REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université 20 Août 1955 Skikda

Faculté des Sciences

Département des Sciences Agronomiques

Filière : Sciences Agronomiques

Option : Aménagement Hydro-Agricole

Mémoire de fin d'études :

En vue de l'obtention du diplôme de Master II en Sciences Agronomiques

Thème

Suivi et Contrôle de la Qualité des Eaux au Niveau de la Nouvelle Station de Traitement d'Eau Potable de la Ville de Skikda : Evaluation et Optimisation du Procédé de Coagulation-Floculation en Comparison avec l'Ancienne Station

Présenté par :

- **Laib Manel**
- **Remita Hasna**
- **Boudellioua Ines**
- **Ouelbani Ouiam**

Membres de Jury :

Dr. : **Chekroud Hassina**	(MCA)	**Présidente**	Université du 20 Août 1955- Skikda
Dr. : **Daif Noureddine**	(MAB)	**Examinateur**	Université du 20 Août 1955 - Skikda
Pr. : **Heddam Salim**	(Pr.)	**Promoteur**	Université du 20 Août 1955 - Skikda

Année universitaire : 2025-2026

Dédicaces

قال تعالى (فرحين بما آتاهم الله من فضله)
إلهى لا يطيب الليل إلا بشكرك ولا يطيب النهار إلا بطاعتك...
ولا تطيب اللحظات إلا بذكرك...ولا تطيب الآخرة إلا بعفوك ...ولا تطيب الجنة إلا برؤيتك لله جل جلاله
إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة ...ونصح الأمة ..إلى نبي الرحمة ونور العالمين سيدنا محمد صلى الله و سلم

لم تكن الرحلة قصيرة ولا ينبغي لها أن تكون لم يكن الحلم قريبا ولا الطريق كان محفوفا بالتسهيلات لكنني فعلتها ونلتها

إلى من كان الداعم الأول لتحقيق طموحاتي ،إلى النور الذي أضاء دربي ،إلى العزيز الذي حملت إسمه بكل فخر ،إلى معلمي الأول الرجل الذي سعى طول حياته لنكون الأفضل

أبي الغالي..

إلى من كانت ملجأي ويدي اليمنى في هذه المرحلة ،إلى من أبصرت بها طريق حياتي واعتزازي بذاتي ، إلى القلب الحنون، إلى من كانت دعواتها تحيطني تخرجي اليوم هو ثمرة صبرك وفخرك هو أعظم إنجازاتي

أمي الغالية....

إلى ضلعي الثابت و أمان أيامي
كنتم السند في التعب والفرح في النجاح وبوجودكم صار الطريق أسهل والحلم أقرب أهديكم تخرجي بكل حب وفخر

إخوتي و أختي

لا أنسى أبدا جدي و جدتي وطيبتهما و لا أنسى حنانهما في صغري وكبري و دعائهما الذي يرافقني في حياتي ،أجمل ذكرياتي كانت معكم يا قرة عيني

إلى **جدي الغالي** والراحة الباقية في قلبي **جدتي**

إلى **أساتذتي الأفاضل**

لكم كل التقدير والاحترام فأنتم زرعتم في حب التعلم وكنتم منارات أضاءت طريقي بالعلم و المعرفة لن أنسى فضلكم ما حييت وأسأل الله أن يجزيكم خير جزاء

إلى الدكتور **هدام سليم**

استادنا الفاضل لك منا كل الشكر والتقدير على ما قدمته لنا من دعم وتوجيهات التي ساهمت في إنجاز هذه المذكرة جعلك الله ممن قال عنهم "ورفعناه مكانا عليا "

وأخيرا

اسأل الله أن يجعل هذا التخرج بداية خير لي في حياتي و ان يرفقني لما فيه صلاح ديني ودنياي وأن يرقني القدرة علا رد الجميل لكل من كان له فضل علي

منال

بسم الله الرحمن الرحيم

والصلاة والسلام على اشرف المرسلين سيدنا محمد عليه افضل الصلاة والسلام .الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات الحمد لله الذي وفقنا لإتمام هدا العمل

هدي ثمرة جهدي وتخرجي إلى أعز الناس على قلبي، إلى والديَّ الكريمين اللذين كانا سندي ودعمي طوال مسيرتي .الدراسية، حفظهما الله وأدامهما نعمة في حياتي

...إلى أمي الغالية

إليكِ يا من كنتِ النور الذي أضاء دربي، والسند الذي منحني القوة والعزيمة لمواصلة مسيرتي العلمية إلى من سهرت الليالي من أجلي، وتحملت المشاق بصبر ومحبة، وكان دعائها سر نجاحي وتوفيقي

أهدي ثمرة جهدي وتخرجي هذه إلى أغلى إنسانة في حياتي، أمي الحبيبة، عرفانًا بجميلها وتقديرًا لتضحياتها التي لا تُقدّر بثمن

اليك يا من كنتَ سندي وقوتي، يا من غرستَ في نفسي حبَّ العلم والاجتهاد، وقدّمتَ لي من التضحيات ما لا يمكن للكلمات أن توفيه حقَّه

أهدي هذا العمل المتواضع عربونَ شكرٍ وامتنانٍ لك، تقديرًا لجهودك وصبرك ودعمك المتواصل في جميع مراحل حياتي الدراسية

أبي الغالي

أسأل الله أن يحفظك ويديم عليك الصحة والعافية

الى **إخوتي وأخواتي** وكل أفراد عائلتي الذين شجعوني وساندوني

إلى **أساتذتي** الكرام الذين أناروا دربي بالعلم والمعرفة

إلى **أصدقائي وزملائي** الذين شاركوني لحظات الدراسة والتعب

وإلى كل من ساهم من قريب أو بعيد في إنجاز هذا العمل

الى استادي ومشرفي **هدام سليم** الذي ساعدنا في إنجاز هدا العمل

ايناس

بسم الله الرحمان الرحيم

والحمد لله الذي وفقني واعانني على اتمام هدا العمل المتواضع الصلاة والسلام على سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم

اتقدم بخالص الشكر والتقدير إلى **والدي العزيز**، الذي كان سندي الأول ومصدر دعمي وتشجيعي طوال مسيرتي الدراسية، فله مني كل الاحترام والعرفان

كما أتوجه بأسمى عبارات الشكر والامتنان إلى **والدتي الغالية**، التي أحاطتني بدعواتها الصادقة ورعايتها الدائمة، وكانت خير معين لي في جميع مراحل دراستي.

وأتقدم بالشكر إلى أختي العزيزة **أشواق** على دعمها ومساندتها وتشجيعها المستمر.

كما أشكر أخويّ الكريمين **رامي ومحمد الأمين** على وقوفهما إلى جانبي ومساندتهما لي طوال فترة إنجاز هذا العمل.

ولا يفوتني أن أتوجه بالشكر إلى زميلاتي وصديقاتي **منال، حسناء، وإيناس** على روح التعاون والتفاهم التي جمعتنا أثناء إعداد هذه المذكرة، وعلى كل الجهود المبذولة لإنجاز هذا العمل في أحسن صورة.

كما أتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى الأستاذ المشرف **هدام سليم** على توجيهاته القيمة ونصائحه العلمية ومتابعته المستمرة، والتي كان لها الأثر الكبير في إنجاز هذه المذكرة.

وفي الأخير، أتقدم بالشكر إلى كل من ساهم من قريب أو بعيد في إنجاز هذا العمل، راجيةً أن يكون ثمرةً نافعةً ومفيدة. كما أهدي هذا العمل المتواضع لكل من دعمني ووقف إلى جانبي، سائلة الله أن يجعله عملًا خالصًا لوجه الكريم

وئام

بسم الله الرحمان الرحيم وبه أستعين و الصلاة و السلام على أشرف المرسلين محمد صلى الله عليه و سلم

إلى من كانت دعواتهم سلاحي، وصبرهم زادي، وحبهم طريقي

إلى **أمي الحبيبة**، نبض قلبي ومهجة روحي،يا من احتضنت تعبي وسهرتِ على راحتي، يا من علمتني أن بعد العسر يسراً، وأن بالدعاء تتحقق المعجزات،
هذا الجهد قطرة من بحر عطائك، ونجاحي ثمرة غرسك الطيب
لولا صبركِ وحنانكِ ودعواتكِ في ظهر الغيب، لما وصلت
فلكِ مني كل الوفاء والحب، وجزاكِ الله عني خير الجزاء
أدامكِ الله تاجاً فوق رأسي، ورزقني برك ورضاك

إلى **إخوتي وأخواتي** ، شركاء العمر ورفاق الدرب،يا من شاركتموني الحلم وخففتم عني العبء بوقفتكم، أنتم السند بعد الله، والفرحة تكتمل بكم
بكم أعتز وأفتخر، ومعكم يحلو النجاح ويطيب
أسأل الله أن يديم بيننا المودة والأخوة، ويحقق لكم كل أمانيكم

إلى أساتذتي الأفاضل إلى **الدكتور هدام سليم** ، حملة مشاعل النور،
يا من أخلصتم في التعليم وبذلتم الجهد في التوجيه،كنتم لي نبراساً في ظلمات الجهل، ومصابيح هداية في طريق العلم علمتموني أن العلم أمانة، وأن الإتقان عبادة
جزاكم الله عني وعن طلابكم خير ما يجزي معلماً عن تلاميذه هذا النجاح
ثمرة تربيتكم وعطائكم قبل أن يكون جهدي

وإلى **روح أبي الغالي**، طيب الله ثراه وأسكنه فسيح جناته،
يا من غرست في قلبي حب العلم منذ الصغر، وربيت فيَّ الإصرار والعزيمة، يا من رحلت جسداً وبقيت
ذكراً حياً في كل دعاء وسجدة
كنت أتمنى أن تشاركني فرحة قطف هذا الثمر، لكني على يقين أنك ترى وتفرح بي من عليائك هذا العمل صدقة جارية
لروحك الطاهرة، ووفاء لعهدك معي
رحمك الله يا أبي بقدر ما أعطيتني، ورفع درجتك في عليين، وجمعني بك في جنات النعيم

إلى **عمي** الذي كان بمثابة الأب حفظك الله و رعاك

إليكم جميعاً، يا أهلي وعزوتي ومعلميني و صديقاتي ، إلى جدتي،
أهدي ثمرة سنين من الجد والاجتهاد، عملًا متواضعاً عسى أن يكون عند حسن ظنكم، وعرفاناً مني بجميلكم الذي لا يُنسى فأنتم السبب بعد توفيق الله في وصولي، وأنتم فخري وسر سعادتي

وفي الختام، أقول
ما كان من توفيق فمن الله وحده، وما كان من خطأ أو تقصير فمن نفسي
اللهم اجعل هذا العمل خالصاً لوجهك الكريم، ونافعاً للناس، وصدقة جارية لكل من علمني حرفاً ودعا لي بظهر الغيب

{رَبِّ أَوْزِعْنِي أَنْ أَشْكُرَ نِعْمَتَكَ الَّتِي أَنْعَمْتَ عَلَيَّ وَعَلَى وَالِدَيَّ}

حسناء

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et notre sincère reconnaissance à notre encadreur, **Pr. Heddam Selim**, pour son accompagnement, sa disponibilité, ses précieux conseils ainsi que la qualité de son encadrement tout au long de la réalisation de ce mémoire. Ses orientations et ses remarques constructives ont largement contribué à l'aboutissement de ce travail.

Nous adressons également nos plus vifs remerciements aux **membres du jury de soutenance** qui nous font l'honneur d'examiner et d'évaluer ce mémoire. Nous les remercions pour le temps consacré à la lecture de ce travail ainsi que pour leurs observations, leurs critiques et leurs recommandations qui contribueront à l'amélioration de nos connaissances.

Nos sincères remerciements s'adressent également à l'ensemble des enseignants, du personnel administratif et technique du **Département des Sciences Agronomiques**, pour la qualité de la formation reçue, leur disponibilité et les connaissances qu'ils nous ont transmises tout au long de notre parcours universitaire.

Nous exprimons notre profonde reconnaissance à nos **familles**, pour leur soutien moral, leurs encouragements constants, leur patience et leur confiance, qui ont constitué une source de motivation tout au long de nos études.

Enfin, nous remercions chaleureusement toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail et nous ont apporté leur aide, leurs conseils ou leur soutien.

À toutes ces personnes, nous adressons nos sincères remerciements et notre profonde gratitude.

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم ومراقبة جودة المياه الصالحة للشرب بمحطة المعالجة الجديدة حمادي كرومة بولاية سكيكدة، من خلال دراسة مختلف مراحل المعالجة والتحقق من مدى فعاليتها في تحسين نوعية المياه وضمان مطابقتها للمعايير الصحية المعتمدة، كما تهدف إلى تقييم كفاءة عمليات التخثير والتلبيد في إزالة العكارة والمواد العالقة ودراسة تأثيرها على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمياه المنتجة. اعتمدت الدراسة على إجراء مجموعة من التحاليل الفيزيائية والكيميائية للمياه الخام والمياه المعالجة شملت قياس درجة الحموضة ودرجة الحرارة والتوصيلية الكهربائية والعكارة والمواد العالقة بالإضافة إلى متابعة بعض المؤشرات الأساسية المستعملة في مراقبة جودة مياه الشرب، كما تم إنجاز اختبارات التخثير والتلبيد باستعمال جهازالجار لتحديد الجرعة المثلى للمخثر وتحسين مردودية المعالجة. أظهرت النتائج المتحصل عليها تحسنًا ملحوظًا في جودة المياه بعد مختلف مراحل المعالجة حيث سجلت قيم العكارة انخفاضًا كبيرًا كما بينت التحاليل أن معظم المؤشرات المدروسة تقع ضمن الحدود المسموح بها وفق المعايير الوطنية والدولية الخاصة بمياه الشرب،، وقد أثبتت اختبارات الجار فعالية عمليتي التخثير والتلبيد في إزالة المواد العالقة وتحسين صفاء المياه مما ساهم في رفع كفاءة نظام المعالجة بالمحطة. وتؤكد نتائج هذه الدراسة أهمية المراقبة الدورية والتحاليل المنتظمة لمختلف مؤشرات الجودة باعتبارها وسيلة أساسية لضمان سلامة المياه الموزعة وحماية الصحة العمومية كما تبرز ضرورة تحسين ظروف التشغيل والمتابعة المستمرة لمراحل المعالجة من أجل المحافظة على الأداء الجيد للمحطة وضمان توفير مياه صالحة للشرب ذات جودة عالية.

الكلمات المفتاحية: جودة المياه، المياه الصالحة للشرب، محطة حمادي كرومة سكيكدة ، معالجة المياه، التخثير، التلبيد، العكارة، المراقبة النوعية، التحاليل الفيزيائية والكيميائية، اختبار (Jar-Test).

Résumé

Cette étude vise à évaluer et à contrôler la qualité des eaux destinées à la consommation humaine au niveau de la nouvelle station de traitement de Hamadi Krouma (Skikda), à travers l'analyse des différentes étapes de traitement et la vérification de leur efficacité dans l'amélioration de la qualité de l'eau et sa conformité aux normes sanitaires en vigueur. Elle vise également à évaluer l'efficacité des procédés de coagulation et de floculation dans l'élimination de la turbidité et des matières en suspension ainsi qu'à étudier leur impact sur les caractéristiques physico-chimiques de l'eau produite. L'étude s'est basée sur la réalisation d'analyses physico-chimiques des eaux brutes et des eaux traitées, portant notamment sur la mesure du pH, de la température, de la conductivité électrique, de la turbidité et des matières en suspension, ainsi que sur le suivi de certains paramètres essentiels utilisés dans le contrôle de la qualité des eaux potables. Des essais de coagulation-floculation ont également été réalisés à l'aide du Jar-Test afin de déterminer la dose optimale du coagulant et d'améliorer le rendement du traitement. Les résultats obtenus ont montré une amélioration significative de la qualité de l'eau après les différentes étapes de traitement, avec une réduction importante de la turbidité. Les analyses ont révélé que la majorité des paramètres étudiés respectent les limites fixées par les normes nationales et internationales relatives à l'eau potable. Les essais de Jar-Test ont confirmé l'efficacité des procédés de coagulation et de floculation dans l'élimination des matières en suspension et l'amélioration de la clarification de l'eau, contribuant ainsi à l'augmentation de la performance du système de traitement. Les résultats de cette étude soulignent l'importance du contrôle périodique et des analyses régulières des paramètres de qualité en tant qu'outil essentiel pour garantir la sécurité sanitaire de l'eau distribuée et protéger la santé publique. Ils mettent également en évidence la nécessité d'une amélioration continue des conditions d'exploitation et d'un suivi permanent des différentes étapes du traitement afin d'assurer une production durable d'eau potable de haute qualité.

Mots-Clés :

Qualité de l'eau, Eau potable, Station de Hamadi Krouma Skikda, Traitement des eaux, Coagulation, Floculation, Jar-Test, Turbidité, Contrôle de qualité, Analyses physico-chimiques.

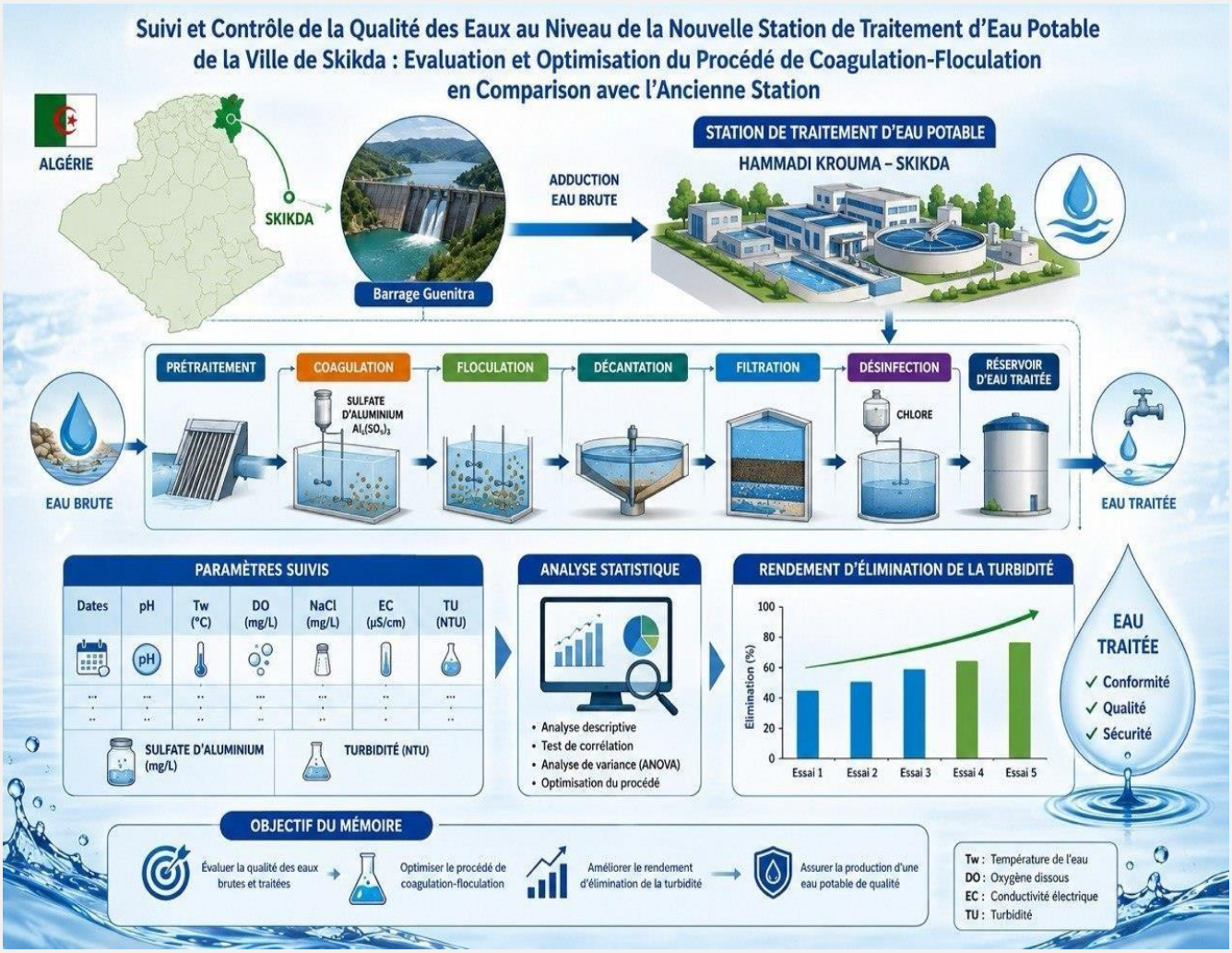
Abstract

This study aims to evaluate and monitor the quality of drinking water at the new Hamadi Krouma Water Treatment Plant in Skikda by examining the different treatment stages and assessing their effectiveness in improving water quality and ensuring compliance with health standards. It also aims to evaluate the efficiency of coagulation and flocculation processes in removing turbidity and suspended solids and to investigate their impact on the physicochemical characteristics of the treated water. The study was based on physicochemical analyses of raw and treated water, including measurements of pH, temperature, electrical conductivity, turbidity, and suspended solids, as well as the monitoring of key parameters used in drinking water quality control. Coagulation-flocculation tests were carried out using the Jar-Test apparatus to determine the optimal coagulant dose and improve treatment efficiency. The obtained results showed a significant improvement in water quality after the various treatment stages, particularly through a substantial reduction in turbidity. The analyses demonstrated that most of the studied parameters complied with national and international drinking water standards. Jar-Test experiments confirmed the effectiveness of coagulation and flocculation processes in removing suspended solids and improving water clarification, thereby enhancing the overall performance of the treatment system. The findings of this study highlight the importance of regular monitoring and continuous quality assessment as essential tools for ensuring the safety of distributed drinking water and protecting public health. They also emphasize the need for continuous improvement in operational conditions and permanent monitoring of treatment processes to ensure the sustainable production of high-quality drinking water.

Keywords:

Water Quality, Drinking Water, Hamadi Krouma Skikda, Treatment Plant, Water Treatment, Coagulation, Flocculation, Jar-Test, Turbidity, Quality Control, Physicochemical Analyses.

Graphical Abstract & Résumé Graphique



Liste des Figures

Chapitre I: Eau de Consommation Qualité et Quantité

Figure I.1. Aperçue générale sur les Eaux potables 04

Figure I.2. Aperçue générale sur les Eaux de consommation..... 05

Figure I.3. . Aperçue générale sur les Eaux souterraine..... 06.

Figure I.4. Aperçue générale sur les Eaux en provenance de dessalement des eaux de mer…..06

Figure I.5. Aperçue générale sur les Eaux de surface à consommation humain.....07

Figure I.6. Aperçue générale sur la pollution des eaux à consommation humain 08

.**Figure I.7.** Aperçue générale sur les différentes sources de pollution 08

Figure I.8. Aperçue générale sur les caractéristiques des eaux de consommation..... 09

Figure I.9. Comparison entre les normes Algériennes et OMS des Eaux de Consommation…15

Figure I.10. Les enjeux de la protection des eaux face à la pollution croissante. 15

Chapitre II : Présentation de la Station de Traitement des Eaux Skikda

Figure II.1. Localisation de station de traitement des eaux Skikda……..... ...18

Figure II.2. Description sommaire de la station de traitement des eaux Hammadi Krouma Skikda…….21

Figure II.3. Schéma général de la chaine de traitement des eaux Hammadi Kroum….....21

Figure II.4. Ouvrage de régulation de l'eau brute……22

Figure II.5. La cascade d'aération……23

Figure.II.6. Coagulation & Floculation…….. 24

Figure.II.7. La Coagulation & Floculation……..25

Figure II.8. Sulfate d'aluminium……..27

Figure II.9. Les polymers…….27

Figure II.10. Schématisation des trois séquences : Coagulation, Floculation Sédimentatio…...29

Figure II.11. Jar-Test……..31

Figure II.12. Décanteur lamellaire…… .32

Figure II.13. Filtre à sable……. …...33

Figure II.14. Filtration sur charbon actif…….....34

Figure II.15. Désinfection et correction du pH…….....35

Chapitre III : Suivi et Contrôle des Procédés de Traitement des eaux

Figure III.1. Turbidimètre…… ……37
Figure III.2. Conductimètre……38
Figure III.3. Oxymètre……..……40
Figure III.4. Type d'analyse et réactifs DPD……..……40
Figure III.5. Le potentiel hydrogène (pH)……...41
Figure III.6. Le pH-mètre…….. ..42
Figure III.7. Colorimétrie du calcium…….42
Figure III.8. Colorimètre……..43
Figure III.9. Analyse Ammonium……..44
Figure III.10. Analyse de phosphate et Spectrophotomètre……. …..45
Figure III.11. Mesure des Nitrites……46
Figure III.12. Mesure des Nitrate……. ….. 47

Chapitre IV : Résultats et Interprétations

Figure IV.1. Variation Temporelle des Paramètres de la Qualité des Eaux Brute……. ..53
Figure IV.2. Matrice de corrélation Eaux brute……...56
Figure IV.3. Interprétation des distributions statistiques des paramètres physico-chimiques de l'eau brute illustrées par les histogrammes, les Boxplot et les diagrammes en Violon……58
Figure IV.4. Variation Temporelle des Paramètres de la Qualité des Eaux Traité……...60
Figure IV.5. Matrice de corrélation Eaux traité……62
Figure IV.6. Interprétation des distributions statistiques des paramètres physico-chimiques de l'eau traité illustrées par les histogrammes, les Boxplot et les diagrammes en Violon……65

Liste des Tableaux

Chapitre I : Eau de Consommation Qualité et Quantité

Tableau I.1. Normes des eaux de consommations OMS et Algériennes…….16

Chapitre II : Présentation de la Station de Traitement des Eaux Skikda

Tableau II.1. Les caractéristiques générales de la station de traitement des eaux Skikda……19
.

