



Département de Génie de l'Eau

Rapport de soutenance

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

Hydraulique

Thème

**Traitement et contrôle de qualité des eaux de
barrage Kissir de la wilaya de Jijel**

Réalisé par :

M^r BOUSSENNA Sohaib

Encadré par :

M^{me} DAIRI Nassima

M.A.A/ Université de **Bouira**

Tuteur de l'entreprise :

M^r BOUDEHEB Abdelkader

Chef de Station de traitement Kissir - **Jijel**

Examiné par :

-M^{me} SIFOUN Naima

M.C.B/ Université de **Bouira**

-M^{me} HAMZAOUI Sara

M.C.B/ Université de **Bouira**

Année Universitaire : 2020/2021

Remerciements

Je ne saurais commencer la rédaction de ce rapport sans toutefois remercier le seigneur de m'avoir donné santé, courage et attention durant toute la durée de ce stage.

*Je tiens à remercier mon encadreur, M^{me} **DAIRI Nassima** pour son acceptation, de me guider dans ce travail avec ses conseils, son efficacité et sa gentillesse.*

*Je remercie plus particulièrement M^r, **BOUDEHEB Abdelkader**, M^r **BENAHBILES Nassim** et M^r **BENAHBILES Fouad**, qui m'ont facilité le bon déroulement de mon stage de fin d'étude.*

*J'adresse aussi mes remerciements les plus sincères à tous les membres du laboratoire de contrôle de qualité de la station de traitement de **Kissir**. Un grand merci à M^{me} **BOUDJELIDA Soumia** de m'avoir initié au monde du travail au sein d'un laboratoire de contrôle de qualité des eaux et pour son précieuse aide en général. J'associe également mes remerciements à l'ensemble des employés de la station pour les conseils qu'ils m'ont prodigué durant ce stage.*

Un merci spécial au directeur de l'Institut de Technologie, ainsi à tous mes enseignants de l'Institut qui m'ont formé durant ces trois années. Un merci plus particulier tous les amis et personnes qui m'ont aidées, encouragées et contribuées à terminer ce travail.

Mes remerciements vont aussi à l'examineur, d'avoir accepté de juger et dévaluer ce modeste travail.

Enfin, mes vifs remerciements s'adressent à tous les membres de ma très chère famille, pour leur encouragement, leur amour, leur sacrifice..... . Merci pour tout.

Dédicaces

Au nom du Dieu le clément et le miséricordieux

*Je dédie cet humble ouvrage à la mémoire de mon **père** qui s'est sacrifié pour nous, et qui était toujours présent à nos côtés. Que Dieu ait pitié de lui, et qu'il l'accepte dans son vaste paradis.*

*Au plus beau cadeau de la terre, la source de ma vie, et ma lumière, ma **mère**, qui m'a encouragée tout au long de mes études.*

A mes frères

A mes chers amis

Résumé

Ce travail a pour but de suivre les étapes de traitement des eaux du barrage de Kissir dans la wilaya de Jijel et de contrôler la qualité des eaux brutes de ce barrage ainsi les eaux traitées. Le traitement est réalisé par la station de traitement de Kissir située dans la même wilaya. Cette station est gérée et exploitée par l'Algérienne des eaux (ADE). C'est une station constituée des principales étapes: dégrillage, aération, coagulation, floculation, décantation et filtration et enfin une désinfection au chlore. Le suivi du fonctionnement des ouvrages de la station est fait à l'aide d'un ensemble d'analyses réalisées sur des échantillons des eaux brutes et traitées. En comparaison aux normes de potabilité, les résultats présentent des rendements d'élimination très satisfaisants pour les divers types de polluants (turbidité, NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3+} , Ammonium, TH, Cl^- , SO_4^{2-} , Al^{3+} et bactéries pathogènes). Les résultats montrent l'efficacité de la station dans la clarification et la potabilisation des eaux de barrage Kissir qui représente une source très importante d'approvisionnement en eau potable de la ville de Jijel, Timizèr, El Aouana et Mazgitane.

Mots clés: Eaux de barrage Kissir, station de traitement, paramètres de pollution

Abstract

This work aims to follow the stages of water treatment of the Kissir dam in the wilaya of Jijel and to control the quality of the In treated water from this dam as well as the treated water. The treatment is carried out by the Kissir treatment station located in the same town. This station is managed and operated by Algerian waters. It is a station made up of the following stages: screening, aeration, coagulation, flocculation, settling, filtration and finally disinfection with chlorine.

The operation of the station structures is monitored using a set of analyzes carried out on samples of raw and treated water. Various types of polluting (turbidity, NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3+} , Ammonium, TH, Cl^- , SO_4^{2-} , Al^{3+} and pathogenic bacteria). The results show the efficiency of the station in clarifying and making water from the Kissir dam, which is a very important source of drinking water supply for the towns of Jijel, Timizèr, El Aouana and Mazgitane.

Key words: Water from the Kissir dam, treatment plant, pollution parameters

ملخص

يهدف هذا العمل إلى متابعة مراحل معالجة مياه سد كيسيير بولاية جيجل والتحكم في جودة المياه الخام من هذا السد وكذلك المياه المعالجة. تم العلاج في محطة علاج كيسيير الواقعة في نفس الولاية. المحطة يتم إدارتها وتشغيلها من قبل الجزائرية للمياه، وهي عبارة عن محطة تتكون من الخطوات الرئيسية التالية: الغربلة، التهوية، التخثر، التلبد، الترسيب، الترشيح، وأخيراً التطهير بالكلور. تم مراقبة تشغيل هياكل المحطة باستخدام مجموعة من التحليلات التي أجريت على عينات من المياه الخام والمعالجة أنواع مختلفة من الملوثات (العكارة، NO_3^- ، NO_2^- ، PO_4^{3+} ، الأمونيوم، TH، Cl^- ، SO_4^{2-} ، Al^{3+} والبكتيريا المسببة للأمراض) تم ازالتها. وأظهرت النتائج كفاءة المحطة في تنقية مياه سد كيسيير الذي يعد مصدراً مهماً جداً لمياه الشرب لمدينة جيجل تيميزاير، العوانة ومزغيطان.

الكلمات المفتاحية: مياه سد كيسيير، محطة معالجة، عناصر التلوث

Liste des Tableaux

Tableau I. 1 : Classes de turbidités usuelles (NTU, néphélobométric turbidity unity)	10
Tableau I. 2 : Classification des eaux selon la conductivité	10
Tableau I. 3: Relation entre dureté de l'eau et concentration équivalente en CaCO ₃	11
Tableau I. 4: Normes des eaux de boisson	16
Tableau II. 1 : Caractéristiques de la cascade d'aération.	22
Tableau II. 2 : Caractéristiques du bassin de coagulation.	23
Tableau II. 3 : Caractéristiques du bassin de floculation.....	24
Tableau II. 4 : Caractéristiques du bassin de décantation.	25
Tableau II. 5 : Caractéristiques de la bêche tampon.....	26
Tableau II. 6 : Constitution du lit granulaire.	27
Tableau II. 7 : Caractéristiques du filtre gravitaire.....	27
Tableau III. 1 : Valeurs du pH en fonction du temps.....	39
Tableau III. 2 : Valeurs de la température en fonction du temps.	40
Tableau III. 3 : Valeurs de la turbidité en fonction du temps.....	41
Tableau III. 4: Valeurs de la conductivité électrique en fonction du temps.....	42
Tableau III. 5 : Valeurs du taux des chlorures en fonction du temps.....	43
Tableau III. 6 : Valeurs de la dureté totale en fonction du temps.	44
Tableau III. 7 : Valeurs du TAC en fonction du temps.	44
Tableau III. 8: Valeurs de l'Ammonium en fonction du temps.	45
Tableau III. 9 : Valeurs des nitrites en fonction du temps	46
Tableau III. 10: Valeurs des nitrates en fonction du temps.....	46
Tableau III. 11 : Variation des paramètres bactériologiques	47

Liste des figures

Figure II. 1 : Localisation du Barrage Kissir	17
Figure II. 2 : Localisation de la station de traitement Kissir.	18
Figure II. 3 : Ouvrages de la station de traitement de Kissir	19
Figure II. 4: Instruments installés dans la chambre de mesure.....	20
Figure II. 5 : Dégriilleurs : (a) Mécanique ; (b) Manuelle	21
Figure II. 6 : Cascade d'aération	22
Figure II. 7 : Coagulation, (a) Bassin de coagulation, (b) Agitateur.....	23
Figure II. 8 : Clarifloculateurs: Zones de floculation et de clarification	25
Figure II. 9 : Bâche tampon	26
Figure II. 10 : Filtre gravitaire	28
Figure II. 11 : Lavage des filtres, (a) : Pompe ; (b) : Souffleurs	29
Figure II. 12: Réservoirs de stockage	29
Figure II. 13 : Points de prélèvement.....	30
Figure II. 14 : pH mètre	31
Figure II. 15 : Turbidimètre	32
Figure II. 16 : Conductimètre	32
Figure II. 17 : Spectrophotomètre U.V visible DR 2800.....	35
Figure II. 18 : Dénombrement des microorganismes, (a) : Boites de Pétri ; (b) : Etuve	37
Figure II. 19 : Filtration sur membrane	38
Figure III. 1 : Evolution du pH en fonction du temps	39
Figure III. 2 : Evolution de la température en fonction du temps	41
Figure III. 3 : Evolution de la turbidité en fonction du temps.....	42
Figure III. 4 : Evolution de la conductivité électrique en fonction du temps.....	43
Figure III. 5 : Analyses bactériologiques	48

Liste des abréviations

ADE: Algérienne des eaux

AEP: Alimentation eau potable

AgCl: Chlorure d'Argent

AgNO₃: Nitrates d'argent

EDTA: Éthylène Diamine-Tétra Acétique

HCl: Acide chlorhydrique

H₂SO₄: Acide sulfurique

NTU: Unité Turbidité Néphélométrique

Na Cl: Chlore de sodium

NaOH: Hydroxyde de sodium

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

pH: Potentiel Hydrogène

TA : Titre Alcalimétrique

TAC : Titre Alcalimétrique Complet

TGEA: Tryptone Glucose Extract Agar

TH: Titre Hydrométrique (Dureté Totale)

µs/cm: Micro-siémens par centimètre

° F : Degrés Français

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction 1

Chapitre I

Partie Théorique

I.1. Ressource de l'eau	3
I.1.1. Types des eaux douces	3
I.1.1.1. Eaux souterraines	3
I.1.1.2. Eaux de surface	4
I.2. Composition chimique de l'eau	4
I.2.1. Matières minérales	5
I.2.2. Matières organiques	5
I.3. Pollution des eaux	5
I.3.1. Différentes sources de pollution	6
I.3.1.1. Pollution domestique	6
I.3.1.2. Pollution industrielle	6
I.3.1.3. Pollution agricole	7
I.3.1.4. Pollution liée aux transports maritimes	7
I.3.2. Conséquences de la pollution de l'eau	7
I.3.2.1. Conséquences sur le milieu aquatique	7
I.3.2.2. Conséquences sur la santé humaine et ses activités	7
I.3.2.3. Conséquences sur l'économie	8
I.4. Qualité de l'eau	8
I.4.1. Paramètres organoleptiques	8
I.4.1.1. Couleur	8
I.4.1.2. Gout-Odeur	9
I.4.2. Paramètres physico-chimiques	9
I.4.2.1. Paramètres physiques	9
I.4.2.1.1. pH	9
I.4.2.1.2. Température	9
I.4.2.1.3. Turbidité	9
I.4.2.1.4. Conductivité électrique	10
I.4.2.2. Paramètres chimiques	10
I.4.2.2.1. Chlorures (Cl^-)	10
I.4.2.2.2. Dureté totale (TH)	11
I.4.2.2.3. Titre alcalimétrique (TA)	11
I.4.2.2.4. Titre alcalimétrique complet (TAC)	11
I.4.2.2.5. Sulfate (SO_4^{2-})	12
I.4.2.3. Paramètres de pollution	12
I.4.2.3.1. Ammonium (NH_4^+)	12
I.4.2.3.2. Phosphate (PO_4^{3-})	12
I.4.2.3.3. Nitrates (NO_3^-)	12

I.4.2.3.4. Nitrites (NO ₂ ⁻).....	13
I.4.3. Paramètres microbiologiques	13
I.4.3.1. Germes aérobies revivifiables	13
I.4.3.2. Coliformes totaux	14
I.4.3.3. Coliformes fécaux	14
I.4.3.4. Clostridium sulfito-réducteurs.....	14
I.5. Eau potable et ses normes.....	15

Chapitre II

Partie Expérimentale

II.1. Présentation du milieu de stage.....	17
II.1.1. Description générale du barrage Kissir	17
II.1.1.1. Localisation.....	17
II.1.1.2. Destination	17
II.1.2. Description générale de la station de traitement Kissir.....	18
II.1.2.1. Localisation.....	18
II.1.2.2. Destination	18
II.1.2.3. Caractéristiques techniques de la station.....	18
II.2. Procédés de traitement	19
II.2.1. Chambre de mesure d'eau brute	20
II.2.2. Chambre de tranquillisation et dégrilleurs	21
II.2.3. Cascade d'aération	21
II. 2. 4. Bassin de coagulation.....	22
II.2.5. Clarifloculateurs	23
II.2.5.1. Flocculation	24
II.2.5.2. Clarification	24
II.2.6. Bâche tampon	26
II.2.7. Filtre gravitaire	26
II.2.8. Lavage des filtres.....	28
II.2.9. Chloration.....	29
II.3. Contrôle physico-chimique et bactériologique des eaux	30
II.3.1. Prélèvement des échantillons	30
II.3.1.1. Points de prélèvement.....	30
II.3.1.2. Mode de prélèvement.....	30
II.3.2. Contrôle physico-chimique	31
II.3.2.1. Paramètres physiques.....	31
II.3.2.1.1. pH.....	31
II.3.2.1.2. Température	31
II.3.2.1.3. Turbidité.....	31
II.3.2.1.4. Conductivité électrique	32
II.3.2.2. Paramètres chimiques	32
II.3.2.2.1. Dureté totale (TH).....	32
II.3.2.2.2. Chlorures (Cl ⁻).....	33
II.3.2.2.3. Titre alcalimétrique (TA)	34
II.3.2.2.4. Titre Alcalimétrique Complet (TAC).....	34
II.3.2.3. Paramètres de pollution	34
II.3.2.3.1. Ammonium (NH ₄ ⁺).....	34
II.3.2.3.2. Phosphates (PO ₄ ³⁻)	35
II.3.2.3.3. Nitrites (NO ₂ ⁻)	35
II.3.2.3.4. Nitrates (NO ₃ ⁻)	36
II.3.3. Contrôle bactériologique	36

