

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERRI DE TIZI-OUZOU
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES



THESE DE DOCTORAT

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Traitement et Valorisation des Ressources Hydriques

Thème

**Caractérisation des effluents domestiques et optimisation de
l'épuration biologique. Cas des STEP de la région de Tizi-Ouzou.**

Présentée par : **M^{me} Dyhia AISSAOUI**

Devant le jury d'examen composé de :

| | | | |
|-------------------------------|------------|---------|--------------|
| M METAHRI M.S. | MCA | UMMTO | Rapporteur |
| M LOUNACI A. | Professeur | UMMTO | Président |
| M ^{me} BELMESKINE H. | MCA | Blida 1 | Examinatrice |
| M MOUHOUCHE B. | Professeur | ENSA | Examinateur |

Année universitaire : 2022/2023

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Ma Chère Mère, qui m'a toujours encouragé et apporté son amour

Mon Cher Père, qui m'a toujours conseillé et soutenu dans mon travail

Mon Cher Fils Aris

Mon Cher Mari,

Mes Chères Sœurs,

Mes Chers Frères,

À mes nièces et neveux

Toute ma famille, mes chers amis et toute personne que je porte dans

mon cœur

Remerciements

Je tiens à exprimer l'expression de ma plus profonde gratitude à Monsieur Mohammed Said METAHRI qui fût un parfait directeur de thèse, qui m'a accordé sa confiance, sa patience, son soutien et ses conseils surtout dans les moments difficiles. Je le remercie également de m'avoir donné l'opportunité d'assister à plusieurs séminaires nationaux et internationaux.

Je tiens à remercier vivement Madame Hayet BELMESKINE Maître de conférences à l'université Saad Dahleb de Blida et Monsieur Brahim MOUHOUCHE professeur à Ecole Nationale Supérieure Agronomique pour avoir accepté d'examiner et de juger ce travail.

Je remercie également Monsieur *Abdelkader LOUNACI* professeur à l'UMMTO pour avoir accepté de présider et de juger ce travail.

Je tiens à remercier le personnel du service assainissement de la Direction des Ressources en Eau de la wilaya de Tizi-Ouzou qui m'a enrichi mes données bibliographiques et facilité mon travail.

Je tiens à remercier les cellules de l'Office National de l'Assainissement pour leurs coopérations, l'accès qu'ils m'ont accordé aux sites de prélèvement et aide sur le terrain.

Je tiens à remercier également mes collègues et amis de thèse pour leurs remarques pertinentes, gentilles, aides et conseils.

J'exprime mes sincères remerciements à tous les enseignants de la formation doctorale qui ont été toujours prêts à partager leurs savoirs.

Résumé

La mise au point de système d'épuration des eaux usées dans une zone définie passe nécessairement par la caractérisation correcte de ses rejets. L'objectif principal de cette recherche est la caractérisation physico-chimique des eaux usées et l'identification des origines de la pollution de la wilaya de Tizi-Ouzou. Elle porte sur le suivi et l'évaluation des paramètres physico-chimiques dans le réseau d'assainissement à l'entrée et à la sortie des stations d'épurations fonctionnelles voir Tizi-Ouzou Est, Tizi-Ouzou Ouest, Tadmait, Boghni, Draâ El Mizan, Azeffoun et Tizirt. Les résultats obtenus ont montré l'existence d'une très forte pollution due au rejet effluents industriels à caractère agroalimentaires principalement des laiteries et fromageries très chargés en MES, DCO, DBO₅ et PO₄³⁻ dans la région de Tizirt, mais moins chargés dans le Sud-Ouest de la ville de Tizi-Ouzou dépassent ainsi la loi n° 05-12 relative à l'eau et le décret exécutif n° 06-141 des normes de rejet des eaux usées autres que domestiques admissibles dans les ouvrages d'assainissement ou dans une station d'épuration fixées par le JORA (2009). Les eaux brutes sont caractérisées par des fluctuations spatio-temporelles importantes, des concentrations en MES varient entre 127 et 787,25 mg/L, des teneurs oscillent entre 176,40 et 3 032 mg/L et entre 84 et 1 368,66 mg/L respectivement pour la DCO et la DBO₅ et des concentrations en orthophosphates et en ammonium varient de l'ordre de 5,16 à 76,31 mg/L et 3,06 à 84,88 mg/L. Toutefois, les stations d'épuration de ladite wilaya jouent un rôle important dans la préservation de la santé publique, la protection de l'environnement et la lutte contre la pollution, elles révèlent des rendements d'élimination très satisfaisant de pollution organique, particulaire et minérale, dont les valeurs moyennes des eaux épurées sont respectivement de l'ordre de 19,20 °C, 7,32, 9,75, 35,88, 12,24, 4,02 et 7,52 mg/L pour la °T, pH, MES, DCO, DBO₅, NH₄⁺ et PO₄³⁻. Ces résultats respectent les normes algériennes relatives au rejet en milieu naturel.