Tableau II.2. Les bases de données de la station de Skikda…….....20

Chapitre IV : Résultats et Interprétations

Tableau IV.1. Résultats des analyses des Eaux Brute…….52

Tableau IV.2. Statistiques descriptives des Eaux Brute……...…53

Tableau IV.3. Résultats des analyses des Eaux Traité……59

Tableau IV.4. Statistiques descriptives des Eaux Brute……..61

Tableau IV.5. Rendement d'élimination de la turbidité……..66

Table des Matières

Introduction générale 01

Chapitre I : Eau de Consommation Qualité et Quantité..... 03

I.1. Introduction..... 04

I.2. Les eaux potables..... 04

I.2.1. Définition..... 04

I.2.2. Origine des Eaux de Consommation..... 05

I.2.2.1. Eaux souterraines..... 05

I.2.2.2. Eaux de mer..... 06

I.2.2.3. Eaux de surface..... 07

I.3. Pollution des eaux..... 07

I.3.1. Les principaux types de pollutions..... 08

I.3.1.1. Pollution physique..... 08

I.3.1.2. Pollution chimique..... 09

I.3.1.3. Pollution biologique de l'eau..... 09

I.4. Caractéristiques des Eaux de Consommation..... 09

I.4.1. Paramètres Physiques..... 09

I.4.1.1. La température..... 09

I .4.1.2. La conductivité électrique..... 10

I.4.2. Paramètres Organoleptiques..... 10

I.4.2.1. Couleur (Référence de qualité (« Eau potable..... 10

I.4.2.2. Odeur..... 10

I.4.2.3. Goût & Saveur..... 11

I.4.3. Paramètres Chimiques..... 11

I.4.3.1. Le pH..... 11

I.4.3.2. Les Nitrates (NO_3^-) et les Nitrites (NO..... 11

I.4.3.3. Le fer..... 11

I.4.3.4. Le Sodium..... 11

I.4.3.5. Les Sulfates (SO_4^{2-})..... 12

1.4.3.6. Le Calcium (Ca^{2+})..... 12

I.4.3.7. Les Chlorures (Cl^-)..... 12

I.4.3.8. Le potassium (K^+)..... 12

I.4.3.9. Les Phosphates..... 12

I.4.3.10. Les matières organiques 12
I.4.4. Les Paramètres Microbiologiqu..... 13
I.4.4.1. Les Coliformes Fécaux (CF..... 13
I.4.4.2. Les Streptocoques Fécaux (SF..... 13
I.4.4.3. Escherichia Coli (E. Coli 13
I.5. Normes des Eaux de Consommation..... 13
I.6. Conclusion..... 16
Chapitre II : Présentation de la Station de Traitement des Eaux Skikda……17
II.1. Introduction..... 18
II.2. Historique et Localisation de la station de Skikda..... 18
II.3. **Rôle et importance de la station de traitement de Hammadi Krouma 19**
II.4. Description de la chaine de traitement des eaux Hammadi Krouma..... 21
II.4.1. Ouvrage de régulation de l'eau brute..... 22
II.4.2. Cascade d'Aération..... 22
II.4.3. Coagulation & Floculation 23
II.4.3.1. Principe de fonctionnement de la Coagulation& Floculation 25
II.4.3.2. Réactifs utilisés..... 26
II.4.3.2.1. Sulfate d'aluminium ..... …26
II .4.3.2.2 . Chlorure Ferrique 27
II.4.3.2.3. Le polymère..... 27
II.4.3.3. Facteur Influençant la Coagulation& Floculation..... 28
II.4.3.4. Détermination de la Dose de Coagulant par Jar-Test..... 30
II.4.4. Décantation et Recirculation 31
II.4.5. Filtration sur Sable..... 32
II.4.6. Filtration sur charbon actif 33
II.4.7. Désinfection et correction du pH..... 34
II.5. Conclusion 35
Chapitre III : Suivi et Contrôle des Procédés de Traitement des eaux.....36
III.1. Introduction ..... 37.

III.2. Types d'Analyses 37

III.2.1. Analyses Physiques 37

III.2.1.1. La Turbidité 37

III.2.1.2. La Conductivité Electrique (EC 38

III.2.1.3. La Température (T 39

III.2.1.4. Le Titre Alcalimétrique Simple et Complet (TA et TAC) 39

III.2.1.5. L'oxygène Dissous ..... .39

III.2.1.6. Test de chlore résiduel et élimination des germes pathogènes 40

III.2.1.7. La Dureté Totale (THT) 40

III.2.2. Analyse Chimique 41

III.2.2.1. Le pH… 41

III.2.2.2. Le Calcium (Ca^{+2}) 42

III.2.2.3. Les Chlorures (Cl 43

III.2.2.4. Le colorimètre ..... 43.

III.2.2.5. L'Ammonium (NH_4^+) indicateur de pollution 43

III.2.2.6. Le Magnésium (Mg^{+2}) 45

III.2.2.7. Les Phosphates (PO_4^{-3}) indicateur de pollution 45

III.2.2.8. Les Sulfates (SO_4^{-2}) ..... .46

III.2.2.9. Nitrites 46

III.2.2.10. Nitrate 47

III.3. Conclusion 48

Chapitre IV : Résultats et Interprétations 49

IV.1. Introduction 50

IV.2. Statistiques Descriptives Eau Brute 50

IV.2.1. Analyse de la matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques de l'eau brute ….53

IV.2.1.1. Corrélations fortes 54

IV.2.1.2. Corrélations négatives fortes 54

IV.2.1.3. Corrélations modérées 55

IV.2.1.4. Corrélations Faibles 55

IV.2.1.5. Synthèse Environnementale 55

IV.2.2. Analyse exploratoire des données Physico-Chimiques de l'eau brute 57

IV.3. Statistiques Descriptives Eau Traité 59

IV.3.1. Analyse de la matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques de l'eau traitée……61

IV.3.1.1. Corrélations fortes Eau Traité 61

IV.3.1.2. Corrélations négatives fortes Eau Traité 62

IV.3.1.3. Corrélations modérées Eau Traité ..... .63

IV.3.1.4. Corrélations Faibles Eau Traité ..... .63

IV.3.1.5. Synthèse Environnementale 64

IV.3.2. Analyse exploratoire des données Physico-Chimiques de l'eau Traité..... ..64

IV. 4. Rendement d'élimination de la Turbidité 66

IV.5. Conclusion… 68

Conclusion Générale 69

Références Bibliographiques 71

Déclaration d'Utilisation de l'Intelligence Artificielle Générative

Dans le cadre de la préparation du présent mémoire de Master, les étudiants ont eu recours à l'outil d'intelligence artificielle générative ChatGPT (OpenAI) comme assistant numérique afin d'améliorer certains aspects de la rédaction, de la présentation et de la valorisation des résultats scientifiques, sous la responsabilité de l'enseignant encadreur. L'utilisation de cet outil est demeurée limitée à des tâches d'assistance et n'a en aucun cas remplacé le travail scientifique, l'analyse critique, l'interprétation des résultats ou les décisions académiques relevant des auteurs et de l'encadreur. Plus précisément, ChatGPT a été utilisé pour les tâches suivantes :

1. Les figures présentées dans le chapitre 4 ont été produites à l'aide de scripts Python développés et exécutés par les étudiants.
2. Les figures des chapitres 1, 2 et 3 ont été améliorées sur le plan graphique avec l'assistance de ChatGPT. Les versions originales de ces figures sont conservées et demeurent disponibles auprès des étudiants.
3. Les analyses statistiques présentées dans le chapitre 4 ont été réalisées à l'aide de scripts Python. ChatGPT a été utilisé pour assister les auteurs dans l'amélioration de la rédaction, de la présentation et de la discussion des résultats obtenus.
4. L'introduction générale, la conclusion générale ainsi que certaines parties rédactionnelles du mémoire ont fait l'objet d'une révision linguistique, d'une reformulation et d'une amélioration du style académique avec l'aide de ChatGPT.

Les auteurs déclarent avoir procédé à une vérification, une validation et une révision approfondies de l'ensemble des contenus produits ou améliorés à l'aide de l'intelligence artificielle. Ils assument l'entière responsabilité de l'exactitude, de la fiabilité, de l'originalité et de l'intégrité scientifique des informations présentées dans ce mémoire. L'utilisation de l'intelligence artificielle générative a ainsi constitué un outil d'assistance à la rédaction et à la présentation des résultats, sans se substituer à la réflexion scientifique, à l'analyse des données ni au jugement critique des auteurs.

Introduction Générale

Au terme de cette étude réalisée au niveau de la station de traitement des eaux de Hammadi Krouma Wilaya de Skikda, les résultats obtenus ont permis d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux brutes et des eaux traitées ainsi que les performances globales du procédé de traitement. Les analyses statistiques, les études de corrélation et les différentes approches d'exploration des données ont montré que les eaux brutes présentent une qualité globalement stable, à l'exception de la turbidité qui demeure le paramètre le plus variable sous l'effet des conditions hydrologiques et saisonnières. Après traitement, une nette amélioration de la qualité de l'eau a été observée, notamment à travers la réduction significative de la turbidité et la stabilisation des principaux paramètres physico-chimiques. Les rendements d'élimination de la turbidité, compris entre 89.54 % et 95,36 %, avec une moyenne supérieure à 92 %, témoignent de l'efficacité des différentes étapes de traitement mises en œuvre au sein de la station.

Les résultats obtenus soulignent toutefois l'importance stratégique de l'étape de coagulation-floculation, qui constitue le cœur du procédé de clarification. L'efficacité de cette étape dépend directement de la nature et de la qualité de l'eau brute ainsi que de la dose de coagulant appliquée. Une détermination plus rigoureuse et plus dynamique de la dose optimale de coagulant, basée sur des essais réguliers de Jar-Test et sur le suivi continu de la qualité de l'eau brute, permettrait d'améliorer davantage les performances du traitement tout en réduisant les coûts d'exploitation liés à la consommation de réactifs. Par ailleurs, les évolutions actuelles dans le domaine du traitement des eaux rendent nécessaire une modernisation progressive des systèmes de contrôle et de pilotage de la station. L'automatisation des procédés, associée à l'intégration de capteurs en ligne et de systèmes de supervision performants, permettrait un ajustement en temps réel des doses de réactifs et une meilleure réactivité face aux variations de la qualité de l'eau brute. Une telle approche contribuerait à améliorer la stabilité des performances de traitement, particulièrement lors des épisodes de forte turbidité observés en période hivernale.

Il apparaît également souhaitable d'élargir le programme de surveillance en augmentant le nombre de paramètres analysés. En complément des paramètres physico-chimiques étudiés, le suivi régulier de paramètres tels que le carbone organique total (COT), l'alcalinité, les matières organiques naturelles, les métaux traces, les sous-produits de désinfection et certains indicateurs

microbiologiques permettrait d'obtenir une vision plus complète de la qualité de l'eau et du fonctionnement des procédés.

De même, l'augmentation de la fréquence et du nombre d'échantillonnages au cours de l'année permettrait de mieux caractériser les variations saisonnières de la ressource et d'affiner les stratégies d'exploitation de la station. Le renforcement de l'instrumentation analytique et l'utilisation d'outils numériques d'aide à la décision constitueraient également des leviers importants pour améliorer les performances opérationnelles et la fiabilité du suivi. En perspective, le développement d'une gestion intelligente basée sur l'automatisation, l'instrumentation en continu, l'optimisation des doses de coagulants et l'analyse avancée des données représente une voie prometteuse pour améliorer davantage le rendement d'élimination des polluants, renforcer la sécurité sanitaire de l'eau produite et assurer une exploitation durable et performante de la station de traitement des eaux de Hammadi Krouma.

Chapitre I : Eau de Consommation Qualité et Quantité

I.1. Introduction

La mobilisation, la gestion, le contrôle et la distribution des eau potables destinés à la consommation humaine, occupent une place importante dans le développement des sociétés modernes, et elles représentent également une priorité majeure pour les autorités et les responsables chargés d'assurer la santé publique, le bien-être des populations et la sécurité de l'approvisionnement en eau (Pène et al. 2011). Les eaux potables se caractérisent par leur qualité et leur quantité, ces deux facteurs sont d'une importance majeure, s'accompagne et sont à contrôler simultanément. La quantité des eaux potable à mobiliser est généralement mesurer en mètre cubes (m^3) et elle est présenté en détail dans le plan national des eaux (PNE), tandis que la qualité des eaux, elle est contrôlée sur la base de plusieurs paramètres, physico-chimique et microbiologique. Dans le présent chapitre nous présentons brièvement quelques définitions et caractéristiques des eaux potables à consommation humain.

I.2. Les eaux potables

I.2.1. Définition

L'eau potable est une eau qui peut être consommée sans danger pour la santé humaine, car elle ne présente ni toxicité ni contamination par des parasites, des bactéries ou des virus pathogènes (Figure I.1). Elle doit également posséder des qualités organoleptiques satisfaisantes, c'est-à-dire être agréable au goût, exempte d'odeurs désagréables et suffisamment limpide. Ainsi, l'évaluation de sa qualité repose sur la mesure de plusieurs paramètres caractéristiques, qui sont ensuite comparés aux normes de potabilité en vigueur (Desjardins, 2010).



Figure I.1. Aperçue générale sur les Eaux potables

I.2.2. Origine des Eaux de Consommation

En général, les eaux destinées à la consommation humaine proviennent principalement des eaux souterraines, et à défaut, des eaux de surface. Dans certains cas particuliers, les eaux marines peuvent également être exploitées après un traitement de dessalement (Figure I.2).



Figure I.2. Aperçue générale sur les Eaux de consommation.

I.2.2.1. Eaux souterraines

Les eaux souterraines (Figure I.3) regroupent l'ensemble des réserves d'eau situées dans le sous-sol, constituant une ressource précieuse d'eau potable pour l'humanité. Elles sont stockées dans des formations appelées aquifères, composées de roches poreuses et/ou fissurées. L'eau s'accumule dans les vides de ces formations pour former des nappes, qui occupent totalement ou partiellement l'aquifère. Les sources et les eaux souterraines sont traditionnellement privilégiées pour l'alimentation en eau potable, car elles sont généralement mieux protégées contre les pollutions que les eaux de surface (Guergazi et Achour, 2005). D'une manière générale, les eaux souterraines se caractérisent par une faible turbidité, grâce à une filtration naturelle importante. Elles présentent également une faible contamination bactérienne, étant habituellement à l'abri des sources de pollution. En revanche, leur dureté est souvent élevée en raison du contact prolongé entre l'eau et les formations rocheuses des aquifères (Chelli et Djoudri, 2013). La majorité des eaux souterraines provient des précipitations (pluie ou neige). Lorsqu'elles ne sont pas perdues par évaporation, transpiration ou ruissellement, ces eaux s'infiltrent dans le sol. Toutefois, sur un sol sec, les eaux de précipitation sont difficilement retenues et forment un film à la surface ainsi que dans les micropores des particules du sol (Manahan, 2005).

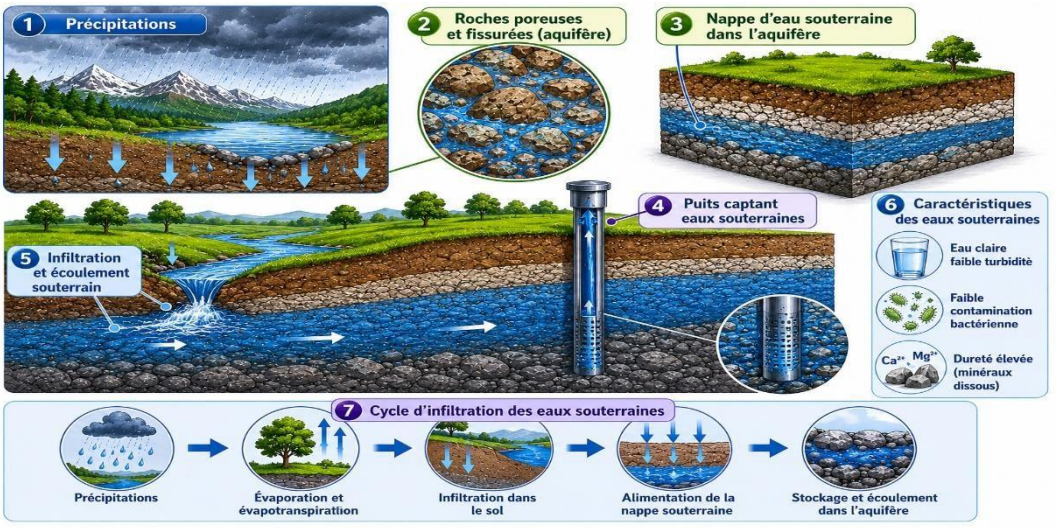


Figure I.3. Aperçue générale sur les Eaux souterraine.

I.2.2.2. Eaux de mer

Les eaux de mer constituent une ressource en eau brute utilisée uniquement en cas de manque d'eau douce (Figure I.4). Ces dernières années, l'Algérie s'est davantage tournée vers cette option en raison de la croissance démographique et de la diminution des ressources hydriques disponibles. Ces eaux se caractérisent par une salinité élevée, comprise entre 33 000 et 37 000 mg/L, ce qui les rend difficiles à exploiter. Leur utilisation nécessite des procédés de dessalement coûteux, ce qui limite leur recours malgré leur disponibilité abondante (Boeglin, 2009).



Figure I.4. Aperçue générale sur les Eaux en provenance de dessalement des eaux de mer.

I.2.2.3. Eaux de surface

Les eaux de surface (Figure I.5), également appelées eaux superficielles, regroupent, par opposition aux eaux souterraines, l'ensemble des masses d'eau courantes ou stagnantes, qu'elles soient douces, saumâtres ou salées, en contact direct avec l'atmosphère (Bordet, 2007). Ces eaux nécessitent un traitement en plusieurs étapes avant d'être utilisées pour la consommation humaine et les usages domestiques. Elles ne peuvent pas être consommées sans traitement préalable. Par ailleurs, pour alimenter les populations à partir des eaux de surface, il est essentiel de limiter les conditions favorisant l'érosion des sols, les situations non hygiéniques ainsi que les pollutions accidentelles et chroniques (Molinie, 2009).



Figure I.5. Aperçue générale sur les Eaux de surface à consommation humain.

I.3. Pollution des eaux

La pollution de l'eau (Figure I.6) correspond à une altération des caractéristiques physiques, chimiques ou biologiques des milieux aquatiques tels que les cours d'eau, les nappes souterraines et les mers. Cette dégradation rend l'eau impropre à la consommation et dangereuse pour la santé humaine ainsi que pour l'équilibre des écosystèmes. Elle est principalement due aux activités humaines, notamment les rejets industriels, l'utilisation de produits agricoles comme les pesticides et les engrais azotés, ainsi que les déchets domestiques et l'accumulation de substances polluantes dans les milieux aquatiques (AIDE 2026).

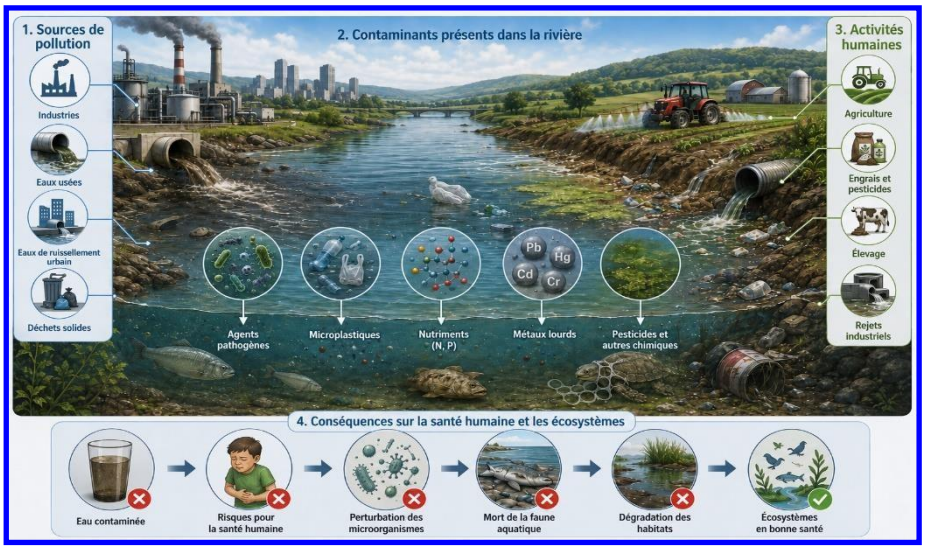


Figure I.6. Aperçue générale sur la pollution des eaux à consommation humain.

I.3.1. Les principaux types de pollutions

Il existe trois types de pollution (Figure I.7) :

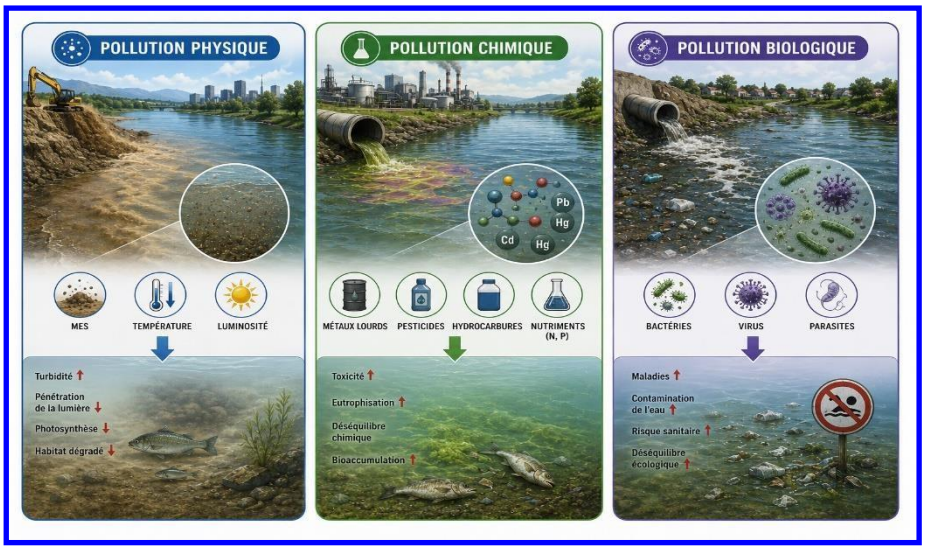


Figure I.7. Aperçue générale sur les différentes sources de pollution.

I.3.1.1. Pollution physique

Les polluants physiques correspondent aux particules solides transportées par l'eau. Ils comprennent différents types de matières classées selon leur taille et leurs caractéristiques, notamment les déchets grossiers, les particules sableuses ainsi que les matières en suspension (MES).

I.3.1.2. Pollution chimique

La pollution chimique de l'eau résulte de la présence de substances chimiques provenant de diverses sources naturelles ou anthropiques. Elle se divise généralement en deux catégories principales :

- Les composés minéraux ;
- Les composés organiques.

I.3.1.3. Pollution biologique de l'eau

L'eau peut également renfermer des organismes microscopiques tels que les bactéries, les virus, les parasites et d'autres agents pathogènes. Leur présence peut représenter un danger pour la santé humaine et limiter les différents usages de l'eau (Lounnas 2008)

I.4. Caractéristiques des Eaux de Consommation

La qualité physico-chimique de l'eau potable est déterminée par plusieurs paramètres essentiels, notamment la température, le pH, ainsi que la présence de minéraux et de substances dissoutes (Figure I.8). Ces facteurs jouent un rôle important dans l'évaluation de sa potabilité, en influençant à la fois son goût et son innocuité pour la santé humaine (Rodier 1997 ; OMS, 2017).

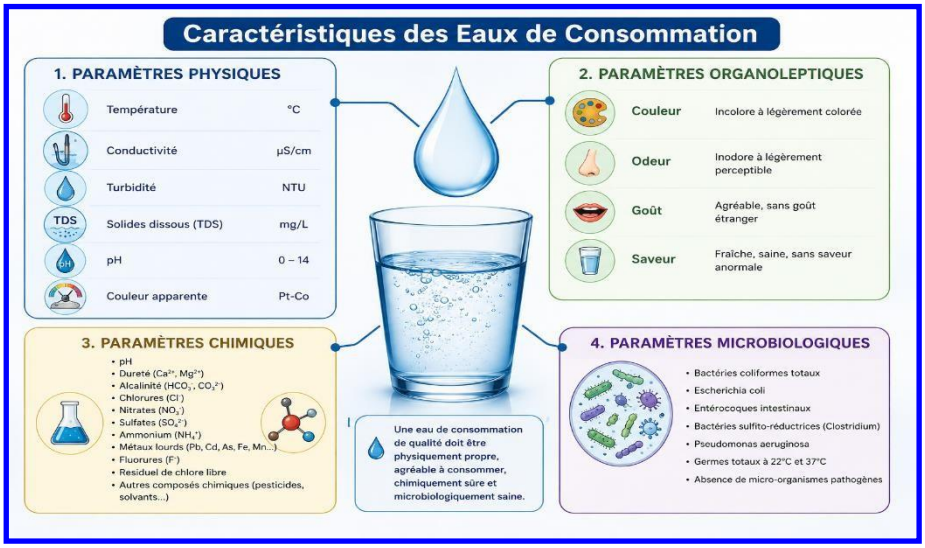


Figure I.8. Aperçue générale sur les caractéristiques des eaux de consommation.

I.4.1. Paramètres Physiques

I.4.1.1. La température

Joue un rôle déterminant dans la qualité de l'eau en influençant ses propriétés chimiques et biologiques. Une eau froide (≤15 °C) présente une meilleure capacité de

dissolution de l'oxygène, tandis qu'une eau plus chaude (>20 °C) favorise des phénomènes tels que l'acidification, la précipitation de certains minéraux comme le calcaire, ainsi que le développement des micro-organismes. En particulier, des bactéries pathogènes comme Escherichia coli et Legionella prolifèrent davantage dans une plage de température comprise entre 25°C et 45°C. Par ailleurs, l'augmentation de la température diminue l'efficacité des procédés de désinfection, notamment au chlore (Rodier 1997 ; Hamed et al., 2012).

I.4.1.2. La conductivité électrique

La conductivité électrique (CE) est un paramètre qui exprime la capacité d'une solution à conduire le courant électrique (Segbeaya, 2012). Elle constitue un indicateur fiable du degré de minéralisation de l'eau, puisque sa valeur dépend de la nature et de la concentration des ions dissous ainsi que de leur conductivité spécifique (Makhoukh et al., 2011). La conductivité électrique est généralement exprimée en microSiemens par centimètre (µS/cm) (Ben Kaddour, 2018).

I.4.2. Paramètres Organoleptiques

I.4.2.1. Couleur (Référence de qualité (« Eau potable »)

La coloration de l'eau est qualifiée de réelle (ou vraie) lorsqu'elle provient uniquement des substances dissoutes capables de traverser un filtre de porosité de 0,45 µm. En revanche, on parle de coloration apparente lorsque des matières en suspension contribuent également à la teinte de l'eau. Dans le cas des eaux claires ou faiblement turbides, la différence entre la coloration réelle et apparente reste généralement négligeable (Rodier 1997).

I.4.2.2. Odeur

L'eau destinée à la consommation humaine doit être sans odeur, car toute odeur perçue peut indiquer une contamination ou la présence de matières organiques en décomposition. Ces composés sont généralement présents en très faibles concentrations, souvent indétectables par les méthodes d'analyse classiques, ce qui rend l'odorat parfois indispensable pour les identifier. Concernant l'échantillonnage, les prélèvements doivent être effectués dans des récipients en verre parfaitement hermétiques, en évitant l'utilisation de contenants en plastique. L'analyse doit être réalisée dans les plus brefs délais après le prélèvement. Toutefois, si nécessaire, l'échantillon peut être conservé à une température d'environ 4 °C (±2 °C), à condition d'éviter toute contamination par des odeurs externes. La durée de conservation ne doit pas dépasser 72 heures (Rodier 1997).

I.4.2.3. Goût & Saveur

Le goût est une propriété organoleptique mesurable correspondant à la réponse des récepteurs gustatifs situés sur la langue lors du contact avec des substances dissoutes dans l'eau ou les aliments. Il résulte d'une interaction chimique entre les composés solubles et les bourgeons gustatifs, transformée ensuite en signaux nerveux transmis au cerveau pour être interprétés comme une perception gustative spécifique. En analyse de la qualité des eaux, le goût constitue un paramètre important permettant d'évaluer les altérations éventuelles liées à la présence de polluants organiques ou chimiques, et donc l'aptitude de l'eau à la consommation humaine (Rodier 1997).

I.4.3. Paramètres Chimiques

I.4.3.1. Le pH

Correspond à la mesure de l'activité des ions hydrogène (H^+) dans l'eau et traduit notamment l'influence de la géologie locale sur ses caractéristiques. Une valeur de pH inférieure à 6,5 rend l'eau corrosive et peut en altérer le goût, tandis qu'un pH supérieur à 8,5 diminue l'efficacité de la désinfection par le chlore et favorise la formation de dépôts calcaires (Drever 1997; OMS 2017).