II.3.3.1. Microorganismes revivifiables à 22 °C et à 37 °C	36
II.3.3.2. <i>Escherichia coli</i> et bactéries Coliformes	37
II.3.3.2.1. Méthode par filtration	37

Chapitre III

Résultats et Discussion

III.1. Résultats physico-chimiques	39
III.1.1. Paramètres physiques	39
III.1.1.1. pH	39
III.1.1.2. Température	40
III.1.1.3. Turbidité	41
III.1.1.4. Conductivité électrique	42
III.1.2. Paramètres chimiques	43
III.1.2.1. Chlorures	43
III.1.2.2. Dureté totale (TH)	44
III.1.2.3. Titre alcalimétrique complet (TAC).....	44
III.1.3. Paramètres de pollution.....	45
III.1.3.1. Ammonium (NH ₄ ⁺)	45
III.1.3.2. Nitrites (NO ₂ ⁻)	46
III.1.3.3. Nitrates (NO ₃ ⁻).....	46
III.2. Résultats bactériologiques	47
III.2.1. Coliformes fécaux et Totaux.....	47
III.2.2. Germes Totaux à 37 °C.....	48
Conclusion	49

Références bibliographiques

Introduction

Introduction

L'eau est un élément naturel d'une importance primordiale, indispensable à toute forme de vie. L'eau est une richesse nécessaire à toutes activités humaines et c'est un facteur de production déterminant dans le développement durable. Elle devient de plus en plus au centre des intérêts stratégiques, il est donc nécessaire d'avoir une meilleure connaissance sur les ressources en eaux existantes ainsi que sur leur qualité.

L'eau en tant que liquide est considérée comme un solvant universel. Elle se congèle à 0 °C et devient vapeur au-delà de sa température d'ébullition (100 °C). La qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause des rejets industriels non contrôlés et l'utilisation intensive des engrais chimiques en agriculture. Ces derniers produisent une modification chimique de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités. De nombreux travaux se sont aussi rapportés sur l'étude des différents effets des rejets industriels et urbains sur l'évolution de la qualité et la pollution des eaux [1].

Les ressources en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables. En Algérie, l'exploitation de ces ressources est très intense avec les besoins grandissants liés à l'essor démographique et le développement accéléré des activités économiques, notamment l'agriculture en irrigation et l'industrie [2].

Donc, pour obtenir de l'eau potable, l'eau superficielle puisée nécessite de subir certains traitements définis par des normes de potabilité. Ainsi, nous devons la débarrasser d'impuretés, de bactéries voire même de traces de minéraux trop fortes afin qu'elle devienne potable et qu'elle puisse donc être bue sans risque par l'homme. Pour réaliser ces traitements, la plupart des pays proposent différents types de traitements, d'une part, physico-chimiques avec l'utilisation de la décantation ou d'actions plus complexes telles que l'injection d'ozone ou la floculation. D'autre part, il existe également des procédés biologiques comme la filtration sur sable.

L'objectif principal de ce travail réalisé durant la période Avril- Mai de l'année 2021, est de suivre le processus de traitement des eaux de barrage de Kissir de la wilaya de Jijel ainsi de contrôler la qualité (physico-chimique et bactériologique) des eaux de barrage à l'entrée et à la sortie de la station de traitement.

Ce travail est organisé en trois chapitres:

Le premier chapitre consiste en un état de connaissance sur l'eau et sa pollution et à déterminer les principales causes de pollution des eaux et les paramètres qui décident le type et le taux de pollution ainsi que leurs conséquences sur l'environnement et l'être humain. La qualité des eaux sera exposée dans ce chapitre.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation du barrage de Kissir et la station dont les modes d'épuration ou de traitement des eaux du barrage seront détaillés. La présentation du matériel et des méthodes utilisés lors des analyses physico-chimiques et bactériologiques sera également développée.

Le troisième chapitre exposera les résultats et les interprétations des analyses réalisées pour les eaux brutes et traitées.

Chapitre I
Partie Théorique

L'eau est un corps incolore, inodore, insipide, liquide à la température ordinaire et composé d'hydrogène et d'oxygène (H₂O). L'eau était considérée par les anciens comme l'un des quatre éléments de base avec le feu, l'air et la terre. Elle constitue un élément indispensable à la vie. Elle est le substrat fondamental des activités biologiques et le constituant le plus important des êtres vivants (70 % de leurs poids en moyenne).

L'eau se rencontre dans l'écosphère sous trois états : solide, liquide, et gazeux, dépendant des conditions particulières de température et de pression. L'eau a des propriétés physico-chimiques assez particulières par rapport aux autres liquides, car elle est un excellent solvant. Elle solubilise de nombreux gaz, corps minéraux et organiques, ionise les électrolytes et disperse les colloïdes électrochargés [3].

I.1. Ressource de l'eau

L'eau recouvre 72 % de la surface terrestre et représente une réserve totale de 1350 milliard de km³ dans la biosphère. Cependant l'eau se trouve en constant recyclage. L'eau douce ne représente que 2,5 % du stock total d'eau sur la planète (les 97,5 % restant étant salés) : or 2/3 de l'eau douce planétaire est concentrée dans les glaciers et la couverture neigeuse et 1/3 dans les nappes souterraines difficiles d'accès. Il ne reste que 0,3 % de l'eau douce (soit 0,007 % de la totalité de l'eau de la planète) dans les rivières, les ruisseaux, les réservoirs et les lacs. Seule cette infime partie est aisément disponible et se renouvelle relativement rapidement : 16 jours en moyenne pour une rivière, 17 ans pour un lac [4].

I.1.1. Types des eaux douces

Il existe deux types d'eaux douces qui sont les eaux souterraines et les eaux de surface

I.1.1.1. Eaux souterraines

Ce sont les eaux des nappes phréatiques qui correspondent à 22 % des réserves d'eaux douces, soit environ 1000 milliard de m³. Leur origine est représentée par l'accumulation des infiltrations dans le sol qui varient en fonction de la porosité et de la structure géologique du sol.

Les eaux souterraines sont habituellement à l'abri des sources de pollution, elles sont donc d'excellente qualité physico-chimique et microbiologique par rapport aux eaux de surface [5].

I.1.1.2. Eaux de surface

Les eaux de surface se répartissent en eaux véhiculées par les cours d'eau, ou contenues dans les lacs, ou maintenues derrière les barrages réservoirs. Elles ont pour origine, soit des nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseaux, de rivières, soit des rassemblements des eaux de ruissellement. La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants. Au cours de son cheminement, l'eau dissout les différents éléments constitutifs des terrains, elle est donc généralement riches en gaz dissous, en matière en suspension et en matière organique ainsi qu'en plancton. Les eaux de surface sont très sensibles à la pollution minérale et organique [6].

I.2. Composition chimique de l'eau

L'eau, utilisée à de multiples fins, a une valeur économique et devrait donc être reconnue comme un bien économique et social. Au cœur de ce principe, il faut d'abord, de façon cruciale, que soit reconnu le droit fondamental de tous les êtres humains d'avoir accès à de l'eau propre et à des services d'assainissement et ce, à un prix abordable.

Les fonctions de l'eau peuvent se définir et se classer suivant les propriétés de l'eau qui les déterminent, en :

1. fonctions biologiques : l'eau constituant de la matière vivante et vecteur d'échanges internes et externes : l'eau aliment.
2. fonction écologique : l'eau biotope aquatique.
3. fonctions hydrauliques : (mécaniques, hydrostatique, hydrodynamique) : l'eau support (surtension -l'eau milieu flottable-, suspension), vecteur (par son flux) de transport (de matière, d'énergie), moteur, conservateur et transformateur d'énergie, agent de transmission de contraintes mécaniques, liant.
4. fonctions thermiques : l'eau fluide caloporteur, agent de thermorégulation.
5. fonctions chimiques : l'eau composante (hydratante), solvant, réactive ou catalytique vis-à-vis de nombreuses substances.
6. fonctions optiques : l'eau milieu transparent ou réflecteur, conducteur de lumière.

7. fonctions symboliques : l'eau signifiante dans le contexte socioculturel (symbole de pureté, de fécondité) [7].

Elle contient aussi, sous forme dissoute ou en suspension, des substances minérales et organiques. Si les substances minérales sont limitées à une centaine de composés, les substances organiques sont innombrables (plusieurs centaines de mille voire plusieurs millions) et leur identification individuelle très difficile.

I.2.1. Matières minérales

L'eau contient beaucoup d'ions dissous dont les principaux sont les ions calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), sodium (Na^+), potassium (K^+), carbonate (CO_3^{2-}) hydrogencarbonate aussi appelé bicarbonate (HCO_3^-), sulfate (SO_4^{2-}), chlorure (Cl^-) et nitrate (NO_3^-). L'eau contient aussi des matières minérales en suspension (matériaux argileux, limons, etc.).

I.2.2. Matières organiques

Les matières organiques peuvent être présentées sous forme dissoute (carbohydrates, acides humiques, pigments et composés d'origine artificielle comme les hydrocarbures, les solvants chlorés, ou les pesticides), ou en suspension (déchets végétaux, plancton...).

Elles proviennent pour l'essentiel de la dégradation de la matière organique présente dans le milieu ou dans les sols lessivés par les pluies (décomposition des plantes et des animaux), mais aussi de composés issus de l'activité humaine. Leur concentration, infime dans les eaux profondes, peut atteindre quelques dizaines de milligrammes par litre dans les eaux de surface [8].

I.3. Pollution des eaux

L'eau est indispensable à la vie. Pour les besoins de l'homme et de l'environnement, l'eau doit être de bonne qualité. Si la qualité de l'eau est altérée, c'est tout un équilibre qui est menacé.

On distingue trois principaux types de pollution de l'eau :

- **Pollution bactériologique** : il s'agit de bactéries qui proviennent principalement des rejets d'eaux usées (non traitées) contenant de la matière fécale et des déchets organiques.
- **Pollution chimique** : provient généralement des rejets d'eaux usées contenant des produits d'entretien, des hydrocarbures et des métaux lourds.
- **Pollution par les déchets aquatiques** : elle est définie comme « Tout matériau ou objet fabriqué utilisé au profit de l'humanité qui est directement ou indirectement jeté ou abandonné dans les milieux aquatiques ».

I.3.1. Différentes sources de pollution

I.3.1.1. Pollution domestique

Elle est généralement liée aux rejets d'eaux usées, qui peuvent être de deux types :

- Les eaux usées issues de l'utilisation d'eau au quotidien (toilettes, cuisine, douche...) contiennent des déchets organiques ou de la matière fécale. Les habitations mal ou non raccordées au réseau d'assainissement collectif, peuvent ainsi engendrer une pollution bactériologique de l'eau.
- Les produits ménagers que nous utilisons sont chargés de polluants chimiques nocifs pour l'environnement. Mélangés à l'eau, ils terminent dans nos canalisations ou dans la nature et engendrent une pollution chimique. Difficilement traités par les réseaux d'assainissement, les résidus de ces produits viennent enrichir les cours d'eau en substances chimiques [9].

I.3.1.2. Pollution industrielle

L'industrie génère des pollutions différentes selon le secteur d'activité. Les usines de papier, par exemple, utilisent de grands volumes de produits chimiques dans leurs processus de fabrication. Malgré les réglementations imposant le traitement de leurs eaux usées, certaines substances restent difficiles à éliminer et se retrouvent dans l'environnement. Les activités agroalimentaires (conserveries, coopératives...) traitent de gros volumes de

matière organique, qui vient enrichir le milieu en nutriments et contribue au phénomène d'eutrophisation [10].

I.3.1.3. Pollution agricole

Les pesticides et les engrais engendrent une pollution chimique. L'utilisation massive d'engrais d'origine naturelle, tel que le fumier, peut constituer une source de pollution bactériologique. Ces substances, par le biais du cycle de l'eau, s'infiltrent ou ruissellent polluant les milieux aquatiques [10].

I.3.1.4. Pollution liée aux transports maritimes

Le transport maritime peut être à l'origine de pollutions chimiques. Elles sont souvent causées par des rejets d'hydrocarbures, volontaires ou non, directement dans l'océan. Les marées noires en sont l'exemple le plus frappant [10].

I.3.2. Conséquences de la pollution de l'eau

I.3.2.1. Conséquences sur le milieu aquatique

La qualité de l'eau a un impact direct sur l'état des milieux aquatiques, tant sur la faune que sur la flore. Le bon fonctionnement des écosystèmes dépend de la qualité de l'eau dans laquelle ils se trouvent, l'équilibre des milieux aquatiques étant très fragile.

La présence d'engrais et de fertilisants (d'origine agricole) dans l'océan a sur certaines plantes aquatiques le même effet que sur les plantes terrestres.

L'utilisation massive d'hormones de synthèse tant dans l'agriculture (élevages) que dans la vie quotidienne (médicaments) a pour effet la féminisation de certaines espèces aquatiques (poissons, reptiles...) [11].

