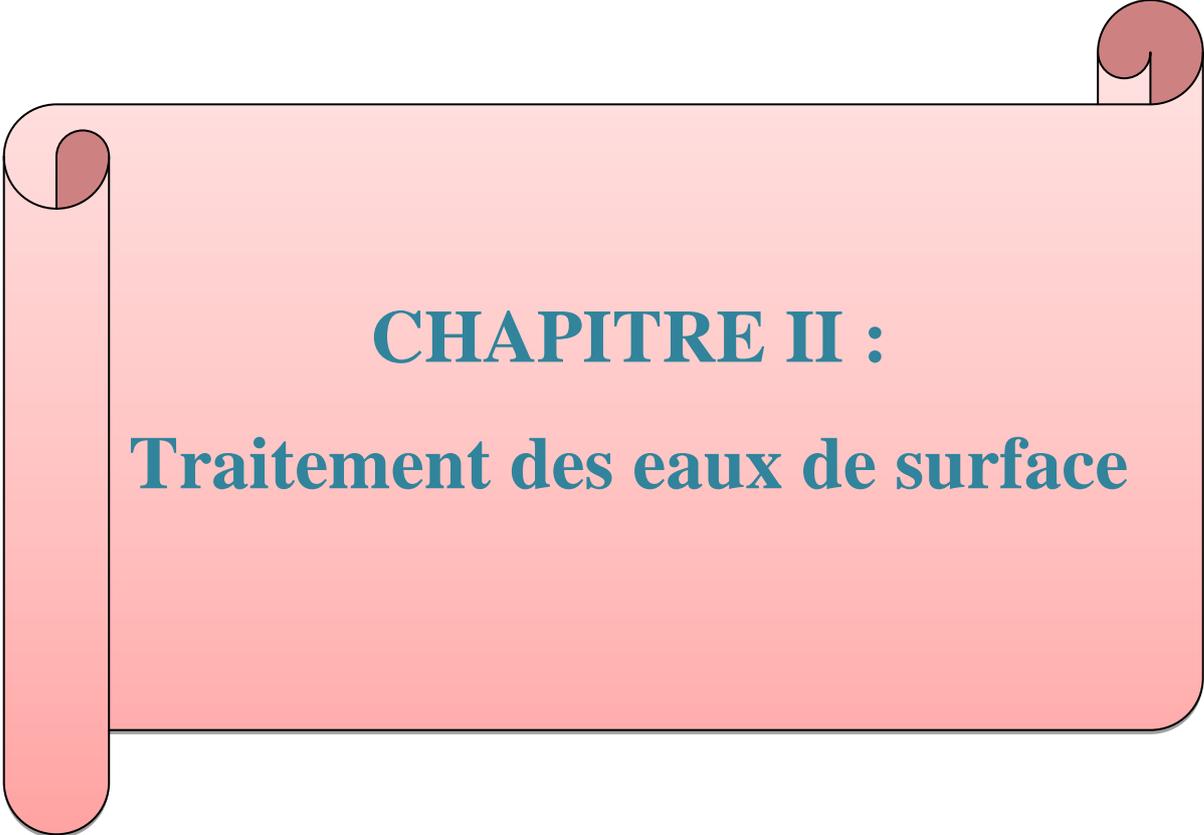
I.7.2.2.4. Pollution d'origine naturelle

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 [16].

I.7.3. Pollution de l'eau sur notre santé

Si l'eau contient selon [30]:

- **Des matières en suspension qui transportent des polluants** : risquent de contamination.
- **Des polluant organiques (hydrocarbures, biphenyl-polychlorés, insecticides, détergents...)** : risquent de développer des organismes pathogènes.
- **De l'azote (nitrates, phosphates)** : risque de maladie bleue chez les enfants et risque de cancers.
- **Des métaux**: risquent de troubles respiratoires, digestifs, nerveux ou cutanés ; l'arsenic inorganique, le nickel et le chrome sont également considérés comme cancérigènes. Le plomb issu des canalisations peut causer le saturnisme (intoxication accompagnée de fortes douleurs intestinales).
- **De pesticides**: effets repro-toxiques (malformations, stérilité, troubles de la reproduction), mutagènes et sont également suspectés de causer certains cancers.



CHAPITRE II :
Traitement des eaux de surface

II-1 Introduction

La production de l'eau potable à partir des eaux de surface nécessite une chaîne de traitements qui peuvent être conventionnels (applicables sur toutes les eaux superficielles quelles que soient leur qualité) ou non conventionnels (l'ajout des procédés d'affinage). Cependant, les traitements conventionnels comportent trois étapes principales: étape de prétraitement, étape de clarification et étape de désinfection [31].

II. 2. Objectif du traitement

L'eau destinée à la consommation humaine doit répondre à trois principaux objectifs [9]:

II.2.1. La santé publique : une eau sans risques pour la santé, exempte de germes pathogènes et des substances toxiques.

II.2.2. L'agrément du consommateur : afin de susciter l'agrément du consommateur, le traitement doit également améliorer les qualités organoleptiques de l'eau ; c'est-à-dire distribuer un agréable à boire, clair et équilibrée en sels minéraux.

II.2.3. La protection des infrastructures : protection du réseau de distribution d'eau et des installations des usagers (robinets, chauffe-eaux, chaudières,...) contre l'entartrage et la corrosion.

II. 3. Critères de choix de l'eau à traiter

Ces eaux ne sont distribuées qu'après traitement, trois facteurs déterminent le choix d'un traitement [32]:

II. 3.1. La quantité: la source doit couvrir la demande, en toute circonstance.

II. 3.2. La qualité: de l'eau brute dont on dispose doit être compatible avec la législation en vigueur.

II. 3.3. L'économie: le coût d'investissement et de fonctionnement du procédé de traitement relatif à chacune des ressources disponibles est déterminant lors de la prise d'une décision.

II. 4. Traitement standard pour les eaux de surface

Nous présentons dans la **figure II.1** la filière la plus complète et la plus courante d'une chaîne de traitement des eaux de surface [9]:

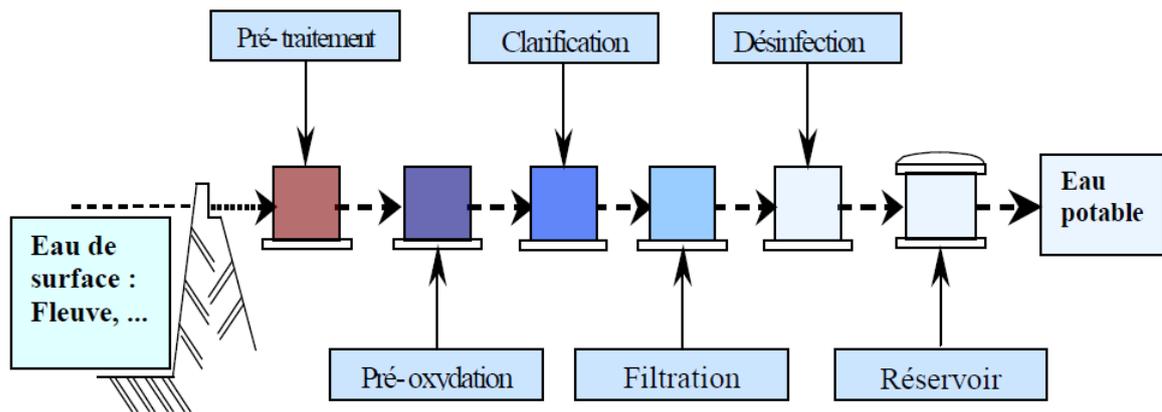


Figure II.1. Chaîne de traitement des eaux de surface.

II.4.1. Prétraitements (traitement physique)

Les eaux brutes doivent généralement subir, avant leur traitement proprement dit, un prétraitement qui comporte un certain nombre d'opérations uniquement physiques ou mécaniques.

Le prétraitement est destiné à extraire de l'eau brute la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature ou la dimension constituerait une gêne pour les traitements ultérieurs. Une station de traitement peut comporter une ou plusieurs des opérations de prétraitement suivant son importance et la qualité de l'eau brute [31].

Il consiste à faire un dégrillage et un dessablage afin d'éliminer les particules de grosse taille, les branches, le sable etc... [33].

II.4.1.1. Dégrillage

Est le passage de l'eau à travers des barreaux plus ou moins espacés à l'entrée d'une station de traitement [31].

Il consiste à éliminer les déchets plus ou moins volumineux tels que les chiffons, les textiles, les papiers, les plastiques, ou encore les branches et les feuilles entraînés par les eaux s'écoulant dans les canalisations d'assainissement [34].

II.4.1.2. Dessablage

Consiste à débarrasser les eaux des solides de taille supérieure à 200 μm (sables, graviers, matières minérales lourdes) par décantation sous l'effet de la gravité.

À la différence de la décantation primaire, il n'élimine pas les matières volatiles en suspension.

En effet, le dessablage est basé sur la différence de densité entre les solides à séparer ($d \approx 1,7$ à $2,6$) et les matières organiques ($d \approx 1,2$), plus légères, qui restent en suspension.

Pour limiter la décantation de ces matières organiques, il faut maintenir une vitesse de l'effluent entre 0,3 et 0,6 m/s. En fait, La décantation a lieu si la vitesse de chute des particules est supérieure à la vitesse de l'eau [35].

II.4.1.3. Micro-tamissage

Est une méthode de filtration simple, largement testée dans le monde entier, qui peut être utilisé pour éliminer des particules microscopiques ou plus grosses, obtenant un effluent pratiquement libre de solides et une réduction significative de la demande d'oxygène associée à la charge polluante [36].

II.4.2. Pré-oxydation

II.4.2.1. Aération

L'aération permet de mélanger l'air à l'eau pour favoriser les réactions d'oxydation, enlever les gaz dissous ou éliminer les goûts et odeurs. L'aération suit les lois de l'échange gaz-liquide, pour le transfert des solutés à travers une interface air-liquide.

L'aération peut être installée en tête de la chaîne de traitement de l'eau comme étape de pré-oxydation [37].

Cette aération est nécessaire lorsque l'eau présente une carence en oxygène et permet alors, soit [37]:

- D'oxyder des éléments réduits, tels les ions ferreux ;
- D'augmenter la teneur en oxygène dans l'eau (améliorer le goût, éviter la corrosion des conduites métalliques en formant une couche protectrice) ;
- D'éliminer des gaz indésirables (H_2S , CO_2 libre, sursaturation en oxygène, composés organiques volatils, etc.).

En comparant les potentiels d'oxydoréduction du fer et du manganèse, on constate que le fer peut être oxydé facilement par l'oxygène de l'air tandis que le manganèse ne l'est qu'à un pH alcalin. L'aération peut aussi faire partie intégrante d'une étape de traitement spécifique et se trouver alors au milieu de la chaîne du traitement de l'eau. Enfin, l'aération peut compléter la chaîne de traitement de l'eau afin de la rendre plus agréable au goût. Elle se situe alors avant la réserve d'eau traitée et sa distribution dans le réseau. L'aération permet aisément l'oxydation du fer s'il n'est pas à l'état complexé soit par la matière organique (acides humiques) ou par la silice dissoute [37].

II.4.2.2. Pré-chloration

Est le type de pré-oxydation de l'eau le plus ancien, le plus simple à l'emploi, le moins couteux et donc le plus répandu [38]. Elle consiste à appliquer une dose de chlore suffisante pour oxyder toutes les matières organiques. Il permet également d'éliminer certaines matières minérales (fer, manganèse) et détruire les germes pathogènes (désinfection) [39].

Pour des considérations techniques et économiques, les produits de désinfection utilisés en Algérie se limitent aux produits suivants [39]:

- Le chlore gazeux Cl_2 ;
- L'hypochlorite de sodium NaClO ;
- L'hypochlorite de calcium $\text{Ca}(\text{ClO})_2$;
- Le chlorure de chaux CaOCl_2 ;
- Le permanganate de potassium KMnO_4 .

Le (**tableau II.1**) résume les avantages et les inconvénients des différents désinfectants utilisés en Algérie [39].

Tableau II.1. Avantages et inconvénients des différents désinfectants utilisés en Algérie.

| Désignation | Avantages | Inconvénients |
|---|--|---|
| Chlore gazeux Cl_2 | <ul style="list-style-type: none"> - Peu couteux. - Disponible sur le marché. - Facilement liquéfiable et soluble dans l'eau. - Décompose les matières organiques. - Oxydant puissant et rémanent. | <ul style="list-style-type: none"> - Odeur suffocante. - Gaz asphyxiant. - Gaz instable. - Corrosif. - Installation de stockage et de distribution spécifiques. - Matériel adapté et strict pour le transport. - Danger provoqué par le gaz du chlore en cas d'accident. |
| Hypochlorite de sodium NaClO | <ul style="list-style-type: none"> - Disponible sur le marché. - Peu couteux. - Facile à préparer. - Appareillage de dosage simple. - Mêmes propriétés bactéricides et oxydantes que le chlore. - Utilisation domestique. | <ul style="list-style-type: none"> -Peu stable. - Risque d'entartrage des canalisations. -Perd son degré chlorométrique lorsqu'il est exposé à l'air et à la lumière. |
| Hypochlorite de calcium $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ | <ul style="list-style-type: none"> -Très efficace pour la désinfection des ouvrages hydrauliques. -Utilisé pour la désinfection des eaux de baignade. -Pouvoir bactéricide et oxydant analogue à celui du chlore. -Action stérilisantes durable. | <ul style="list-style-type: none"> -Très couteux. -Non disponible. -Produit importé. -Risque d'entartrage. -Perd son degré chlorométrique à l'air libre et à la lumière. |

| | | |
|--|---|--|
| Chlorure de chaux CaOCl₂ | -Propriétés désinfectantes aussi énergétiques que celles du chlore. -Soluble dans l'eau sous l'action des acides. | -Produit importé. -Couteux. -Abandonne lentement son chlore et se transforme en carbonate de calcium. -Entartrant. -Corps pulvérisant -Peu utilisé. |
| Permanganate de potassium KMnO₄ | -Oxyder le fer et le manganèse -Désinfection de nouveaux ouvrages hydrauliques. -Ne produit pas d'odeurs et de composés toxiques. | -Couteux. -Peu efficace sur les autres germes pathogènes. -N'est pas un désinfectant proprement dit. |

II.4.2. 2.1. Le chlore (Cl₂)

Est un gaz jaune verdâtre, qui se liquéfie par refroidissement et par compression. Un (01) Kg de chlore dans les mêmes conditions de température et de pression, donne naissance à 314 litres de chlore gazeux et un litre de chlore liquide correspond à 356 litres de gaz [39].

II.4.2. 2.2. Formes de chlore dans l'eau

Le chlore est introduit dans l'eau sous l'une des trois formes suivantes [40]:

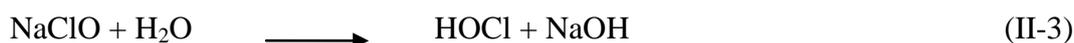
- Chlore gazeux (Cl₂) :



- Hypochlorite de calcium Ca(OCl)₂



- Hypochlorite de sodium NaClO :



Dissous dans l'eau, le chlore gazeux ou l'hypochlorite de sodium (eau de javel) donne lieu aux réactions suivantes [40]:



Le sens de déplacement de ces réactions dépend du pH (**figure II.2**) [39]:

- pH < 2 : tout le chlore est sous forme moléculaire (Cl₂).
- pH = 5 : tout le chlore est sous forme d'acide hypochloreux (HClO).
- pH = 10 : tout le chlore est sous forme d'hypochlorite (ClO⁻).
- Entre pH = 5 et pH = 10 : cas habituel des eaux traitées par le chlore, il y'a un mélange d'hypochlorite et d'acide hypochloreux (HClO+ ClO⁻).

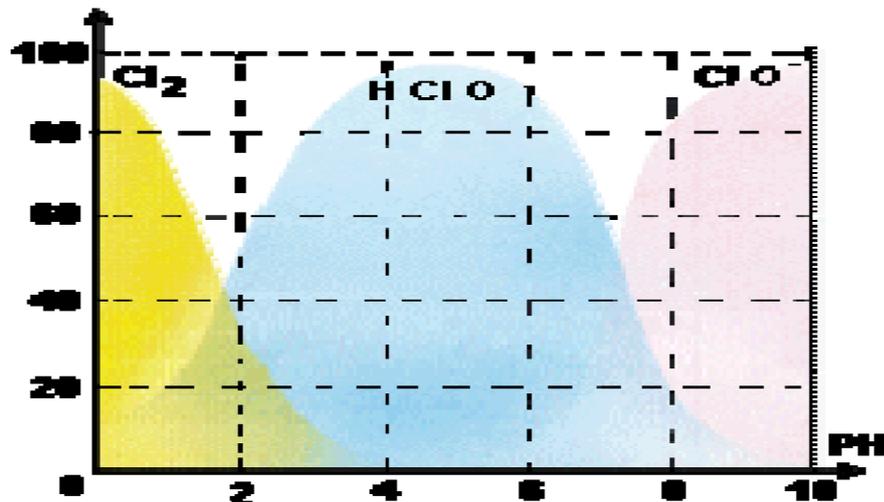


Figure II.2. Prédominance des formes du chlore dans l'eau, en fonction du pH [41].

L'effet bactéricide du chlore est maximal lorsque le chlore est sous forme HClO (acide hypochloreux).

D'autre part, le chlore agit également sur les matières organiques dissoutes dans l'eau et sur l'ammonium (NH_4^+) [39].

II.4.2.2.3. Types de chlore

La figure II.3 résume les types de chlore [42]:

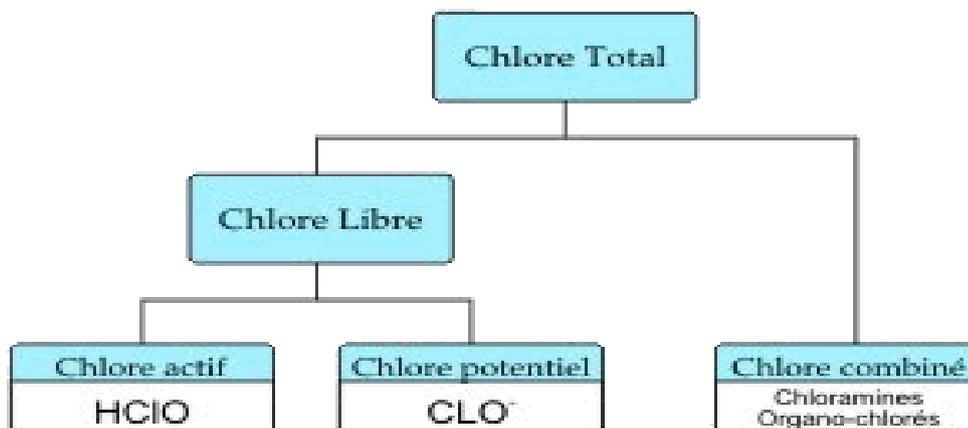


Figure II.3. Types de "chlores".

- **Terminologie**

Le chlore actif : représente la forme active, efficace vis-à-vis des bactéries, virus et algues. Il est composé des formes HClO (acide hypochloreux) et Cl₂ (chlore moléculaire dissous), cette dernière étant quantitativement négligeable pour des pH supérieurs à 3.

Le chlore potentiel : est la forme ClO^- ou ion hypochlorite susceptible de redevenir actif en libérant du chlore actif (acide hypochloreux) en fonction du pH.

Le chlore libre : est constitué par la somme chlore actif + chlore potentiel.

Le chlore combiné : représente essentiellement les chloramines (mono-chloramine, di-chloramine, tri-chloramine) mais aussi les organo-chlorés (alcaloïdes, acides aminés, flavanoides).

Le chlore total (chlore résiduel) : est l'ensemble du chlore libre et du chlore combiné.

II.4.2.2.4. Chloration au point critique (break-point)

La chloration au point critique peut éliminer l'ammoniac grâce à la formation de chlore libre résiduel. La chloration au point critique est un procédé dans lequel la demande en chlore est satisfaite, les composés de chlore combiné sont détruits, l'ammoniac est oxydé pour donner de l'azote gazeux et un résidu de chlore libre est obtenu sans qu'il soit nécessaire d'ajouter du chlore.

Le procédé requiert une surveillance fréquente des concentrations d'ammoniac et des différentes formes de chlore présentes (chlore combiné, chlore total et chlore libre (résiduel)) pour assurer une chloration au point critique en tout temps (**figure II.4**).

Il est nécessaire de générer une courbe des points critiques pour chaque installation et de surveiller les fluctuations des niveaux d'ammoniac afin de toujours assurer une chloration au point critique [43].

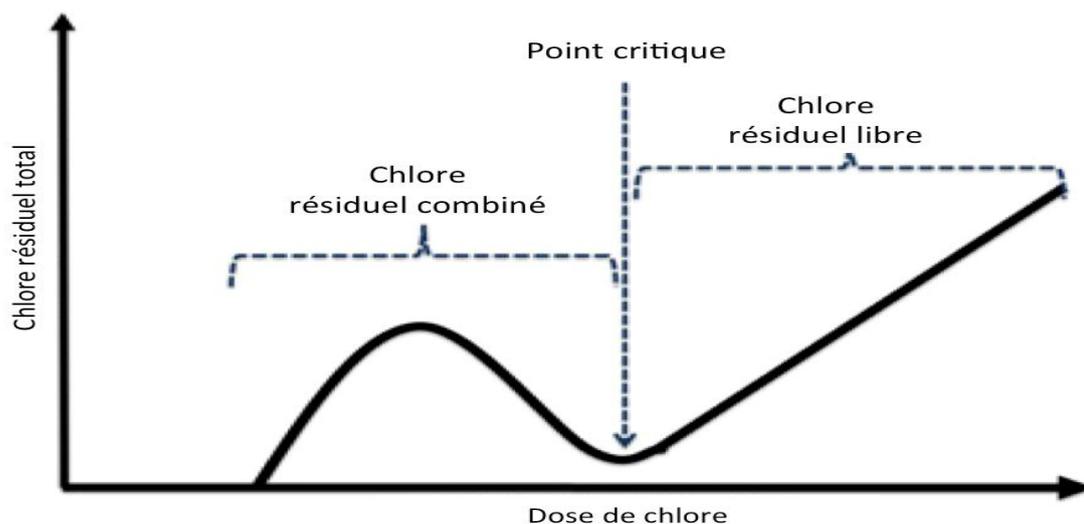


Figure II.4. Point critique de la chloration [44].

- **Applications**
 - Désinfection ;
 - Elimination des goûts et odeurs ;
 - Oxydé le fer et le manganésien;
 - Prévention de la croissance des algues [38].
- **Points d'injections**
 - A l'eau brute pour éliminer l'ammonium;
 - Lors d'un mélange rapide ou à l'entrée des filtres pour la désinfection, l'élimination des goûts et odeurs des algues et la couleur ;
 - Dans la réserve de distribution pour la désinfection ;
 - Dans le réseau de distribution pour le maintien d'un résiduel en réseau [38].

II.4.3. Clarification

La clarification est l'ensemble des opérations qui permettent d'éliminer les **matières en suspension** (minérales et organiques) d'une eau brute ainsi qu'une partie des matières organiques dissoutes [45].

L'étape de la clarification comporte diverses techniques telles que la coagulation-floculation, décantation ainsi que la filtration [31].

II.4.3.1. Coagulation-floculation

II.4.3.1.1. Définition

La coagulation : transformation des substances organiques liquides en une masse plus ou moins solide. Cette transformation est rendue possible par un phénomène de déstabilisation des molécules colloïdales sous l'effet d'un coagulant [39].

Les particules colloïdales: sont des MES caractérisées par un diamètre inférieur à 1µm et une charge électrique négative à leur surface [31], comme exemple l'argile humique [46].

Les coagulants: sont des produits capables de neutraliser les charges des colloïdes présents dans l'eau [38].

La floculation : précipitation des substances colloïdales. Cette précipitation résulte de l'agrégation des colloïdes déstabilisés (formation et grossissement d'un floc) sous l'effet d'un floculant [39].

Le floc: qui se forme par l'agglomération de plusieurs colloïdes peut ne pas être suffisamment large pour décanter ou pour se déshydrater à la vitesse souhaitée [47].

Les floculants: sont pour la plus part constitués de polymères à haut poids moléculaire possédant des groupes réactifs de charge inverse à celle de la suspension à traiter [32].

La coagulation-floculation est un procédé physico-chimique de la clarification des eaux. Il réside dans la formation, par addition de coagulant, de trames floconneuses appelées «flocs», cette prise en masse est éliminée dans une étape ultérieure de séparation solide-liquide : décantation (flottation) ou filtration [33].

Dans la technologie de la coagulation-floculation (**figure II.5**), il faut associer dans un temps assez court, deux phases distinctes [31]:

1^{ère} phase: mélange rapide et rigoureux pour disperser les réactifs ajoutés dans l'eau à traiter. L'injection se fait dans une zone de turbulence créée par des chicanes ou par mélange mécanique avec des pales ou des hélices.

2^{ème} phase: mélange lent pour favoriser les contacts entre les particules de floc.

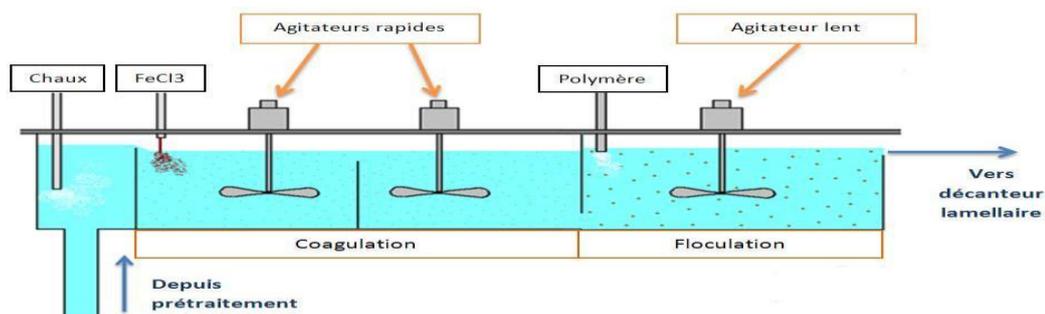


Figure II.5. Schéma du procédé coagulation et de floculation.

