

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira -
Institut de Technologie



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

Département de technologie chimique industrielle

Rapport de soutenance

En vue de l'obtention du diplôme
de Licence professionnelle en :

Génie de la formulation

Thème :

**Caractérisation et étude d'efficacité du système de
traitement de l'eau de barrage keddara**

Réalisé par :

M^{elle} GUETTACHE Amira

Encadré par :

Mme BETTAYEB Souhila

Tuteur de l'entreprise :

Mr ILILES Mouloud

Examiné par :

Mme BENHAMADA. M

Mme MERAKCHI. A

Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux

«...et nous avons fait de l'eau toute chose vivante»

Sourate Al-Anbiya ; verset 30

Remerciement

Avant-propos

Au terme de la rédaction de ce mémoire,

Je remercie le Bon Dieu qui nous a donné la force et le courage tout le long de ce travail.

Je souhaiterais adresser mes remerciements à tous ceux qui m'ont soutenue et m'ont conseillée. Par leur contribution. Leur présence, leur encouragement et leur écoute, ils ont participé à ce travail et lui ont permis d'arriver à son point final.

Ma première reconnaissance va à mon enseignante et promotrice Mme BETTAYEB S, Maître assistant à l'institut de technologie de Bouira, pour l'attention et la patience qu'elle a accordée à cette étude. Je suis reconnaissante pour ses conseils précieux, de sa disponibilité, ses encouragements et de ses apports pour l'élaboration de ce mémoire.

Je suis sensible à l'honneur que me fait Monsieur ILILES Mouloud, Ingénieur exploitation centre de traitement de Boudouaou, en acceptant d'être mon Co-encadreur et pour m'avoir suivie et conseillés et orientés tout le long de l'élaboration de ce travail.

J'adresse aussi mes remerciement, Mr KHERROUB F de m'avoir fourni des données qui mon aidé dans ce travail, ainsi que Mr HADJ ARAB M, Mr SENDJEKI M, Mme BENHABILES N et Mme MECHAHED T, pour leurs aide au laboratoire, ainsi que tous les analystes chimistes et les employés de laboratoire.

J'adresse aussi mes sincères remerciements à tous les enseignants du département de technologie chimique industrielle de l'Institut de Technologie de l'université AKLI MOHAND OULHADJ de Bouira, qui ont contribué à ma formation. Ainsi qu'aux membres de jury qui me ferons l'honneur de juger ce travail.

Enfin, mes reconnaissances iront aussi à toute personne qui, de loin ou de près, a participé à l'achèvement de ce travail.

Dédicaces

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail

A mes parents qui m'ont donné la liberté d'essayer et d'aller là où je voulais. Votre manière d'être, fait de vous des parents exceptionnels. Je souhaite que Dieu vous préserve une longue vie et que vous trouviez à travers ce mémoire un faible témoignage de vos efforts et sacrifices.

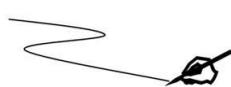
A la mémoire de mon grand-père paternel El Seddik. J'aurais tant aimé que tu sois présent. Que Dieu ait ton âme dans sa sainte Miséricorde.

A mes frères.

A mes deux très chères sœurs.

A toute ma famille grande et petite.

Et tous mes camarades du l'institut de technologie, mes camarades de promotion sans exception.

Amira 

Liste des tableaux

Tableau I. 1: Produits chimiques mis en œuvre dans la station de Boudouaou.	11
Tableau II. 1: Différents éléments caractéristiques des eaux de surface.	27
Tableau II. 2: Principaux types de polluants chimiques avec leurs sources et effets.	29
Tableau III. 1: Principaux matériels utilisés au niveau de la station de Boudouaou.	39
Tableau III. 2: Méthodes d'analyses utilisées au niveau de la station de Boudouaou.	41
Tableau III. 3: Doses de chlore injecté.	54
Tableau III. 4: Conditions opératoires du Jar-Test.	55
Tableau III. 5: Spécification techniques du coagulant.	56
Tableau III. 6: Spécification techniques de flocculant.	57
Tableau IV. 1: Résultats des paramètres physico-chimiques de l'eau brute du barrage Keddara du mois de Mai.	60
Tableau IV. 2: Résultats des différentes analyses physico-chimiques de l'eau traitée dans une durée d'un mois (Mai).	61
Tableau IV. 3: Résultats des différentes analyses de la minéralisation globale de l'eau brute et traitée réalisées une fois par mois.	67
Tableau IV. 4: Evolution du rendement d'élimination de la pollution.	69
Tableau IV. 5: Résultats d'essai de la détermination de la dose optimale de coagulant sulfate d'aluminium.	70
Tableau IV. 6: Résultats d'essai de la détermination de la dose optimale de flocculant Polyélectrolyte.	71
Tableau IV. 7: Résultats d'essai de la demande en chlore en pré-chloration.	72

Liste des figures

Figure I. 1: Station de traitement de Boudouaou.	3
Figure I. 2: Implantation de la station de traitement de Boudouaou.	5
Figure I. 3: Laboratoire de l'étude physico-chimique et laboratoire de l'étude bactériologique.	7
Figure I. 4: Chambre des opturateurs.	12
Figure I. 5: Chambre de mélange.	13
Figure I. 6: Chambre de répartition.	14
Figure I. 7: Décanteur Pulsateur+ modules lamellaires.	14
Figure I. 8: Filtre à sable AQUAZUR V.	15
Figure I. 9: Réservoir de la station de Boudouaou.	15
Figure I. 10: Schéma de la filière de traitement de la station de Boudouaou.	16
Figure I. 11: Schéma de principe du fonctionnement de Pulsateur.	17
Figure I. 12: Schéma de principe du fonctionnement de l'QUAZUR V.	18
Figure I. 13: Vidange du filtre.	19
Figure I. 14: Lavage du filtre (soufflage).	19
Figure I. 15: Connexion des réservoirs des eaux traitée de Boudouaou et Taksebt.	20
Figure II. 1: Cycle de l'eau.	22
Figure III. 1: Lieu de prélèvement centre de Boudouaou.	39
Figure IV. 1: Résultats des paramètres physico-chimiques.	63
Figure IV. 2: Résultats des paramètres de pollution.	65
Figure IV. 3: Résultats des paramètres indésirables.	66
Figure IV. 4: Variation de la turbidité en fonction de la dose de coagulant (SA) et la dose de floculant (PE).	71
Figure IV. 5: Courbe de break-point de l'eau brute de la station de Boudouaou.	72

Liste des abréviations

A : Absorbance.

CAP : Charbon Actif en Poudre.

EB : Eau Brute.

EDTA : Ethylène Diamine Tétra Acétique.

EPI : Equipement de Protection Individuel.

ET : Eau Traitée.

HAP : Hydrocarbure Aromatique Polycyclique.

HSE : Hygiène Sécurité, Environnement.

IP : Indice de Permanganate.

JORA : Journal officiel de recommandation algérien J.O.R.A.

MES : Matière En Suspension.

MO : Matière Organique.

NTU : unité de turbidité Néphélobimétrie.

OMS : Organisation Mondiale de la santé.

ONA : Office National d'Assainissement.

PE : Poly Électrolyte.

pH : Potentiel d'hydrogène.

PK 25 : Poids Kilométrage (point d'arrivée à Alger).

PK0 : Poids Kilométrage (Sortie de la station).

SA : Sulfate d'Aluminium.

SEAAL : Société des Eau et d'Assainissement d'Alger.

SPIK : Système de Production Isser Keddara.

TA : Titre alcalimétrique.

TAC : Titre Alcalimétrique Complet.

TDS : Teneur en Sel Dissous.

TH : Titre Hydrométrique.

UV : Ultra-Violet.

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction 1

Chapitre I : présentation de la station de Boudouaou

I.1. Présentation de la station de Boudouaou3

I.2. Filières de traitement de la station de Boudouaou8

I.3. Description des installations et ouvrages de la station12

I.4. Principe de fonctionnement des principaux ouvrages de la station.....17

Conclusion 20

Chapitre II : Généralités sur les eaux

II.1 Cycle de l'eau dans l'environnement21

II.2 Ressources hydriques22

II.3 Propriétés de l'eau24

II.4 Composition des eaux de surface25

II.5 Pollution des eaux de surface27

II.6 Origines de la pollution des eaux de surface28

II.7 Polluants de l'eau de surface29

II.7.3 Polluants physiques30

II.8 Impact de la pollution hydrique sur l'environnement30

II.9 Définition de l'eau potable31

II.10 Paramètres de potabilisation des eaux de surface31

II.11 Objectif de traitement des eaux de surface36

Conclusion	37
------------------	----

Chapitre III : Matériels et méthode

III.1. Objectif	38
III.2. Protocole et méthodologie expérimentale	38
III.3. Matériel.....	39
III.4. Méthodes d'analyses.....	40
III.5. Paramètres physico-chimiques.....	41
III.6. Autres paramètres Physico-chimiques et essais.....	43
III.7. Etude de l'efficacité de traitement de potabilisation de la station de Boudouaou	57
Conclusion	58

Chapitre IV : résultats et discussions

IV.1. Caractérisation des eaux Brutes d'appoint de la station de potabilisation de Boudouaou	59
IV.2. Evaluation de l'efficacité de système de traitement de potabilisation des eaux de Keddara	61
IV.3. Interprétation des résultats	62
IV.4. Etude des rendements d'élimination de la pollution	69
IV.5. Essais de jar-teste.....	69
IV.6. Essais de la floculation	70
IV.7. Essais de la demande en chlore en pré-chloration	72
Conclusion	72
Conclusion générale	73
Références bibliographiques	74

Introduction

Introduction

Les eaux de surface qu'elles soient sous forme de lacs, de réservoirs d'eau ou de rivières, sont facilement accessibles, mais leur qualité peut ne pas être appropriée ni à la consommation humaine, ni à l'agriculture, ni à l'industrie. Cela est dû au fait que l'eau de surface peut être polluée plus directement par des matières organiques décomposées d'origines humaine, animale et végétale ou par des matières minérales nocives en provenance de l'industrie, des mines et de l'agriculture en plus, l'humanité a pollué et continue à polluer certaines réserves d'eau douce à cause du manque de planification et des pratiques irresponsables contribuant ainsi au déficit global en eau potable. Cette situation oblige le recours aux systèmes de traitement des eaux destinés à la consommation humaine, dans le but de rendre l'eau la plus potable possible [1].

Pour assurer le bon fonctionnement de traitement et que l'eau traitée répond aux normes, elle doit subir une chaîne d'analyses physico-chimiques et bactériologiques avant, après et au cours du traitement.

La station de traitement des eaux potables Boudouaou qui traite les eaux de surface de barrage Keddara pour les rendre potable, doit assurer et fournir une eau en quantité et de qualité à un coût acceptable, pour desservir les besoins de la grande Algérie et quelques localités de la wilaya de Boumerdes. La qualité de ces eaux de surface souvent polluées, et donc très variable et ne peut être traitée qu'au cas par cas par un système de traitements appropriés à sa nature et à son degré de pollution.

C'est dans ce cadre, et dans le but de caractériser les eaux brutes de cette station et de vérifier l'efficacité des procédés de traitements de l'eau potable (nécessaires dans le contrôle de qualité) utilisés par la station de potabilisation du barrage Keddara (Boudouaou, W. de Boumerdes), j'ai effectué mon stage pratique au sein du laboratoire de la même station où j'ai effectué des analyses quotidiennes et mensuelles de chaque paramètre.

L'étude de l'efficacité de système de traitement appliqué à la station de Boudouaou est étudiée en se basant sur la qualité de l'eau à l'entrée et à la sortie de la station de traitement mesurée par l'évaluation des paramètres de potabilisation (après le traitement), l'abattement obtenu au niveau de chaque étape de traitement est comparé par rapport aux objectifs de qualité de la station et aux normes de potabilisation appliquées.



Cette grande station qui a la lourde tâche d'alimenter ville de 4000000 d'habitants fera donc l'objet de notre étude pendant quelque temps. Toutefois, malgré la grandeur de cette station et la modernité de ces appareils et équipements, peut-on dire que le traitement de l'eau est efficace ? Pour ce qui est des ouvrages, peut-on dire qu'ils fonctionnent correctement ? Autant de questions auxquelles nous nous devons de répondre dans notre mémoire.

Le présent rapport est subdivisé en quatre chapitres :

- Dans le premier chapitre, nous présentons l'organisme d'accueil et toutes les procédures de traitement dans cette station avec la description et le fonctionnement de ses installations et ses ouvrages.
- Le deuxième chapitre, consiste à faire une présentation de synthèse théorique sur les eaux naturelles notamment les eaux de surface, leurs origines, leurs caractéristiques globales.
- Le troisième chapitre, est réservé pour la présentation de matériels et méthodes utilisés pour réaliser ce travail.
- Et dans le quatrième chapitre, nous présentons les résultats obtenus et leurs discussions concernant notre étude.

Ce manuscrit s'accompagne d'une conclusion synthétisant les principaux résultats obtenus à l'issue de cette étude.



Chapitre I

Présentation de la station de Boudouaou



Chapitre I : Présentation de la station de Boudouaou

Ce chapitre est consacré totalement à la présentation de la station de traitement de la ville de Boudouaou à savoir les différents services et caractéristiques. Par la suite on a abordé la présentation des procédés de traitement adaptés au niveau de SEAAL (ouvrages, laboratoires, méthodes de contrôles, dosages et produits ...).

I.1. Présentation de la station de Boudouaou

Aujourd'hui encore, près d'un Algérois sur trois étanche sa soif avec de l'eau en provenance de Boudouaou. 300 000 m³ y sont produits quotidiennement avec une marge de manœuvre importante, puisque sa capacité de production peut atteindre en cas de besoin, 540 000 m³/j, soit environ la moitié des besoins globaux en eau potable de la capitale. Elle est dotée d'une capacité de stockage de 150 000 m³. Le traitement de l'eau est opéré grâce à une série d'étapes successives, un processus complexe garantissant une eau de qualité répondant rigoureusement aux normes de potabilité algériennes [2].



Figure I. 1: Station de traitement de Boudouaou.

I.1.1. Historique de la station

Avant les années 1986, l'alimentation en eau potable du grand-Alger était assurée par les champs de captage du Mazafran, de Baraki et du Hamiz.

La quantité des eaux souterraines n'arrivaient plus à couvrir les besoins toujours grandissants des consommateurs. Pour combler le déficit en eau potable de la région algéroise, la station de



Le traitement de Boudouaou a été mis en service en 1986, elle est historiquement la plus importante infrastructure de production des eaux conventionnelles alimentant la capitale [2].

Les travaux de réalisation de cette station ont été entamés en janvier 1983.

I.1.2. Objectif du centre

- Assurer et surveiller le traitement de l'eau potable ;
- Produire et garantir la fourniture d'eau de qualité et en quantité, à un coût acceptable en toutes circonstances, pour alimenter le grand Alger et Boumerdes en eau potable répondant aux normes de potabilité Algérienne ;
- Améliorer la méthode de gestion et rétablir et entretenir les installations de la station en bon fonctionnement [3].

I.1.3. Principaux caractéristiques du centre

La station de traitement se situe à environ 7km du barrage Keddara, entre la ville de Boudouaou et d'Ouled Moussa, et située à 8km au sud de Boumerdes et 40km à l'est d'Alger, elle occupe une superficie de 17 hectares [3].

Elle fait partie du système SPIK (Système de Production Isser Keddara) et est alimentée à partir du barrage de Keddara (capacité 142 Millions m³), lui-même principalement alimenté par pompage depuis le barrage de Beni Amrane (capacité 12 Millions m³) pour alimenter Alger et Boumerdes en eau potable [2].

Elle constitue un ouvrage essentiel dans la chaîne de production d'eau à partir des eaux de surface, avec une capacité de production maximale de 540 000 m³/J. elle est composée des structures suivantes :

- Une station de traitement des eaux potables ;
- Une station de pompage SPIK pour alimenter quelques localités de la wilaya de Boumerdes ;
- Station de pompage Beni Amrane qui refoule les eaux brutes vers le barrage Keddara ;
- Laboratoire de procès pour surveiller et contrôler la qualité des eaux traitées de Boudouaou ;
- Un réseau d'adduction PK0 (Sortie de la station) à PK25 [3].



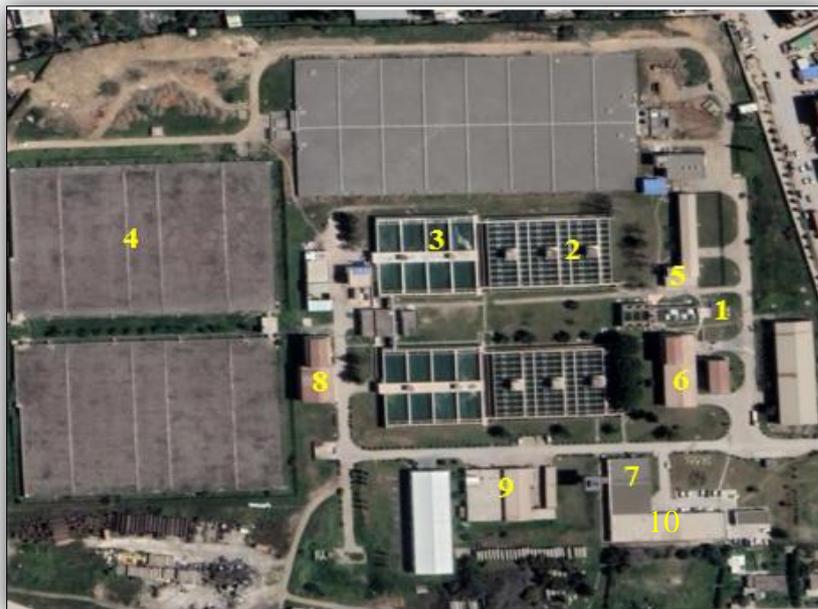


Figure I. 2: Implantation de la station de traitement de Boudouaou.

- 1- Ouvrage d'arrivé d'eau brute ;
- 2- Décanteur (06) de type PULSATOR lamellaire a lit de boues ;
- 3- Filtre (16) type AQUAZUR (V) ;
- 4- Réservoir d'eau capacité $2 \times 50\,000\text{ m}^3$;
- 5- Bâtiment chlore ;
- 6- Bâtiment de produits chimiques ;
- 7- Bâtiment d'exploitation et de contrôle ;
- 8- Bâtiment de chaux ;
- 9- Atelier ;
- 10- Bâtiment administratif et laboratoire.

I.1.4. Présentation des différents services

Service d'exploitation

- ✓ Son rôle consiste à l'exploitation et le suivi du bon fonctionnement des ouvrages ainsi que des installations ;
- ✓ Entretien des ouvrages (nettoyage, peinture, débouchage, .etc.) ;
- ✓ Veille sur la production des eaux potables en quantité et en qualité ;



- ✓ Exploitation des données afin d'améliorer la production ;
- ✓ Gestion des flux entrants et sortants de la station de traitement ainsi que de la station de pompage SPIK ;
- ✓ Appliquer les taux de traitement et contrôle des dosages des réactifs injectés.

Service maintenance

- ✓ Maintenir le bon fonctionnement des équipements ;
- ✓ Entretien de l'ensemble des pièces existantes dans les ouvrages ainsi que les équipements ;
- ✓ Interventions en cas de panne ou anomalie survenue pour la réparation changement si c'est nécessaire ;
- ✓ Suivi du plan préventif de l'ensemble des équipements.

Service laboratoire et qualité

- ✓ Suivre et contrôler la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau le long des étapes de traitement ;
- ✓ Détermination des taux de traitement à appliquer par le service exploitation ;
- ✓ Analyser et tester les produits chimiques utilisés en traitement ;
- ✓ Veille sur la qualité des eaux traitées.

Service réseau

- ✓ Gestion du réseau d'adduction ;
- ✓ Evaluer et anticiper les besoins du service dans le domaine d'intervention sur le réseau ;
- ✓ Garantir le bon fonctionnement, en effectuant des inspections, des tests et des contrôles réguliers sur le réseau.