Mots-clés : degré de pollution, effluents agroalimentaires, rendement épuratoire.

Abstract

The development of a wastewater treatment system in a defined area necessarily requires the correct characterization of its discharges. The main objective of this research is the physico-chemical characterization of wastewater and identification of the origins of pollution in the department of Tizi-Ouzou. It focuses on the monitoring and evaluation of physico-chemical parameters in the sewerage network, at the entrance and exit of the functional treatment plants see Tizi-Ouzou East, Tizi-Ouzou West, Tadmait, Boghni, Draâ El Mizan, Azeffoun and Tizirt. The results obtained showed the existence of a very strong pollution due to the rejection of industrial effluents with agro alimentary character mainly of the dairy and cheese factory very charged in MES, DCO, BOD5 and PO_4^{3-} in the region of Tizirt and less loaded in the southwest of the city of Tizi-Ouzou exceed the law No. 05-12 on water and the executive decree No. 06-141 of the standards of discharge of wastewater other than domestic admissible in the sewerage works or in a treatment plant set by the OJRA (2009). The raw water is characterized by significant spatio-temporal fluctuations, concentrations of TSS vary between 127 and 787.25 mg/L, contents vary between 176.40 and 3032 mg/L and between 84 and 1368.66 mg/L respectively for COD and BOD5 and concentrations of orthophosphates and ammonium vary from 5.16 to 76.31 mg/L and 3.06 to 84.88 mg/L. However, the treatment plants of the said department play an important role in the preservation of public health, environmental protection and pollution control, they reveal very satisfactory elimination yields of organic, particulate and mineral pollution, whose average values of treated water are respectively in the order of 19.20 °C, 7.32, 9.75, 35.88, 12.24, 4.02 and 7.52 mg/L for the °T, pH, TSS, COD, BOD5, NH_4^+ and PO_4^{3-} . These results respect the Algerian standards relating to the discharge in natural environment.

Keywords: degree of pollution, agri-foods effluents, purification efficiency.

إن تطوير نظام معالجة مياه الصرف الصحي في منطقة محددة ينطوي بالضرورة على التوصيف الصحيح لتصريفاته. الهدف الرئيسي من هذا البحث هو التوصيف الفيزيائي الكيميائي لمياه الصرف الصحي وتحديد أصول تلوث ولاية تيزي وزو. يتعلق الأمر برصد وتقييم المعلمات الفيزيائية الكيميائية في شبكة الصرف الصحي، عند مدخل وخروج محطات معالجة مياه الصرف الصحي الوظيفية تيزي وزو شرق، تيزي وزو غرب، تادمايت، بوعني، دراع الميزان، أزيغون وتيفزيرت. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها وجود تلوث مرتفع جداً بسبب تصريف النفايات السائلة الصناعية ذات الطبيعة الغذائية الزراعية خاصة مصانع الألبان والأجبان المحملة بكثافة بمادة معلقة، طلب الكيميائي للأكسجين، طلب البيوكيميائي للأكسجين ومادة الفوسفورية في منطقة تقيزيرت وأقل حمولة في الجنوب الغربي من مدينة تيزي وزو ، وبالتالي تتجاوز القانون رقم 05-12 المتعلق بالمياه والمرسوم التنفيذي رقم 06-141 الخاص بمعايير تصريف مياه الصرف الصحي الأخرى من المحلية المؤهلة في مرافق الصرف الصحي أو في محطة المعالجة التي حددتها الجريدة الرسمية الجزائرية (2009). تتميز المياه الخامة بتقلبات كبيرة بدلالة المكان والزمان، وتتراوح تركيزات بمادة معلقة بين 127 و 787.25 مغ / لتر، وتذبذب المحتويات بين 176.40 و 3032 مغ / لتر وبين 84 و 1368.66 مغ / لتر على التوالي لطلب الكيميائي للأكسجين والطلب البيوكيميائي للأكسجين وتختلف تركيزات الفوسفات والأمونيوم في الترتيب من 5.16 إلى 76.31 مغ / لتر ومن 3.06 إلى 84.88 مغ / لتر. ومع ذلك، تلعب محطات المعالجة بالولاية المذكورة دوراً مهماً في الحفاظ على الصحة العامة وحماية البيئة ومكافحة التلوث، فهي تكشف عن محاصيل مرضية للغاية للتخلص من التلوث العضوي والجسمي والمعدني في المياه المعالجة حيث سجلت على الترتيب 19.20 درجة مئوية و 7.32 و 9.75 و 35.88 و 12.24 و 4.02 و 7.52 مغ/لتر لدرجة حرارة، الهيدروجين المحتمل، مادة معلقة، طلب الكيميائي للأكسجين، طلب البيوكيميائي للأكسجين، أمونيوم والفوسفات. هذه النتائج تتوافق مع المعايير الجزائرية المتعلقة بالتصريف في الطبيعة.