II.4.3.1.2. Coagulants utilisés

- **Sels de fer**
 - Chlorure ferrique (FeCl_3), gamme de pH 5-8.5, le taux utilisé au traitement allant de $5-100\text{g/m}^3$;
 - Sulfate ferrique ($\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$), gamme de pH 5-8.5, le taux utilisé au traitement variant de $5-100\text{g/m}^3$ [38].
- **Sels d'aluminium**
 - Sulfate d'aluminium $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, gamme de pH 5.7-7.5, le taux de traitement $10-150\text{g/m}^3$;
 - PCBA (polychlorures basiques d'aluminium), gamme de pH étendue, taux de traitement $10-100\text{g/m}^3$;
 - Chlorure d'aluminium (AlCl_3) [38].

II.4.3.1.3. Flocculants utilisés

- **Flocculants minéraux**

- Silice active : a été le premier flocculant employé. Elle donne de bons résultats principalement quand elle est associée au sulfate d'aluminium en eau froide. Préparée juste avant son utilisation par une neutralisation partielle de l'alcalinité d'une solution de silicate de sodium, elle est introduite après le coagulant. Le taux de traitement à mettre en œuvre varie de 0.5 à 4 mg/l [33].

- **Flocculants organiques (polymères naturels)**

Ce sont des polymères naturels extraits de substances animales ou végétales [33] :

- Alginates de sodium : sont obtenus à partir de l'acide alginique, lui-même extrait d'algues marines;
- Amidons : sont obtenus à partir des pommes de terre ou extraits de graines végétales.

II.4.3.1.4. L'essai de " jar-test".

Les essais de jar-test sont très utiles pour obtenir une coagulation-floculation efficace car ils permettent de déterminer le coagulant à utiliser ainsi que sa dose optimale qui donne la meilleure clarification de l'eau à traiter [31].

La présente méthode d'essai est limitée au traitement des eaux brutes pour la production d'eau potable [39].

II.4.3.2. Décantation**II.4.3.2.1. Définition**

La décantation est une opération de séparation solide/liquide par simple gravité. Si la densité des particules est supérieure à celle de l'eau, il y a une décantation. La décantation a pour but d'éliminer les MES et les colloïdes.

Ce procédé (**figure II.6**) est utilisé pratiquement dans toutes les usines d'eau potable ainsi que les stations d'épuration d'eaux usées.

Le décanteur est un bassin rectangulaire ou circulaire dans lequel l'eau séjourne longtemps pour permettre la sédimentation entière des particules ou des flocons [31].

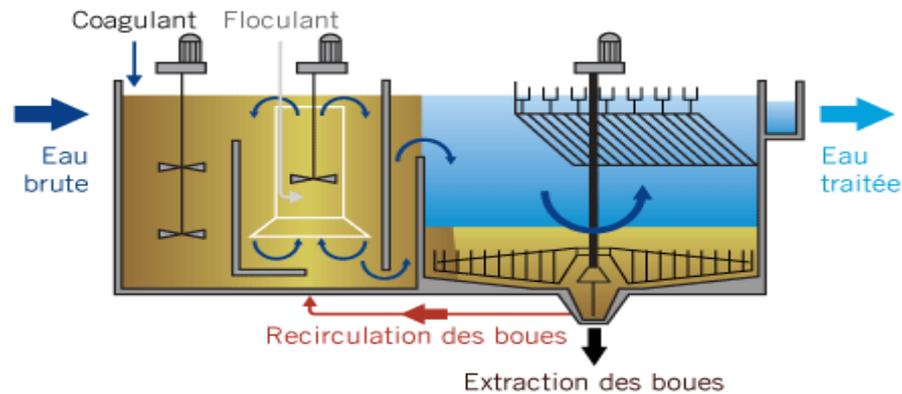


Figure II.6. Schéma du principe de la décantation [33].

II.4.3.2.2. Types de décantation

Selon la concentration en solide et la nature des particules (densité et forme), on distingue quatre types de décantation [48]:

- **Décantation de particules discrètes**

Les particules conservent leurs propriétés initiales (forme, dimension et densité) au cours de leur chute. La vitesse de chute est alors indépendante de la concentration en solide.

- **Décantation de particules flocculant**

Ce type de décantation est caractérisé par l'agglomération des particules au cours de leur chute. Les propriétés physiques de ces particules (forme, dimension, densité et vitesse de chute) sont donc modifiées pendant le processus.

- **Décantation freinée**

Ce type de décantation est caractérisé par une concentration élevée de particules, ce qui entraîne la formation d'une couche de particules et par conséquent, l'apparition d'une démarcation nette entre les solides décantés et le liquide surnageant.

- **Décantation en compression de boues**

Ces particules entrent en contact les unes avec les autres et reposent sur les couches inférieures.

II.4.3.3. Filtration

II.4.3.3.1. Définition

La filtration est un procédé destiné à clarifier l'eau en la faisant passer à travers un milieu poreux constitué d'un matériau granulaire. Ce dernier est appelé filtre par contre le liquide qui traverse ce filtre est nommé filtrat [31].

II.4.3.3.2. Différents types de filtre

- **Filtres lents à sable**

Consiste en un bassin à ciel ouvert, le plus souvent rectangulaire, contenant du sable servant de matériau filtrant. La couche de sable, d'épaisseur allant de 0,7 m à 1,5 m, est surmontée d'une couche d'eau de 0,7 m à 3 m, s'écoulant en traversant le sable sous l'action de la pesanteur. L'eau filtrée est recueillie au fond du bassin à l'aide d'un système de drainage. Le nom de "filtre lent" vient du fait que la vitesse de lixiviation est très faible, de l'ordre de 0,1 à 0,5 m/h, par opposition aux filtres rapides. Le diamètre des grains de sable va de 0,10 mm à 2,0 mm et même plus dans certains cas avec une granulométrie assez étalée. Ils éliminent les particules colloïdales, les substances dissoutes, les bactéries et autres germes, ainsi que les goûts et odeurs. On obtient ainsi de l'eau d'une qualité physico-chimique et bactériologique pure [33].

- **Filtres rapides à sable**

Comme les filtres lents, les filtres rapides sont constitués de bassins à ciel ouvert, contenant le sable filtrant sur une épaisseur d'environ 0,7 m à 1,5 m. C'est un sable gabarit d'une granulométrie assez uniforme, avec un coefficient d'uniformité des grains voisins de 1 mm, ou en tout cas inférieur à 1,8 mm et une taille effective variant de 0,4 mm à 1,2 mm selon le degré de traitement désiré et la qualité de l'affluent. La couche d'eau surmontant le sable et provoquant la lixiviation est d'une hauteur de 0,8 à 2 m et exceptionnellement de 3 m. Le filtrat est recueillie au fond par l'intermédiaire de systèmes de drainage. Le nom de "filtres rapides" vient de l'importance des vitesses de filtration d'environ 20 à 50 fois plus élevées que celles des filtres lents [33].

- **Filtres sous pression**

Fonctionnent selon les mêmes principes que les filtres à sable rapides, sauf que leurs couches de sable et de gravier, ainsi que leur réseau de drainage, sont situés dans des cylindres horizontaux ou verticaux, les quels sont conçus pour supporter des pressions de l'ordre de 1000 KPa. On peut ainsi filtrer de l'eau sous pression et la distribuer sans recourir au double pompage. Cet avantage ne compense toutefois pas les difficultés auxquelles on se heurte lorsque les filtres sont précédés d'unités de coagulation, de floculation et de décantation [33].

- **Adsorption sur charbon actif**

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.

L'adsorption est un processus où un solide est employé pour enlever une substance soluble de l'eau. Dans ce procédé, le charbon actif est le solide. Le charbon actif est produit spécifiquement pour couvrir une surface interne très grande (entre 500 et 1500 m²/g). Cette grande surface rend le charbon actif idéal pour l'adsorption. Il existe deux formes de charbons actifs: le charbon actif en poudre (PAC) et le charbon actif granulaire (GAC) [49].

Le GAC est, la plupart du temps, employé dans le traitement de l'eau, il peut adsorber les substances solubles suivantes [49]:

- Adsorption des substances organiques non polaires comme les huiles minérales, les poly-hydrocarbures aromatiques (PACs), les phénols ;
- Adsorption de substances halogénées : I, Br, Cl, H et F ;
- **Filtration sur membranes**

Est un procédé de séparation physique se déroulant en phase liquide. Le but est de purifier, fractionner ou concentrer des espèces dissoutes ou en suspension dans un solvant au travers d'une membrane [33].

D'une façon générale, on distingue [50]:

- Microfiltration: 5 µm à 0,1 µm (bactéries et matières en suspension);
- Ultrafiltration: 0,1 µm à 20 nm (protéines, macromolécules et virus);
- Nanofiltration: 20 nm à 1 nm (sels polyvalents, petites molécules organiques dissoutes).

II.4.4. Désinfection

II.4.4.1. Définition

La désinfection est la dernière étape du traitement de l'eau potable avant sa distribution. Elle permet de détruire les micro-organismes pathogènes présents dans l'eau pour la rendre propre à la consommation humaine [51].

II.4.4.2. Différentes méthodes de désinfection de l'eau

Il existe actuellement quatre méthodes courantes pour la désinfection de l'eau [52]:

- **La chloration**

Le chlore est un désinfectant puissant, traditionnellement utilisé pour le traitement de l'eau potable municipal.

- **L'ozonisation**

L'ozone, molécule composée de trois atomes d'oxygène, possède un pouvoir désinfectant très grand (plus efficace que le chlore). Il est instable et se décompose naturellement en oxygène.

- **L'ultraviolet**

L'eau est soumise à un rayonnement ultraviolet à une longueur d'onde ayant un pouvoir biocide (UV, longueur d'onde d'environ 254 nm).

- **La microfiltration**

Les micro-filtres ont des pores suffisamment petits (0.2 μm) pour arrêter les bactéries présentes dans l'eau.

3. Avantages et inconvénients de chacune des méthodes

Le **tableau II.2** résume les avantages et les inconvénients de chaque méthode [52]:

Tableau II.2. Avantages et inconvénients de chaque méthode.

| | Avantages | Inconvénients |
|----------------------|--|--|
| Chloration | -Investissement plus faible que pour un système d'ozonisation. -Système très simple: il suffit d'utiliser une pompe à injection ou un injecteur venturi pour mélanger du chlore avec l'eau. | -Le chlore donne un gout caractéristique à l'eau. -Certains dérivés chlorés sont dangereux. -L'installation nécessite le transport et le stockage de produit toxique. -L'efficacité du chlore dépend du pH de l'eau. |
| L'ozonisation | -L'ozone se décompose en oxygène, sans laisser de produits dérivés dans l'eau. -L'ozone est produit sur place (pas de transport de produits toxique ni de consommable à changer régulièrement). | -La production d'ozone consomme de l'énergie. -Le système est assez complexe. -Certains matériaux ne sont pas résistants à l'ozone (fer, magnésium, cuivre...) -Ce système demande un investissement de départ important. |
| L'ultraviolet | -Le système est bon économique à l'investissement et à l'utilisation. -Il n'y a pas de stockage de produit chimique: le traitement ne laisse aucun dérivé dans l'eau. | -Les UV inactivent mais n'éliminent pas les bactéries: l'eau doit être consommée directement après traitement. -Les particules dans l'eau stoppent les rayons UV et diminuent l'efficacité du traitement. |

| | | |
|---------------------------|---|--|
| La microfiltration | -L'investissement est très faible. -Le système est très simple. -Les bactéries sont enlevées de l'eau, et pas seulement inactivées. | -Le système est couteux à l'utilisation, car il faut renouveler régulièrement les cartouches filtrantes. -La microfiltration n'a aucun effet sur les virus, qui sont plus petits que les bactéries. |
|---------------------------|---|--|

II.4.5. Stockage de l'eau

Finalement, l'eau propre à la consommation sera stockée dans un réservoir dont le but de satisfaire la demande [20].

II.5. Traitement effectués dans la station de Hammam Dbagh (Bouhamdane)

La station effectue les procédés du traitement suivants [53] :

- Pré-chloration ;
- Coagulation – floculation ;
- Décantation ;
- Filtration sur sable ;
- Désinfection (post-chloration).

II.5.1. Pré-chloration (préoxydation)

La pré-oxydation se fait à l'entrée du bassin de mélange (**figure II.7**) 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.) [8].

Les caractéristiques de ce bassin sont les suivantes [54]:

Longueur : 3.7 m, largeur : 2.5 m et profondeur : 4.8 m.

La dose optimale est déterminée au laboratoire au moyen de la méthode de chloration au point critique (break-point).



Figure II.7. Bassin de pré-chloration.

II.5.2. Coagulation-floculation

A la coagulation (**figure II.8**) on ajoute le coagulant (sulfate d'alumine) pour déstabiliser les matières colloïdales et provoquer l'agglomération des particules en suspension, dont l'ensemble forme une masse qu'on appelle le floc, par une agitation rapide.



Figure II.8. Bassin de coagulation.

A la floculation (**figure II.9**) on ajoute le floculant (poly électrolyte) pour donner un poids dans la floc, par une agitation lente.

La dose optimale de coagulant et floculant est déterminée par la méthode de jar-test.

Les caractéristiques de ce bassin sont les suivantes [54]:

Longueur : 17 m, largeur : 9.2 m et profondeur : 4.8 m.



Figure II.9. Bassin de floculation.

II.5.3. Décantation (flottation)

Les floes se déposent au fond de l'ouvrage et l'eau clarifiée est récupérée en surface. A l'inverse, la flottation consiste à favoriser la clarification par entrainement des particules en surface, grâce à la génération de bulles d'air, qui s'accrochent aux matières en suspension et aux floes. Les flottants sont récupérés en surface par bras racleur.

Le décanteur utilisé est circulaire de volume de 3400 m³ (**figure II.10**), un rayon de 18 m et une profondeur de 3.3 m avec un pont racleur qui sert à racler la boue vers un concentrateur pour la purger, et un flocculateur à vitesse de rotation lente pour favoriser la cohésion des floccs [54].



Figure II.10. Bassin de décantation.

II.5.4.Filtration sur sable

L'eau ensuite envoyée dans les bassins de filtres à sables qui sont utilisés pour la production d'eau potable.

La filtration sur lit de sable élimine les derniers floccs. Elle consiste à faire passer l'eau à travers une épaisse couche de sable fin, les particules encore présentes dans l'eau sont alors retenues au fil de leur cheminement.

La station de traitement contient 6 filtres de sable de bassins rectangulaires (**figure II.11**) dont la dimension de chacun est de 18 m de longueur, 2.8 m de largeur et 3.3m de profondeur qui sont installés par rangée de 3. Les deux rangées sont séparées par une chambre de contrôle [54].



Figure II.11. Bassin de filtration.

III.2.4.5. Désinfection (postchloration)

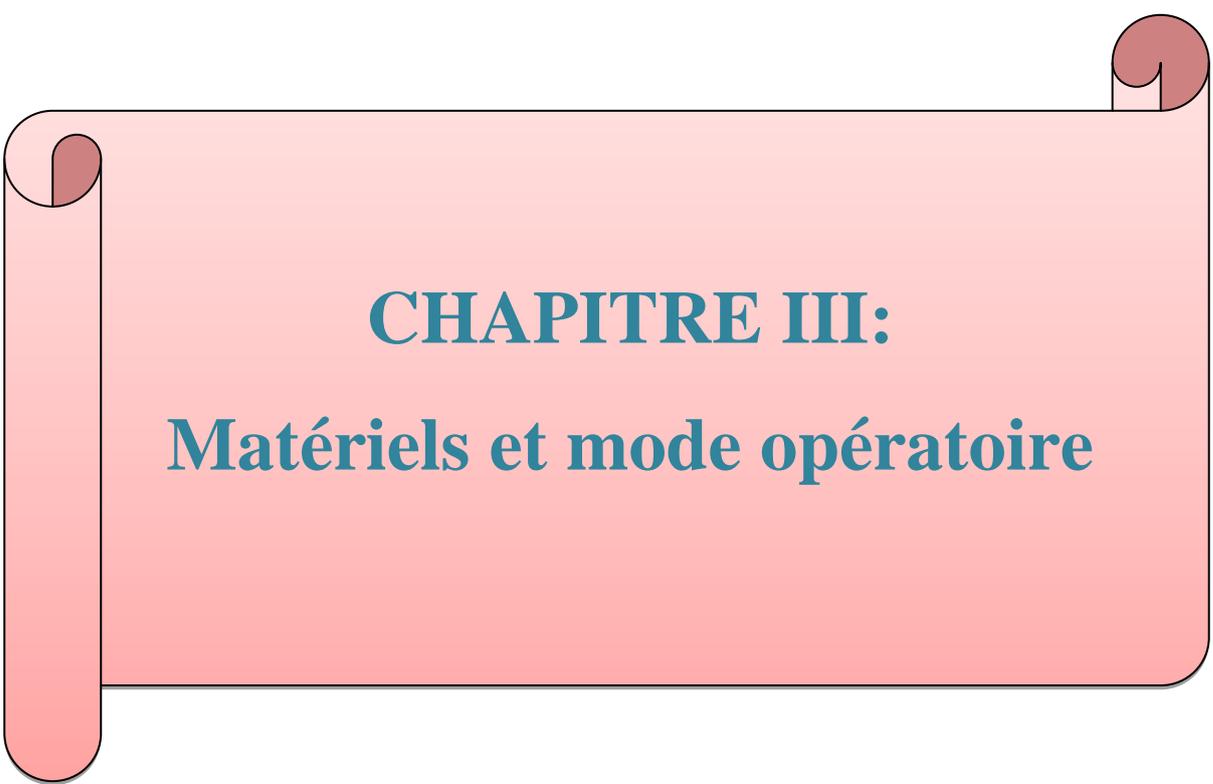
Une fois filtrée, l'eau doit encore voyager dans les canalisations pour atteindre la chambre de mélange. L'ajout d'une infime quantité de chlore est nécessaire afin d'éviter le développement de bactéries et de maintenir la qualité de l'eau traitée tout au long de son parcours dans les canalisations [54].

III.2.4.6. Stockage et distribution

Une fois rendue potable, l'eau est envoyée dans un réservoir en béton (**figure II.12**) d'une capacité de 3000 m³ où elle est stockée avant d'être acheminée par un réseau de canalisations vers la station de pompage qui alimente à son tour la ville de Guelma [54].



Figure II.12. Réservoir de stockage.



CHAPITRE III:
Matériels et mode opératoire

III.1. Introduction

Ce travail a été effectué au niveau de la station des traitements des eaux du barrage de Hammam Debagh (Bouhamdane). les objectifs sont comme suit :

- a. La détermination de la demande en chlore (break-point) et essai de coagulation/floculation (jar-test) ;
- b. Analyse des paramètres physico-chimiques de l'eau brute et l'eau traité ;
- c. Recherche et dénombrement des germes indicateurs de la pollution tels que : les coliformes totaux ; les coliformes fécaux ; les streptocoques fécaux et les anaérobies sulfito-réducteur de l'eau brute et l'eau traité.

III.2. Présentation de l'organisme d'accueil

III.2.1. Situation géographique du barrage de Hammam Debagh (Bouhamdane)

Le barrage de Hammam Debagh (**figure III.1**) est situé dans la wilaya de Guelma à 25Km 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 [55].



Figure III.1. Localisation du barrage du Hammam Debagh dans la région de Guelma [56-57].

III.2.2. Caractéristiques du barrage

Les principales caractéristiques du barrage sont résumées dans le tableau suivant [58]:

Tableau III.1. Les principales caractéristiques du barrage Bouhamdane.

| | |
|---|----------------------------------|
| Début des travaux | Octobre 1980 |
| Achèvement des travaux | Décembre 1987 |
| Localité | Bouhamdane (Guelma) |
| Une d'élévation de | 418,31 m |
| Effluent | Oued Bouhamdane |
| Type | En terre avec noyau central |
| Capacité hydrique | 184,347 hm ³ (2004) |
| Superficie du bassin versant | 1070 Km ² |
| Apport annuel moyen | 63 hm ³ |
| Profondeur maximale | 93 m |
| Hauteur de l'eau | Minimal : 5 m, maximal : 60 m |
| Envasement moyen annuel | 0,53 hm ³ |
| Sources d'approvisionnement en eau | Oued Bouhamdane et ses affluents |
| Longueur en crête | 340 m |
| Larguer en crête | 9 m |
| Volume de la digue | 6500000 m ³ |
| Largeur à la base | 516 m |
| Longueur de couronnement | 430 m |
| Excavations | 1700000 m ³ |

III.2. Station de traitement des eaux potables (station de Hammam Debagh)

III.2.1. Localisation de la station de traitement

La station de traitement (**figure III. 2**) concernée par cette étude, est la station de production d'eau potable d' Hammam Debagh, wilaya de Guelma d'une capacité de 500 l/s.

Le site de la station de traitement des eaux localisé sur la rive droite d'Oued Bouhamdane, est situé à Hammam Debagh, à environ 2Km au Nord-Ouest de l'agglomération chef-lieu de commune et à 40 m d'Oued Bouhamdane [27].



Figure III.2. Station de traitement eaux potables (Hammam Debagh).

III.2.2. Origine de l'eau

Le traitement se fait par des étapes bien définies. Les procédés du traitement ont été mis au point selon les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de l'eau brute. L'eau à traiter provient du barrage sur l'Oued Bouhamdane [53].

III.2.3. Débit d'eau à traiter

Le débit d'entrée de l'eau à traiter est d'environ 1500 m³/jour jusqu'à 1900 m³/jour en raison de la demande de plus en plus croissante des consommateurs à savoir la ville de Guelma, Ain Hessainia, Medjez Amar et Hammam Debagh [53].

Une fois traitée cette eau doit être analysée au niveau du laboratoire de la station tout en utilisant les méthodes d'analyses décrit ci-dessous:

III.3. Méthodes d'analyses

III.3.1. Détermination de la demande en chlore par la méthode break point

a- Réactifs

- Solution de chlore (eau de javel) de concentration 1 g/l (**Annexe**) ;
- DPD, DPD1 pour déterminer le chlore libre et DPD1+DPD3 pour déterminer le chlore combiné : comprimés disponibles dans le commerce.

b- Matériels

- Dix flacons en verre brun à col rodé de 1 litre, lavés et rincés avec l'eau à étudier ;
- Un chronomètre ;

- Un photomètre pour doser le chlore (**figure III.3**) ;
- Matériels classiques du laboratoire (fioles, pipettes, béchers, ...).

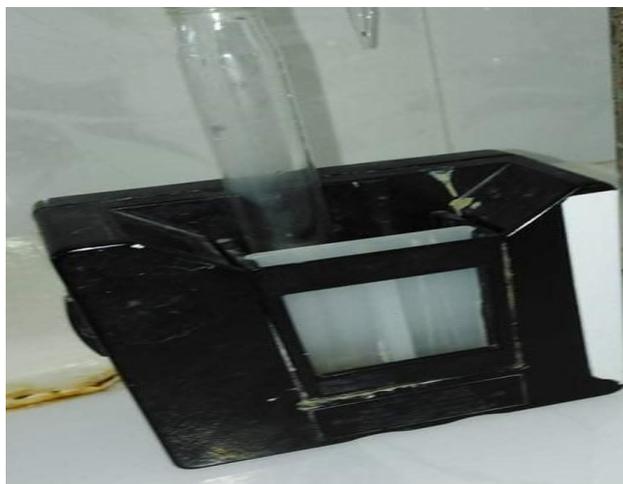


Figure III.3. Photomètre.

c- Mode opératoire

- Dans chacun des flacons de 1 litre, numérotés de 1 à 10, on introduit 1 litre d'eau à analyser ;
- On ajoute ensuite des doses croissantes de chlore de concentration 1 g/l;
- On laisse un intervalle de 5 min entre deux injections ;
- Mettre les flacons à l'abri de la lumière et travailler à température ambiante ;
- Dosage du chlore libre par le DPD1 et du chlore combiné par DPD1+DPD3 après 1 et 2 heures.

d- Exploitation et interprétation

Les résultats sont exploités graphiquement: on trace les concentrations en chlore résiduel (chlore libre + chlore combiné) en fonction des doses de chlore introduit. Il est alors possible de déterminer le break point en présence de NH_4^+ . Si l'eau ne contient pas d'ammonium la courbe de demande en chlore ne présente pas de point critiques mais une demande simple en chlore due aux matières organiques.

III.3.2. Essai du test de coagulation/floculation (jar-test)

a- Principe

A des volumes identiques d'eau à traiter, on injecte des quantités croissantes de coagulant (sulfate d'alumine) de façon à déterminer la dose permettant d'obtenir une eau de meilleure qualité possible.

Une fois la dose optimale de coagulant obtenue, à des volumes identiques d'eau à traiter, on injecte des quantités croissantes de floculant (polyélectrolyte) de façon à déterminer la dose permettant d'obtenir une eau clarifiée de meilleure qualité possible.

b- Réactifs

- Coagulant: sulfate d'alumine $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$ (produit commercial) ;
- Floculant: (polyélectrolyte) (produit commercial le plus utilisé est poly (acide acrylique) ;
- Solution de floculant de concentration 50 mg/l.

c- Matériels

- Un chronomètre ;
- Fioles de 1 litre ;
- Un floculateur de laboratoire avec six béciers de floculation ;
- Un siphon ($d = 0,5$ mm) recourbé vers le haut pour éviter l'aspiration des boues ;
- 7 béciers de 0,5 l pour récupérer les échantillons siphonnés ;
- Des pipettes graduées ;
- Un pH mètre ;
- Un turbidimètre ;
- Un spectrophotomètre ;
- Un conductimètre ;
- Une balance analytique : précision 0,1 mg.

d- Mode opératoire

III.3.2.1. Détermination de la dose optimale en coagulant

- Effectuer l'analyse de l'échantillon brut: couleur, pH, turbidité, alcalinité totale, et température;
- Placer 6 béciers d'1 litre dans la plateforme de l'appareil de jar-test ;
- Les remplir avec de l'eau brute jusqu'au niveau de 1 l (**figure III.4**);

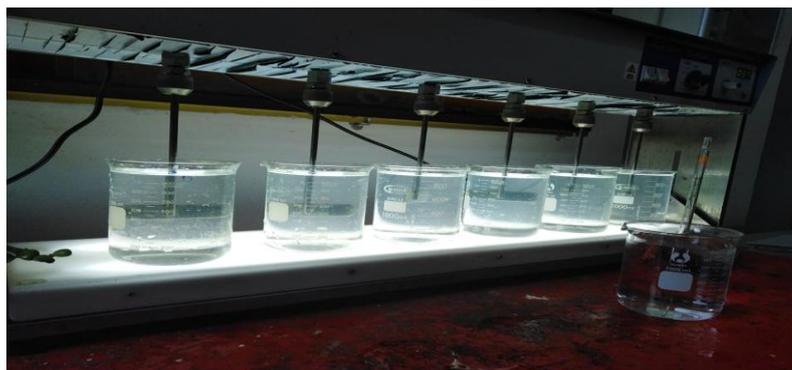


Figure III.4. Dispositif expérimental de l'essai jar-test.