Service Hygiène Sécurité, Environnement (HSE)

- ✓ Veille sur la sécurité du personnel du centre (port des EPI : équipement de protection individuel...etc.) ;
- ✓ Veille sur la sécurité des ouvrages (état des ouvrages, échelles, gardes corps, etc.) ;
- ✓ Interventions en cas d'incident [3].

I.1.5. Suivi de la qualité de l'eau au laboratoire

Le laboratoire de procès au centre de traitement Boudouaou est subdivisé en 2 laboratoires, un réservé à l'étude physico-chimique et l'autre réservé à l'étude bactériologique, L'étude analytique de l'eau est réalisée dans le cadre d'études et de recherches d'ordre physique, chimique et



bactériologique, il est à noter que le laboratoire est composé également d'une salle de pesage et de deux bureaux un pour le chef de service et l'autre pour l'équipe des chimistes.

Il a pour rôle le contrôle de qualité de l'eau potable produite par cette dernière. Ce contrôle consiste à analyser l'eau brute, décantée, l'eau filtrée et l'eau traitée.

❖ Analyses physico-chimiques :

Ces analyses sont effectuées pour déterminer les paramètres indicateurs de la pollution de l'eau tels que :

- Les paramètres organoleptiques : couleur odeur et goût ;
- Les paramètres physiques : la température, pH, conductivité et turbidité ;
- Les paramètres chimiques : le chlore résiduel, l'azote ammoniacal, les nitrites, les phosphates, ...etc.

❖ Analyses bactériologiques :

Elles ont pour objectif :

- Le dénombrement des germes totaux ;
- La recherche et dénombrement des coliformes totaux et des streptocoques fécaux [3].



Figure I. 3: Laboratoire de l'étude physico-chimique et laboratoire de l'étude bactériologique.



I.2. Filières de traitement de la station de Boudouaou

La station de Boudouaou par son processus de traitement approprié élimine tous les éléments indésirables contenus dans l'eau brute.

L'eau brute, provenant du barrage Keddara, subit un traitement éventuel, cela se matérialise par l'injection de produits chimiques dans l'eau suivant l'ordre de différentes phases de traitements qui sont :

- Aération ;
- Pré oxydation au chlore et au permanganate KMnO_4 ;
- Correction du pH avec l'acide sulfurique H_2SO_4 ;
- Adsorption sur charbon actif en poudre ;
- Coagulation au sulfate d'alumine ;
- Flocculation à l'aide d'un polymère anionique ;
- Décantation lamellaire avec lit de boue ;
- Filtration sur sable ;
- Désinfection finale au chlore ;
- Remise à l'équilibre (lait de chaux) avant le stockage des eaux traitées.

I.2.1. Aération

Cette aération est nécessaire si l'eau présente un défaut d'oxygène : l'aération permet alors :

- L'oxydation des ions ferreux ;
- L'augmentation de la teneur en oxygène, afin de rendre l'eau agréable à boire.

L'aération peut également être nécessaire si l'eau contient des gaz en excès, le H_2S qui donne un goût très désagréable, et le CO_2 qui rend une eau agressive. Les deux sont éliminés par une simple aération atmosphérique [4].

I.2.2. Oxydation ou préoxydation

Les composés les plus utilisés dans la station de Boudouaou sont des agents chlorés, le chlore gazeux (Cl_2), l'hypochlorite de sodium ou « eau de Javel » (NaClO), l'hypochlorite de calcium ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) et le permanganate de potassium (KMnO_4).

L'oxydation par le chlore a une bonne efficacité sur l'ammoniaque, le fer et le manganèse. Il facilite également la clarification.



Le permanganate de potassium est principalement utilisé dans le cas d'eaux brutes riches en fer et en manganèse, car le $KMnO_4$ est plus efficace que le chlore dans l'oxydation des métaux. Il a par contre l'inconvénient d'être assez coûteux.

L'oxydation peut avoir différents objectifs :

- Éliminer le goût, les odeurs et la couleur ;
- Éliminer le fer, le manganèse et l'ammoniaque ;
- Améliorer la clarification (meilleure cohésion des boues dans le décanteur) ;
- Oxyder les matières organiques dissoutes, qui se transforment en composés plus facilement biodégradables ;
- Maintenir la propreté des installations [5].

I.2.3. Clarification

La clarification est l'élimination des matières en suspension, des matières colloïdales et des macromolécules susceptibles de communiquer à l'eau une turbidité ou une couleur indésirables. Il s'agit de matières organiques aussi bien que minérales, et les organismes vivants du phytoplancton (algues).

La clarification comprend les opérations suivantes :

- Coagulation ;
- Flocculation ;
- Décantation ;
- Filtration.

I.2.3.1. Coagulation

La coagulation a pour objectif d'agglomérer les particules entre elles. Les colloïdes sont en effet naturellement maintenus en suspension sous l'action de forces électrostatiques de répulsion. Pour rompre ces forces et déstabiliser les colloïdes, on injecte des réactifs appelés "coagulants", qui permettent de neutraliser les charges négatives de colloïde et qui conduisent à la formation de précipités insolubles appelés "flocs" capables de décanter [5]. La station de Boudouaou utilise le sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3$ avec des doses bien déterminées au laboratoire par des essais de « JAR-TEST ».



La gamme optimale de pH pour l'utilisation du sulfate d'alumine est conditionnée par l'obtention de la persistance de la forme précipitée $\text{Al}(\text{OH})_3$. Il s'agit ici de la valeur 7,3, à cette valeur, le précipité est prédominant. De plus, la forme dissoute Al^{3+} est inexistante [6].

I.2.3.2. Flocculation

Après avoir été déstabilisées par le coagulant, les particules colloïdales s'agglomèrent lorsqu'elles entrent en contact, c'est la flocculation. Les flocs se forment après l'ajoute de produits flocculant, le flocculant utilisé dans la station est le polyélectrolite anionique, il faut l'ajouter juste après la phase d'agitation rapide (coagulation).

I.2.3.3. Décantation

A pour but d'éliminer les particules en suspension dont la densité est supérieure à celle de l'eau. Ces particules sont en général des particules de flocc ou des particules résultant de la précipitation qui a lieu lors des traitements de clarification ou d'élimination du fer et du manganèse. Les particules s'accumulent au fond du bassin de décantation d'où on les extrait périodiquement, l'eau clarifiée, située près de la surface est dirigée vers l'unité de filtration. [6].

I.2.3.4. Filtration

La filtration est un procédé physique destiné à clarifier un liquide qui contient des matières solides en suspension en le faisant passer à travers un milieu poreux.

La filtration donc a pour but de retenir les particules en suspension dans l'eau, soit que ces particules existe dans l'eau brute, soit qu'elles aient été formées par une coagulation préalable [6].

I.2.4. Désinfection

La désinfection a pour objectif d'éliminer les organismes pathogènes et de maintenir un résiduel bactériostatique dans les réseaux de distribution, de manière à éviter la dégradation de l'eau. Les réactifs mis en œuvre pour la désinfection des eaux alimentaires sont identiques à ceux de l'oxydation. La désinfection intervient en toute fin de traitement : avant la mise en distribution de l'eau [5].

Le chlore a par ailleurs l'avantage d'être un désinfectant à pouvoir rémanent : une fois que les réactions d'oxydation ont eu lieu, il ne disparaît que lentement. Ce pouvoir est mis à profit dans les réseaux de distribution, où on laisse après traitement une certaine quantité de chlore libre dite «



chlore résiduel », de manière à obtenir un effet bactériostatique qui évite la reviviscence bactérienne et permet de préserver la qualité de l'eau [6].

I.2.5. Neutralisation

La neutralisation sert à protéger les conduites contre l'agressivité et/ou l'entartrage. Elle peut s'effectuer par différents procédés, en particulier pour l'installation en question. On parle au dosage de lait de chaux pour obtenir le pH d'équilibre.

Tableau I. 1: Produits chimiques mis en œuvre dans la station de Boudouaou.

Les installations de dosage et préparation produits chimiques	Rôle
Chlore gaz, Hypochlorite de Sodium (liquide), Hypochlorite de calcium (liquide)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pré-chloration, désinfection ; ➤ Assurer une oxydation chimique (algues, ammonium, fer, Mn....) ; ➤ Désinfection : rôles bactéricide et bactériostatique.
permanganate de potassium (poudre)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Assurer l'oxydation du fer ; ➤ Assurer l'oxydation du manganèse.
Charbon actif en poudre	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Permettre l'élimination par adsorption de composés organiques ; ➤ pesticides, hydrocarbures.
acide sulfurique (liquide)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Corriger la valeur du pH (diminution) pour le pH optimale de coagulation –floculation.
Sulfate d'alumine (poudre)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Assurer la coagulation des particules en suspension ; ➤ Assurer la coagulation des éléments solubles (matière organique), Création du floc.
Polyélectrolite (poudre)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Augmenter la taille du floc ; ➤ Augmenter la vitesse de décantation ; ➤ Augmenter la cohésion des boues ; ➤ Injection en aval de la coagulation-floculation.
la chaux (poudre)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Corriger la valeur du pH (augmentation) ; ➤ rechargé l'eau en alcalinité et calcium (reminéralisation).



I.3. Description des installations et ouvrages de la station

I.3.1. Ouvrage d'arrivée

Il existe 3 chambres dans l'ouvrage d'arrivée qui se répartit comme suit :

I.3.1.1. Chambre des obturateurs

C'est la chambre d'arrivée des eaux provenant du barrage de Keddara par gravité avec une pression d'entrée de 5-6 bars. L'ouvrage comporte 4 obturateurs à disque NEYRTEC qui ont pour rôle :

- ✓ De dissiper l'énergie acquise par les eaux ;
- ✓ De réguler manuellement les débits ;
- ✓ D'oxygéner et aérées les eaux [3].



Figure I. 4: Chambre des opturateurs.

I.3.1.2. Chambre de mélange

Où il se fait l'injection des produits chimiques par des rampes d'injection qui sont :

- 2 rampes d'injection de chlore ;
- 2 rampes d'injection de l'hypochlorite de sodium ;
- 2 rampes de l'hypochlorite de calcium (préchloration) ;
- 2 rampes d'injection de permanganate de potassium ($KMNO_4$) ;
- 2 rampes d'injection de CAP (charbon actif en poudre) ;
- 1 rampe d'injection de sulfate d'alumine (coagulation).

Les produits chimiques utilisés pour chaque procédé de traitement sont :



- **Pré chloration** au chlore gaz, hypochlorite de calcium ou sodium ;
- **Pré-oxydation** au permanganate de potassium, ce dernier permet l'oxydation du manganèse, ce traitement est saisonnier ;
- **Adsorption** au charbon actif, ce traitement est mis en place lors de la dégradation des goûts qui sont générés par les métabolites d'algues (saisonnier) ;
- **Correction du PH** avec de l'acide sulfurique pour ramener le pH vers un pH de coagulation ;
- **Coagulation** au sulfate d'alumine pour la clarification.



Figure I. 5: Chambre de mélange.

I.3.1.3. Chambre de répartition

Dans cette chambre, il se fait l'injection du polyélectrolyte (floculation) afin de favoriser la décantation, ces équipements :

- 6 vannes murales (répartition des eaux brutes dans les 6 décanteurs de façon identique) ;
- Bac d'injection de polyélectrolyte Agitateur ;
- Indicateur des hydrocarbures (cas de pollution) ;
- Armoire de l'indicateur [3].





Figure I. 6: Chambre de répartition.

I.3.2. Décanteurs

La station de traitement de Boudouaou est équipée de 06 décanteurs répartis entre deux filières chacune à trois (03) décanteurs. Le type de décanteur utilisé est Décanteur pulsator lamellaire. Chaque décanteur a les dimensions suivantes :

- Longueur = 37 m ;
- Largeur = 1930 m ;
- Hauteur = 4.75 m ;
- Surface = 714.1m².



Figure I. 7: Décanteur Pulsateur+ modules lamellaires.



I.3.3. Filtre AQUAZUR "V"

La station de traitement de Boudouaou est équipée de 16 filtres répartis entre deux filières chacune à huit (08) filtres. Le type de filtre utilisé est : Filtre AQUAZUR type "V". Chaque filtre AQUAZUR "V" a les dimensions suivantes :

- Longueur = 16.30 m ;
- Largeur = 5 x 2 m ;
- Surface = 163 m².



Figure I. 8: Filtre à sable AQUAZUR V.

I.3.4. Réservoirs

La station dispose de quatre (04) réservoirs dont deux (2) de 7m de profondeur, de 10 000 m² de superficie ; dont la capacité de chacun est de 50 000 m³ qui sont destinés à stocker l'eau traitée de Boudouaou, et deux autres réservoirs de 25.000 m³ chacun qui accueillent les eaux de Taksebt traitées au niveau de la station d'eau potable de Tizi-Ouzou [3].



Figure I. 9: Réservoir de la station de Boudouaou.



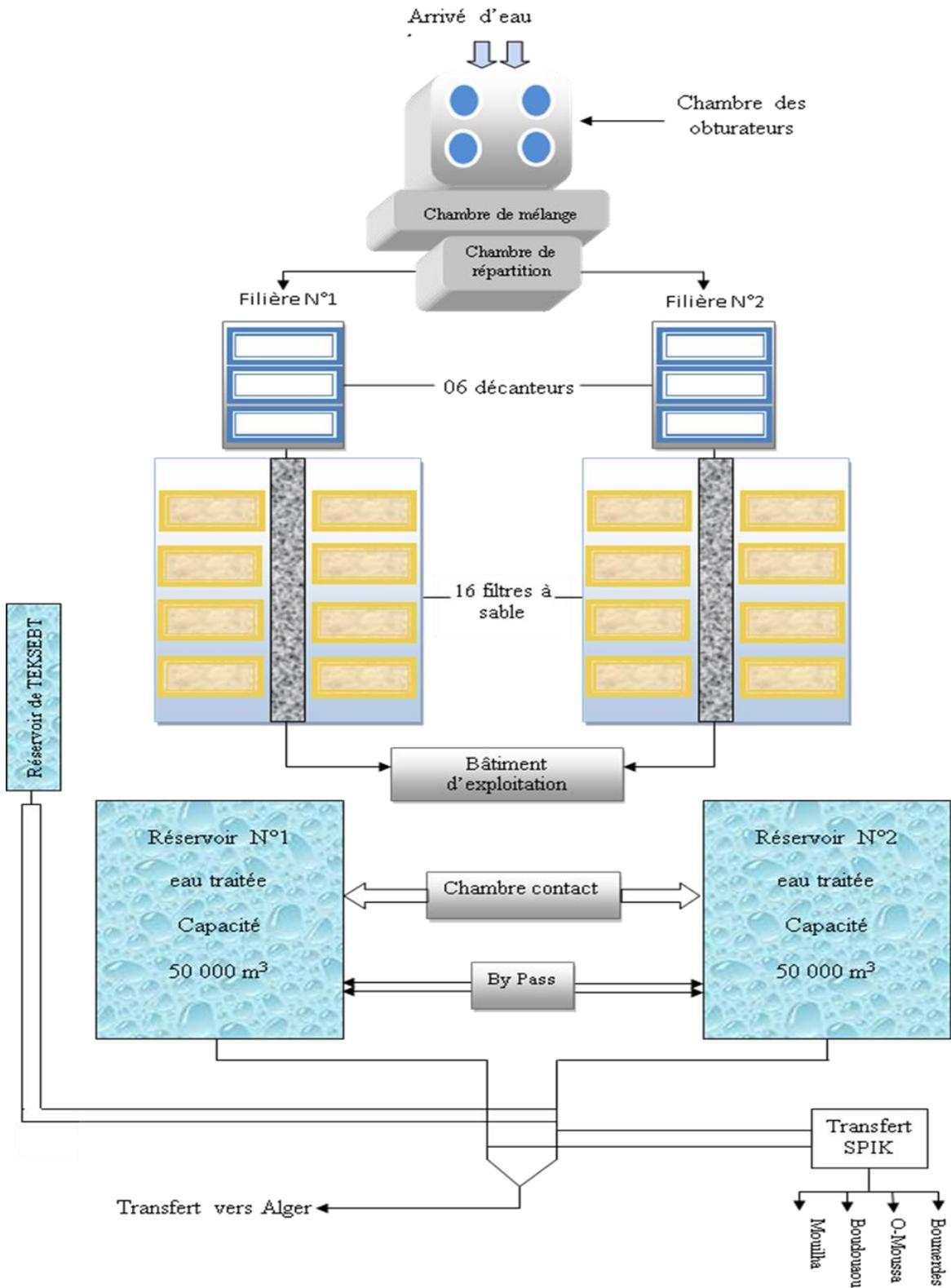


Figure I. 10: Schéma de la filière de traitement de la station de Boudouaou.



I.4. Principe de fonctionnement des principaux ouvrages de la station

I.4.1. Ouvrage d'arrivée

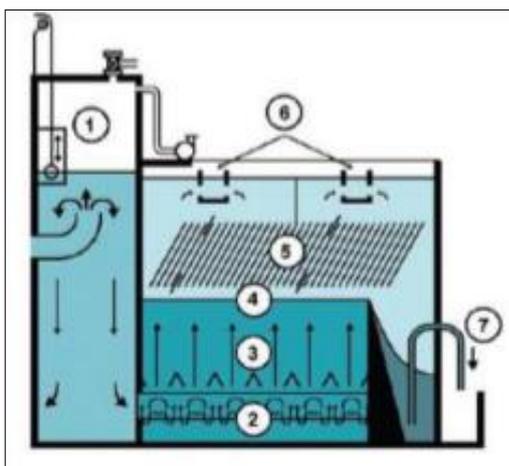
L'eau brute arrive du barrage de Keddara gravitairement par 2 conduites de diamètre nominale 1,5m ; atteint la chambre des obturateurs où il y a 4 obturateurs à disque dont le rôle est de briser la charge ; oxygéner l'eau et réguler le débit, à ce niveau l'eau brute subit un premier traitement qui est l'aération (oxydation par l'air).

Puis l'eau passe à la chambre de mélange où il y a l'ajout des produits chimiques, ensuite ; dans la chambre de répartition il se fait l'ajout du floculant (Polyélectrolyte) et l'eau sera répartie par les vannes murales sur les 2 filières (dans chacune il y a 3 décanteurs).

I.4.2. Décanteurs

L'eau arrive gravitairement de la chambre de répartition, passe par une cloche à vide composée d'un pulsator dont le rôle est la chasse-aspiration.

Ensuite, l'eau passe par une conduite de ramification (perforée) surmontées de tranquilisateurs qui stabilisent l'eau pour ne pas perturber le lit de boue. De là, l'eau traverse le lit de boue qui sépare entre le solide et le liquide et passe par les modules lamellaire qui sont des piègeurs et empêchent la pénétration des rayons solaires et finit par arriver aux goulottes d'eau clarifiée.



- 1- cloche à vide ;
- 2- Tuyaux perforés de répartition d'eau brute ;
- 3- Tranquilisateurs ;
- 4- Niveau supérieure du lit de boues ;
- 5- Modules lamellaire ;
- 6- Sortie d'eau décantée ;
- 7- Extraction des boues.

Figure I. 11: Schéma de principe du fonctionnement de Pulsateur.



I.4.3. Filtres à sable 'AQUAZUR V'

L'eau est généralement distribuée au-dessus du sable par le déversoir d'entrée. Elle traverse le sable où les matières en suspension sont retenues. Les buselures s'équipant le plancher collectent l'eau uniformément dans une chambre située sous le plancher et reliée au régulateur de niveau. Lorsque l'accumulation des impuretés conduit à une valeur préétablie de charge dans le lit filtrant ; le filtre doit être lavé.

Il existe 2 méthodes de lavage du filtre AQUAZUR 'V' :

- Manuelle assistée.
- Semi-automatique.