I.4.3.2. Les Nitrates (NO_3^-) et les Nitrites (NO_2^-)

Ce sont des composés issus du cycle de l'azote. Les nitrates résultent principalement de l'oxydation de la matière organique et peuvent se transformer en nitrites, soit dans l'organisme, soit dans des milieux pauvres en oxygène. Leur accumulation constitue un risque pour la santé, en particulier chez les nourrissons où ils peuvent provoquer le syndrome du « bébé bleu » (méthémoglobinémie), et favoriser la formation de composés potentiellement cancérigènes (Schuddeboom 1993 ; Boualem 2009).

I.4.3.3. Le fer

Présent dans l'eau provient à la fois de sources naturelles, telles que la dissolution de minéraux (comme l'hématite et la pyrite), et de sources anthropiques, notamment les rejets industriels et la corrosion des canalisations. En milieu oxygéné, il s'oxyde en fer ferrique (Fe^{3+}), une forme insoluble responsable de dépôts et de coloration de l'eau. En revanche, en milieu anaérobie, il se maintient sous forme ferreuse (Fe^{2+}), plus soluble, biodisponible et facilement absorbée par l'organisme (Emerson et al., 2010 ; Sarn et al., 2014).

I.4.3.4. Le Sodium

Présent dans l'eau est d'origine à la fois naturelle, provenant des roches et des sols salins, et anthropique, lié aux activités humaines. Bien qu'il soit généralement bien toléré à

faible concentration, une teneur élevée (>200 mg/L) peut altérer le goût de l'eau et présenter des risques pour certaines populations sensibles, notamment les personnes hypertendues, les nourrissons et les patients atteints de troubles rénaux (Stumm & Morgan, 1996).

I.4.3.5. Les Sulfates (SO_4^{2-})

Ils sont présents dans l'eau à la fois d'origine naturelle, notamment par la dissolution de minéraux tels que le gypse et l'anhydrite, et d'origine anthropique liée à la pollution. À des concentrations élevées, ils peuvent provoquer des troubles digestifs, altérer le goût de l'eau en lui conférant une saveur amère, et contribuer à la formation de dépôts de tartre (Tardat, 1992).

1.4.3.6. Le Calcium (Ca^{2+})

Provient principalement de la dissolution des roches calcaires et gypseuses. Dans l'eau, il se retrouve sous forme de bicarbonates, de sulfates ou de chlorures. Élément essentiel pour la santé humaine, il joue un rôle important dans diverses fonctions biologiques et contribue également à la dureté de l'eau (Berne & Jean, 1991).

I.4.3.7. Les Chlorures (Cl^{-})

Proviennent principalement des roches salines et des infiltrations d'origine marine. Lorsque leur concentration dépasse 250 mg/L, ils peuvent favoriser la corrosion des installations, conférer à l'eau un goût salé désagréable, et représenter un risque potentiel pour la santé, notamment au niveau rénal et cardiovasculaire (Paul, 1998).

I.4.3.8. Le potassium (K^{+})

Provient de la dissolution de minéraux tels que les feldspaths et les argiles, ainsi que de rejets d'origine anthropique. Il est généralement présent dans l'eau à des concentrations comprises entre 10 et 15 mg/L et demeure relativement stable dans les eaux non polluées (Rodier, 1996).

I.4.3.9. Les Phosphates

Proviennent principalement de la décomposition de la matière organique ainsi que des rejets d'origine humaine. Lorsqu'ils sont présents en excès, ils peuvent altérer le goût de l'eau et contribuer au phénomène d'eutrophisation, entraînant le développement excessif d'algues et une diminution de la teneur en oxygène dissous (Rodier, 1997).

I.4.3.10. Les matières organiques

Proviennent principalement de la décomposition naturelle des substances végétales et animales. Elles peuvent altérer le goût et l'odeur de l'eau et, en présence de chlore, réagir pour former des sous-produits potentiellement toxiques (Berne, 1991).

I.4.4. Les Paramètres Microbiologiques

La qualité microbiologique de l'eau est définie par l'absence d'agents pathogènes. Une surveillance rigoureuse est indispensable afin de prévenir les maladies hydriques pouvant être causées par des bactéries, des virus ou des parasites (Rodier, 1996).

I.4.4.1. Les Coliformes Fécaux (CF)

Sont des bacilles à Gram négatifs aérobies ou anaérobies facultatifs non sporulés, ne possédant pas d'oxydase capables de se multiplier en présence de sels biliaires et capables de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz.

I.4.4.2. Les Streptocoques Fécaux (SF)

Ce sont des bactéries appartenant à la famille des Streptococcaceae, au genre Streptococcus et au groupe sérologique D de Lancefield. Ce sont des coques sphériques ou légèrement ovales, à Gram positif, généralement disposées en diplocoques ou en chaînettes. Elles se développent à une température optimale de 37 °C et présentent un métabolisme homolactique, caractérisé par la production d'acide lactique sans dégagement de gaz.

I.4.4.3. Escherichia Coli (E. Coli)

C'est une bactérie à Gram négatif, non sporulée et dépourvue d'activité oxydase. Elle appartient au groupe des coliformes thermotolérants et se caractérise par sa capacité à produire de l'indole à partir du tryptophane à une température de 44 °C. En revanche, elle est incapable de produire l'acétyl-méthyl-carbinol et ne peut pas utiliser le citrate comme unique source de carbone (Alia et al., 2018).

I.5. Normes des Eaux de Consommation

Le Tableau I.1 présente une comparaison entre les normes de l'OMS et les normes Algériennes relatives à plusieurs paramètres de qualité des eaux de consommation. Globalement, on remarque que les deux référentiels sont proches pour certains paramètres essentiels, notamment la température, les nitrates et les nitrites, tandis que des différences apparaissent pour d'autres éléments comme le pH, les chlorures, les sulfates, le potassium, le sodium, le fer et la conductivité. Pour la température, les deux normes fixent la même valeur de référence, soit 25°C. Cela montre une concordance entre les recommandations internationales et la réglementation algérienne. Une température élevée peut favoriser le développement de certains micro-organismes et modifier le goût de l'eau. Concernant le pH, l'OMS recommande une plage de 6.5 à 9.5, alors que la norme algérienne fixe une plage légèrement plus restrictive de 6.5 à 9. Cette différence montre que la norme algérienne est plus stricte pour les eaux alcalines. Un pH trop faible peut rendre l'eau corrosive, tandis qu'un

pH trop élevé peut influencer le goût et l'efficacité de la désinfection. Pour la conductivité, l'OMS ne fixe pas de norme précise, alors que la norme algérienne indique une limite de 2800 µS/cm. La conductivité traduit la minéralisation globale de l'eau. Une valeur élevée peut indiquer une forte présence de sels dissous. Le fer ne possède pas de valeur guide dans les normes OMS indiquées dans le tableau, tandis que la norme algérienne fixe une limite de 0,3 mg/L. Cette valeur vise surtout à éviter les problèmes organoleptiques comme la coloration rougeâtre, le goût métallique et les dépôts dans les canalisations. Pour la couleur, l'OMS ne donne pas de valeur guide dans ce tableau, alors que la norme algérienne fixe une limite de 15 unités platine-cobalt. Une couleur élevée peut être liée à la présence de matières organiques, de fer, de manganèse ou de particules en suspension. Les nitrates présentent une valeur identique dans les deux normes, soit 50 mg/L. Ce paramètre est très important pour la santé publique, notamment chez les nourrissons, car une concentration élevée peut provoquer la méthémoglobinémie. Les nitrites sont également similaires dans les deux référentiels, avec une limite inférieure ou égale à 0.2 mg/L. Leur présence peut indiquer une pollution récente ou une transformation incomplète de l'azote dans l'eau. Pour les chlorures, l'OMS indique une valeur de 250 mg/L, tandis que la norme algérienne accepte jusqu'à 500 mg/L. La norme algérienne est donc moins restrictive. Des teneurs élevées en chlorures peuvent donner un goût salé à l'eau et favoriser la corrosion des réseaux. Les sulfates sont limités à 500 mg/L selon l'OMS et à 400 mg/L selon la norme algérienne. Dans ce cas, la norme algérienne est plus stricte. Une concentration élevée en sulfates peut provoquer un goût désagréable et des effets laxatifs chez certaines personnes sensibles. Pour le potassium, l'OMS indique 250 mg/L, alors que la norme algérienne fixe une valeur beaucoup plus faible de 12 mg/L. La norme algérienne est donc nettement plus sévère pour ce paramètre. Enfin, pour le sodium, l'OMS ne fixe pas de norme dans le tableau, alors que la norme algérienne propose une limite de 200 mg/L. Cette limite est importante, surtout pour les personnes suivant un régime pauvre en sel ou souffrant de problèmes cardiovasculaires. En conclusion, les normes algériennes sont parfois similaires aux normes OMS, notamment pour la température, les nitrates et les nitrites. Elles sont plus strictes pour le pH, les sulfates et le potassium, mais plus tolérantes pour les chlorures. Pour certains paramètres où l'OMS ne donne pas de valeur guide, comme la conductivité, le fer, la couleur et le sodium, la réglementation algérienne fixe des limites précises afin d'assurer une meilleure surveillance de la qualité physico-chimique et organoleptique de l'eau potable (Figure I.9).

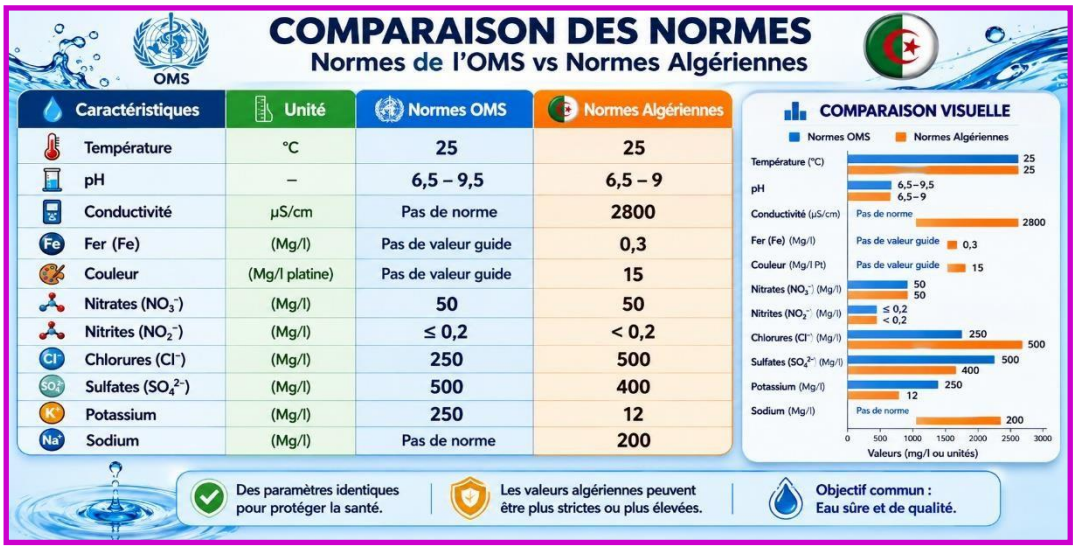


Figure I.9. Comparison entre les normes Algériennes et OMS des Eaux de Consommation

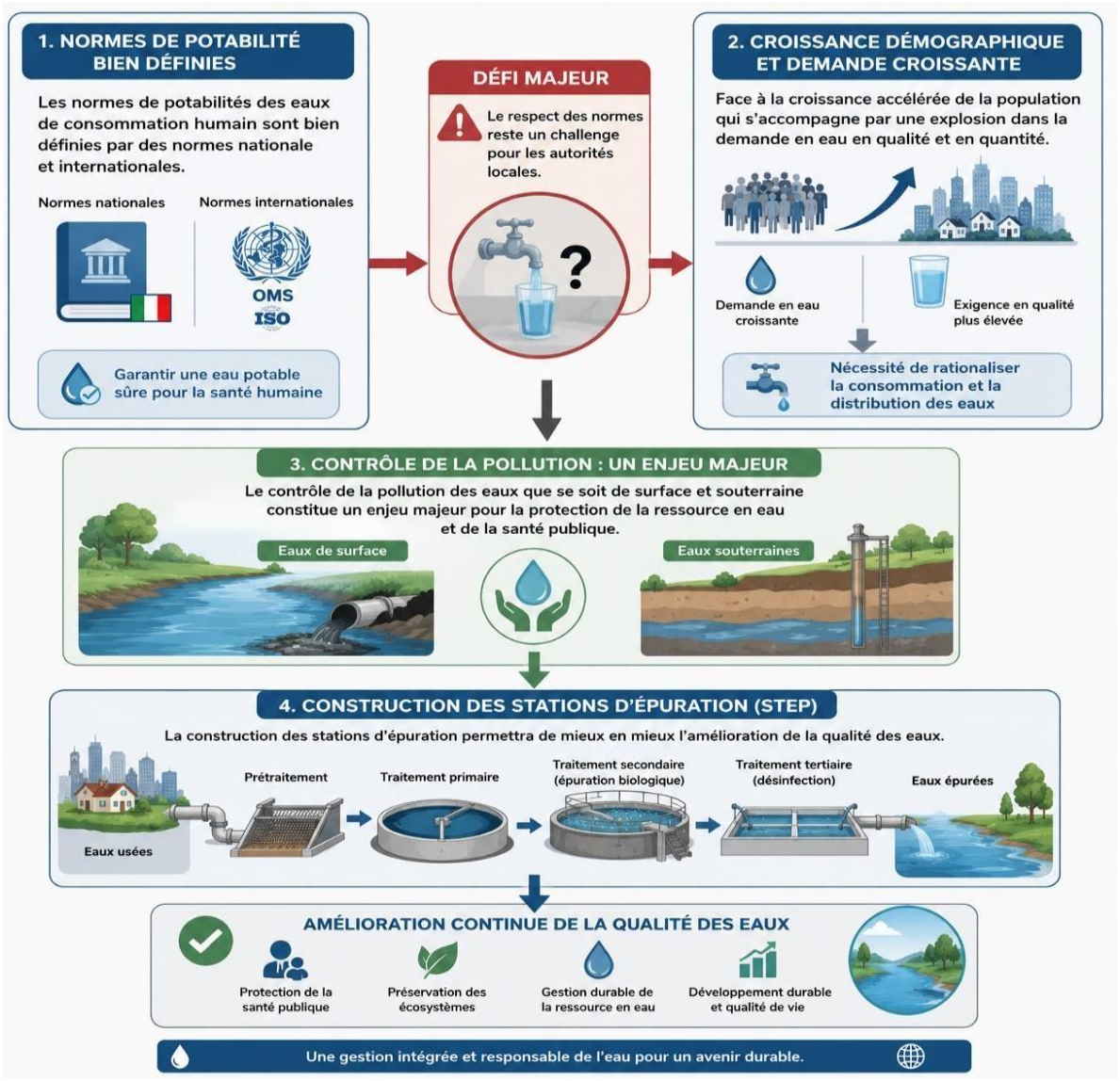


Figure I.10. Les enjeux de la protection des eaux face à la pollution croissante.

Tableau I.1. Normes des eaux de consommations OMS et Algériennes.

Caractéristiques	Unité	Normes utilisées (OMS)	Normes Algériennes
Temperature	C°	25	25
PH	/	6.5-9.5	6.5-9
Conductivité	µs/cm	Pas de norme µs/cm	2800
Fer (Fe)	(Mg/l)	Pas de valeur guide (Mg/l)	03
Couleur	(Mg/l platine)	Pas de valeur guide (Mg/l platine)	15
Nitrates ($NO3^-$)	(Mg/l)	50 (mg/l)	50
Nitrites ($NO2^-$)	(Mg/l)	≤0 .2	< 0 .2
Chlorures (Cl^-)	(Mg/l)	250(mg/l)	500
Sulfates ($So4^{2-}$)	(Mg/l)	500(mg/l)	400
Potassium	(Mg/l)	250(mg/l)	12
Sodium	(Mg/l)	Pas de norme (mg/l)	200

I.6. Conclusion

Bien que les normes de potabilités des eaux de consommation humain soient bien définies par des normes nationale et internationales, le respect des ces derniers reste un challenge pour les autorités locales (Figure I.10). Face à la croissance accélérée de la population qui s'accompagne par une explosion dans la demande en eau en qualité et en quantité, il est devenu nécessaire de rationaliser la consommation et la distribution des eaux de consommation. Le contrôle de la pollution des eaux que ce soit de surface et souterraine constitue un enjeu major et la construction des stations d'épuration STEP permettra de mieux en mieux l'amélioration de la qualité des eaux. L'Algérie à opter ces dernières années à une politique orienter vers le renforcement et la sécurisation des ressources en eaux par la construction des stations de dessalement des eaux de mer le long des villes côtières. Cette politique à permis d'améliorer l'alimentation des eaux en qualité et en quantité.

Chapitre II : Présentation de la Station de Traitement des Eaux Skikda

II.1. Introduction

La ville de Skikda est alimentée exclusivement à partir de la station de traitement des eaux de Hammadi Krouma localisée dans la commune de Hammadi Krouma. Une nouvelle station a été réalisé juste à coté de l'ancienne station avec un système classique basé sur le principe e la coagulation floculation. Le présent chapitre sera consacré à la présentation détaillée du processus e traitement adopté au niveau de la station.

II.2. Historique et Localisation de la station de Skikda

L'ancienne station de traitement des eaux Hammadi Krouma est une station spécialisée dans le traitement des eaux de surface et des eaux de barrage. Mise en service en 1978, elle a fait l'objet d'une réhabilitation partielle en 2008. Compte tenu de la vétusté et de la détérioration de la plupart des équipements liés aux différentes étapes de traitement, il a été décidé de procéder à une réhabilitation complète. Les travaux, menés par la société Amenhyd, ont débuté le 6 février 2019. La station présente une capacité de traitement de 3 600 m³/h, soit une capacité de production d'environ 86 400 m³/jour. La station de Hammadi Krouma traite l'eau provenant du barrage de Guenitra, situé dans la commune d'Oum Toub, d'une capacité d'environ 120 millions de m³. Les eaux sont transportées via un canal de liaison d'une longueur d'environ 39 km (FigureII.1).



Figure II.1. Localisation de station de traitement des eaux Skikda

La station de de Hammadi Krouma est située dans la wilaya de Skikda, au nord-est de l'Algérie, et constitue une infrastructure essentielle pour l'alimentation en eau potable de la région. Elle reçoit principalement les eaux brutes du barrage de Kénitra, situé à une distance d'environ 20 à 30 km, acheminées par des ouvrages de transfert hydraulique pour être traitées avant distribution. Cette station contribue à l'alimentation en eau potable de plusieurs communes, notamment Skikda, Fil fila, El Harrouch, Azzaba et Ramdane Djamel, ce qui lui confère un rôle stratégique dans le système d'alimentation en eau potable de la wilaya.

II.3. Rôle et importance de la station de traitement de Hammadi Krouma

La station de Hammadi Krouma joue un rôle fondamental dans le traitement des eaux de surface provenant des barrages, en assurant leur transformation en eau potable conforme aux normes sanitaires. Ce processus comprend plusieurs étapes essentielles, notamment la coagulation-floculation, la décantation, la filtration et la désinfection, permettant d'éliminer les matières en suspension, les polluants chimiques ainsi que les micro-organismes pathogènes. En outre, ces traitements améliorent les caractéristiques organoleptiques de l'eau telles que la couleur, le goût et l'odeur, la rendant ainsi apte à la consommation humaine (Table II.1, Figure II.2).

Tableau II.1. Les caractéristiques générales de la station de traitement des eaux Skikda.

Les paramètres	Station de traitement des eaux Skikda
Année de mise en route	2024
La capacité de traitement	3 600 m³/h
Type de traitement	Physico-chimique et bactériologique
Source d'eaux	Barrage
Type de décantation	Décantation lamellaire
Précédé utilisé	Coagulation-floculation-décantation-filtration-désinfection
Localisation	Skikda-Algérien
Type de filtration	Filtration a sable

L'importance de cette station réside principalement dans la protection de la santé publique, en réduisant les risques de maladies hydriques telles que le choléra et la typhoïde. Elle assure également un approvisionnement continu en eau potable pour la population, ce qui constitue un facteur essentiel d'amélioration des conditions de vie et de développement socio-économique. Par ailleurs, elle contribue à une gestion durable des ressources en eau en valorisant

les eaux de surface et en limitant la surexploitation des nappes souterraines. Ainsi, les stations de traitement des eaux, à l'instar de celle de Hammadi Krouma, représentent un élément clé du système d'alimentation en eau potable, garantissant la qualité et la disponibilité de l'eau conformément aux normes internationales établies par Organisation mondiale de la santé. Le Tableau II.2 présente les caractéristiques générales de la station de traitement des eaux de la ville de Skikda.

Tableau II.2. Les bases de données de la station de Skikda

Paramètre	**Eau Brute**	**Eau Traitée**	**Unité**
PH	7.8	7.96	
Na cl	325	300.23	Mg /l
Conductivité (EC)	670	667	Ms/cm
O2	9.85	9.57	Mg/l
Turbidité	21.7	2.8	NTU
TA	0	0	Mg/l
TAC	57	60	Mg /l
K	78	80	Mg/l
CL^-	78.1	85.2	Mg/l
THT	270	274	Mg/l
Phosphate	0.074		Mg/l
$NO3^-$	2.51		Mg /l
$NO2^-$	0.011		Mg/l
Al3+		0.109	Mg/l
NH4+	0.45	0	Mg/l
CL2	0.8		Mg /l
Escherichia coli	Négatif	Négatif	
Coliformes totaux	58	Négatif	
Coliformes fécaux	Positifs	Négatif	

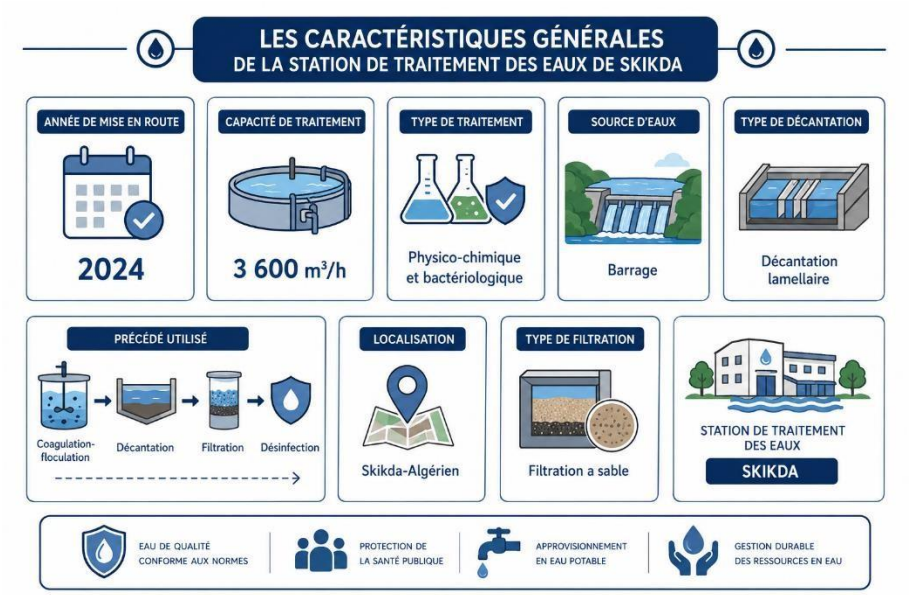


Figure II.2. Description sommaire de la station de traitement des eaux Hammadi Krouma Skikda

II.4. Description de la chaine de traitement des eaux Hammadi Krouma

Le traitement des eaux potable au niveau de la station de traitement Hammadi Krouma se déroule en plusieurs étapes comme schématisé sur la figure si dessous :

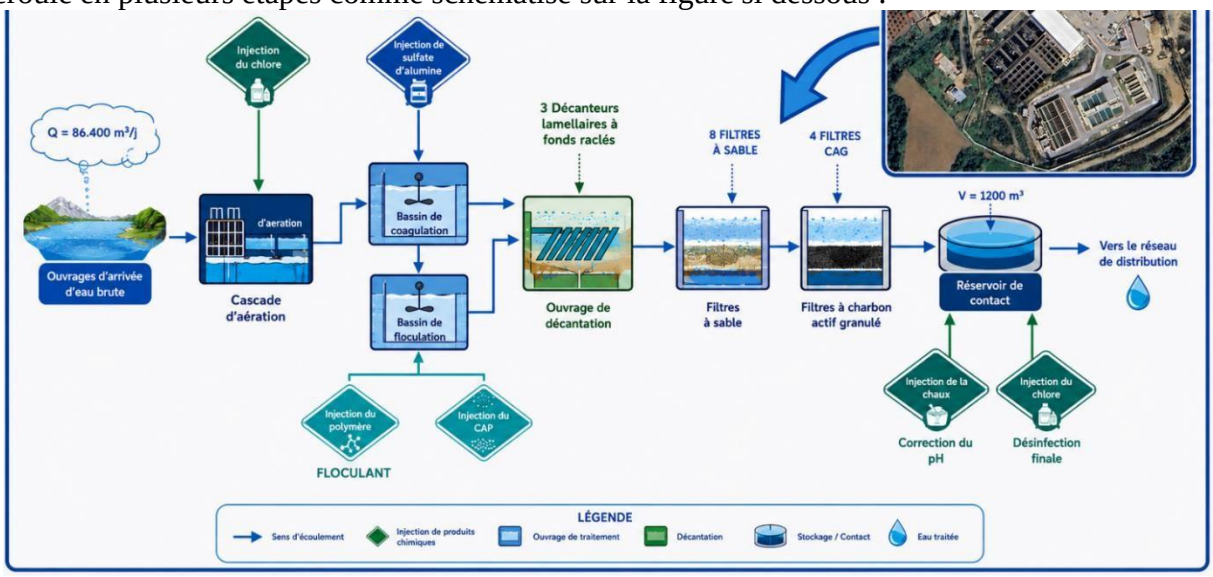


Figure II.3. Schéma général de la chaine de traitement des eaux Hammadi Krouma.



Figure II.4. Ouvrage de régulation de l'eau brute

II.4.1. Ouvrage de régulation de l'eau brute

La conduite d'arrivée est bifurquée en deux bras. La régulation de la pression et du débit d'eau brute est assurée par les deux vannes de réduction de pression hydraulique et Mono var. On retrouve dans cet ouvrage la mesure du pH, conductivité et la turbidité (Figure II.4).

II.4.2. Cascade d'Aération

La cascade d'aération est située immédiatement à l'aval de la chambre de régulation du débit d'eau brute et constitue la première étape de traitement de l'eau brute (Figure II.5).