I.3.2.2. Conséquences sur la santé humaine et ses activités

La qualité de l'eau a un impact sur l'homme, sa santé et ses activités. Les pollutions bactériologiques peuvent être à l'origine de maladies (otites, gastro entérites, éruptions cutanées...) chez les baigneurs et pratiquants d'activités nautiques. Ces pollutions sont détectées par l'analyse de deux bactéries intestinales : *Escherichia coli* et entérocoques. Les risques

sanitaires liés aux pollutions chimiques sont moins bien connus et donc plus difficile à détecter [11].

I.3.2.3. Conséquences sur l'économie

La pollution peut avoir de lourdes conséquences sur les activités économiques. Quel que soit le type de pollution, l'appauvrissement d'un milieu naturel engendre une baisse de son attractivité. C'est donc dans l'intérêt de chacun de le préserver [11].

I.4. Qualité de l'eau

La nature et la forme des normes s'appliquant à l'eau de boisson peuvent varier d'un pays ou d'une région à l'autre. Il n'existe pas d'approche unique, universellement applicable.

Le concept de « potabilité » varie à travers le monde, fruit d'un contexte historique, scientifique et culturel local. Il détermine la question de l'accès à l'eau, puisqu'une eau de bonne qualité est essentielle au développement économique et humain. Selon l'arrêté du 11 janvier 2007 du ministère de la Santé une eau potable dit répondre à une série des critères :

I.4.1. Paramètres organoleptiques

Ces paramètres ne sont pas purement chimiques mais affectent directement nos sens. En tant que consommateurs, nous y sommes d'autant plus sensibles. Contrairement à tous les autres paramètres appréciant la qualité d'une eau, les paramètres organoleptiques s'étudient lors du prélèvement de l'échantillon ou, faute de mieux, dans le délai de plus court possible. Certaines odeurs peuvent disparaître pendant le transport, la couleur peut être modifiée (apparition ou disparition dans le temps).

I.4.1.1. Couleur

La couleur de l'eau est un paramètre lié au confort et à l'agrément du consommateur. Elle n'a pas d'influence directe sur la santé humaine, cependant, elle limite la pénétration des rayons UV, nécessaire à la désinfection et une consommation importante du chlore pour l'oxydation [12].

I.4.1.2. Gout-Odeur

Les eaux de consommation doivent posséder un gout et une odeur non désagréable. Les odeurs sont causées par la présence dans l'eau de substances relativement volatiles. Ces substances peuvent être inorganiques comme le chlore, les hypo chlorures, le bioxyde de soufre (SO₂) ou le sulfure d'hydrogène (H₂S) ou organique comme les esters et les alcools.

Par ailleurs, une eau traitée peut avoir un gout plus prononcé qu'une eau non potable du chlore résiduel ou de la formation de certains dérivés chlorés. En outre, une eau soigneusement bouillie si elle est stérile, n'en est pas moins très fade et de gout peut agréable en l'absence de CO₂ et d'oxygène dissous [13].

I.4.2. Paramètres physico-chimiques

I.4.2.1. Paramètres physiques

I.4.2.1.1. pH

Le pH est un paramètre chimique caractérisant l'acidité ou la basicité d'un milieu. Il résulte de la composition ionique de l'eau, et essentiellement de la présence des carbonates issus de l'échange de dioxyde de carbone à l'interface air-eau, ainsi que de la dissolution du calcaire [14].

Le pH dépend aussi de l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du bassin versant traversé. Dans la plupart des eaux naturelles, le pH est compris habituellement entre 6 et 8,5 alors que dans les eaux tièdes, celui-ci est compris entre 5 et 9 [15].

I.4.2.1.2. Température

La température de l'eau est un facteur important dans la production biologique. Ceci vient du fait qu'elle affecte les propriétés physiques et chimiques de celle-ci. En particulier sa densité, sa viscosité et la vitesse des réactions chimiques et biochimiques [16].

I.4.2.1.3. Turbidité

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. La turbidité de l'eau a pour origine la présence de matières en suspension (argile, limons, particules fibreuses ou organique, micro-organismes...), étant souvent lié à des phénomènes pluviométriques dans les eaux superficielles et dans certaines eaux souterraines (nappes peu

profondes). La turbidité se mesure sur le terrain à l'aide d'un turbidimètre. Et sont exprimées en unités et correspondent à une mesure optique de passage de lumière. D'autres unités comparables sont employées, l'unité néphéométrique de turbidité ou NTU [17].

Tableau I. 1 : Classes de turbidités usuelles (NTU, néphéométric turbidity unity).

– NTU < 5	=> eau claire
– NTU < 30	=> eau légèrement trouble
– NTU > 50	=> Eau trouble

I.4.2.1.4. Conductivité électrique

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur le terrain. L'unité de mesure de la conductivité est siemens/cm (s/cm): $1\text{ S /m} = 10^4 \mu\text{S/cm} = 10^3 \mu\text{S/cm}$. La minéralisation de l'eau (teneur globale en espèces minérales) peut entraîner selon les cas, un gout salé (variable selon la nature des sels présents), une concentration de la corrosion, et les dépôts dans les tuyauteries (entartrage) [16].

Tableau I. 2 : Classification des eaux selon la conductivité.

Type d'eau	Conductivité ($\mu\text{S/Cm}$)	Résistivité ($\Omega. \text{m}$)
Eau pure	< 23	> 30000
Eau douce peu minéralisée	100 à 200	5000 à 10000
Eau de minéralisation Moyenne	250 à 500	2000 à 40000
Eau très minéralisée	1000 à 2500	400 à 1000

I.4.2.2. Paramètres chimiques

I.4.2.2.1. Chlorures (Cl^-)

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl).

Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution. Ils ont une influence sur la faune et la flore aquatique ainsi que sur la croissance des végétaux [18].

I.4.2.2.2. Dureté totale (TH)

La dureté de l'eau est due à la présence de calcium et dans une moindre mesure, de magnésium. On l'exprime généralement en quantité équivalente de carbonate de calcium.

Tableau I. 3: Relation entre dureté de l'eau et concentration équivalente en CaCO_3 .

Dureté	Concentration (mg/L)
Eau douce	0 à 60
Eau moyennement douce	60 à 120
Eau dure	120 à 180
Eau très dure	plus de 180

Une dureté supérieure 200 mg/L peut provoquer l'entartrage CaCO_3 (excès calcaire) du système de distribution et entraîner une consommation excessive de savon avec formation d'écume.

La concentration du calcium dans l'eau de consommation n'est pas généralement élevée par rapport au besoin journalier (2 g/j) [19].

I.4.2.2.3. Titre alcalimétrique (TA)

La teneur en hydroxyde (OH), est la moitié de la teneur en carbonate CO_3^{2-} et un tiers environ des phosphates présents [20].

I.4.2.2.4. Titre alcalimétrique complet (TAC)

Le Titre Alcalimétrique (TA) et le Titre Alcalimétrique Complet (TAC) traduisent l'alcalinité d'une eau. Ce sont des paramètres importants pour l'eau distribuée dans les canalisations. La connaissance du titre alcalimétrique est essentielle pour l'étude de l'agressivité de l'eau, puisqu'elles dépendent de l'équilibre calco-carbonique.

Il correspond à la teneur en ions OH, CO_3^{2-} et HCO_3^- pour des pH inférieur à 8,3. La teneur en ions OH et CO_3^{2-} est négligeable (TA=0), dans ce cas la mesure de TAC correspondant au dosage des bicarbonates seuls [20].

I.4.2.2.5. Sulfate (SO_4^{2-})

Composés naturels des eaux, ils sont liés aux cations majeurs: calcium, potassium et sodium et ils proviennent essentiellement de la dissolution de gypse ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$). Il est difficile de préciser les origines artificielles des sulfates vu leur importance dans l'industrie.

On peut toutefois citer comme sources prépondérantes: les tanneries, l'industrie papetière, les textiles et les usines de phosphogypse, etc. Les teneurs en sulfates des eaux sont variables mais ne dépassent pas le gramme par litre. Bien que des teneurs élevées en sulfates ne soient dangereuses, elles peuvent occasionner des troubles diarrhéiques notamment chez les enfants [21].

I.4.2.3. Paramètres de pollution

I.4.2.3.1. Ammonium (NH_4^+)

L'azote ammoniacal (NH_3 et NH_4^+) dans les eaux polluées à cause de la biodégradation des protéines des acides aminés de l'urée. Sa présence indique une pollution récente, il est graduellement oxydé en nitrites, puis en nitrates.

I.4.2.3.2. Phosphate (PO_4^{3-})

Les ions phosphates contenus dans les eaux de surface ou dans les nappes peuvent être d'origine naturelle : décomposition de la matière organique, lessivage des minéraux ou due aussi aux rejets industriels (agroalimentaire...etc.), engrais (pesticides...etc.) et domestiques (poly-phosphate des détergents) [22].

Les phosphates sont généralement responsables de l'accélération du phénomène eutrophisation dans les lacs ou les rivières. S'ils dépassent les normes, ceux-ci sont considérés comme indice de contamination fécale entraînant une prolifération des germes, goût et coloration.

I.4.2.3.3. Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates proviennent de l'oxydation complète de l'azote organique. Ils sont présents dans le sol, dans les eaux superficielles et souterraines. Ils résultent de la décomposition naturelle par des microorganismes, de matière organique azotée telle que les protéines végétales, animales et les excréments animaux. L'ion ammonium formé est oxydé en nitrates. La présence de nitrates dans l'environnement est une conséquence naturelle du cycle de l'azote [23].

I.4.2.3.4. Nitrites (NO₂⁻)

Les nitrites proviennent soit de l'oxydation incomplète de l'azote organique soit d'une réduction des nitrates. Les principales sources de pollution sont l'utilisation des engrais, la fabrication d'explosifs, l'industrie chimique et alimentaire.

La teneur en nitrates de l'eau est généralement plus élevée que celle des nitrites. Une forte concentration en nitrites indique une pollution bactériologique par suite de l'oxydation de l'ammoniac [24].

I.4.3. Paramètres microbiologiques

L'eau destinée à la consommation humaine peut contenir des microorganismes pathogènes, agents d'infections humaines redoutables. Ce sont des bactéries, des virus, voire des champignons, des protozoaires, des algues. Cette eau doit être potable, c'est-à-dire incapable de nuire à la santé des consommateurs, donc exempte de ces agents pathogènes.

La grande majorité de ces microorganismes nocifs diffuse dans l'environnement aquatique, par l'intermédiaire des souillures fécales humaines ou animales. La mise en évidence de ces contaminations fécales est à la base même de l'analyse bactériologique de l'eau de consommation.

I.4.3.1. Germes aérobies revivifiables

Selon la norme NF EN ISO 6222, les germes revivifiables, nommés également mésophiles aérobies sont toute bactérie aérobie, levure ou moisissure, capable de former des colonies dans le milieu spécifié à $22 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 68 ± 4 heures, et à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 44 ± 4 heures.

Parmi les bactéries cultivant dans les conditions de la norme, on peut distinguer deux catégories différentes sur le plan de l'hygiène:

- les micro-organismes se développant à 22°C qui sont des saprophytes présents naturellement dans l'eau ;
- les microorganismes se développant à 37°C , température du corps humain, qui proviennent de l'homme ou d'animaux à sang chaud. Même s'il ne s'agit pas forcément de germes pathogènes, ils peuvent montrer une contamination de l'eau analysée par des produits animaux, en particulier les matières fécales [25].

I.4.3.2. Coliformes totaux

Sont utilisés depuis très longtemps comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau parce qu'ils peuvent être indirectement associés à une pollution d'origine fécale. Les coliformes totaux sont définis comme étant des bactéries en forme de bâtonnet, aérobies ou anaérobies facultatives. La presque totalité des espèces sont non pathogènes et ne représentent pas de risque direct pour la santé, à l'exception de certaines souches d'*Escherichia coli* (*E. coli*) ainsi que de rares bactéries pathogènes opportunistes.

I.4.3.3. Coliformes fécaux

Les coliformes fécaux, ou coliformes thermotolérants, sont un sous-groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44,5 °C. L'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est l'*Escherichia coli* (*E. coli*) et, dans une moindre mesure, certaines espèces des genres *Citrobacter*, *Enterobacter* et *Klebsiella*.

La bactérie *E. coli* représente toutefois 80 à 90 % des coliformes thermotolérants détectés. Bien que la présence de coliformes fécaux témoigne habituellement d'une contamination d'origine fécale, plusieurs coliformes fécaux ne sont pas d'origine fécale, provenant plutôt d'eaux enrichies en matière organique, tels les effluents industriels du secteur des pâtes et papiers ou de la transformation alimentaire [26].

I.4.3.4. Clostridium sulfito-réducteurs

Selon la norme NF T 90-415, les Clostridium sulfito-réducteurs se présentent sous forme de bacilles Gram positif et qui en se développant à température de $36 \pm 2^\circ\text{C}$ en 24 à 48 heures en gélose profonde de type gélose Tryptose Sulfite Cyclosérine ou Tryptose Sulfite Néomycine ou encore gélose Viande Foie, donnent des colonies caractéristiques qui sont de couleur blanche entourées d'une auréole noire. Cette auréole est le témoin de la réduction du sulfite de sodium (Na_2SO_3) qui se trouve dans le milieu, en sulfure qui en présence de Fe^{2+} donne FeS (sulfure de fer) de couleur noire.

Les Clostridium sulfito-réducteurs sont souvent considérés comme des témoins de pollution fécale. La forme spore, beaucoup plus résistantes que les formes végétatives des coliformes fécaux et des streptocoques fécaux, permettrait ainsi de déceler une pollution fécale ancienne [27].

I.5. Eau potable et ses normes

Une eau potable est une eau que l'on peut boire sans risque pour la santé. Afin de définir précisément une eau potable, des normes ont été établies. Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne signifie donc pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur.

Selon ces normes, une eau potable doit être exempte de germes pathogènes (bactéries, virus) et d'organismes parasites, car les risques sanitaires liés à ces micro-organismes sont grands.