الكلمات الرئيسية: درجة التلوث، النفايات السائلة الغذائية الزراعية، كفاءة التنقية.

Liste des abréviations

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

APC : Assemblées Populaires Communales.

EPLF : Entreprise de Promotion du Logement Familial.

Eq Hab : Équivalent habitant.

JORA : Journal Officiel de la République Algérienne.

MRE : Ministère des Ressources en Eau.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

ONA : Office National de l'Assainissement.

ONID : Office National de l'Irrigation et de Drainage.

ONM : Office National de la Météorologie.

OPGI : Office de Promotion et de Gestion Immobilière.

REUT : Réutilisation Des Eaux Usées Traitées.

SAR : Taux d'Adsorption du Sodium.

STEP : Station d'épuration des eaux usées.

T-O : Tizi-Ouzou.

Liste des tableaux

| | |
|---|-----|
| Tableau 1 : Répartition de la gestion d'assainissement par organismes en 2020 | 9 |
| Tableau 2 : Gestion du réseau public d'assainissement de la wilaya de Tizi-Ouzou..... | 13 |
| Tableau 3 : STEP en exploitation dans la wilaya de Tizi-Ouzou..... | 15 |
| Tableau 4 : STEP en voie de réalisation..... | 16 |
| Tableau 5 : Sources de contaminants dans les systèmes d'eau usée urbaine..... | 17 |
| Tableau 6 : Variations du rapport DCO/DBO ₅ en fonction de la nature des effluents | 23 |
| Tableau 7 : Bilan de la valorisation des eaux usées épurées et les boues dans la wilaya de Tizi-Ouzou | 33 |
| Tableau 8 : Variation des températures moyennes mensuelles (°C) de la wilaya de Tizi-Ouzou de 2012 à 2022. | 38 |
| Tableau 9 : Différentes caractéristiques des STEP étudiées | 42 |
| Tableau 10 : Matrice de corrélation entre les variables physico-chimiques des eaux brutes... | 66 |
| Tableau 11 : Matrice de corrélation entre les variables physico-chimiques des eaux épurées | 68 |
| Tableau 12 : Etat du réseau d'assainissement existant | 73 |
| Tableau 13 : Matrice de corrélation entre les variables physico-chimiques des effluents bruts de la STEP de Tizirt..... | 85 |
| Tableau 14 : Matrice de corrélation entre les variables physico-chimiques des effluents épurés de la STEP de Tizirt | 87 |
| Tableau 15 : Identification et localisation des différents points de prélèvement des eaux | 91 |
| Tableau 16 : Résultats moyens des analyses des eaux usées brutes prélevées au réseau d'assainissement de la ville de Tizirt et les valeurs typiques des principaux polluants de l'eau urbaine résiduaire en fonction de type de pollution | 96 |
| Tableau 17 : Types de la pollution dans les eaux usées | 98 |
| Tableau 18 : Interprétation de nos résultats a des normes de rejets algériennes | 100 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Proportion de la population ayant accès à des services d'assainissement gérés en toute sécurité | 6 |
| Figure 2 : Evolution du linéaire du réseau assainissement en millier Km en fonction des années en Algérie | 8 |
| Figure 3 : Stations d'épuration par type de procédé d'épuration en Algérie | 11 |
| Figure 4 : Evolution du taux de raccordement en % aux systèmes d'assainissement en fonction des années à la wilaya de Tizi-Ouzou | 12 |
| Figure 5 : Schéma du système de l'assainissement de la wilaya de Tizi-Ouzou | 14 |
| Figure 6 : Eaux usées dans le cycle de l'eau | 18 |
| Figure 7 : Pourcentages de référence (2015) et de projection (2030) des eaux usées non traitées dans les pays ayant différents niveaux de revenu..... | 25 |
| Figure 8 : Carte représentative de la région d'étude | 36 |
| Figure 9 : Variation des précipitations moyennes mensuelles (mm) de la wilaya de Tizi-Ouzou de Janvier 2012 à Décembre 2022 | 37 |
| Figure 10 : Variation l'humidité relative moyenne mensuelle (%) de la wilaya de Tizi-Ouzou de 2012 à 2022. | 38 |
| Figure 11 : Variation de vent (Km) de la wilaya de Tizi-Ouzou | 39 |
| Figure 12 : Diagramme ombrothermique de la wilaya de Tizi-Ouzou de 2012 à 2022..... | 40 |
| Figure 13 : Représentation schématique de la situation de Tizi-Ouzou dans le climagramme d'EMBERGER pendant la période 2012 à 2022 | 41 |
| Figure 14 : Schéma représentatif des étapes principales de l'épuration biologique des STEP étudiées..... | 43 |
| Figure 15 : Variations de la température des eaux usées brutes et traitées en fonction de temps | 47 |