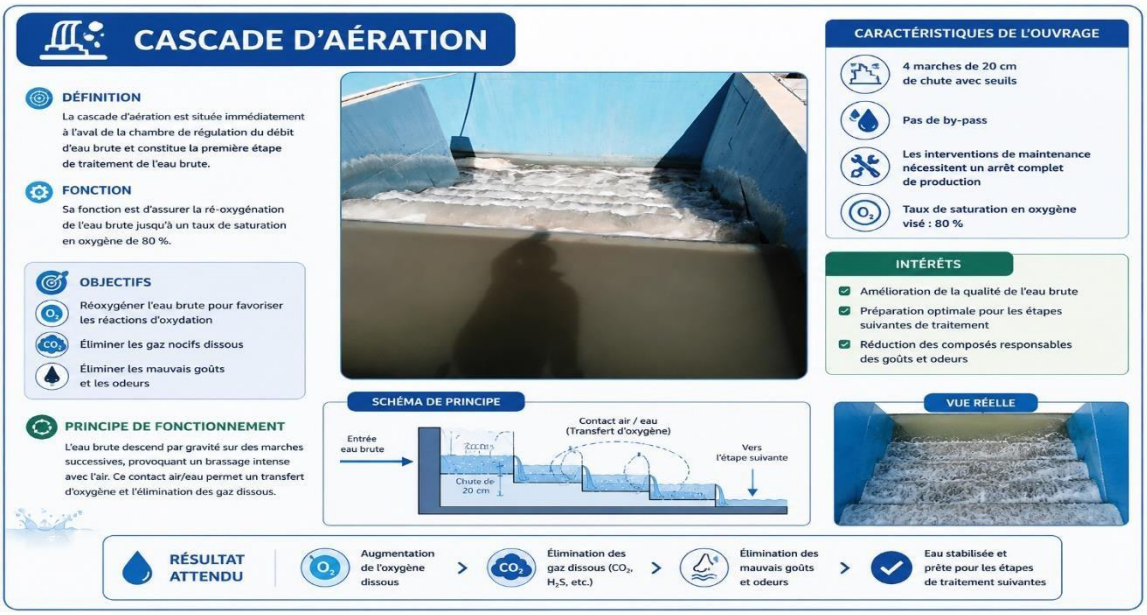


Figure.II.5. La cascade d'aération

Sa fonction est d'assurer le ré oxygénation de l'eau brute jusqu'à un taux de saturation en oxygène de 80%. Le bassin ne possède pas de by-pass et les interventions de maintenance nécessitent un arrêt complet de production. Cette étape permet de réoxygéner l'eau brute pour favoriser les réactions d'oxydation et éliminer les gaz nocifs dissous par conséquence éliminer les mauvais gouts et les odeurs. La cascade d'aération comporte quatre marches de 20 cm de chute avec seuils.

II.4.3. Coagulation & Floculation

La coagulation floculation est une étape importante ans la chaine de traitement des eaux, elle se réalise par l'ajout de réactif chimique (Figure II.6).

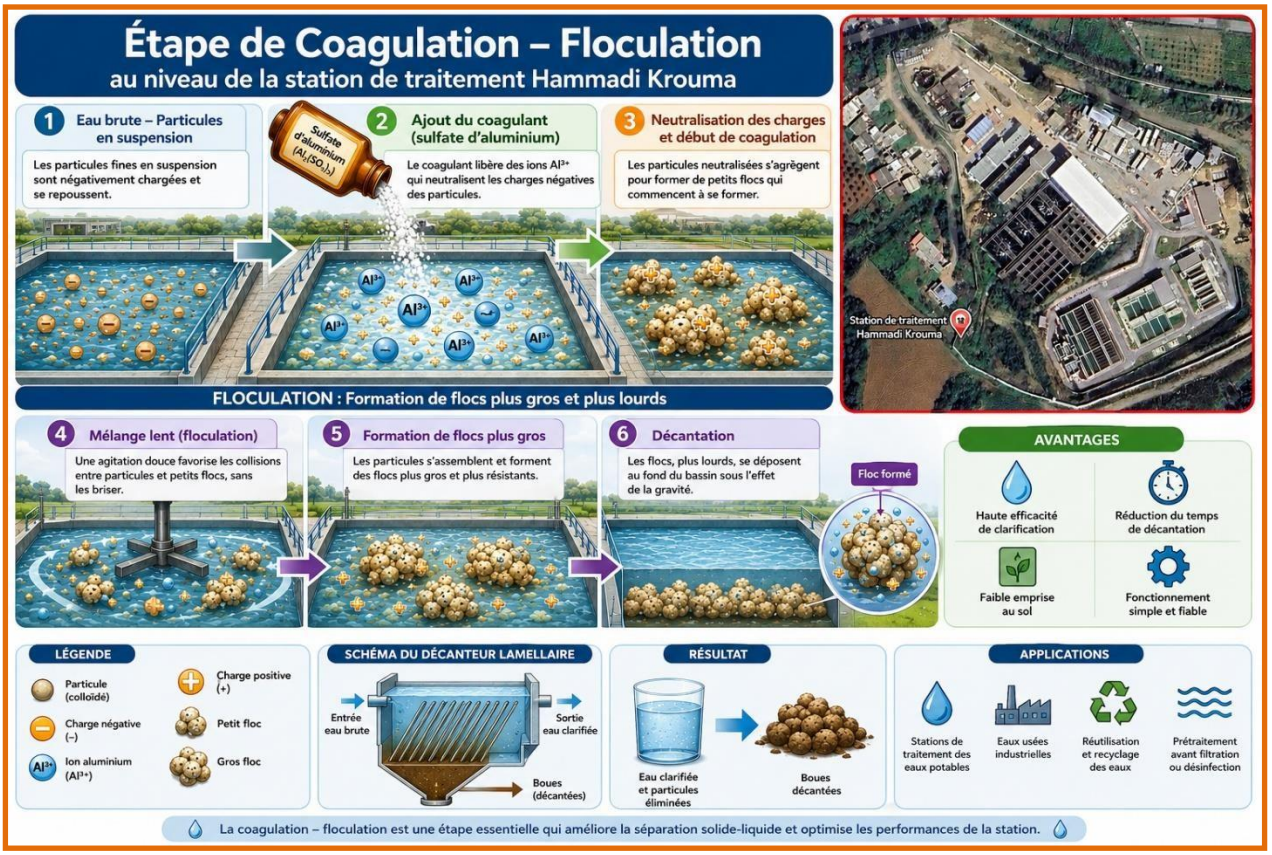


Figure.II.6. Coagulation & Floculation

La coagulation a pour but principal de provoquer la neutralisation totale ou partielle des charges des particules en vue de faciliter leur agglomération. En pratique ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion rapides des produits chimiques chargés positivement appelés coagulants (sulfate d'alumine). Une étape de préchloration et aussi présente dans cet ouvrage par le biais de l'injection de l'hypochlorite de sodium, l'objectif principal de la préchloration dans le traitement de l'eau brute est d'inhiber tout développement d'algues, qui dans certaines conditions peuvent se développer dans la retenue et poser des problèmes si elles pénètrent dans la station. En outre elle permet d'améliorer le rendement global de l'étape Coagulation-Floculation notamment au niveau de l'élimination des matières responsables des gouts, odeurs et couleurs. Le système comprend deux cuves d'homogénéisation d'une capacité de 31.5 m³ chacune, mesurant 3.3 m de long, 3.3 m de large et 3 m de haut, avec un temps de séjour estimé à 62 secondes. Chaque cuve est équipée d'un agitateur vertical de 7.5 kW et de 1 000 mm de diamètre. La coagulation des matières en suspension s'effectue par l'ajout de sulfate d'aluminium (Figure II.7).

La floculation a pour objectif de favoriser à l'aide d'un mélange lent les contacts entre les particules déstabilisées préalablement dans l'étape de coagulation. Dans la pratique du traitement de l'eau, cette opération est mise en œuvre par l'introduction dans l'eau d'un floculant, le poly électrolyte. Les particules déstabilisées s'agglutinent pour former un floc qu'on peut facilement éliminer par les procédés de décantation et de filtration. Le dispositif de mélange doit permettre d'entretenir une turbulence afin de favoriser la collision des flocs jusqu'à leur développement optimal avant sédimentation. L'injection du charbon actif poudre CAP se fait dans cet ouvrage, permet l'élimination des gouts et des odeurs. Le système comprend trois cuves de lixiviation, d'une capacité unitaire de 632.45 m³ et mesurant 7.2 m de long, 14.4 m de large et 6.1 m de haut. Le temps de rétention est d'environ 30 minutes. Chaque cuve est équipée de deux agitateurs de 2.2 kW et de 2200 mm de diamètre. L'ajout de polymère permet de récupérer les impuretés et la mousse (Figure II.7)

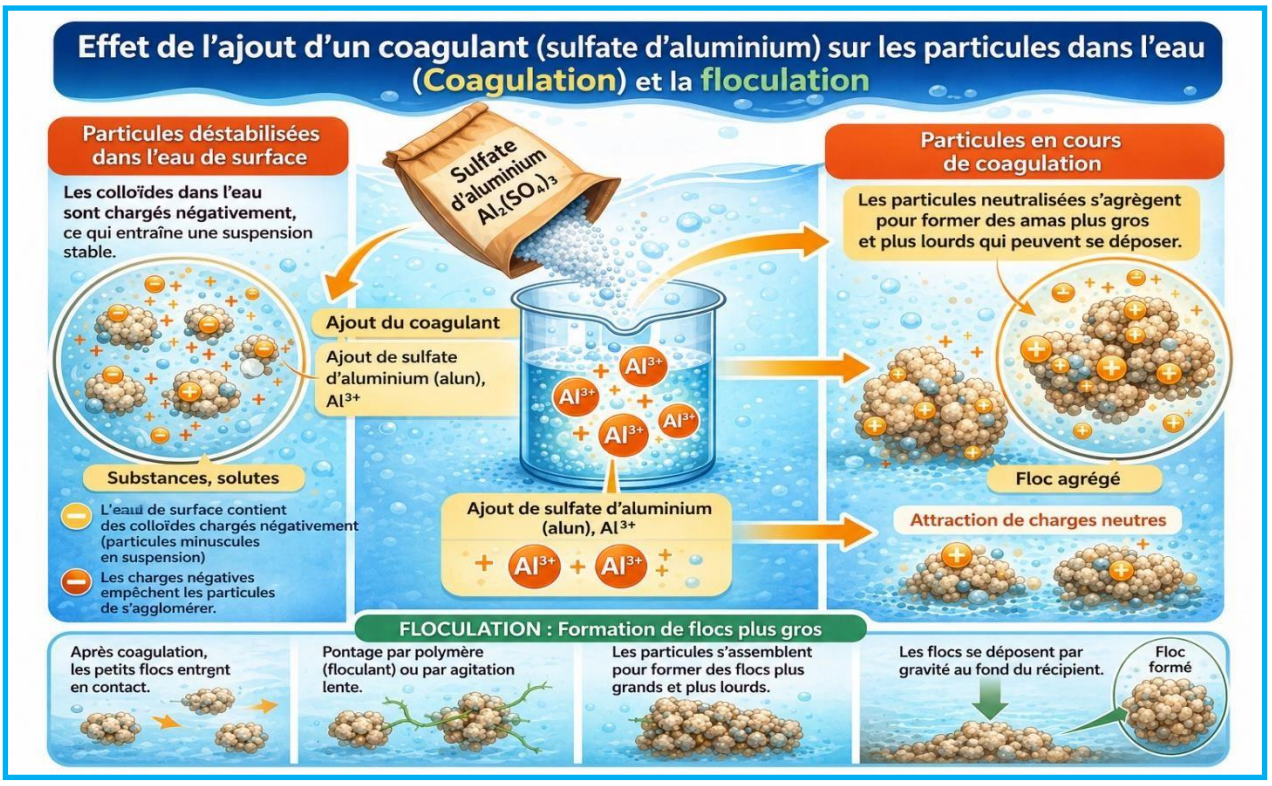


Figure.II.7. La Coagulation & Floculation

II.4.3.1. Principe de fonctionnement de la Coagulation& Floculation

La charge électrique ainsi que la couche d'eau entourant les particules hydrophiles provoquent leur répulsion mutuelle, ce qui assure leur stabilité dans la solution. Le principal

objectif de la coagulation est de déstabiliser ces particules afin de favoriser leur agglomération (Desjardins, 1997). Le procédé de coagulation-floculation appliqué à une eau brute comprend deux étapes distinctes mais complémentaires : la coagulation, qui correspond à la déstabilisation des particules, et la floculation, qui consiste en la formation d'agrégats décantable. Cette distinction terminologique est adoptée sans préjuger des mécanismes physico-chimiques impliqués (Fressenger et Bersillon, 1947). Ces deux étapes sont réalisées sous agitation contrôlée, dont l'intensité est généralement caractérisée par le gradient moyen de vitesse G (énergie dissipée par unité de volume) et par le temps de mélange (t). La stabilité des colloïdes résulte, d'une part, des forces de répulsion liées à l'interpénétration des doubles couches ioniques entourant les particules, et d'autre part, de l'agitation moléculaire qui maintient ces particules en suspension. En milieu aquatique naturel, les colloïdes sont souvent recouverts de matière organique, ce qui peut également entraîner une stabilisation d'origine stérique (Wilkinson et al., 2001). Les particules colloïdales présentes dans les eaux de surface et les effluents domestiques sont généralement chargées négativement, avec un potentiel zêta compris entre -15 et -20 mV (Eckenfelder, 1982; Grutsch, 1945). Les sels métalliques hydrolysables utilisés comme coagulants réagissent avec l'eau pour former des produits d'hydrolyse chargés positivement, qui constituent les espèces actives responsables de la coagulation. L'utilisation de techniques analytiques, telles que la résonance magnétique nucléaire de l'aluminium (RMN), permet d'identifier et de caractériser ces espèces en solution. Des techniques récentes telles que l'EXAFS au seuil K du fer, ainsi que la diffusion des rayons X aux petits angles (DPAX), ont permis d'identifier et de caractériser la nature des espèces hydrolysées de l'aluminium et du fer.

II.4.3.2. Réactifs utilisés

II.4.3.2.1. Sulfate d'aluminium

Le sulfate d'aluminium (Figure II.8) est un agent coagulant largement utilisé dans le traitement de l'eau potable. Lorsqu'il est introduit dans l'eau, il subit une hydrolyse qui conduit à la formation de composés d'aluminium, notamment l'hydroxyde d'aluminium. Ce précipité permet de neutraliser les charges électriques des particules colloïdales responsables de la turbidité, facilitant ainsi leur regroupement en flocs plus volumineux qui peuvent être éliminés par décantation ou filtration (Legube 2025).



Figure II.8. Sulfate d'Aluminium

II.4.3.2.2 . Chlorure Ferrique

Le chlorure ferrique est un coagulant minéral couramment utilisé dans les procédés de coagulation et de floculation pour le traitement des eaux potables. Lorsqu'il est ajouté à l'eau, il subit une hydrolyse qui conduit à la formation d'hydroxydes ferriques insolubles, principalement $Fe(OH)_3$. Ces espèces permettent la déstabilisation des particules colloïdales en neutralisant leurs charges électriques, favorisant ainsi leur agglomération en flocs plus volumineux et plus denses, facilement éliminés par décantation ou filtration (Legube, 2015).

II.4.3.2.3. Le polymère

Est une macromolécule caractérisée par une masse molaire élevée, résultant de l'enchaînement répété d'unités élémentaires appelées monomères, reliées entre elles par des liaisons covalentes (Figure II.9). Cette structure lui confère des propriétés physico-chimiques particulières, telles que la viscosité et la capacité de former des agrégats. Dans le domaine du traitement des eaux, les polymères sont utilisés comme auxiliaires de coagulation et de floculation. Ils favorisent l'agrégation des particules colloïdales en formant des flocs plus volumineux et plus facilement séparables par décantation ou filtration.



Figure II.9. Les polymères

II.4.3.3. Facteur Influençant la Coagulation& Floculation

La coagulation est un traitement très efficace de l'eau, mais aussi l'un des plus coûteux en termes d'exploitation. Son efficacité dépend de plusieurs facteurs. La turbidité joue un rôle essentiel, car l'élimination des particules colloïdales minérales responsables de la turbidité constitue l'un des principaux objectifs de la coagulation. La couleur est également influencée, puisqu'elle correspond à la présence de matières organiques colloïdales et dissoutes ainsi que de micropolluants organiques (Kettab, 1992). Le pH varie plus ou moins en fonction du type de coagulant utilisé ainsi que de sa concentration. Lorsque le sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3$ est employé comme coagulant et ajouté à l'eau, il subit une hydrolyse qui provoque une diminution notable du pH. En général, chaque ion Al^{3+} nécessite, pour se transformer en hydroxyde d'aluminium $[Al(OH)^3]_3$, des ions OH^- provenant des bicarbonates et de l'eau elle-même, ce qui entraîne la libération de protons H^+. Par conséquent, le TAC diminue également. En revanche, l'utilisation de polymères basiques d'aluminium comme coagulants n'engendre qu'une faible variation du pH, sans effet significatif sur le processus de déstabilisation (Kettab, 1992). On ne dispose pas de données précises concernant l'influence directe de la température de l'eau sur le processus de coagulation. Toutefois, l'expérience montre qu'en période hivernale, lorsque la température de l'eau s'approche de 0 °C, le floc a tendance à se déposer plus difficilement et à pénétrer davantage dans les filtres. Cette situation s'explique par la diminution de la température, qui entraîne une augmentation de la viscosité de l'eau, rendant ainsi la décantation du floc moins

efficace. Par ailleurs, à vitesse de filtration constante, les forces de cisaillement exercées sur les flocs deviennent plus importantes, ce qui favorise leur fragmentation et leur entraînement dans le filtre. On observe également que la plage optimale de pH se réduit dans ces conditions (Desjardins, 1997). Durant les phases de coagulation et de floculation, l'homogénéisation des produits s'effectue en deux étapes successives. Le mélange rapide est une étape courte et intense, d'une durée ne dépassant pas 120 secondes. Son objectif principal est d'assurer la dispersion uniforme des produits chimiques dans l'ensemble du volume d'eau à traiter. Cette opération est réalisée soit par injection des réactifs dans une zone de forte turbulence, soit à l'aide d'équipements de mélange mécanique. Un mélange rapide mal réalisé peut entraîner une augmentation de la quantité de produits chimiques nécessaires, en raison d'une répartition non homogène des réactifs. Le mélange lent est une étape réalisée à vitesse réduite. Il a pour but de favoriser les contacts entre les particules de flocs, ainsi que les particules responsables de la turbidité et de la couleur. L'agitation doit être suffisamment énergétique pour créer des différences de vitesse dans l'eau au sein du bassin, afin de faciliter les collisions entre particules, mais sans être trop intense pour éviter la rupture des flocs formés.

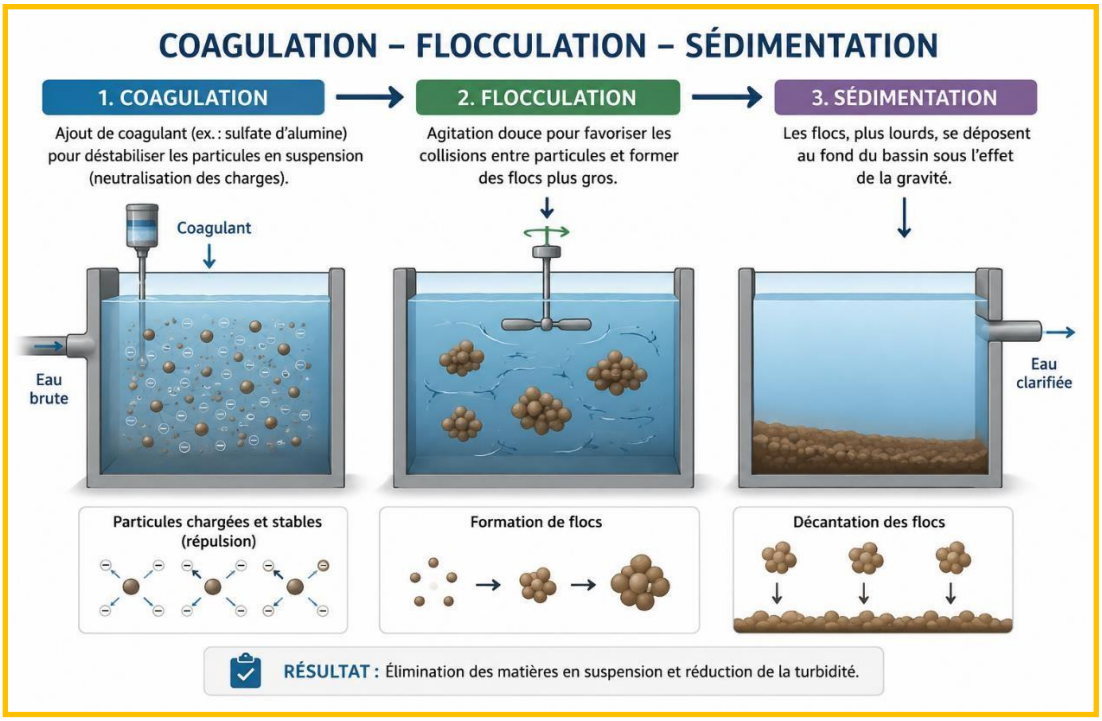


Figure II.10. Schématisation des trois séquences : Coagulation, Floculation et Sédimentation

II.4.3.4. Détermination de la Dose de Coagulant par Jar-Test

En laboratoire, la sélection des coagulants ainsi que la détermination de la dose optimale de traitement sont réalisées à l'aide de l'essai de Jar-Test (Figure II.10-11), également appelé essai de floculation, conformément à (Heddam, 2012). Cet essai repose sur l'utilisation d'un agitateur multipostes (généralement 4 à 6 positions) muni d'hélices, équipé d'un variateur de vitesse et d'un compteur de tours. Chaque poste est pourvu d'un bécher de même capacité, contenant un volume identique d'eau à traiter, afin d'assurer l'homogénéité des conditions expérimentales et la comparabilité des résultats.

Ensuite, trois opérations principales réalisés durant le test de Jar-Test :

- **Étape de Coagulation :** Elle consiste à introduire le coagulant sous agitation rapide, généralement comprise entre 100 et 200 tr/min, pendant une durée de 2 à 3 minutes (pouvant être prolongée si nécessaire). Un adjustment du pH peut être effectué, de préférence avant l'ajout du coagulant, afin d'optimiser l'efficacité du traitement.
- **Étape de Floculation :** Cette phase correspond à une agitation lente, de l'ordre de 20 à 40 tr/min, maintenue pendant 10 à 20 minutes. Elle permit le rapprochement et l'agrégation des particules pour former des flocs de taille plus importante.
- **Étape de Décantation :** Elle consiste à laisser reposer l'eau pendant une durée variant de 10 à 60 minutes, en fonction du type de décanteur utilisé, afin de permettre la sédimentation des flocs formés.

Entre les phases de coagulation et de floculation, il est possible d'introduire un floculant ou du charbon actif en poudre, généralement en fin de coagulation, sous une agitation rapide mais de courte durée. Les essais de Jar-Test sont réalisés par l'introduction d'un dispositif composé de six béchers (Figure II.11). Chaque bécher fait l'objet d'une évaluation basée sur la taille des flocs obtenus ainsi que sur leur vitesse de décantation. Durant la phase de coagulation, une mesure du potentiel de charge (courant de streaming) peut également être réalisée pour affiner le contrôle du procédé. À l'issue de l'expérience, des échantillons d'eau clarifiée sont prélevés séparément des boues décantées. Des analyses complémentaires peuvent ensuite être effectuées sur l'eau décantée, éventuellement après filtration (Legube, 2015).

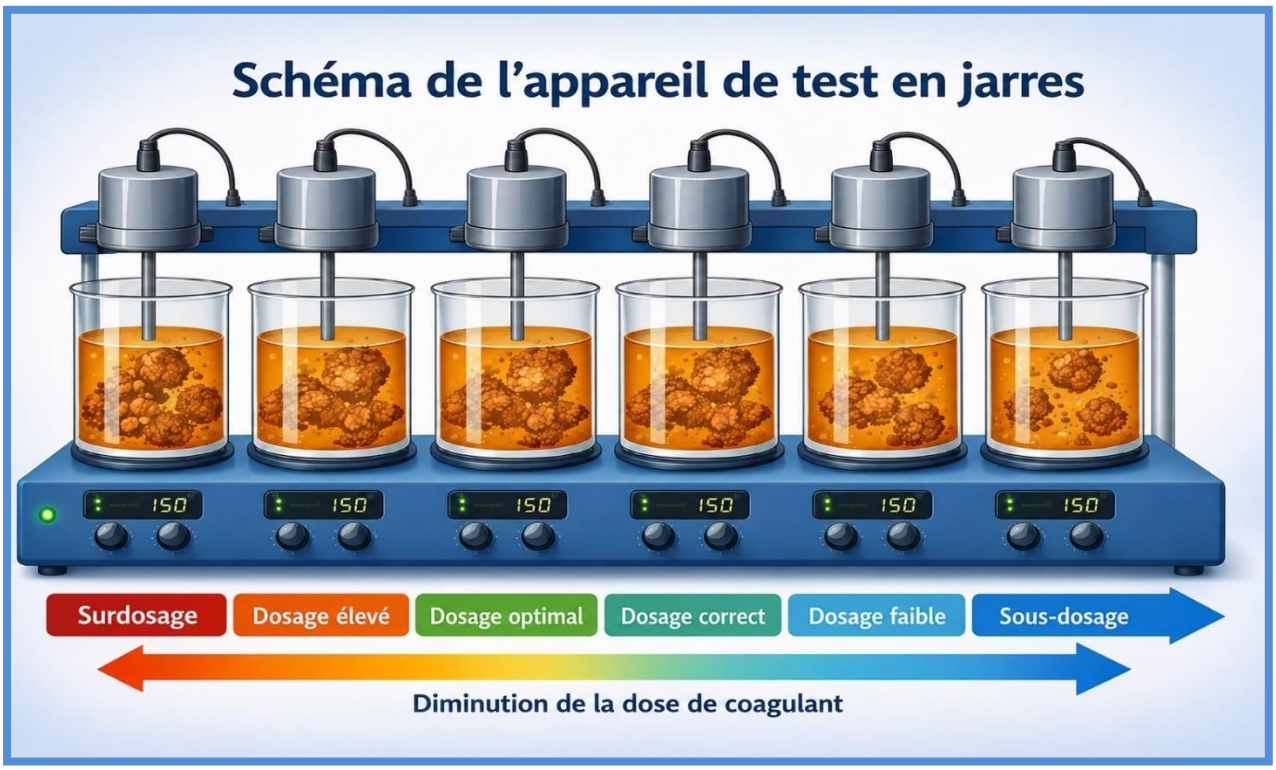


Figure II.11. Jar-Test

Les objectifs principaux de l'essai de Jar-Test se déclinent généralement en deux axes fondamentaux, en fonction du paramètre de qualité étudié (turbidité, matières en suspension (MES), demande chimique en oxygène (DCO) ou métaux) :

- Déterminer la dose optimale du coagulant, ainsi que celle du floculant le cas échéant ;
- Identifier la plage optimale de pH permettant d'assurer une coagulation efficace

Les coagulants les plus couramment utilisés dans le traitement des eaux sont principalement les sels d'aluminium et de fer. Pendant longtemps, il a été admis que leur efficacité reposait sur la libération d'ions Al^{3+} et Fe^{3+}, responsables de la neutralisation des charges des particules colloïdales. Au niveau de la station de Hammadi Krouma est le Sulfate d'alumine (Al_2 ($SO4^{-2}$). Toutefois, il est désormais établi que ce sont surtout les produits issus de l'hydrolyse de ces sels qui jouent un rôle déterminant, en agissant comme des agents coagulants plus performants que les ions métalliques eux-mêmes (Desjardins, 1997).