Elle ne doit contenir certaines substances chimiques qu'en quantité limitée : il s'agit en particulier de substances qualifiées d'indésirables ou de toxiques, comme les nitrates et les phosphates, les métaux lourds, ou encore les hydrocarbures et les pesticides, pour lesquelles des " concentrations maximales admissibles " ont été définies.

À l'inverse, la présence de certaines substances peut être jugée nécessaire comme les oligoéléments indispensables à l'organisme. Une eau potable doit aussi être une eau agréable à boire : elle doit être claire, avoir une bonne odeur et un bon goût. Enfin, elle ne doit pas corroder les canalisations afin d'arriver "propre" à la sortie des robinets.

Tous les pays du monde ne suivent pas les mêmes normes. Certains édictent leurs propres normes. D'autres adoptent celles conseillées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). En Europe, elles sont fixées par la Commission des communautés européennes. Aujourd'hui, 63 paramètres contrôlent la qualité de l'eau des Européens. En France, à la fin du XIX^e siècle, 6 paramètres suffisaient à définir une eau potable. La dernière directive européenne, non encore transcrite en droit français mais qui devra l'être prochainement, exige que les nouvelles normes soient appliquées non plus seulement aux points de captage, lors de la production, et sur le réseau public de distribution d'eau, mais également aux robinets. L'eau est aujourd'hui la denrée alimentaire la plus fortement réglementée [8].

Tableau I. 4: Normes Des eaux de Boisson.

N°	Paramètres	
Paramètres physico-chimiques		
1	Température (°C)	≤ 25
2	pH	6,5 - 8,5
3	Turbidité (NTU)	< 5
4	Conductivité à 20°C (µs/Cm)	200 - 2800
5	Chlorures (Cl ⁻) (mg/L)	≤ 200
6	Dureté (TH) (°F)	≤ 20
7	Sulfates (mg/L)	≤ 200
8	Magnésium (mg/L)	≤ 150
9	Calcium (mg/L)	≤ 200
10	Sodium (mg/L)	≤ 500
Paramètres de Pollution et Indésirables (mg/L)		
11	Aluminium (Al ³⁺)	≤ 0,2
12	Ammonium (NH ₄ ⁺)	≤ 0,5
13	Nitrate (NO ₃ ⁻)	≤ 50
14	Nitrite (NO ₂ ⁻)	≤ 0,50
15	Fer (Fe)	≤ 0,3
16	Phosphate (PO ₄ ³⁻)	≤ 5
Paramètres microbiologiques (mL)		
17	Coliformes totaux	0/100
18	Coliformes fécaux	0/100
19	Streptocoques fécaux	0/100
20	E. coli	0/100

Chapitre II
Partie Expérimentale

II.1. Présentation du milieu de stage

II.1.1. Description générale du barrage Kissir

II.1.1.1. Localisation

Le barrage de Kissir est un barrage en terre qui se situe à 9 km à l'Ouest de la ville de Jijel et à 6 km à l'Est de la localité d'EL-Aouana en suivant la route nationale RN -43 (Jijel-Béjaia). L'axe du barrage se situe à moins de 1 km de la mer et à environ 300 m en amont du nouveau pont routier sur l'Oued Kissir.

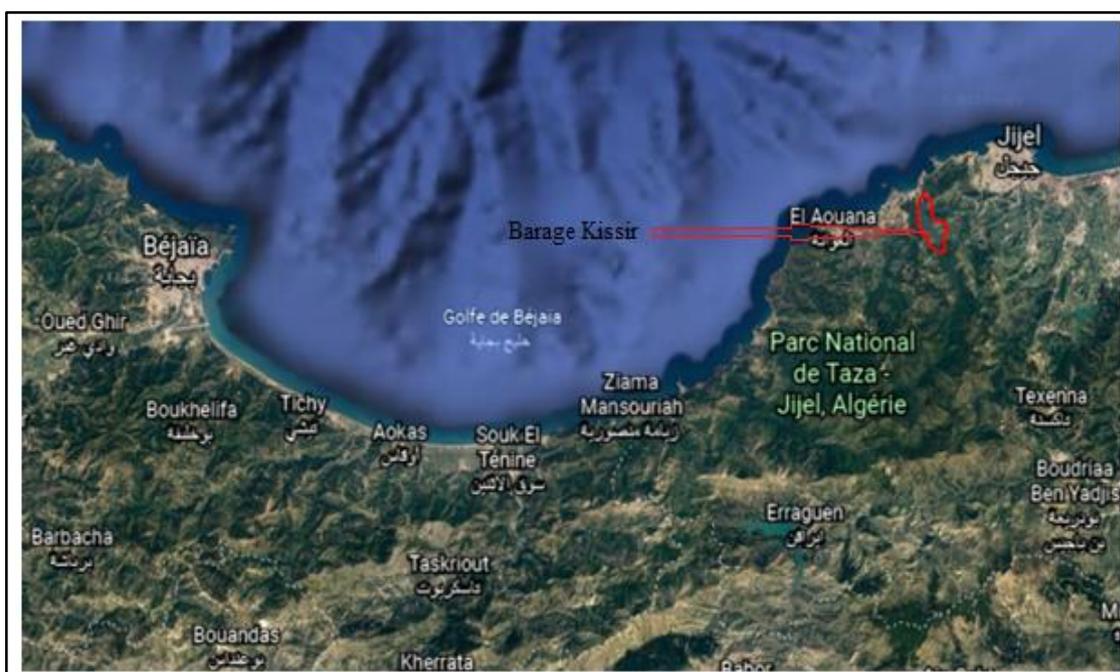


Figure II. 1 : Localisation du Barrage Kissir.

II.1.1.2. Destination

L'aménagement du barrage Kissir a pour but de mobiliser les ressources hydriques du bassin hydrographique de l'Oued Kissir qui représente une superficie de 107 km² en vue de satisfaire les besoins en eaux potables et en eaux d'irrigation des plaines côtières de la ville de Jijel et ses localités environnantes. Le volume régularisé de la retenue soit de 48 Hm³ (million de mètre cube) donne la possibilité d'assurer :

- 36 Hm³/an pour l'AEP ;
- 12 Hm³/an pour l'irrigation des plaines côtières.

II.1.2. Description générale de la station de traitement Kissir

II.1.2.1. Localisation

La station de traitement Kissir est située à la willaya de Jijel, Daïra et commune d'EL Aouana. El est située approximativement à 200 m au nord du barrage Kissir. L'axe de la station se situe à moins de 600 km de la mère.



Figure II. 2 : Localisation de la station de traitement Kissir.

II.1.2.2. Destination

La réalisation des ouvrages d'alimentation en eau potable d'une capacité de 100 000 m³/jour est destinée pour l'alimentation en eau potable des villes de Jijel et d'EL-Aouana pour un volume de 36 Hm³ et une population près de 415 000 habitants. Soit une dotation de 200 l/j/hab estimée à l'horizon 2030.

I.1.2.3. Caractéristiques techniques de la station

- Cote du niveau dans le bassin : 17,8 m (cascade) ;
- Débit journalier nominal : 100 000 m³ / jour ;
- Cote du plan d'eau traité : 7,48 m ;
- Chaîne de traitement: Aération - dégrillage - coagulation/floculation – clarification.

II.2. Procédés de traitement

L'eau du barrage Kessir ne peut être consommée à son état brut car elle contient des constituants nocifs sur la santé. En effet elle doit passer par la station de traitement pour subir le traitement de potabilisation approprié.

L'eau brute du barrage de Kessir est traitée dans la station de traitement Kessir par une chaîne d'ouvrages différents et successifs, où chacun de ces derniers a un rôle spécifique de la dépollution de l'eau brute.



1 : Dégrilleurs et chambre de tranquillisation.
 2 : Cascade d'aération.
 3 : Bassin de coagulation et la bêche tampon
 4 : Clarification
 5 : Bâtiment des filtres
 6 : Epaisseurs
 7 : Local déshydratation

8 : Réservoirs 4× 5000 m³
 9 : Station de pompage
 10 : Local électrique
 11 : Salon d'honneur
 12 : Stockage chimique
 13 : Dosage chimique
 14 : Bâtiments existants

Figure II. 3 : Ouvrages de la station de traitement de Kessir.

II.2.1. Chambre de mesure d'eau brute

L'eau brute s'écoule gravitairement vers la station de traitement au moyen de deux conduites DN 900 mm lorsque le niveau de barrage est élevé par rapport au niveau de la station. Le premier ouvrage à l'entrée de la station est la chambre de mesure d'eau brute. Elle est équipée d'une vanne de régulation automatique et d'un débitmètre électromagnétique, ce qui assure le passage de débits mesurés selon exigence.

Des injections de produits chimiques sont envisagées sur les lignes qui passent par la chambre de mesure :

- 1- Le premier produit chimique est l'hypochlorite de calcium dissous (au moyen de pompes doseuses) ;
- 2- La deuxième injection de produits chimiques vise la régulation du pH de l'eau brute à une valeur comprise entre 6,5 – 8,5. Il s'agit de l'acide sulfurique et la chaux ;
- 3- Après l'injection des produits chimiques, des instruments sont installés sur les conduites d'entrée d'eau brute pour mesurer les caractéristiques suivantes :
 - Turbidité est mesurée par un turbidimètre ;
 - Conductivité est mesurée par un conductimètre ;
 - pH est mesuré par un pH-mètre ;
 - Température est mesurée à l'aide des sondes de température;
 - Débit d'entré est mesurée par un débitmètre électromagnétique.



Figure II. 4: Instruments installés dans la chambre de mesure.

II.2.2. Chambre de tranquillisation et dégrilleurs

La chambre de tranquillisation réduit la vitesse d'écoulement d'eau, avant d'arriver aux dégrilleurs. Le système de dégrillage consiste au passage de l'eau brute par des canaux en béton armé équipés de grilles (deux grilles mécaniques (service), et une manuelle DM102 (mise en standby)).

Chaque canal est équipé de deux vannes murales, une en amont de la grille, et l'autre en aval, ce qui permet d'isoler n'importe quel canal en cas de besoin.



Figure II. 5 : Dégrilleurs : (a) Mécanique ; (b) Manuelle.

II.2.3. Cascade d'aération

L'eau brute coule gravitairement des dégrilleurs à la cascade d'aération, où elle subit une oxydation du fer et du manganèse, et s'enrichit à la fois en oxygène dissous. Ce qui sert à :

- Eliminer l'odeur ainsi que la saveur indésirable ;
- Enrichir l'eau par l'oxygène et provoquer une nitrification ultérieure de l'azote (oxydation de l'ammoniac en nitrite puis en nitrate) ;
- Evacuer le CO₂ en excès et autres gaz issus des réactions d'anaérobiose ;
- Augmenté la teneur en oxygène de l'ordre de 70 % de la saturation ;
- Transformer la matière en suspension en composé minérale.

Les caractéristiques de la cascade d'aération sont regroupées dans le **tableau II. 1**.

Tableau II. 1: Caractéristiques de la cascade d'aération.

Diamètre extérieur D	14,60 m
Nombre de marche considérée	4
Hauteur total de la cascade H	2,1 m
Hauteur de chaque marche h	1,3 m
Surface requise	167,44 m ²
Largeur de chaque marche	1,3 m

La figure suivante présente une image de la cascade d'aération de la station de Kissir.

**Figure II. 6 :** Cascade d'aération.

II.2.4. Bassin de coagulation

L'eau aérée, est menée à travers une conduite DN 1200 vers le bassin de coagulation, dont la fonction principale est de mélanger le coagulant chimique ajouté à l'eau qui est d'un volume de 76 cm³ avec un temps de rétention de (30 - 60 sec), et dont le débit d'entrée et de 4200 m³/h.

La coagulation consiste à ajouter à l'eau un électrolyte permettant de neutraliser les charges négatives qui sont à l'origine du maintien en suspension stable.

Le coagulant ajouté à l'eau brute est le Sulfate d'Aluminium ($\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$).

Tableau II. 2: Caractéristiques du bassin de coagulation.

Type	Cylindre en béton armé.
Diamètre	4,6 m
Hauteur	5,1 m
Volume de l'ouvrage	76,4 m ³
Temps de séjour	60 sec
Produit chimique injecté	Sulfate d'alumine ($\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) Charbon actif.
Agitateur rapide	Marque SERECO

L'image suivante montre clairement le bassin de coagulation ainsi l'agitateur utilisé.

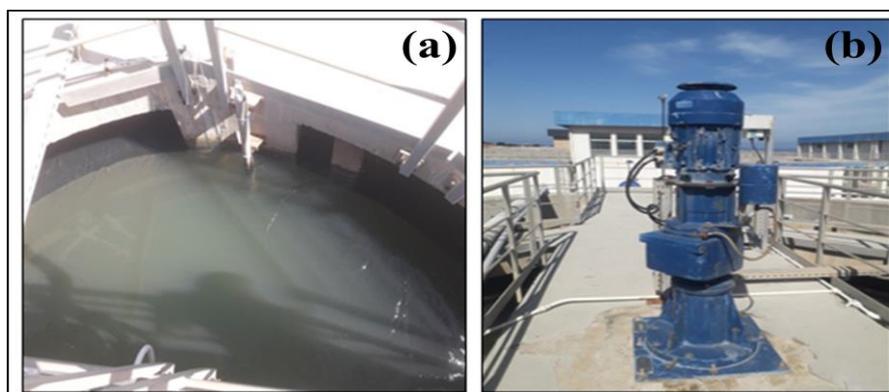


Figure II. 7 : Coagulation, (a) Bassin de coagulation, (b) Agitateur.

II.2.5. Clarifloculateurs

D'une manière générale, la clarification-floculation est un procédé physico-chimique permettant l'élimination de particules en suspension de très petit diamètre (colloïdes) qui représentent les particules ayant un diamètre variant entre 10^{-8} m et 10^{-5} m.