| | |
|---|----|
| Figure 16 : Variations de pH des eaux usées brutes et traitées en fonction de temps | 49 |
| Figure 17 : Variations de la conductivité ($\mu\text{S}/\text{Cm}$) des eaux usées brutes et traitées en fonction de temps..... | 50 |
| Figure 18 : Variations de la MES (mg/L) des eaux usées brutes et traitées en fonction de temps | 52 |
| Figure 19 : Variations de la DOB_5 (mg/L) des eaux usées brutes et traitées en fonction de temps | 54 |
| Figure 20 : Variations de la DCO (mg/L) des eaux usées brutes et traitées en fonction de temps | 56 |
| Figure 21 : Variations de l'ammonium (mg/L) des eaux usées brutes et traitées en fonction de temps | 58 |
| Figure 22 : Variations de NO_2^- (mg/L) des eaux usées brutes et traitées en fonction de temps | 60 |
| Figure 23 : Variations de NO_3^- (mg/L) des eaux usées brutes et traitées en fonction de temps | 62 |
| Figure 24 : Variations de PO_4^{3-} (mg/L) des eaux usées brutes et traitées en fonction de temps | 64 |
| Figure 25 : Relations entre les paramètres physico-chimiques des eaux brutes mesurés | 67 |
| Figure 26 : Relations entre les paramètres physico-chimiques des eaux épurées mesurés..... | 69 |
| Figure 27 : Situation de la commune de Tizirt..... | 72 |
| Figure 28 : Photo satellitaire de la STEP de la ville de Tizirt..... | 74 |
| Figure 29 : DBO-mètre | 75 |
| Figure 30 : Spectrophotomètre Hack DR6000..... | 75 |
| Figure 31 : Variation de la température à l'entrée et à la sortie de la STEP | 76 |
| Figure 32 : Variation du pH à l'entrée et à la sortie de la STEP | 77 |

| | |
|--|-----|
| Figure 33 : Variation de la MES (mg/L) à l'entrée et à la sortie de la STEP..... | 78 |
| Figure 34 : Variation de la DCO (mg/L) à l'entrée et à la sortie de la STEP | 79 |
| Figure 35 : Variation de la DBO ₅ (mg/L) à l'entrée et à la sortie de la STEP..... | 80 |
| Figure 36 : Variation de N-NH ₄ ⁺ (mg/L) à l'entrée et à la sortie de la STEP..... | 81 |
| Figure 37 : Variation de P-PO ₄ ³⁻ (mg/L) à l'entrée et à la sortie de la STEP | 82 |
| Figure 38 : Taux d'abattement de la MES | 83 |
| Figure 39 : Taux d'abattement de la DCO | 83 |
| Figure 40 : Taux d'abattement de la DBO ₅ | 83 |
| Figure 41 : Taux d'abattement de la N-NH ₄ ⁺ | 84 |
| Figure 42 : Taux d'abattement de la P-PO ₄ ³⁻ | 84 |
| Figure 43 : Relations entre les paramètres physico-chimiques des effluents bruts de la STEP de Tizirt..... | 86 |
| Figure 44 : Relations entre les paramètres physico-chimiques des effluents épurés de la STEP de Tizirt | 88 |
| Figure 45 : Localisation des différents points de prélèvement des eaux brutes..... | 90 |
| Figure 46 : Résultats d'analyses en MES trouvés dans les points du prélèvement..... | 101 |
| Figure 47 : Résultats d'analyses en DBO ₅ trouvés dans les quatre points du prélèvement ... | 103 |
| Figure 48 : Résultats d'analyses en DCO trouvés dans les quatre points du prélèvement..... | 105 |
| Figure 49 : Résultats d'analyses en Orthophosphates trouvés dans les quatre points du prélèvement..... | 106 |

Table des matières

| | |
|------------------------------|------|
| Dédicaces | i |
| Remerciements | ii |
| Résumé | iii |
| Abstract | iv |
| ملخص | v |
| Liste des abréviations | vi |
| Liste des tableaux | vii |
| Liste des figures | viii |

| | |
|------------------------------------|----------|
| Introduction générale | 1 |
|------------------------------------|----------|

Chapitre I : Synthèse bibliographique

| | |
|--|----|
| 1. Concept de la ressource hydrique | 5 |
| 2. Ressources hydriques traditionnelles en Algérie | 5 |
| 3. Assainissement..... | 5 |
| 3.1. Assainissement dans le monde | 5 |
| 3.2. Assainissement en Algérie..... | 7 |
| 3.2.1. Evolution du secteur de l'assainissement..... | 7 |
| 3.2.2. Structuration des organismes de l'assainissement | 8 |
| 3.2.3. Modes de gestion du réseau d'assainissement | 8 |
| 3.2.4. Evolution du système épuratoire | 9 |
| 3.3. Etat des lieux de l'assainissement de la Wilaya de Tizi-Ouzou | 12 |
| 3.3.1. Patrimoine hydraulique des STEP à Tizi-Ouzou | 15 |
| 4. Typologie des eaux usées..... | 16 |
| 4.1. Eaux usées | 17 |
| 4.2. Types d'eau usée | 18 |
| 4.2.1. Eaux usées domestiques | 18 |
| 4.2.2. Eaux de ruissellement..... | 19 |
| 4.2.3. Eaux usées industrielles | 19 |
| 5. Paramètres de pollution..... | 20 |
| 5.1. Potentiel Hydrogène | 20 |
| 5.2. Température..... | 20 |