II.4.4. Décantation et Recirculation

L'élimination de la plus grande partie des matières en suspension se fait lors de l'étape de décantation recirculation (Figure II.12). L'agglomération des matières fines entre elles (les colloïdes) les rend plus lourdes et permet leur décantation par gravité au fond du bassin, tandis

que l'eau se clarifie dans les couches supérieures de la masse. Il s'agit-là d'obtenir la séparation rapide des flocons du liquide. Le décanteur constitue le cœur de l'installation, de son bon fonctionnement seront tributaires les étapes suivantes. Le décanteur utilisé est de type lamellaire, il présente des lamelles disposées parallèlement de maniéré oblique afin d'augmenter la surface de décantation et de permettre le glissement des matières sédimentées vers le fond. Les eaux clarifiées sont acheminées vers les filtres. Les boues décantées sont dirigées vers l'entremise du système de raclage vers un puisard central, ou elles subissent un épaississement gravitaire.



Figure II.12. Décanteur lamellaire

II.4.5. Filtration sur Sable

L'eau décantée détient encore des matières en suspension très fines et des micro-organismes. Son passage au travers d'un lit de sable permet d'en retenir la plus grande partie A la sortie du filtre à sable, la turbidité de l'eau traitée doit être inférieure à 5 NTU Le filtre à sable doit être nettoyé régulièrement par retro lavage, de l'eau est envoyée en sens inverse du mode de filtration, c'est-à-dire du bas vers le haut. Il y a huit bassins de filtration, chacun mesurant 12.3 m de long et 6 m de large. Chaque bassin contient une couche de sable de 80 cm d'épaisseur (7 à 11 mm de diamètre) et une couche de petits cailloux de 20 cm d'épaisseur (3.15 à 5.6 mm de diamètre). Des indicateurs de niveau d'eau sont également présents dans les bassins de filtration.

Par ce dé grilleur fin sont évacués par une vis de transfert et de compactage et stockés dans une benne de volume minimal 7 m³ (Figure II.13).

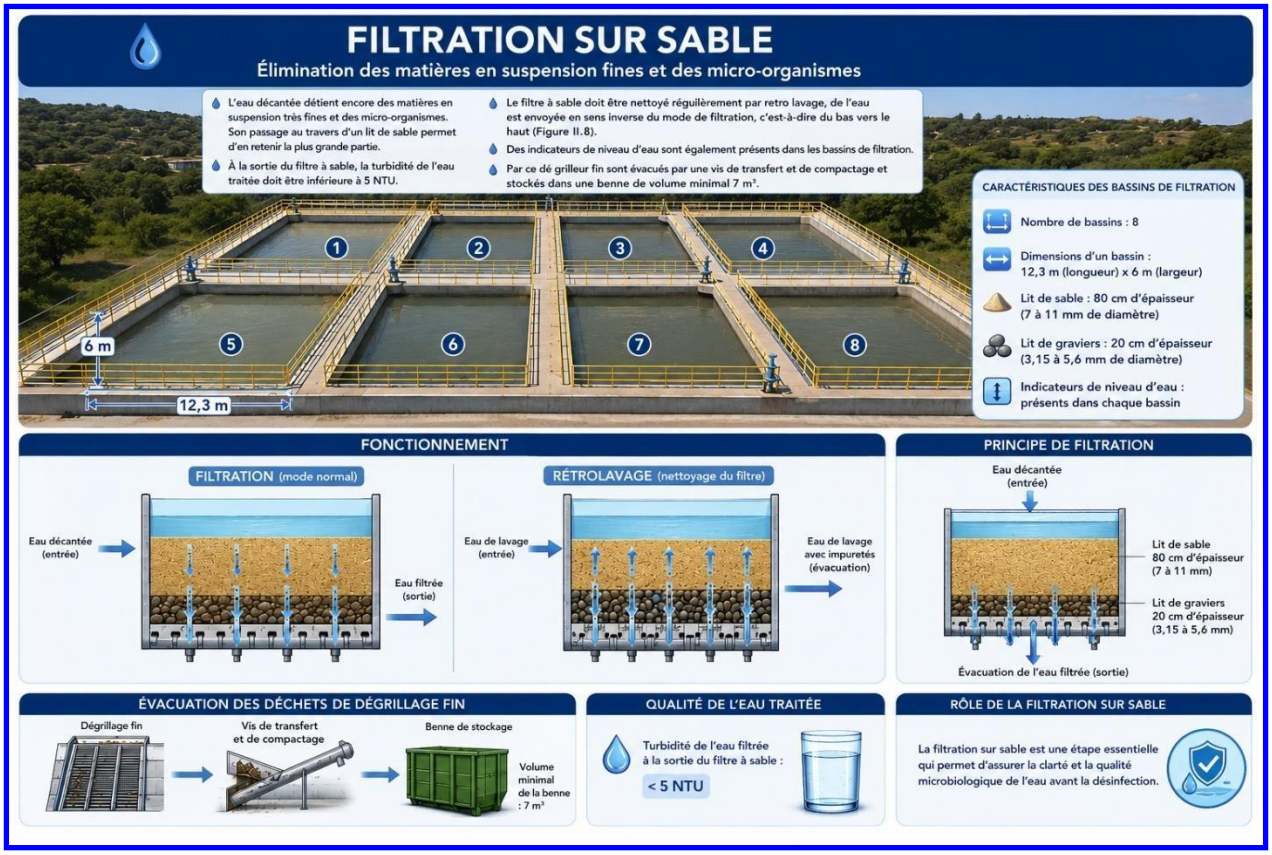


Figure II.13. Filtre à sable

II.4.6. Filtration sur charbon actif

Granulé La filière de traitement est dotée d'une phase d'affinage sur filtres à charbon actif granulé (CAG), cela permet d'améliorer la qualité organon-elliptiques de l'eau filtrée, il permet de retenir les micropolluants et d'améliorer le gout et éliminer l'odeur, la couleur et les pesticides. Cette installation est composée de quatre bassins de filtration ayant des dimensions de 12.3 m de longueur et 6 m de largeur, et chaque bassin contient une couche de granulés de charbon de 100 cm d'épaisseur avec un diamètre de 13-18 mm. Ces bassins fonctionnent pour améliorer les propriétés physico-chimiques de l'eau filtrée, éliminer les goûts et les odeurs désagréables, et détruire les matières organiques. Il y a également des appareils de mesure du niveau d'eau dans les bassins de filtration (Figure II.14).

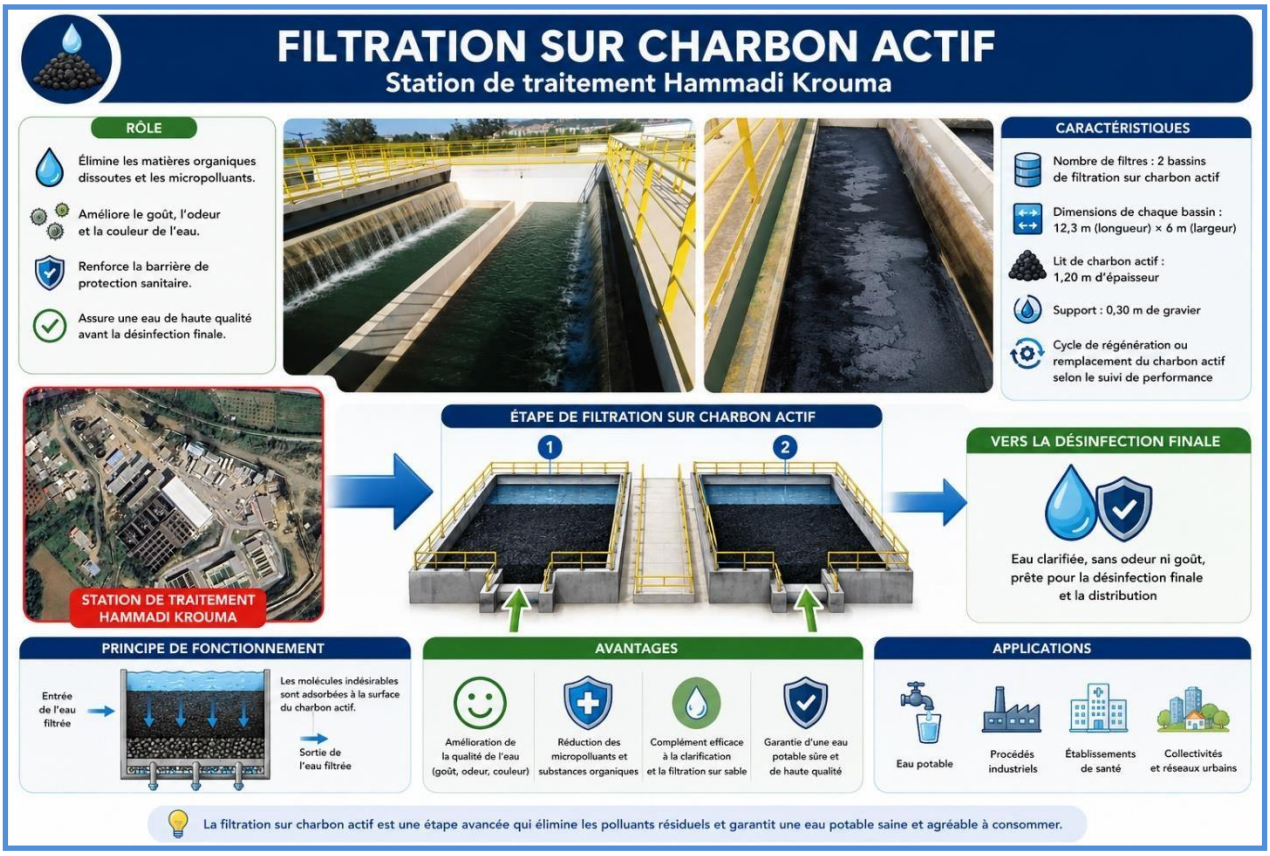


Figure II.14. Filtration sur charbon actif

II.4.7. Désinfection et correction du pH

La dernière étape permet d'éliminer totalement les bactéries restantes dans l'eau et d'éviter de de nouvelles ne se développent au cours de son stockage ou de son transport. Du chlore en quantité bien définie est injecté de manière à assurer la conservation de la qualité de l'eau jusqu'à sa consommation. La désinfection avec du chlore n'est efficace que si la turbidité de l'eau filtrée est inférieure à 5NTU. Cette phase est suivie par une injection de l'eau de chaux pour ramener l'eau a son équilibre calco carbonique (corriger son pH). L'eau distribuée doit respecter des normes de potabilité. Si le processus de traitement est suivi correctement, la turbidité de l'eau est inférieure à 5NTU, le pH est situé entre 6.5 et 8.5 et la quantité de chlore résiduel en tout point du réseau de distribution est supérieure à 0.2 mg/l Il est nécessaire de suivre ces paramètres pour s'assurer de distribuer une eau potable (Figure II.15).



Figure II.15. Désinfection et correction du pH

II.5. Conclusion

Malgré l'importance des stations de traitement des eaux potables, nous avons constaté durant notre période de stage que certaines précautions ne sont pas respectées et plusieurs taches nécessaires à la garanti d'une eau de qualité reste marginaliser. Nous avons constaté que la détermination de la dose de coagulant ne fait pas toujours référence au Jar-Test, et dans la majorité des cas on fait recours à l'expérience pour injecter la quantité de coagulant nécessaire. Nous avons aussi constaté l'absence totale de toute automatisation au niveau de la station de Hammadi Krouma, et le manque de contrôle des paramètres physico chimique, là où uniquement quelques paramètres sont mesurés de temps en temps.

Chapitre III : Suivi et Contrôle des Procédés de Traitement des eaux

III.1. Introduction

Nous présentons dans le présent chapitre les résultats que nous avons obtenus durant notre période de stage au niveau de la station de traitement des eaux de Hammadi Krouma. Nous avons assisté à une série des analyses physico-chimique, biologique et microbiologique réaliser dans le but de contrôler la quality des eaux au niveau de la station. Les résultats obtenus confirme le maintien de la qualité des eaux distribuer dans la fourchette des normes internationale.

III.2. Types d'Analyses

III.2.1. Analyses Physiques

III.2.1.1. La Turbidité

La turbidité est l'inverse de la limpidité. Elle donne la teneur en matière colloïdales et matière en suspension MES (argile, grain de silice, la boue, plancton, les matières organiques et inorganiques : oxydes et hydroxydes métalliques). En général les MES ce sont des particules solides très fines et généralement visibles à l'œil nu sa taille est comprise entre 01 µm et 01 cm. En général les colloïdes sont des macromolécules de diamètre compris entre 01 µm à 01 nm. Nous avons 02 types :

- Les colloïdes Hydrophiles : ils sont de nature organique.
- Les colloïdes Hydrophobes : ils sont de nature minérale.

La turbidité est mesurée avec des turbidimètres et mesuré en néphalométrique turbidité unité NTU ou FNU (Formazin Nephelometric Unit).

Le turbidimètre est un appareil utilisé pour mesurer la turbidité d'un liquide. Il est généralement composé d'un récepteur photoélectrique qui permet de détecter et de mesurer la lumière diffusée par la solution, ce qui reflète son degré de trouble.



Figure III.1. Turbidimètre

III.2.1.2. La Conductivité Electrique (EC)

La conductivité électrique EC (est l'inverse de la résistivité): c'est une mesure de la capacité de l'eau à faire passer un courant électrique entre deux points grâce aux sels minéraux dissous dans l'eau (mesure de l'activité ionique).

Conductivité électrique (EC) = Constante de cellule (K)

Constante de cellule K

K = (d/a) en : cm^{-1}

d = la distance entre les deux électrodes en : cm

a = la surface réelle des électrodes en : cm2

La Conductance G : G = 1 / R en : Siemens S

R = la résistance en : Ohm Ω

La Résistance R : R = V/I en : Ohm Ω

V (ou U) : Tension aux bornes du dipôle, exprimée en Volts (V).

I = Intensité du courant qui traverse le circuit, exprimée en Ampères (A).

- Eau douce (≤ 200 µS)
- Eau minérale (entre 200 et 1000 µS)
- Eau salée (≥ 2000 µS)
- Eau Distillée (≤05 µS/cm)

Le Conductimètre est un appareil utilisé pour mesurer la conductivité électrique d'une solution. Il se compose de deux éléments principaux : un boîtier électronique, chargé d'afficher la valeur mesurée, et une cellule de mesure (ou sonde) qui permet de déterminer cette conductivité. La mesure est réalisée à l'aide d'un courant alternatif, afin d'éviter la polarisation des électrodes et d'assurer ainsi la précision des résultats.



Figure III.2. Conductimètre

III.2.1.3. La Température (T°)

La température est une grandeur physique qui exprime le degré de froid ou de chaud du milieu. Les particules, les molécules ou les atomes du milieu ne sont jamais au repos. Elles sont en vibration permanente et possèdent donc une certaine énergie cinétique qui s'appelle : la température. L'unité est : le Celsius ou centigrade (25 C°).

III.2.1.4. Le Titre Alcalimétrique Simple et Complet (TA et TAC)

L'alcalinité d'une eau, contrairement à son acidité, est liée à la présence de bases ainsi que de sels issus d'acides faibles. Dans les milieux naturels, elle provient principalement des ions hydrogénocarbonates, carbonates et hydroxydes (Rodier, 2009). Elle est généralement déterminée par le titre alcalimétrique (TA) ou par le titre alcalimétrique complet (TAC), qui permettent d'évaluer la capacité de l'eau à neutraliser les acides. C'est pour déterminer les bicarbonates $HCO3^-$ et les carbonates $CO3^{-2}$ et les hydroxydes OH^-.

$TA = [OH^-] + 1/2 [CO3^{-2}]$

$TAC = [OH^-] + [CO3^{-2}] + [HCO3^-]$

- 100 ml prise à essai
- 03 gouttes de phénolphtaléine (C20H14O4)
- S'il y a un changement vers couleur rose pâle présence du TA
- Si la couleur reste transparente TA= 0 ($pH \leq 8.50$)

III.2.1.5. L'oxygène Dissous

La teneur en oxygène dissous, associée au pH, représente un paramètre fondamental de la qualité des eaux pour le maintien de la vie aquatique. Dans les eaux de surface, cet oxygène provient principalement de l'atmosphère ainsi que de l'activité photosynthétique des algues et des végétaux aquatiques. Sa concentration varie au cours de la journée et des saisons, en fonction de plusieurs facteurs, notamment la pression partielle en oxygène de l'air, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, le degré de turbulence de l'eau et la disponibilité en nutriments (Merabet, 2010). L'oxygène dissous est mesuré par une Oxymètre qui est un appareil qui permet de mesurer la concentration en oxygène moléculaire dans un mélange gazeux ou dans un liquide. Ce type de mesure est utilisé, par exemple, en laboratoire et dans l'industrie, notamment pour la protection des personnes, le contrôle des processus ainsi que le conditionnement sous atmosphère protectrice.



Figure III.3. Oxymètre

III.2.1.6. Test de chlore résiduel et élimination des germes pathogènes

Avec les comprimés de DPD1 et le comparateur ou colorimètre (10 ml d'eau à analyser dans le tube) : (0,1≤ClR≤01 mg/l)

- Prélever une quantité d'eau traitée et la verser dans un tube en verre fermé.
- Ajouter un comprimé de réactif (DPD) à l'échantillon.
- Agiter le tube afin de bien dissoudre le réactif.
- Laisser reposer l'échantillon pendant quelques instants.
- L'apparition d'une coloration rose indique la présence de chlore dans l'eau.



Figure III.4. Type d'analyse et réactifs DPD

III.2.1.7. La Dureté Totale (THT)

La dureté, ou titre hydrotimétrique (TH), correspond à la somme des concentrations en cations métalliques présents dans l'eau, à l'exception des métaux alcalins. Elle est principalement due aux ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}), et s'exprime généralement en degré hydrotimétrique français (°f). Un degré français (1°f) correspond à une concentration de 10^{-4} mol/L en ions Ca^{2+} et/ou Mg^{2+}, ou encore à 4 mg/L de calcium ou 2.4 mg/L de magnésium. Il existe plusieurs types de dureté :

- **Dureté Totale :** somme des concentrations en ions calcium et magnésium.
- **Dureté Calcique :** représente la teneur en sels de calcium uniquement
- **Dureté Magnésienne :** correspond à la teneur en sels de magnésium uniquement.
- **Dureté Carbonatée (TAC):** liée aux bicarbonates et carbonates présents dans l'eau.
- **Dureté Permanente :** partie de la dureté qui subsiste après ébullition, égale à TH-TAC, généralement associée aux sulfates.
- **Dureté Temporaire :** différence entre la dureté totale et la dureté permanente

III.2.2. Analyse Chimique

III.2.2.1. Le pH

Le potentiel hydrogène (pH) permet d'évaluer le caractère acide ou basique de l'eau. Les variations du pH des eaux de surface entraînent des ajustements dans le fonctionnement des différentes étapes de traitement, notamment le choix des réactifs, le dégazage du CO_2, la pré-déminéralisation ainsi que la correction du pH, entre autres opérations (Gaid, 1988). Le pH, ou le potentiel d'hydrogène, représente la concentration d'ions d'oxoniums [H_3O^+] dans l'eau.

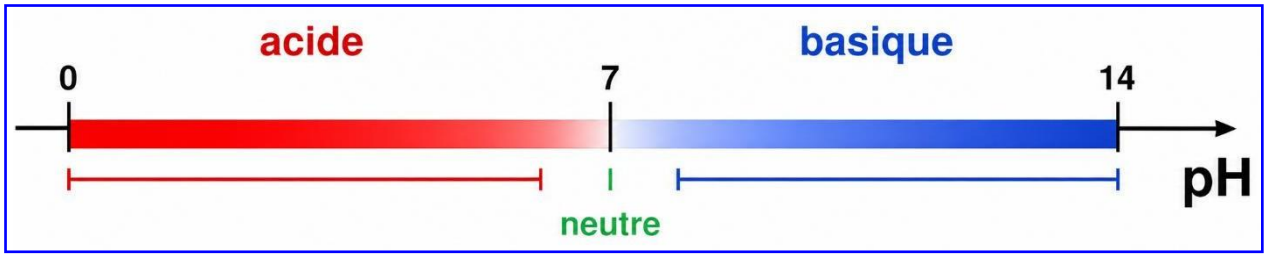


Figure III.5. Le potentiel hydrogène (pH)

- Le pH = - log [H_3O^+] c'est à dire : [H_3O^+] = 10-pH avec : [H_3O^+] : la concentration d'ions oxoniums en : mol/l
- Si pH < 7 : forte concentration d'ions d'hydrogènes H^+ : [H^+] > [OH^-]
- Si pH = 7 : [H^+] = [OH^-]
- Si pH > 7 : forte concentration d'ions d'hydroxydes OH^- : [OH^-] > [H+]
- Avec pH mètre ($6.5 \leq pH \leq 09$)

Le pH est mesuré par un pH-Mètre qui est un instrument utilisé pour mesurer le pH d'une solution. Il se compose principalement de deux parties : un boîtier électronique qui affiche la valeur mesurée, et une électrode qui assure la détection. Son principe de fonctionnement repose

sur la relation entre la concentration des ions H_3O^+ et la différence de potentiel électrochimique générée au niveau de l'électrode en verre, ce qui permet de déterminer avec précision le pH de la solution.



Figure III.6. Le pH-Mètre

III.2.2.2. Le Calcium (Ca^{+2})

Le calcium est un élément alcalino-terreux très largement présent dans la nature, notamment au sein des roches calcaires où il se trouve sous forme de carbonates. Il constitue l'un des principaux responsables de la dureté de l'eau et représente généralement l'élément dominant dans les eaux destinées à la consommation. Sa concentration dépend essentiellement de la nature géologique des terrains traversés (Rodier, 2009).

- 50 ml prise à essai
- 02 ml de solution hydroxyde de sodium NaOH
- Petite quantité de Murénidé HSN indicateur
- Titrassions avec l'EDTA Na2 ($C_{10}H_{14}N_2O_8Na_2$; $2H_2O$) qui est un sel disodique (acide éthylène diamine tetra-acétique) jusqu'à virage du couleur mauve foncé
- $Ca^{+2} = V \times 10$ en mg/l ($Ca^{+2} \leq 200$ mg/l)



Figures III.7. Colorimétrie du calcium

III.2.2.3. Les Chlorures (Cl^-)

Les concentrations en chlorures (Cl^-) dans les eaux présentent une grande variabilité, principalement en fonction de la nature des formations géologiques traversées par les eaux lors de leur circulation. En général, les eaux courantes non polluées contiennent des teneurs naturelles en chlorures. L'ion chlorure est caractérisé par l'absence de couleur et d'odeur dans l'eau, mais il peut conférer un goût salé lorsque sa concentration devient élevée (Degremont, 2005).

- 05ml prise à essai
- 02 gouttes de chromate de potassium k2CrO4
- Nitration avec nitrate d'argent AgNo3 jusqu'à virage du couleur rouge brique
- $Cl^- = V \times 71$ en mg/l ($Cl^- \leq 500$ mg/l)

III.2.2.4. Le colorimètre

Est un appareil utilisé pour mesurer l'intensité de la couleur d'une solution, afin de déterminer la concentration d'une substance chimique en fonction de la lumière absorbée ou transmise par cette solution.



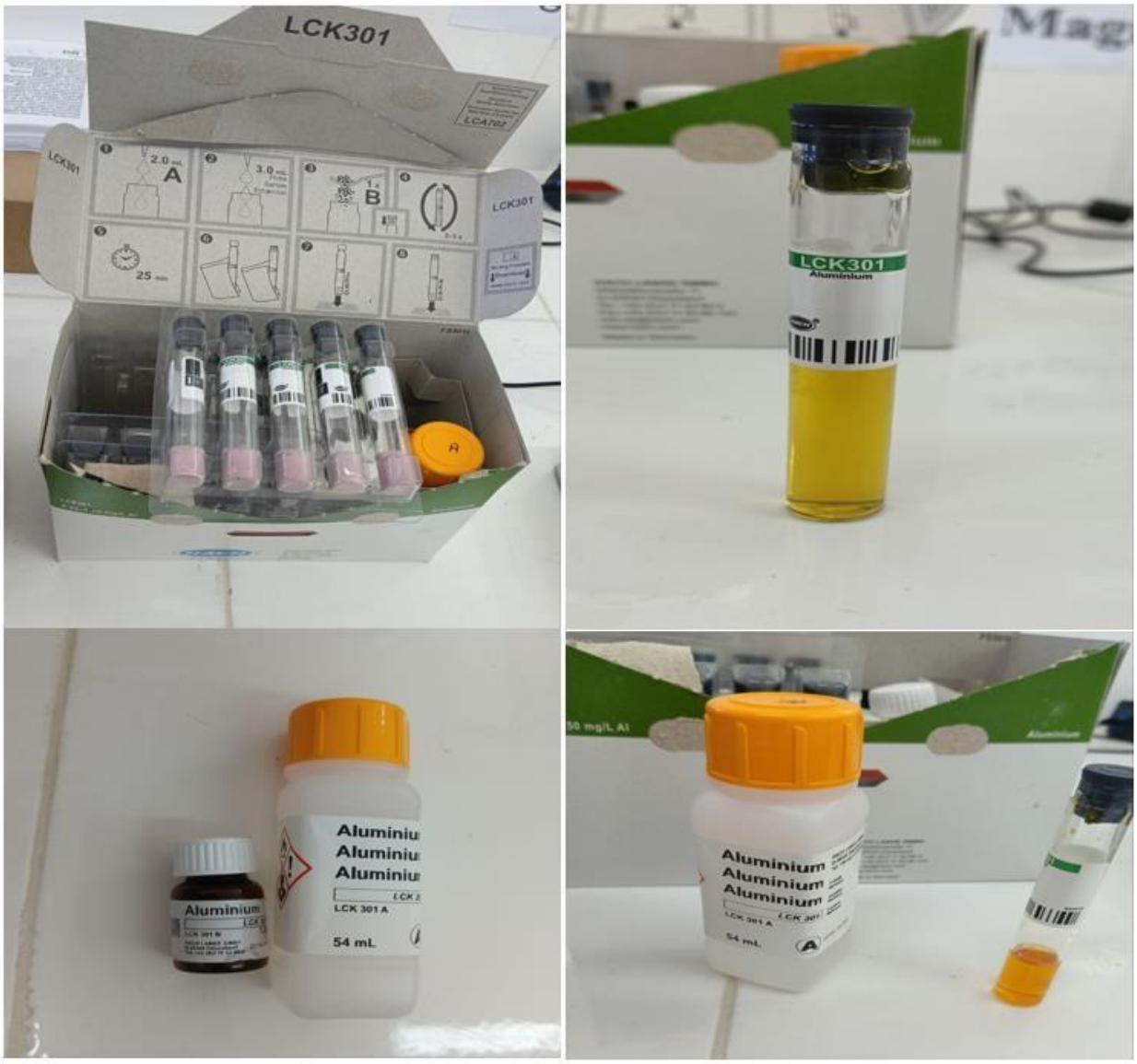
Figure III.8. Colorimètre

III.2.2.5. L'Ammonium (NH_4^+) indicateur de pollution

L'ammonium est un ion positif de formule NH_4^+, formé dans les eaux principalement lors de la dégradation des matières organiques azotées ou à la suite de processus biologiques et chimiques. Il constitue un indicateur important de la qualité des eaux, notamment en ce qui concerne la pollution organique et les rejets d'eaux usées. Sa concentration varie selon les types d'eaux et peut indiquer une pollution récente lorsque ses teneurs sont élevées, traduisant une dégradation incomplète des matières organiques. Le dosage de l'ammonium peut être influencé par la présence de substances interférentes telles que les chlorures, le fer et les composés

organiques, ce qui nécessite l'utilisation de méthodes analytiques adaptées précises (Rodier, 2009).