Le clarificateur se caractérise par des charges hydrauliques lentes (vitesse ascensionnelle limitée, recommandée inférieure à 0,6 m/h) et par un retour rapide des boues décantées (faible temps de séjour). La station Kissir possède trois clarificateurs, chacun reçoit un débit de 1501 m³/H.

II.2.5.1. Flocculation

Chaque clarifloculateur comprend une zone de flocculation, située juste autour de la colonne centrale. Elle est équipée d'agitateurs qui tournent relativement lentement pour ne pas briser les flocons qui ont été formés dans le bassin de coagulation, et augmenter leurs tailles aussi bien que leur poids. Tout cela pour que les flocs soient aptes à se déposer en un temps moindre (30 min).

Mais ces agitateurs sont suffisamment rapides pour assurer le grossissement progressif des flocs et éviter la sédimentation en précoce (décantation).

L'ajout de flocculant provoque une accélération de l'agglomération des particules colloïdales. Le flocculant ajouté est un polymère, qui joue le rôle de colle entre les colloïdes flocons.

Tableau II. 3 : Caractéristiques du bassin de flocculation.

Hauteur libre	0,5 m
Diamètre	14 m
Temps de séjour	30 minutes
Volume de l'ouvrage	823 m ³
Surface	153 m ²
Profondeur de l'eau	5,35 m
Produit chimique injecté	Polymère

II.2.5.2. Clarification

L'eau flocculée passe dans la zone de clarification à travers les ouvertures inférieures du mur qui sépare les deux zones. Cette zone permet de prolonger le chemin d'écoulement d'eau et force la boue qui a été formée dans la zone de flocculation à se décanter. Le clarifloculateur

est équipé d'un dispositif de raclage de boue, afin d'assurer la circulation régulière de boue sans turbulence excessive, Celle-ci est transférée à travers la vanne télescopique qui permet une aspiration de boues par une différence de niveau, gravitairement vers le puisard. Celle-ci boue, puis au réservoir répartiteur des épaisseurs au moyen des pompes.

La figure suivant présente les zones de floculation et clarification.

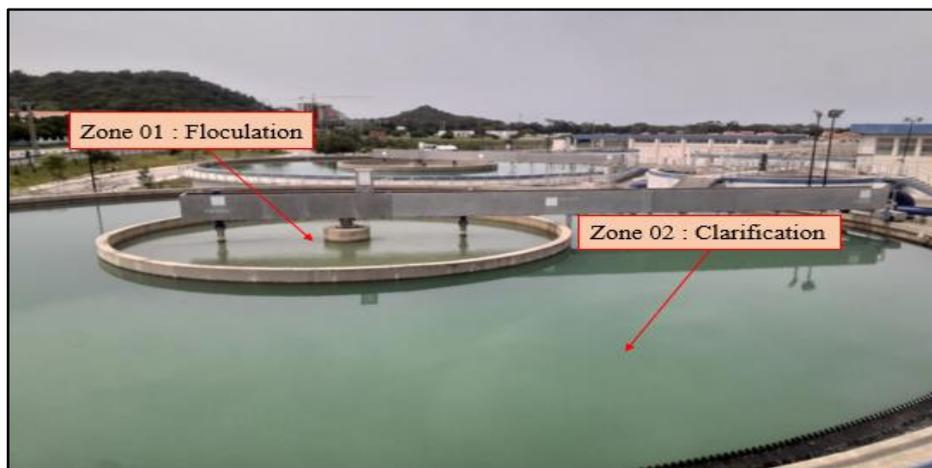


Figure II. 8 : Clarifloculateurs: Zones de floculation et de clarification.

Le tableau suivant regroupe les différentes caractéristiques du bassin de décantation.

Tableau II. 4 : Caractéristiques du bassin de décantation.

Surface	974 m ²
Diamètre	38 m
Hauteur libre	0,5 m
Profondeur de l'eau	4 m
Volume de l'ouvrage	4500 m ³
Temps de séjour	150 min
Pont racler	à traction périphérique puissance : 0,37 KW

II.2.6. Bâche tampon

L'eau clarifiée coule gravitaire dans des conduites DN 700 mm vers la bâche tampon dont l'avantage principal est de réduire les conduites d'interconnexions, et envoyer l'eau clarifiée aux filtres gravitaires par une seule conduite DN 1400 mm.

Tableau II.5 : Caractéristiques de la bâche tampon.

Diamètre	4,60 m
Profondeur de l'eau	4 m
Hauteur libre	1,0 m
Surface	16,6 m ²
Volume	83 m ³
Temps de séjour	5 min

La figure II.9 montre une photo de Bâche tampon



Figure II. 9 : Bâche tampon.

II.2.7. Filtre gravitaire

La filtration est une technique de séparation d'un mélange solide-liquide à travers un milieu poreux « filtre » qui retient les particules solides et laisse passer le liquide « filtrat ».

Dans la station, on utilise la technique de filtration sur lit granulaire, son fonctionnement consiste à laisser passer l'eau à filtrer à travers un lit filtrant constitué de matériaux granulaires, en retenant les matières en suspension dans les espaces intergranulaires. La hauteur du lit

granulaire est de 1000 mm. Répartie dans l'ordre ascendant comme suit : (Anthracite, Sable, Gravillon). Sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau II. 6 : Constitution du lit granulaire.

Matière	Epaisseur (cm)	Granulométrie (mm)
Anthracite	20	0,5 - 2
Sable	50	0,8 – 1,2
Gravillon	10	3 - 6
	10	6 - 9
	10	9 – 12

La station de Kissir dispose de 8 filtres rassemblés dans une seule construction. Les caractéristiques de chaque filtre sont regroupées dans le tableau suivant.

Tableau II. 7 : Caractéristiques du filtre gravitaire.

Quantité	8 (7 service / 1 lavage)
Quantité de cellule	1 cellule/filtre
Vitesse de filtration	5,3 m ³ /m ² .h
Surface par cellule	119 m ²
Largeur	9 m
Longueur 1	13 m

Le principe de fonctionnement du filtre consiste à l'écoulement à niveau variable. L'eau arrive aux filtres gravitaires à travers des conduites DN 500 mm branchées sur la conduite principale provenant de la bêche tampon. Elle coule ensuite dans des canaux qui déversent uniformément aux cellules de filtration, ce qui permet de chasser les impuretés contenues dans l'eau, et collecter par le fond. L'eau filtrée est stockée dans le réservoir de stockage d'eau de lavage, situé en dessous des filtres, qui a une capacité totale de 833 m³, celui-ci assure la disponibilité de l'eau de lavage des filtres.

Chaque filtre est équipé de :

- Vanne d'entrée ;

- Vanne de sortie et débitmètre électromagnétique ;
- Vanne d'entrée d'eau de lavage ;
- Deux vannes d'entrée d'air ;
- Vanne de sortie d'eau de lavage ;
- Vanne de sortie d'eau de rinçage ;
- Transmetteur de niveau à ultrason.

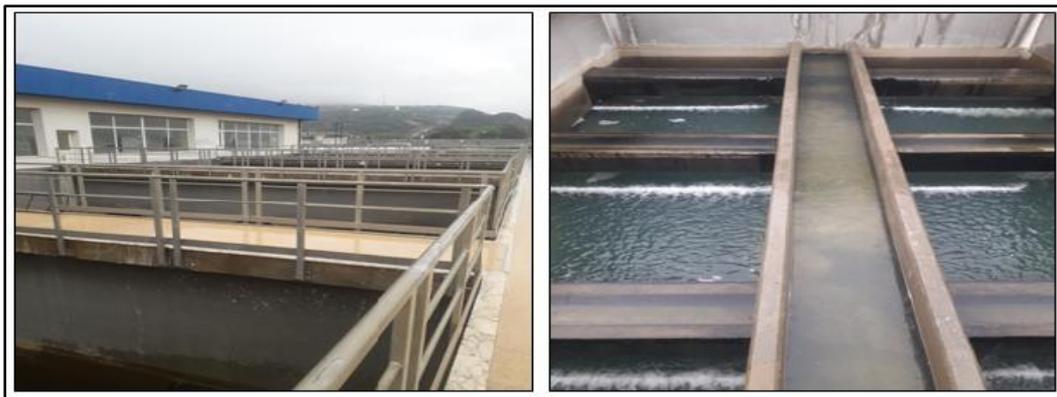


Figure II. 10 : Filtre gravitaire.

II.2.8. Lavage des filtres

L'eau filtrée est stockée dans le réservoir de stockage de l'eau de lavage qui a une capacité totale de 833 m³. Celui-ci assure la disponibilité de l'eau de lavage des filtres.

Le lavage d'un filtre se fait séparément à l'air (par injection d'air des soufflantes (2 service + 1 standby)) et par l'eau (par pompes de lavage (2 service + 1 standby)).

L'eau salée résultante du lavage des filtres coule gravitairement vers le réservoir de stockage d'eau sortie de lavage de capacité totale 3500 m³. La matière en suspension sera séparée du surnageant à l'aide du déversoir de 1m de hauteur. On envoie la boue de lavage au réservoir répartiteur des épaisseurs au moyen des pompes, et le surnageant au bassin de coagulation pour recyclage.

Les étapes de lavage des filtres sont les suivantes :

- Abaissement jusqu'à 20 cm du plan d'eau dans le filtre ;
- Injection de l'air pendant 5 mn à raison de 50 m³ par m² par heure ;
- Injection de l'eau et de l'air pendant 3 mn avec une seule pompe de lavage (1470 m³ par heure) ;
- Injection de l'eau seule pendant 7 mn avec un débit de 2940 m³ par heure ;
- Durée totale du lavage : 15 mn ;

- Rinçage : pendant 5 mn pour rétablir la couche filtrante ;
- Fréquence de lavage : une fois par jour ou bien tous les 15 000 m³d'eaux filtrées.

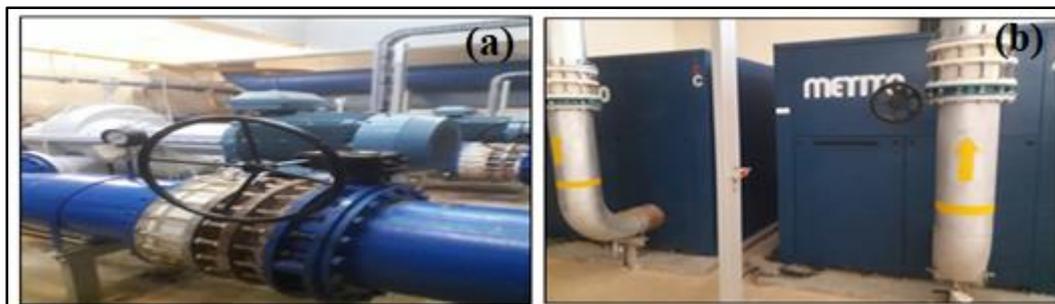


Figure II. 11 : Lavage des filtres, (a) : Pompe ; (b) : Souffleurs.

II.2.9. Chloration

L'usine de chloration est un système contrôlé par dépression constitué d'ensemble de pompes (pompe de pré chloration et pompes post-chloration) que refoulent l'eau à un éjecteur de chlore, où le gaz de chlore est mélangé avec l'eau, puis injecté par les diffuseurs.

La chloration est effectuée dans des systèmes séparés. Un pour la pré-chloration à l'entrée de la station, et un autre système pour la post-chloration (il sert à l'élimination des microbes résiduels lors de la pré-chloration). La Chloration se fait sur la conduite d'eau traité ($\Phi=1200$ mm) menant aux réservoirs de stockage (4 x 5000 m³).



Figure II. 12: Réservoirs de stockage.

La qualité d'eau traitée est contrôlée à la sortie par la mesure des quatre paramètres

- La turbidité : par un turbidimètre, elle doit être inférieure à 5 NTU ou 1 NTU ;
- La conductivité : par un conductimètre ;
- Le pH : par un pH-mètre, il doit être compris entre 6,5 et 8,3 ;
- La concentration du chlore : par une chlorométrie, elle doit être aux environs de 0,6 mg/L.

II.3. Contrôle physico-chimique et bactériologique des eaux

La station dispose d'un laboratoire physico-chimique. Son rôle est d'assurer des analyses et des essais chimiques d'échantillon d'eau pour le traitement de l'eau brute.

Le contrôle de qualité de l'eau se divise en deux étapes à savoir :

- Contrôle physico-chimiques ;
- Contrôle bactériologique.

II.3.1. Prélèvement des échantillons

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération à laquelle le plus grand soin doit être apporté, les conditions et aussi l'échantillon doit être homogène et représentatif.

II.3.1.1. Points de prélèvement

- Des prélèvements journaliers pour la détermination des paramètres physico-chimiques (T, conductivité, turbidité, pH) sont effectués sur 13 points dans les différents ouvrages de la station.
- Les prélèvements mensuels pour la détermination des paramètres physico-chimiques et bactériologiques (chaque semaine) sont réalisés pour les eaux brutes et traitées.

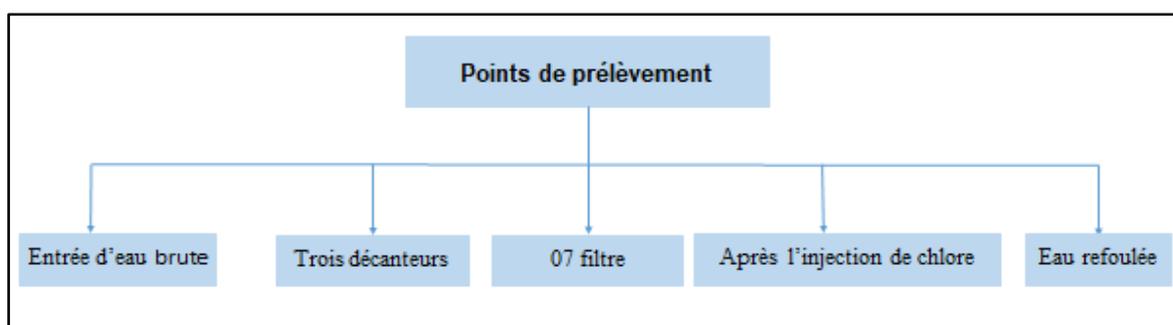


Figure II. 13 : Points de prélèvement.