- A l'aide d'une pipette graduée, ajouté la quantité de coagulant (sulfate d'alumine) le plus rapidement possible et de manière reproductible dans chaque bécher ;
- Les doses appliquées dans chaque bécher sont croissantes de façon à encadrer la dose optimale présumée;
- Démarrer l'agitation à la vitesse de 180 tours/min ; les pales et leur vitesse de rotation doivent être identiques dans tous les béchers;
- Déclencher le chronomètre ($t=0$);
- Après 2 min ($t=2$ min) d'agitation rapide (dispersion du réactif, coagulation), réduire la vitesse de rotation des pales à 40 tours/min (agitation lente). Dans tous les cas, la durée d'agitation (rapide puis lente) ne doit pas excéder 20 min;
- Au temps $t = 20$ min, relever les pales des agitateurs (doucement en prenant soin de ne pas casser les floccs formés) en respectant un décalage de 15 à 30 s entre chaque bécher;
- Attendre 45 min de décantation. Ce temps doit être suffisant pour obtenir une bonne décantation des floccs mais pas trop long pour conserver des variations significatives de la qualité des eaux traitées (en particulier la turbidité);
- Prélever, à l'aide d'un siphon, 0,5 l de chaque bécher, homogénéiser et procéder aux analyses de la turbidité, pH, matières organiques, température ; afin de vérifier les quels ont présenté le meilleur résultat en se référant à la plus grande réduction de couleur et de turbidité ;
- Tracer les courbes de turbidité en fonction de la dose de coagulant ;
- La courbe passe par un minimum qui correspond au taux de traitement optimal. Parfois ce minimum n'est pas net on observe plutôt un pallier dans ce cas la dose optimale correspond au début du pallier.

III.3.2.2. Détermination de la dose optimale en flocculant

- Vider les béchers, les rincer et remplir chacun avec un litre d'eau à analyser;
- Injecter la quantité de coagulant obtenue dans chaque bécher;
- Déclencher le chronomètre ($t = 0$);
- Démarrer l'agitation à la vitesse de 180 tours/min, pendant 90 secondes. Les pales et leur vitesse de rotation doivent être identiques dans tous les béchers;
- Arrêter l'agitation et injecter la quantité de flocculant le plus rapidement possible et de manière reproductible dans chaque bécher;

Les doses appliquées dans chaque bécher sont croissantes de façon à encadrer la dose optimale présumée.

L'écart entre deux doses successives de flocculant doit être suffisant pour obtenir des variations significatives de la qualité de l'eau décantée.

- Redémarrer l'agitation à 180 tours/min pendant 30 secondes, puis à la vitesse de 40 tours/min (agitation lente), dans tous les cas, la durée d'agitation (rapide puis lente) ne doit pas excéder 20 min ;
- Noter le temps d'apparition du floc après introduction du flocculant ;
- Au temps $t = 10$ min et $t = 20$ min, noter l'aspect de la flocculation exprimée par la figure suivante :

Cette méthode qui donne une idée de la taille des flocons est évaluée de la façon suivante :

0 - pas de floc ; 1 - floc à peine visible ;
 4 - petits points ; 5 - floc de dimension moyenne
 7 - bon floc ; 10 - très gros floc

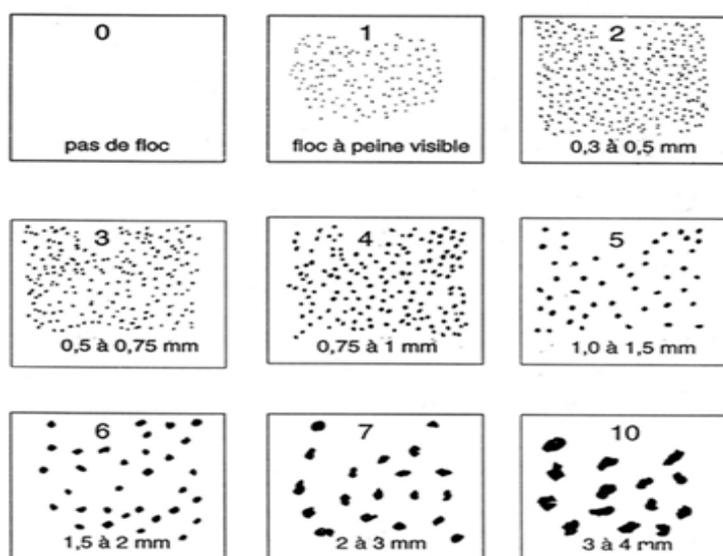


Figure III.5. Evaluation de la taille des flocons [40].

- Au temps $t = 20$ min, relever les pales des agitateurs (doucement en prenant soins de ne pas casser les floccs formés) en respectant un décalage de 15 à 30 s entre chaque bécher, homogénéiser et procéder aux analyses de turbidité, pH, matières organiques , température;
- Déterminer la concentration optimale en floculant (en mg/l) de la même manière que pour la concentration optimale en coagulant.

III.3.3. Analyses physico-chimique

Nous avons mesuré tous les paramètres physico-chimiques au niveau de laboratoire de la station de traitement des eaux (ADE unité de Guelma).

III.3.3.1. Méthode  lectrochimique

L' lectrochimie est l'étude des techniques qui emploient l'électrostimulation pour analyser la réactivité chimique d'un système. Plus particulièrement, elle analyse la perte et le profit des électrons c.- -d. l'oxydation et les mécanismes de réduction dans une réaction [59].

III.3.3.1.1. Mesure de la turbidité (Turb)

a- Matériels

- B cher à 250 ml ;
- L'eau distillée ;
- Turbidimètre (HACH TL 2300) et une cuvette de mesure (**figure III.6**) ;
- L'eau à analyser.



Figure III.6. Image d'un turbidimètre utilisé lors des analyses.

b- Mode opératoire

- Rincer bien la cuvette avec de l'eau distillée;
- Remplissez la cuvette avec de l'eau à analyser jusqu'au trait jaugé;
- Vérifier l'absence de bulles d'air avant la mesure;

- Mettez la cuvette dans l'appareil de mesure et cliquer sur (ENTRER);
- L'appareil affiche directement le résultat en NTU;
- Noter le résultat de la turbidité.

III.3.3.1.2. Mesure de la température (°C) et du pH

a- Matériels

- Bécher à 250 ml;
- L'eau distillée;
- pH-mètre à électrode en verre (**figure III.7**);
- L'eau à analyser.



Figure III.7. Image d'un pH-mètre utilisé lors des analyses.

b- Mode opératoire

- Remplissez le bécher avec de l'eau à analyser 250 ml;
- Rincez bien l'électrode avec de l'eau distillée;
- Plonger l'électrode dans le bécher;
- Cliquer sur le bouton (ENTRER);
- Attendre quelques secondes pour que le résultat apparaisse;
- Noter le résultat du pH avec la température au même temps.

III.3.3.1.3. Mesure de la conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

a- Matériels

- Bécher à 250 ml;
- L'eau distillée;
- L'appareil de mesure conductimètre à électrode (**figure III.8**);
- L'eau à analyser 250 ml.



Figure III.8. Image d'un conductimètre utilisé lors des analyses.

b- 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 soins que l'électrode soit complètement immergé;
- Noter le résultat de la conductivité.

III.3.3.1.4. Mesure TDS (mg/l) et la salinité

a- Matériels

- Bécher à 250 ml;
- L'eau distillée;
- L'appareil de mesure (multi-paramètre) (figure III.9);
- L'eau à analyser 250 ml.



Figure III.9. Image d'un multi-paramètre utilisé lors des analyses.

b- Mode opératoire

- Remplissez le bécher avec de l'eau à analyser;
- Rincez bien l'électrode avec de l'eau distillée ;
- Plonger l'électrode dans le bécher et cliquer sur le bouton (On);
- L'appareil affiche directement les résultats;
- Noter la TDS et cliquer sur le bouton (x) pour changer le paramètre;
- Laisser un moment jusqu'à l'affichage de la valeur de la salinité;
- Noter les résultats de TDS et de salinité.

III.3.3.2. Méthode volumétrique

L'analyse volumétrique, parfois appelée analyse titrimétrique, est une méthode quantitative d'analyse qui est basée sur la mesure du volume. Ces méthodes sont importantes du fait qu'elles sont généralement rapides, pratiques et souvent exactes [60].

III.3.3.2.1. Détermination de l'alcalinité (TA-TAC) et les bicarbonates (HCO_3^-)

a- Réactifs

- Acide sulfurique (H_2SO_4) (0,02 mol/l);
- Solution de phénolphtaléine ($\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$) dans l'alcool à 0.5%;
- Solution de méthylorange ($\text{C}_{14}\text{H}_{14}\text{N}_3\text{NaO}_3\text{S}$) à 0.5%;

b- Matériels

- Burette manuelle;
- Agitateur magnétique, barreaux magnétique;
- Matériel courant de laboratoire : fioles, pipettes, béchers...

c- Mode opératoire

1. Titre alcalimétrique simple (TA)

- Prélever 100 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer;
- Ajouter de 02 à 03 gouttes de phénolphtaléine. Si une coloration rose apparaît titrer avec l'acide sulfurique jusqu'à la disparition de couleur. Si la couleur n'apparaît pas le TA = 0 ($\text{pH} < 8,3$ donc TA = 0);
- On note V_{TA} le volume versé (**figure III.10**).



Figure III.10. Image représentant l'analyse de TA.

2. Titre alcalimétrique complet (TAC)

- Utiliser l'échantillon traité précédemment s'il n'y a pas de coloration.
- Ajouter de 02 à 03 gouttes de méthylorange;
- Puis on titre par la solution d'acide sulfurique jusqu'au virage rouge orange;
- On note V_{TAC} le volume versé (**figure III.11**).

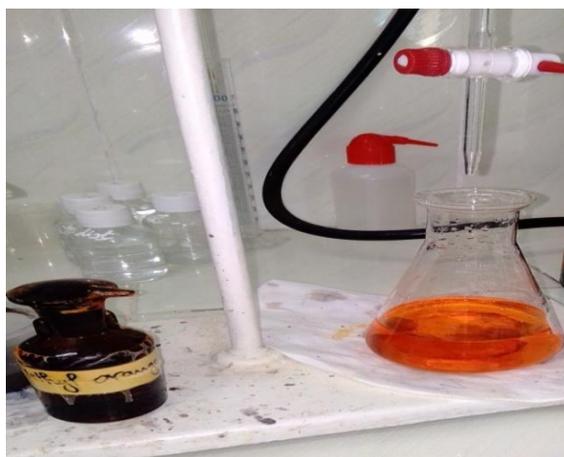


Figure III.11. Image représentant l'analyse de TAC.

3. Bicarbonates (HCO_3^-)

La concentration des bicarbonates est calculée selon la relation ci-dessous:

$$[HCO_3^-] \text{ mg/l} = \frac{V \times C \times M_{(HCO_3^-)}}{PE} \times 1000$$

$$[HCO_3^-] \text{ mg/l} = \frac{V \times 0,02 \times 61}{100} \times 1000$$

Avec :

V : volume d'acide versé dans le titrage de TAC ;

C: concentration de l'acide versé (0,02 mol/l) ;

$M_{HCO_3^-}$: masse molaire de bicarbonate (HCO_3^-) = 61 g/mol ;

PE : prise d'essai (volume en litre de l'échantillon nécessaire pour ce dosage = 0,1 l).

- **Expression des résultats :**

- **Pour le TA :** $TA (^{\circ}f) = V_{TA} \text{ (ml)}$

- **Pour le TAC :** $TAC (^{\circ}f) = V_{TAC} \text{ (ml)} - 0,5 \text{ (ml)}$

0.5 (ml): le volume nécessaire pour le virage de couleur de l'indicateur.

- **Pour le HCO_3^- :** $[HCO_3^-] \text{ (mg/l)} = \frac{TAC (^{\circ}f) \times C \times M_{(HCO_3^-)}}{PE}$

Et après les calculs : $[HCO_3^-] \text{ mg/l} = TAC (^{\circ}f) \times 12,2$;

III.3.3.2.2. Dosage du calcium (Ca²⁺)**a- Réactifs**

- Hydroxyde de sodium (NaOH) solution 2 mol/l (**Annexe**);
- Solution EDTA (C₁₀H₁₄N₂Na₂O₈, 2H₂O) (**Annexe**): (0,01 mol/l) ;
- Indicateur coloré : murexide (HSN) (**Annexe**).

b- Matériels

- Burette de 25 à 50 ml utilisée pour l'EDTA;
- Matériel courant de laboratoire : fioles, pipettes, béchers...

c-Mode opératoire

- Prélever une prise d'essai de 50 ml d'eau à analyser;
- Ajouter 2 ml de la solution d'hydroxyde de sodium et une pincée d'indicateur (murexide). Bien mélanger le tout ;
- Titrer avec la solution d'EDTA, en versant lentement ;
- Le virage est atteint lorsque la couleur devient nettement violette ;
- La couleur ne doit plus changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA ;
- Noter le volume d'EDTA V₁.
- **Expressions des résultats:** la détermination du calcium (mg/l) est donnée par la

formule suivante :
$$\text{Ca}^{2+} \text{ (mg/l)} = \frac{C_1 \times V_1 \times M_{(\text{Ca}^{2+})}}{\text{PE}} \times 1000$$

Avec :

C₁ : concentration exprimée en mole par litre, de la solution EDTA, soit 0,01 mol/l;

V₁ : est le volume, en millilitres, de la solution d'EDTA, utilisé pour le dosage;

M_{Ca²⁺} : est la masse molaire du calcium (40,08 g/mol);

PE : prise d'essai (volume de l'eau à analyse nécessaire pour ce dosage, soit 50 ml).

Donc :
$$\text{Ca}^{2+} \text{ (mg/l)} = \frac{V_1 \times 0,01 \times 40,08}{50} \times 1000$$

Après calcul :
$$\text{Ca}^{2+} \text{ (mg/l)} = V_1 \times 8,01$$

III.3.3.2.3. Dosage de la dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH)**a- Réactifs**

- EDTA solution titrée 0,01 mol/l;
- Solution ammoniacale (NH₄OH) à pH = 10 (**Annexe**);
- Indicateur : le noir ériochrome T (C₂₀H₁₂N₃O₇SNa) (**Annexe**).

b- Matériels

- Burette de 25 à 50 ml;
- Matériels courant de laboratoire : fioles, pipettes, béchers ...

c-Mode opératoire

- Prélever une prise d'essai de 50 ml d'eau à analyser;
- Ajouter 2 ml de la solution tampon NH_4OH et une pincée d'indicateur le noir ériochrome T. Bien mélanger, la solution doit se colorer en rose;
- Titrer immédiatement avec la solution d'EDTA, en versant lentement jusqu'au virage au bleu ; la couleur ne doit pas changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA;
- Noter V_{EDTA} le volume d'EDTA utilisé (**figure III.12**).



Figure III.12. Image représentant l'analyse de TH.

- **Expressions du résultat :** $\text{TH} (^{\circ}\text{f}) = V_{\text{EDTA}} \times 10$

Avec :

$1 ^{\circ}\text{f} = 10 \text{ mg/l}$ pour le TH.

III.3.3.2.4. Détermination du magnésium (Mg^{2+})

La concentration globale en magnésium est la différence entre la dureté totale et la dureté calcique.

$$\text{TH}_{\text{total}} = \text{TH}_{\text{Ca}^{2+}} + \text{TH}_{\text{Mg}^{2+}} \longrightarrow \text{TH}_{\text{Mg}^{2+}} = \text{TH}_{\text{total}} - \text{TH}_{\text{Ca}^{2+}}$$

Où :

TH_{total} : dureté totale en ($^{\circ}\text{f}$);

$\text{TH}_{\text{Ca}^{2+}}$: dureté calcique en ($^{\circ}\text{f}$);

$\text{TH}_{\text{Mg}^{2+}}$: dureté magnésienne en ($^{\circ}\text{f}$).

III.3.3.2.5. Dosage des chlorures (Cl⁻)

a- Réactifs

- Solution de chromate de potassium (K₂CrO₄) à 10%;
- Solution de nitrate d'argent (AgNO₃) 0,1 (mol/l).

b- Matériels

- Introduire 25 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer;
- Ajouter 2 à 3 gouttes de solution de chromate de potassium à 10%;
- Verser au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister 1 à 3 min;
- Soit V le nombre de millilitres de nitrate d'argent utilisé (**figure III.13**).

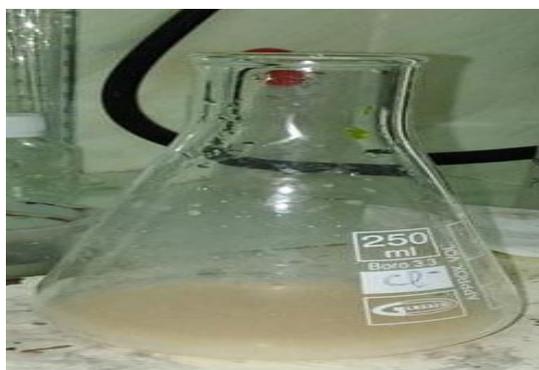


Figure III.13. Image représentant l'analyse de Cl⁻.

• Expressions des résultats :

$$\text{Cl}^- (\text{mg/l}) = \frac{V_{(\text{AgNO}_3)} \times C_{(\text{AgNO}_3)} \times M_{(\text{Cl})}}{\text{PE}} \times 1000 = \frac{V_{(\text{AgNO}_3)} \times 0,1 \times 35,5}{25} \times 1000$$

Où :

V_{AgNO_3} : volume de nitrate d'argent en millilitres;

C_{AgNO_3} : concentration d'argent 0,1 (mol/l);

$M(\text{Cl})$: masse molaire du chlore = 35,5 g/mol;

PE : prise d'essai = 25 ml.

Après les calculs : $\text{Cl}^- (\text{mg/l}) = V_{\text{AgNO}_3} \times 142$

III.3.3.2.6. Détermination de la matière organique (MO)

a- Réactifs

- Solution d'acide sulfurique 50%;
- Solution de permanganate de potassium N/80;
- Solution d'acide oxalique N/80.

b- Matériels

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

c- Mode opératoire

- Introduire dans un erlenmeyer de 250 ml, 100 ml d'eau à analyser;
- Ajouter 10 ml d'acide sulfurique à 50%;
- Ajouter 10 ml de solution de permanganate de potassium N/80;
- Porter l'échantillon à ébullition ménagée pendant 10 minutes à partir du moment où les bulles en formation au fond du ballon viennent avec la surface du liquide;
- Ajouter ensuite 10 ml d'acide oxalique N/80 pour décolorer, prévenir immédiatement à la teinte rose faible;
- Retirer alors le bécher de la plaque et le poser sur l'agitateur;
- Titrer pendant que la solution est encore chaude, avec la solution de permanganate de potassium N/80 jusqu'à une coloration rose pâle persistante environ 30 secondes;
- Noter le volume V_1 de la solution de permanganate consommé;
- Faire un essai à blanc en utilisant le même mode opératoire, mais en remplaçant la prise d'essai par 100 ml d'eau distillée;
- Noter le volume V_0 de la solution de permanganate consommé (**figure III.14**).



Figure III.14. Image représentant l'analyse de MO.

- **Expression du résultat:**

$$\text{MO (mg/l)} = V_1 - V_0$$

III.3.3.2.7. Détermination du résidu sec (RS)**a- Matériels**

- Bécher de 250 ml;
- Dessiccateur, balance analytique, étuve réglable à 105°C (**figure III.15**);
- Fiole jaugée.



Figure III. 15. Image d'un dessiccateur, balance analytique, étuve utilisé lors des analyses.

b- Mode opératoire

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

$$RS \text{ (mg/l)} = \frac{P_p - P_v}{PE} \times 1000$$

Où :

P_p : poids du bécher plein en mg;

P_v : poids du bécher après évaporation en mg ;

PE : prise d'essai en ml.

III.3.3.2.8. Détermination des matières en suspension (MES)**a-Matériels**

- Dispositif de filtration sous vide;
- Membranes de filtration.

b-Mode opératoire

- Mettre les membranes filtrantes dans une étuve à 105°C pendant 20 minutes (**figure III.16**);

- Laisser refroidir dans le dessiccateur;
- Ensuite les peser : soit M_0 = masse des membranes avant;
- Placer les membranes dans le dispositif de filtration sous vide et faire passer 200 ml d'eau à analyser à travers;
- Rendre les membranes à l'étuve (105°C) afin de sécher les membranes pendant 20minutes;
- Les laisser refroidir au dessiccateur puis les peser une deuxième fois soit M_1 = masse des membranes après filtration.



Figure III.16. Filtration de l'eau.

- **Expression du résultat :**

$$\text{MES (mg/l)} = \frac{M_1 - M_0}{\text{PE}} \times 1000$$

Où :

M_0 : masse de membrane filtrante avant l'utilisation en mg;

M_1 : masse de membrane filtrante après l'utilisation en mg;

PE : prise d'essai en ml.

III.3.3.3. Méthode par spectrophotométrie

La spectrophotométrie est une méthode d'analyse qui permet de déterminer l'absorbance d'une substance chimique en solution, c'est-à-dire sa capacité à absorber la lumière qui la traverse (**figure III. 17**).

L'absorbance d'une substance chimique dépend de la nature et de la concentration de cette substance ainsi que de la longueur d'onde à laquelle on l'étudie [61].



Figure III.17. Spectrophotomètre (HACH ODYSSEY).

III.3.3.3.1. Dosage de l'ammonium (NH_4^+)

a-Réactifs

- Réactif coloré (réactif I) (**Annexe**);
- Solution de dichloroisocyanurate de sodium ($\text{C}_3\text{Cl}_2\text{N}_3\text{NaO}_3$) (réactif II) (**Annexe**).

b- Matériels

- Matériel courant de laboratoire : verrerie (fioles et pipettes), balance analytique;
- Spectrophotomètre (HACH ODYSSEY).

c- Mode opératoire

- Prélever 40 ml d'échantillon à analyser, dans une fiole de 50 ml;
- Ajouter 4 ml du réactif coloré homogénéisé (réactif I), puis ajouter 4 ml du réactif de dichloroisocyanurate de sodium et homogénéisé (réactif II);
- Compléter la fiole jusqu'à la jauge (**figure III.18**);
- Après au moins 45 min, attendre le développement de la couleur, si l'apparition de la couleur vert indique la présence de l'ammonium;
- Effectuer les mesures spectrophotométriques UV-visible à 655 nm;
- **Expression du résultat** : le résultat est donné en mg/l.

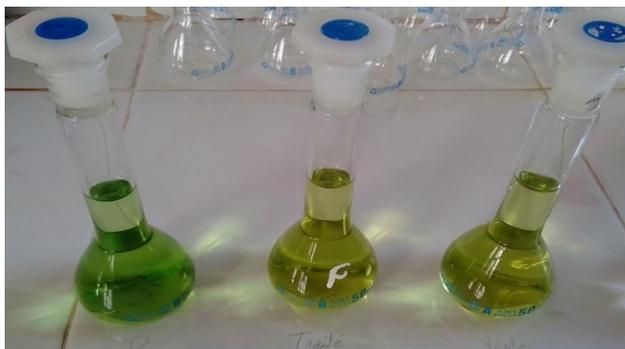


Figure III.18. Image représentant l'analyse de NH_4^+ .

III.3.3.3.2. Dosage du fer (Fe²⁺)**a-Réactifs**

- Solution tampon acétate d'ammonium (CH₃COONH₄) (**Annexe**);
- Solution de chlorhydrate d'hydroxylamine (NH₂OH.HCl) à 100 g/l (**Annexe**);
- Solution de phénantroline-1,10 (C₁₂H₈N₂) (**Annexe**).

b- Matériels

- Spectrophotomètre UV-visible;
- Matériel courant de laboratoire : verrerie (fioles et pipettes), balance analytique.

c- Mode opératoire

- Prendre 50 ml d'eau à analyser;
- Transvaser la solution dans une fiole de 100 ml, ajouter 1 ml de la solution chlorhydrate hydroxylamine et mélanger soigneusement;
- Ajouter 2 ml de tampon acétate pour obtenir un pH entre 3.5 et 5.5 de préférence 4.5;
- Ajouter 2 ml de la solution phénantroline-1,10 compléter à 50 ml puis conserver les fioles à l'obscurité pendant 15 min;
- Mesurer l'absorbance à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible à 510 nm;
- Expression du résultat : le résultat est donné en mg/l.

III.3.3.3.3. Dosage des sulfates (SO₄²⁻)**a- Réactifs**

- Solution stabilisante (**Annexe**);
- Solution de chlorure de baryum (BaCl₂) à 0,01 N (**Annexe**).

b- Matériels

- Matériel courant de laboratoire (fioles, pipettes, béchers ...);
- Spectrophotomètre UV/Visible;
- Agitateur magnétique.

c- Mode opératoire

- Prendre 20 ml d'eau à analyser puis compléter à 100 ml d'eau distillée;
- Ajouter 5 ml de la solution stabilisante;
- Ajouter 2 ml de chlorure de baryum;
- Agiter énergiquement pendant 1 min;
- Passer au spectrophotomètre UV-visible à longueur d'onde de 420 nm;
- **Expression du résultat** : le résultat est donné directement en mg/l.