- 40 ml prise à essai échantillon + Blanc (témoin eau distillée)
- 04 ml réactif coloré N°01
- 04 ml réactif coloré N°02
- Compléter avec l'eau distillée jusqu'à 50 ml
- Temps de repos 60 min
- Lecture à spectrophotomètre avec longueur d'onde = 655 nm (NH_4^+ < 0.5 mg/l)



Figures III.9. Analyse Ammonium

III.2.2.6. Le Magnésium (Mg^{+2})

Le magnésium est un élément abondant dans l'environnement naturel et se retrouve dans la majorité des eaux naturelles. Il participe à la dureté de l'eau, bien qu'il ne soit pas l'élément principal. Par ailleurs, il joue un rôle essentiel dans les processus biologiques, notamment dans la croissance et la synthèse de certaines hormones (Savary, 2010).

Mg^{+2} = THT - Ca^{+2} en mg/l ($Mg^{+2} \leq 150$ mg/l)

III.2.2.7. Les Phosphates (PO_4^{-3}) indicateur de pollution

Le phosphate est une forme de phosphore inorganique présente dans les eaux, se présentant principalement sous forme d'ions ortho phosphates (PO_4^{3-}) ou sous forme de poly phosphates. Il peut être présent dans l'eau soit à l'état dissous, soit associé aux matières en suspension. Il constitue un paramètre important pour l'évaluation de la qualité des eaux, en raison de son lien avec différentes sources de pollution telles que les eaux usées et les engrais agricoles (Rodier, 2009).

- 40 ml prise à essai échantillon + Blanc (témoin eau distillée)
- 01 ml d'acide ascorbique ($C_6H_8O_6$)
- 02 ml du réactif mélangé (Heptamolybdate d'ammonium + tartrate d'ammonium + acide sulfurique)
- Temps de repos 10 min (développement vers la couleur bleu)
- Lecture à spectrophotomètre avec longueur d'onde = 880 nm
- (PO_4^{-3} < 05 mg/l)

Le spectrophotomètre est un instrument permettant de mesurer des grandeurs énergétiques associées aux spectres, en déterminant notamment l'intensité du rayonnement ou de l'absorbance en fonction des différentes longueurs d'onde.

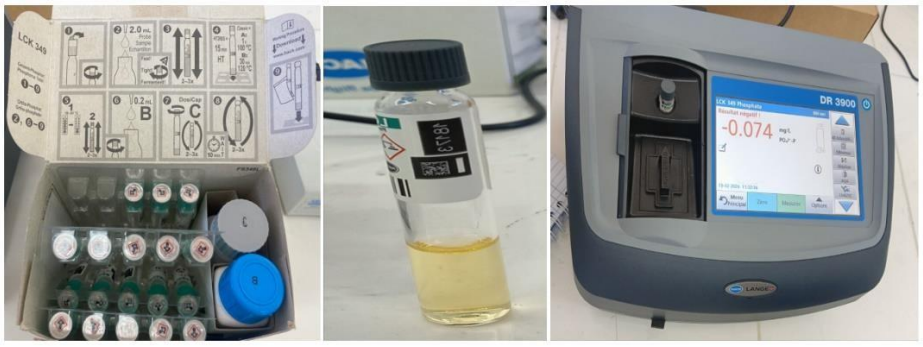


Figure III.10. Analyse de phosphate et Spectrophotomètre

III.2.2.8. Les Sulfates (SO_4^{-2})

Les sulfates (SO_4^{2-}) proviennent principalement du lessivage des sols et de l'infiltration à travers des formations riches en gypse. Ils peuvent également être générés par l'activité de certaines bactéries, telles que les chlorothiobactéries et les rhodothiobactéries, capables d'oxyder le sulfure d'hydrogène (H_2S), un composé toxique, en sulfate (Belghitim, 2013).

- 100 ml prise à essai échantillon + Blanc (témoin eau distillée)
- 05 ml de solution stabilisante (acide chlorhydrique + éthanol + chlorure de sodium + glycérol + eau distillée)
- 02 ml de chlorure de baryum (chlorure de baryum + acide chlorhydrique + eau distillée)
- Agiter pendant 01 min
- Lecture à spectrophotomètre avec longueur d'onde = 420 nm (SO_4^{-2} < 400 mg/l)

III.2.2.9. Nitrites

Les nitrites sont présents dans les eaux, mais généralement à des concentrations plus faibles que les nitrates. Ils proviennent principalement d'une oxydation incomplète des matières organiques. Selon l'OMS, leur teneur normale est fixée à 0.1 mg/L. Des concentrations élevées peuvent altérer la qualité de l'eau et représenter un risque pour la santé humaine en raison de leur pouvoir oxydant et de leur toxicité (Rodier, 2009).



Figure III.11. Mesure des Nitrites

- Ouvrir soigneusement la cuve (DosiCap Zip) sans toucher l'intérieur.
- Prélever 0.2 ml de l'échantillon à l'aide d'une micropipette.
- Introduire l'échantillon dans la cuve.

- Refermer la cuve correctement.
- Retourner la cuve 2 à 3 fois pendant quelques secondes pour homogénéiser.
- Laisser reposer pendant 10 minutes pour le développement de la réaction.
- Placer la cuve dans le photomètre.
- Lire et enregistrer la valeur obtenue.

III.2.2.10. Nitrate

Les nitrates représentent le stade final de l'oxydation de l'azote organique. Ils sont largement répandus dans les eaux ainsi que dans les plantes, où ils interviennent dans les processus de synthèse végétale. Très solubles dans l'eau, ils se trouvent naturellement à de faibles concentrations dans les eaux souterraines et superficielles. Les nitrates sont également utilisés dans plusieurs domaines, notamment dans la fabrication des explosifs, dans l'industrie chimique en tant qu'agent oxydant, et comme conservateurs dans certains produits alimentaires (Savary, 2010). Les étapes de la manipulation (LCK 349) sont comme suit (Figure III.12) :



Figure III.12. Mesure des Nitrate

- Prélever 2.0 ml de l'échantillon et l'introduire dans le tube de réaction.
- Ajouter le contenu du flacon A.
- Refermer soigneusement le tube.
- Agiter 2 à 3 fois pour homogénéiser.
- Placer le tube dans le thermo réacteur à 100 °C pendant 15 minutes.
- Sortir le tube et laisser refroidir jusqu'à 18-20 °C.
- Ajouter 0.2 ml du réactif B.
- Refermer le tube et agiter de nouveau.

- Ajouter le réactif C (Dosicap) si nécessaire.
- Agiter 2 à 3 fois pour homogénéiser.
- Laisser reposer pendant 10 minutes pour le développement de la couleur.

III.3. Conclusion

Durant notre période de stage nos avons assisté à plusieurs compagnes d'analyses des eaux au niveau de la station de traitement des eaux Hammadi Krouma, que se soit les eaux brutes ou traités. Les prélèvements se font au niveau de la station à l'entrée (eau brute) et à la sortie eau traitée. Les analyses se font selon les normes et méthodes internationales et avec les moyennes disponibles au niveau du laboratoire. Les analyses ont montré le respect des normes de potabilités et la qualité très acceptable des eaux distribuer aux citoyens.

Chapitre IV : Résultats et Interprétations

IV.1. Introduction

Le présent chapitre fera l'objet des discussions sur les résultats obtenus des analyses des eaux brute et traitées. Nous avons au total 16 compagne d'analyse allant du 20/01/2026 au 22/04/2026. Pour les eaux brutes nous avons six paramètres : le pH, la température de l'eau (T_w : °C), l'oxygène dissous (DO :mg/L), la conductivité électrique (EC : µs/cm), NaCl (mg/l), et la turbidité de l'eau TU (NTU). Pour les eaux traitées, nous avons les mèmes paramètres en plus de Cl_2 (mg/l). Nous présentons dans le présent chapitre les traitements statistiques des données ainsi que les interprétations nécessaires à la compréhension de l'évolution de la qualité des eaux.

IV.2. Statistiques Descriptives Eau Brute

Le Tableau IV.1 présente les résultats des analyses physico chimique des eaux brutes réaliser sur plusieurs compagnes de mesure. La Figure IV.1 représente l'évolution temporelle des différentes variables de la qualité des eaux brutes. Le Tableau IV.2 présente les statistiques descriptives des principaux paramètres physico-chimiques mesurés dans les eaux brutes de la station de traitement Hammadi Krouma. Les indicateurs statistiques calculés (moyenne, médiane, minimum, maximum, écart-type, variance, coefficient d'asymétrie et coefficient d'aplatissement) permettent d'évaluer la tendance centrale, la dispersion et la distribution des données observées durant la période d'étude.

Le pH présente une valeur moyenne de 7.831± 0.077, avec des valeurs comprises entre 7.690 et 7.940. La proximité entre la moyenne (7.831) et la médiane (7.830) indique une distribution relativement symétrique. L'écart-type très faible traduit une grande stabilité du pH au cours de la période étudiée. Cette stabilité suggère que l'eau brute possède un caractère légèrement alcalin mais demeure proche de la neutralité, ce qui est favorable aux procédés de coagulation et de traitement. Le coefficient d'asymétrie négatif (Skweness = -0.459) révèle une légère concentration des valeurs vers les pH élevés, tandis que le coefficient d'aplatissement (Kurtosis = -0.543) indique une distribution plus aplatie que la loi normale.

La température moyenne enregistrée est de 14.30 °C, avec une variation comprise entre 13.10 °C et 15.60 °C. La faible différence entre la moyenne (14.30 °C) et la médiane (14.20 °C) témoigne d'une bonne homogénéité des observations. L'écart-type de 0.79 °C montre une faible fluctuation thermique durant la période de suivi. Cette stabilité est caractéristique des ressources en eau souterraines ou de surface peu exposées aux variations climatiques extrêmes. La valeur de

Skweness (0.085) proche de zéro indique une distribution presque symétrique. Le coefficient de kurtosis négatif (-1.427) traduit une distribution relativement plate, sans présence de valeurs extrêmes significatives.

Pour l'oxygène dissous (DO) La concentration moyenne en oxygène dissous est de 9.959 mg/L, avec des valeurs variantes entre 9.33 mg/L et 10.36 mg/L. L'écart-type relativement faible (0.272 mg/L) indique une bonne stabilité de l'oxygénation de l'eau brute. Les concentrations observées témoignent d'une eau bien oxygénée, favorable au maintien des équilibres biologiques et à la qualité écologique du milieu aquatique. Le coefficient d'asymétrie négatif (-0.613) suggère une légère prédominance des valeurs élevées d'oxygène dissous. La kurtosis positive mais faible (0.443) indique une distribution proche de la normale avec une légère concentration des données autour de la moyenne.

Pour la concentration en NaCl, La concentration moyenne en chlorure de sodium est de 337.647 mg/L, avec un minimum de 318 mg/L et un maximum de 358 mg/L. L'écart-type de 15.576 mg/L montre une variabilité modérée des teneurs en sels dissous. La faible différence entre la moyenne et la médiane confirme une répartition relativement homogène des données. La valeur de Skweness (0.094) indique une distribution pratiquement symétrique. La kurtosis fortement négative (-1.814) traduit une distribution aplatie, caractéristique d'une dispersion relativement uniforme des mesures.

La Conductivité électrique (EC) présente une moyenne de 696.529 µS/cm, avec des valeurs comprises entre 657 et 740 µS/cm. L'écart-type de 32.552 µS/cm et la variance de 1059.640 révèlent une variabilité modérée de la minéralisation de l'eau brute. Cette conductivité traduit une présence relativement importante de sels dissous dans l'eau. Le coefficient d'asymétrie positif (0.211) montre une légère tendance vers les fortes valeurs de conductivité. La kurtosis négative (-1.746) indique une distribution plus aplatie que la distribution normale.

La Turbidité (TU) constitue le paramètre présentant la plus forte variabilité. La valeur moyenne observée est de 18.647 NTU, avec un minimum de 10 NTU et un maximum de 30 NTU. L'écart-type relativement élevé (7.787 NTU) ainsi que la variance (60.640) traduisent des fluctuations importantes de la charge particulaire dans l'eau brute. Ces variations peuvent être attribuées à des phénomènes naturels tels que les précipitations, le ruissellement ou la remise en suspension des particules.

La Skweness positive (0.476) indique une légère asymétrie vers les fortes turbidités. La kurtosis négative (-1.766) montre une distribution relativement étalée, sans concentration excessive autour de la moyenne.

L'analyse statistique montre que le pH, la température et l'oxygène dissous présentent une excellente stabilité, témoignant d'une qualité relativement constante de l'eau brute. Les paramètres liés à la minéralisation (NaCl et EC) affichent une variabilité modérée mais restent relativement homogènes. La turbidité est le paramètre le plus variable, reflétant les fluctuations naturelles des matières en suspension dans l'eau brute. Les coefficients d'asymétrie sont tous compris entre -1 et +1, indiquant que les distributions restent proches d'une distribution normale. Les coefficients de kurtosis négatifs pour la plupart des paramètres suggèrent des distributions aplaties et l'absence de valeurs aberrantes importantes. Ainsi, les eaux brutes étudiées présentent une qualité physico-chimique globalement stable, à l'exception de la turbidité qui constitue le principal paramètre de variabilité et justifie pleinement les opérations de clarification et de filtration mises en œuvre dans la station de traitement.

Tableau IV.1. Résultats des analyses des Eaux Brute

Dates	pH	Tw (°C)	DO (mg/L)	NaCl (mg/L)	EC (µs/cm)	TU (NTU)
20/01/2026	7.800	13.600	9.820	355.000	734.000	28.000
20/01/2026	7.860	13.100	9.900	354.000	732.000	15.300
21/01/2026	7.920	13.800	9.710	356.000	738.000	13.400
22/01/2026	7.910	13.500	9.970	358.000	740.000	30.000
25/01/2026	7.830	13.300	9.980	355.000	735.000	20.600
02/02/2026	7.690	14.800	9.550	349.000	710.000	27.000
10/02/2026	7.860	14.600	10.020	324.000	671.000	28.100
18/02/2026	7.690	15.100	10.120	323.000	669.000	29.400
19/02/2026	7.830	15.300	9.330	333.000	685.000	10.000
08/03/2026	7.860	14.200	10.010	335.000	689.000	11.600
09/03/2026	7.940	14.100	10.120	332.000	682.000	12.000
10/03/2026	7.740	13.600	9.820	334.000	687.000	12.600
11/03/2026	7.820	14.700	10.360	318.000	657.000	13.700
06/04/2026	7.930	15.000	10.280	319.000	658.000	13.400
09/04/2026	7.880	15.200	10.330	320.000	660.000	10.900
12/04/2026	7.760	15.600	10.160	320.000	660.000	13.000
22/04/2026	7.800	13.600	9.820	355.000	734.000	28.000

Tableau IV.2. Statistiques descriptives des Eaux Brute

Variable	Mean	Median	Max	Min	SD	Variance	Kurtosis	Skweness
pH	7.831	7.830	7.940	7.690	0.077	0.006	-0.543	-0.459
T_w (°C)	14.300	14.200	15.600	13.100	0.790	0.624	-1.427	0.085
DO (mg/L)	9.959	9.980	10.360	9.330	0.272	0.074	0.443	-0.613
NaCl (mg/L)	337.647	334.000	358.00	318.00	15.576	242.618	-1.814	0.094
EC (µs/cm)	696.529	687.000	740.00	657.00	32.552	1059.640	-1.746	0.211
TU (NTU)	18.647	13.700	30.000	10.000	7.787	60.640	-1.766	0.476

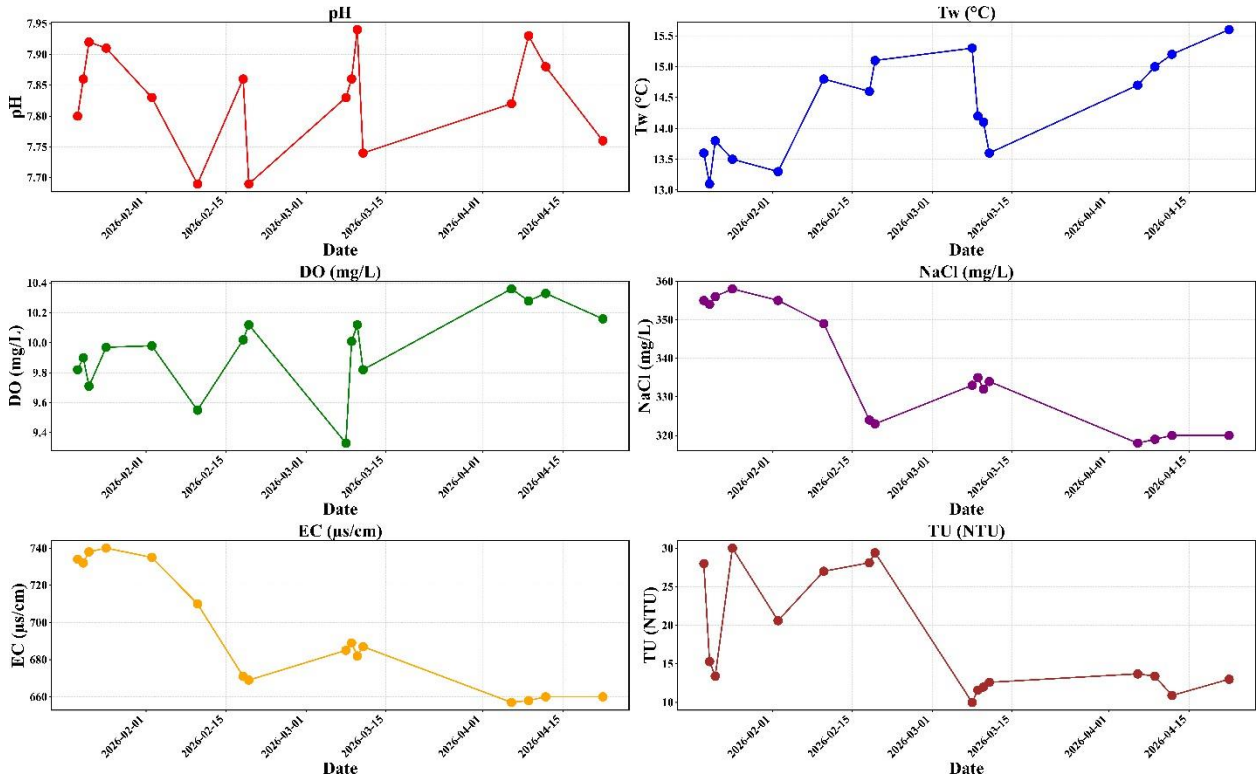


Figure IV.1. Variation Temporelle des Paramètres de la Qualité des Eaux Brute

IV.2.1. Analyse de la matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques de l'eau brute

La matrice de corrélation présentée dans la Figure IV.2 permet d'évaluer les relations linéaires entre les principaux paramètres physico-chimiques de l'eau brute : pH, température de l'eau (T_w), oxygène dissous (DO), concentration en NaCl, conductivité électrique (EC) et turbidité (TU). Le coefficient de corrélation de Pearson varie entre (-1 et +1) avec :

- $R = +1$: corrélation positive parfaite ;
- $R = -1$: corrélation négative parfaite ;

- $R = 0$: absence de relation linéaire.

Cette analyse permet d'identifier les paramètres dominants de la qualité de l'eau et de comprendre les mécanismes physico-chimiques régissant leur évolution.

IV.2.1.1. Corrélations fortes

La corrélation la plus élevée observée est : R=0.995 entre NaCl et EC. Cette valeur très proche de +1 indique une relation linéaire presque parfaite. La conductivité électrique mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique, laquelle dépend directement de la concentration des ions dissous. L'augmentation de la concentration en NaCl entraîne donc une augmentation directe du nombre d'ions mobiles dans l'eau, ce qui explique l'augmentation quasi proportionnelle de la conductivité. Cette relation confirme que :

- La minéralisation de l'eau brute est fortement contrôlée par les sels dissous;
- La conductivité peut être utilisée comme indicateur indirect de la salinité.

Cette corrélation est représentée par le cercle rouge au centre de la matrice.

IV.2.1.2. Corrélations négatives fortes

Une forte corrélation négative est observée (R=-0.806) entre la température et la conductivité électrique. La relation est classée comme forte car : $|R|>0.8$. Cette relation suggère qu'au cours de la période étudiée :

- Les périodes les plus chaudes correspondent aux eaux les moins minéralisées ;
- Les périodes les plus froides correspondent aux eaux plus concentrées en sels dissous.

Ce comportement peut être lié :

- Aux variations saisonnières ;
- Aux apports hydrologiques ;
- Aux phénomènes de dilution.

La température présente également une forte corrélation négative avec le NaCl : R=-0.787

Cette valeur indique que lorsque la température augmente, la concentration en NaCl tend à diminuer. Cette observation confirme l'interprétation précédente puisque NaCl et EC sont fortement liés.

IV.2.1.3. Corrélations modérées

Entre Oxygène dissous et NaCl (R=-0.568), une corrélation négative modérée est observée. Lorsque la salinité augmente :

- La solubilité de l'oxygène dans l'eau diminue ;
- La concentration en oxygène dissous tend donc à décroître.

Cette relation est cohérente avec les lois physico-chimiques de dissolution des gaz.

Oxygène dissous et Conductivité présente une corrélation modérée de R=−0.527, cette corrélation modérée confirme l'effet de la minéralisation sur la disponibilité de l'oxygène dissous. Les eaux plus minéralisées présentent généralement une capacité plus faible à dissoudre l'oxygène. Turbidité et Conductivité présente une corrélation modérée de (R=0.361) qui est faible à modérée mais positive. Elle indique qu'une augmentation de la charge particulaire peut être accompagnée d'une légère augmentation de la concentration en matières dissoutes. Entre la Turbidité et NaCl (r=0.353), cette relation suggère que certains épisodes de turbidité peuvent être associés à des apports de matières minérales contenant des sels dissous.

IV.2.1.4. Corrélations Faibles

Le pH présente uniquement des corrélations faibles avec tous les autres paramètres avec des valeurs allant de 0.09 à -0.348. Le pH apparaît relativement indépendant des autres variables. Cette stabilité est cohérente avec les statistiques descriptives qui ont montré une faible variabilité du pH. Le système aquatique semble bénéficier d'un pouvoir tampon suffisant pour limiter les fluctuations importantes de l'acidité. La température et Oxygène dissous (R=0.184) présentent une corrélation très faible. Contrairement aux observations généralement rapportées dans la littérature, la température ne semble pas être le facteur principal contrôlant l'oxygène dissous dans cette série de données. Oxygène dissous et Turbidité sont très faiblement corrélé (R=-0.109). Cette valeur proche de zéro indique pratiquement l'absence de relation entre les deux paramètres.

IV.2.1.5. Synthèse Environnementale

L'analyse de la matrice met en évidence trois groupes de paramètres :

- **Groupe 1 :** Paramètres de minéralisation : NaCl et EC, Ces deux paramètres sont pratiquement redondants car ils décrivent le même phénomène : la charge ionique dissoute de l'eau.
- **Groupe 2 :** Paramètres influencés par la minéralisation : Température et Oxygène dissous. Ils présentent des corrélations négatives significatives avec NaCl et EC.
- **Groupe 3 :** Paramètres relativement indépendants : pH et Turbidité. Ces paramètres évoluent selon des mécanismes différents et sont peu influencés par les variations de salinité.

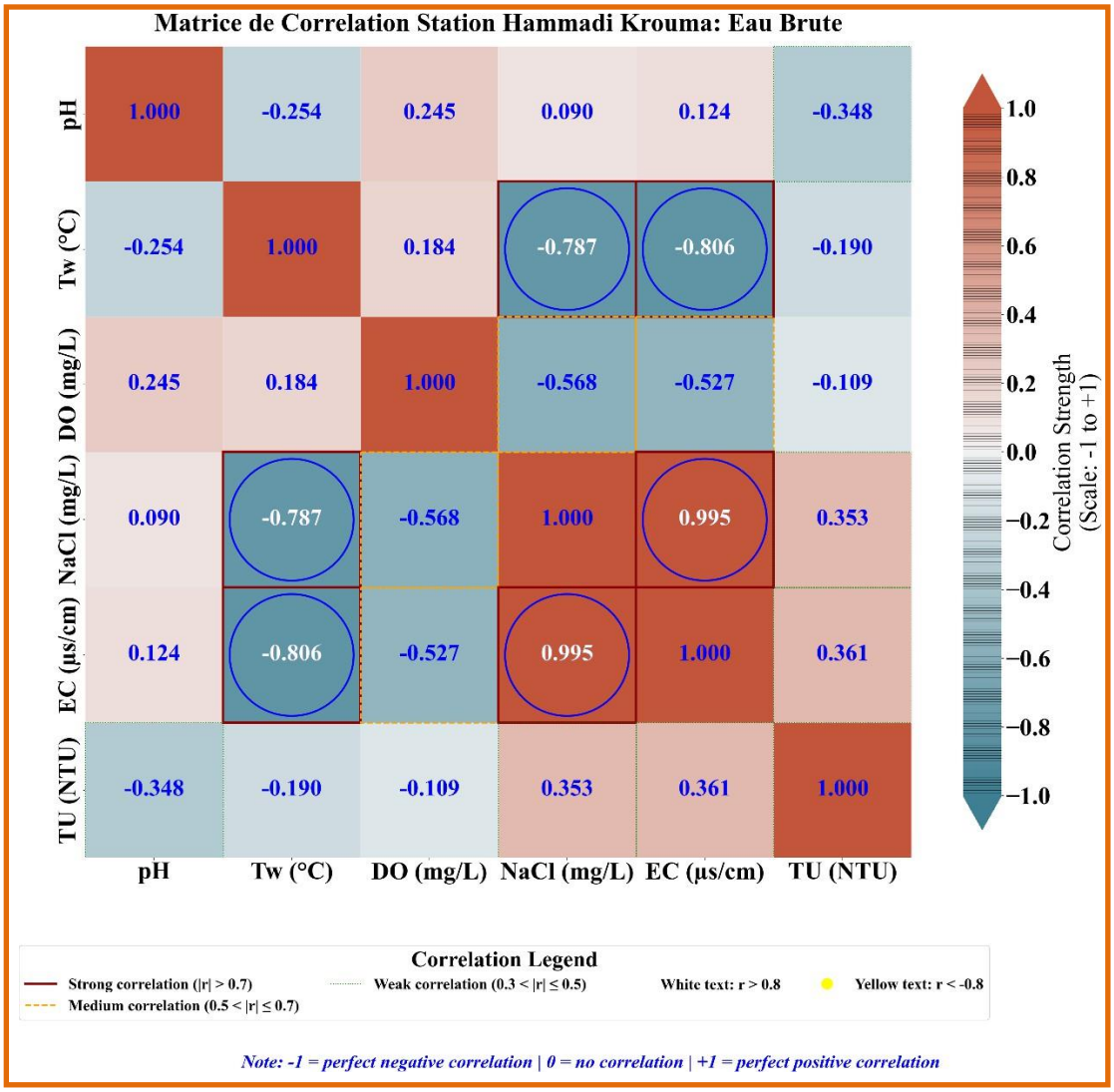


Figure IV.2. Matrice de corrélation Eaux brute.