II.3.1.2. Mode de prélèvement

Des échantillons sont prélevés à la surface de l'eau tout en évitant la pénétration d'air. Ils sont collectés dans des bouteilles en verre bien lavées. Puis refoulent constitue d'transportés du point de collecte au laboratoire dans une glacière à 4°C.

II.3.2. Contrôle physico-chimique

La station dispose d'un laboratoire physico-chimique, son rôle est d'assurer des analyses et des essais chimiques des échantillons d'eau.

II.3.2.1. Paramètres physiques

II.3.2.1.1. pH

La mesure de pH est effectuée par jour en utilisant la méthode électrique avec électrode en verre.

- Etalonner le pH mètre avec une solution tampon ;
- Rincer l'électrode avec l'eau distillée ;
- Immerger l'électrode dans l'échantillon ;
- Procéder à une agitation ;
- Faire la lecture après stabilisation du pH à une température de 20°C.

Les mesures sont exprimées en unités de pH.



Figure II. 14 : pH mètre.

II.3.2.1.2. Température

La température (°C) est déterminée sur les lieux de prélèvement à l'aide d'un thermomètre incorporé au pH mètre, étalonné chaque semaine.

II.3.2.1.3. Turbidité

La turbidité est mesurée à l'aide d'un turbidimètre de type HACH LANGE 2100AN IS. Une cuve UV visible propre et bien essuyée est remplie de l'échantillon à analyser.

Après, elle est placée dans le turbidimètre pour effectuer la mesure. Il est nécessaire de vérifier l'absence de bulle d'air dans la cuve. La mesure est obtenue directement en NTU.



Figure II. 15 : Turbidimètre.

II.3.2.1.4. Conductivité électrique

La conductivité électrique est déterminée par la mesure de la résistance électrique de la solution. Un voltage est appliqué entre deux électrodes plongées dans l'échantillon, et la chute du voltage due à la résistance de la solution est utilisée pour calculer la conductivité par centimètre.



Figure II. 16 : Conductimètre.

II.3.2.2. Paramètres chimiques

II.3.2.2.1. Dureté totale (TH)

Dureté totale par méthode titrimétrie à l'EDTA permet de doser rapidement les ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}), avec certaines précautions. Elle est appropriée à la plupart des types d'eaux.

La dureté totale détermine la concentration en Ca^{2+} et du Mg^{2+} dissous. Les alcalino-terreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe de type chélate par le sel di sodique de l'Acide Éthylène Diamine tétra acétique (EDTA).

- Placer 50 mL d'eau à analyser dans un erlenmeyer ;
- Ajouter 4 mL d'une solution Tampon et 3 gouttes d'une solution de noir ériochrome ;
- Titrer la solution de l'EDTA rapidement au début puis goutte à goutte jusqu'au virage de couleur au bleu ;
- Noter le V_{éq} ;

L'estimation du titre hydrométrique est faite par l'expression suivante :

$$\text{TH} = 1000 * [(C * V_1) / V_2] \quad (\text{II.1})$$

- TH : Titre hydrométrique en mg/L ;
- C : Concentration en milliequivalent par litre d'EDTA ;
- V₁: Volume ml de solution d'EDTA utilisé pour le titrage ;
- V₂ : Volume d'échantillon.

II.3.2.2.2. Chlorures (Cl⁻)

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent (AgNO₃) en présence de chromate de potassium (K₂CrO₄). La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent (Ag₂CrO₄).

- Placer 50 ml d'échantillon dans erlenmeyer ;
- Ajouter 2 gouttes de K₂CrO₄;
- Titrer la solution avec une solution d'AgNO₃ 0,02 N jusqu'à ce que la solution vire au jaune rougeâtre, indiquant la fin de titrage.

L'estimation des chlorures (Cl⁻) est faite par l'expression suivante :

$$[\text{Cl}^-] = (\text{N}_{\text{AgNO}_3} * \text{V}_{\text{AgNO}_3} * \text{M}_{\text{Cl}} * 1000) / 100 \quad (\text{II.2})$$

- [Cl⁻] = Chlorure en mg/L ;
- V_{AgNO₃}: Volume en mL d'AgNO₃ utilisé pour le titrage ;
- N_{AgNO₃} : Concentration d'AgNO₃ en meq/L ;
- M_{Cl} : Masse molaire de Cl⁻ ;
- 100 : Eau à analyser en mL.

II.3.2.2.3. Titre alcalimétrique (TA)

Cette détermination est basée sur la neutralisation d'un volume d'eau par un acide chlorhydrique (HCl), dilué en présence de la phénophtaléine. Le but est de mesurer la teneur en hydroxyde libre et en carbonate CO_3^{2-} .

- Placer 100 mL l'eau à analyser dans un erlenmeyer ;
- Ajouter 3 gouttes de phénophtaléine à 0,5 % de couleur rose ;
- Titrer avec d'une solution l'HCl jusqu'à disparition de la couleur.

Le calcul du Titre Alcalimétrique est basé sur l'expression suivante :

$$\text{TA} = (\text{N}_{\text{HCl}} * \text{V}_{\text{HCl}} * 1000) / 100 \quad (\text{II. 3})$$

- TA : Titre Alcalimétrique en meq/L ;
- V_{HCl} : Volume en mL de la solution d'HCl;
- N_{HCl} : Concentration en meq /L d'HCl.

II.3.2.2.4. Titre Alcalimétrique Complet (TAC)

Cette détermination est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral (HCl), dilué en présence de méthyle orange. Le but est de déterminer la teneur en hydrogénocarbonates dans l'eau.

- Placer 100 mL d'eau à analyser dans un erlenmeyer ;
- Ajouter 3 gouttes de méthyle d'orange à 1% ;
- Titrer avec de solution de HCl jusqu'au virage de couleur au jaune orange.

La détermination du titre Alcalimétrique complet est faite par l'expression suivante :

$$\text{TAC} = (\text{N}_{\text{HCl}} * \text{V}_{\text{HCl}} * 1000) / 100 \quad (\text{II. 4})$$

- TAC : Titre Alcalimétrique en meq ;
- V_{HCl} : Volume en mL de la solution d'HCl utilisé pour le titrage ;
- N_{HCl} : Concentration en meq/L d'HCl.

II.3.2.3. Paramètres de pollution

II.3.2.3.1. Ammonium (NH_4^+)

L'ammonium est dosé par la méthode au bleu d'indophénol en milieu alcalin et en présence de nitroprussiate qui agit comme un catalyseur. Les ions ammonium traités par une

solution de chlore et de phénol donnent du bleu d'indophénol, susceptible d'un dosage par spectrophotométrie d'absorption moléculaire [27]. Les résultats de la teneur en ion ammonium sont exprimés en mg/L de NH_4^+ .

II.3.2.3.2. Phosphates (PO_4^{3-})

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

Pour le dosage des orthophosphates, nous avons suivi la méthode de Rodier par spectrophotométrie d'absorption moléculaire [28].

II.3.2.3.3. Nitrites (NO_2^-)

Les nitrites dans l'échantillon réagissent avec l'acide sulfanilique ($\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_3\text{S}$) pour former un sel de diazonium ($\text{C}_6\text{H}_5\text{ClN}_2$) qui réagit avec l'acide chromotrope ($\text{C}_{10}\text{H}_8\text{O}_8\text{S}_2$) pour produire un complexe coloré rose dont la coloration est proportionnelle à la quantité de nitrites présents. 1 mL de réactif mixité est rajouté à 50 mL d'eau (échantillon) et laisser 20 min. Une couleur rose est apparait indiquant la présence de NO_2^- . 10 mL de la solution précédente est analysée par spectrophotomètre U.V visible DR 2800 à 543 nm [29].

Les NO_2^- sont dosées suivant la norme **ISO N° 6878**.



Figure II. 17 : Spectrophotomètre U.V visible DR 2800.

II.3.2.3.4. Nitrates (NO_3^-)

Les NO_3^- présentes dans l'échantillon réagissent avec l'acide Chromotropique ($\text{C}_{10}\text{H}_8\text{O}_8\text{S}_2$) en milieu fortement acide pour former un produit de couleur jaune avec un maximum d'absorbance à 415 nm.

Le taux des NO_3^- est déterminé selon la méthode au réactif de Zambelli par spectrophotométrie d'absorption moléculaire selon Rodier [28].

II.3.3. Contrôle bactériologique

Les analyses bactériologiques sont effectuées au niveau du laboratoire de la station à savoir la recherche des germes suivants. L'échantillon doit toujours être prélevé dans des récipients stériles.

II.3.3.1. Microorganismes revivifiables à 22 °C et à 37 °C

Cette méthode de recherche et de dénombrement des microorganismes est basée sur le comptage des colonies à 22°C et à 37°C.

- Porter aseptiquement 1 mL d'eau (échantillon) en double dans deux boîtes de Pétri vides, numérotées et préparées à cet usage. Compléter ensuite avec environ 19 mL de gélose T.G.E.A (Tryptone Glucose Extract Agar) fondue puis refroidie à $45 \pm 2^\circ\text{C}$. Le temps qui s'écoule entre le moment où l'on a distribué l'inoculum dans la boîte et celui où le milieu est coulé ne doit pas excéder 15 minutes ;
- Faire ensuite des mouvements circulaires et de va-et-vient en forme de « 8 » pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose, sur une surface fraîche et horizontale ;
- Laisser solidifier les boîtes sur pailleasse, puis ajouter une deuxième couche d'environ 5 mL de la même gélose ou de gélose blanche.

Les boîtes seront partagées en deux séries distinctes :

- La première série sera incubée à $22 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 68 ± 4 heures ;
- La seconde série à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 44 ± 4 heures.

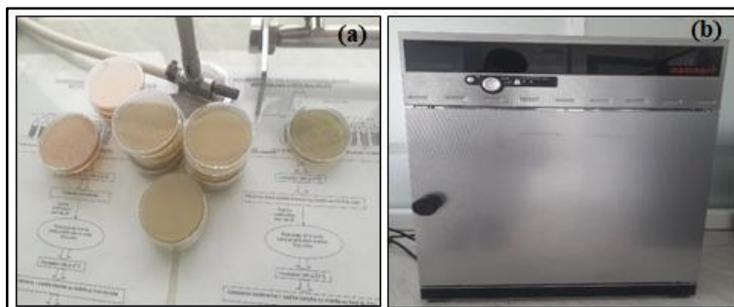


Figure II. 18 : Dénombrement des microorganismes, (a) : Boîtes de Pétri ; (b) : Etuve.

II.3.3.2. *Escherichia coli* et bactéries Coliformes

II.3.3.2.1. Méthode par filtration

Il s'agit d'une méthode de référence qui consiste en la recherche et le dénombrement des *Escherichia Coli* et des bactéries coliformes éventuellement présentent dans les eaux destinées à la consommation humaine. La méthode est basée sur comptage des colonies obtenues en milieu solide après 24 à 48 heures d'incubation en aérobiose à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ puis à $42 \pm 2^\circ\text{C}$.

Le **premier** test consiste à la recherche des **bactéries coliformes** par filtration sur membrane nécessite une préparation au préalable, qui se déroule selon les étapes suivantes:

- Tout d'abord, il faudrait stériliser l'entonnoir en acier inoxydable ainsi que la membrane poreuse à l'aide d'un bec bunsen ;
- Les refroidir tout de suite après, mettre en place de façon aseptique une membrane d'une porosité nominale de **0,45 μm** entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérile ;
- Fixer ce dispositif avec la pince correspondante ;
- Déposer ensuite aseptiquement 100 ou 250 mL d'eau à analyser ;
- Actionner ensuite la pompe à vide pour absorber l'eau à travers la membrane ;
- Retirer l'entonnoir puis transférer immédiatement et aseptiquement la membrane à l'aide d'une pince à bouts arrondis stérile, sur la surface d'une plaque de gélose TTC (Triphenyl Tetrazolium Chloride) préalablement préparée. Cette dernière est incubée couvercle en bas à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 21 ± 3 heures voire 44 ± 4 heures.



Figure II. 19 : Filtration sur membrane

Un deuxième test qui sert à la recherche sélective des *Escherichia coli* dit test rapide peut être effectué parallèlement à l'essai standard et dans les mêmes conditions. Il consiste à filtrer une seconde fois 100 à 250 mL d'eau à analyser, devant un bec bunsen à travers une seconde membrane qui sera placée dans un premier temps sur une plaque de gélose TSA (Tryptone Soy Agar) à la caséine à incuber couvercle en bas d'abord à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 4 à 5 heures puis transférer la membrane sur gélose TBA (Trypticaséine Base) enrichie en sels biliaires à incuber à $44 \pm 0,5^\circ\text{C}$ pendant 19 à 20 heures.

Chapitre III
Résultats et Discussion

L'objectif principal de ce chapitre est de discuter les résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux à l'entrée et à la sortie de la station de traitement de Kissir. La discussion sera basée sur la comparaison des résultats obtenus aux normes Algériennes (JORA, Mars 2011 ; JORA, Juin 2011) ou à l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

III.1. Résultats physico-chimiques

La large gamme de technologie dont la station de traitement dispose ainsi que le savoir-faire de son personnel dans le secteur de l'eau permet le traitement nécessaire de l'eau pour la rendre potable.