III.3.3.3.4. Dosage des phosphates (PO_4^{3-})**a- Réactifs**

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

b- Mode opératoire

- Prendre 40 ml d'eau à analyser et 1 ml d'acide ascorbique;
- Ajouter 2 ml du réactif mélange;
- Attendre 10 min;
- L'apparition de la coloration bleue indique la présence des phosphates;
- Faire la lecture à l'aide du spectrophotomètre UV-visible à 700 ou 880 nm;
- **Expression du résultat** : le résultat est donné directement en mg/l.

III.3.3.3.5. Dosage des nitrites (NO_2^-)**a- Réactifs**

- Solution du réactif mixte (**Annexe**).

b- Mode opératoire

- Prendre 50 ml d'eau à analyser;
- Ajouter 1 ml du réactif mixte;
- Attendre 10 min;
- L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO_2^- ;
- Faire la lecture au spectrophotomètre UV-Visible à longueur d'onde de 543 nm;
- **Expression du résultat**: le résultat est donné directement en mg/l.

III.3.3.3.6. Dosage des nitrates (NO_3^-)**a- Réactifs**

- Solution de salicylate de sodium ($\text{C}_7\text{H}_5\text{NaO}_3$) à 0.5 % (renouveler toutes les 24 h) (**Annexe**);
- Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) 30 % (**Annexe**);
- Acide sulfurique (H_2SO_4) concentré;
- Tartrate double de sodium et de potassium ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) (**Annexe**).

b- Matériels

- Balance analytique de laboratoire;
- Fioles de 100 ml;
- Pipettes 10 ml, 5 ml, 2 ml, 1 ml et poires à pipeter;
- Etuve ou bain marie pour séchage;

- Spectrophotomètre UV-Visible à longueur d'onde de 415 nm.

c- Mode opératoire

- Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser;
- Ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30 %;
- Ajouter 1 ml de salicylate de sodium;
- Evaporer à sec au bain Marie ou à l'étuve 75 - 88° C (ne pas surcharger ni surchauffer très longtemps);
- Laisser refroidir;
- Reprendre le résidu avec 2 ml d' H₂SO₄;
- Laisser reposer 10 min;
- Ajouter 15 ml d'eau distillée;
- Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium;
- Faire la lecture au spectromètre UV-Visible à une longueur d'onde de 415 nm;
- **Expression du résultat:** le résultat est donné directement en mg/l.

III.3.3.3.7. Dosage d'aluminium (Al³⁺)

a- Réactifs

- Chlorure de calcium (CaCl₂) à 0,7 g/l;
- Acide thio-glycolique (C₂H₄O₂S) à 80 %;
- Solution tampon pH= 4,6;
- Rouge d'alizarine (C₁₄H₇NaO₇S).

b- Mode opératoire

- Dans une fiole de 50 ml introduire 25 ml d'eau à analyser;
- Ajouter: 2,5 ml de chlorure de calcium;
- 1 ml d'acide thio-glycolique;
- 5 ml de tampon acétate et 1 ml de rouge d'alizarine;
- 15,5 ml d'eau distillée, après 90 min faire la lecture par le spectrophotomètre à une longueur d'onde de 490 nm;
- **Expression du résultat:** le résultat est donné directement en mg/l.

III.3.4. Analyses bactériologiques

Les analyses des paramètres bactériologiques sont aussi faites au niveau de laboratoire de la station de traitement des eaux (ADE unité de Guelma).

III.3.4.1. Recherche des germes totaux à 37 °C (GT)

La recherche et le dénombrement des germes totaux se réalisent à deux températures différentes afin de cibler à la fois les microorganismes à tendance psychrophiles soit à 22 °C et ceux mésophiles soit 37 °C.

a- Mode opératoire

- Porter aseptiquement deux fois une quantité de 1 ml d'eau à analyser au fond de deux boîtes de pétri vides, préparées et numérotées à l'avance pour cet usage;
- Compléter ces deux boîtes avec une quantité d'environ 15 à 20 ml de gélose TGEA fondue (**Annexe**), refroidir à 45°C;
- Maintenir une agitation délicate en utilisant un mouvement circulaire de va-et vient en forme de (8) pour permettre à l'eau de se mélanger à la gélose;
- Laisser le milieu 10 minutes sur la paillasse pour se solidifier;
- Rajouter une deuxième couche d'environ 5 ml de la même gélose.

b- Incubation

L'incubation se fait à 37 °C pendant 48 h pour la première boîte et à 22 °C pendant 72 h.

c- Lecture et interprétation

Les germes totaux se présentent dans les deux cas sous forme de colonies lenticulaires poussant en masse. Pour le dénombrement de ces derniers, on prend en considération les remarques suivantes :

- Dénombrer seulement les boîtes contenant entre 15 et 300 colonies;
- Les résultats sont exprimés en unités formatrices de colonies (UFC) par ml d'eau à analyser à 22 °C et 37 °C (**figure III.19**).

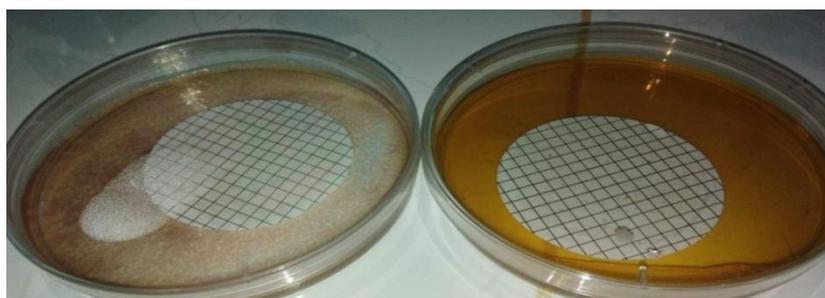


Figure III.19. Image représentant l'analyse bactériologique de l'eau.

III.3.4.2. Recherche des coliformes totaux (CT) et fécaux (CF)

a- Mode opératoire

✓ **Pour les coliformes totaux**

- Remplir de façon aseptique l'entonnoir avec 100 ml d'eau à analyser;
- Actionner la rampe à vide pour permettre le passage de l'eau à travers la membrane;
- Retirer ensuite la membrane à l'aide d'une pince stérile;
- Ensemencer la membrane qui renferme les germes, dans une boîte de pétri contenant de la gélose TTC Tergitol (**Annexe**).

✓ **Pour les coliformes fécaux**

- Placer s'il y a des colonies à l'aide d'une pince stérile dans le milieu Schubert (**Annexe**).

b- Incubation

✓ **Pour les coliformes totaux**

L'incubation se fait à 37 °C pendant 24 heures.

✓ **Pour les coliformes fécaux (*Escherichia coli*)**

L'incubation se fait à 44°C pendant 24 heures.

c- Lecture et interprétation

Après 24 heures d'incubation à 37 °C, les coliformes totaux et fécaux apparaissent sous forme de petites colonies jaunes ou orangés et dénombrer le nombre des colonies.

Après 24 heures d'incubation à 44 °C, apparition de l'anneau rouge indiquent la présence de l'*Escherichia coli* (**figure III.20**).



Figure III.20. Image représentant les résultats des coliformes totaux et fécaux.

III.3.4.3. Recherche des streptocoques fécaux

a- Mode opératoire

- Stériliser l'entonnoir à l'aide d'un bec bunsen;
- Refroidissement soit avec l'eau à analyser ou bien de l'eau distillée stérile;

- Mettre en place de façon aseptique une membrane de 0,45 µm entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérile;
- Fixer ce dernier avec la pince correspondante;
- Remplir de façon aseptique l'entonnoir avec 50 ml d'eau à analyser;
- Actionner la rampe à vide pour permettre le passage de l'eau à travers la membrane;
- Retirer l'entonnoir et transférer la membrane à l'aide de la même pince stérile et placer dans une boîte de pétri contenant de la gélose Slanetz et Bartley(**Annexe**).

b- Incubation

L'incubation se fait à 37 °C pendant 48 heures

c- Lecture et interprétation

Après 48 heures d'incubation, les streptocoques fécaux apparaissent sous forme de petites colonies rouges, marron ou roses, lisses, légèrement bombés qui peuvent être dénombrés.

III.3.4.4. Recherche des anaérobies sulfite-réducteur (ASR)

a- Mode opératoire

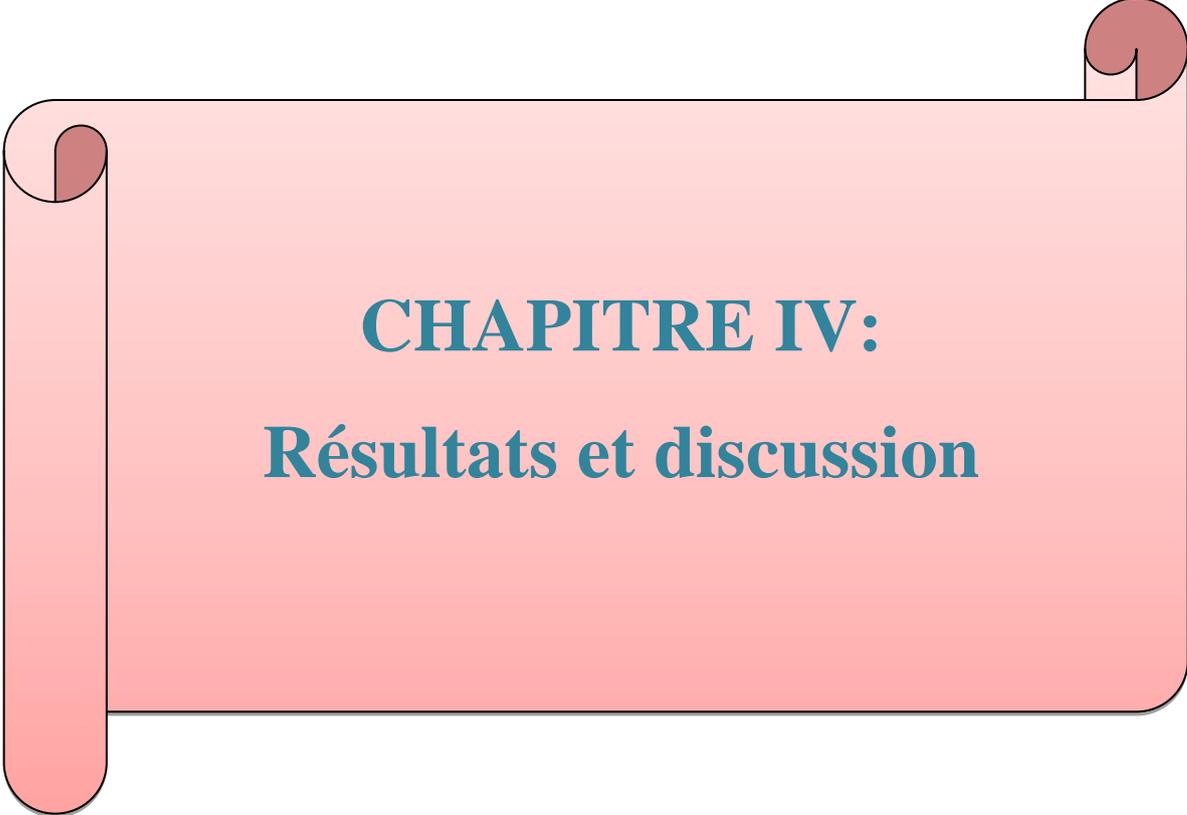
- Prendre environ 25 ml à partir de l'eau à analyser, dans un tube stérile, qui sera par la suite soumis à un chauffage de l'ordre de 80 °C pendant 10 minutes, dans le but de détruire toutes les formes végétatives des ASR éventuellement présentes;
- Après chauffage, refroidir immédiatement le tube en question, sous l'eau de robinet;
- Répartir ensuite le contenu de ce tube, dans 4 tubes différents et stériles, à raison de 5ml par tube;
- Ajouter environ 20 ml de gélose viande foie (**Annexe**), fondue, puis refroidie à 45 ± 1°C;
- L'incorporation se fait dans un tube et non dans une boîte afin de limiter la surface de contact entre le milieu et l'air;
- Mélanger doucement le milieu en évitant la formation des bulles d'air et l'introduction d'oxygène;
- Laisser solidifier sur paillasse pendant 30 minutes environ.

- **b- Incubation**

L'incubation se fait à 37 °C pendant 24 à 48 heures.

c- Lecture et interprétation

Dénombrer toute colonie noire de 0,5 mm de diamètre, ayant poussée en masse et apporter le nombre total des colonies dans les quatre tubes à 20 ml d'eau à analyser.



CHAPITRE IV:
Résultats et discussion

IV.1. Etude de pré-chloration

IV.1.1. Détermination du point critique (break-point)

La dose de la demande en chlore se détermine à partir de la pré-chloration au point critique comme suit:

On introduit des doses croissantes de chlore dans 10 béchers homogène d'eau brute, et on mesure le chlore libre et combiné dans chaque bécher après un temps de contact d'une heure puis deux heures.

Le **tableau IV.1** et le **figure IV.1** montrent les résultats du test de la demande en chlore (essai du point critique) effectué au laboratoire.

Tableau IV.1 : Résultats de l'essai du point critique (break-point).

| N ^o du flacon | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------------------|-----|--------|----------------|---------------|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| Chlore injecté (mg/l) | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1 | 1,2 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 |
| Chlore libre (mg/l) après 1h | / | Traces | Traces | Traces | 0,1 | 0,3 | 0,45 | 0,8 | 1 | 1 |
| Chlore combinée (mg/l) après 1h | 0,2 | / | / | / | / | / | / | / | / | / |
| Chlore libre (mg/l) après 2h | / | / | Traces 0,05 | Traces 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,45 | 0,8 | 1 | 1,2 |
| Chlore combinée (mg/l) après 2h | 0,1 | 0,2 | / | / | / | / | / | / | / | / |

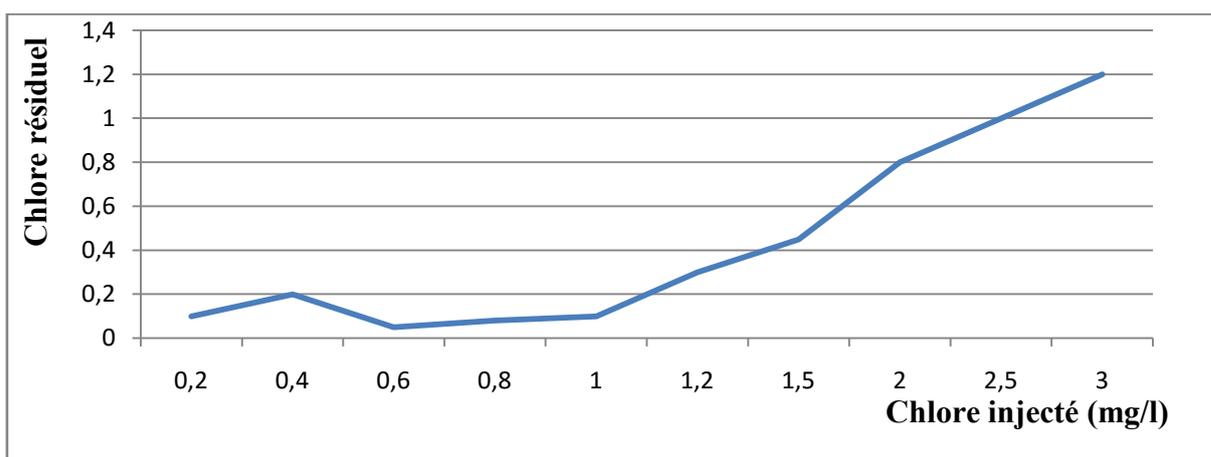


Figure IV.1. Variation du chlore résiduel en fonction du chlore injecté.

Donc la dose optimale du chlore se trouve entre 0,6 mg/l et 1 mg/l, d'où l'apparition du chlore résiduel qui signifie qu'on est dans la zone de pouvoir désinfectant, où tout le chlore ajouté sera sous forme d'acide hypochloreux (HClO), selon la réaction la réaction suivante :



IV.2. Détermination des doses optimales du coagulant et du floculant à partir d'essai de jar-test

Pour déterminer correctement la dose optimale du coagulant pour une eau donnée, il faut obligatoirement effectuer les essais : de «jar-test».

Nous avons choisi le jour où la turbidité est élevée pour faire l'essai du jar-test, cela pour bien réaliser ce dernier et avoir de résultats très significatifs, les conditions opératoires sont comme suit : $Q = 1600 \text{ m}^3/\text{h}$, $\text{Turb} = 6,65 \text{ NTU}$, $\text{pH} = 8,17$, $T = 12,2^\circ\text{C}$.

Le **tableau IV.2** donne les résultats de l'essai du choix de la dose du coagulant. Le traçage de la courbe représentant la turbidité en fonction des doses croissantes du coagulant est représenté sur la **figure IV.2**. De la même manière nous avons procédé pour déterminer la dose du floculant, voir **tableau IV.3** et **figure IV.3**.

Tableau IV.2 : Résultats de l'essai du choix de la dose du coagulant.

| Béchers | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Taux de sulfate d'alumine (mg/l) | 3 | 6 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| Turbidité (NTU) | 2,43 | 1,75 | 1,47 | 1,51 | 1,43 | 1,53 |

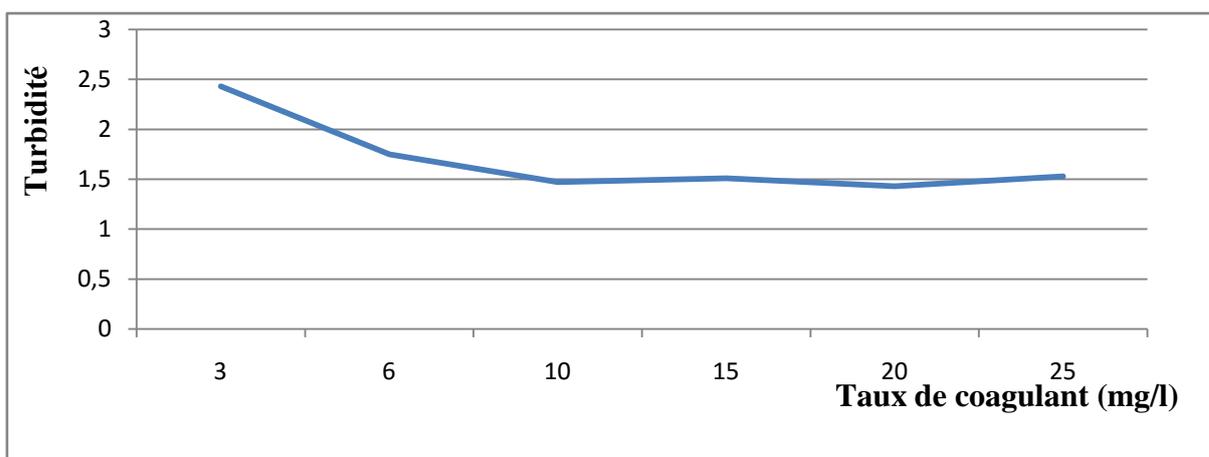


Figure IV.2. Courbe de détermination de la dose du coagulant.

On constate que les doses, 6 ; 10 ; 15 ; 20 ; et 25 mg/l du sulfate d'alumine donnent des valeurs de turbidités acceptables, nous opterons une valeur de la dose du coagulant de 10 mg/l puisque cette dernière donne des tailles des floccs plus décantables que les autres. On peut dire que la quantité du coagulant ajoutée est suffisante pour neutraliser les particules chargées négativement, mais il faut faire attention, car l'injection excessive de coagulant pourrait charger les particules positivement et recréer des forces répulsives empêchant alors la création des floccs et donc on peut rencontrer d'autres problèmes.

Tableau IV.3.Résultats de l'essai du choix de la dose du flocculant.

| Béchers | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Taux de sulfate d'alumine (mg/l/) | 10 | | | | | |
| Taux de flocculant mg/l | 0,05 | 0,1 | 0,15 | 0,2 | 0,25 | 0,30 |
| Turbidité (NTU) | 2,43 | 2,03 | 1,64 | 1,69 | 1,53 | 1,47 |

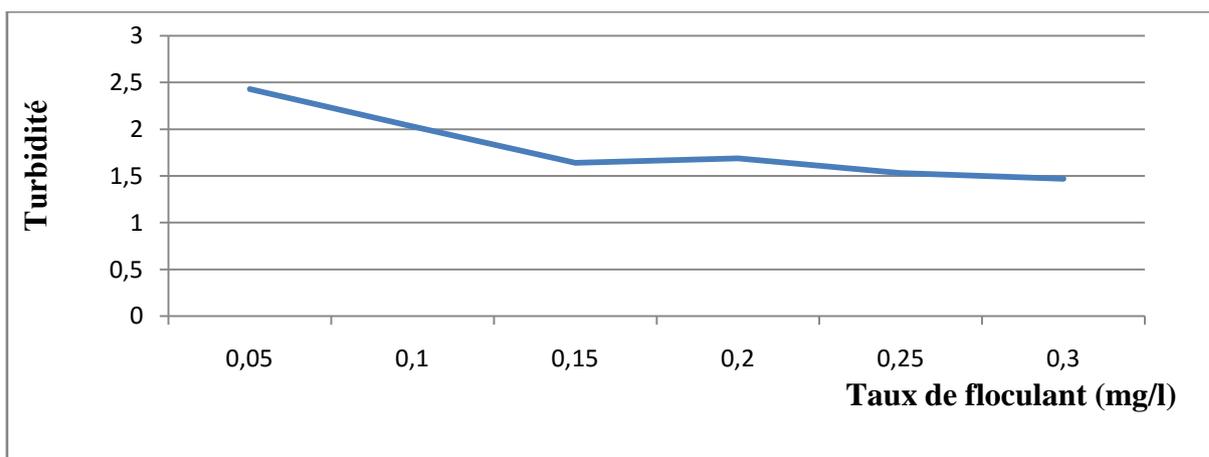


Figure IV.3.Courbe de détermination de la dose du flocculant.

La floculation est faite rapidement, alors on peut dire que la quantité du coagulant ajoutée est suffisante pour neutraliser les particules chargées négativement.

On prend la dose de 0,05 mg/l de flocculant qui correspond à une turbidité de 2,43 (NTU) qui est conforme à la norme < 5 (NTU), pour les autres béchers malgré qu'on a augmenté la dose du coagulant, la décantation reste médiocre, donc les particules colloïdales n'ont pas encore été déstabilisés.

IV.3. Résultats et discussion d'analyses des paramètres physico-chimiques

Les résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau brute et traitée du barrage Bouhamdane de Hammam Debagh-Guelma obtenus selon les modes opératoires décrits dans le chapitre III, seront rapportés dans les tableaux (IV.4-IV.26) et les figures (IV.4-IV.26) de ce chapitre.