Le lavage du filtre est un lavage par retour simultané d'eau et d'air surpressé ; se fait comme suit:

- Abaissement du volume de l'eau au niveau du déversoir à l'aide d'une boîte AVC ; et donc vidange du filtre ;
- Détachement et évacuation des impuretés agglomérées grâce à l'air compressé et l'eau distribués par les buselures placées au-dessous de la couche sableuse ;
- Rinçage ou balayage de surface au moyen d'une goulotte latérale en 'V' qui permet de pousser à l'égout les eaux de lavage ;
- Les eaux de rinçage sont recyclées ou rejetées afin d'économiser les produits chimiques.

L'eau filtrée est directement transformée vers les galeries des filtres.

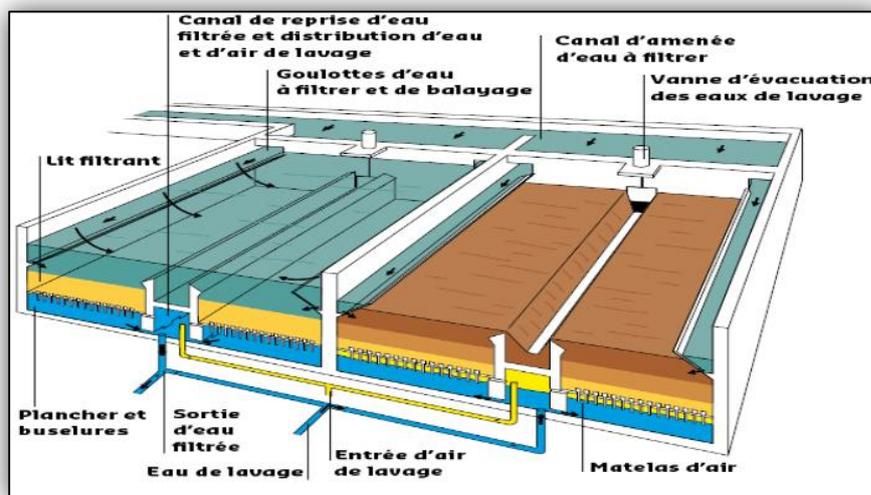


Figure I. 12: Schéma de principe du fonctionnement de l'AQUAZUR V.



Avant le lavage :

Durant le 1^{er} vidange ; la vanne de filtration est complètement ouverte pendant 2 ou 3 secondes après elle se ferme complètement ; et pendant le 2^{ème} vidange la vanne de filtration s'ouvre ce qui produit la vidange du filtre.



Figure I. 13: Vidange du filtre.

Lors du lavage

Une fois le filtre est vidé ; les suppresseurs démarrent donc les vanne s'ouvrent pendant 2 secondes ; ensuite la vanne des eaux de lavage (soufflage) s'ouvre ; généralement le soufflage dure 7 minutes.



Figure I. 14: Lavage du filtre (soufflage).



Fin de lavage

- Arrêt des supprimeurs ; la pompe de lavage reste en service (rinçage) pendant 8 à 9 minutes ;
- Fermeture de la vanne de vidange ;
- Remplissage du filtre ;
- Filtre en filtration.

I.4.4. Réservoirs

L'eau désinfectée arrive dans la chambre de répartition par une conduite de diamètre 2 m pour être répartie sur les deux chambres de contact dans lesquelles elle séjourne avec un volume constant de 4.8 m³, Ensuite passe par des chicanes dont le rôle est de briser la charge et mélanger l'eau.

L'eau produite est ensuite mélangée avec celle provenant de l'usine de TAKSEBT avant d'être livrée par gravité vers le réseau de distribution.

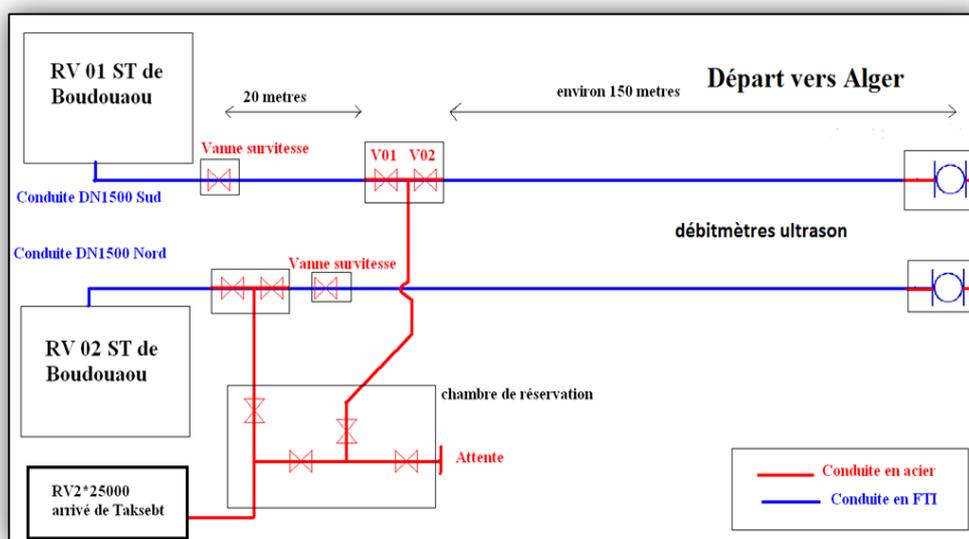


Figure I. 15: Connexion des réservoirs des eaux traitées de Boudouaou et Taksebt.

Conclusion

Au cours de ce chapitre on a décrit l'unité de production de Boudouaou. On a constaté le bon fonctionnement de ses installations et ses ouvrages, et donc le bon fonctionnement des procédés de traitement.



Chapitre II

Généralités sur les eaux



Chapitre II : Généralités sur les eaux

Compte tenu de tous les contaminants auxquels les eaux de surface sont exposées depuis le moment où elles tombent sous forme de précipitations jusqu'au moment où l'on s'en sert comme source d'approvisionnement, il est important de bien comprendre les caractéristiques de la source d'eau de surface pour être en mesure de fournir un approvisionnement continu en eau potable salubre. La quantité d'eau disponible et la qualité de l'eau varient selon les saisons. Les événements météorologiques extrêmes, comme les fortes chutes de pluie et les sécheresses prolongées, influent également sur la quantité et la qualité des sources d'eau [1].

La compréhension de ces variations et de leur incidence sur le système de traitement est l'un des principaux facteurs pour un approvisionnement continu en eau potable salubre.

Au cours de ce chapitre, nous avons décrit brièvement les principales sources des eaux naturelles notamment les eaux de surface, leurs origines, leurs caractéristiques globales et ses sources de pollution.

II.1 Cycle de l'eau dans l'environnement

Sur la terre l'eau est la seule substance qu'on trouve dans ses trois phases à l'état naturelle solide (glace, neige), liquide (eau liquide) et gazeux (vapeur). L'eau s'évapore, se condense et se précipite conventionnellement dans un cycle infini [7].

L'eau s'évapore à la surface des fleuves, des lacs, des mers et des océans, lorsque la quantité d'eau dans l'atmosphère devient suffisamment grande, la vapeur se condense sur les particules en suspension, dans l'air pour former les nuages, les nuages précipitent éventuellement sous forme de pluies, l'eau qui est libérée ruisselle vers les rivières et les fleuves [7].

En ayant une bonne compréhension de ce cycle, on peut mieux déterminer quelles sont les exigences relatives à la salubrité et au traitement qui s'appliquent à l'eau brute provenant de ces sources [8].



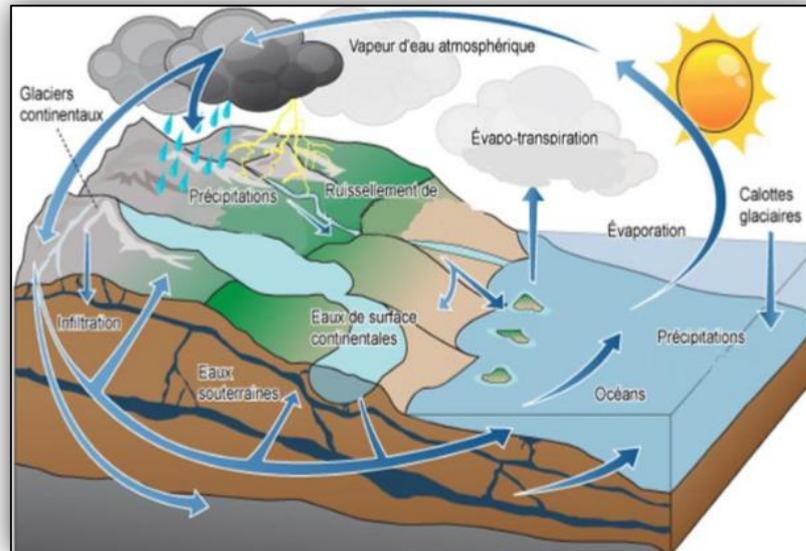


Figure II. 1: Cycle de l'eau.

II.2 Ressources hydriques

L'eau est un élément essentiel au fonctionnement de tout écosystème, mais aussi des activités humaines (agriculture, industrie). L'origine des eaux servant à l'alimentation humaine provient des eaux souterraines, les eaux douces de surface c'est-à-dire celle des ruisseaux, des rivières, des fleuves, des barrages, ou dans certains cas, par dessalement des eaux de mer [9].

II.2.1 Eaux souterraines

Les eaux souterraines sont constituées généralement par la fraction des précipitations principalement de l'eau de pluie, qui se sont infiltrées dans le sol pour former des nappes souterraines. La nature géologique du terrain a une influence déterminante sur la composition chimique de l'eau retenue. L'eau en contact avec le sol dans lequel elle stagne. Il s'établit un équilibre entre la composition du terrain et celle de l'eau [7].

- Les eaux circulant dans un sol sablonneux ou granitique sont de caractères acides peu minéralisées.
- Les eaux circulant dans les sols calcaires sont bicarbonatées calciques.

Les eaux souterraines sont pauvres en matière organique et en micro-organismes car elles ont l'avantage d'être naturellement protégées. Cependant, elles sont relativement riches en sels minéraux et pauvres en oxygène [10].



II.2.2 Eaux de surface

Ce terme englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents. Elles ont pour origine, soit des nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseau, de rivière, soit les eaux de ruissellement. Ces eaux se rassemblent en cours d'eau, elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (revirées, lacs) ou artificielles (retenues, barrages) caractérisées par une surface d'échange eau-atmosphère quasiment immobile, une profondeur qui peut être importante et un temps de séjour appréciable [4].

On peut répartir les eaux de surface en trois catégories : eaux de rivière (partie amont), eaux de rivière (partie aval) et eaux de lac. La dureté de toutes les eaux de surface est modérée.

II.2.2.1 Eaux de rivière (partie amont)

L'amont d'une rivière est en général situé dans une région montagneuse, où la densité de population est faible et les industries pratiquement inexistantes. Les principales caractéristiques de ces eaux sont présentées ci-dessous :

- Turbidité élevée. Le régime des rivières étant torrentiel, les eaux transportent de grandes quantités de matières en suspension ;
- Contamination bactérienne faible. La pollution causée par l'homme ou l'industrialisation y est pratiquement inexistante ;
- Température froide. Ces eaux proviennent soit de sources, soit de la fonte des neiges et des glaciers ;
- Indice de couleur faible. Ces eaux n'ont pas eu le temps de dissoudre des matières végétales, principales sources de couleur [8].

II.2.2.2 Eaux de rivière (partie aval)

L'aval d'une rivière est en général situé dans une région où la population est dense, l'agriculture développée et les industries plus ou moins nombreuses. Les eaux y sont donc habituellement de moins bonne qualité et plus difficiles à traiter qu'en amont. Les caractéristiques de ces eaux sont complètement opposées aux caractéristiques de l'autre (partie amont) [7].

II.2.2.3 Eaux de lac

On peut considérer un lac comme un bassin naturel de décantation dont la période de rétention est longue. La turbidité de l'eau y est donc faible et la contamination bactérienne habituellement peu



importante. Les caractéristiques des eaux de lac varient très lentement au cours de l'année, à l'exception de deux courtes périodes au printemps et à l'automne. Durant ces périodes, la différence de température entre les eaux de surface et les eaux profondes peut provoquer un renversement des eaux du lac et en augmenter ainsi brusquement la turbidité [11].

II.2.3 Eaux de mers

Les eaux de mer sont une source d'eau brute qu'on n'utilise que lorsqu'il n'y a pas moyen de s'approvisionner en eau douce. Les eaux de la mer sont caractérisées par leurs concentrations en sels dissous ; c'est ce qu'on appelle leur salinité. La salinité de la plupart des eaux de mer varie de 33000 à 37000 mg/l [11].

II.3 Propriétés de l'eau

II.3.1 Propriétés physiques

Les propriétés physiques de l'eau les plus intéressantes sont les suivantes :

II.3.1.1 Propriétés thermique

- Chaleur massique : qui est la quantité de chaleur absorbée ou fournie par une unité de masse qui s'élève ou s'abaisse de 1°C, elle varie avec la température.
- Chaleur latente : qui est, pour un matériau et un changement d'état donné, la chaleur mise en jeu (à donner ou retirer selon qu'il y a fusion ou solidification, vaporisation ou condensation) par unité de masse [8].

II.3.1.2 Masse volumique

Elle varie avec la température et la pression, mais aussi avec la teneur en sels dissous. L'eau a une masse volumique de 1 g/cm³ [4].

II.3.1.3 Viscosité

C'est la propriété que présente un fluide d'opposer une résistance aux divers mouvements soit interne, soit globaux. Cette résistance est due aux frottements réciproques des molécules en mouvement. Elle est à la base des pertes d'énergie cinétiques (perte de charge) et joue un rôle important dans le traitement de l'eau [4].



II.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 [4].

II.3.1.5 Conductivité électrique

L'eau est légèrement conductrice. La conductivité de l'eau la plus pure que l'on ait obtenue est de 4.2 $\mu\text{S/m}$ à 20 °C. Elle varie en fonction de la température [4].

II.3.1.6 Propriétés optiques

La transparence de l'eau dépend de la longueur d'onde de la lumière qui la traverse. Si l'ultraviolet passe bien, l'infrarouge, si utile au point de vue physique et biologique, pénètre à peine. L'eau absorbe fortement l'orange et le rouge dans le visible.

Les propriétés optiques sont très utilisées dans le control de l'efficacité des traitements de potabilisation et pour mesurer certaines fonctions de pollution [7].

II.3.2 Propriétés chimiques de l'eau

Il s'ensuit que l'eau possède une grande stabilité. Cette stabilité, associée aux propriétés électriques et à la constitution moléculaire de l'eau, la rend particulièrement apte à la mise en solution de nombreux corps gazeux, liquides polaires, et surtout solide. La plupart des substances minérales peuvent se dissoudre dans l'eau, ainsi qu'un grand nombre de gaz et de produits organiques [8].

II.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, cycle au cours duquel s'effectue une série d'échanges ; l'eau entre pour une grande part dans la constitution des êtres vivants [8].

II.4 Composition des eaux de surface

La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leurs parcours dans l'ensemble des bassins versants. Au cours de son cheminement, l'eau dissout les différents éléments constitutifs des terrains. En revanche, sa teneur en gaz dissous (oxygène, azote, gaz carbonique) dépend des échanges à l'interface eau-atmosphère et de l'activité



métabolique des organismes aquatiques au sein de l'eau. Les éléments caractéristiques des eaux de surface présentés dans le tableau I.1 sont :

- Les gaz dissous, en particulier l'oxygène ;
- Une concentration importante en matière en suspension, tout au moins pour les eaux courantes. Ces matières en suspension sont très diverses, allant des particules colloïdales aux éléments figurés entraînés par les rivières en cas d'augmentation importante du débit. Dans le cas des eaux de barrage, le temps de séjour provoque une décantation naturelle des éléments les plus grossiers : la turbidité résiduelle composé de matières colloïdales est alors faible ;
- La matière organique : Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés dedans et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur. C'est à cause de ça que ces eaux sont rarement potables sans aucun traitement ;
- Le plancton : les eaux de surface sont parfois le siège d'un développement important de phytoplancton (algues) et de zooplancton, surtout dans les cas d'eutrophisation. Certaines de ces organismes peuvent sécréter des produits sapides et odorants ou des toxines ;
- Des variations journalières (différence de température, d'ensoleillement) ou saisonnières : variation climatique (température, précipitations, fonte des neiges), de végétation (chute des feuilles). Elles peuvent être aléatoires : pluies soudaines, orages, pollutions accidentelles [4].



Tableau II. 1: Différents éléments caractéristiques des eaux de surface.

Caractéristique	Eaux de surface
Température	variable suivant saisons
Turbidité, MES (vraies ou colloïdales)	variable, parfois élevée
Couleur	liée surtout aux MES (argiles, algues...) sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)
Minéralisation globale	variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets.
Fe et Mn divalents (à l'état dissous)	généralement absents, sauf en profondeur des pièces d'eau en état d'eutrophisation
CO₂ agressif	généralement absent
O₂ dissous	le plus souvent au voisinage de la saturation. Absent dans le cas d'eaux très pollués.
H₂S	généralement absent
NH₄	présent seulement dans les eaux polluantes
Nitrates	peu abondants en général
Silice	teneur en général modérée
Micropolluants minéraux et Organiques	présents dans les eaux de pays développés.
Éléments vivants	bactéries (dont certaines pathogènes), virus, plancton (animal et végétal)
Solvants chlorés	rarement présents
Caractère eutrophie	fréquent Accentué par températures élevées

II.5 Pollution des eaux de surface

La pollution d'une eau superficielle est la dégradation de sa qualité en modifiant ses propriétés physiques, chimiques et biologiques, Les effets indésirables de ce phénomène sur les organismes vivants ont fait l'objet de nombreux travaux.

Cette pollution provient de plusieurs sources d'origine anthropique. Les principales sont :



- Urbaines (activités domestiques ; eaux d'égout, eaux de cuisine...) ;
- Agricoles (engrais, pesticides) ;
- Industrielles (agroalimentaire, chimie-pharmacie, pétrochimie, raffinage...) [12].

II.6 Origines de la pollution des eaux de surface

II.6.1 Industrielle

Les activités industrielles rejettent un bon nombre de substances qui vont polluer nos rivières et nos nappes, parfois d'une manière intensive que l'on n'en connaît pas les effets à long terme. Les rejets industriels renferment des produits divers sous forme insoluble ou soluble d'origine minérale et/ou organique, à caractère plus ou moins biodégradable et parfois toxique même à très faibles concentrations [4].

II.6.2 Agriculture

L'agriculture est une source de pollution des eaux non négligeable car elle apporte les engrais et les pesticides. Elle est la cause essentielle des pollutions diffuses. Les eaux agricoles issues de terres cultivées chargées d'engrais nitrates et phosphates, qu'ils ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes, ils conduisent, par ruissellement, à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eau ou des retenues [4].

II.6.3 Rejets domestiques

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont constituées essentiellement d'excréments humains, des eaux ménagères de vaisselle chargées de détergents, de graisses appelées eaux grises et de toilettes chargées de matières organiques azotées, phosphatées et de germes fécaux appelées eaux noires [4].

II.6.4 Eaux pluviales

Elles peuvent constituer la cause de pollution importante des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumée industrielles), puis en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles des vidanges, carburants, résidus de pneus et métaux lourds...etc.).



II.7 Polluants de l'eau de surface

On regroupe généralement les polluants de l'eau sous trois grandes catégories :

II.7.1 Polluants biologiques

Regroupent les polluants tels que les microorganismes (bactéries, virus, parasites) et les matières organiques produites par les êtres vivants (excréments, sucres, graisses...) [6].

II.7.2 Polluants chimique

Sont des substances chimiques normalement absentes, ou présentes naturellement dans l'environnement dans des concentrations très faibles. Quel que soit le type de polluant chimique, la consommation quotidienne d'eau polluée par des traces de ces substances peut avoir des effets néfastes sur la santé humaine. Ce type de pollution regroupe les solvants, les métaux (Zn, Pb, Cd.), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les produits pharmaceutiques, les pesticides, les sels, etc... [12].

Tableau II. 2: Principaux types de polluants chimiques avec leurs sources et effets.