| | | |
|--------|--|----|
| 5.3. | Matières en suspension | 20 |
| 5.4. | Demande chimique en oxygène..... | 21 |
| 5.5. | Demande biochimique en oxygène..... | 21 |
| 5.6. | Indice de biodégradabilité | 22 |
| 5.7. | Azote..... | 23 |
| 5.8. | Phosphore | 24 |
| 6. | Tendances en eaux usées..... | 24 |
| 7. | Procédés de traitement des eaux usées..... | 25 |
| 7.1. | Prétraitement..... | 26 |
| 7.2. | Traitement primaire | 26 |
| 7.3. | Traitement secondaire..... | 26 |
| 7.3.1. | Techniques intensives | 26 |
| 7.3.2. | Techniques extensives..... | 27 |
| 7.4. | Traitement tertiaire | 28 |
| 7.4.1. | Elimination de la matière en suspension et de la matière organique | 28 |
| 7.4.2. | Réduction d'autres paramètres chimiques..... | 28 |
| 7.4.3. | Elimination de l'azote et du phosphore..... | 29 |
| 7.4.4. | Elimination des pathogènes..... | 29 |
| 8. | Relation entre eau épurée et milieu récepteur | 30 |
| 9. | Dispositions réglementaires des eaux usées en Algérie..... | 30 |
| 10. | Réutilisations des eaux usées | 31 |
| 11. | Situation de la réutilisation dans la wilaya de Tizi-Ouzou | 33 |

Chapitre II : Etude qualitative des eaux usées brutes et épurées des STEP de Tizi-Ouzou

| | | |
|----------|--|----|
| 1. | Introduction..... | 35 |
| 2. | Matériels et méthode..... | 35 |
| 2.1. | Présentation de la zone d'étude | 35 |
| 2.1.1. | Situation géographique..... | 35 |
| 2.1.2. | Cadre climatique | 36 |
| 2.1.2.1. | Données climatiques | 37 |
| 2.1.2.2. | Synthèse climatique | 39 |
| 2.2. | Présentation des stations d'épuration étudiées | 41 |
| 2.3. | Procédés d'épuration | 43 |
| 2.3.1. | Déversoir d'orage | 43 |

| | | |
|----------|--|----|
| 2.3.2. | Prétraitements | 43 |
| 2.3.3. | Traitement biologique | 44 |
| 2.4. | Techniques d'échantillonnages..... | 45 |
| 2.5. | Analyses physico-chimiques | 45 |
| 3. | Résultats et discussion | 46 |
| 3.1. | Etude physico-chimique | 46 |
| 3.1.1. | Température (T) | 46 |
| 3.1.2. | Potentiel Hydrogène (pH) | 48 |
| 3.1.3. | Conductivité (CE) | 50 |
| 3.1.4. | Matières en suspension (MES)..... | 51 |
| 3.1.5. | Demande biologique en oxygène (DBO ₅)..... | 53 |
| 3.1.6. | Demande chimique en oxygène (DCO) | 55 |
| 3.1.7. | Ammonium (NH ₄ ⁺) | 57 |
| 3.1.8. | Nitrites (NO ₂ ⁻) | 59 |
| 3.1.9. | Nitrates (NO ₃ ⁻)..... | 61 |
| 3.1.10. | Orthophosphates (PO ₄ ³⁻) | 63 |
| 3.2. | Etude statistique..... | 65 |
| 3.2.1. | Analyse de corrélation..... | 65 |
| 3.2.1.1. | Eaux brutes..... | 66 |
| 3.2.1.2. | Eaux épurées | 68 |
| 3.2.2. | Variabilité de la qualité physico-chimique..... | 70 |
| 4. | Conclusion | 70 |

Chapitre III : Caractérisation physico-chimique des eaux de la STEP de Tizirt

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | Introduction..... | 72 |
| 2. | Matériels et méthode..... | 72 |
| 2.1. | Situation géographique de la commune de Tizirt..... | 72 |
| 2.2. | Etat du réseau d'assainissement et rejet des eaux usées..... | 73 |
| 2.3. | Description de la STEP..... | 74 |
| 2.4. | Mode de prélèvement | 75 |
| 2.5. | Méthodes d'analyse | 75 |
| 3. | Résultats et discussion | 76 |
| 3.1. | Caractérisation physico-chimique | 76 |
| 3.1.1. | Variation de la température (T)..... | 76 |