III.1.1. Paramètres physiques

III.1.1.1. pH

Le pH est un élément important pour définir le caractère agressif ou incrustant d'une eau. Il intervient dans les réactions avec le dioxyde de carbone et l'alcalinité. Les valeurs du pH de l'eau analysée durant la période d'avril et mai sont données dans le tableau III.1

Tableau III. 1 : Valeurs du pH en fonction du temps.

pH	26/04/2021	05/05/2021	17/05/2021	26/05/2021	Norme
Eau Brute	7,43	7,25	7,3	7,68	6,5 - 8,5
Eau Traitée	7,67	7,1	7,4	7,83	

Les valeurs du pH sont représentées graphiquement par le diagramme suivant :

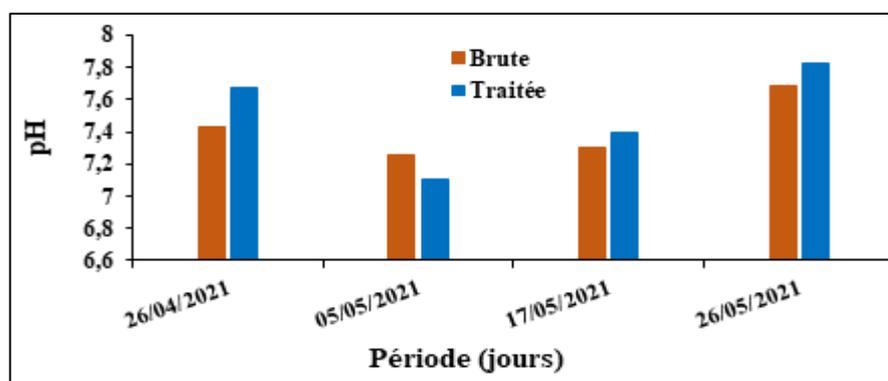
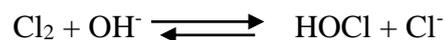
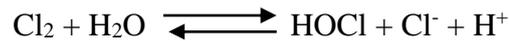


Figure III. 1 : Evolution du pH en fonction du temps.

La figure III.1 montre une légère baisse du pH de l'eau traitée par rapport à l'eau brute. Cette variation peut être expliquée par l'utilisation de différentes doses de coagulant lors du traitement qui consomme le TAC et réduisent ainsi le pH selon la réaction suivante :



Par ailleurs, la chloration peut également entraîner une diminution du pH, comme le montre la réaction suivante :



La figure III.1 montre que le pH de l'eau traitée varie entre 7,1 et 7,83. On constate ainsi que le pH des eaux du barrage de Kissir ont un pH voisin de la neutralité et répondent aux normes fixées par l'OMS qui sont de 6,5 et 8,5 en 2002 et les normes du journal algérien n° 18 23 de 2011 pour l'eau potable, qui sont comprises entre 6,5 et 9.

Un pH inférieur à 7 peut conduire à la corrosion du ciment ou des métaux des canalisations avec entraînement de plomb par exemple. Un pH élevé peut conduire à des dépôts incrustants dans les circuits de distribution.

L'eau du barrage ne nécessitant donc pas une neutralisation et un recours à la chaux ou à l'acide pour corriger le pH.

III.1.1.2. Température

Les températures expérimentales obtenues sont présentées dans le **tableau III.2**.

Tableau III. 2 : Valeurs de la température en fonction du temps.

Température (°C)	26/04/2021	05/05/2021	17/05/2021	26/05/2021	Norme
Eau Brute	13	13,3	13	14,2	≤ 25 °C
Eau traitée	13,2	13,5	13,4	14,5	

Les valeurs des températures sont montrées graphiquement par le diagramme suivant :

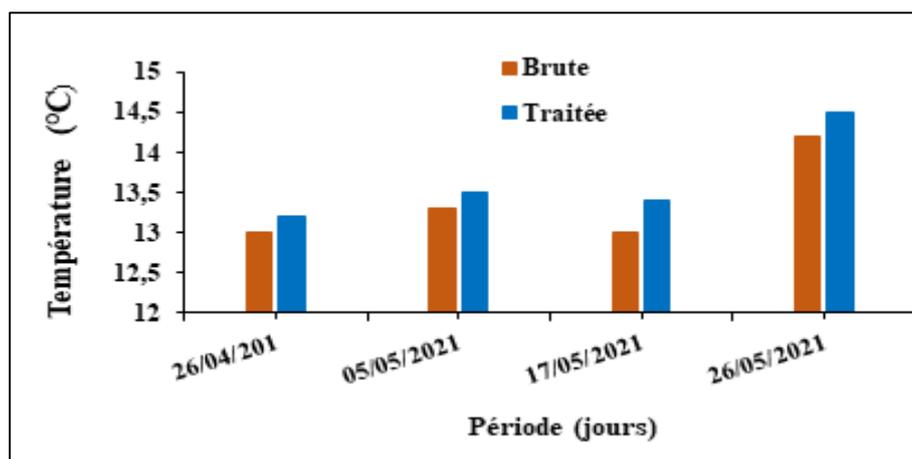


Figure III. 2 : Evolution de la température en fonction du temps.

Les températures enregistrées sont comprises entre 13 et 14,2°C pour l'eau brute et entre 13,2 et 14,5 °C pour l'eau traitée. Ces valeurs sont inférieures à la norme fixée par le Journal Algérien qui est de 25°C.

En rapport avec les normes de potabilité de l'eau fixées par l'OMS (1994), l'eau est excellente lorsque la température varie entre 20 et 22°C, passable lorsque la température oscille dans l'intervalle de 22 à 25°C et médiocre lorsqu'elle est comprise entre 25 et 30°C [30].

La température des échantillons d'eau de Kissir varie entre 13 et 14,5 (**Figure III.2**), la moyenne de ces valeurs est inférieure à 20°C. Ceci pourrait signifier comparativement à ces normes, que les eaux analysées ne sont pas excellentes mais plutôt bonnes.

III.1.1.3. Turbidité

Les valeurs de la turbidité de l'eau analysée sont données dans le **tableau III.3**

Tableau III. 3 : Valeurs de la turbidité en fonction du temps.

Turbidité(NTU)	26/04/2021	05/05/2021	17/05/2021	26/05/2021	Norme
Eau Brute	7,34	4,6	4,3	3,79	≤ 5 (NTU)
Eau traitée	0,57	0,6	0,6	0,96	

La figure III. 3 représente la variation de la turbidité des différentes eaux étudiées.

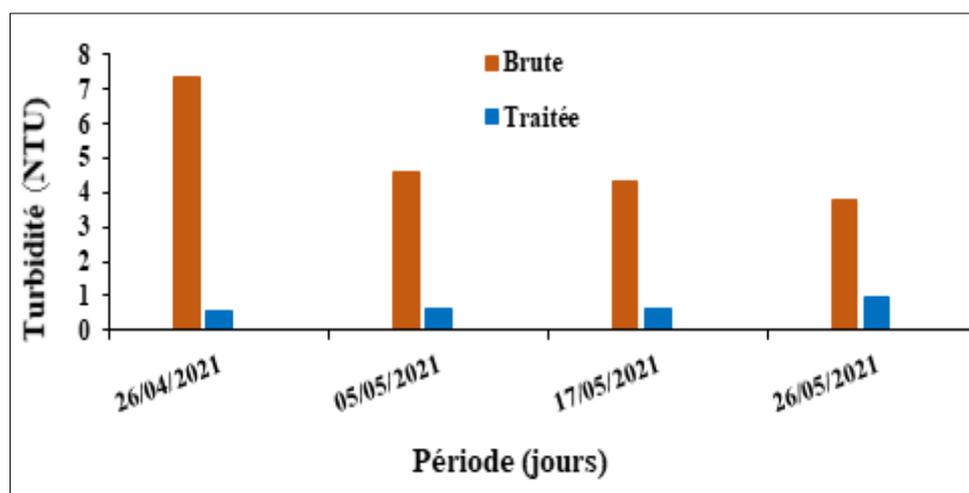


Figure III. 3: Evolution de la turbidité en fonction du temps.

D'après les résultats obtenus, la valeur varie entre 3,79 à 7,34 NTU avant le traitement. Après le traitement, les valeurs de la turbidité sont largement inférieures à la norme de potabilité, ce qui prouve l'efficacité du traitement de clarification.

A noter que la turbidité des eaux de barrage Kissir varie entre les saisons. Elles sont caractérisées par une faible turbidité pendant la période allant du mois d'Aout au mois de Novembre, et dépasse la norme durant la période hivernale et du printemps (période des précipitations).

III.1.1.4. Conductivité électrique

Les valeurs de la conductivité électrique des points d'eau dans la station sont regroupées dans le **tableau III.4**.

Tableau III. 4 : Valeurs de la conductivité électrique en fonction du temps.

Conductivité électrique ($\mu\text{s}/\text{Cm}$)	26/04/2021	05/05/2021	17/05/2021	26/05/2021	Norme
Eau Brute	217	209	218	225	200-2800 ($\mu\text{s}/\text{Cm}$)
Eau Traitee	224	224	225	230	

Les valeurs de la conductivité sont représentées graphiquement par le diagramme suivant :

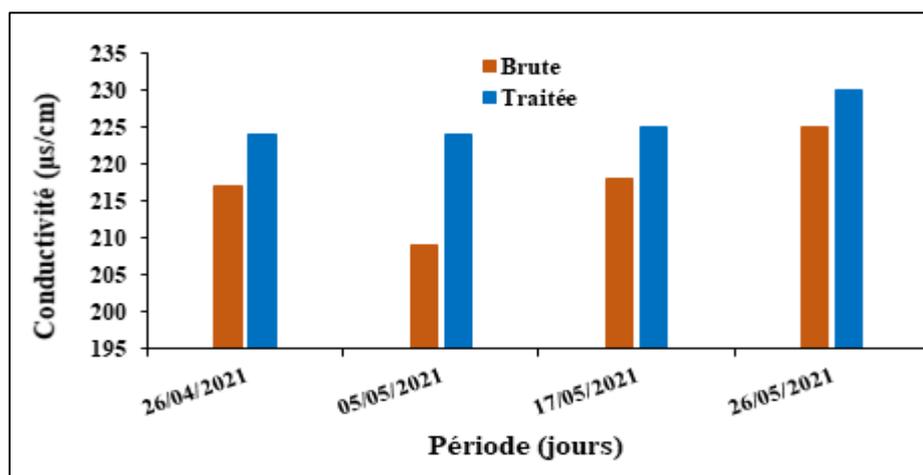


Figure III. 4: Evolution de la conductivité électrique en fonction du temps.

D'après les résultats obtenus, la conductivité de l'eau brute varie entre 209 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et 230 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Selon le tableau de la relation entre la conductivité et la minéralisation globale, on peut dire que la minéralisation de ces eaux est moyennement accentuée.

La conductivité de l'eau traitée augmente par rapport à l'eau brute cela s'explique par l'utilisation de sulfate d'alumine qui se dissocie en Al^{3+} et SO_4^{2-} . Ce sont également des ions chlorures, des ions Na^+ qui sont issus de l'hypochlorite de sodium utilisé pour l'oxydation. Ces ions augmentent la concentration des sels minéraux.

III.1.2. Paramètres chimiques

III.1.2.1. Chlorures

La concentration des chlorures dans l'eau dépend du terrain traversé. Les eaux trop riches en chlorures sont laxatives et corrosives [31]. Les valeurs du taux des chlorures sont regroupées dans le **tableau III.5**

Tableau III. 5: Valeurs du taux des chlorures en fonction du temps.

Chlorures (mg/L)	26/04/2021	Norme
Eau Brute	42,7	≤ 500 (mg/L)
Eau traitée	41,2	

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 de barrage, la teneur en chlorure est de l'ordre de 42,7 mg/L pour l'eau brute et de 41,2 mg/L pour l'eau traitée. De ce fait, et concernant ce paramètre ainsi discuté, la qualité de l'eau de barrage Kissir est excellente.

Il s'avère selon Rodier et al. (2009) que même dans le cas de quantités excessives dans l'eau potable qui peuvent atteindre 900 mg/L, les chlorures n'auraient pas d'effets néfastes sur la santé du consommateur car l'équilibre du chlorure se maintient, surtout par l'excrétion de l'excès de chlorures dans l'urine.

III.1.2.2. Dureté totale (TH)

La dureté de l'eau est un indicateur du niveau de calcaire dans l'eau notamment le calcium (Ca^{2+}) et le magnésium (Mg^{2+}). Elle dépend de la structure géologique des sols traversés.

Les normes locales (journal algérien 2011) exigent une concentration maximale admissible de 200 mg/L.

Tableau III. 6 : Valeurs de la dureté totale en fonction du temps.

Dureté totale (°F)	26/04/2021	26/05/2021	Norme
Eau Brute	11,40	/	20 (°F)
Eau traitée	11	11,5	

Le **tableau III.6** montre que l'eau du barrage est conforme aux normes dans la mesure où ce paramètre présente une concentration de 11,40 °F soit 114 mg/L de CaCO_3 pour l'eau brute et de 11 °F soit 110 mg/L de CaCO_3 pour l'eau traitée. Ces valeurs indiquent une eau mi-dure ou moyennement douce.

III.1.2.3. Titre alcalimétrique complet (TAC)

Les valeurs du TAC des points d'eau dans la station sont regroupées dans le **tableau III.7**

Tableau III. 7 : Valeurs du TAC en fonction du temps.

TAC (meq/L)	26/04/2021	26/05/2021	Norme
Eau Brute	/	/	-
Eau traitée	1,4	0,92	

D'après les analyses de l'eau traitée, la valeur de TH est supérieure à celle de TAC ($11 > 1,4$), ceci donne une eau hydrogène-carbonaté calcique [31]. Il n'existe pas de norme algérienne, ni internationale (OMS) concernant ce paramètre.

Le TAC ne doit pas être considéré seul, mais pris en compte dans un ensemble de paramètres (pH, TH, température....).

III.1.3. Paramètres de pollution

III.1.3.1. Ammonium (NH_4^+)

L'ammonium dans l'eau traduit habituellement un processus de dégradation incomplet de la matière organique. C'est donc un excellent indicateur de la pollution de l'eau par des rejets organiques d'origine agricole, domestique ou industriel. Si la concentration est supérieure à 0,5 mg/l il faut suspecter une pollution récente d'origine industrielle ou humaine [25].