Principaux polluants	Principales sources de Contamination	Principaux effets sur l'environnement ou sur la santé humaine
Acides nitriques et sulfurique	Pluies acides	Rendent acides les lacs et les cours d'eau, déciment la flore et la faune aquatiques.
Nitrates et phosphates	Engrais et détergents	Contribuent au développement des algues dans les lacs et les cours d'eau.
Métaux lourds	Mines, métallurgie, Déforestation	S'accumulent dans les organismes et ont des effets sur le système nerveux.
Hydrocarbures	Extraction, transport et stockage du pétrole	Provoquent des «marées noires», soit de graves dommages aux rivages et aux fonds marins.
Produits organiques persistants (POP)	Pesticides, solvants, Produits nettoyants	S'accumulent dans les organismes et ont des effets variables : cancérogènes, mutagènes, etc.



II.7.3 Polluants physiques

Regroupent des débris insolubles et non dégradables ainsi que les eaux chaudes rejetées par les systèmes de refroidissement des centrales thermiques et nucléaires.

Les déchets solides peuvent s'accumuler et former d'immenses décharges flottantes et les eaux chaudes rejetées par les systèmes de refroidissement réchauffent les écosystèmes aquatiques, ce qui réduit la concentration en oxygène de l'eau et favorise l'eutrophisation. On qualifie parfois ce phénomène de pollution thermique de l'eau [12].

II.8 Impact de la pollution hydrique sur l'environnement

Les eaux usées rejetées dans les milieux aquatiques sans traitement préalable peuvent occasionner des dégâts irréversibles sur la santé du vivant et sur les écosystèmes.

II.8.1 Sur l'environnement

Le déversement des eaux usées directement dans l'environnement cause de nombreux dangers pour la survie des organismes vivants et l'équilibre écologique. Par exemple la présence de quantités excessives d'azote et de phosphore engendre un phénomène appelé eutrophisation, qui favorise la prolifération de végétaux et diminue la quantité d'oxygène dissous, ce qui provoque à long terme la mort de nombreux organismes vivants au sein du milieu aquatique (poissons, crustacés, etc...) [13].

La présence des éléments traces métalliques comme le mercure et l'arsenic dans ces eaux peut avoir un impact négatif sur les organismes vivants les plus fragiles en raison de leur toxicité même à faibles doses, provoquant des dysfonctionnements et des troubles dans leurs fonctions physiologiques (nutrition, respiration et reproduction) [13].

II.8.2 Sur la santé humaine

L'eau est un élément indispensable à la vie humaine. L'insuffisance ou la mauvaise qualité de l'eau est à l'origine de nombreuses maladies dans le monde, notamment dans les pays en développement ou 80% des maladies sont dues à l'eau.

Les maladies hydriques peuvent être classées selon six catégories différentes :

- Maladies transmises par l'eau (parasites, bactéries, virus) ;
- Infections de la peau et des yeux, dues au manque d'eau ;
- Maladies causées par un organisme aquatique invertébré ;



- Maladies causées par un insecte fourmillant à proximité de l'eau.

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), chaque année 4 milliards de cas de diarrhée, en plus des millions d'autres cas de maladies, sont liés à un manque d'accès à l'eau propre pour la consommation humaine [12].

II.9 Définition de l'eau potable

Une eau potable est une eau que l'on peut boire sans risque pour la santé selon l'organisation mondiale de la santé. C'est une eau exempte de germes pathogènes (bactéries, virus) et d'organismes parasites, car les risques sanitaires liés à ces micro-organismes sont grands. Ses caractéristiques de potabilité répondent à des normes établis soit au niveau national, ou international.

II.10 Paramètres de potabilisation des eaux de surface

II.10.1 Paramètres organoleptiques

Les propriétés organoleptiques sont toutes ces descriptions des caractéristiques physiques de l'eau en général, telles qu'elles sont perçues par les sens, telles que son goût, son odeur, sa couleur. Ces différents caractères doivent être appréciés au moment du prélèvement car certaines odeurs, par exemples peuvent, disparaître pendant le transport, ou l'aspect de l'échantillon se modifier au cours du stockage [14].

Couleur

La couleur peut être due à certaines impuretés minérales (fer...) mais également à certaines matières organiques. Elle doit être éliminée pour rendre l'eau agréable à boire. L'élimination de la couleur s'accompagne également de l'élimination de certaines matières organiques indésirables (précurseurs de composés haloformes...) [4].

Odeur

L'odeur est définie comme l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatile, l'eau destinée à la consommation humaine doit être inodore. Une eau qui renferme une odeur est synonyme de pollution ou de présence de matières organiques en décomposition, ce qui est trop dangereux pour la santé des consommateurs [15].



Goût

Le goût est défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche .Il n'existe aucune méthode qui permette de mesurer le goût, la tolérance varie d'ailleurs, d'un consommateur à l'autre [15].

II.10.2 Paramètres physico-chimiques

Il s'agit des caractéristiques de l'eau, ces caractéristiques sont en relation avec la structure naturelle de l'eau.

II.10.2.1 Paramètres physiques

Température T

La température est un paramètre clé du comportement et de la qualité des eaux de surfaces. Elle constitue non seulement un indicateur des conditions de recharge des eaux de surfaces, mais elle contrôle aussi l'activité bactérienne et les équilibres hydro-chimiques dans le sous-sol. De ce fait, une augmentation de la température de l'eau peut, par exemple, entraîner une diminution de la concentration en oxygène dissous, favorisant la présence de bactéries pathogènes et provoquant ainsi la diminution des microorganismes indicateurs de la bonne qualité de la ressource [8].

Conductivité

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique. Tous les ions dans l'eau y participent : calcium, magnésium, mais aussi l'aluminium, fer, manganèse, mercure, etc..., elle permet d'évaluer la quantité de sels minéraux dans l'eau [16].

Salinité

La salinité mesure la concentration d'une eau en sels dissous (chlorure de sodium, chlorure de magnésium, sulfate de magnésium, etc.) elle correspond à la somme des cations et des anions présents exprimée au travers de la conductivité électrique de cette eau, Cette salinité est exprimée en unité de %.

Teneur en Sel Dissous TDS

Elle est la somme de tous les éléments contenus dans l'eau. Elle serait globalement équivalente à la somme des concentrations du calcium, du magnésium, du sodium, du potassium, du fer, du



zinc, du cuivre, de l'aluminium, du manganèse pour les cations, additionnée à la somme des carbonates, des hydrogénocarbonates, des silicates, des sulfates, des chlorures, des nitrates, des phosphates et des fluorures pour les anions. La minéralisation totale ou TDS est donc exprimé en mg /L [15].

Turbidité

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales : argiles, limons, grains de silice, matières organiques, etc. L'appréciation de l'abondance de ces particules mesure son degré de turbidité, Celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace [15].

Résidu sec

La détermination du résidu sur l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau, c'est le résidu total. Si l'eau est filtrée préalablement à la mesure, le résidu correspond alors aux matières dissoutes. Le résultat obtenu est influencé par la température et la durée de la dessiccation [15].

II.10.2.2 Paramètres chimiques

Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est une mesure qui permet de déterminer à quel point l'eau est acide ou basique. Cela est lié directement à la quantité d'ions hydrogène (H^+) dans l'eau en solution. Plus il y a d'ions H^+ , plus l'eau est acide et plus le pH est bas [8].

Alcalinité (TA-TAC)

À l'inverse de l'acidité, l'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases et de sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement à la présence d'hydrogénocarbonates, carbonates et hydroxydes.

On distingue comme pour la mesure de l'acidité, deux titres qui sont le titre alcalimétrique ou titre alcalimétrique simple (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC). L'unité utilisée est le degré français ($1^\circ f = 10 \text{ mg/L de CaCO}_3$) [17].



Titre Hydrométrique TH (Dureté)

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Dans la plupart des cas la dureté est surtout due aux ions calcium et magnésium auxquels s'ajoutent quelquefois les ions fer, aluminium, manganèse, strontium [13].

On distingue :

- **TH total** : Totalité des sels de calcium et magnésium, c'est cette valeur qui est utilisée lorsque l'on parle couramment du TH ou de la dureté de l'eau ;
- **TH calcique** : Totalité des sels de calcium ;
- **TH magnésien** : Totalité des sels de magnésium ;
- **TH permanent** : Ou dureté non carbonatée correspond au sulfate et au chlorure de calcium stable, il est égal à la différence entre le TH et le TAC.

Éléments minéraux

- **Magnésium Mg^{2+}** : Le magnésium constitue un élément majeur dans la dureté de l'eau, il est présent sous forme de carbonates ou de bicarbonates, et c'est un élément indispensable pour la croissance [17].
- **Calcium Ca^{2+}** : Le calcium est l'un des principaux cations qui soient associés à la dureté de l'eau potable, il peut avoir des effets néfastes sur la qualité de l'eau potable, ces effets sont surtout d'ordre organoleptique ou esthétique [5].
- **Chlorures Cl^-** : Dans l'eau, le chlorure n'a ni odeur, ni couleur, mais peut procurer un goût salé assez amer, les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés. Ainsi, les eaux courantes non polluées ont souvent une teneur en chlorures [10].
- **Sulfates SO_4^{2-}** : Le sulfate donne un goût amer, un goût médical à l'eau si il dépasse la concentration de 250 mg/L. Cela rend désagréable la consommation de l'eau. Elles sont des composés naturels des eaux. Ils sont liés aux cations majeurs tels que calcium, le potassium et le sodium [18].
- **Sodium Na^+** : Le sodium est un métal abondant, toujours associé à d'autres éléments chimiques. La concentration dans l'eau de boisson est normalement inférieure à 50 mg/l, mais elle peut augmenter au cours des traitements d'adoucissement (par échange d'ions) des eaux calcaires [8].



- **Potassium K^+** : Le potassium est un élément naturel des eaux, où sa concentration à peu près constante, ne dépasse habituellement pas 10 à 15 mg/L, sauf dans certains contextes géologiques particuliers où elle atteint 20 à 25 mg/L [8].

Fer (Fe) et Manganèse Mn^{2+}

La présence du fer et du manganèse est fréquente dans les eaux superficielles sous forme dissoute, leur présence est plus rare et on les retrouve généralement sous forme de colloïdes en suspension ou sous forme complexée. Le fer et le manganèse ne sont pas des polluants majeurs et leur ingestion ne présente pas de danger pour l'homme. Cependant, il est nécessaires de limiter leur concentration dans les eaux de consommation, car ils influencent la qualité organoleptique de l'eau (aspect, couleur, goût métallique) et peuvent être à l'origine du développement de micro-organismes initiant des phénomènes de corrosion [5].

Aluminium

Bien que très abondant dans l'écorce terrestre, L'aluminium est peu présent dans les eaux, car très peu soluble. Dans les eaux traitées, sa présence est principalement due aux coagulants, tel que le sulfate d'aluminium, utilisés pour la clarification des eaux de surface. L'aluminium est considéré comme un micropolluant toxique depuis le développement de l'hémodialyse qui facilite son assimilation. On le soupçonne également d'être associé aux lésions cérébrales caractéristiques de la maladie d'Alzheimer [5].

Nitrates NO_3^-

Les nitrates constituent une espèce très mobile. La limite de qualité pour les eaux brutes est de 50 mg/L pour les eaux superficielles et de 100 mg/L pour les eaux souterraines. La limite de qualité au robinet du consommateur est de 50 mg/L, quelle que soit l'origine de la ressource [5].

Nitrites NO_2^-

Sont présente dans l'eau de surface à raison de 0.03 à 1 mg/l. leur valeur doit être inférieure à 0.1 mg/l en sortie des installations de traitement. La limite qualité est de 0.5 mg/l, la consommation d'eau chargée de nitrites perturbe la fixation de l'oxygène par l'hémoglobine du sang [5].

Ammonium NH_4^+

L'ammonium est souvent rencontré dans les eaux et traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique. Il constitue un des maillons du cycle de l'azote.



L'ammoniac est un gaz soluble dans l'eau, mais suivant les conditions de pH, il se transforme soit en composé non combiné, soit sous forme ionisée [8].

Matières organiques MO

La matière organique est principalement composée d'atomes de carbone, auxquels sont associés des atomes d'hydrogène, d'oxygène et d'azote (CHON). La présence de matière organique dans les eaux alimentaires est dangereuse car elle réagit avec les produits utilisés pour la désinfection de l'eau (en particulier le chlore) et forme des sous-produits indésirables ou à l'origine du mauvais goût de l'eau [5].

Phosphate PO_4^{3-}

Le phosphore existe sous forme minérale ou organique. Les formes chimiques sous lesquelles se rencontre le phosphore dépendent de l'acidité du milieu. La teneur naturelle en phosphate ou ortho phosphate est de l'ordre de 0,1 à 0,3 mg/L. La présence de phosphate dans les eaux souterraines et dans les eaux de surfaces est généralement un indice de pollution [8].

II.10.3 Paramètres microbiologiques

Sont des paramètres ou des indices qui permettent de contrôler la qualité bactériologique de l'eau, qui se mesure par la présence ou par l'absence d'organismes d'origine intestinale. C'est certainement la présence d'organismes pathogènes dans une eau qui fait courir le plus grand risque pour la santé. Paradoxalement, les paramètres microbiologiques n'ont pas une très grande importance pour le traiteur, car les procédés classiques de désinfection sont d'un quasi parfait efficacité [17].

Ils sont représentés par les germes suivants : Coliformes fécaux, streptocoques fécaux, clostridium sulfito-réducteurs.

II.11 Objectif de traitement des eaux de surface

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

- ❖ **La santé publique** : une eau sans risques pour la santé.
- ❖ **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 une eau agréable à boire, claire et équilibrée en sels minéraux.



- ❖ **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 [19].

Conclusion

Le premier chapitre est consacré totalement des généralités sur les eaux naturelles, dans un premier temps on a parlé des différentes ressources hydriques. Par la suite on a abordé les propriétés globales des eaux et les compositions des eaux de surface. Cette dernière peut contenir des substances polluantes qui a un impact négatif sur la santé humaine et sur l'environnement. C'est pourquoi, elles ont besoin d'être protégées, traitées et économisées.



Chapitre III

Matériels et méthodes



Chapitre III : Matériels et méthodes

Dans ce chapitre, nous allons présenter :

- 1- Les moyens (réactifs, produits chimiques ; matériel) qui ont été utilisés dans notre étude, et de la méthodologie expérimentale adoptée pour réaliser ce travail. On détaillera les modes et protocoles opératoires, les techniques et méthodes de mesure et d'analyse suivie pour caractériser la qualité physico-chimique des eaux avant et après le traitement de potabilisation.
- 2- Les méthodologies de travail pour réaliser cette étude d'évaluer l'efficacité de système de traitement adapté à la station de Boudouaou ; au préalable les méthodes d'évolutions des différents paramètres physico-chimiques et évaluer la qualité physico-chimique des eaux traitées après le traitement de potabilisation à la sortie de cette station.

III.1. Objectif

L'objectif de notre travail consiste à caractériser et évaluer la qualité de l'eau du barrage Keddara (wilaya de Boumerdes) avant et après traitement par la station de traitement de Boudouaou, en réalisant des analyses physico-chimiques, par la suite confirmer l'efficacité du système de traitement de l'eau de barrage Keddara.

III.2. Protocole et méthodologie expérimentale

III.2.1. Méthodologie de travail expérimental

Pour élaborer l'étude des paramètres, notre travail a été réalisé selon la démarche méthodologique suivante :

1. Collecte de données : nous avons fait une recherche bibliographique sur les études déjà effectuées sur le sujet, ainsi que l'accès à l'archive de notre organisme d'accueil qui nous a permis d'approfondir nos connaissances théoriques sur le fonctionnement de la station ;
2. Travail réalisé au niveau de laboratoire de contrôle de procédé de traitement ;
3. Des échantillonnages d'eaux brutes et d'eaux traitées ont été effectués pour des analyses physico-chimiques courantes telles que : (pH, turbidité, température, UV à 254 nm, conductivité...etc.) ;



4. Les autres analyses de dosage et titration...etc., nous avons assisté ; observé et aidé les chimistes pour réaliser ces différentes analyses au laboratoire. Ce travail nous a permis de maîtriser les techniques d'analyses physico-chimiques des eaux destinées à l'alimentation en eau potable ainsi d'interpréter les résultats obtenues.

III.2.2. Protocoles d'échantillonnage

Des prélèvements des échantillons ont été faits à l'entrée et à la sortie de la filière. Les échantillons des différentes phases de traitement, sont arrivés au laboratoire par billet des pompes d'échantillonnage qui fonctionnent en continue 24H/24.

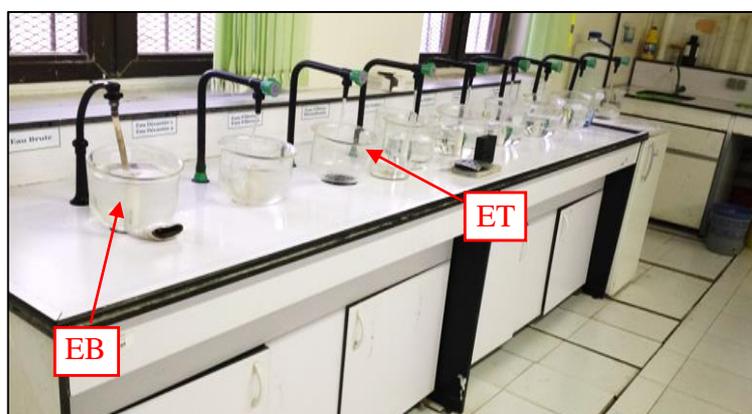


Figure III. 1: Lieu de prélèvement centre de Boudouaou.

III.3. Matériel

Plusieurs matériels ont été utilisés dans la réalisation de cette étude. Ce sont entre autre les rapports de suivi, les fiches techniques, des réactifs chimiques et appareillages. Ces équipements permettent d'effectuer des analyses des différents paramètres recherchés. Ainsi que des matériels, verreries classique et courants de laboratoire (verreries, équipements et accessoires de laboratoire, appareils,...etc.) ; Ces principaux Matériels utilisés sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau III. 1: Principaux matériels utilisés au niveau de la station de Boudouaou.

Matériels	Marque	Utilisation
pH-mètre	pH 3110	Mesure de pH
Turbidimètre	HACH 2100N	Mesure de la turbidité
Conductimètre	HACH sension7	Mesure de la conductivité
Spectrophotomètre	HACH DR-6000 HACH DR-5000	Comme méthodes d'Analyse et dosage
Floculateur	FLOCUMATIC SELECTA	Essai de jar-teste



III.4. Méthodes d'analyses

Les principaux paramètres physico-chimiques caractéristiques des eaux de la station de potabilisation de Boudouaou sont déterminés par les méthodes standards d'analyse décrites sur les modes opératoires utilisés à cet effet au niveau de laboratoire procès de centre.

Afin de caractériser ces eaux, des analyses physico-chimiques ont été effectuées ; les méthodes utilisées au niveau de la station de Boudouaou sont résumées dans le tableau III.2.

III.4.1. Méthode spectrophotométrie

C'est une méthode analytique quantitative qui consiste à mesurer l'absorbance A ou la densité optique d'une substance chimique donnée, généralement en solution à l'aide d'un spectrophotomètre préalablement étalonné sur la longueur d'onde d'absorption de la substance à étudier. Ceci permet d'établir expérimentalement la courbe $A = f(C)$ reliant l'absorbance et la concentration de la substance étudiée, en effectuant les mesures de A pour diverses concentrations. Cette courbe est une courbe d'étalonnage qui permet ensuite de déterminer la concentration inconnue d'une solution de cette substance par simple mesure de son absorbance et report sur le graphe $A = f(C)$.

Dans notre étude l'appareil utilisé est un spectrophotomètre de type DR 6 000 qui est fourni avec un ensemble complet de programmes d'application et un support multilingue [Mode d'emploi HACH LANGE]. Ce système de menus peut être utilisé pour générer des rapports et des évaluations statistiques, la réalisation des contrôles de diagnostic de l'appareil, ainsi que des courbes d'étalonnage pour chaque paramètre à analyser ce qui permet de fournir des mesures numériques en unités directes de concentration, d'absorption ou de pourcentage de transmission.