| | | |
|----------|--|----|
| 3.1.2. | Variation du potentiel Hydrogène | 77 |
| 3.1.3. | Variation des matières en suspension (MES)..... | 78 |
| 3.1.4. | Variation des demande chimique en oxygène (DCO)..... | 79 |
| 3.1.5. | Demande biologique en oxygène (DBO ₅)..... | 80 |
| 3.1.6. | Rapport entre la DCO et la DBO ₅ | 81 |
| 3.1.7. | Variation de l'Azote Ammoniacal (N-NH ₄ ⁺)..... | 81 |
| 3.1.8. | Variation des Orthophosphates (P-PO ₄ ³⁻) | 82 |
| 3.2. | Rendements épuratoires..... | 83 |
| 3.3. | Etude statistique des données | 84 |
| 3.3.1. | Analyse de corrélation..... | 84 |
| 3.3.1.1. | Corrélation entre les effluents bruts | 84 |
| 3.3.1.2. | Corrélation entre les effluents épurés..... | 87 |
| 3.3.2. | Variabilité de la qualité physico-chimique..... | 89 |
| 4. | Conclusion | 89 |

Chapitre IV : Etude des variations spatio-temporelles de la pollution physico-chimique des effluents bruts dans le réseau d'assainissement de Tizirt

| | | |
|--------|--|-----|
| 1. | Introduction..... | 90 |
| 2. | Matériels et méthode..... | 90 |
| 2.1. | Echantillonnage des eaux usées..... | 90 |
| 2.2. | Mesure des paramètres | 92 |
| 2.2.1. | Matière en suspension | 92 |
| 2.2.2. | Demande biologique en oxygène | 92 |
| 2.2.3. | Demande chimique en oxygène | 92 |
| 2.2.4. | Orthophosphates..... | 92 |
| 3. | Résultats et discussions..... | 93 |
| 3.1. | Caractérisation des eaux usées urbaines | 93 |
| 3.2. | Degré de pollution | 96 |
| 3.3. | Situation de la pollution par rapport aux normes Algériennes | 98 |
| 3.4. | Suivi des paramètres de pollution..... | 101 |
| 3.4.1. | Matière en suspension | 101 |
| 3.4.2. | Demande biologique en oxygène | 102 |
| 3.4.3. | Demande chimique en oxygène | 104 |

| | |
|--|------------|
| 3.4.4. Orthophosphates | 106 |
| 4. Conclusion | 108 |
| Conclusion générale. | 109 |
| Références bibliographiques | 112 |
| Annexes | |

Introduction générale

L'eau est l'une des ressources fondamentales de la planète. Elle est indispensable à toute forme de vie et de développement dans tous les aspects de la vie humaine. L'eau est utilisée pour mener à bien les différents usages domestiques comme la cuisine, le lavage, le jardinage et les opérations de nettoyage, les processus industriels et les activités agricoles (Malik *et al.*, 2020 ; Aleshinloye *et al.*, 2020 ; Hasan *et al.*, 2019 ; Obotey Ezugbe et Rathilal, 2020).

L'eau couvre plus de 71 % de la surface de la terre et constitue une ressource naturelle très importante pour les populations, pourtant, seuls 2,5 % de l'eau de la planète sont frais et donc propres à la consommation. De plus, sur ces 2,5 %, plus des deux tiers sont enfermés dans les glaciers et ne sont pas en mesure de répondre aux besoins croissants de la société. C'est le droit fondamental de chaque individu de disposer d'une eau potable saine (Joshiba *et al.*, 2019 ; Juneja et Chaudhary, 2013).

Par conséquent, seule une petite partie de l'eau propre présente dans les lacs et les cours d'eau est accessible aux besoins humains (Kumar Reddy et Lee, 2012). Par ailleurs, sa répartition étant irrégulière à la surface du globe, de plus, cette ressource représente à la fois un défi politique, économique et stratégique (Benkaddour, 2018). Les pressions exercées sur les utilisations excessives des ressources en eau posent des difficultés durant les années à venir, près de la moitié de la population des pays méditerranéens se trouvera en situation de tension ou de pénurie d'eau en 2025 (Trad Raïs et Xanthoulis, 1999). L'activités humaine est l'un des principaux facteurs de pollution de l'eau par le déversement d'effluents industriels nocifs et de déchets domestiques importants dans l'écosystème aquatique ce qui a modifié la qualité de l'eau et provoque un déficit en eau potable (Mehta *et al.*, 2015 ; Kinidi *et al.*, 2018).

Ces dernières années, le monde entier est affecté par la pollution de l'eau en raison du ruissellement agricole, du développement rapide d'industries polluantes (les produits pharmaceutiques, les distilleries, le textile, les engrais, les tanneries et les industries minières), de l'augmentation du niveau de vie, de la population humaine et de l'urbanisation, ce qui entraîne une grande quantité d'eau contaminée et affecte sérieusement les masses d'eau en libérant des polluants dangereux (Malik *et al.*, 2020 ; Sun *et al.*, 2012 ; Kalra *et al.*, 2011 ; Klavarioti *et al.*, 2009 ; Satyawali et Balakrishnan, 2008 ; Kolev Slavov, 2017 ; Sonune et Ghate, 2004). Cela peut affecter les vies des êtres vivants, la chaîne alimentaire et endommageant négativement l'écosystème (Kaur, 2021).