Tableau IV.4. Résultats des analyses physico-chimiques pour les mois (Janvier 2019 à Juillet 2019).

| Date de prélèvement | Janvier | | Février | | Mars | | Avril | | Mai | | Juin | | Juillet | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------|------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-------|
| | Brute (EB) | Traitée(ET) | Brute (EB) | Traitée(ET) | Brute(ET) | Traitée(ET) | Brute(EB) | Traitée(ET) | Brute(EB) | Traitée(ET) | Brute(EB) | Traitée(ET) | Brute(EB) | Traitée(ET) | |
| Paramètres physico-chimiques | Turb (NTU) | 11,2 | 1,55 | 26,1 | 3,87 | 12,5 | 2,23 | 9,45 | 3,68 | 6,18 | 2,75 | 6,89 | 1,77 | 3,16 | 1,58 |
| | pH | 8,14 | 8,14 | 8,12 | 7,64 | 8,02 | 8,01 | 7,81 | 7,77 | 7,86 | 7,90 | 8,10 | 8,04 | 8,16 | 8,11 |
| | CE (µS/cm) | 468 | 480 | 374 | 381 | 377 | 387 | 392 | 391 | 468 | 477 | 559 | 561 | 615 | 632 |
| | TDS (mg/l) | 304 | 307 | 257 | 265 | 254 | 261 | 259 | 262 | 274 | 274 | 291 | 296 | 299 | 306 |
| | Salinité | 0,1 | 0,1 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| | T (°C) | 11,2 | 11,5 | 8,8 | 8,8 | 9,8 | 9,8 | 10,6 | 10,2 | 15,1 | 16,4 | 20,1 | 19,7 | 23,4 | 23,7 |
| | TH (°f) | 25,6 | 25,6 | 23,2 | 23,2 | 21,8 | 21,8 | 21,6 | 21,6 | 23,4 | 23,4 | 23,4 | 23,4 | 23,6 | 23,6 |
| | TA (°f) | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |
| | TAC (°f) | 12,3 | 12,1 | 11,6 | 11,2 | 12,1 | 11,5 | 12,1 | 11,8 | 12,5 | 12,2 | 12,7 | 12,1 | 13,6 | 13,3 |
| | HCO ₃ ⁻ (mg/l) | 150,06 | 147,6 | 141,5 | 136,6 | 147,6 | 140,3 | 147,6 | 143,9 | 152,5 | 148,8 | 154,9 | 147,6 | 165,9 | 162,2 |
| | Ca ²⁺ (mg/l) | 68,88 | 68,88 | 60,87 | 60,87 | 56,87 | 56,87 | 58,47 | 58,47 | 62,47 | 62,47 | 62,47 | 62,47 | 62,47 | 62,47 |
| | Mg ²⁺ (mg/l) | 20,41 | 20,41 | 19,44 | 19,44 | 18,47 | 18,47 | 17,01 | 17,01 | 18,95 | 18,95 | 18,95 | 18,95 | 19,44 | 19,44 |
| | Cl ⁻ (mg/l) | 85,2 | 85,2 | 85,2 | 85,2 | 71 | 71 | 71 | 71 | 71 | 71 | 71 | 71 | 71 | 71 |
| | MO (mg/l) | 6,5 | 4,1 | 7,2 | 4,5 | 07 | 4,3 | 5,4 | 3,2 | 7 | 3,5 | 6,2 | 3,4 | 7,5 | 3,2 |
| | MES (mg/l) | 4 | 00 | 12 | 00 | 06 | 00 | 3 | 00 | 2 | 00 | 2 | 00 | 1 | 00 |
| | RS (mg/l) | 511 | 500 | 418 | 412,5 | 356,5 | 380,5 | 356,5 | 373 | 496 | 465 | 412 | 418 | 450,5 | 495,5 |
| | NO ₂ ⁻ (mg/l) | 0,012 | 00 | 0,033 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 0,015 | 0,002 | 0,014 | 00 | 0,008 | 00 |
| | NH ₄ ⁺ (mg/l) | 00 | 00 | 0,137 | 00 | 0,003 | 00 | 0,005 | 00 | 0,007 | 00 | 0,110 | 00 | 0,005 | 00 |
| | NO ₃ ⁻ (mg/l) | 1,545 | 2,099 | 3,788 | 3,811 | 1,626 | 2,02 | 1,775 | 2,152 | 1,568 | 1,476 | 1,096 | 1,455 | 1,852 | 1,622 |
| | SO ₄ ²⁻ (mg/l) | 110,5 | 116,5 | 80,5 | 96 | 49 | 61,5 | 75 | 105,5 | 111 | 119 | 98,5 | 101,5 | 58 | 69,5 |
| PO ₄ ³⁻ (mg/l) | 0,223 | 0,009 | 0,172 | 00 | 00 | 00 | 0,089 | 0,011 | 0,083 | 00 | 0,092 | 00 | 0,028 | 00 | |
| Fe ²⁺ (mg/l) | 0,16 | 0,01 | 0,27 | 0,04 | 0,09 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 00 | 00 | 0,1 | 00 | 00 | 00 | |
| Al ³⁺ (mg/l) | / | 0,18 | / | 0,23 | / | 0,28 | / | / | / | / | / | / | / | 0,20 | |

Tableau IV.5. Résultats des analyses physico-chimiques pour les mois
(Aout 2019 à Février 2020).

| Date de prélèvement | | Aout | | Septembre | | Octobre | | Novembre | | Décembre | | Janvier | | Février | |
|------------------------------|--------------------------------|------------|-------------|------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|
| L'eau de barrage Bouhamdane | | Brute (EB) | Traitée(ET) | Brute (EB) | Traitée(ET) | Brute(ET) | Traitée(ET) | Brute(EB) | Traitée(ET) | Brute(EB) | Traitée(ET) | Brute(EB) | Traitée(ET) | Brute(EB) | Traitée(ET) |
| Paramètres physico-chimiques | Turb (NTU) | 3,70 | 2,41 | 5,91 | 2,75 | 7,57 | 3,02 | 7,31 | 3,44 | 15,1 | 1,78 | 14 | 2,27 | 5,08 | 1,9 |
| | pH | 7,89 | 7,81 | 8,00 | 7,33 | 7,92 | 7,40 | 7,14 | 7,11 | 7,36 | 7,24 | 7,72 | 7,50 | 8,08 | 7,89 |
| | CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 440 | 439 | 446 | 446 | 451 | 454 | 420 | 430 | 630 | 638 | 751 | 752 | 756 | 734 |
| | TDS (mg/l) | 270 | 274 | 274 | 274 | 275 | 280 | 275 | 280 | 294 | 298 | 326 | 337 | 342 | 334 |
| | Salinité | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| | T ($^{\circ}\text{C}$) | 13,3 | 12,7 | 13,7 | 13,7 | 13,7 | 13,3 | 11 | 11,3 | 10,8 | 10,8 | 9,8 | 10,1 | 10,6 | 10,6 |
| | TH ($^{\circ}\text{f}$) | 22,6 | 22,6 | 22,8 | 22,8 | 22,8 | 22,8 | 22,8 | 22,8 | 25 | 25 | 26,4 | 26,4 | 27,2 | 27,2 |
| | TA ($^{\circ}\text{f}$) | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |
| | TAC ($^{\circ}\text{f}$) | 13,3 | 12,8 | 12,6 | 12,4 | 12,7 | 12,5 | 12,6 | 12,4 | 13,8 | 12,3 | 14,4 | 13,8 | 15,6 | 15,4 |
| | HCO_3^- (mg/l) | 162,2 | 156,1 | 153,7 | 151,2 | 154,9 | 152,5 | 153,7 | 151,2 | 168,3 | 150,0 | 175,6 | 168,6 | 190,3 | 187,8 |
| | Ca^{2+} (mg/l) | 62,47 | 62,47 | 60,87 | 60,87 | 60,87 | 60,87 | 60,87 | 60,87 | 60,87 | 60,87 | 68,88 | 68,88 | 71,28 | 71,28 |
| | Mg^{2+} (mg/l) | 17,01 | 13,01 | 17,49 | 17,49 | 18,47 | 18,47 | 18,47 | 18,47 | 23,81 | 23,81 | 22,36 | 22,36 | 22,84 | 22,84 |
| | Cl^- (mg/l) | 71 | 71 | 71 | 71 | 71 | 71 | 71 | 71 | 71 | 71 | 71 | 71 | 71 | 71 |
| | MO (mg/l) | 6 | 3,6 | 8,3 | 4 | 6,4 | 4,3 | 7,3 | 4,3 | 8 | 4 | 8,1 | 4,2 | 7,2 | 3,8 |
| | MES (mg/l) | 1 | 0,5 | 2 | 00 | 3 | 00 | 3 | 00 | 4 | 00 | 4 | 0,5 | 2 | 00 |
| | RS (mg/l) | 400,5 | 431 | 430 | 396 | 428 | 398,5 | 512,5 | 500,5 | 502 | 509 | 490 | 493,5 | 495 | 490 |
| | NO_2^- (mg/l) | 0,004 | 00 | 0,006 | 0,001 | 0,006 | 00 | 0,034 | 00 | 0,022 | 0,002 | 0,013 | 0,004 | 0,006 | 0,002 |
| | NH_4^+ (mg/l) | 00 | 00 | 0,003 | 00 | 0,059 | 00 | 0,02 | 00 | 0,035 | 00 | 0,017 | 00 | 0,015 | 00 |
| | NO_3^- (mg/l) | 2,235 | 2,693 | 1,923 | 1,515 | 3,711 | 1,838 | 2,47 | 2,14 | 3,373 | 3,545 | 1,82 | 1,979 | 1,700 | 1,667 |
| | SO_4^{2-} (mg/l) | 112 | 110 | 63,4 | 72,6 | 112,5 | 116,5 | 129 | 135 | 50 | 65 | 68,15 | 73 | 132,5 | 150,5 |
| PO_4^{3-} (mg/l) | 0,012 | 0,002 | 0,016 | 00 | 0,105 | 00 | 0,15 | 0,02 | 0,692 | 0,022 | 0,235 | 0,008 | 0,126 | 0,064 | |
| Fe^{2+} (mg/l) | 0,16 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 0,18 | 0,06 | 0,13 | 0,03 | 0,29 | 0,009 | 0,07 | 0,01 | |
| Al^{3+} (mg/l) | / | 0,16 | / | 0,27 | / | 0,15 | / | 0,4 | / | 0,20 | / | 0,20 | / | 0,20 | |

IV.3.1. Turbidité (Turb)

La **figure IV.4** présente l'évolution de la turbidité en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020). L'analyse de ces résultats montre que les valeurs d'eaux brutes augmentent et diminuent au cours du temps. Ainsi l'eau est très trouble à la période de février 2019 avec des valeurs de turbidité comprises entre (26,1 et 9,45) NTU largement supérieures aux normes Algérienne 5 NTU (**tableau 1-annexe**) alors qu'elle est moindre les autres mois.

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 1,55 et 3,87 NTU qui sont dans les normes de la turbidité des eaux potables soit Algérienne ou OMS.

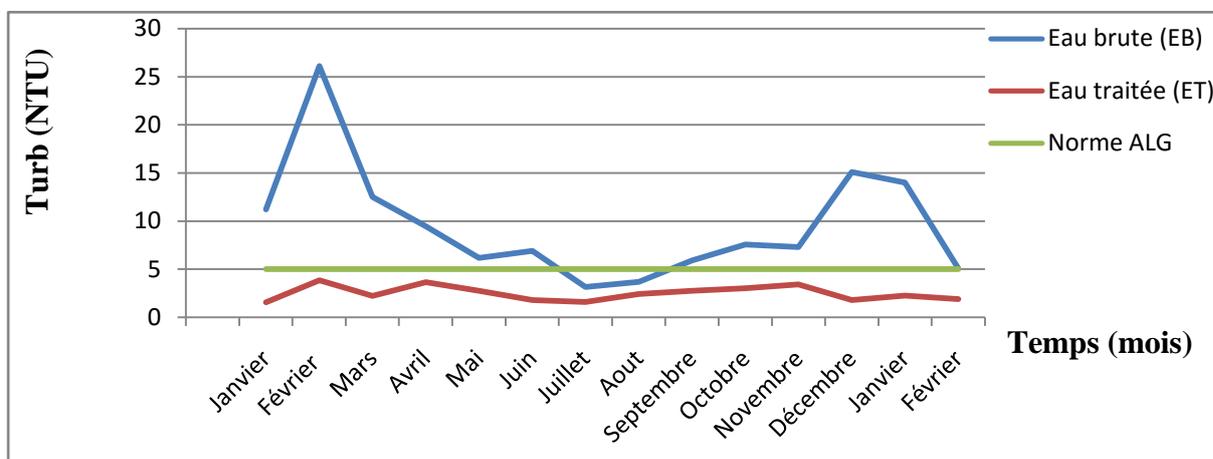


Figure IV.4. Evolution de turbidité (Turb) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020).

IV.3.2. Température (T)

La **figure IV.5** présente l'évolution de la température (°C) en fonction des mois. Les valeurs de la température de l'eau brute et traitée du barrage Bouhamdane sont approximativement égales et oscillent entre 8,8°C et 23,7°C. L'augmentation est remarquable lors du prélèvement de juillet. Toutes les valeurs sont acceptables et sont conformes à la norme Algérienne à 25°C (**tableau 1-annexe**).

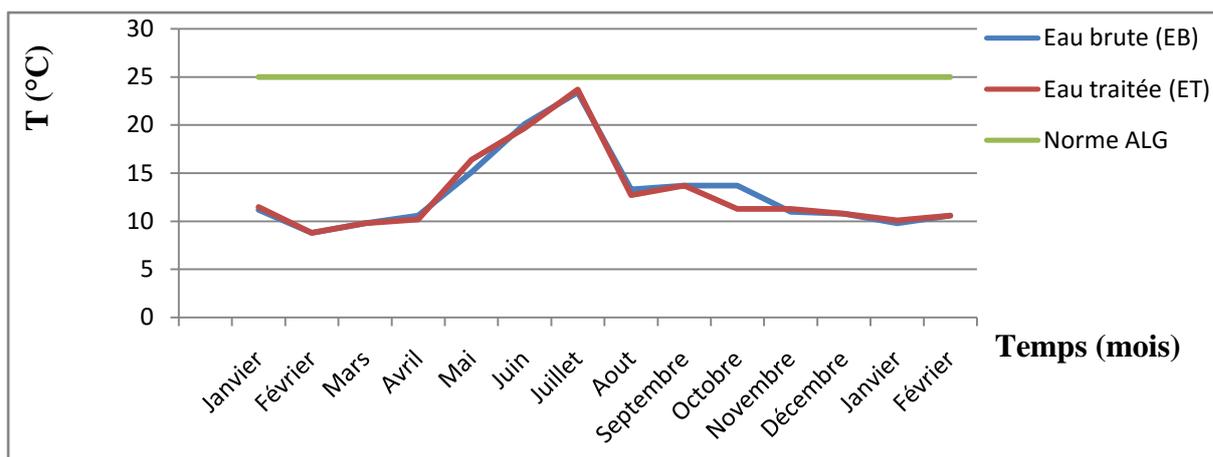


Figure IV.5. Evolution de température (T) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020).

IV.3.3. Potentiel d'hydrogène (pH)

La **figure IV.6** présente l'évolution du potentiel d'hydrogène en fonction des mois. Nous constatons que les valeurs de l'eau brute et de l'eau traitée sont proches et oscillent entre 7,11 et 8,18. Ces valeurs ne dépassent pas la norme Algérienne de (6,5-8,5) (**tableau 1-annexe**).

Il n'est pas nécessaire d'utiliser des produits pour élever ou diminuer le pH, donc le pH de cette eau est acceptable.

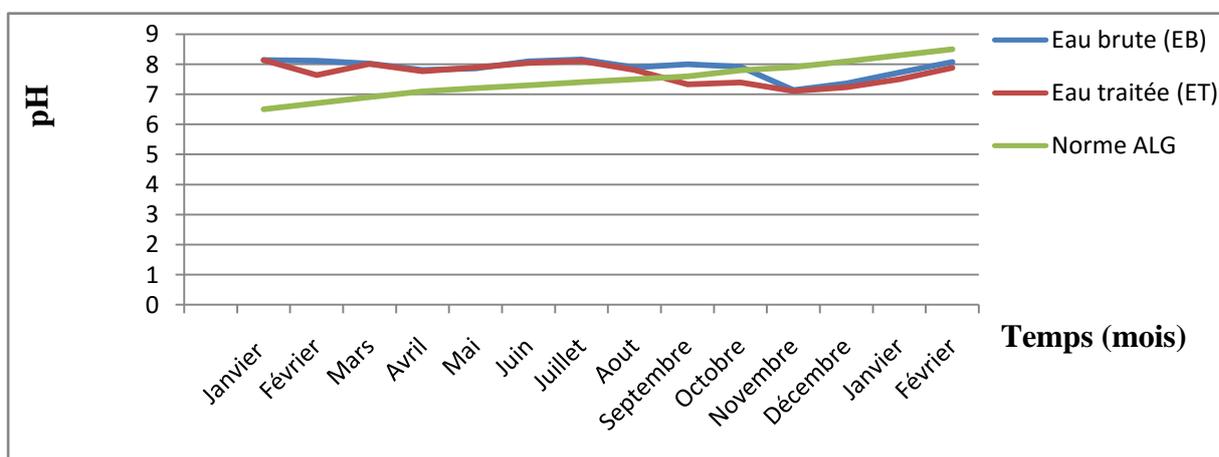


Figure IV.6. Evolution du potentiel d'hydrogène (pH) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020).

IV.3.4. Conductivité électrique (CE)

La **figure IV.7** présente l'évolution de la conductivité électrique en fonction des mois. Selon ces résultats, les valeurs de la conductivité de l'eau brute varient entre (756-374) $\mu\text{S/cm}$ et les valeurs de l'eau traitée varient entre 752 et 381 $\mu\text{S/cm}$.

Ces valeurs sont proches et ne dépassent pas le max de la norme Algérienne qui est de l'ordre de 2800 $\mu\text{S/cm}$ (**tableau 1-annexe**).

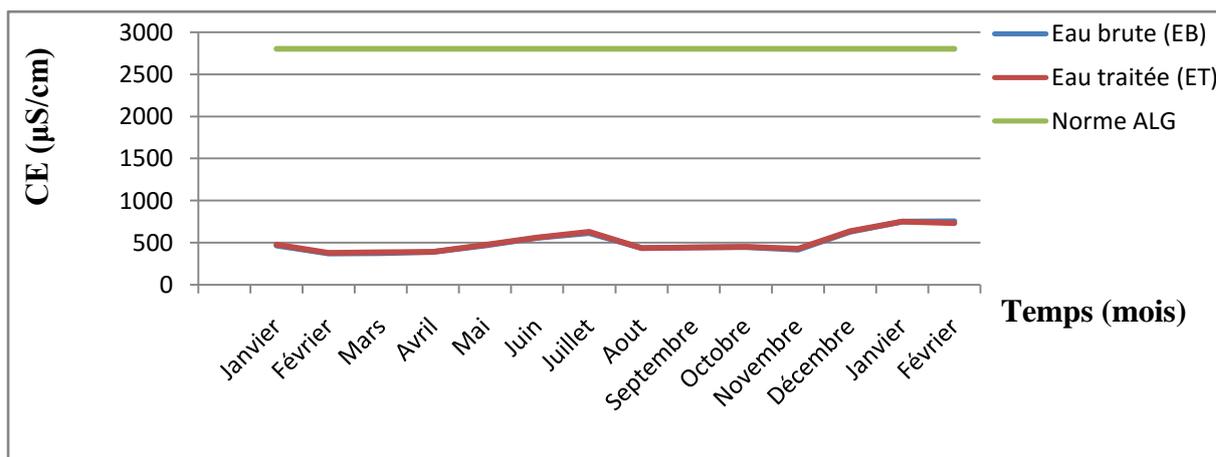


Figure IV.7. Evolution de la conductivité électrique (CE) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020).

IV.3.5. Total des solides dissous (TDS)

La **figure IV.8** présente l'évolution du total des solides dissous en fonction des mois. Nous constatons que les valeurs de l'eau brute et l'eau traitée sont proches et varient entre (254-342) pour l'eau brute et (261-337) pour l'eau traitée.

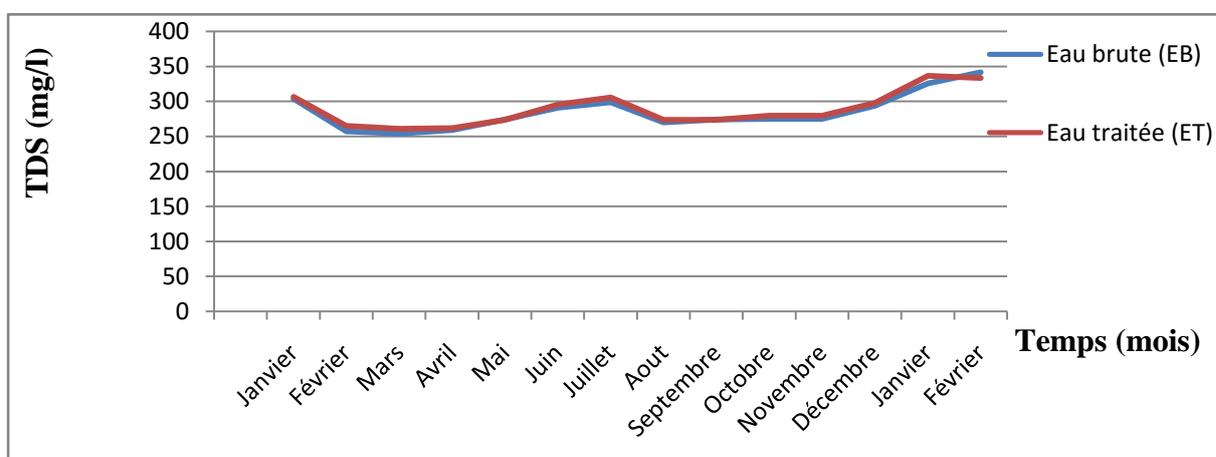


Figure IV.8. Evolution du total des solides dissous (TDS) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020).

IV.3.6. Salinité

La **figure IV.9** présente l'évolution de la salinité en fonction des mois. Les résultats de la salinité de l'eau brute et l'eau traitée indiquent les mêmes valeurs, la valeur maximale de 0,1 dans les mois de (janvier, juin, juillet, décembre 2019- janvier, février 2020) alors qu'elle est nulle dans les mois de (février, mai, aout, novembre 2019).

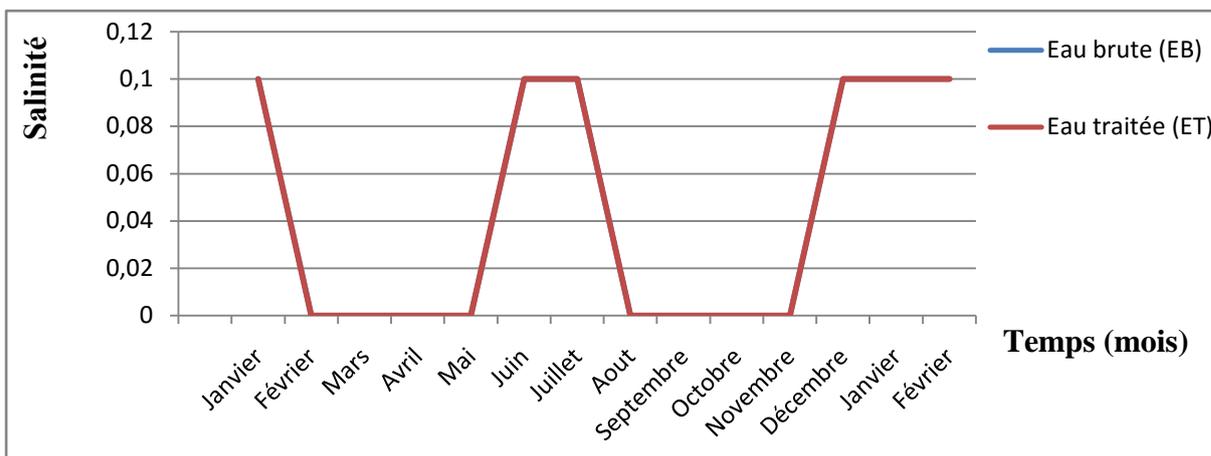


Figure IV.9. Evolution de la salinité en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020).

IV.3.7. Dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH)

La **figure IV.10** présente l'évolution de la dureté totale ou titre hydrotimétrique (°f) en fonction des mois. Les résultats montrent que la dureté des eaux brutes et traitées est la même, sa valeur varie entre 21,6 et 27,2 (°f). Ces valeurs ne dépassent pas la norme Algérienne qui est de 500 °f (**tableau 1-annexe**).

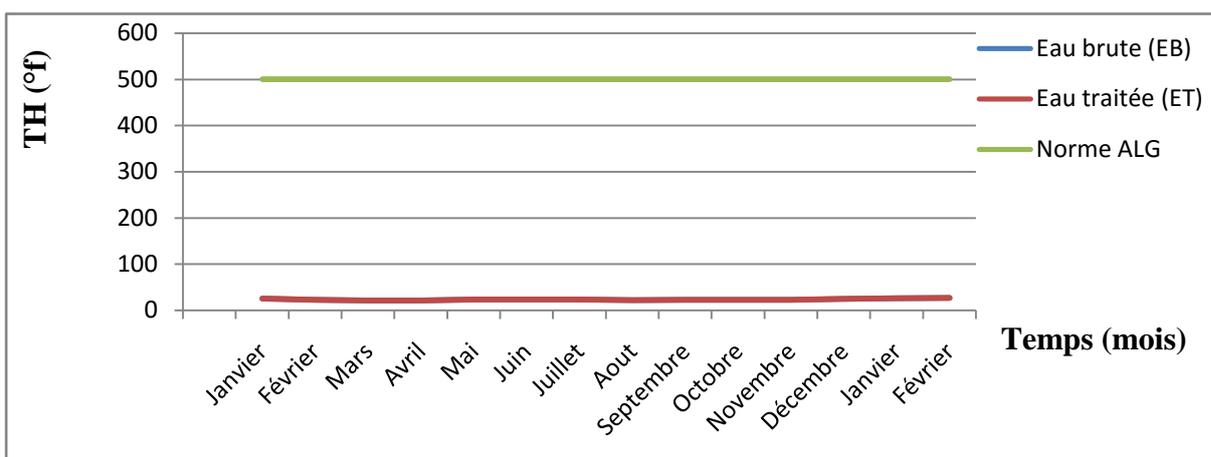


Figure IV.10. Evolution du titre hydrotimétrique (TH) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020).

IV.3.8. Titre alcalimétrique simple (TA)

La **figure IV.11** présente l'évolution du titre alcalimétrique simple en fonction des mois. L'analyse de ces résultats montre que la teneur du titre alcalimétrique obtenue est nulle pour l'eau brute et traitée et elle est dans la norme Algérienne qui est de l'ordre de 12 °f (**tableau 1-annexe**).

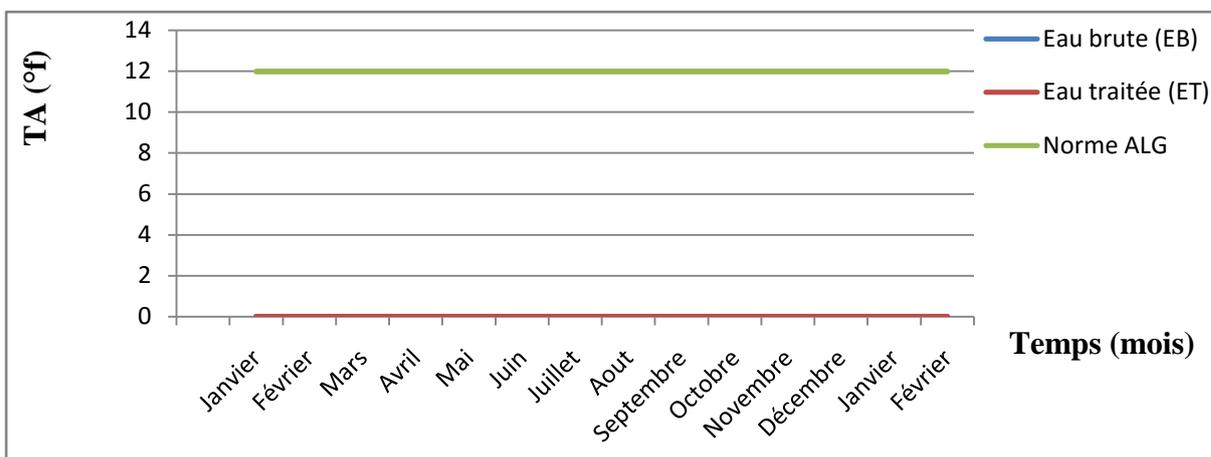


Figure IV.11. Evolution du titre alcalimétrique simple (TA) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020).

IV.3.9. Titre alcalimétrique complet (TAC)

La **figure IV.12** présente l'évolution du titre alcalimétrique complet en fonction des mois. L'analyse de ces résultats montre que toutes les valeurs de TAC de l'eau brute et l'eau traitée sont proches et varient entre (11,2-15,6 °f), le maximum est obtenu dans l'eau brute au cours du mois de février. Cette valeur dépasse la norme Algérienne qui est de 12 °f (**tableau 1-annexe**).