Cette méthode nous a permis d'analyser les paramètres suivants (UV, aluminium, fer, ammonium, nitrates, sulfates, nitrates, manganèse, ortho phosphates).

III.4.2. Méthode titrimétrie

Titration volumétrique c'est une technique d'analyse quantitative qui permet de déterminer la quantité d'une substance nécessaire pour effectuer complètement une réaction chimique donnée. Le titrage consiste à verser à partir d'une burette un volume précis d'une solution dont la concentration est connue dans une solution contenant la substance à doser, de concentration inconnue. La substance contenue dans le titrant réagit de façon continue avec la substance à analyser. Le point atteint quand on a ajouté suffisamment de titrant pour que la totalité de la substance à analyser



réagisse est appelé point d'équivalence. On identifie souvent ce point à l'aide du changement de couleur d'un produit chimique appelé indicateur. Cette méthode nous permet d'analyser :

- Titre hydrotimétrique (TH) : titré avec la solution d'E.D.T.A à 0.01 mol/l ;
- Quelques paramètres de la minéralisation globale (Ca, Mg) ;
- Titre alcalimétrique et titre alcalimétrique complet (TA, TAC) : titré avec le H_2SO_4 à 0.02N ;
- Les chlorures : Titrés avec $AgNO_3$ à 0,01 N jusqu'à coloration brun rougeâtre ;
- L'indice de permanganate Mn : titrage avec le permanganate de potassium à 2 mmol/l.

Tableau III. 2: Méthodes d'analyses utilisées au niveau de la station de Boudouaou.

Paramètres	Méthode d'analyses
pH, conductivité, turbidité. Température.	Mesure directe avec des appareils des mesures (pH-mètre, conductimètre, turbidimètre, thermomètre
UV, aluminium, fer, ammonium, nitrates, sulfates, nitrates, manganèse, ortho phosphates	Mesure spectrophotométrie
Titre alcalimétrique complet TAC	Titration avec H_2SO_4
Titre hydrotimétrique (TH)	Titration avec EDTA
Les chlorures	Titration avec $AgNO_3$
L'indice de permanganate	Titration avec $KMnO_4$

III.5. Paramètres physico-chimiques

III.5.1. Mesure de la conductivité

Principe

Déterminer l'activité ionique des échantillons à analyser en utilisant un conductimètre électrique (HANCH sension7).

Mode opératoire

- On remplit un bécher avec une quantité d'eau ;
- On rince l'électrode avec de l'eau distillée avant et après chaque utilisation et on l'égoutte bien ;
- On met l'électrode dans le bécher, puis on appui sur la touche READ ;



- la valeur de la Conductivité s'affiche sur l'écran de l'appareil avec une unité de micro siemens par Centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$). (les mêmes étapes pour la mesure de la température).

III.5.2. Mesure de pH

Principe

Pour mesurer le pH on a besoin d'un outil de mesure sensible aux ions hydronium qui déterminent le pH, le principe de la mesure consiste à prendre un capteur avec une membrane en verre sensible aux ions hydronium (électrode pH) et à observer la réaction entre la membrane et l'échantillon, ce potentiel est comparé à un potentiel de référence délivré par une électrode insensible au pH, Le pH d'une solution est alors la différence de potentiel entre les deux électrodes.

Mode opératoire

- On prend environ 100 ml d'eau à analyser et on la verse dans un bécher ;
- On met un agitateur automatique avec une faible agitation ;
- On trempe l'électrode du pH mètre (de type pH 3110) dans le bêcheur contenant l'échantillon à analyser ;
- On le laisse stabiliser un moment avec une faible vitesse d'agitation, puis on note le pH.

III.5.3. Mesure de la turbidité

Principe

La turbidité est un indice de la présence de particules en suspension dans l'eau. Elle est déterminée par la méthode néphélométrique. Cet appareil mesure la lumière dispersée par les particules en suspension avec un angle de 90° par rapport au faisceau de lumière incident.

Matériels utilisés

- Turbidimètre (HACH 2100N) ;
- Cellule.

Mode opératoire

- On remplit la cuve sans faire de bulles, on visse le bouchon puis on sèche la cuve ;
- On insère la cuve dans le puits de mesure en plaçant la flèche de la cuve face au repère ;
- On ferme le capot de l'appareil ;
- On appui sur (ENTER) et on lit la valeur affichée ;



- On retire la cuve de mesure, après on la vide.

La valeur de la turbidité est donnée directement par l'appareil de turbidimètre.

III.6. Autres paramètres Physico-chimiques et essais

Afin de pouvoir caractériser l'eau brute et classer et évaluer les eaux traitées, en se basant sur la variation des différents paramètres physico-chimique, quelques analyses des autres paramètres physico-chimiques nous a été communiquées autrement nous avons utilisés et emprunté celles qui ont été faites par les laboratoires procès de la Boudouaou-SEAAL, au niveau de la station de traitement des eaux de Boudouaou.

Ces analyses sont d'ordres :

- Paramètres des pollutions tel que : nitrites NO_2 , Nitrate NO_3 , ...etc.
- Les paramètres indésirables (les métaux lourds) tel que : Fe. Al. Mn.
- Paramètres de minéralisations tel que : Ca^{2+} , Mg^{2+} , TH, TAC...etc.
- Essais de traitabilités de l'eau brute : dose optimale de sulfate d'Alumine, et flocculant, demande en chlore.

III.6.1. Détermination des paramètres de pollution

III.6.1.1. Dosage des nitrites NO_2^-

Principe

Réaction des ions nitrites présents dans une prise d'essai, avec le réactif amino-4 benzène sulfonamide en présence d'acide ortho phosphorique pour former un sel diazoïque forme un complexe de coloration rose avec le diclor-hydrate de N-(naphyl-1) diamino-1,2éthane (ajouter avec le réactif amino-4 benzène sulfonamide) puis, mesure de l'absorbance à 540 nm.

Matériels utilisés

- Matériel courant de laboratoire : pissette d'eau distillée, verrerie (fioles et pipettes) ;
- Spectrophotomètre HACH DR-6 000.

Mode opératoire

- On prélève 40 ml de l'échantillon à analyser puis on le verse dans un erlenmeyer ;
- On ajoute 1 ml du réactif coloré, puis on l'homogénéise immédiatement ;
- On le remplit jusqu'à 50 ml avec de l'eau distillée ;



- On le laisse reposer au moins 20 min ;
- Enfin on effectue la mesure spectrométrique à la longueur d'onde 540 nm. Le résultat est donné directement en mg/L de nitrite.

III.6.1.2. Dosage des nitrates NO_3^-

Principe

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

Matériel utilisé

- Matériel courant de laboratoire : verrerie (fioles, erlenmeyers et pipettes) ;
- Spectrophotomètre HACH DR-6000 ;
- Etuve.

Mode opératoire

- On introduit 10 ml d'eau distillée dans une capsule de 60 ml on alcalinise faiblement avec la solution d'hydroxyde de sodium, puis on ajoute 1 ml de salicylate de sodium et on poursuit le dosage pour avoir la courbe d'étalonnage (le blanc) ;
- On prépare de la même façon un témoin avec 10 ml d'eau à analyser ;
- On évapore à sec dans une étuve portée à 105°C (sans surchauffer ni chauffer trop longtemps) ;
- On les laisse refroidir ;
- On prend les résidus et on ajoute 2 ml d'acide sulfurique concentré pour chacun ;
- Après 1 mn, on ajoute 15 ml d'eau distillée, puis 15 ml de la solution de tartre double de sodium et de potassium qui développe la couleur jaune ;
- On effectue les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 415 nm et on tient compte de la valeur lue pour le témoin ;
- Le résultat est donné directement en mg/L de nitrate.

III.6.1.3. Dosage de l'ammonium NH_4^+

Principe

En présence d'hydroxyde de sodium (milieu alcalin), il se produit une réaction entre le réactif de Nessler (iodo-mercurate de potassium alcalin) et la forme NH_3 , avec formation d'un composé de



coloration variant du jaune orange au brun. Ce dernier autorise une mesure spectrophotométrique à une longueur d'onde voisine de 420 nm.

Matériel utilisé

- Matériel courant de laboratoire : pissette d'eau distillée, verrerie (fioles, erlenmeyers et pipettes) ;
- Spectrophotomètre HACH DR-6000.

Mode opératoire

- Tout d'abord on prélève 40 ml d'échantillon à analyser, et on ajoute dans l'ordre :
 - 4 ml du réactif coloré, on homogénéise ;
 - 4 ml du réactif du dichoroisocyanurate de sodium et on homogénéise ;
 - Puis, on complète à 50 ml avec de l'eau distillée ;
- On prépare de la même façon un témoin avec 40 ml d'eau distillée ;
- On attend le développement de la couleur après ou moins 60 min ;
- On effectue la lecture au spectrophotomètre à 655 nm. Les résultats sont exprimés en mg/L.

III.6.1.4. Dosage des orthophosphate PO_4^{3-}

Principe

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les ortho-phosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrophotométrique.

Matériel utilisé

- Matériel courant de laboratoire : pissette d'eau distillée, verrerie (fioles, erlenmeyers et pipettes) ;
- Spectrophotomètre HACH DR-6000.

Mode opératoire

- En premier, on prélève 40 ml d'eau distillée (le blanc) et 40 ml d'échantillon à analyser et on ajoute sans attendre à chacun :



- 1 ml d'acide ascorbique à 100 mg/L ;
 - 2 ml d'heptamolybdate d'acide ;
 - On complète jusqu'à 50 ml avec de l'eau distillée puis on agite quelques secondes ;
- Après un temps compris entre 10 et 30 min (temps nécessaire au développement de la couleur), on effectue la lecture spectrophotométrique. Les résultats sont exprimés en mg/L.

III.6.1.5. Détermination de l'indice de permanganate (matière organique)

Principe

Chauffage d'un échantillon en présence d'une quantité connue de permanganate de potassium et d'acide sulfurique pendant une période donnée (10 mn).

Réduction d'une partie du permanganate par les matières oxydables présentes dans l'échantillon.

Détermination de l'excès de permanganate par addition d'une solution d'oxalate, suivi par un titrage de l'oxalate en excès par le permanganate.

Matériel utilisé

- Matériel courant de laboratoire : pissette d'eau distillée, verreries (pipettes, béchers...etc.) ;
- Plaque chauffante ;
- Burette graduée.

Mode opératoire

- Tout d'abord, on transfère à l'aide d'une pipette 100 ml d'échantillon dans un bécher de 250 ml ;
- On ajoute 20 ml d'acide sulfurique 2 mol/l et on mélange en agitant doucement ;
- Après, on place le bécher sur une plaque chauffante et on porte à ébullition ;
- On ajoute 20 ml de la solution fixe de KMnO_4 à 2 mmol/l ;
- Puis, on démarre le chronomètre et on maintient à ébullition pendant 10 minutes ;
- Après 10 minutes, on ajoute 20 ml de la solution fixe de l'oxalate (0.01 N) et on attend que la solution se décolore ;
- On retire alors le bécher de la plaque ;



- On titre pendant que la solution est encore chaude avec la solution KMnO_4 (0.01 N) jusqu'à couleur rose pâle. On note V_{1eq} ;
- On effectue parallèlement un essai à blanc avec le même mode opératoire mais en remplaçant la prise d'essai par 100 ml d'eau distillée. On note V_{0eq} ;
- On conserve le blanc titré pour la vérification de KMnO_4 ;
 - Au blanc titré on ajoute 20 ml d'oxalate à 0.01 N ;
 - On réchauffe la solution à 2 minutes ;
 - On retitre avec le KMnO_4 0.01 N jusqu'à coloration rose pâle ;
 - On note V_{2eq} au KMnO_4 ; il doit être entre 19 et 20 ml si ce n'est pas le cas, on refait la solution mère de KMnO_4 .

Les résultats exprimés en milligramme par litre d'oxygène $\text{mg O}_2 / \text{L}$ et donnée par la formule suivante :

$$IP = \frac{V_{1eq} - V_{0eq}}{V_{2eq}} \text{ (mg O}_2/\text{L)} \quad (1)$$

III.6.1.6. Mesure de l'absorbance UV à 254 nm

Principe

Les matières organiques présentes dans l'échantillon à analyser absorbent la lumière à longueur d'onde $\lambda = 254 \text{ nm}$.

Matériel utilisé

- Spectrophotomètre HACH DR-5000 ;
- Cuve.

Mode opératoire

- En premier, on rince bien la cellule de spectrophotomètre avec de l'eau distillée ;
- On remplit la cellule avec de l'eau distillée ensuite, on l'introduit dans la porte cuvette et on appuie sur la touche ZERO ;
- Ensuite, on sort la cellule et on vide son contenu ;
- On remplit la cellule avec de l'eau à analyser, après on effectue la mesure au spectromètre.



III.6.2. Détermination des paramètres indésirable

III.6.2.1. Dosage de l'aluminium Al^{3+} par kit LCK 301

Principe

Le Chromazuorl S forme avec l'aluminium en milieu tampon acétate légèrement acide une laque de coloration verte.

Matériel utilisé

- Matériel courant de laboratoire : verrerie (bicher et pipettes) ;
- Agitateur magnétique ;
- Les kits LCK 301 ;
- Spectrophotomètre HACH DR-6000.

Mode opératoire

- Tout d'abord, on ajoute un peu d'acide nitrique (HNO_3) à l'échantillon afin d'ajuster le pH à la valeur limite autorisée [2.5-3.5] ;
- Ensuite on pipete 2 ml de la solution A (LCK301 A), on les introduit dans le tube à LCK301 (complexe Chromazuorl S + solution tampon pH 4.6) ;
- Après, on pipete 3 ml de l'eau traitée, on les introduit dans le tube à LCK301 ;
- On introduit dans le tube à LCK 301, une cuillère rase du réactif B (LCK301 B) ;
- Enfin, on ferme la cuve et on mélange le contenu jusqu'à dissolution du lyophilisat ;
- On attend 25min, après on introduit le tube du blanc (ZERO LCK 301) dans la porte cuvette adéquat au tube de LCK301 ;
- On attend quelque seconde jusqu'à ce que le spectrophotomètre affiche L1.
- Nettoie bien l'extérieur de tube de l'échantillon et on effectue la mesure au spectromètre.
- La concentration des Al^{3+} est affichée sur l'écran en mg/L.

III.6.2.2. Dosage de fer par kit LCK 301

Matériel utilisé

- Pipette ;
- Cuve LCK 301 ;
- Spectrophotomètre HACH DR-6000.



Mode opératoire

- tout d'abord, on pipete 5 ml de l'échantillon, on les introduit dans la cuve à LCK521.
- Ensuite, on introduit la cuve (bien nettoyer) du blanc (ZERO LCK 521) dans le porte cuvette adéquate ;
- Après quelque seconde, on retire la cuve du blanc et on le ferme avec le bouchon de Dosi ;
- On mélange, et on laisse reposer pendant 10 min ;
- On nettoie bien l'extérieur de cuve de l'échantillon et on mesure au spectromètre ;
- La concentration des Fe^{2+} est affichée sur l'écran en mg/L.

III.6.2.3. Dosage de manganèse Mn^{2+} par kit LCK 532

Principe

Les ions manganèse sont réduits en ions manganèse (II) avec l'acide ascorbique. Ils réagissent dans des solutions de faible alcalinité avec le 1-(2-pyridylazo) 2-naphthal (réactif A) pour former un complexe rouge-orangé.

Matériel utilisé

- Matériel courant de laboratoire : verrerie (bicher et pipettes) ;
- cuve rectangulaire (50 mm) ;
- Spectrophotomètre HACH DR-6000.

Mode opératoire

- On met une cuillère rase du réactif A (LCW 532 A) dans un écher ;
- On pipete 10 ml d'échantillon ;
- On mélange jusqu'à ce que le réactif soit complètement dissous ;
- On pipete 1 ml de la solution B (LW532 B) et on mélange ;
- On pipete ensuite 1 ml de la solution C (LCW 532 C) ;
- On mélange, et on laisse reposer pendant 2 min ;
- On transfère le tout dans une cuve rectangulaire (50 mm) adéquate tout en faisant attention aux effets de mousse et des bulles d'air ;
- On introduit le blanc dans le porte cuvette adéquate ;
- On nettoie bien l'extérieur de cuve de l'échantillon et mesure au spectromètre à 560nm ;
- La concentration des Mn^{2+} est affichée sur l'écran en mg/L.



III.6.3. Paramètres de minéralisation globale

III.6.3.1. Dosage du calcium Ca^{2+}

Principe

Titration des ions calcium avec une solution aqueuse d'EDTA à un pH compris entre 12 et 13, le Murexide, qui forme un complexe rose avec le calcium est utilisé comme un indicateur, le magnésium est précipité sous forme d'hydroxyde et n'interfère pas lors du dosage.

Lors du titrage, l'indicateur réagit d'abord avec les ions calciums libres, ensuite avec les ions calcium combinés à l'indicateur qui vire de la couleur rose vers le violet.

Mode opératoire

- On prend 50 ml de l'échantillon ;
- On ajoute 2 ml de la solution hydroxyde de sodium et une pincée de murexyde (indicateur coloré), on mélange bien. La prise d'essai doit se colorer alors en rose ;
- On titre immédiatement à l'aide de la solution EDTA en versant lentement tout en agitant constamment jusqu'au virage Violet ;
- On note le volume d'EDTA versé ;

La concentration totale en ions calcium Ca^{+2} exprimée en mg/L le plus proche, est donnée par la formule :

$$[\text{Ca}^{2+}] = \frac{V_1 \times C_1 \times F \times M}{V_0} = V_1 \times 8 \quad (2)$$

Avec

- $[\text{Ca}^{+2}]$: est la teneur en calcium exprimé en mg/L ;
- C_1 : est la concentration de la solution EDTA (0.01 mol/l) ;
- V_0 : est le volume, en millilitres, de la prise d'essai (50 ml) ;
- V_1 : est le volume, en millilitres de la solution d'EDTA utilisé pour le dosage ;
- M : est la masse molaire du calcium (40.08 g/mol) ;
- F : facteur de dilution.



III.6.3.2. Détermination de la dureté TH

Principe

Pour déterminer la concentration en ions calcium (Ca^{2+}) et en ions magnésium (Mg^{2+}) dans une eau on utilise une réaction de complexation. Le dosage s'effectue avec une solution du sel disodique de l'acide éthylène-diamine tétra-acétique (EDTA) symbolisé par $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, en milieu tamponné à pH 10, pH auquel on observe de bons résultats expérimentaux.

Mode opératoire

- On prend 50 ml de l'échantillon puis on ajoute dans l'ordre :
 - 1 ml de solution tampon ;
 - Une pincée de Noir Eriochrome et on agite pour le développement de la couleur violet foncé ;
- On effectue un titrage avec la solution EDTA (0.05N) jusqu'au virage de la couleur bleu et on note le V_{eq} .

La dureté TH exprimé en °f, et donnée par la formule :

$$\text{TH} = V_{\text{eq}} \times 2 \quad (3)$$

III.6.3.3. Détermination de magnésium Mg^{2+}

La détermination du magnésium présent en solution dans l'eau à analyser est exprimée en mg/L et donnée par la formule suivante :

$$[\text{Mg}^{2+}] = (V_{\text{TH}} - V_{\text{Ca}^{2+}}) \times 4.8 \quad (4)$$

III.6.3.4. Détermination de l'alcalinité TAC

Principe

Le titre alcalimétrique complet TAC est la concentration de l'ensemble des anions alcalins faibles, à savoir les hydroxydes OH^- , carbonates CO_3^{2-} , et hydrogencarbonates HCO_3^- ; par mesure de la quantité de l'acide chlorhydrique HCl ou acide sulfurique H_2SO_4 nécessaire pour amener le pH de l'eau à analyser à pH= 8.3 pour le TA et pH = 4.4 pour le TAC. Le changement du pH est détecté par l'emploi d'un indicateur coloré méthyl orange.