Les valeurs de l'Ammonium des points d'eau dans la station sont regroupées dans le **tableau III.8**

Tableau III. 8 : Valeurs de l'Ammonium en fonction du temps.

Ammonium (mg/L)	26/04/2021	26/05/2021	Norme
Eau Brute	0,037	0,09	$\leq 0,5$ (mg/L)
Eau traitée	0,013	0,06	

Pendant la période d'étude, la concentration d'ammonium dans les eaux du barrage de Kissir à l'état brut varie entre 0,037 à 0,09 mg/L, après le traitement, elle diminue à 0,013 au mois d'avril et à 0,06 au mois de mai.

La concentration en azote ammoniacal que nous avons enregistré pourrait être due soit que la préoxydation est mal pratiquée, c'est-à-dire la quantité de chlore introduite est inférieure à la quantité qui sert à la destruction de l'azote ammoniacal. Ou bien, la concentration mesurée se trouve imbriquée dans les chloramines.

Notons que ces concentrations sont largement inférieures à la concentration maximale acceptable selon la norme Algérienne qui est de 0,5 mg/L.

III.1.3.2. Nitrites (NO_2^-)

Dans les eaux de surface leurs teneurs excèdent rarement 0,2 mg/l. Il est toutefois important de signaler que les eaux de contact avec certains terrains peuvent contenir des nitrites indépendants de toute souillure [32].

Les valeurs des concentrations des nitrites sont rassemblées dans le **tableau III. 9**.

Tableau III. 9 : Valeurs des nitrites en fonction du temps.

Nitrites (mg/L)	26/04/2021	26/05/2021	Norme
Eau Brute	/	0,03	$\leq 0,2$ (mg/L)
Eau traitée	0,043	0,046	

Les concentrations des nitrites varient entre 0,03 - 0,046 mg/L. Dans l'ensemble, on peut dire que les eaux du barrage Kissir ne sont pas dominées par un risque de pollution par les nitrites car en moyenne la teneur en nitrite reste conforme à la norme de potabilité.

Les concentrations élevées des nitrites sont associés aux eaux usées provenant des terres agricoles dans le bassin versant et les eaux usées des habitations.

III.1.3.3. Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote, et représentent la forme d'azote au degré d'oxydation le plus élevé présent dans l'eau. Leurs concentrations dans les eaux naturelles sont comprises entre 1 et 10 mg/L. D'après le Journal Algérien et les normes de l'OMS, il est recommandé pour les nitrates, une valeur de 50 mg/L dans une eau destinée à la consommation.

Les valeurs taux des nitrates sont regroupées comme suivant :

Tableau III. 10: Valeurs des nitrates en fonction du temps.

Nitrates (mg/L)	26/04/2021	26/05/2021	Norme
Eau Brute	/	0,89	≤ 50 (mg/L)
Eau traitée	1,32	1,09	

L'analyse des nitrates est effectuée une fois par mois, le résultat révèle une teneur de 0,89 mg/L pour l'eau brute et 1,09 mg/L pour l'eau traitée, ce qui classe l'eau dans les normes.

Dans l'ensemble, on peut dire que les eaux du barrage Kissir ne sont pas dominées par un risque de pollution par les nitrites car en moyenne la teneur en nitrite reste conforme à la norme de potabilité.

III.2. Résultats bactériologiques

Les analyses bactériologiques sont effectuées au niveau du laboratoire de microbiologie, et consiste à la recherches des germes totaux, coliformes totaux et fécaux.

Les résultats bactériologiques obtenus sont représentés sur le tableau suivant

Tableau III. 11 : Variation des paramètres bactériologiques.

Paramètres Bactériologiques	Avant traitement		Après traitement	Norme
	27/04/2021	21/05/2021		
Colif.Totaux	100/100 (mL)	74/100 (mL)	0	0
Colif.Fécaux	09/100 (mL)	11/100 (mL)	0	0
E.coli	(+)	(+)	0	0
Germes à 37 °C	17/01 (mL)	03/01 (mL)	0	0

III.2.1. Coliformes fécaux et Totaux

Après la période d'incubation spécifiée, des petites colonies lisses, légèrement bombées apparaissent à contours réguliers et pigmentées en jaune orangé ou en jaune (lactose positif) (**Figure III.5**) ce qui indique qu'il y a la présence des coliformes fécaux (*Escherichia coli*) et d'entérocoques dans l'eau du barrage (**Tableaux III.11**) (présence d'une contamination d'origine fécale, humaine ou animale).

- Toutes les colonies ayant une réaction négative à l'oxydase sont des bactéries coliformes.
- Toute les colonies ayant une réaction négative à l'oxydase mais positive à l'indole sont des *E-Coli*.

Après traitement, on constate la disparition des Coliformes fécaux, ce qui indique l'efficacité du traitement des eaux barrage.

Les coliformes fécaux dans la station sont conformes aux normes de l'OMS.

III.2.2. Germes Totaux à 37 °C

Les colonies de micro-organismes viables apparaissent collectivement sous des formes lenticulaires distinctes (**Figure III.5**). Ce qui explique la présence de Germes Totaux à 37 °C avant traitement.

Après traitement, nous remarquons une faible valeur des germes totaux à 37°C (0 mL), un témoin de l'efficacité du traitement et de l'intégrité du système de distribution (pas de stagnation de l'eau, entretien efficace).

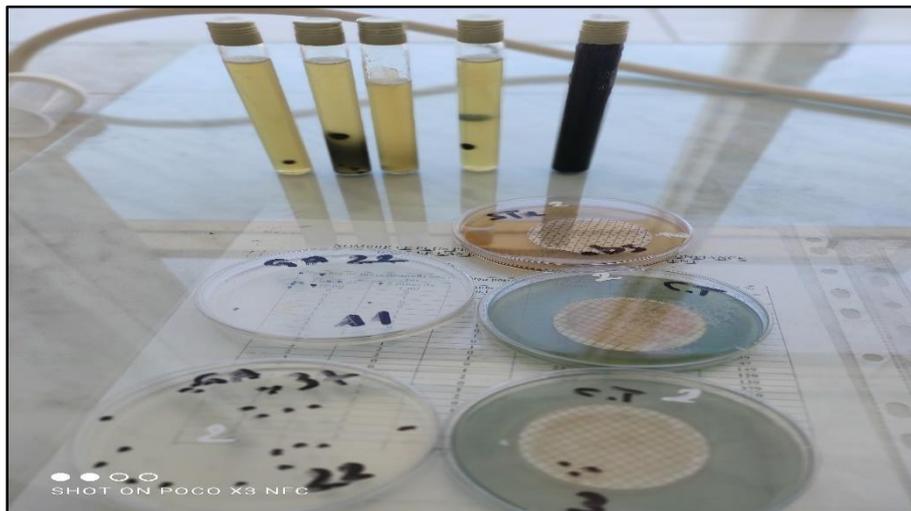


Figure III. 5 : Analyses bactériologiques.

Donc sur le plan bactériologique, les eaux de barrage Kissir sont de qualité moyenne. Il ne doit pas être consommé directement sans traitement car il contient ces bactéries.

Après le traitement d'eau de barrage, on a obtenu une eau exempte des germes recherchés, ceci s'explique par l'action directe du chlore sur les microorganismes.

Conclusion

Conclusion

Au cours de notre étude, nous nous sommes focalisés sur le contrôle de la qualité de l'eau brute et de l'eau traitée de la station Kissir, wilaya de Jijel, tout en suivant les étapes de la chaîne de traitement.

Les résultats de traitement physico-chimiques obtenus durant la période Avril-Mai ont montré une élimination très satisfaisante des matières de pollution. Les matières polluantes concernées par ce traitement sont NH_4^+ , PO_4^{3-} , NO_2^- et NO_3^- . Pour les paramètres bactériologiques (coliformes totaux et fécaux, E.coli, germes à 37 °C et à 22 °C) sont complètement absents dans les eaux traitées, c'est-à-dire un rendement d'élimination à 100%.

En conclusion, nous pouvons dire que la station de traitement de Kissir permet un bon traitement des eaux de surface obtenues du barrage Kissir, car les eaux distribuées par cette station, de point de vue qualité physico-chimiques et bactériologique, sont conformes aux normes Algérienne et de l'OMS pour la consommation humaine.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1]. **Reggam, Boucheleghem. H, Houhamdi. M**, Qualité Physico-Chimique des eaux de l'Oued Seybouse (Nord Est de l'Algérie): Caractérisation et Analyse en Composantes Principales (Physico-chemical quality of the waters of the Oued Seybouse (Northeastern Algeria): Characterization and Principal Component Analysis). Université 8 Mai 1945 de Guelma, Algérie. (2015).
- [2]. **Mohammedi. I, Mayou .O**, Evolution du transport solide et la qualité des eaux cas du bassin versant de l'oued Harraza. Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana, (2015).
- [3]. **Michard G**, Chimie des eaux naturelles. Principes de géochimie des eaux. Édition Publisud. 565p. (2002).
- [4]. **Mebarki A**, Hydrologie des bassins de l'Est Algérien : Ressources en eau, aménagement et environnement, Thèse de doctorat d'Etat, Université Mentouri de Constantine, Faculté des sciences de la terre, de la géographie et de l'aménagement du territoire, 360 p. (2005).
- [5]. **Mebarki A**, Bassin du Kebir Rhumel, Ressources en eaux et aménagement en Algérie, Thèse doctorat 3ème cycle, Université de Nancy II, 303p. (1982).
- [6]. **Ministère de développement durable, environnement et parc**, Critères de qualité de l'eau de surface. Quebec. Canada. 230p, (2012).
- [7]. **Jean Margat**, Les eaux souterraines dans le monde 188 pages, parution le 20/02/2009.
- [8]. (André, 2014).
- [9]. **Degremont**, Mémento technique de l'eau, Technique et documentation, tome 1, P : 5, 24,25. (1989).
- [10]. **Lacourly Guy**, Pollutions radioactives que faut-il en penser ? Section de Protection de l'Environnement au Commissariat à l'Énergie atomique Association EURATOM – CEA Centre d'Études nucléaires. Class. Oxford U 628 .55. (1971).
- [11]. <https://fr.oceancampus.eu/cours/7Mc/la-pollution-de-leau>
- [12]. **Belgheti M.L, Chahlaoui, Bengoumi D., EL Moustaine R**, Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la nappe plio quaternaire dans la région de MEKNES (Maroc) : larhyss journal ISSN 1112-3680 N°14, pp 21-36, (2013).
- [13]. **M.Tardat-Henry, J.P. beaudry**. Chimie des eaux, Ed. Le Griffon D'argile INC, Canada. , (1984).
- [14]. **Belgheti M.L, Chahlaoui A., Bengoumi D., EL Moustaine R**. Effet des conditions climatiques et anthropiques sur la variation de la qualité de certains puits en milieu rural, cas

de la nappe phréatique du plateau de MEKNES (MAROC) : Science Lib Editions Mersenne : vol 5 N° 131004 ISSN 2111-4706 du 04/10/(2013).

[15]. Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification HCEFLCD-MAROC. (2007).

[16]. www. Google. Fr- Traitement de l'eau CNRS- France consulté le 24/04/(2014).

[17]. **Joel. G**, Qualité de l'eau potable, technique et responsabilités, Paris, Novembre, (2003).

[18]. **Makhoukh .M**, Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya. Maroc, (2011).

[19]. **Hawa .S**, Analyse physico-chimique et bactériologique au L.N.S des eaux de consommation de la Ville de Bamako. Université de Bamako, (2001).

[20]. **Menad. K, Metadjer**, Traitement des eaux saumâtre par l'osmose inverse cas de l'eau de Khemis Miliana .Université Khemis Miliana, (2012).

[21]. **Graindorge, J et Landot, E**, Qualité de l'eau potable, techniques et responsabilités. Editions Techni-Cités, (2005).

[22]. **F. Nardi**, Excès de Phosphore et de Matières organiques naturelles dans les eaux de retenues : diagnostic et remèdes. Thèse de Doctorat, Université d'Angers. (2009).

[23]. **A. Demdoun**, Etude hydrogéochimique et impact de la pollution sur les eaux de la région d'el Eulma, Thèse de Doctorat, Université Mentouri Constantine Algerie, 205p. (2010).

[24]. **W. Ayad**, Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la region d'El-Harrouch (wilaya de Skikda) .Thèse de Doctorat Université Bordj Badji Mokhtar – Annaba, (2017).

[25]. **Rejsek, F**, Analyse des eaux: Aspects réglementaires et techniques. Scéren (CRDP AQUITAINE). Coll. Biologie technique. Sciences et techniques de l'environnement. 360p. (2002).

[26]. **Barthe, C., J. Perron et J.M.R. Perron**, Guide d'interprétation des paramètres microbiologiques d'intérêt dans le domaine de l'eau potable. Document de travail (version préliminaire), ministère de l'Environnement du Québec, 155 p, (1998).

[27]. **Rodier J**, Analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8^{ème} Edition. Dunod, Paris. (2005).

[28]. **Rodier J**, Analyse de l'eau naturelle et des eaux résiduaires et eaux de mers. 8^{ème} édition DUNOD. Paris. 1578p, (2008).

[29]. **Kassim Coulibaly**, Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odontostomatologie. 69 p, (2005).

[30]. M. Kahoul et al, / Journal Larhyss, 18 169-178. 170. (2014).

[31]. Belghiti et al, Etude de la qualité physico -chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quaternaire dans la région de Meknès (Maroc). Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°14, Juin 2013, pp. 21-36 © 2013 Tous droits réservés, (2013).

[32]. Rondeau B, Qualité de l'eau du secteur fluvial – La contamination par les toxiques –2^{ème} édition. Environnement Canada – Région du Québec et ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. Fiche d'information de la collection « Suivi de l'état du Saint-Laurent », Saint-Laurent Vision 2000, ISBN 0-662-88163-X, En4-20/2002F, (2005).