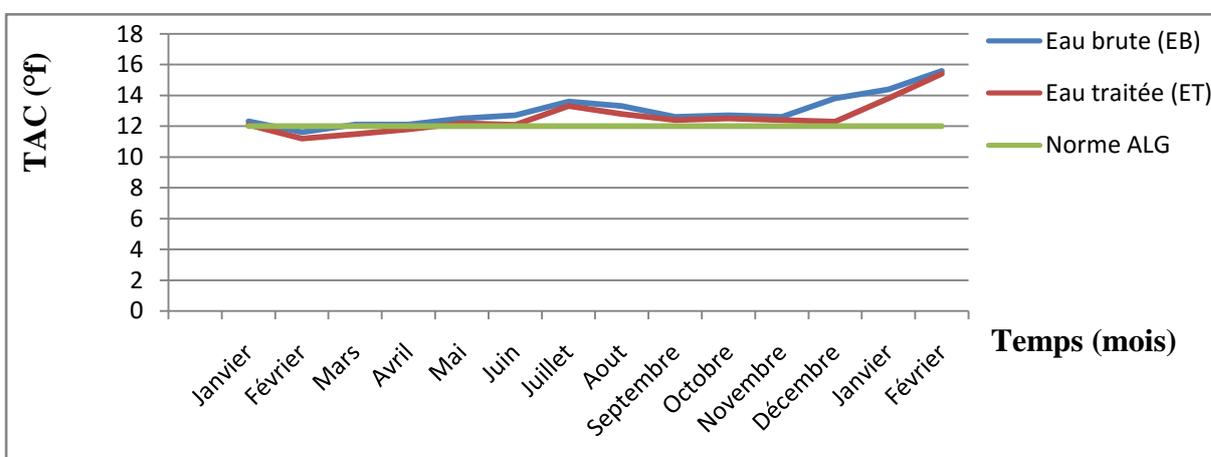


Figure IV.12. Evolution du titre alcalimétrique complet (TAC) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020).

IV.3.10. Bicarbonates (HCO_3^-)

La **figure IV.13** présente l'évolution des bicarbonates (mg/l) en fonction des mois. Les résultats d'analyses montrent que les valeurs des bicarbonates sont presque les mêmes pour l'eau brute et l'eau traitée, elles varient entre 136,6-190,3. Les résultats sont dans la norme Algérienne qui est de l'ordre de 500 (mg/l) (**tableau 1-annexe**).

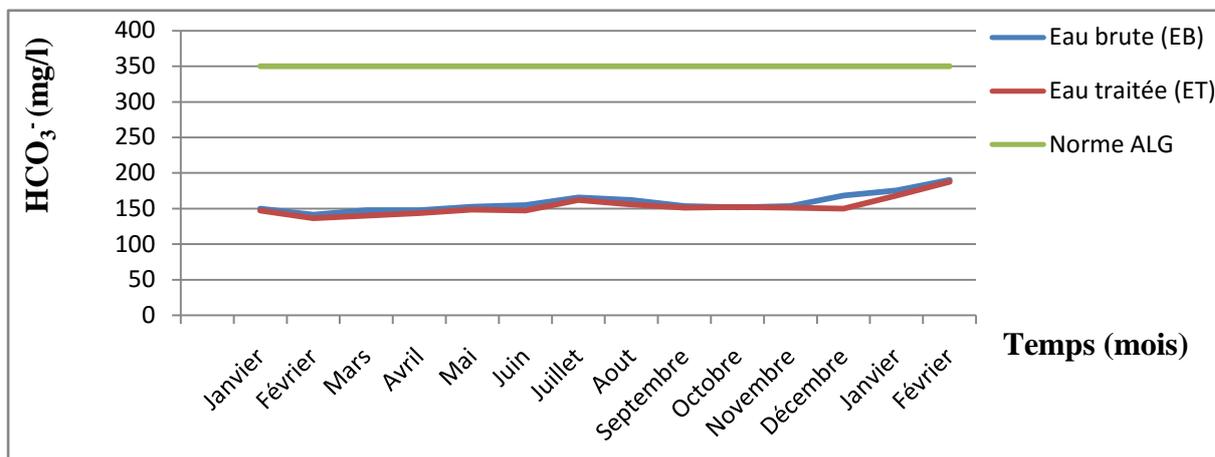


Figure IV.13. Evolution des bicarbonates (HCO_3^-) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020).

IV.3.11. Calcium (Ca^{2+})

La **figure IV.14** présente l'évolution du calcium (mg/l) en fonction des mois. Les résultats d'analyses montrent clairement que la teneur des ions de calcium est la même pour l'eau brute et l'eau traitée, elles varient entre 56,87 et 71,28 mg/l. Ces valeurs ne dépassent pas la norme Algérienne qui est de 200 mg/l (**tableau 1-annexe**).

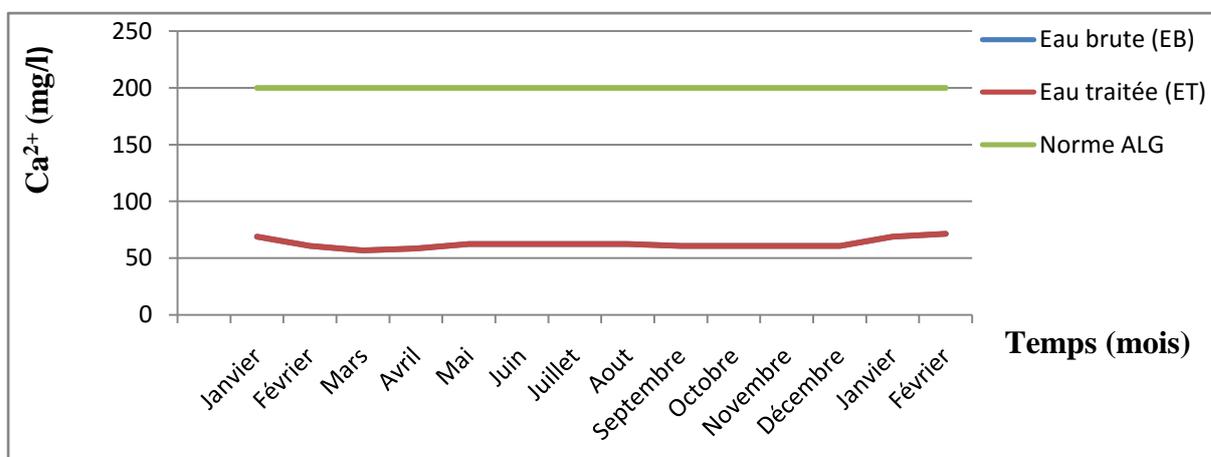


Figure IV.14. Evolution du calcium (Ca^{2+}) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020).

IV.3.12. Magnésium (Mg^{2+})

La **figure IV.15** présente l'évolution du magnésium (mg/l) en fonction des mois. Les résultats montrent que les valeurs des ions de magnésium des eaux brutes et traitées sont les mêmes, elles varient entre 17,01 et 23,81 mg/l. Ces valeurs ne dépassent pas la norme Algérienne qui est de 150 mg/l (**tableau 1-annexe**).

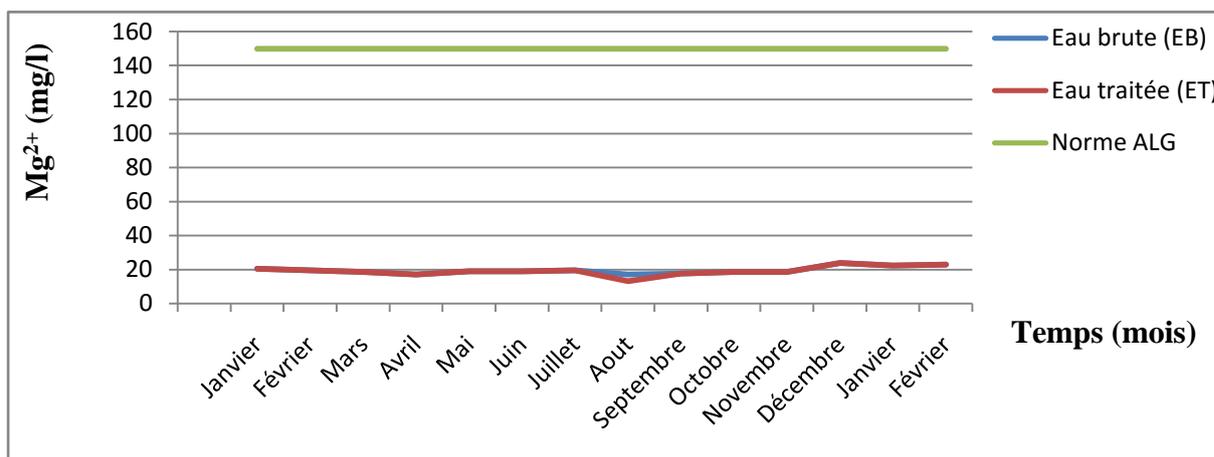


Figure IV.15. Evolution du magnésium (Mg^{2+}) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020).

IV.3.13. Chlorures (Cl^-)

La **figure IV.16** présente l'évolution des chlorures (mg/l) en fonction des mois. Les valeurs des ions chlorures contenus dans l'eau brute et l'eau traitée sont approximativement égales et varient entre deux valeurs 85,2 mg/l au cours des mois janvier et février 2019 et 71 de mars 2019 à février 2020 mg/l). Ces valeurs ne dépassent pas la norme Algérienne qui est de 500 mg/l (**tableau 1 -annexe**).

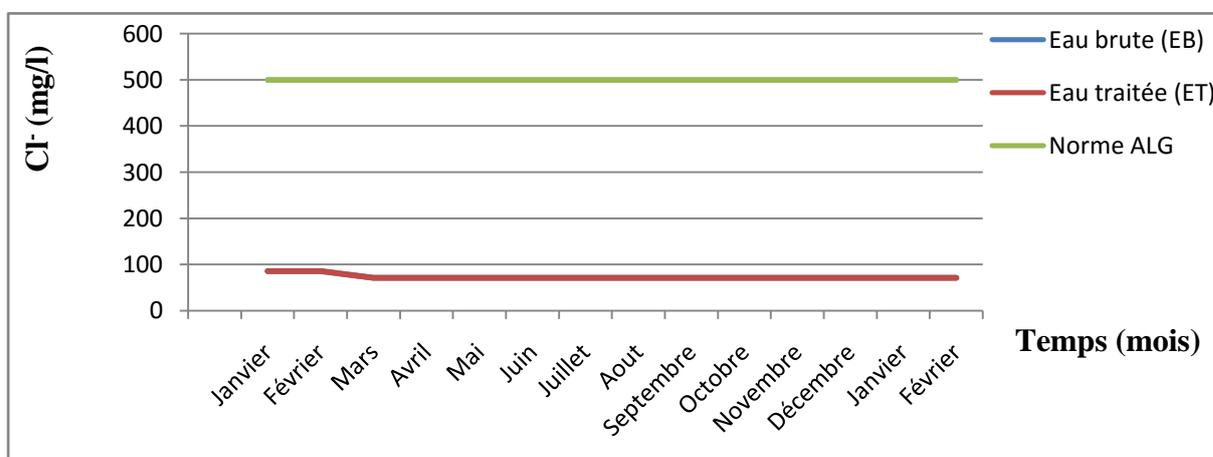


Figure IV.16. Evolution des chlorures (Cl^-) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020).

IV.3.14. Matières organiques (MO)

La **figure IV.17** présente l'évolution de la matière organique (mg/l) en fonction des mois. Les résultats montrent que la teneur des matières organiques de l'eau brute varie entre (5,4-8,3 mg/l), on note un maximum pendant le prélèvement de septembre de 8,3. Cette valeur dépasse la norme Algérienne qui est de l'ordre de 5 mg/l (**tableau 1-annexe**) d'où la nécessité de traitement. On montre une baisse remarquable suite à l'élimination des matières organiques, les valeurs varient entre 3,2 et 4,5.

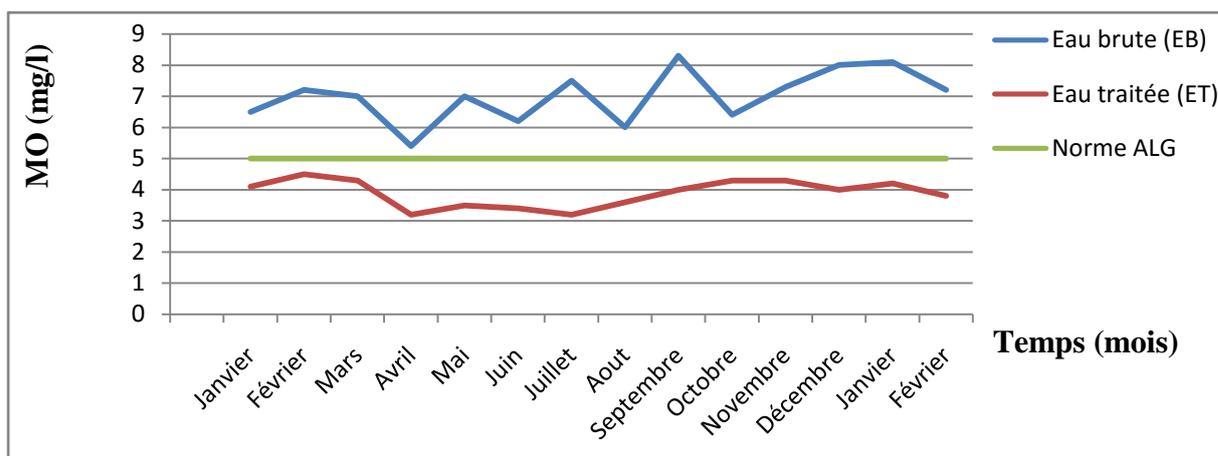


Figure IV.17. Evolution des matières organiques (MO) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020).

IV.3.15. Matières en suspension (MES)

La **figure IV.18** présente l'évolution des matières en suspension (mg/l) en fonction des mois. Les résultats montrent que la teneur des matières en suspension de l'eau brute varie entre (1-12 mg/l). On note un maximum pendant le prélèvement du février 2019 qui peut être expliqué par les fortes pluies mais cette valeur enregistrée ne dépasse jamais la norme Algérienne qui est de l'ordre de 30, puis elle diminue dans les autres mois. Après traitement cette teneur devient nulle.

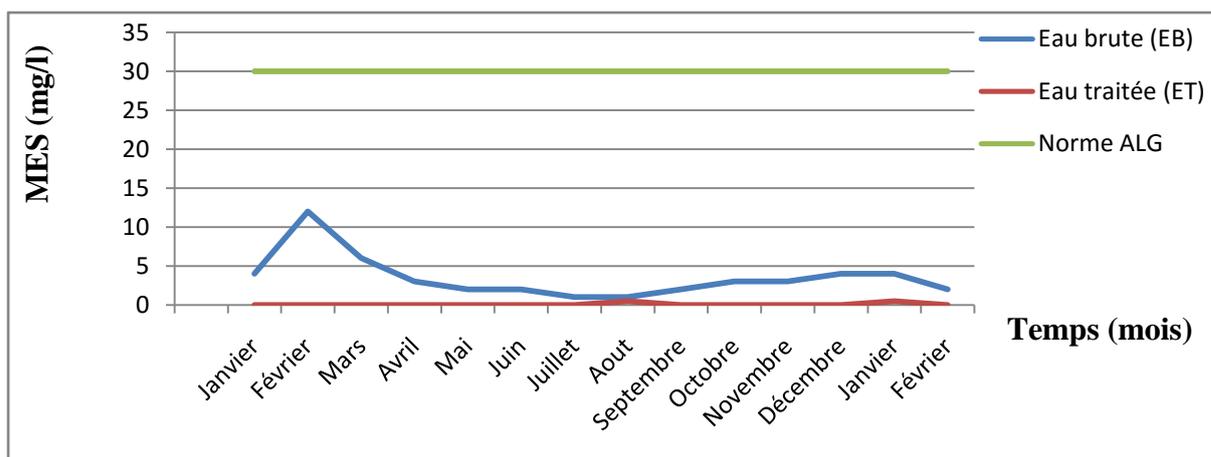


Figure IV.18. Evolution des matières en suspension (MES) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020).

IV.3.16. Résidu sec (RS)

La **figure IV.19** présente l'évolution des résidus secs (mg/l) en fonction des mois. Les résultats des résidus secs de l'eau brute et l'eau traitée sont très proches et acceptables et varient entre (356,5-512 mg/l). Ces valeurs ne dépassent pas la norme Algérienne qui est de 2000 mg/l (**tableau 1 -annexe**).

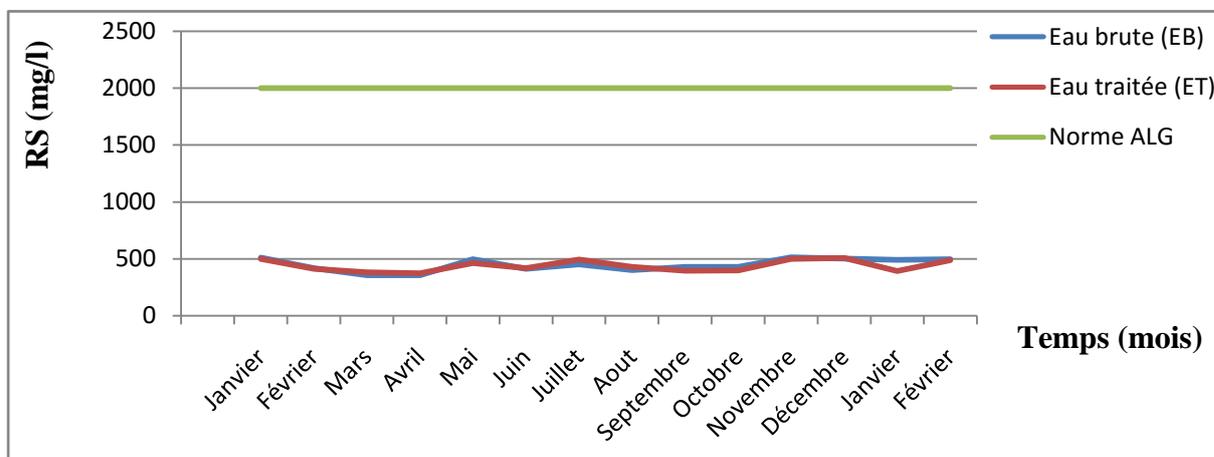


Figure IV.19. Evolution du résidu sec (RS) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020).

IV.3.17. Nitrites (NO_2^-)

La **figure IV.20** présente l'évolution des nitrites (mg/l) en fonction des mois. Les valeurs des nitrites oscillent entre 0 et 0,033 mg/l dans l'eau brute, on enregistre des teneurs trop élevées durant février 2019 mais cette valeur ne dépasse jamais la norme Algérienne 0,2 mg/l (**tableau 1-annexe**). Les teneurs diminuent d'une façon remarquable après traitement, on enregistre des teneurs nulles.

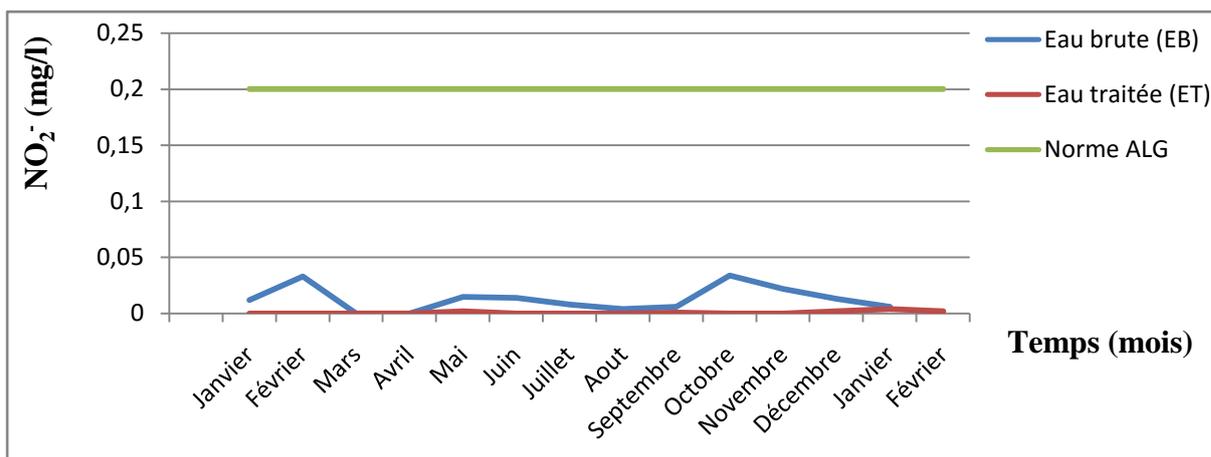


Figure IV.20. Evolution des nitrites (NO_2^-) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020).

IV.3.18. Ammonium (NH_4^+)

La **figure IV.21** présente l'évolution de l'ammonium (mg/l) en fonction des mois. Les résultats de concentration d'ammonium varient de 0 à 0,137 mg/l pour l'eau brute alors qu'elle est nulle pour l'eau traitée pendant tout les mois cela explique l'efficacité de traitement. La valeur maximale enregistrée ne dépasse pas la norme Algérienne 0,5 mg/l (**tableau 1-annexe**).

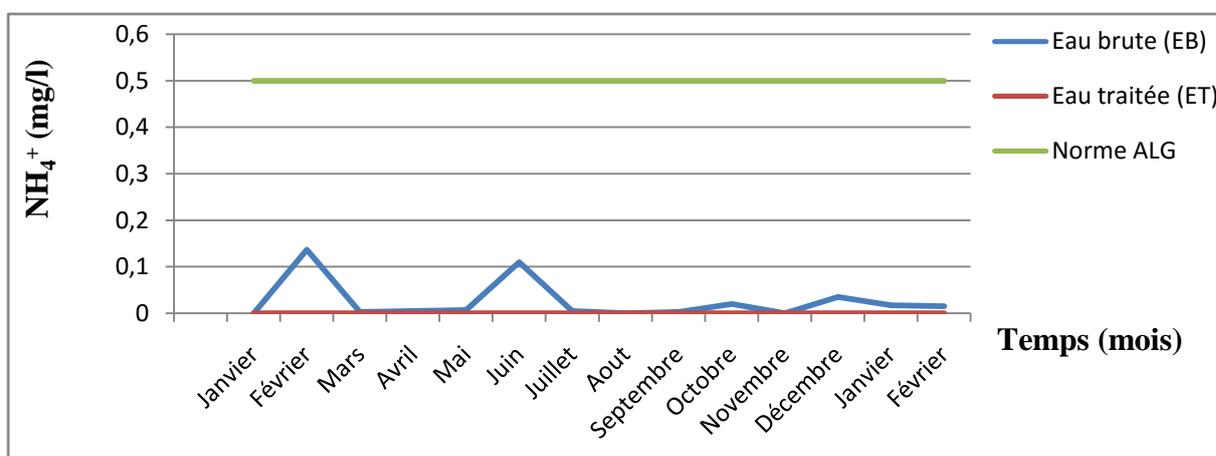


Figure IV.21. Evolution de l'ammonium (NH_4^+) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020).

IV.3.19. Nitrates (NO_3^-)

La **figure IV.22** présente l'évolution des nitrates (mg/l) en fonction des mois. Nous constatons que les valeurs des nitrates dans l'eau brute et l'eau traitée sont proches et varient entre (1,096-3,811mg/l). Ces valeurs sont dans la norme Algérienne 50 mg/l (**tableau 1-annexe**).

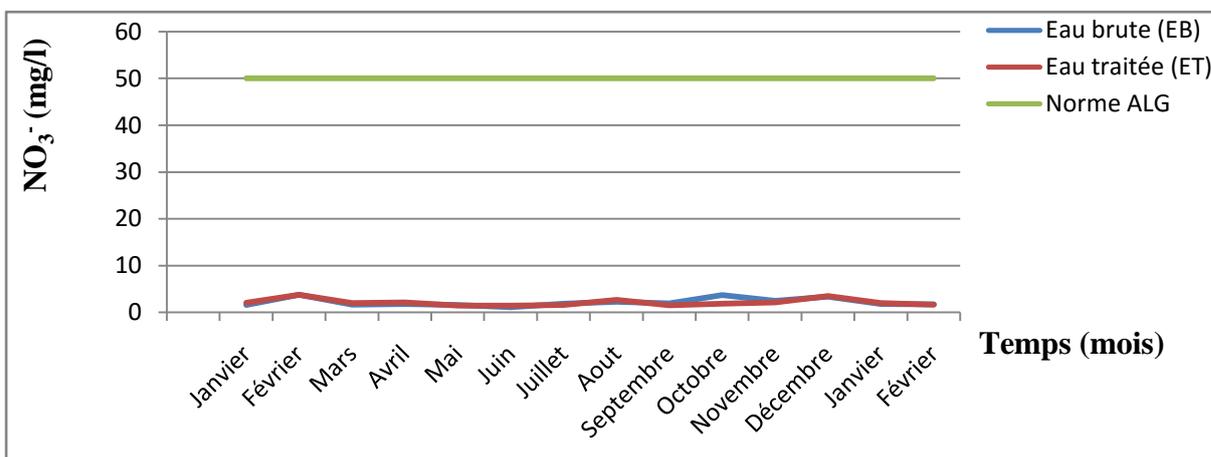


Figure IV.22. Evolution des nitrates (NO_3^-) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020).

IV.3.20. Sulfates (SO_4^{2-})

La **figure IV.23** présente l'évolution des sulfates (mg/l) en fonction des mois. Nous constatons que l'eau traitée est un peu plus chargée en sulfates que l'eau brute, les valeurs des sulfates varient entre (61,5-150,5 mg/l) dans l'eau brute et entre (49-132,52 mg/l) dans l'eau traitée. Ces valeurs restent toujours dans les normes (**tableau 1-annexe**).