Mode opératoire

- En premier, on prend 50 ml de l'échantillon à analyser ;
- Ensuite, on ajoute 3 gouttes de méthyl orange ;
- Après, on remplit la burette avec H_2SO_4 , (0.02N) ;
- Puis on l'ouvre goutte à goutte jusqu'au changement de couleur du jaune vers le jaune orangé ;
- On note V_{eq} .

Le titre alcalimétrique complet TAC présent en solution dans l'eau à analyser est exprimée en degré Français °f et donnée par la formule suivante :

$$TAC = V_{eq} \times 4 \text{ °f} \quad (5)$$

III.6.3.5. Dosage du sulfate SO_4^{2-}

Principe

L'ion sulfate en présence de chlorure de baryum ($BaCl_2$), précipitent à l'état de sulfate de baryum.

Matériel utilisé

- Matériel courant de laboratoire : pissette d'eau distillée, verrerie (bicher et pipettes) ;
- Spectrophotomètre HACH DR-6000.

Mode opératoire

La détermination de la teneur en SO_4^{2-} se fait de la manière suivante :

- D'abord on prend 20 ml d'échantillon à analyser et on ajoute 5 ml de la solution stabilisante, on agite quelques secondes (agitation mécanique lente) ;
- Ensuite, on ajoute 2 ml de chlorure de baryum ;
- Puis, on complète jusqu'à 100 ml avec l'eau distillée ;
- On prépare de la même façon un témoin avec 20 ml d'eau distillée (le blanc) ;
- On les laisse pendant 1 min sous agitation mécanique rapide ;
- On remplit la cuve avec le blanc, on l'insère dans le spectrophotomètre puis on appuie sur la touche ZERO ;



- Enfin, on remplit rapidement la cuve avec l'échantillon à analyser, on l'insère sans perdre de temps dans l'appareil et on appuis sur Start ;
- La concentration des SO_4^{2-} est affichée sur l'écran en mg/L.

III.6.3.6. Détermination des chlorures Cl^-

Principe

Réaction des ions chlorures avec des ions argent pour former du chlorure d'argent (AgCl) insoluble qui précipite. Ce précipité réagit avec l'indicateur (K_2CrO_4) pour former du chromate d'argent, brun rouge (Ag_2CrO_4). L'apparition de la coloration brun-rouge (virage) marque la fin du titrage.

Mode opératoire

- D'abord on introduit, au moyen d'une fiole, 100 ml de l'échantillon (volume V_a), dans un bécher conique ;
- On ajoute 1 ml d'indicateur de chromate de potassium et on titre la solution par addition goutte à goutte de solution de nitrate d'argent jusqu'à ce que la solution prenne une couleur brun rougeâtre ;
- On note le volume V_s de nitrate d'argent versé ;
- **Essai à blanc** : on titre une solution à blanc en utilisant 100 ml d'eau distillée à la place de l'échantillon, on note le volume de nitrate d'argent versé V_B . Ce volume V_B ne doit pas dépasser 0.2 ml, dans le cas contraire on vérifie la pureté de l'eau (conductivité, pH...).

La concentration en chlorure, exprimée en mg/L, est donnée par la formule suivante :

$$[\text{Cl}^-] = \frac{V_s - V_B \times C \times F}{V_a} \quad (6)$$

Avec :

- V_s : le volume en millilitres de la solution de nitrate d'argent utilisée pour le titrage de l'échantillon ;
- V_B : le volume en millilitres de la solution de nitrate d'argent utilisée pour le titrage du blanc ;
- V_a : le volume en millilitres, de l'échantillon pour essai ;
- C : la concentration réelle exprimée en mole par litre, de la solution de nitrate d'argent, éventuellement corrigée du coefficient correcteur ;
- F : 35453 (masse molaire du Cl x 1000).



III.6.4. Demande en chlore

Principe

On réalise une expérience avec du temps de contact de 2 heures à 10 flacons de l'eau à analyser, on ajoute des doses croissantes de chlore. Après écoulement du temps de contact, on mesure le chlore résiduel avec un comparateur DPD.

On trace alors la courbe (chlore résiduel)=f (chlore introduit).

Matériel utilisé

- Dix flacons en verre brun à col rodé de 1 litre, lavés et rincés avec l'eau à étudier ;
- Chronomètre ;
- Comparateur de chlore libre ;
- Comprimé DPD N°1 ;
- Matériel courant de laboratoire : verrerie (fioles, bicher, pipettes...).

Mode opératoire

- Dans chacun de flacon de 1 litre numéroté de 1 à 10, on introduit 1 litre d'eau à analyser ;
- Ensuite, on ajoute des doses croissantes de chlore de concentration 1 g/L ;

Tableau III. 3: Doses de chlore injecté.

N° Flacon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dose de chlore à injecter (mg/L)	1.00	1.20	1.40	1.60	1.90	2.00	2.20	2.40	2.50	2.80

- On met les flacons à l'abri de la lumière et on travaille à température ambiante ;
- Après 2 heures on fait le dosage de chlore libre :
 - On transverse 10 ml de l'échantillon à analyser dans un tube à essai préalablement rincé avec l'échantillon lui-même ;
 - On introduit un comprimé du DPD N°1 et on mélange jusqu'à dissolution du DPD ;
 - Ensuite, on mesure l'intensité de la couleur par comparaison visuelle à l'aide d'une échelle (disque) ou moyen de comparateur.



III.6.5. Essais de coagulation-floculation (Jar-test)

Les jar-tests sont une simulation à petite échelle de ce qui se passe en station de traitement lors de la coagulation/floculation. Ces tests permettent de déterminer les doses optimales des produits de traitement et d'évaluer différents paramètres de ce processus comme :

- Le dosage de produits chimiques ajoutés ;
- Les temps nécessaires pour la floculation et la coagulation ;
- Les vitesses d'agitation du milieu. Ainsi, il est possible de déterminer leurs valeurs optimales pour l'amélioration des performances de la station.

Un banc de jar-test est composé de 6 béchers d'un litre chacun, tous muni d'un axe au bout duquel se trouve une pale rotative. Les axes sont reliés à un même moteur, ce qui permet de maintenir la même vitesse dans chaque bécher.

❖ Description des essais de Jar-Test

Les essais de Jar-Test sont effectués dans un flocculateur de laboratoire, type FLOCUMATIC SELECTA, appareil qui permet d'agiter simultanément le liquide contenu dans une série de 06 béchers contenant 1 litre d'échantillon à une vitesse bien déterminée. Les béchers contiennent des doses croissantes soit de coagulant, flocculant, Charbon actif, adjuvant...etc. L'essai de floculation comporte trois phases :

- phase d'agitation rapide à la vitesse rapide de 180 tours/minute pendant deux minutes ;
- phase d'agitation lente à la vitesse lente de 40 tours/minute pendant 18 minutes ;
- phase de décantation durant 45 minutes.

❖ Techniques d'analyse

Pour évaluer analytiquement l'efficacité et la performance du traitement une certaine quantité d'eau est prélevée par siphonage. Après décantation, nous avons prélevé une certaine quantité d'eau surnageant par siphonage, tout en évitant une éventuelle remise en suspension du floc ainsi formé, et nous avons déterminé les divers paramètres les plus indicatifs de cette étape (Turbidité, Conductivité, pH, UV...etc.).

Tableau III. 4: Conditions opératoires du Jar-Test.

Étapes	Durée	Vitesse
Coagulation	02 Minutes	180 tours/minute
Floculation	18 Minutes	40 tours/minute



❖ Préparation des solutions

1. Préparation de la solution du coagulant sulfates d'alumine :

Une solution mère de 1 g/100 ml est préparée périodiquement par dissolution du sulfate d'alumine [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18\text{H}_2\text{O}$ / 17% Al, 18% O_2] dans de l'eau distillée.

- On pèse 1 g de sulfate d'alumine ;
- On prend une fiole de 100 ml, ensuite on la remplit avec l'eau distillée, puis on la transvase dans un bécher ;
- On dissout la masse de sulfate d'alumine dans l'eau distillée à l'aide d'un agitateur magnétique ;
- Après dissolution du sulfate d'alumine, on injecte des doses croissantes (10 mg/L ; 20 mg/L ; 30 mg/L ; 40 mg/L ; 50 mg/L ; 60 mg/L) de la solution obtenue dans les 6 béchers prédisposés pour le Jar-test (1 ml de la solution mère est égale 10 mg/L).

➤ Principaux caractéristiques du coagulant

Dans mon étude, j'ai utilisé un coagulant déjà utilisée en station, dont les principales caractéristiques sont présentées dans le tableau ci-après.

Tableau III. 5: Spécification techniques du coagulant.

Nom du produit	Sulfate d'alumine
Forme chimique	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18\text{H}_2\text{O}$
Aspect	Granulé blanc
Granulométrie	$3,15 < Q < 6,3\text{mm}$
Masse molaire	666 g/mol
Stabilité	2 ans au minimum à partir de la date de livraison

2. Préparation de la solution du flocculant :

Le réactif flocculant utilisé est le poly électrolyte pour lequel une solution mère de 0,5 g/100ml est préparée périodiquement dans l'eau distillée. On réalise une dilution de 1/100 : 1 ml de la solution mère dans une fiole de 100 ml et on remplit avec l'eau distillée jusqu'au trait de jauge :

- On pèse 0,5 g de polymère ;
- Ensuite, on prend une fiole de 100 ml, on la remplit d'eau distillée, puis on la transvase dans un bécher ;
- On dissout la masse de polymère dans l'eau distillée à l'aide d'un agitateur magnétique ;



- On prélève 1 ml de cette solution à l'aide d'une pipette graduée puis on l'injecte dans une fiole de 100 ml, puis on complète avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge ;
- Ensuite, on injecte des doses croissantes (0,025 mg/L, 0,05 mg/L, 0,075 mg/L, 0,1 mg/L, 0,125 mg/L, 0,15 mg/L) de la nouvelle solution obtenue dans les 6 béchers prédisposés pour le Jar-test (0,025 mg/L est égale 1 ml de la solution diluée).

➤ Principaux caractéristiques de flocculant

Dans mon étude, j'ai utilisé un flocculant déjà utilisée en station, dont les principales caractéristiques sont présentées dans le tableau ci-après.

Tableau III. 6: Spécification techniques de flocculant.

Nom du produit	Polyélectrolyte
ionité	anionique moyen
Aspect	poudre Granulé blanc
Poids moléculaire	Haut
Stabilité	2 ans au minimum à partir de la date de livraison

III.7. Etude de l'efficacité de traitement de potabilisation de la station de Boudouaou

Dans le but de mieux analyser l'efficacité de traitement de potabilisation des eaux de surface de barrage Keddara, Nous avons exploité les résultats d'analyses des paramètres courantes réalisés par nous-même tel que : pH, conductivités, températures, turbidité l'Absorbances UV à 254 nm, essais de jar test...etc. ; et les résultats d'analyses faites par le laboratoire de la station caractérisant l'eau brutes à l'entrée de station et celles des eaux traitées à la sortie de station.

De plus le laboratoire Boudouaou-SEAAL, a mis à notre disposition les bilans d'analyses du mois de Mai 2021, abordant une série d'analyses quotidiennes, incluant les paramètres suivant : pH, température, turbidité,...etc. Ainsi qu'une série d'analyses hebdomadaires citées en annexe (tableau N° 3, tableau N°4).

L'étude d'évaluation de l'efficacité de traitement de la potabilité des eaux traitées se font sur la bases des critères et normes de potabilités algérienne et OMS ; Le tableau N° 1 cité en annexe représente le niveau guide et la concentration maximale admissible selon la réglementation algériennes des paramètres analysés (Décret exécutif n° 18-125 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine).



A cet effet, on va évaluer les paramètres de critères globaux de potabilité les plus indicatifs ci-après :

- a. Paramètres physico-chimiques et organoleptiques ;
- b. Paramètres de pollutions ;
- c. Paramètres de minéralisations ;
- d. Métaux indésirable.

Il est à noter que :

- a) On n'a pas pris tous les paramètres, juste quelques paramètres de chaque critère global.
- b) Pour mieux évaluer l'efficacité du traitement, on utilise le paramètre d'évolution de rendement d'élimination et d'abattement de quelques paramètres plus indicatifs.

L'évolution du rendement d'élimination « % d'élimination » est suivie par le paramètre :

$$R\%=(1-C_e/C_o) \times 100 \quad (7)$$

Avec

- C_o : la concentration (mg/L) de l'eau brute exemple des MO ou la turbidité, UV...etc.
- C_e : la concentration (mg/L) de l'eau traitée exemple des MO ou la turbidité NTU, UV...etc.

Conclusion

A travers de ce chapitre nous avons identifié les analyses physico-chimique que nous avons effectuées au niveau de laboratoire ainsi que les différents modes opératoires et les appareils de mesure. A partir de là, on a constaté que la potabilisation des eaux de surface nécessite un travail continue et très précis.



Chapitre IV

Résultats et discussions



Chapitre IV : Résultats et discussions

Ce chapitre est consacré aux résultats obtenus de l'étude d'efficacité de système de traitement des eaux de surface de barrage Keddara. Au préalable à la caractérisation de ces eaux brutes.

Ce chapitre présente et discute les principaux résultats de nos analyses et essais réalisés. A laquelle nous allons présenter :

1. Les résultats de la caractérisation physico-chimique des eaux brutes de la station de traitement et celles traitées.
2. Les résultats des essais de jar-test, et celles de différents protocoles expérimentaux utilisés pour évaluer l'efficacité de potabilisation, ainsi que l'étude paramétrique des eaux brutes d'appoint de la station de potabilisation de Boudouaou à cet effet ces résultats sont regroupés dans des tableaux, pour traçage des différentes courbes et graphes d'évolutions ; puis utilisées pour faciliter leurs interprétations et discussions et de mettre en évidence le rendement d'élimination des paramètres les plus indicatifs.

IV.1. Caractérisation des eaux Brutes d'appoint de la station de potabilisation de Boudouaou

Les principaux paramètres physico-chimiques caractéristiques de ces eaux sont déterminés par les méthodes standards d'analyse décrites dans le Chapitre III.

La qualité des eaux du barrage est évaluée suivant les paramètres physico-chimiques. Les différentes analyses réalisées sur les eaux du barrage nous ont révélé les résultats illustrés dans le tableau IV.1, récapitulatif des différentes analyses physico-chimiques de l'eau brute du mois de Mai.



Tableau IV. 1: Résultats des paramètres physico-chimiques de l'eau brute du barrage Keddara du mois de Mai.

	Unité	Min	Max	Moy
Les paramètres physico-chimiques				
Température	°C	16,9	22,9	19,3
Conductivité	µS/cm	1392	1541	1481
pH		7,5	7,9	7,71
Turbidité	NTU	3,35	23,7	10,4
Les paramètres de pollution				
NO₂⁻	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02
NO₃⁻	mg/ L	Valeur unique		6,60
NH₄⁺	mg/ L	<0,015	0,075	0,023
PO₄³⁻	mg/ L	<0,015	0,082	0,037
MO	mg O ₂ / L	2,82	3,80	3,40
Abs UV 254 nm		0,056	0,157	0,083
Les paramètres indésirables				
Al³⁺	mg/ L	-	-	-
Fe²⁺	mg/ L	0,090	0,130	0,110
Mn²⁺	mg/ L	0,017	0,098	0,039
Les paramètres des minéralisations				
Ca²⁺	mg/ L	Valeur unique		97,6
TH	°f	Valeur unique		45,20
Mg²⁺	mg/ L	Valeur unique		37,92
TAC	°f	Valeur unique		20,8
SO₄²⁻	mg/ L	Valeur unique		393,5
Cl⁻	mg/ L	Valeur unique		166,2



IV.2. Evaluation de l'efficacité de système de traitement de potabilisation des eaux de Keddara

IV.2.1. Caractérisation physico-chimique de l'eau traitée

Plusieurs méthodes d'analyses ont été utilisées pour l'analyse de différents paramètres physico-chimiques des eaux traitées à la sortie de la station de Boudouaou. Les résultats de ces analyses nous ont permis la conception du tableau IV.2.

Tableau IV. 2: Résultats des différentes analyses physico-chimiques de l'eau traitée dans une durée d'un mois (Mai).

	Unité	Max	Min	Moy	Valeurs limites
Les paramètres physico-chimiques					
Température	°C	17,3	20,4	19,0	25
Conductivité	µS/cm	1399	1522	1455	2800
pH		7,3	7,67	7,51	≥6,5 et ≤9
Turbidité	NTU	0,19	0,46	0,32	5
Les paramètres de pollution					
NO ₂ ⁻	mg/ L	<0,02	<0,02	<0,02	0,2
NO ₃ ⁻	mg/ L	Valeur unique		5,20	50
NH ₄ ⁺	mg/ L	<0,015	< 0,015	< 0,015	0,5
PO ₄ ³⁻	mg/ L	<0,015	<0,015	<0,015	5
MO	mg O ₂ / L	1,48	2,94	1,9	5
Abs UV254 nm		0.020	0.056	0.036	
Les paramètres indésirables					
Al ³⁺	mg/ L	0,046	0,046	0,046	0,2
Fe ²⁺	mg/ L	<0,02	<0,02	<0,02	0,3
Mn ²⁺	mg/ L	0,005	0,015	0,005	0,05
Les paramètres de minéralisation					
Ca ²⁺	mg/ L	Valeur unique		100,08	200
TH	°f	Valeur unique		40,2	[10-50]
Mg ²⁺	mg/ L	Valeur unique		37,9	150
TAC	°f	Valeur unique		17,6	20
SO ₄ ²⁻	mg/ L	Valeur unique		402	400



IV.3. Interprétation des résultats

On comparant les résultats portés sur les tableaux 1 à ceux des tableaux 2, on constate une nette évolution des paramètres de la qualité de l'eau traitée par rapport à ceux de l'eau brute. Cette évolution est due aux traitements effectués, elle est vérifiée en comparant chaque paramètre analysé entre les deux eaux.

IV.3.1. Interprétation des résultats des paramètres physico-chimiques

1. Température

La température de l'eau est relativement stable (figure IV.1). Nous remarquons que la température de l'eau brute varie entre 16,9 et 22,9 °C et celle de l'eau traitée varie entre 17,3 et 20,4 °C. Ces variations ne dépassent pas la norme algérienne préconisée par le journal officiel de la république algérienne J.O.R.A (2011), et qui tolère une température de 25°C, il y'a aussi une légère différence de température entre l'eau traitée et l'eau brute qui est arrivé dans certains cas à 2 °C, ceci peut être expliqué par la durée de traitement ou l'exposition direct de l'eau au cours de son traitement au soleil dans les décanteurs et les filtres.

2. Conductivité

Les résultats obtenus pour la conductivité de l'eau sont représentés dans la figure IV.1.

Cette figure montre qu'il y'a une absence de différence significative entre Les deux types d'eau. Nous remarquons que la conductivité de l'eau brute fluctue entre 1396 et 1541 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et celle de l'eau traitée fluctue entre 1392 et 1522 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ces valeurs ne dépassent pas la norme algérienne préconisée par le J.O.R.A (2011), et qui de l'ordre de 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. On déduit alors que l'eau brute ne contient pas de charge polluante très élevée avec une faible utilisation de produits chimiques lors du processus de traitement.

La conductivité reste presque constante entre l'entrée et la sortie du traitement ce qui montre que ce dernier est sans effet sur ce paramètre.

3. pH

Les résultats des variations du pH en fonction du temps sont représentés sur la figure IV.1. On remarque que le pH de l'eau brute varie entre 7,50 et 7,90 et celui de l'eau traitée varie entre 7.3 et 7,67, ceci montre que le pH est légèrement alcalin et ne dépasse pas la norme algérienne préconisée



par le J.O.R.A (2011), qui se situe entre 6,5 à 9 et aussi explique la nécessité de son contrôle afin d’optimiser la dose d’acide ou de base à injecter pour mener à bien le traitement. En effet le milieu alcalin favorise la précipitation de l’aluminium et des sels comme le carbonate de calcium avec diminution du titre alcalimétrique et hydrotimétrique. Ce qui est défavorable pour le traitement.