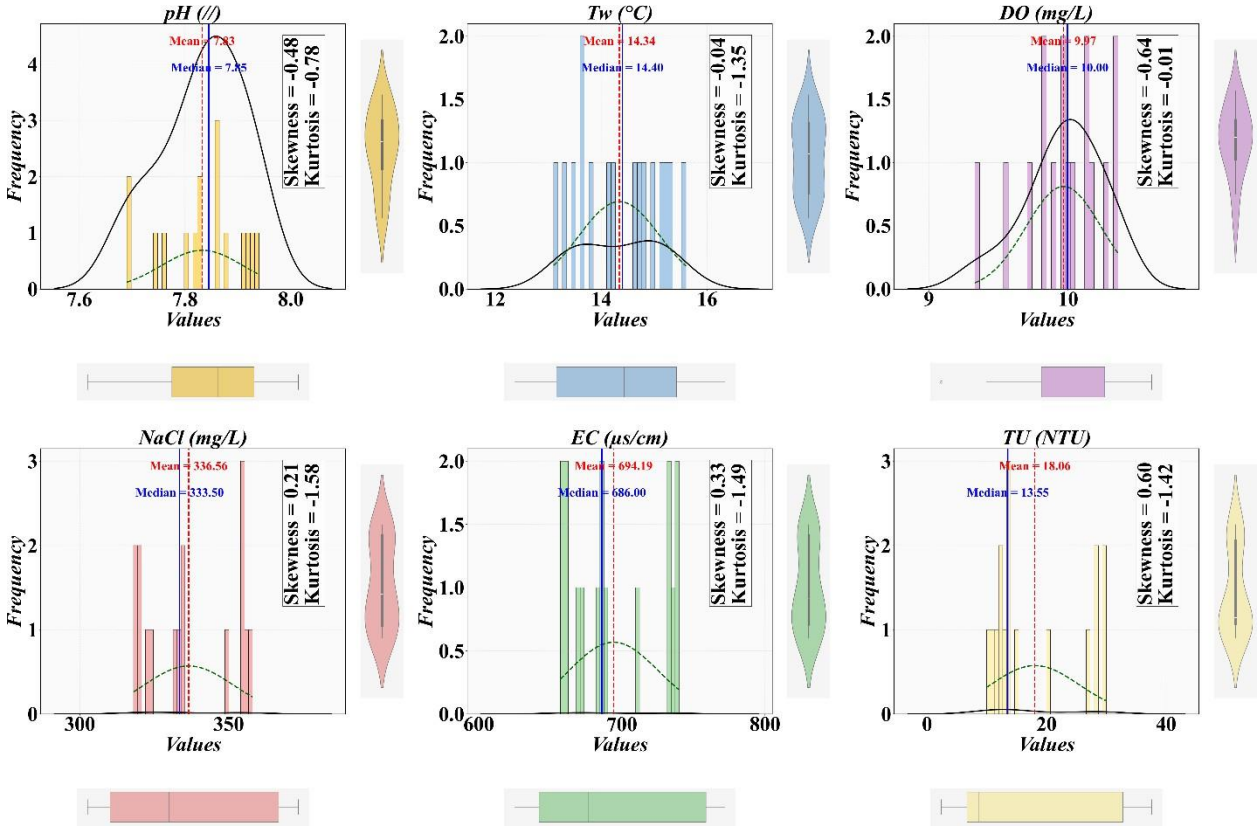
La matrice de corrélation des eaux brute révèle que la minéralisation de l'eau brute constitue le facteur dominant du système étudié. La relation extrêmement forte entre la conductivité

électrique et la concentration en NaCl (R=0.995) montre que les sels dissous contrôlent largement les caractéristiques physico-chimiques de l'eau. La température présente une influence inverse importante sur la salinité et la conductivité, tandis que l'oxygène dissous diminue lorsque la minéralisation augmente. À l'inverse, le pH et la turbidité apparaissent relativement indépendants des autres paramètres. Ces résultats suggèrent que les processus de dilution, de concentration saline et de minéralisation jouent un rôle majeur dans la dynamique de la qualité de l'eau brute de la station Hammadi Krouma.

IV.2.2. Analyse exploratoire des données Physico-Chimiques de l'eau brute

La figure des histogrammes combinés aux courbes de densité, Boxplot et diagrammes en violon (Figure IV.3) offre une représentation complète de la distribution statistique des principaux paramètres physico-chimiques de l'eau brute. Le pH présente une distribution relativement symétrique centrée autour de 7.83, avec une faible dispersion, ce qui confirme la stabilité de l'équilibre acido-basique de l'eau et l'absence de fluctuations importantes au cours de la période d'étude. La température de l'eau (T_w) montre également une faible variabilité autour d'une moyenne de 14.34 °C, avec une distribution légèrement asymétrique vers les faibles valeurs (Skweness = -0.48), traduisant une bonne homogénéité thermique du milieu. L'oxygène dissous (DO) est concentré autour de 10 mg/L, avec une asymétrie négative modérée (Skweness = -0,64), indiquant une prédominance des concentrations élevées et témoignant d'une bonne oxygénation de l'eau brute. Les distributions du NaCl et de la conductivité électrique (EC) apparaissent relativement étalées mais restent globalement homogènes, avec des coefficients d'asymétrie faibles (0.21 et 0.33 respectivement), ce qui suggère une stabilité de la minéralisation de l'eau. La forte proximité entre les valeurs moyennes et médianes de ces deux paramètres confirme l'absence de valeurs extrêmes significatives et la régularité des apports en sels dissous. En revanche, la turbidité (TU) se distingue nettement des autres variables par une dispersion plus importante, avec une moyenne de 18.06 NTU et une médiane de 13.55 NTU, ainsi qu'une asymétrie positive relativement marquée (Skweness = 0.60), indiquant la présence de plusieurs épisodes de forte turbidité ayant augmenté la moyenne générale. Cette caractéristique reflète probablement l'influence de phénomènes hydrologiques ponctuels tels que le ruissellement, les précipitations ou la remise en suspension de particules dans la ressource en eau. Les valeurs

négatives de kurtosis observées pour l'ensemble des paramètres montrent des distributions platykurtiques, plus aplaties que la distribution normale, traduisant une dispersion relativement uniforme des observations et l'absence d'événements extrêmes dominants. Les Boxplot confirment ces observations en révélant des intervalles interquartiles relativement faibles pour le pH, la température et l'oxygène dissous, tandis que la turbidité présente la plus grande étendue de variation. Les diagrammes en violon mettent également en évidence la concentration des observations autour des valeurs centrales pour la majorité des paramètres, alors que la turbidité présente une densité plus étalée. Dans l'ensemble, cette analyse graphique révèle une eau brute caractérisée par une bonne stabilité physico-chimique en termes de pH, température, oxygène dissous et minéralisation, tandis que la turbidité constitue le paramètre le plus variable et le principal indicateur des fluctuations de qualité de la ressource, ce qui justifie son importance dans les processus de traitement et de clarification mis en œuvre au sein de la station.



Figures VI.3. Interprétation des distributions statistiques des paramètres physico-chimiques de l'eau brute illustrées par les histogrammes, les Boxplot et les diagrammes en Violon

IV.3. Statistiques Descriptives Eau Traité

Le Tableau IV.3 présente les résultats des analyses physico chimique des eaux traité réaliser sur plusieurs compagnes de mesure. La Figure IV.4 représente l'évolution temporelle des différentes variables de la qualité des eaux brutes.

Tableau IV.3. Résultats des analyses des Eaux Traité

Dates	pH	Tw (°C)	DO (Mg/L)	NaCl (Mg/L)	EC (µs/cm)	Cl_2 (Mg/L)	TU (NTU)
20/01/2026	7.980	14.100	10.020	352.000	724.000	0.800	1.300
20/01/2026	8.010	14.600	10.010	352.000	725.000	0.560	1.600
21/01/2026	8.100	13.900	10.200	354.000	728.000	0.640	1.200
22/01/2026	8.220	13.800	9.980	354.000	729.000	0.750	2.800
25/01/2026	8.060	14.300	10.140	353.000	726.000	0.780	1.450
02/02/2026	7.790	13.200	9.760	350.000	716.000	0.860	2.300
10/02/2026	8.120	14.200	9.880	326.000	677.000	0.650	2.700
18/02/2026	7.790	14.500	9.530	326.000	675.000	0.900	2.300
19/02/2026	7.890	14.700	10.020	333.000	691.000	0.780	0.700
08/03/2026	7.890	14.200	9.930	337.000	694.000	0.680	0.820
09/03/2026	8.220	13.900	9.880	336.000	692.000	0.780	0.940
10/03/2026	7.860	13.600	10.220	337.000	693.000	0.820	0.750
11/03/2026	7.960	14.600	10.260	321.000	663.000	0.730	0.940
06/04/2026	8.120	15.100	10.240	320.000	662.000	0.560	0.980
09/04/2026	8.100	15.300	10.150	321.000	663.000	0.910	0.710
12/04/2026	7.890	15.600	10.080	322.000	665.000	0.750	0.840
22/04/2026	7.980	14.100	10.020	352.000	724.000	0.800	1.300

Le Tableau IV.3 présente les principales statistiques descriptives des paramètres physico-chimiques mesurés dans les eaux traitées de la station de traitement. Les résultats montrent que le traitement permet d'obtenir une eau présentant une qualité physico-chimique relativement stable et homogène. Le pH affiche une moyenne de 8.00 ± 0.14**,** avec des valeurs comprises entre 7.79 et 8.22**,** indiquant une eau légèrement alcaline et conforme aux conditions généralement recherchées après traitement. La température moyenne est de 14.35±0.63°C**,** traduisant une faible variabilité thermique au cours de la période étudiée. Les concentrations en oxygène dissous restent élevées avec une moyenne de 10.02 ± 0.20 mg/L, témoignant d'une bonne qualité de l'eau et d'une oxygénation satisfaisante. Les paramètres liés à la minéralisation, notamment le NaCl (337.13±13.51mg/L) et la conductivité électrique (695.19±26.05µS/cm), présentent une dispersion modérée et des distributions relativement homogènes. La concentration résiduelle en

chlore libre (0.75±0.11mg/L) confirme l'efficacité du processus de désinfection tout en restant dans une plage compatible avec la protection sanitaire de l'eau distribuée. La turbidité constitue le paramètre ayant subi la plus forte amélioration après traitement, avec une moyenne de seulement 1.40 NTU, contre des valeurs nettement plus élevées observées dans l'eau brute. Les coefficients d'asymétrie montrent que la majorité des paramètres présentent des distributions proches de la symétrie, tandis que les valeurs négatives de kurtosis observées pour le pH, le NaCl, l'EC, le chlore libre et la turbidité indiquent des distributions relativement aplaties et dépourvues de valeurs extrêmes importantes.

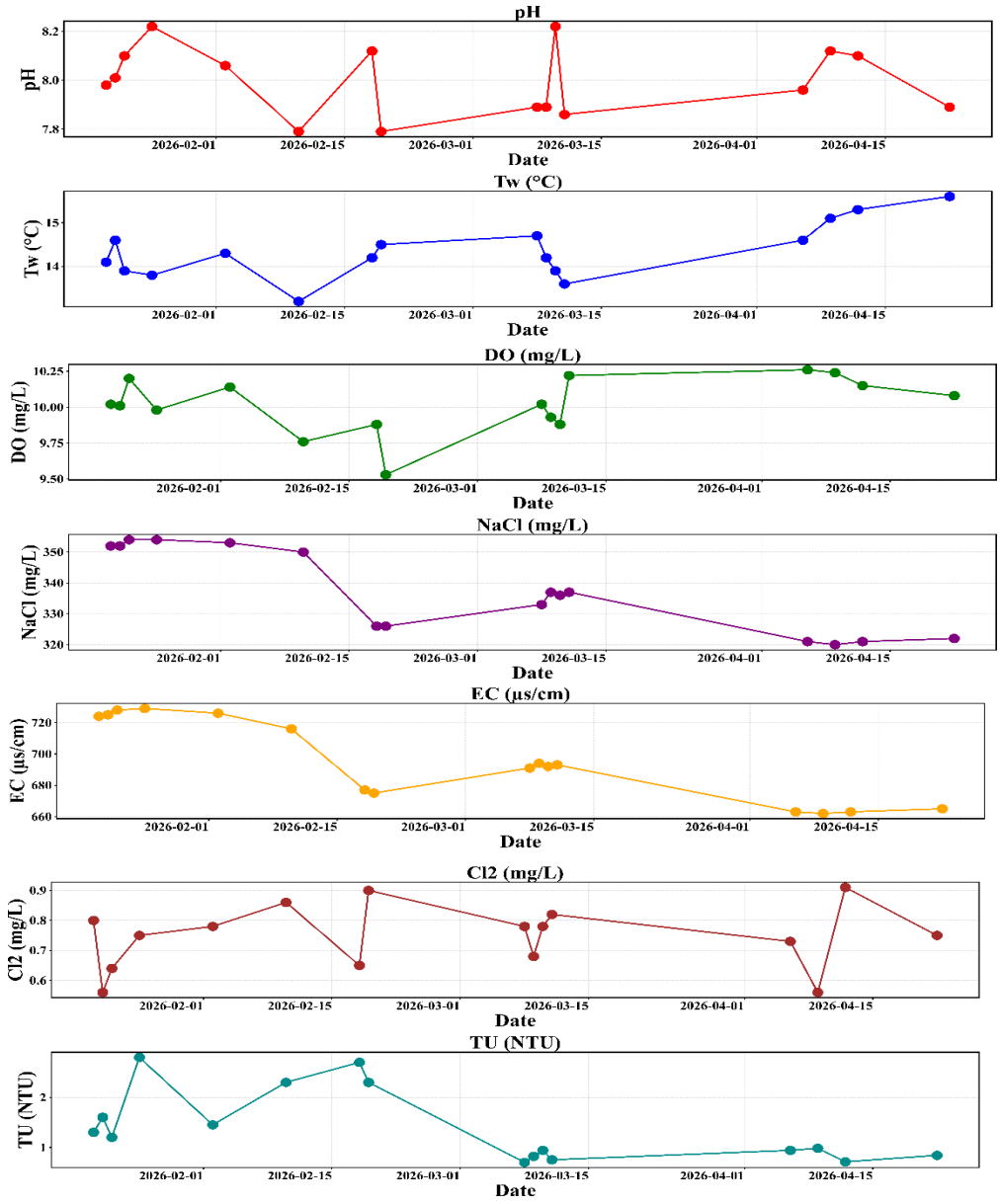


Figure IV.4. Variation Temporelle des Paramètres de la Qualité des Eaux Traité

Tableau IV.4. Statistiques descriptives des Eaux Traité

Variables	Mean	Median	Max	Min	SD	Variance	Kurtosis	Skweness
pH	8.000	7.995	8.220	7.790	0.140	0.020	-1.132	0.045
T_w (°C)	14.350	14.250	15.600	13.200	0.632	0.400	-0.072	0.300
DO (mg/L)	10.019	10.020	10.260	9.530	0.195	0.038	1.217	-0.997
NaCl (mg/L)	337.125	336.500	354.000	320.00	13.510	182.517	-1.748	0.081
EC (µs/cm)	695.188	692.500	729.000	662.00	26.049	678.563	-1.653	0.076
Cl_2 (mg/L)	0.747	0.765	0.910	0.560	0.106	0.011	-0.488	-0.345
TU (NTU)	1.396	1.090	2.800	0.700	0.730	0.533	-0.530	0.962

IV.3.1. Analyse de la matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques de l'eau traitée

La matrice de corrélation de Pearson présentée à la Figure IV.5 permet d'évaluer les relations linéaires entre les différents paramètres physico-chimiques de l'eau traitée, notamment le p, la température (Tw), l'oxygène dissous (DO), le NaCl, la conductivité électrique (EC), le chlore résiduel libre (Cl_2) et la turbidité (TU). Les coefficients de corrélation varient entre -1 et +1, où les valeurs positives indiquent une évolution simultanée des variables tandis que les valeurs négatives traduisent des évolutions opposées. L'analyse met en évidence plusieurs relations significatives reflétant les mécanismes physico-chimiques intervenant après les différentes étapes de traitement et de désinfection.

IV.3.1.1. Corrélations fortes Eau Traité

La corrélation positive la plus remarquable est observée entre la concentration en NaCl et la conductivité électrique (EC) avec un coefficient de : R=0.997. Cette valeur, très proche de l'unité, indique une relation quasi parfaite entre ces deux paramètres. Cette forte corrélation s'explique par le fait que la conductivité électrique dépend directement de la quantité d'ions dissous présents dans l'eau. Les ions sodium (Na^+) et chlorure (Cl^-), issus du NaCl, contribuent fortement à la conduction électrique. Ainsi, toute augmentation de la concentration en sels dissous entraîne une augmentation proportionnelle de la conductivité. Cette relation confirme que la minéralisation de l'eau traitée demeure principalement contrôlée par les sels dissous et que la conductivité peut être utilisée comme un excellent indicateur indirect de la salinité résiduelle de l'eau après traitement

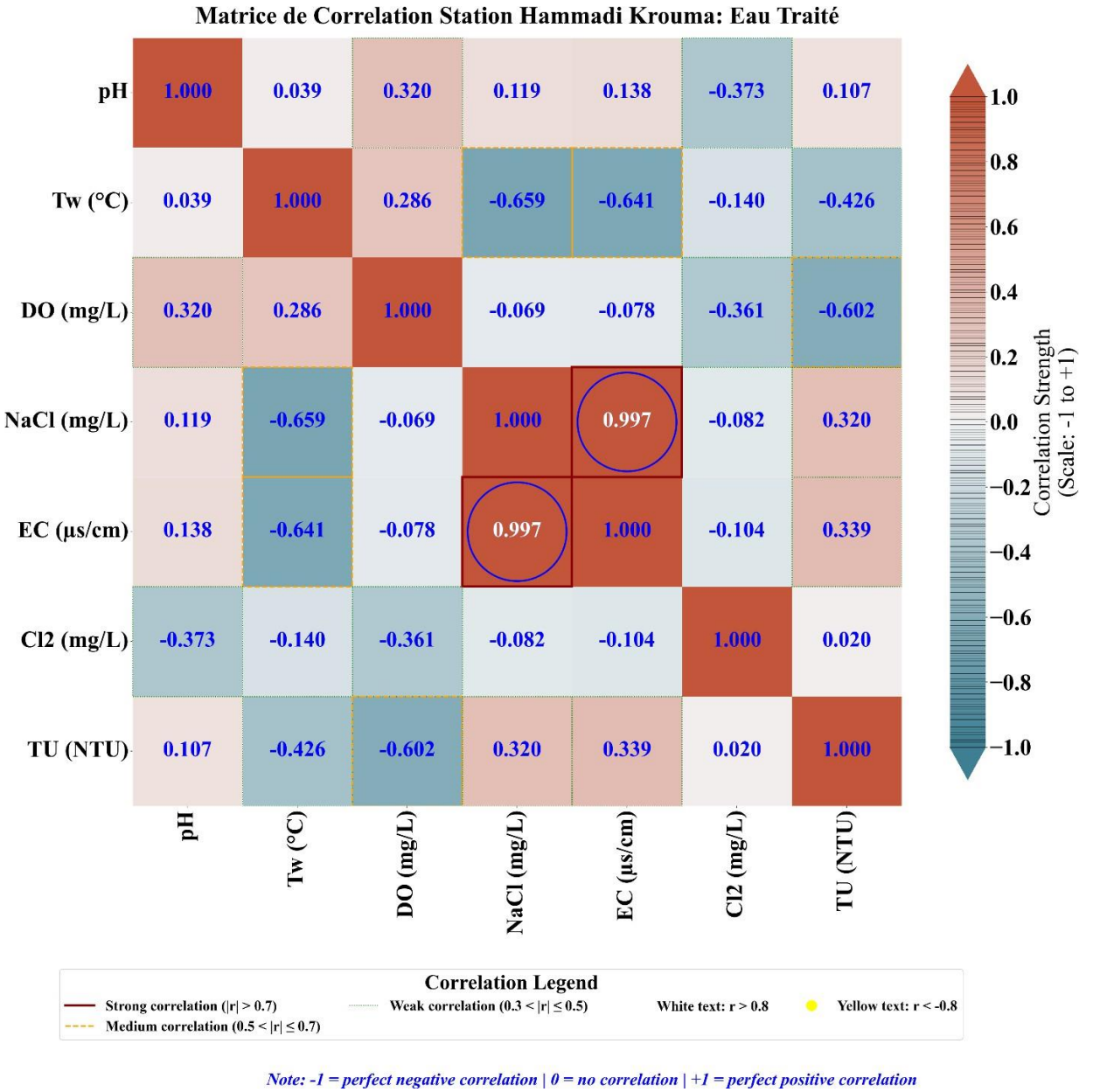


Figure IV.5. Matrice de corrélation Eaux traité

IV.3.1.2. Corrélations négatives fortes Eau Traité

Plusieurs corrélations négatives importantes sont observées dans l'eau traitée. La première concerne la relation entre la température (Tw) et le NaCl : R=-0.659. Cette corrélation négative modérément forte indique que les périodes caractérisées par des températures plus élevées correspondent généralement à des concentrations plus faibles en sels dissous. Une relation

similaire est observée entre la température et la conductivité électrique : *R*=-0.641. Cette tendance suggère que les variations thermiques sont associées à des phénomènes de dilution ou à des modifications de la composition ionique de l'eau. Une autre corrélation négative notable concerne l'oxygène dissous (DO) et la turbidité (TU) : *R*=-0.602. Cette relation indique que lorsque la turbidité augmente, la concentration en oxygène dissous tend à diminuer. Ce phénomène peut être attribué à la présence de particules en suspension susceptibles de limiter les échanges gazeux ou d'accroître la consommation biologique d'oxygène. Le chlore résiduel présente également des corrélations négatives avec le pH : *R*=-0.373 et avec l'oxygène dissous : R=-0.361. Ces valeurs restent modérées mais traduisent l'influence des réactions de désinfection sur les caractéristiques chimiques de l'eau

IV.3.1.3. Corrélations modérées Eau Traité

Plusieurs corrélations modérées sont mises en évidence. La turbidité présente une corrélation positive avec le NaCl : *R*=0.320 et avec la conductivité électrique : *R*=0.339. Ces résultats indiquent qu'une légère augmentation des matières en suspension peut être associée à une augmentation de la charge minérale dissoute. Le pH montre également une corrélation positive modérée avec l'oxygène dissous : R=0.320, cette relation suggère que les eaux les mieux oxygénées tendent à présenter des valeurs de pH légèrement plus élevées. Par ailleurs, la température et la turbidité présentent une corrélation négative modérée : *R*=-0.426 indiquant une tendance à la diminution de la turbidité lorsque la température augmente

IV.3.1.4. Corrélations Faibles Eau Traité

La majorité des autres coefficients de corrélation demeurent faibles et proches de zéro, traduisant une faible dépendance entre les paramètres concernés. Le pH apparaît relativement indépendant de la température : *R*=0.039 ainsi que du NaCl : *R*=0.119 et de la conductivité : R=0.138. L'oxygène dissous présente également des corrélations très faibles avec le NaCl : R=-0.069 et avec la conductivité : *R*=-0.078. Le chlore résiduel montre peu de relation avec la conductivité : *R*=-0.104 et avec le NaCl : R=-0.082. Enfin, la corrélation entre le chlore résiduel et la turbidité est pratiquement nulle : *R*=0.020, ce qui indique l'absence d'interaction significative entre ces deux paramètres dans les eaux traitée

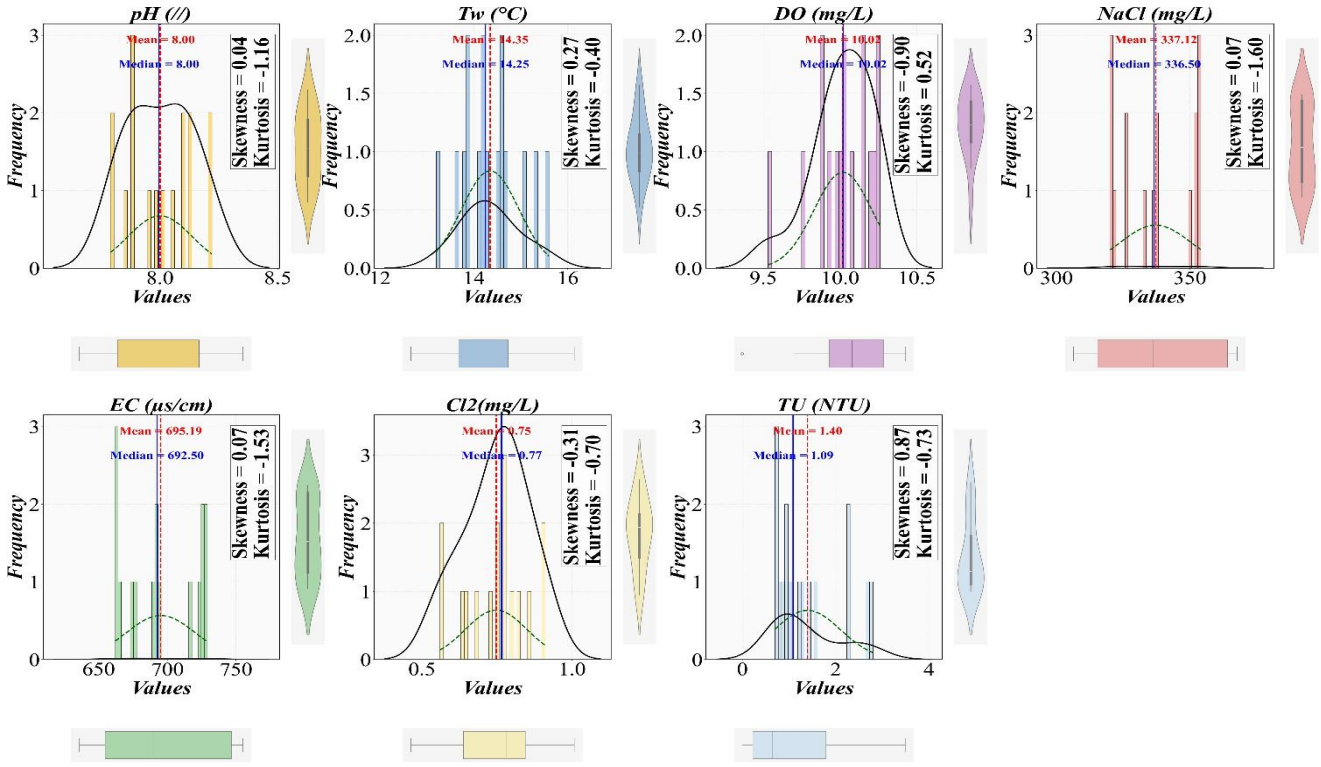
IV.3.1.5. Synthèse Environnementale

L'analyse de la matrice de corrélation montre que la qualité de l'eau traitée est dominée par les paramètres de minéralisation, représentés principalement par le NaCl et la conductivité électrique, dont la corrélation quasi parfaite (R = 0.997) confirme leur forte interdépendance. Les corrélations négatives observées entre la température et les paramètres de minéralisation indiquent que les variations thermiques influencent indirectement la concentration en sels dissous. La relation négative relativement forte entre l'oxygène dissous et la turbidité (R= -0.602) souligne l'importance du contrôle des matières en suspension pour maintenir une bonne qualité physico-chimique de l'eau. Le chlore résiduel, essentiel à la désinfection, demeure globalement indépendant des autres paramètres, ce qui témoigne d'une maîtrise satisfaisante du procédé de chloration. Comparativement à l'eau brute, les corrélations observées dans l'eau traitée apparaissent moins nombreuses et généralement plus faibles, traduisant l'effet stabilisateur du traitement sur les caractéristiques physico-chimiques de l'eau. Dans l'ensemble, les résultats confirment que la station Hammadi Krouma produit une eau traitée homogène, stable et conforme aux objectifs de qualité requis pour l'alimentation en eau potable.