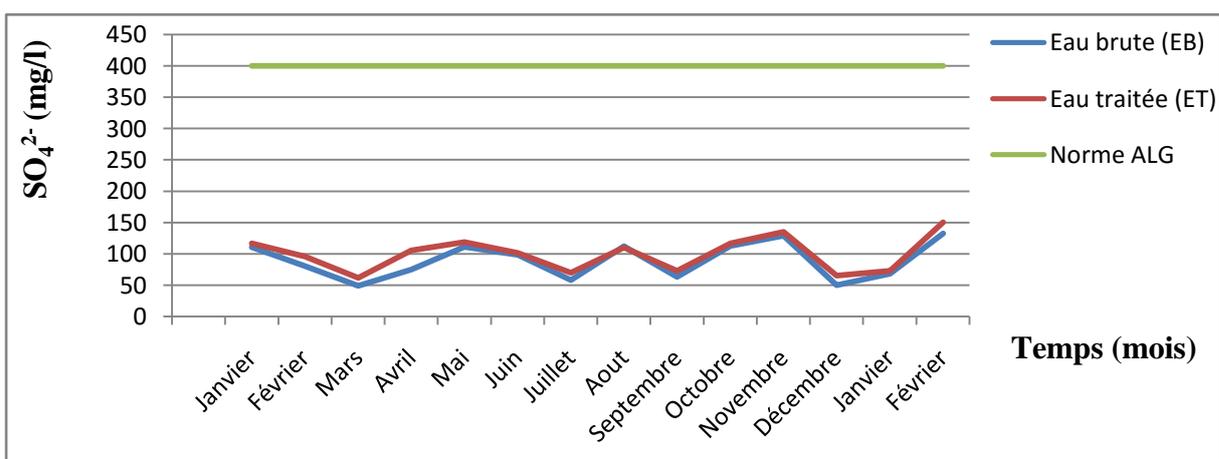


Figure IV.23. Evolution des sulfates (SO_4^{2-}) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020).

IV.3.21. Phosphates (PO_4^{3-})

La **figure IV.24** présente l'évolution des phosphates (mg/l) en fonction des mois. Les résultats montrent que l'eau brute est plus chargée en phosphates que l'eau traitée. Les valeurs oscillent entre 0 et 0,692 mg/l dans l'eau brute, la valeur maximale est enregistrée durant décembre 2019. Elle dépasse la norme Algérienne 0,5 mg/l. Suite aux traitements nous pouvons constater une diminution significative des phosphates pour atteindre des valeurs de 0 à 0,064 mg/l qui sont dans la norme Algérienne de 0,5 mg/l (**tableau 1-annexe**).

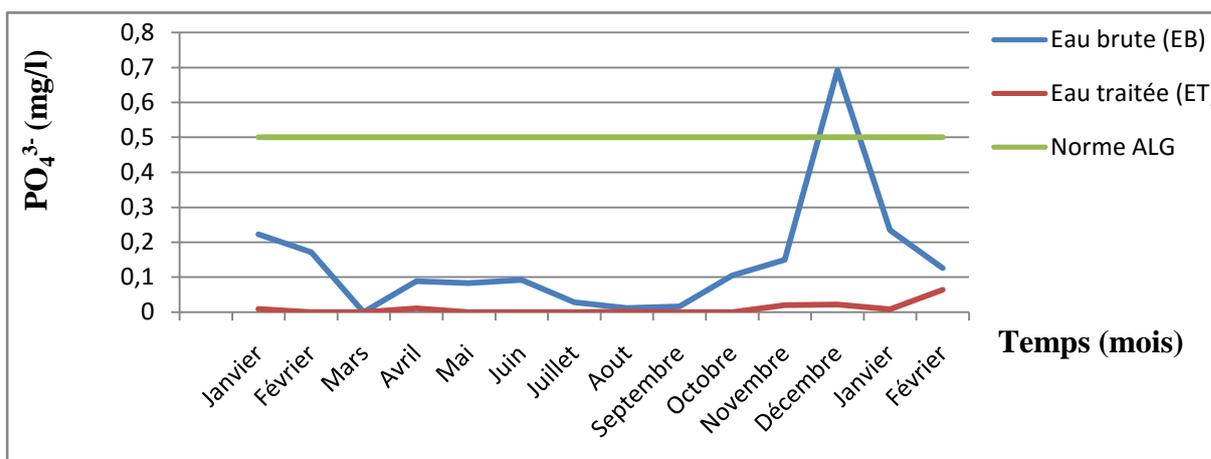


Figure IV.24. Evolution des phosphates (PO_4^{3-}) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020).

IV.3.22. Fer (Fe^{2+})

La **figure IV.25** présente l'évolution du fer (mg/l) en fonction des mois. Les valeurs des ions ferreux (Fe^{2+}) sont acceptables pour l'eau brute et traitée parce qu'elles ne dépassent pas la norme Algérienne de 0,3 mg/l (**tableau 1-annexe**). Les valeurs des ions ferreux (Fe^{2+}) dans l'eau brute varient entre (0-0,29 mg/l), après traitement ces valeurs diminuent et oscillent entre (0-0,06 mg/l) à cause de l'efficacité de traitement.

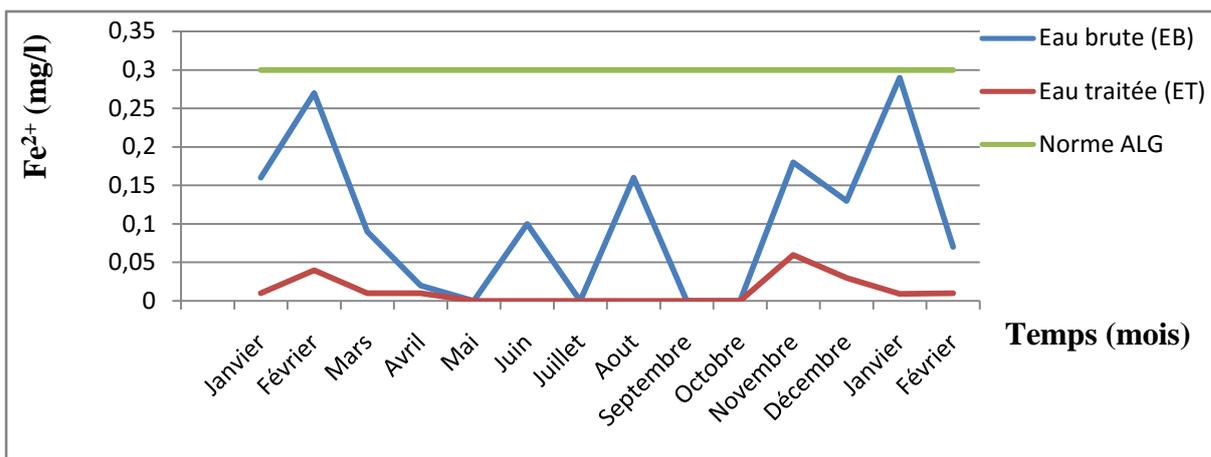


Figure IV.25. Evolution du fer (Fe^{2+}) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020).

IV.3.23. Aluminium (Al^{3+})

La **figure IV.26** présente l'évolution des ions aluminium (Al^{3+}) (mg/l) en fonction des mois. Les résultats montrent l'absence des ions aluminium (Al^{3+}) dans l'eau brute. Cependant, ces derniers apparaissent dans les eaux traitées et leur valeur est entre 0,15-0,4 mg/l. Les résultats des mois de février, mars, septembre et novembre 2019 dépassent la norme Algérienne qui est de 0,2 mg/l (**tableau 1 -annexe**). Cette présence est due à l'addition des sulfates d'alumine dans l'étape de coagulation.

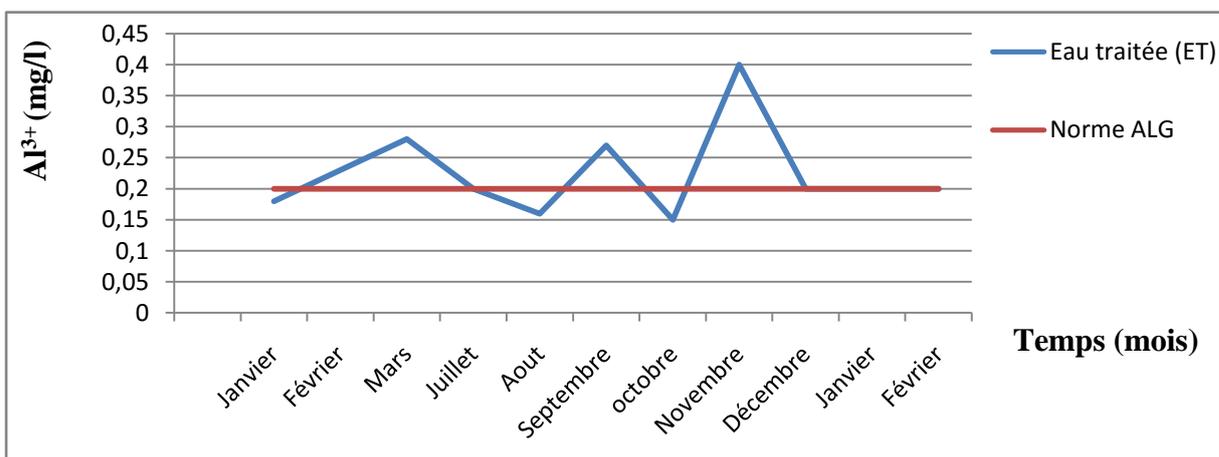


Figure IV.26. Evolution d'aluminium (Al^{3+}) en fonction des mois pour l'année 2019- 2020.

IV.4. Résultats et discussion des paramètres bactériologiques

Les résultats d'analyses bactériologiques d'eau obtenus selon les modes opératoires décrits dans le chapitre III, sont rapportés dans les tableaux (IV.6-IV.7) et les figures (IV.27-IV.31) de l'eau brute et traitée de barrage Bouhamdane de Hammam Debagh-Guelma.

Tableau IV.6. Résultats des analyses bactériologiques pour les mois (Janvier 2019 à Juillet 2019).

| Date de prélèvement | | Janvier | | Février | | Mars | | Avril | | Mai | | Juin | | Juillet | |
|-----------------------------|----------------|------------|-------------|------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|
| L'eau de barrage Bouhamdane | | Brute (EB) | Traitée(ET) | Brute (EB) | Traitée(ET) | Brute(ET) | Traitée(ET) | Brute(EB) | Traitée(ET) | Brute(EB) | Traitée(ET) | Brute(EB) | Traitée(ET) | Brute(EB) | Traitée(ET) |
| Paramètres bactériologiques | GT (UFC/ml) | 86 | 00 | >300 | 00 | 165 | 00 | 75 | 00 | 64 | 00 | 75 | 00 | 26,5 | 00 |
| | CT (UFC/100ml) | 17 | 00 | 138 | 00 | 16 | 00 | 09 | 00 | 06 | 00 | 16 | 00 | 02 | 00 |
| | CF (UFC/100ml) | 00 | 00 | 138 | 00 | 16 | 00 | 09 | 00 | 06 | 00 | 16 | 00 | 02 | 00 |
| | SF (UFC/100ml) | 00 | 00 | 86 | 00 | 14 | 00 | 11 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |
| | ASR (UFC/20ml) | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |

Tableau IV.7. Résultats des analyses bactériologiques pour les mois (Aout 2019 à Février 20120).

| Date de prélèvement | | Aout | | Septembre | | Octobre | | Novembre | | Décembre | | Janvier | | Février | |
|-----------------------------|----------------|------------|-------------|------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|
| L'eau de barrage Bouhamdane | | Brute (EB) | Traitée(ET) | Brute (EB) | Traitée(ET) | Brute(ET) | Traitée(ET) | Brute(EB) | Traitée(ET) | Brute(EB) | Traitée(ET) | Brute(EB) | Traitée(ET) | Brute(EB) | Traitée(ET) |
| Paramètres bactériologiques | GT (UFC/ml) | 239,5 | 00 | 228,6 | 00 | 36 | 00 | 225 | 00 | 141,5 | 00 | 145 | 00 | 125 | 00 |
| | CT (UFC/100ml) | 08 | 00 | 15,66 | 00 | 07 | 00 | 96 | 00 | 106 | 00 | 26 | 00 | 05 | 00 |
| | CF (UFC/100ml) | 08 | 00 | 15,66 | 00 | 00 | 00 | 96 | 00 | 106 | 00 | 26 | 00 | 00 | 00 |
| | SF (UFC/100ml) | 00 | 00 | 04 | 00 | 00 | 00 | 15 | 00 | 00 | 00 | 05 | 00 | 00 | 00 |
| | ASR (UFC/20ml) | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |

IV.4.1. Germes totaux (GT)

La **figure IV.27** présente l'évolution des germes totaux en fonction des mois. Les résultats montrent que la charge bactérienne pour les eaux brutes varie de manière très importante. La charge bactérienne la plus élevée est enregistrée pendant le mois de février (>300 UFC/100ml) et les plus basses sont notées au cours du mois de octobre (36 UFC/100 ml).

Le dénombrement de ces bactéries pour l'eau traitée est nul ce qui explique l'efficacité du traitement réalisé et la bonne acceptabilité pour la consommation.

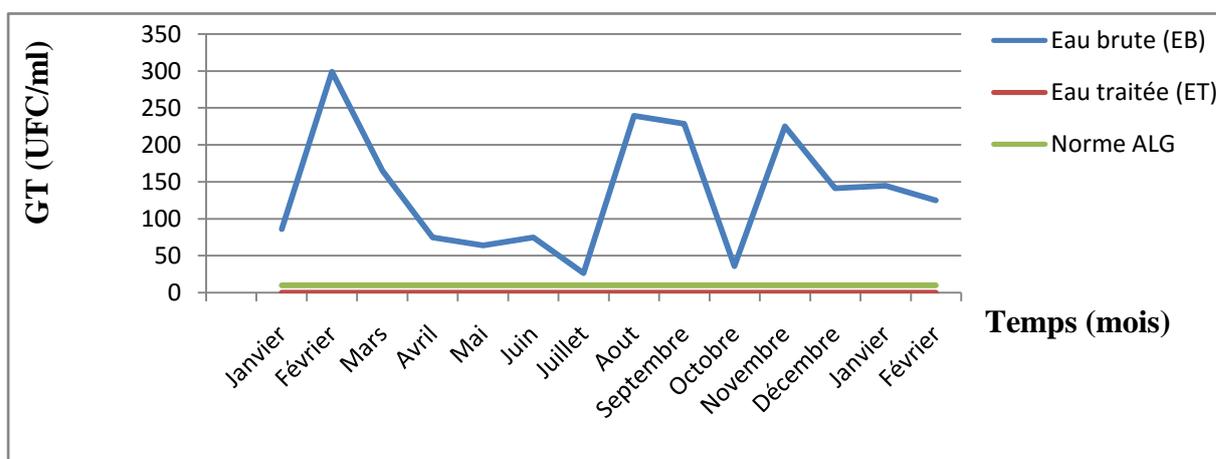


Figure IV.27. Evolution des germes totaux (GT) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020).

IV.4.2. Coliformes totaux (CT)

La **figure IV.28** présente l'évolution des coliformes totaux en fonction des mois. Les résultats montrent des différences très significatives entre l'eau brute et l'eau traitée. Pour les eaux brutes, la charge bactérienne varie de manière très importante entre (2 et 138 UFC/100 ml), la charge bactérienne la plus élevée est enregistrée pendant le mois de février 138 UFC/100 ml et les plus basses sont notées au cours du mois de juillet 2 UFC/100ml.

Le dénombrement de ces bactéries pour l'eau traitée est nul autrement dit ne dépasse pas la norme Algérienne (**tableau 2-annexe**) qui fixe des concentrations maximales admissibles de 00 UFC/100 ml ce qui explique la bonne acceptabilité pour la consommation.

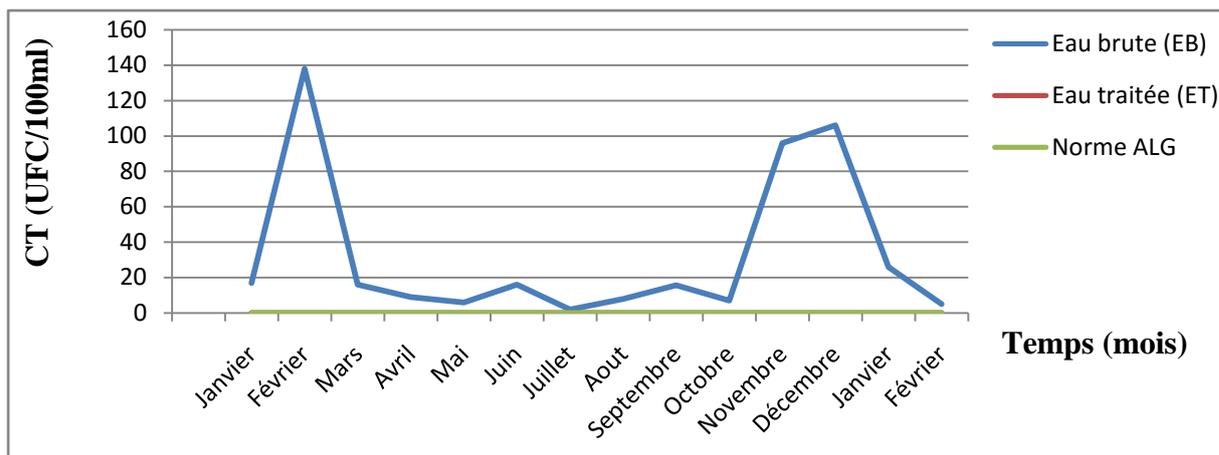


Figure IV.28. Evolution des coliformes totaux (CT) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020).

IV.4.3. Coliformes fécaux (CF)

La **figure IV.29** présente l'évolution des coliformes fécaux en fonction des mois. Les résultats montrent des différences très significatives entre l'eau brute et l'eau traitée. Pour les eaux brutes, la charge bactérienne varie de manière très importante entre les deux mois, dont la plus élevée est enregistrée pendant le mois de février (138 UFC/100 ml) et nul au cours du mois de janvier, octobre 2019 et février 2020 (00 UFC/100 ml).

Le dénombrement de ces bactéries pour l'eau traitée est nul autrement dit ne dépasse pas la norme Algérienne (**tableau 2-annexe**) qui fixe des concentrations maximales admissibles de 00 UFC/100 ml ce qui explique la bonne acceptabilité pour la consommation.

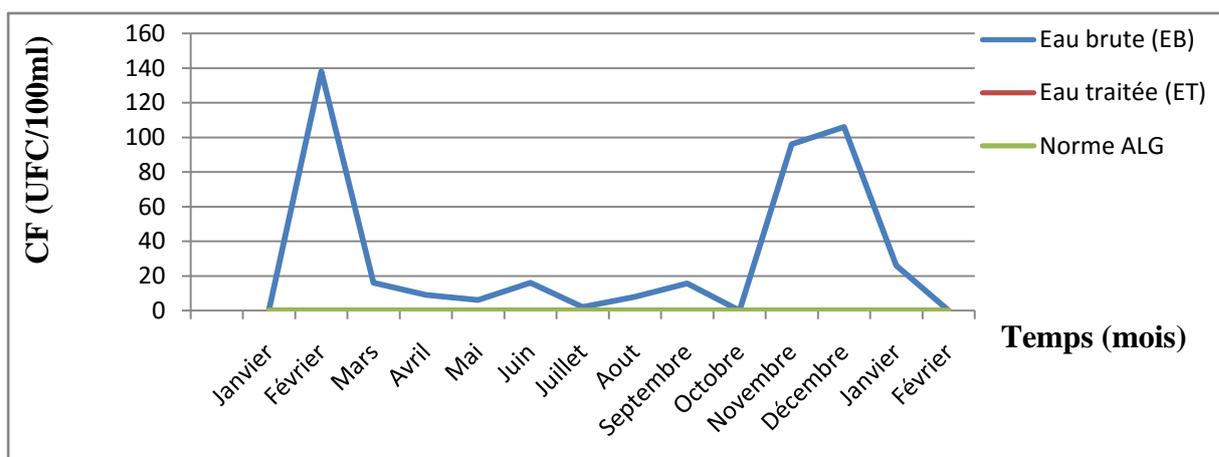


Figure IV.29. Evolution des coliformes fécaux (CF) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020).

IV.4.4. Streptocoques fécaux (SF)

La **figure IV.30** présente l'évolution des streptocoques fécaux en fonction des mois. Les résultats de dénombrement montrent que la teneur en streptocoques fécaux est élevée dans le mois de février lors du prélèvement de l'eau brute (86 UFC/100 ml) tandis qu'une absence totale est notée pour quelques mois. Le dénombrement de ces bactéries pour l'eau traitée est nul ce qui explique l'efficacité du traitement réalisé.

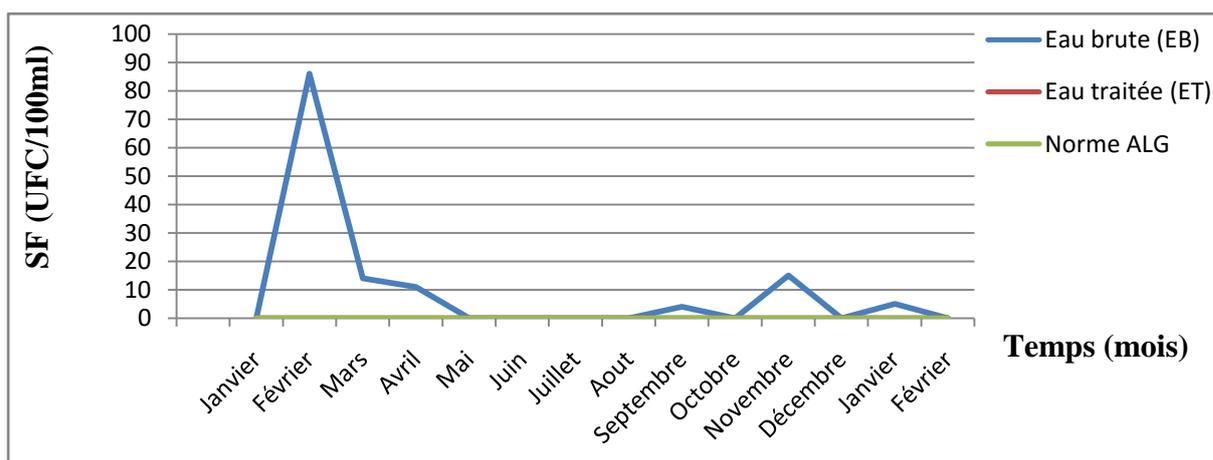


Figure IV.30. Evolution des streptocoques fécaux (SF) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020).

IV.4.5. Anaérobies sulfito-réducteurs (ASR)

La **figure IV.31** présente l'évolution des sulfito-réducteurs (ASR) en fonction des mois. On remarque l'absence totale des anaérobies sulfito-réducteurs dans l'eau traitée et l'eau brute.

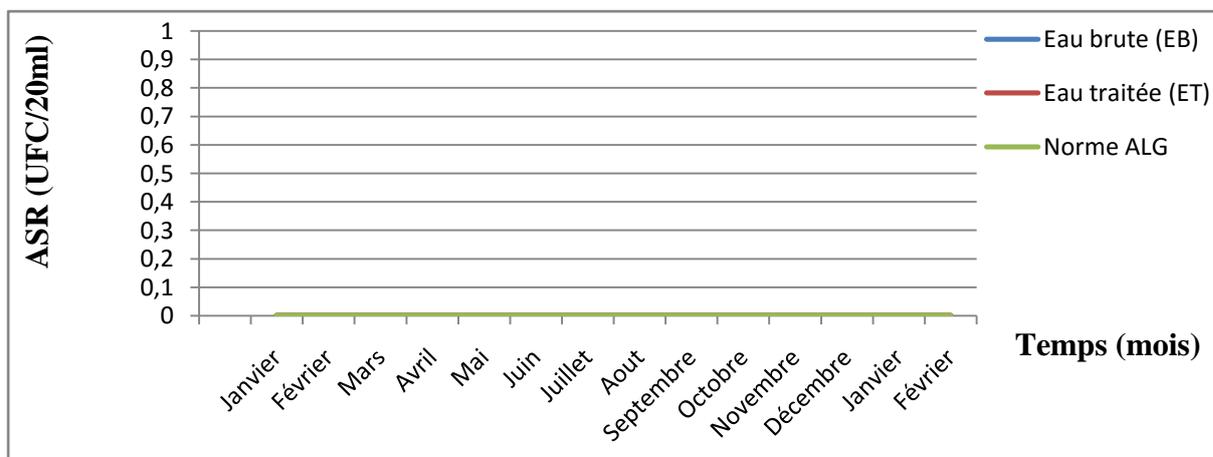
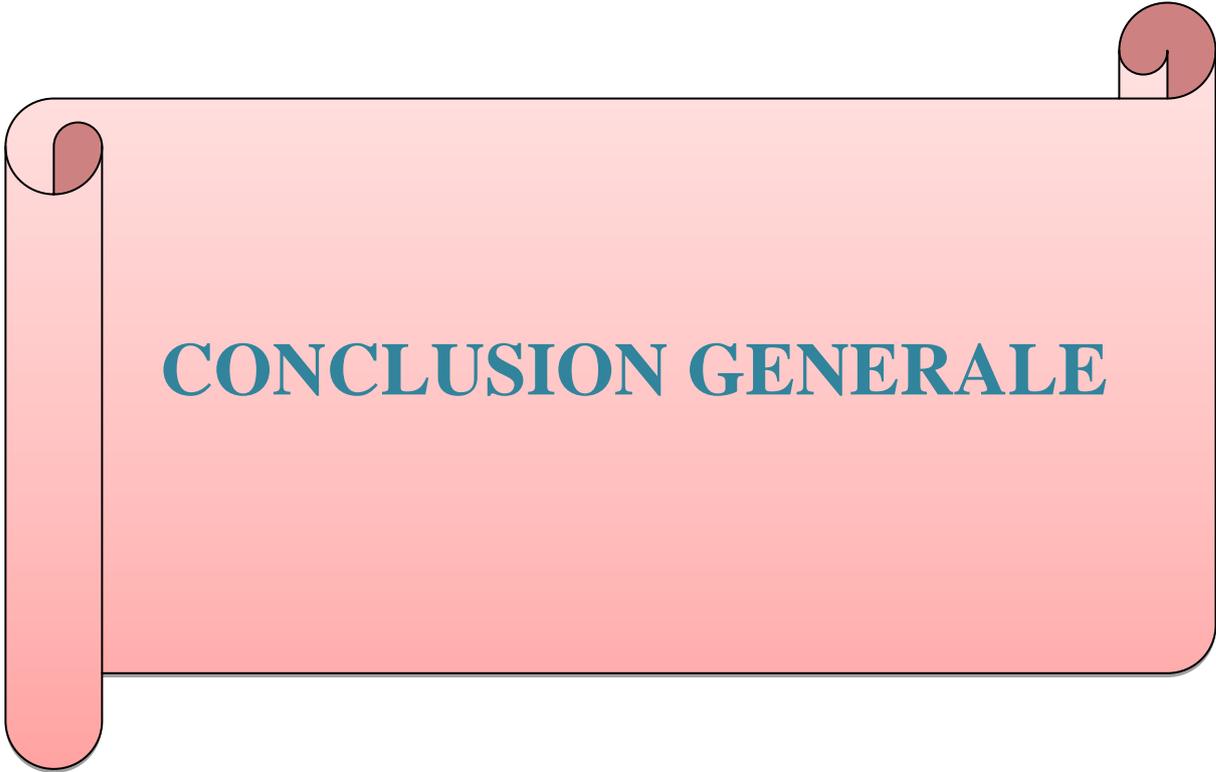


Figure IV.31. Evolution des anaérobies sulfito-réducteurs (ASR) en fonction des mois (Janvier 2019 à Février 2020).