4. Turbidité

Les résultats des variations de la turbidité représentés sur la figure IV.1 montrent qu’il y’a une différence significative entre les deux types d’eau.

Nous remarquons que la turbidité de l’eau brute fluctue entre 3,35 et 23,7 NTU et celle de l’eau traitée fluctue entre 0,19 et 0,46 NTU. Cette grande variation entre les deux types d’eau peut être expliqué par le fait que l’eau brute est très chargées de matières en suspension qui sont causée généralement par les tempêtes et les vents qui influent sur la stabilité et les mouvements de l’eau du barrage Keddara. On autre, nous constatons que la turbidité de l’eau traitée se trouve dans les normes (<5 NTU), ceci indique que l’eau est non turbide donc contient un taux faible de MES qui est de grâce à l’efficacité de traitement effectué.

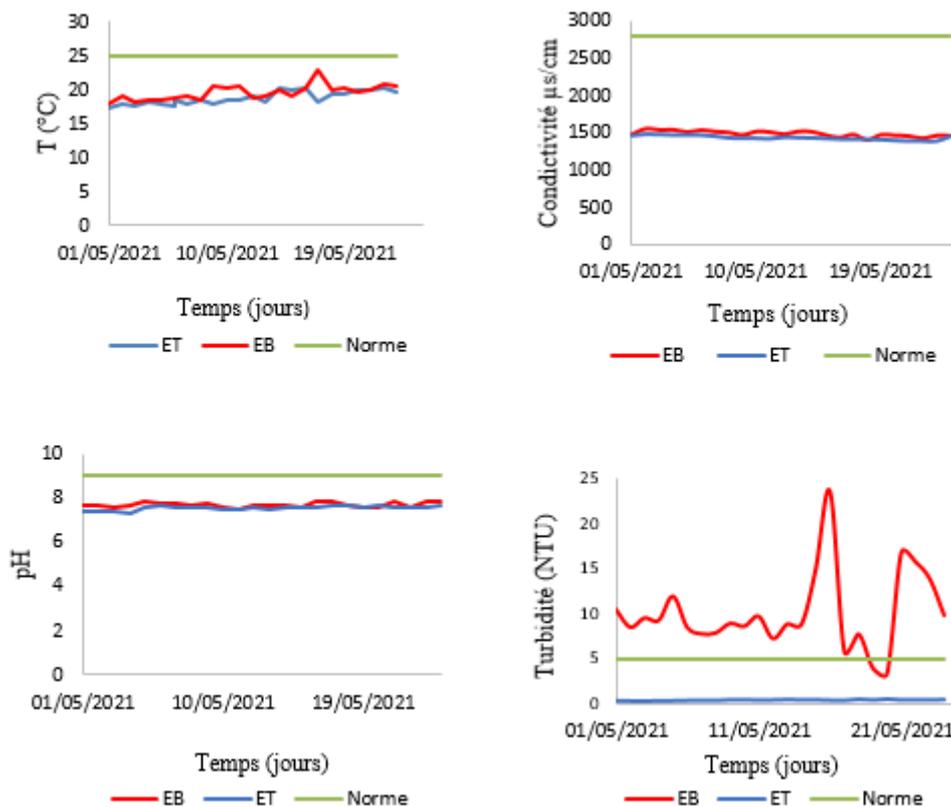


Figure IV. 1: Résultats des paramètres physico-chimiques.



IV.3.2. Interprétation des résultats des paramètres de pollution

1. Nitrite NO_2^-

Ce paramètre s'effectue une fois par semaine. Les résultats obtenus pour les nitrites dans l'eau sont représentés dans la figure IV.2.

Nous remarquons que les valeurs de nitrites sont inférieures à 0,02 mg/L pour l'eau brute et l'eau traitée. Ces résultats révèlent des teneurs très faibles en nitrites qui ne dépassent pas la norme 0,2 mg/L fixée par le journal algérien. Nous remarquons que le traitement de clarification adopté, est sans effet sur la concentration en nitrites.

2. Nitrate NO_3^-

Ce paramètre est effectué une fois par mois. D'après les résultats d'analyse des nitrates représentés sur les tableaux précédents nous remarquons que la teneur est de 6,60 mg/L pour l'eau brute, et la valeur de nitrate trouvée pour l'eau traitée est de 5,20 mg/L. ces résultats nous montrent que les concentrations en nitrates sont relativement basses durant le mois de Mai, et ne dépasse pas la valeur admissible de 50 mg/L recommandé par la norme algérienne. Les eaux étudiées ne sont pas sujette à un risque de pollution par les nitrates, la présence de ce dernier provoque le phénomène d'eutrophisation permettant la prolifération des algues.

3. Ammonium

L'analyse du profil de l'ammonium (figure IV.2), montre que les teneurs varient entre 0,015 à 0,075 mg/L pour l'eau brute, les valeurs d'ammonium trouvées pour l'eau traitée sont nettement très inférieures à celles de l'eau brute ($<0,015$ mg/L), traduisant ainsi l'effet du traitement et témoigne une bonne chloration des eaux traitées. Les concentrations en ion ammonium au niveau de la station sont inférieures à 0,5 mg/L suivant le journal algérien.

4. Ortho-phosphate

Les ortho-phosphates (PO_4^{3-}) résultent de la dégradation par des bactéries du phosphate organique, cette analyse est effectuée une fois par semaine, les résultats obtenus sont représentés dans la figure IV.2.

La figure montre que les concentrations en ortho-phosphates enregistrées au niveau du barrage, sont comprises entre 0,015 et 0,082 mg/L pour l'eau brute et inférieure à 0,05 mg/L pour l'eau



traitée. Elles restent toutes fois nettement inférieures à la limite admissible pour le phosphore soit 5 mg/L selon le journal algérien, par conséquent, ce paramètre ne constitue pas un risque de pollution majeur pour les eaux de barrage.

5. Matière organique

Cette analyse est effectuée une fois par semaine, les résultats obtenus pour la matière organique dans l'eau sont représentés dans la figure IV.2.

Cette figure récapitule les résultats obtenus concernant la charge organique des eaux du barrage keddara qui varient entre 2,82 et 3,80 mg/L, pour l'eau brute et 1,48 et 2,94 mg/L pour l'eau traitée, ces valeurs ne dépassent jamais la valeur seuil de la norme (<5 mg/L). La diminution de la teneur en matière organique dans l'eau traitée est due à la clarification et au traitement par le chlore gazeux qui l'a oxydé. Ce qui révèle donc l'efficacité du traitement adopté pour l'élimination des matières organiques contenues dans l'eau brute.

6. UV

Les résultats obtenus pour l'UV de l'eau sont représentés dans la figure IV.2. Cette figure montre qu'il y'a une différence entre l'absorption de l'UV entre l'eau traité dont les valeurs sont comprises entre 0,020 et 0,056 et l'eau brute avec des valeurs entre 0,056 et 0,0157, à la longueur d'onde de 254 nm, cette diminution peut être interprété par l'élimination des matières qui absorbent l'UV lors du traitement.

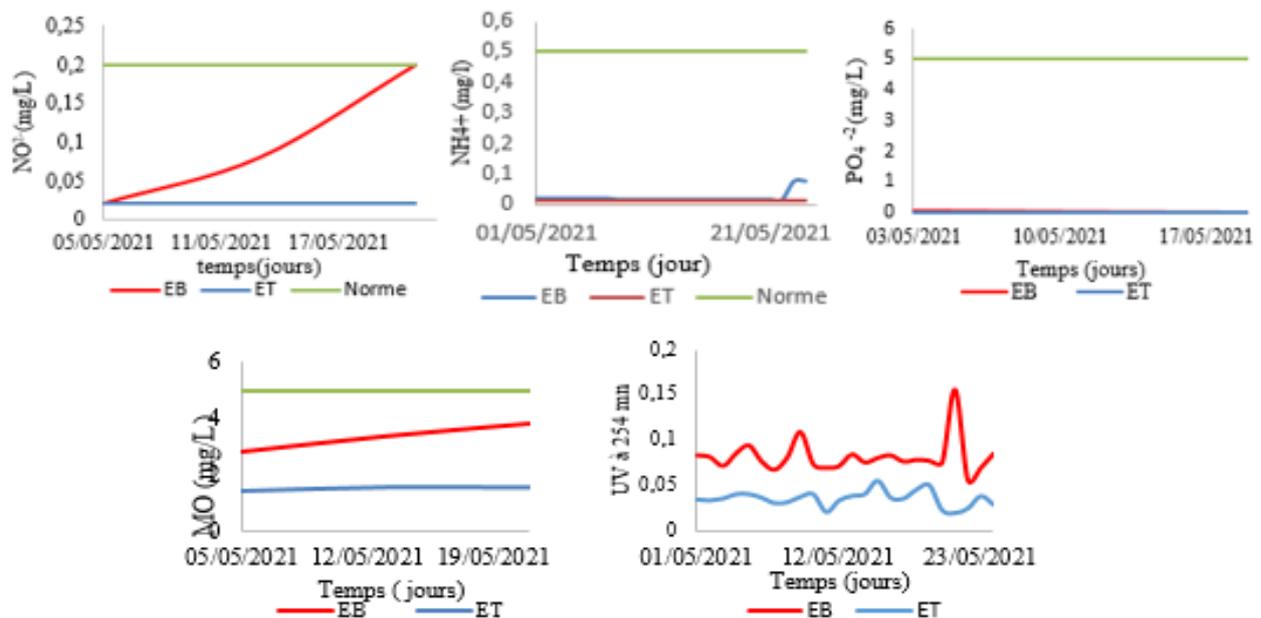


Figure IV. 2: Résultats des paramètres de pollution.



IV.3.3. Interprétation des résultats des paramètres indésirables (métaux lourds)

1. Concentration en Aluminium dans l'eau traitée

L'évolution de la quantité de l'aluminium dans l'eau traitée est représentée sur la figure IV.10.

Les concentrations obtenues varient entre 0,046 et 0,149 mg/L et restent donc dans les normes (< 0,2 mg/L) fixée par le journal algérien. Rappelons que l'aluminium retrouvé dans l'eau traitée provient de l' $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ utilisé comme coagulant. La concentration d'aluminium dans l'eau brute n'est pas mesurée.

2. Fer

Cette analyse est effectuée une fois par semaine, les résultats obtenus pour le fer dans l'eau sont représentés dans la figure IV.3.

Les teneurs en fer total de l'eau du barrage varie de 0,09 à 0,13 mg/L pour l'eau brute et inférieure à 0,02 mg/L pour l'eau traitée. Cette figure, montre alors une diminution du taux du fer dans l'eau traitée qui s'explique par son oxydation lors de la chloration. La concentration en fer de l'eau traitée de Keddara est inférieure à la norme recommandée qui est de 0,3 mg/L selon le journal algérien de 2011.

3. Manganèse

Les résultats obtenus pour le manganèse dans l'eau sont représentés dans la figure IV.3. Cette figure montre des teneurs en manganèse qui varient entre 0,017 à 0,098 mg/L pour l'eau brute, et entre 0,005 à 0,015 mg/L pour l'eau traitée, et restent donc dans les normes (< 0,5 mg/L) fixée par le journal algérien, on constate alors que le traitement appliqué a eu un effet sur la teneur en manganèse, cette diminution peut être expliquée par l'oxydation du manganèse lors de la chloration.

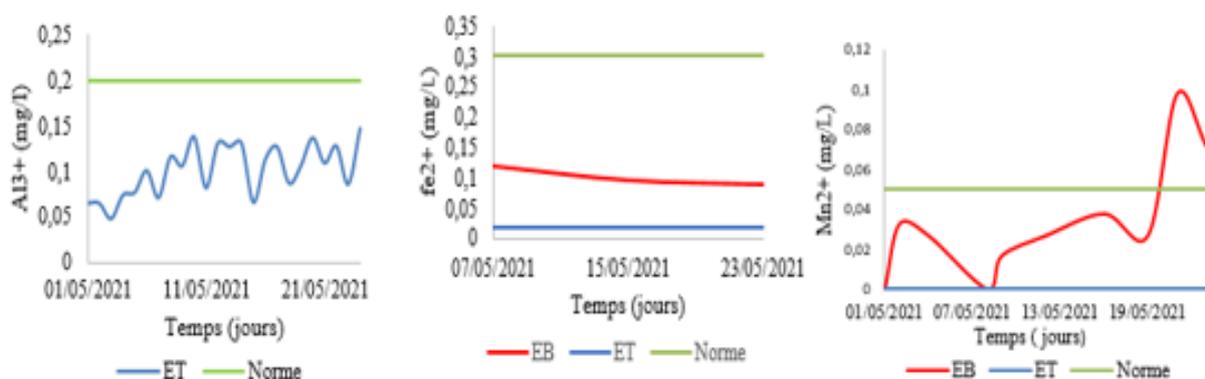


Figure IV. 3: Résultats des paramètres indésirables.



IV.3.4. Interprétation des résultats des paramètres de minéralisation

Calcium, Dureté totale (TH), Magnésium, Titre Alcalin Complet (TAC), Sulfate, chlorure. Ces paramètres sont mesurés une fois par mois. Les résultats obtenus sont illustrés dans le tableau 3.

Tableau IV. 3: Résultats des différentes analyses de la minéralisation globale de l'eau brute et traitée réalisées une fois par mois.

	Ca ²⁺ (mg/l)	TH (°f)	Mg ²⁺ (mg/l)	TAC (°f)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)
Eau brute	97,6	45,2	37,92	20,8	393,5	166,2
Eau traitée	100,8	40,2	37,92	17,6	402	170,17

1. Calcium

Les résultats obtenus pour le calcium dans l'eau montrent des teneurs en calcium qui sont comprises entre 97,6 mg/L pour l'eau brute et 100,08 mg/L pour l'eau traitée. Nous remarquons que les teneurs en calcium pour l'ET sont élevées par rapport à celles de l'EB, ce résultat est probablement dû à l'oxyde de calcium (la chaux) qui est très largement utilisé dans le traitement des eaux. Ces résultats sont bien inférieures à la valeur limite admissible du calcium 200 mg/L (journal algérien 2011).

2. Dureté totale (TH)

La dureté de l'eau est un indicateur du niveau de calcaire dans l'eau notamment le calcium (Ca²⁺) et le magnésium (Mg²⁺). Les normes locales (journal algérien 2011) exigent une concentration admissible entre 10 et 50 °f. Les résultats obtenus montrent que l'eau du barrage Keddara est conforme aux normes dans la mesure où ce paramètre présente une concentration stable de 45,20 °f pour l'eau brute et 40,8 °f pour l'eau traitée.

3. Magnésium

Les teneurs en magnésium de l'eau contrôlée est de 37,92 mg/L que ce soit pour l'eau brute ou l'eau traitée, sa valeur est inférieure à la concentration maximale admissible de 150 mg/L (Normes algériennes, 2011) pour l'eau potable.

4. Sulfates

Les résultats relatifs à l'évaluation des concentrations en sulfates représentés sur les deux tableaux précédents montrent une variation entre 393,5 mg/L pour l'eau brute et 402 mg/L pour



l'eau traitée. Nous remarquons que la teneur en sulfate pour l'ET est élevée par rapport à celle de l'EB, cela s'explique par l'utilisation de sulfate d'aluminium au cours de traitement. Nous enregistrons donc, des concentrations un peu élevés par rapport la norme autorisée qui est de 400 mg/L.

5. TAC

Ce paramètre est l'indicateur de la minéralisation de l'eau en particulier le composant calcium et magnésium. Nous remarquons que la teneur est de 20,8 °f pour l'eau brute, et de 17,6 °f pour l'eau traitée. Ces résultats nous montrent que les concentrations en TAC sont relativement basses durant le mois de Mai, et ne dépasse pas la valeur admissible de 20 °f recommandé par la norme algérienne et le traitement par coagulation-floculation paraît presque sans effet sur le TAC.

6. Chlorure

Selon les normes algériennes relatives à la potabilité des eaux, les chlorures doivent avoir une teneur inférieure à 500 mg/L dans les eaux de consommation. Sur la base des résultats des analyses effectuées pour l'eau du barrage Keddara, la teneur en chlorure est de l'ordre de 166,2 mg/L pour l'eau brute et de 170,17 mg/L pour l'eau traitée. Concernant ce paramètre ainsi discuté, la qualité de l'eau du barrage Keddara est excellente.

Les résultats obtenues, montrent une légère augmentation du taux de chlorure de l'eau traitée par rapport à l'eau brute ce qui peut être dû à la chloration comme l'explique la réaction suivante :



On peut noter un goût désagréable à partir d'une concentration 250 mg/L.



IV.4. Etude des rendements d'élimination de la pollution

Les résultats obtenus, sont regroupés dans le tableau ci-après :

Tableau IV. 4: Evolution du rendement d'élimination de la pollution.

	les paramètres	Le rendement d'élimination(%)
Paramètres physico-chimiques	Température	1,55
	Conductivité	5,58
	pH	4,93
	Turbidité	98,64
Paramètres de pollution	NO ₂ ⁻	0
	NO ₃ ⁻	21,21
	NH ₄ ⁺	34,78
	PO ₄ ³⁻	59,45
	MO	44,11
	Abs UV 254 nm	56,62
Paramètres indésirables	Al ³⁺	/
	Fe ²⁺	84,61
	Mn ²⁺	99,48
Paramètres de minéralisation	Ca ²⁺	-3,27
	TH	11,06
	Mg ²⁺	0
	TAC	15,38
	SO ₄ ²⁻	-2,21
	Cl ⁻	-2,38

IV.5. Essais de jar-teste

IV.5.1. Détermination de la dose optimale du coagulant

Les résultats des essais de jar-test de coagulation, obtenus après ajout de chaque dose, sont regroupés dans le tableau suivant.



Tableau IV. 5: Résultats d'essai de la détermination de la dose optimale de coagulant sulfate d'aluminium.

Numéro de Bécher	Nº01	Nº02	Nº03	Nº04	Nº05	Nº06
Dose de S.A (mg/L)	10	20	30	40	50	60
Turbidité (NTU)	6.02	4.10	2.68	1.89	1.94	2.00
Conductivité (µs/cm)	1464	1470	1470	1469	1464	1471
Absorbance UV 254 (nm)	0.10	0.90	0.77	0.079	0.072	0.074
pH	8.23	8.12	7.96	7.87	7.81	7.77
Al ³⁺ total (mg/L)	/	/	/	0.35	/	/
MO (mg/L)	1.56	1.47	1.43	1.38	1.32	1.40

❖ Interprétation et Discussion

D’après les résultats obtenus, nous remarquons que la dose optimale de coagulant à ajouter est de **40 mg/L**, pour avoir une meilleur turbidité qui de 1,89 NTU, avec un meilleur abattement des matières organiques de 1,38 mg/L.

La dose optimale de coagulant à ajouter est de **40 mg/L**, permettant ainsi d’améliorer de la qualité des eaux de surface de Keddara au point de vue élimination de la turbidité et matières organique et l’abattement de UV ainsi que le pH

IV.6. Essais de la floculation

IV.6.1. Détermination de la dose optimale de floculant Poly- électrolyte

Les résultats des essais de jar-test de floculation, obtenus après ajout de chaque dose, sont regroupés dans le tableau IV.3.



Tableau IV. 6: Résultats d'essai de la détermination de la dose optimale de flocculant Polyélectrolyte.

Numéro de bécher	Nº01	Nº02	Nº03	Nº04	Nº05	Nº06
Dose de S.A (mg/L)	40	40	40	40	40	40
Dose de Poly- électrolyte (mg/L)	0.025	0.05	0.075	0.1	0.125	0.15
Turbidité (NTU)	2.15	2.09	1.88	1.93	2.05	2.10
Conductivité (µs/cm)	1468	1472	1471	1469	1467	1467
Absorbance UV 254 (nm)	0.065	0.064	0.07	0.067	0.064	0.072
pH	7.93	7.91	7.89	7.92	7.90	7.94
Al ³⁺ total (mg/L)	/	/	0.080	/	/	/
MO (mg/L O ₂)	1.81	1.58	1.53	1.56	1.55	1.55

❖ **Interprétation et Discussion**

A la lumière des données de cette essai, on déduit que la dose optimale de flocculant à ajouter est de **0.075 mg/L**, pour avoir une meilleur turbidité qui de 1.88 NTU.