En désastre, l'Algérie est touchée par la pollution de l'eau due aux changements climatiques, le développement des secteurs industriels, urbains et agricoles générant ainsi un volume

important d'effluents non traités rejetés directement dans le milieu naturel et les ouvrages d'assainissement et la croissance démographique allant de 11 millions habitants en 1960 à 40 millions habitants en 2015. À cause de ces derniers, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et de l'agriculture (2015) classe l'Algérie comme l'un des pays semi-arides affectés par le stress hydrique avec un seuil de rareté de 500 m³/hab/an (Ait-Aoudia et Berezowska-Azzag, 2016 ; Benkaddour, 2018).

La pollution de l'eau peut être évitée en empêchant les polluants de contaminer les eaux voisines. Il existe un certain nombre de traitements de l'eau pour prévenir la pollution (Juneja et Chaudhary 2013). Le traitement des eaux usées est utilisé comme une action visant à protéger la qualité des ressources limitées en eau douce et donc à les rendre plus acceptables pour une réutilisation bénéfique. Cependant, cet objectif reste difficile à atteindre, car le rejet total d'effluents d'eaux usées traitées biologiquement est en augmentation en raison de l'accroissement de la population et de l'urbanisation. La récupération des eaux usées est reconnue comme l'un des moyens les plus efficaces d'augmenter la disponibilité d'une eau douce limitée (Shon *et al.*, 2007). L'Algérie relève des défis pour protéger sa richesse en eau par l'évolution du parc national des stations d'épuration allant de 12 STEP fonctionnelles en 1999 avec un débit nominal de 90 hm³/an à 188 STEP en 1018 et un débit nominal de 936 hm³/an et vers une perspective de 328 STEP opérationnelles cumulant un débit nominal d'eaux usées à traiter de 1407 hm³/an d'ici 2030 (ONA, 2022).

Un système de traitement efficace pour le traitement des eaux usées est un besoin fondamental de la société actuelle. Le traitement biologique est une partie importante et intégrale de toute station d'épuration des eaux usées qui traite les eaux usées provenant soit de la municipalité, soit de l'industrie et contenant des impuretés organiques solubles ou un mélange de ces deux types d'eaux usées (Mittal, 2011 ; Waqas *et al.*, 2020). Selon Chabi et Hammar (2019), le nombre de stations d'épuration exploitées par l'Office National de l'Assainissement est de 142 STEP en 2017 dont : 68 stations à boues activées, 44 stations par lagunage naturel, 27 stations par lagunage aéré et 03 stations par filtres plantés.

La mobilisation et la gestion des ressources en eau est l'un des défis les plus fondamentaux du Ministère des Ressources en Eau. L'Algérie est classée à la 86^{ème} place des pays pauvres en eau. Plusieurs rapports montrent que le manque de ressources en eau ne constitue pas une cause majeure de l'insuffisance dans de nombreux cas. Le plus souvent, le problème est lié à la mauvaise gestion des ressources. Dans ce contexte, le ministère algérien des ressources en eau

a mis en place une stratégie de mobilisation et de sécurisation des ressources en eau dans le but de parvenir à une gestion intégrée et durable des ressources en eau (Drouiche *et al.*, 2012 ; Hamlat *et al.*, 2013).

Cette thèse de doctorat a pour thème de caractériser des effluents domestiques et optimiser de l'épuration biologique des STEP de la région de Tizi-Ouzou. Le dimensionnement des STEP est basé sur les paramètres de rejets (MES, DBO₅, DCO, azote et phosphore) qui dépendent de plusieurs facteurs à savoir les données climatiques, la taille de l'agglomération raccordée à la STEP, le développement d'urbanisation, le type des activités dominantes dans la région, le mode de vie des habitants et l'utilisation de l'eau potable, le type de réseau de collecte des eaux usées et l'importance des eaux parasites (OIEAU, 2005).

En ce qui concerne l'Algérie, avec une superficie totale d'environ 2,4 millions de km², la pluviométrie ne concerne que 10 % de cette superficie, qui est divisée en trois zones : Celle du Nord est de 500 mm/an, celle des Hauts plateaux est de 300 mm/an et celle du Sud de l'Atlas est de 250 mm/an en moyenne, le pays reçoit 100 milliards de m³ de pluie par an, dont 85 % s'évaporent et les 15 % restantes s'écoulent en surface vers les fleuves et la mer ou s'infiltrent à l'intérieur des couches souterraines. Les quantités d'eau économiquement mobilisables pour les différents usages de la population sont évaluées à 5,7 milliards de m³ d'eau de surface, 1,8 milliard de m³ d'eau souterraine au Nord, 4,9 milliards de m³ au Sud, soit un total de 12,4 milliards de m³ (Benhamiche *et al.*, 2014).