CONCLUSION GENERALE

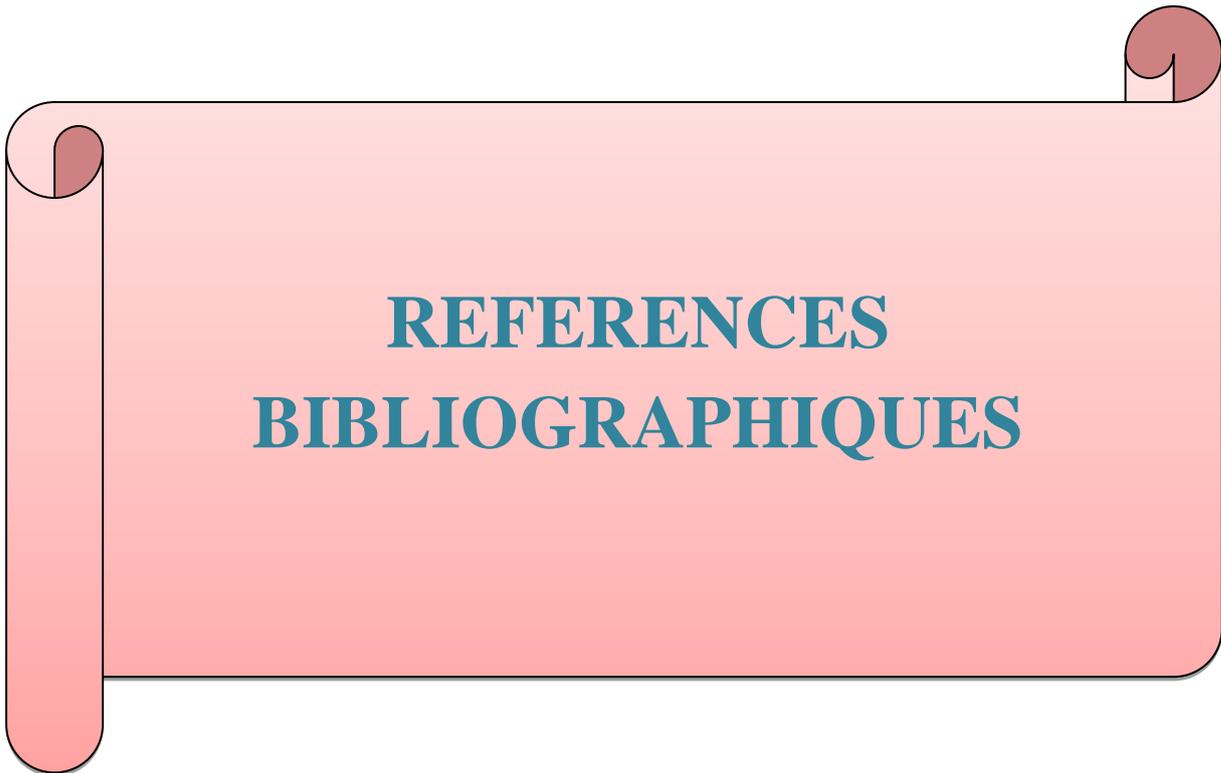
L'eau est la base de la vie et est utilisée par l'homme dans toutes ses activités. Elle peut contenir des substances polluantes ou procurant des désagréments lors de son utilisation, c'est pourquoi, elle a besoin d'être traitée.

Notre travail a été réalisé au sein de la station des traitements des eaux de Hammam Debagh à Guelma. Nous avons étudié les étapes de traitement appropriées aux eaux brutes du barrage de Hammam Debagh (pré-chloration, coagulation-floculation, décantation, filtration, stockage). Nous avons effectué l'essai de break-point afin de déterminer la dose optimale du désinfectant et par la suite l'essai de jar-test permettant de déterminer les doses optimales du coagulant et du floculant. Aussi nous avons mesuré et analysé les différents paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux brutes et traitées durant les mois de (Janvier 2019 à Février 2020).

Les résultats d'analyses physicochimiques nous ont permis de tirer plusieurs conclusions nous pouvons citer quelques une : sur le plan organoleptique les eaux traitées sont des eaux claires et sur le plan des paramètres physicochimiques, l'eau brute du barrage de Hammam Debagh est de bonne qualité elle a besoin d'un traitement simple, mais elle ne peut être consommée directement sans traitement. Car il y'a des paramètres qui dépassent les normes exigées par l'OMS et celle de la législation Algérienne comme la turbidité et la matière organique. Pour l'eau traitée tous les résultats obtenus confirment clairement la bonne qualité à la consommation humaine. Ainsi l'eau du barrage de Hammam Debagh constitue des bonnes réserves pour l'approvisionnement en eau potable de la région.

Les résultats d'analyses bactériologiques ont révélés que les eaux brutes sont contaminées par les germes totaux, les coliformes totaux, les coliformes fécaux, les streptocoques fécaux, et ni par les anaérobies sulfite-réducteurs. Ces germes n'ont pas été détectés au niveau des eaux traitées grâce au bon rendement du procédé de traitement de la station de Hammam Debagh.

A la lumière de cette étude nous pouvons confirmer que l'eau de consommation de la wilaya de Guelma est de bonne qualité ce qui indique l'efficacité du traitement.



REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- [1] **Chrif L**, L'influence de la coagulation– floculation et décantation sur le pré-traitement des eaux saumâtres, Hydraulique, Master, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, 2012, P 3-11.
- [2] **Chelli L, Djouhri N**, Analyses des eaux de réseau de la ville de Bejaia et évaluation de leur pouvoir entartrant, Génie Chimique, Master, Université Abderrahmane Mira, Bejaia, 2013, P 6-14.
- [3] **Bakhouche N, Zemouri A**, Traitement et analyse de l'eau de barrage de Hammam Debagh et étude comparative avec quelques eaux minérales naturelles mises sur le marché Algérien, Analyse, Master, Université 8 Mai 1945, Guelma, 2007, P 5.
- [4] **Bdjadj N**, Analyse du système de production d'eau potable ainsi que sa gestion et son exploitation au niveau de la wilaya de Bejaia, Hydraulique, Master, Université Abderrahmane Mira, Bejaia, 2017, P 1-6.
- [5] **Ben attallah H, Daoudi M**, Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux du barrage Ouled Mellouk wilaya de Ain Defla, Gestion des ressources en eau et environnement, Master, Université Djillali Bounaama, Khemis Miliana, 2017, P 2.
- [6] <https://rques.ca/les-eaux-souterraines/>
- [7] **Kouadri I**, Analyse physico-chimique des eaux de différentes origines, Génie des procédés, Master, Université 8 Mai 1945, Guelma, 2013, P 6-7.
- [8] **Aouissi L, Merabti W**, Eau: étude physico-chimique et bactériologique et développement d'un système de traitement (membrane à base de charbon actif), Genie des procédés, Master, Université 8 Mai 1945, Guelma, 2019, P 9-32.
- [9] **Moulai Hadj H**, Etude de l'influence des particules argileuses sur le traitement des eaux, Hydraulique, Master, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, 2015, P 6-14.
- [10] <https://www.cieau.com/connaitre-leau/connaitre-leau/les-proprietes-de-leau/>
- [11] <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>
- [12] **Claude Boeglin J**, Propriétés des eaux naturelles, Techniques de l'ingénieur G1110, 2001, Editions T.I. Paris – France.
- [13] **Eckenfelder**, Gestion des eaux usées urbaines et industrielles, 1982, Edition Lavoisier, Paris, P 503.
- [14] **Chaibi M, Khedoussi F**, Etude de la qualité des eaux du barrage Tichih Haf : Les algues bioindicatrices, Biologie de l'environnement, Master, Université Abderrahmane Mira, Bejaia, 2011, P 3-4.

Références bibliographiques

- [15] **Khattab N, Chemmam F**, Impactes des barrages et des retenues collinaires sur la qualité des eaux de surface du bassin versant d'Oued d'Hous, Eau, santé et environnement, Master, Université Akli Mohand Oulhadj, Bouira, 2017, P 6-7.
- [16] **Ferhat A, Tagherbit W**, Analyses des eaux superficielles de la rivière de Boulzazene, procédé de traitement, Chimie Analytique, Master, Université Abderrahmane Mira, Bejaia, 2018, P 8-12.
- [17] **Imkan F**, Les étapes de traitement des eaux et contrôle de qualité, Génie chimique, Licence, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fes, 2016, P11-21.
- [18] **Attia A, Ghezali L**, Analyses physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage "Ain Zada" Bordj Bou Arreridj, Biologie, Master, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi, Bourdj Bou Ariridj, 2015, P 5-12.
- [19] **Belaid S, Redjimi M**, Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de Barrage Zit-Emba wilaya de Skikda, Biologie, Master, Université 8 mai 1945, Guelma, 2013, P 25.
- [20] **Aggoune K, Bouchemel N**, Analyses des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux du barrage Bouhamdane de Hammam Debagh et des quatre forages de la nappheyratique d'Oued El Maiz-Guelma, Master, Université 8 Mai 1945, Guelma 2019, P10-14.
- [21] **Bouzidi S, Chelih Z**, Caractérisation physico-chimique et bactériologique avant et après traitement de l'eau du barrage de Hammam Debagh-Guelma, Master, Université 8 Mai 1945, Guelma, 2017, P 10-11.
- [22] **Mouaz N, Bentchich K**, Caractérisation physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de l'Oued de Cheliff, Master, Université de Khemis-Miliana, Khemis-Miliana, 2017, P 9-15.
- [23] Ministère de la santé, Fondation Nationale de la Santé (FUNASA), Manuel Pratique d'analyse de l'eau, 4^{ème} édition, Brasilia, 2013, P 59.
- [24] **Aouissi A**, Microbiologie et physico-chimie de l'eau des puits et des sources de la région de Guelma (Nord-Est de l'Algérie), Magister, Université 8 mai 1945, Guelma, 2010, P 82-83.
- [25] **Alloune M, Gouader Y**, Contrôle de qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de la région de Bordj Bou Aréridj, Master, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi, Bordj Bou Aréridj, 2013, P 10-11.
- [26] **Gharbi I, Gharbi N**, Etude physico-chimique par boue activée et par électrocoagulation-application aux eaux usées de Guelma, Master, Université 8 mai 1945, Guelma, 2019, P 18.

Références bibliographiques

- [27] **Bouchemal M, Hammoudi A**, Analyse de la qualité des eaux de la station de traitement de Hammam Debagh, Master, Université Larbi Ben M'hidi, Oum El Bouaghi, 2016, P 16-28.
- [28] **Hemiche M, Hichar R, Houichi I**, Contribution à l'étude de la contamination des eaux souterraines à usage agricole par les nitrates dans la plaine de Bousàada (Sud-Est Algérien), Science agronomique, Master, Université Mohamed Boudiaf, M'sila, 2018, P 10.
- [29] **Benalioua B**, Contribution à l'étude de l'élimination de quelques polluants minéraux et organiques par adsorption et photocatalyse, Génie des procédés, Thèse de doctorat, Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, 2011, P 7-9.
- [30] <https://www.europaz.fr/blog-eau/pollution-eau-et-risques-sante/>
- [31] <file:///C:/Users/nour/Desktop/memoire/chapitreIII/Traitementsconventionnelsdeseauxnaturelles.pdf>
- [32] <https://ft.univtlemcen.dz/assets/uploads/pdf/departement/hyd/traitement%20et%20C3%A9puration%20de%20leau%20L3%20Hyd.pdf>
- [33] **Messioud B, Merabti A**, Traitement des eaux de surface à la conserverie Amor Ben Amor El-Fedjoudj Geulma, Hydraulique, Master, Université 8 Mai 1945, Guelma, 2015, P 15-33.
- [34] <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/book/export/html/2370>
- [35] <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/book/export/html/2371>
- [36] <http://www.filtramas.com/fr/catalogue/grilles-mobiles/micro-tamis/>
- [37] <https://ft.univtlemcen.dz/assets/uploads/pdf/departement/hyd/Traitement%20de%20leau%20M1%20TTE.pdf>
- [38] **Boudeffa M**, Procédures de traitement et dimensionnement de l'extension de la station de traitement de Bouhamdene, Hydraulique, Master, Université 8 Mai 1945, Guelma, 2015, P 18-29.
- [39] Cahier de laboratoire de la station de traitement des eaux de Hammam Debagh ADE -Unité de Guelma.
- [40] **Boubidi W, Fardjallah S, Saaidia N**, Traitement et critères de potabilité de l'eau (les normes), Biologie, Université 8 Mai 1945, Guelma, 2007, P 9.
- [41] https://www.researchgate.net/figure/Predominance-des-formes-du-chlore-dans-leau-en-fonction-du-pH_fig2_332275281
- [42] <http://piscine.loisirs.free.fr/chlore.htm>
- [43] <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:MkOrXd9XH4J:https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/publications/vie-saine/recommandations-pour-qualite-eau>

Références bibliographiques

- potable-canada-document-technique-ammoniac/page-8-recommandations-pour-qualite-eau-potable-canada-document-technique-ammoniac.html+&cd=2&hl=fr&ct=clnk&gl=dz
- [44] <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/content/2012-g03/phase-3-desinfection>
- [45] <https://www.suezwaterhandbook.fr/procedes-et-technologies/traitement-des-eaux-potables/filieres-de-traitement-des-eaux-de-surface/la-clarification>
- [46] <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/beiepe/book/export/html/398>
- [47] https://www.emse.fr/~brodhag/TRAITEME/fich9_13.htm
- [48] <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0304/optsee/bei/5/binome4/decant.htm#haut%20de%20page>
- [49] <https://www.lenntech.fr/adsorption.htm>
- [50] <https://www.trevi-env.com/fr/eau-realizations/eau-overzicht/129-eau-techniekfiches-fr/265-filtration-sur-membranes>
- [51] <http://www.lms-water.com/solutions/desinfection-de-l-eau/>
- [52] <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0304/optsee/bei/5/binome5/avapro/avapro4.htm>
- [53] **Reggam A**, Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux potables. Cas de la station de traitement de Hammam Debagh-Guelma, Biochimie microbiologie appliquée, Master, Université 8 Mai 1945, Guelma, 2010, P 24.
- [54] **Cherifi Y**, Caractérisation physico-chimique des eaux traitées: Cas de la station de Hammam Debagh-Guelma, Sciences de la nature et la vie, Master, Université 8 Mai 1945, Guelma, 2018, P 21-24.
- [55] **Chaouch R, Moumed S, Mebarki F**. Suivi de quelques paramètres physicochimique et bactériologique dans les eaux du barrage et de l'Oued de Bouhamdane, Diplôme d'ingénieur d'Etat, Université 8 Mai 1945, Guelma, 2009, P 13.
- [56] https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%88%D9%84%D8%A7%D9%8A%D8%A9_%D9%82%D8%A7%D9%84%D9%85%D8%A9?fbclid=IwAR1mHknIu43ngITlrIzzGwaqVhBa5K_JvnsXcTLBbNVNwqKjpU6X3sU5YYY
- [57] https://d-maps.com/carte.php?num_car=185708&lang=ar&fbclid=IwAR3e0062h-bk7QnzkUzdJ28Fv6rAykdoitLrlje4Mu48rrzBk6IQ65a6JZI
- [58] **Hedahdia A, Aliouche S**, Contribution à l'étude de l'origine de la contamination fécale des eaux du barrage Bouhamdane-Guelma, Santé, Eau, Environnement/Microbiologie de l'environnement, Master, Université 8 mai 1945, Guelma, 2016, P 13.
- [59] [https://www.news-medical.net/life-sciences/Electrochemical-Analysis-\(French\).asp](https://www.news-medical.net/life-sciences/Electrochemical-Analysis-(French).asp)
- [60] <https://telum.umc.edu.dz/enrol/index.php?id=94>
- [61] <https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/chimie-spectrophotometrie-15118/>



ANNEXE

Tableau 1. Normes des paramètres physico-chimiques d'une eau potable.

| Paramètres | Normes | |
|----------------------------|---------|---------|
| | ALG | OMS |
| Turb (NTU) | 05 | - |
| pH | 6,5-8,5 | 6,5-9,2 |
| CE ($\mu\text{S/cm}$) | 2800 | - |
| TDS (mg/l) | - | - |
| Salinité | - | - |
| T ($^{\circ}\text{C}$) | 25 | 25 |
| TH ($^{\circ}\text{F}$) | 500 | 200 |
| TA ($^{\circ}\text{F}$) | 12 | - |
| TAC ($^{\circ}\text{F}$) | 12 | - |
| HCO_3^- (mg/l) | 350 | - |
| Ca^{2+} (mg/l) | 200 | - |
| Mg^{2+} (mg/l) | 150 | 150 |
| Cl^- (mg/l) | 500 | 250 |
| MO (mg/l) | 05 | - |
| MES (mg/l) | <30 | - |
| RS (mg/l) | 2000 | - |
| NO_2^- (mg/l) | 0,2 | 0,2 |
| NH_4^+ (mg/l) | 0,5 | - |
| NO_3^- (mg/l) | 50 | 50 |
| SO_4^{2-} (mg/l) | 400 | 500 |
| PO_4^{3-} (mg/l) | 0,5 | - |
| Fe^{2+} (mg/l) | 0,3 | - |
| Al^{3+} (mg/l) | 0,2 | 0,2 |

Tableau 2. Normes des paramètres bactériologiques d'une eau potable.

| Paramètres | Normes ALG |
|------------------|------------|
| GT (UFC / ml) | 10 |
| CT (UFC /100 ml) | 00 |
| CF (UFC/100ml) | 00 |
| SF (UFC/100ml) | 00 |
| ASR (UFC/20ml) | 00 |

- **Solution de chlore de concentration 1 g/l**

Cette solution est préparée par dilution à partir d'eau de javel du commerce (concentration 150 g/l). Pour cela, il faut prendre 6,7 ml de la solution commerciale d'eau de javel, les verser dans une fiole de 1000 ml et compléter avec de l'eau distillée. La concentration de la solution finale est de 1 g/l. Cette solution doit être utilisée juste après la préparation et ne se conserve pas.

- **Hydroxyde de sodium 2N solution 2 mol/l**

Dissoudre 8 g de NaOH dans 100 ml d'eau distillée, conserver dans un flacon en polyéthylène. Prendre des précautions afin d'éviter la contamination par le CO₂ atmosphérique.

- **EDTA solution titrée 10 mmol/l**

Peser 3,725 g d'EDTA (C₁₀H₁₄N₂O₈Na₂ · 2H₂O) après l'avoir sécher à 80⁰C pendant 2 heures, dissoudre dans de l'eau et compléter à 1000 ml avec de l'eau distillée. Conserver la solution d'EDTA dans une bouteille en polyéthylène et en vérifier la concentration de temps à autre.

- **HSN, indicateurs**

Mélanger soigneusement 0,2 g d'acide calcone carboxylique (C₂₁H₅₄N₂O, 3H₂O) et 100 g de chlorure de sodium NaCl.

- **Solution ammoniacale (NH₄OH) à pH = 10**

Dissoudre 33.75 g de chlorure d'ammonium NH₄Cl dans 285 ml de solution ammoniacal à 25%, ajouter ensuite 25 g du sel disodique de magnésium de l'EDTA (C₁₀H₁₂N₂O₈Na₂Mg) et compléter à 500 ml avec de l'eau distillée. Conserver dans un flacon en polyéthylène.

- **Mordant noir 11, indicateur**

Dissoudre 0,25 g de NET (C₂₀H₁₂N₃O₂, SNa) dans 12.5 ml éthanol (C₂H₅O), compléter à 50 ml avec 37.5 ml de triéthanolamine (C₆H₁₅O₃N) et conserver dans un flacon en verre brun.

- **Réactif coloré (Réactif I)**

Dissoudre 130 g de salicylate de sodium et 130 g de citrate trisodique dihydrate dans l'eau contenue dans une fiole de 1000 ml, ajouter 0,97 g de nitroprussiate de sodium et compléter à 1000 ml avec de l'eau distillée. Cette solution est conservée dans un flacon en verre brun et est stable au moins deux semaines.

- **Solution de dichloroisocyanurate de sodium (Réactif II)**

Dissoudre 32 g d'hydroxyde de sodium dans 500 ml d'eau et laisser refroidir à température ambiante, ajouter 2 g de dichloroisocyanurate di-hydraté et compléter à 1000 ml avec l'eau distillée.

- **Solution tampon acétate**

Dissoudre 40 g d'acétate d'ammonium ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) dans l'eau, ajouter 50 ml d'acide acétique cristallisable (CH_3COOH) et compléter à 100 ml avec l'eau distillée.

- **Solution de chlorhydrate d'hydroxylamine à 100 g/l**

Dissoudre 10 g de chlorhydrate hydroxylamine ($\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$) dans l'eau distillée et à 100 ml. Cette solution est stable pendant une semaine.

- **Solution de phénantroline-1,10**

Dissoudre 0,5 g de chlorure de phénantroline 1,10 monohydrate ($\text{C}_{12}\text{H}_9\text{ClN}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) dans l'eau distillée et compléter à 100 ml. Cette solution est stable pendant une semaine si elle est conservée à l'obscurité.

- **Solution stabilisante**

Dans une fiole jaugée de 1000 ml, mettre 100 ml d'eau distillée, ajouter successivement 60 ml d'acide chlorhydrique pur (HCl : $d=1.19$), 200 ml d'éthanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), 150 g de chlorure de sodium (NaCl) et 100 ml de glycérol, compléter à 1000 ml avec de l'eau distillée. Cette solution se conserve deux semaines en flacon brun à 4°C.

- **Solution de chlorure de baryum (BaCl_2) à 0,01 N**

Peser 150 g de chlorure de baryum (BaCl_2), ajouter 5 ml d'acide chlorhydrique dans une fiole de 1000 ml et compléter jusqu'au trait de jauge. Cette solution se conserve deux semaines en flacon brun à 4°C.

- **Réactif mélange**

A- 13g d'heptamolybdate d'ammonium est contenu avec l'eau distillée jusqu'à 100 ml.

B- 0,35 g de tartrate d'antimoine est contenu avec l'eau distillée jusqu'à 100 ml.

C- 150 ml d'acide sulfurique concentré est contenu avec l'eau distillée jusqu'à 300ml.

- **Solution du réactif mixte**

Dissoudre 40 g d' amino-4 benzene sulfonamide ($\text{NH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{NH}_2$) dans un mélange formé de 100 ml d'acide orthophosphorique et de 500 ml d'eau.

Ajouter 2 g de dichlorhydrate de N-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane ($\text{C}_{10}\text{H}_7\text{NH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-2\text{HCl}$), compléter le volume à 1000 ml avec de l'eau distillée. Cette solution est stable pendant un mois si elle est conservée entre 2 et 5°C.

- **Solution de salicylate de sodium à 0.5 % (renouveler toutes les 24 h)**

Dissoudre 0,5 g de salicylate de sodium dans de l'eau et compléter à 100 ml avec de l'eau distillée. Conserver dans une bouteille en verre ou en polyéthylène. Préparer cette solution chaque jour au moment de l'emploi.

- **Solution d'hydroxyde de sodium 30 %**

Dissoudre 30 g d'hydroxyde de sodium dans de l'eau et compléter à 100 ml avec l'eau distillée.

- **Tartrate double de sodium et de potassium**

Dissoudre 400 g d'hydroxyde de sodium dans une fiole de 1000 ml, ajouter 60 g de tartrate double de sodium et potassium, laissé refroidir et compléter avec de l'eau distillée. Conserver dans un flacon en polyéthylène.

- **TGEA (gélose numération : gélostryptone-glucose-Extrait de levure)**

Tryptone.....5g.
Glucose.....1g.
Extrait de levure.....2.5g.
Gélose.....15g.
Eau distillée.....1000ml.
pH = 7, autoclavage 20 minutes à 120°C.

- **Gélose slanetz et bartley**

L'eau distillée.....1 l.
Peptone.....20 g.
Extrait de levure.....5 g.
Glucose.....2 g.
Phosphate disodique.....4 g.
Azide de sodium.....0,4 g.
Agar.....10 g.
pH = 7,2.

- **Solution de TTC**

Chlorure de triphenyl-2, 3, 5 tetrazolium.....1 g.
Eau distillée.....100 ml.

- **Milieu Viande foie (VF)**

Base viande foie.....30 g.
Glucose..... 2 g.
Amidon.....2 g.
Agar.....1 g.
Eau distillée.....1000 ml.

- **Milieu Schubert**

| | |
|--|--------|
| Peptone..... | 20 g. |
| Glucose..... | 5 g. |
| Azide..... | 0,2 g. |
| Ethyl-violet..... | 0,5 g. |
| NaCl..... | 5 g. |
| Hydrogénophosphate de potassium..... | 2,7 g. |
| Dihydrogénophosphate de potassium..... | 2,7 g. |

pH= 6,8