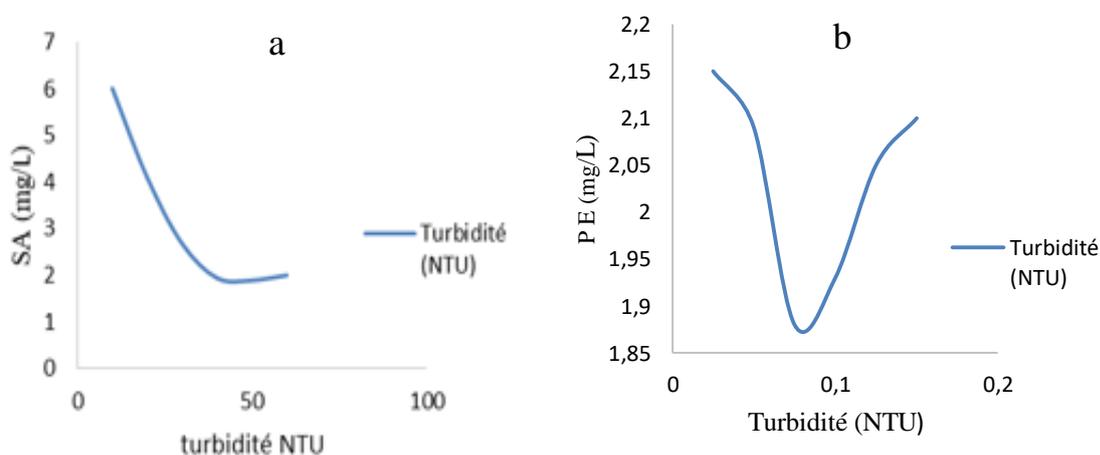


Figure IV. 4: Variation de la turbidité en fonction de la dose de coagulant (SA) et la dose de flocculant (PE).



IV.7. Essais de la demande en chlore en pré-chloration

➤ Les résultats obtenus, sont regroupés dans le tableau ci-après :

Tableau IV. 7: Résultats d'essai de la demande en chlore en pré-chloration.

Echantillons	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cl ₂ introduit (mg/L)	1,00	1,20	1,40	1,60	1,90	2,00	2,20	2,40	2,50	2,80
Cl ₂ libre (mg/L)	<0,1	<0,1	0,10	0,20	0,3	0,5	0,7	0,95	1,15	1,3

IV.7.1.1. Interprétation et Discussion

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que : la demande en chlore pour obtenir un résiduel de chlore libre de 0,3 mg/L est 1,9 mg/L.

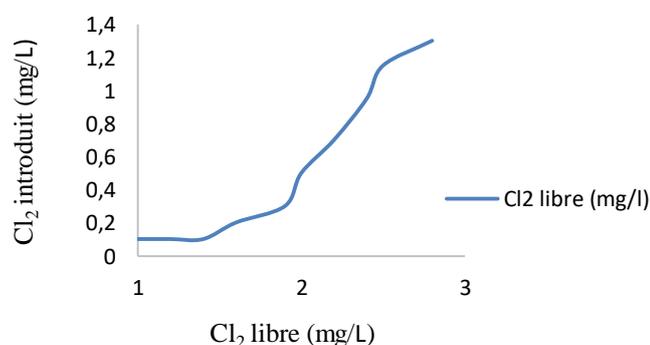


Figure IV. 5: Courbe de break-point de l'eau brute de la station de Boudouaou.

Conclusion

Les différentes analyses effectuées sur l'eau du Barrage Keddara, ont permis de révéler le comportement de certains paramètres descriptifs de la qualité organoleptiques et physico-chimique des eaux. Tous les résultats obtenus durant la période de Mai 2021 montrent une nette évolution des différents paramètres évalués entre l'eau brute et l'eau traitée qui présente des valeurs répondant aux normes algériennes et mondiales de potabilité et ne présentent aucun danger pour la consommation. Il ne fait donc aucun doute que l'eau traitée de l'unité de production de Boudouaou sera de bonne qualité.

Dans un second temps. Nous avons effectué des essais de jar test et de demande en chlore qui nous ont permis de déterminer les doses optimales de coagulant, flocculant et le chlore pour assurer l'efficacité de traitement.



Conclusion générale

Conclusion générale

A l'issue de cette étude qui a porté essentiellement sur l'étude de l'efficacité et la performance de traitement de potabilisation des eaux de surface de barrage Keddara par l'évaluation de la qualité des eaux à la sortie de station de potabilisation de la ville Boudouaou, il ressort que la quasi-totalité des paramètres analysés sont conformes aussi bien à la réglementation nationale et internationale en matière de potabilité de l'eau.

Les teneurs des paramètres étudiés des eaux traitées pour la potabilité sont toujours inférieurs aux valeurs maximales admissibles et conformes aux normes Algérienne et aux recommandations de l'OMS.

En effet, les résultats obtenus sur le plan physique ont montré que le pH de ces eaux est correct, leur degré de minéralisation est moyen et leur température est acceptable. Sur le plan chimique, ces eaux sont également dans les normes dans la mesure où leur dureté est relativement élevée mais sans risque sur la santé du consommateur, leurs teneurs en calcium et en chlorures qui sont normales et surtout leur teneur en nitrates qui sont connus par leurs effets néfastes sur la santé, est très faible par rapport à la valeur maximale admissible.

D'après les résultats obtenus, les eaux brutes du barrage Keddara montre une bonne aptitude pour la production d'eau potable. Les autres aptitudes telle que la potentialité biologique, varient entre mauvaise et passable.

En conclusion, les eaux de la station Boudouaou peuvent être considérées comme bonnes à consommer si bien sur les opérations de désinfection (chloration et autres) sont bien effectuées. On peut donc dire que le système de traitement adopté par cette station est efficace car il produit à terme de l'eau potable qui ne présente aucun danger pour le consommateur. Il serait souhaitable de mener régulièrement ce type d'études basées sur l'évaluation physico-chimique mais tout en les consolidant avec des analyses bactériologiques.



Références

bibliographies



Références bibliographies

- [1] : Le Conseil interministériel fédéral de formation sur la qualité de l'eau (2011) : « Qualité de l'eau 101 : Introduction aux microsystèmes d'approvisionnement en eau potable », Catalogue : A22-542/2011-PDF, Canada.
- [2] : <http://www.seaal.dz/qui-sommes-nous/metiers/production/traitement-des-eaux/>.
- [3] : Documents propres à la station de Boudouaou concernant les méthodes de traitement et les ouvrages, fournis par le service exploitation.
- [4] : DEGUMENT (2005) : « Mémento technique de l'eau », Tome1, édition Lavoisier, Paris.
- [5] : JASTIN.E « la production est le traitement des eaux destinées à l'alimentation et la préparation de denrées alimentaire ». Document destiné aux étudiants de première année de l'Institut Universitaire Professionnelle agro-alimentaire de Caen, France.
- [6] : HEDDAM. S (2012) : « Contribution à la modélisation de la qualité des eaux ». Thèse de doctorat en science agronomie. Ecole Nationale Polytechnique d'Alger.
- [7] : SAADI. H ET HAMIDI. A (2011) : « Etude bibliographique sur les analyses physicochimiques et bactériologiques des eaux potables ». Mémoire de Licence en Technologie et Traitement des Eaux, Département d'Hydraulique, Faculté de Technologie. Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen.
- [8] : MOULAI HADJ. H (2015) : « Etude de l'influence des particules argileuses sur le traitement des eaux ». Mémoire Master en Hydraulique Option : Eau, sol et aménagement, Département d'Hydraulique, Faculté de Technologie. Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen.
- [9] : CHRISTIANE. J et NOEL. J (1999) : « Microbiologie alimentaire 5^{ème} édition » Aquitaine, France.
- [10] : DEGUMENT (1989) : « Mémento technique de l'eau », Tome1, édition Lavoisier, Paris.
- [11] : DESJARDINS. R (1997) : « Le traitement des eaux » 2^{ème} édition, édition l'école polytechnique de Montréal.
- [12] : BENKADDOUR. B (2018) : « Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Cheliff (Algérie) ». Thèse de doctorat en chimie. Université de Perpignan Via Domitia et université de Mostaganem.
- [13] : Ivanowsky. A (2016) : « Ouvrages d'assainissement des eaux et qualité du milieu récepteur en zone urbaine. Cas de rejets dans la Marque à Villeneuve d'Ascq ». Thèse de Doctorat. Université de Lille 1, France.
- [14] : Fall. C (2007) : « Etude de la qualité de l'eau de robinet et de celle de la nappe phréatique dans les différentes Communes d'Arrondissement du département de Guédiawaye. Dakar ». Mémoire Master département de Géographie. Université Cheikh Anta Diop Dakar, Sénégal.



[15] : RODIER. J (2009) : « L'analyse de l'eau contrôle et interprétation ». 9^{ème} Ed. Dunod, France.

[16] : <https://www.etudier.com/dissertations/Les-Param%C3%A8tre-Physico-Chimique-De-l-Eau/66381715.html>.

[17] : RODIER. J (1999) : « L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau ». Dunod, France.

[18] : Rodier. J (1976) : « L'analyse de l'eau. Eau naturelles, eau résiduaires, eau de mer ». 5^{ème} édition. Dunod Paris.

[19] : AMMOUR. F (2014) : « Cours de Traitement des eaux » spécialité : Hydraulique urbaine, Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique (ENSH), Blida.

[20] : Journal officiel de la république algérienne N° 18 du 2 mars (2011) : Paramètre de qualité de l'eau de consommation humaine (paramètres avec valeurs limites).

[21] : Normes de potabilité selon l'OMS en 2006.



Annexes

Tableau 1 : JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 18 DU 2 MARS 2011

**PARAMETRES DE QUALITE DE L'EAU DE CONSOMMATION HUMAINE
(PARAMETRES AVEC VALEURS LIMITES) [20].**

Groupe de paramètres	Paramètres	Unités	Valeurs limites	
Paramètres organoleptique	Couleur	mg/l platine	15	
	Turbidité	NTU	5	
	Odeur à 12 ° C	Taux dilution	4	
	Saveur 25 ° C	Taux dilution	4	
Paramètres physicochimiques en relation avec a structure naturelle de l'eau	Alcalinité	mg/l en Ca Co3	500	
	Calcium	mg/l en Ca Co3	200	
	Chlorures	mg/l	500	
	Concentration en ions d'hydrogènes	Unité pH	>6,5 et <9	
	Conductivité à 20 ° C	μ S/cm	2800	
	Dureté	mg/l en CaCo3	200	
	Potassium	mg/l	12	
	Résidu sec	mg/l	1500	
	Sodium	mg/l	200	
	Sulfates	mg/l	400	
	Température	° C	25	
Paramètres chimique	Aluminium	mg/l	0.2	
	Ammonium	mg/l	0.5	
	Baryum	mg/l	0.7	
	Bore	mg/l	1	
	Fer total	mg/l	0.3	
	Fluorures	mg/l	1.5	
	Manganèse	μg/l	50	
	Nitrates	mg/l	50	
	Nitrites	mg/l	0.2	
	Oxydabilités	mg/l O2	5	
	Phosphore	mg/l	5	
	Acrylamide	μg/l	0.5	
	Antimoine	μg/l	20	
	Argent	μg/l	100	
	Arsenic	μg/l	10	
	Cadmium	μg/l	3	
	Chrome total	μg/l	50	
	Cuivre	μg/l	2	
	Cyanure	μg/l	20	
	Mercure	μg/l	6	
	Nickel	μg/l	70	
	Plomb	μg/l	10	
	Sélénium	μg/l	10	
	Zinc	mg/l	5	
	Chlore	mg/l	5	
	Paramètres microbiologiques	Escherichia coli	n/100ml	0
		Entérocoques	n/100ml	0

Tableau 2 : Normes de potabilité selon l'OMS en 2006 [21].

GROUPE DE PARAMETRE	Paramètres	Unités	Valeurs indicatives
Paramètres physiques	PH		Pas de valeur guide mais un optimum entre 6,5 et 9,5
	Conductivité		pas de norme
	Température		Acceptable
	Turbidité		Non mentionnée
Paramètres organoleptiques	Couleur		Pas de valeur guide
	Goût et odeur		Acceptables
Eléments toxiques	Arsenic (As)	mg/l	0.01
	Cadmium(Cd)	mg/l	0,003
	Chrome Cr ⁺³ , Cr ⁺⁶	mg/l	chrome total : 0,05
	Cyanure (CN ⁻)	mg/l	0,07
	Mercure (Hg)	mg/l	inorganique : 0,006
	Sélénium(Se)	mg/l	0,01
	Plomb(Pb)	mg/l	0,01
	Antimoine(Sb)	mg/l	0.02
	Fer(Fe)		Pas de valeur guide
	Manganèse(Mn)	mg/l	0 ,4
Eléments indésirables	Aluminium(Al)	mg/l	0,2
	Cuivre (Cu ²⁺)	mg/l	2
	Ammonium (NH ₄)	mg/l	0.5
	Argent		Pas de valeur guide
	Fluorures	mg/l	1,5
	Zinc(Zn)	mg/l	3
	Bore(B)	mg/l	0.5
	Hydrocarbures aromatiques polynucléaires C ₂ H ₃ N ₁ O ₅ P ₁ 3	µg/l	0.1
	Pesticides	mg/l	0.0001
Minéralisation Globale	THM (Trihalométhanes) C Cl ₄	µg/l	4
	CalciumCa ²⁺	mg/l	100
	Chlorures(Cl)	mg/l	250
	Dureté mg/l CaCO ₃	Ppm	200
	Sodium (Na)	mg/l	20
	Potassium (K ⁺)	mg/l	24
Paramètres microbiologiques	Coliformes totaux	nb/100ml	0
	Coliformes fécaux	nb/100ml	0
	Streptocoques fécaux	nb/100ml	0
	Clostridium	nb/100ml	0
	Sulfito-Réducteurs		
	Staphylocoques pathogènes	nb/100ml	0
	Spores des bactéries	nb/20ml	0
	Vibrions cholériques	nb/10ml	Absence
	Salmonella	nb/5l	Absence

Tableau 3 : Bilan du mois de Mai 2021 des analyses physico-chimiques de l'eau traitée de la station de traitement de Boudouaou

La date	T °C	Con μ/cm	pH	UV	TH °f	TAC °f	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Cl mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	Fe ²⁺ mg/l	Mn ²⁺ mg/l	Al ³⁺ mg/l	M.O mgO ₂ /l	NO ₂ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	PO ₄ ³⁻ mg/l
01/05/2021	7,41	1474	0,23	0,035								<0,005	0,064					
02/05/2021	7,39	1493	0,23	0,034								<0,005	0,064					
03/05/2021	7,36	1490	0,21	0,036									0,047					<0,015
04/05/2021	7,3	1483	0,24	0,041								<0,005	0,073					
05/05/2021	7,6	1482	0,27	0,041									0,076	1,48	<0,02			
06/05/2021	7,62	1481	0,29	0,037									0,1					
07/05/2021	7,57	1467	0,3	0,031							<0,02		0,07					
08/05/2021	7,57	1443	0,3	0,032								<0,005	0,115				<0,015	
09/05/2021	7,53	1440	0,38	0,038						402		<0,005	0,105					
10/05/2021	7,5	1438	0,38	0,041									0,137					
11/05/2021	7,44	1433	0,34	0,021									0,081					<0,015
12/05/2021	7,53	1453	0,36	0,034	40,2	17,6	100,8	48	170,2			<0,005	0,13					
13/05/2021	7,5	1447	0,41	0,039									0,126	1,6	<0,02			
14/05/2021	7,54	1443	0,38	0,041									0,13					
15/05/2021	7,54	1436	0,37	0,056							<0,02		0,065					
16/05/2021	7,56	1428	0,33	0,037								0,005	0,112				<0,015	
17/05/2021	7,62	1427	0,31	0,036									0,126			5,2		
18/05/2021	7,63	1425	0,44	0,046									0,086					
19/05/2021	7,54	1420	0,36	0,051								<0,005	0,105					<0,015
20/05/2021	7,67	1410	0,46	0,023									0,136					
21/05/2021	7,6	1402	0,36	0,02									0,015	0,108	1,59	<0,02		
22/05/2021	7,59	1401	0,37	0,025									0,127					
23/05/2021	7,6	1399	0,35	0,039							<0,02	0,007	0,085					
24/05/2021	7,63	1463	0,41	0,029									0,149					

Les appareillages utilisés pour la mesure des paramètres physico-chimiques au niveau de la station de Boudouaou :



Conductimètre



Turbidimètre



pH mètre



Spectrophotomètre DR-6000



Spectrophotomètre DR-5000



Kits LCK 301



Cuve à LCK 521



Cuve LCW 532



Essai de jar teste



Comparateur

Résumé

L'eau de barrage Keddara représente une ressource importante pour l'alimentation en eau potable pour les habitants de la wilaya d'Alger et Boumerdes. Normalement, les eaux de surface doivent être traitées pour pouvoir atteindre la qualité requise. A cet effet le présent travail consiste à effectuer une étude qualitative et quantitative du point de vue de l'eau brute et traitée de barrage Keddara, en se basant sur les normes Algérienne (JORA 2011) et internationale des eaux de surfaces et aussi les normes de potabilité.

Notre travail a été réalisé au sein de la station de traitement des eaux, Boudouaou de Boumerdes, et au niveau de son laboratoire des études physico-chimiques. Les résultats d'analyses montrent que les eaux traitées, distribuées, dans les deux wilayas Boumerdes et Alger, sont de très bonne qualité, répondant aux normes ; et le système de traitement est efficace et bien appliqué au sein de la SEAAL.

Mots clés : Eau brute, Eau traitée, Eau potable, analyses physico-chimique, système de traitement.

Abstract

The Keddara dam water represents an important resource for the drinking water supply for the inhabitants of the state of Algiers and Boumerdes. Normally, surface water must be treated in order to achieve the required quality. And to achieve this purpose, the present work consists of carrying out a qualitative and quantitative study from the point of view of the raw and treated water of the Keddara dam, based on the Algerian (JORA 2011) and international standards for surface water and drinking water standards.

Our work was carried out in the water treatment station of Boudouaou (Boumerdes state), and in its physico-chemical study laboratory. The results of the analyzes show that the treated water distributed in the two states Boumerdes and Algiers is of very good quality, meeting standards; and the treatment system is efficient and well implemented within SEAAL.

Keywords: Raw water, treated water, drinking water, physico-chemical analysis, treatment system.

ملخص

تمثل مياه سد قدارة مصدرا هاما لتوفير مياه الشرب لسكان ولاية الجزائر وبومرداس. عادة، يجب معالجة المياه السطحية من أجل تحقيق الجودة المطلوبة، وتحقيقا لهذا الغرض تم اجراء دراسة نوعية وكمية للمياه الخام والمعالجة لسد قدارة، وهذا بالاعتماد على المعايير الجزائرية (2011) والعالمية للمياه السطحية وكذلك معايير المياه الصالحة للشرب.

تم تنفيذ عملنا في محطة معالجة المياه، بودواو ولاية بومرداس، في مخبر الدراسات الفيزيائية والكيميائية. تظهر نتائج التحليلات أن المياه المعالجة الموزعة في ولايتي بومرداس والجزائر هي ذات نوعية جيدة للغاية ومطابقة للمعايير؛ ونظام المعالجة فعال ويتم تنفيذه بشكل جيد داخل SEAAL.

الكلمات المفتاحية: مياه خام، مياه معالجة، مياه صالحة شرب، تحاليل فيزيوكيميائية، نظام معالجة.