IV.3.2. Analyse exploratoire des données Physico-Chimiques de l'eau Traité

La Figure IV.6 présente une analyse exploratoire détaillée des principaux paramètres physico-chimiques de l'eau traitée à travers des histogrammes, des courbes de densité, des Boxplot et des diagrammes en violon, permettant d'évaluer simultanément leur tendance centrale, leur dispersion et leur distribution statistique. Les résultats montrent que le pH est remarquablement stable avec une moyenne de 8.00 et une médiane identique, traduisant une excellente homogénéité de l'équilibre acido-basique après traitement. La faible asymétrie positive (Skewness=0.04) et la kurtosis négative (-1.16) indiquent une distribution pratiquement symétrique et relativement aplatie, sans présence de valeurs extrêmes significatives. La température de l'eau (T_w) présente également une faible variabilité autour d'une moyenne de 14.35°C, avec une distribution légèrement asymétrique vers les valeurs élevées (Skewness = 0.27), tandis que sa kurtosis proche de zéro (-0.40) suggère une répartition relativement proche d'une distribution normale. L'oxygène dissous (DO) affiche une moyenne de 10.02 mg/L et une médiane de 10,02 mg/L, témoignant d'une excellente stabilité et d'une bonne oxygénation de l'eau distribuée. Sa distribution présente une asymétrie négative modérée (Skewness = -0.52),

indiquant une légère prédominance des concentrations élevées, ce qui constitue un indicateur favorable de la qualité de l'eau traitée. Les paramètres de minéralisation, à savoir le NaCl et la conductivité électrique (EC)**,** présentent des distributions très homogènes avec des coefficients d'asymétrie proches de zéro (0.07 pour NaCl et 0.07 pour EC), confirmant la stabilité des teneurs en sels dissous au cours de la période étudiée. Les faibles écarts entre les moyennes et les médianes de ces deux paramètres indiquent l'absence de fluctuations importantes de la minéralisation résiduelle après traitement. Le chlore résiduel libre (Cl_2) présente une moyenne de 0.75 mg/L et une médiane de 0.77 mg/L, avec une légère asymétrie négative (Skewness = -0.31), traduisant une bonne maîtrise du processus de désinfection et une distribution relativement équilibrée des concentrations de chlore dans le réseau. La turbidité (TU) demeure le paramètre le plus variable malgré sa faible valeur moyenne de 1.40 NTU, avec une asymétrie positive relativement marquée (Skewness = 0.87), indiquant la présence de quelques épisodes de turbidité plus élevée qui augmentent la moyenne générale. Toutefois, les valeurs observées restent largement inférieures à celles de l'eau brute, confirmant l'efficacité des étapes de coagulation, floculation, décantation et filtration.



Figures VI.6. Interprétation des distributions statistiques des paramètres physico-chimiques de l'eau traité illustrées par les histogrammes, les Boxplot et les diagrammes en Violon

Les diagrammes en violon mettent en évidence une forte concentration des observations autour des valeurs centrales pour la majorité des paramètres, tandis que les Boxplot révèlent des intervalles interquartiles relativement réduits et l'absence d'anomalies majeures. Les valeurs négatives de kurtosis observées pour le pH, le NaCl, l'EC, le chlore libre et la turbidité indiquent des distributions platykurtiques, caractérisées par une dispersion modérée et une faible occurrence de valeurs extrêmes. Dans l'ensemble, cette analyse exploratoire démontre que l'eau traitée présente une excellente stabilité physico-chimique, une faible variabilité temporelle et une homogénéité remarquable des principaux paramètres de qualité, attestant de la performance et de la régularité du procédé de traitement mis en œuvre à la station Hammadi Krouma.

IV. 4. Rendement d'élimination de la Turbidité

Le rendement d'élimination de la turbidité se calcule par la formule :

$$R(\%) = \frac{TU_{Brute} - TU_{Traité}}{TU_{Brute}} \times 100$$

Les résultats d'élimination de la turbidité sont reportés dans le Tableau IV.5.

Tableau IV.5. Rendement d'élimination de la turbidité

DATES	R (%)
20/01/2026	95.3571
21/01/2026	89.5425
22/01/2026	91.0448
25/01/2026	90.6667
02/02/2026	92.9612
10/02/2026	91.4815
18/02/2026	90.3915
19/02/2026	92.1769
08/03/2026	93.0000
09/03/2026	92.9310
10/03/2026	92.1667
11/03/2026	94.0476
06/04/2026	93.1387
09/04/2026	92.6866
12/04/2026	93.4862
22/04/2026	93.5385

L'analyse des rendements d'élimination de la turbidité montre que la station de traitement présente une performance globalement très élevée et remarquablement stable tout au long de la période étudiée. Les rendements enregistrés varient entre 89.54 % et 95.36 %**,** avec une moyenne d'environ 92.5 %**,** ce qui témoigne d'une excellente efficacité des opérations de coagulation, floculation, décantation et filtration mises en œuvre au sein de la station. Les valeurs les plus faibles sont observées durant la période hivernale, notamment le 21 janvier 2026 (89.54 %) et le 18 février 2026 (90.39 %)**,** tandis que les rendements les plus élevés sont enregistrés au début et à la fin de la période d'étude, avec un maximum de 95.36 % le 20 janvier 2026 et des valeurs supérieures à 93 % durant plusieurs campagnes de mesure du printemps. Cette légère variabilité peut être associée aux fluctuations saisonnières des caractéristiques de l'eau brute. Durant la saison hivernale, les épisodes pluvieux augmentent généralement le ruissellement et le transport de particules fines vers la ressource en eau, entraînant une augmentation de la charge en matières en suspension et une plus grande variabilité granulométrique des particules. Ces conditions peuvent réduire légèrement l'efficacité des procédés de clarification en raison d'une demande accrue en coagulants et d'une plus forte sollicitation des unités de décantation et de filtration. À l'inverse, l'amélioration progressive des rendements observée au cours du printemps peut être attribuée à une stabilisation des conditions hydrologiques, à une diminution des apports particulaires liés aux précipitations ainsi qu'à une meilleure maîtrise des paramètres opérationnels du traitement. Malgré ces variations saisonnières, les rendements demeurent constamment supérieurs à 89 %, ce qui démontre la robustesse du procédé face aux changements de qualité de l'eau brute. La faible amplitude de variation des rendements indique également une bonne adaptation de l'exploitation de la station aux fluctuations saisonnières de la ressource. D'un point de vue environnemental et sanitaire, cette efficacité élevée est particulièrement importante puisque la réduction de la turbidité contribue non seulement à améliorer l'aspect esthétique de l'eau, mais également à limiter le transport de microorganismes, de matières organiques et de contaminants associés aux particules en suspension. Les résultats obtenus confirment ainsi que la station Hammadi Krouma assure un abattement très performant de la turbidité tout au long des différentes saisons, garantissant une eau traitée de qualité stable et conforme aux exigences de production d'eau potable.

IV.5. Conclusion

L'analyse des paramètres physico-chimiques des eaux brutes et des eaux traitées de la station Hammadi Krouma a permis d'évaluer l'évolution de la qualité de l'eau tout au long du processus de traitement et de vérifier l'efficacité des différentes opérations mises en œuvre. Les résultats obtenus montrent que les eaux brutes présentent une qualité relativement stable en termes de pH, de température, d'oxygène dissous, de salinité et de conductivité électrique, tandis que la turbidité constitue le paramètre le plus variable, reflétant l'influence des conditions hydrologiques et des apports particulaires saisonniers. Les analyses statistiques descriptives, les histogrammes et les matrices de corrélation ont mis en évidence une forte relation entre la conductivité électrique et la concentration en NaCl, confirmant le rôle dominant de la minéralisation dans la caractérisation des eaux étudiées. Après traitement, les paramètres physico-chimiques présentent une plus grande homogénéité et une variabilité réduite, traduisant l'efficacité des procédés de coagulation, floculation, décantation, filtration et désinfection. Le pH demeure stable autour de la neutralité légèrement alcaline, l'oxygène dissous reste élevé et les concentrations en chlore résiduel assurent une désinfection satisfaisante de l'eau produite. Les résultats montrent également que les procédés conventionnels de traitement influencent peu la charge ionique dissoute, comme en témoignent les faibles variations observées pour le NaCl et la conductivité électrique. L'évaluation du rendement d'élimination de la turbidité révèle des performances particulièrement élevées, avec des taux d'abattement compris entre 89.54 % et 95.36 %, pour une moyenne supérieure à 92 %. Malgré de légères fluctuations saisonnières liées aux variations de la qualité de l'eau brute, la station maintient une efficacité remarquable tout au long de la période d'étude. Ces résultats confirment la robustesse du procédé de traitement et démontrent que la station Hammadi Krouma est capable de produire une eau traitée de qualité stable, répondant aux exigences de sécurité sanitaire et aux objectifs de protection de la santé publique.

Conclusion Générale

Au terme de cette étude réalisée au niveau de la station de traitement des eaux de Hammadi Krouma Wilaya de Skikda, les résultats obtenus ont permis d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux brutes et des eaux traitées ainsi que les performances globales du procédé de traitement. Les analyses statistiques, les études de corrélation et les différentes approches d'exploration des données ont montré que les eaux brutes présentent une qualité globalement stable, à l'exception de la turbidité qui demeure le paramètre le plus variable sous l'effet des conditions hydrologiques et saisonnières. Après traitement, une nette amélioration de la qualité de l'eau a été observée, notamment à travers la réduction significative de la turbidité et la stabilisation des principaux paramètres physico-chimiques. Les rendements d'élimination de la turbidité, compris entre 89.54 % et 95,36 %, avec une moyenne supérieure à 92 %, témoignent de l'efficacité des différentes étapes de traitement mises en œuvre au sein de la station.

Les résultats obtenus soulignent toutefois l'importance stratégique de l'étape de coagulation-floculation, qui constitue le cœur du procédé de clarification. L'efficacité de cette étape dépend directement de la nature et de la qualité de l'eau brute ainsi que de la dose de coagulant appliquée. Une détermination plus rigoureuse et plus dynamique de la dose optimale de coagulant, basée sur des essais réguliers de Jar-Test et sur le suivi continu de la qualité de l'eau brute, permettrait d'améliorer davantage les performances du traitement tout en réduisant les coûts d'exploitation liés à la consommation de réactifs. Par ailleurs, les évolutions actuelles dans le domaine du traitement des eaux rendent nécessaire une modernisation progressive des systèmes de contrôle et de pilotage de la station. L'automatisation des procédés, associée à l'intégration de capteurs en ligne et de systèmes de supervision performants, permettrait un ajustement en temps réel des doses de réactifs et une meilleure réactivité face aux variations de la qualité de l'eau brute. Une telle approche contribuerait à améliorer la stabilité des performances de traitement, particulièrement lors des épisodes de forte turbidité observés en période hivernale.

Il apparaît également souhaitable d'élargir le programme de surveillance en augmentant le nombre de paramètres analysés. En complément des paramètres physico-chimiques étudiés, le suivi régulier de paramètres tels que le carbone organique total (COT), l'alcalinité, les matières organiques naturelles, les métaux traces, les sous-produits de désinfection et certains indicateurs microbiologiques permettrait d'obtenir une vision plus complète de la qualité de l'eau et du fonctionnement des procédés.

De même, l'augmentation de la fréquence et du nombre d'échantillonnages au cours de l'année permettrait de mieux caractériser les variations saisonnières de la ressource et d'affiner les stratégies d'exploitation de la station. Le renforcement de l'instrumentation analytique et l'utilisation d'outils numériques d'aide à la décision constitueraient également des leviers importants pour améliorer les performances opérationnelles et la fiabilité du suivi. En perspective, le développement d'une gestion intelligente basée sur l'automatisation, l'instrumentation en continu, l'optimisation des doses de coagulants et l'analyse avancée des données représente une voie prometteuse pour améliorer davantage le rendement d'élimination des polluants, renforcer la sécurité sanitaire de l'eau produite et assurer une exploitation durable et performante de la station de traitement des eaux de Hammadi Krouma.

Références Bibliographiques

1.AIDE (2026). Association intercommunale pour le démergement et l'épuration des communes de la province de Liège. Pollution des eaux. https://www.aide.be/epuration/pollution-des-eaux.

2.Alia, S., Athamnia, W., & Derdech, S. (2018). *Évaluation de la qualité bactériologique et physicochimique des eaux de sources d'Ain Djamel et d'Ain Souda (Wilaya Guelma).* Université 8 Mai 1945 – Guelma P 21.

3.Bastami, T. R., & Entezari, M. H. (2012). Activated carbon from carrot dross combined with magnetite nanoparticles for the efficient removal of p-nitrophenol from aqueous solution. Chemical Engineering Journal, 210, P 510-519.

4 . Belghitim, C. B. (2013). Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quaternaire dans la région de Meknès (Maroc). LARHYSS Journal, P 21-36.

5. Ben Kaddour, B. (2018). Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Cheliff (Algérie). [En ligne] Thèse de doctorat en Chimie. Perpignan: Université de Perpignan, 193 p. Format PDF. Disponible sur : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01955103/document (consulté le 10/03/2020).

6.Berne, F., & Jean, F. (1991). Étude sur les éléments minéraux présents dans l'eau et leur rôle dans la santé humaine [Rapport technique].

7.Boeglin, J. C. (2009). Propriétés des eaux naturelles. Techniques de l'ingénieur, traité environnement, G1.110 P

8.Bordet, J. (2007). L'eau dans son environnement rural : Hydraulique et cycle de l'eau, l'alimentation en eau potable, l'assainissement des agglomérations. Éditions Johanet. (ISBN 978-2-900086-71-1).

9.Boualem, R. (2009). Contribution à l'étude de la qualité des eaux des barrages. Article de recherche, P. 20-33.

10.Chelli, L., & Djouhri, N. (2013). Analyses des eaux de réseau de la ville de Bejaia et évaluation de leur pouvoir entartrant [Mémoire de magister, Université Abderrahmane Mira – Bejaia].

11. Degremont. (2005). Mémento technique de l'eau (Tome 1, 2ème éd.). Paris.

12.Desjardins R. (1997). Le traitement des eaux. 2 ème édition revue et améliorée.288p. Université 20 Août 1955 Skikda, Mémoire de master

13.Drever, J. I. (1997). The Geochemistry of Natural Waters (3rd ed.). Prentice Hall.

14.Eckenfelder, W. (1982). Gestion des eaux usées urbaines et industrielles. Tec & Doc Lavoisier.503 P

15.Emerson, D., Fleming, E. J., & McBeth, J. M. (2010). Iron-oxidizing bacteria: An environmental and genome perspective. Annual Review of Microbiology, 64, 561-583. https://doi.org/10.1146/annurev.micro.112408.134208

16.Gaid, K. (1988). Traitement des eaux potables : Qualité des eaux et clarification. Série Technique de l'ingénieur,P 9-10.

17. Guergazi, S., & Achour, S. (2005). Caractéristiques physico-chimiques des eaux d'alimentation de la ville de Biskra. Pratique de la chloration. Larhyss Journal, (4), 119-127.2.

18. Hamed, M., Guettache, A., & Bouamer, L. (2012). Étude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage Djorf-Torba (Bechar) [Mémoire de fin d'étude, Université de Bechar].

Heddam, S. (2012). *Contribution à la modélisation de la qualité des eaux.* Thèse de doctorat, ENSA Alger.

19. Kettab, A. (1992). Traitement des eaux, les eaux potables. Office des Publications Universitaires (OPU).

20. Legube, B. (2015). Coagulation et floculation dans le traitement des eaux. Techniques de l'Ingénieur.

21. Legube, B. (2015). Production d'eau potable : Filières et procédés de traitement. Dunod.

22. Legube, B. (2025). Techniques de l'ingénieur : Traitement des eaux – Coagulation et floculation. Techniques de l'Ingénieur.

23. Lounnas, A. (2008). Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station Hamadi-Krouma de Skikda, Algérie [Mémoire de magister, Université du 20 Août 1955 Skikda].P 120.

24.Makhoukh, M., Sbaa, M., Berrahou, A., &Clooster Van M. (2011). Contribution à L'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'Oued Moulouya (Maroc oriental). Larhyss Journal, no 09, 149-169 p.

25. Manahan, S. E, (2005), Origines et quantités en eaux souterraines sur la Terre. Récupéré sur lenntech: https://www.lenntech.fr/eaux-souterraines/origine.htm.

26. Merabet S. (2010). Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux brutes et Distribuées du barrage réservoir de béni Haroun. Mémoire de magister chimie analytique. Université Mentouri de Constantine. 165p.

27. Molinie, L. (2009). Dispositifs rustiques d'alimentation et de traitement de l'eau potable pour des services de petites tailles en régions défavorisées. Agro Paris Tech.Montpellier, Ced.

28.Paul, E. (1998). Qualité chimique de l'eau potable : Effets des chlorures sur la santé [Rapport technique].

29.Pène, P., Lévi, Y., Bazex, M. M. J., Dreux, C., Gentilini, M., Jaffiol, C., ... & Oliver, J. L. (2011). Les eaux de consommation humaine et la Santé publique en France métropolitaine. Bulletin de l'Académie nationale de médecine, 195(2), 403-429.

30. Rodier, J. (1996). L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, pollution

31. Rodier, (2009), L'analyse de l'eau, 9ème Ed. Dunod., Paris, France

32.Sarn, M., O'Reilly, K., & Dillingham, R. (2014). Effectiveness of point-of-use chlorination products in inactivating Escherichia coli (E. coli) in drinking water: Results from laboratory testing. Water Quality Research Journal, 49(1), 45–53.

33.Savary. (2010). Guide des analyses de la qualité de l'eau. Éditions Territorial Voiron.France.

34.Schuddeboom, J. (1993). Nitrates et nitrites dans les denrées alimentaires. Éditions du Conseil de l'Europe.Strasbourg.

35.SegbeaYa, K. N. (2012). Evaluation de l'impact des déchets ménagers de la ville de Kara (Togo) sur la qualité de la rivière Kara. Thèse de doctorat en Chimie et Microbiologie de l'eau. Lomé : École doctorale, Science - Technique - Santé. 204p

36.Stumm, W., & Morgan, J. J. (1996). Aquatic Chemistry (3rd ed.). Wiley.

37. Tardat, (1992) . Mémoire de Université Constantine 1 Frères Mentouri.

38.Wilknison, K., Reinhardt, A., & Buffle, J. (2001). Determining some of the roles of natural organic matter based upon its physiochemical structure. 4e congrès International Gruttee, 22-23 Novembre.Limo.

Nom et Prénom : Laib Manel
Nom et Prénom : Remita Hassna
Nom et Prénom : Boudellioua Ines
Nom et Prénom : Ouelbani Ouiam

Titre : ***Suivi et Contrôle de la Qualité des Eaux au Niveau de la Nouvelle Station de Traitement d'Eau Potable de la Ville de Skikda : Evaluation et Optimisation du Procédé de Coagulation-Floculation en Comparison avec l'Ancienne Station***

Résumé :
Cette étude vise à évaluer et à contrôler la qualité des eaux destinées à la consommation humaine au niveau de la nouvelle station de traitement de Hamadi Krouma (Skikda), à travers l'analyse des différentes étapes de traitement et la vérification de leur efficacité dans l'amélioration de la qualité de l'eau et sa conformité aux normes sanitaires en vigueur. Elle vise également à évaluer l'efficacité des procédés de coagulation et de floculation dans l'élimination de la turbidité et des matières en suspension ainsi qu'à étudier leur impact sur les caractéristiques physico-chimiques de l'eau produite.

L'étude s'est basée sur la réalisation d'analyses physico-chimiques des eaux brutes et des eaux traitées, portant notamment sur la mesure du pH, de la température, de la conductivité électrique, de la turbidité et des matières en suspension, ainsi que sur le suivi de certains paramètres essentiels utilisés dans le contrôle de la qualité des eaux potables. Des essais de coagulation-floculation ont également été réalisés à l'aide du Jar-Test afin de déterminer la dose optimale du coagulant et d'améliorer le rendement du traitement.

Les résultats obtenus ont montré une amélioration significative de la qualité de l'eau après les différentes étapes de traitement, avec une réduction importante de la turbidité. Les analyses ont révélé que la majorité des paramètres étudiés respectent les limites fixées par les normes nationales et internationales relatives à l'eau potable. Les essais de Jar-Test ont confirmé l'efficacité des procédés de coagulation et de floculation dans l'élimination des matières en suspension et l'amélioration de la clarification de l'eau, contribuant ainsi à l'augmentation de la performance du système de traitement.

Les résultats de cette étude soulignent l'importance du contrôle périodique et des analyses régulières des paramètres de qualité en tant qu'outil essentiel pour garantir la sécurité sanitaire de l'eau distribuée et protéger la santé publique. Ils mettent également en évidence la nécessité d'une amélioration continue des conditions d'exploitation et d'un suivi permanent des différentes étapes du traitement afin d'assurer une production durable d'eau potable de haute qualité.
Mots-Clés :
Qualité de l'eau, Eau potable, Station de Hamadi Krouma skikda, Traitement des eaux, Coagulation, Floculation, Jar-Test, Turbidité, Contrôle de qualité, Analyses physico-chimiques.

ملخص:
تهدف هذه الدراسة إلى تقييم ومراقبة جودة المياه الصالحة للشرب بمحطة المعالجة الجديدة حمادي كرومة بولاية سكيكدة، من خلال دراسة مختلف مراحل المعالجة والتحقق من مدى فعاليتها في تحسين نوعية المياه وضمان مطابقتها للمعايير الصحية المعتمدة، كما تهدف إلى تقييم كفاءة عمليات التخثير والتلبيد في إزالة العكارة والمواد العالقة ودراسة تأثيرها على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمياه المنتجة. اعتمدت الدراسة على إجراء مجموعة من التحاليل الفيزيائية والكيميائية للمياه الخام والمياه المعالجة شملت قياس درجة الحموضة ودرجة الحرارة والتوصيلية الكهربائية والعكارة والمواد العالقة بالإضافة إلى متابعة بعض المؤشرات الأساسية المستعملة في مراقبة جودة مياه الشرب، كما تم إنجاز اختبارات التخثير والتلبيد باستعمال جهاز الجار لتحديد الجرعة المثلى للمخثر وتحسين مردودية المعالجة. أظهرت النتائج المتحصل عليها تحسنًا ملحوظًا في جودة المياه بعد مختلف مراحل المعالجة حيث سجلت قيم العكارة انخفاضًا كبيرًا كما بينت التحاليل أن معظم المؤشرات المدروسة تقع ضمن الحدود المسموح بها وفق المعايير الوطنية والدولية الخاصة بمياه الشرب،، وقد أثبتت اختبارات الجار فعالية عمليتي التخثير والتلبيد في إزالة المواد العالقة وتحسين صفاء المياه مما ساهم في رفع كفاءة نظام المعالجة بالمحطة. وتؤكد نتائج هذه الدراسة أهمية المراقبة الدورية والتحاليل المنتظمة لمختلف مؤشرات الجودة باعتبارها وسيلة أساسية لضمان سلامة المياه الموزعة وحماية الصحة العمومية كما تبرز ضرورة تحسين ظروف التشغيل والمتابعة المستمرة لمراحل المعالجة من أجل المحافظة على الأداء الجيد للمحطة وضمان توفير مياه صالحة للشرب ذات جودة عالية.

الكلمات المفتاحية: جودة المياه، المياه الصالحة للشرب، محطة حمادي كرومة سكيكدة ، معالجة المياه، التخثير، التلبيد، العكارة، المراقبة النوعية، التحاليل الفيزيائية والكيميائية، اختبار (Jar-Test).

Année Universitaire : 2025/2026

الجمـــهوريـة الجزائـــريـة الديمقراطية الشعبيـــة.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 20 Août 1955 - SKIKDA -
Faculté des Sciences
Dpartement D' Agronomie
Réf : / D S AGRO/2026

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة 20 أوت 1955- سكيكدة
كلية العلـوم
قسم علوم الفلاحة
رقم : / ق ع ف /2026

Skikda le : .....

Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné : **Dr. Chekroud Hassina** Président de Jury

Certifie que :

L'étudiant(e) : **Laib Manel**

Spécialité : **Aménagement Hydro-Agricole**

Intitulé : **Suivi et Contrôle de la Qualité des Eaux au Niveau de la Nouvelle Station de Traitement d'Eau Potable de la Ville de Skikda : Evaluation et Optimisation du Procédé de Coagulation-Floculation en Comparison avec l'Ancienne Station.**

A apporté les corrections relatives à son travail de mémoire.

Directeur de Mémoire	Président(e) de Jury

الجمـــهوريـة الجزائـــريـة الديمقراطية الشعبيـــة.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 20 Août 1955 - SKIKDA -
Faculté des Sciences
Dpartement D' Agronomie
Réf : / D S AGRO/2026

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة 20 أوت 1955- سكيكدة
كلية العلـوم
قسم علوم الفلاحة
رقم : / ق ع ف /2026

Skikda le : .....

Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné : **Dr. Chekroud Hassina** Président de Jury

Certifie que :

L'étudiant(e) : **Remita Hasna**

Spécialité : **Aménagement Hydro-Agricole**

Intitulé : **Suivi et Contrôle de la Qualité des Eaux au Niveau de la Nouvelle Station de Traitement d'Eau Potable de la Ville de Skikda : Evaluation et Optimisation du Procédé de Coagulation-Floculation en Comparison avec l'Ancienne Station.**

A apporté les corrections relatives à son travail de mémoire.

Directeur de Mémoire	Président(e) de Jury

الجمـــهورية الجزائـــرية الديمقراطية الشعبيـــة.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 20 Août 1955 - SKIKDA -
Faculté des Sciences
Dpartement D' Agronomie
Réf : / D S AGRO/2026

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة 20 أوت 1955- سكيكدة
كلية العلـوم
قسم علوم الفلاحة
رقم : / ق ع ف /2026

Skikda le : .....

Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné : **Dr. Chekroud Hassina** Président de Jury

Certifie que :

L'étudiant(e) : **Boudellioua Ines**

Spécialité : **Aménagement Hydro-Agricole**

Intitulé : **Suivi et Contrôle de la Qualité des Eaux au Niveau de la Nouvelle Station de Traitement d'Eau Potable de la Ville de Skikda : Evaluation et Optimisation du Procédé de Coagulation-Floculation en Comparison avec l'Ancienne Station.**

A apporté les corrections relatives à son travail de mémoire.

Directeur de Mémoire	Président(e) de Jury

الجمـــهوريـة الجزائـــريـة الديمقراطية الـشعبيـــة.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 20 Août 1955 - SKIKDA -
Faculté des Sciences
Dpartement D' Agronomie
Réf : / D S AGRO/2026

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة 20 أوت 1955- سكيكدة
كلية العلـوم
قسم علوم الفلاحة
رقم : / ق ع ف /2026

Skikda le : .....

Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné : **Dr. Chekroud Hassina** Président de Jury

Certifie que :

L'étudiant(e) : **Ouelbani Ouiam**

Spécialité : **Aménagement Hydro-Agricole**

Intitulé : **Suivi et Contrôle de la Qualité des Eaux au Niveau de la Nouvelle Station de Traitement d'Eau Potable de la Ville de Skikda : Evaluation et Optimisation du Procédé de Coagulation-Floculation en Comparison avec l'Ancienne Station.**

A apporté les corrections relatives à son travail de mémoire.

Directeur de Mémoire	Président(e) de Jury