Actuellement, la réalisation clé en main des stations d'épuration en Algérie s'appuie sur des standards européens ou américains dont le mode de vie est totalement différent du nôtre. Il est donc important d'établir une stratégie nationale d'épuration des eaux usées basée sur la connaissance du monde réel de nos effluents résiduaires, afin de construire une base durable respective des milieux récepteurs. Cette vision réelle, nous permettrait d'optimiser le dimensionnement, la construction et le suivi des STEP intensives ou extensives avec des retombées économiques considérables.

Les objectifs de ce travail de thèse sont de caractériser la composition physico-chimique des eaux usées des STEP fonctionnelles de la wilaya de Tizi-Ouzou, identifier les origines et les sources des pollutions rejetées dans le réseau d'assainissement, d'estimer la charge polluante réelle spécifique à nos effluents urbains et de vérifier le fonctionnement par le suivi et l'évolution des différents paramètres tout le long des filières de traitement des eaux usées par boues activées. De plus une étude statistique a été réalisée pour mettre en évidence la relation

potentielle et d'identifier les corrélations existantes entre les différents indicateurs de pollution tel que : la température, le pH, la DBO, la DCO et la MES.

Cette thèse est divisée en quatre chapitres : le premier chapitre est une synthèse bibliographique concernant la pollution des eaux en exposant les points suivants :

- Ressources hydriques en Algérie,
- Situation d'assainissement et évolution d'eaux usées à l'échelle mondiale et nationale,
- Types des eaux usées et les paramètres de pollution,
- Procédés de traitement des eaux usées et réutilisations.

Le deuxième chapitre comprend une étude sur l'évaluation, la caractérisation des effluents bruts et épurés et le calcul des rendements d'élimination des paramètres de pollution dans six STEP de Tizi-Ouzou à savoir Tizi-Ouzou Est, Tizi-Ouzou Ouest, Tadmait, Boghni, Draâ El Mizan et Azeffoun.

Le troisième chapitre aborde les résultats d'une étude qualitative et quantitative des effluents bruts et épurés de la STEP de Tizirt. Nos résultats sont comparés avec ceux d'études menées sur la caractérisation des eaux des STEP.

Le dernier chapitre est consacré à la variation spatio-temporelle des paramètres de pollution dans le réseau d'assainissement de la région de Tizirt et identification des origines et les sources de pollution sur le long de cette zone.

Le manuscrit s'achève par une conclusion reprenant les principaux résultats et interprétations et dégage les perspectives futures qui proposent des solutions pour l'amélioration de la qualité d'eau rejetée.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1. Concept de la ressource hydrique

Si la volonté de développer une politique d'atténuation du phénomène de pénurie ou de rareté est réellement évoquée. Cependant, l'eau n'est encore que trop peu considérée par certains utilisateurs comme une ressource rare qu'il faut gérer, partager, recyclée et préserver (Metahri, 2012).

L'eau ne sera considérée comme une ressource incontournable, que quand elle est porteuse d'un projet et que sa rareté sera le facteur limitant du projet en question. Dès lors que le degré d'intérêt qui est porté à cette ressource hydrique dépendra de la manière dont cette rareté sera appréhendée et donc les projets verront le jour. Une fois cette notion de pénurie acquise, une gestion sociale de l'eau pourrait être envisagée. C'est-à-dire, une solidarité entre les régions excédentaires et déficitaires en eau et la réutilisation des eaux usées épurées pourront être acceptées, afin de partager les risques de manquement et lever les contraintes pour leurs projets (Hannachi, 2018 ; Djaffar et Kettab, 2018).

2. Ressources hydriques traditionnelles en Algérie

Avec une superficie globale de 2 381 741 km², l'Algérie est divisée en 58 wilayas, avec près de 80 % du territoire est désertique (Kettab, 2001 modifié). Les potentialités hydriques moyennes nationales sont estimées à 18 milliards de m³/an, dont 12,5 milliards de m³ dans les régions Nord et 5,5 Milliards de m³ dans les régions sahariennes.

En d'autre terme, les potentialités hydriques moyennes nationales d'écoulements superficiels sont de 10 milliards de m³ au Nord et 0,5 milliards m³ au Sud, alors que, les potentialités hydriques moyennes nationales des ressources souterraines sont de 2,5 milliards de m³ au Nord et 5 milliards de m³ au Sud (Mozas et Alexis, 2013 ; Bouchaala *et al.*, 2017 ; Bouchedja, 2012).

3. Assainissement

3.1. Assainissement dans le monde

La question de l'assainissement est un enjeu mondial. Le réseau d'assainissement est utilisé pour le transport des eaux usées, il peut être séparé ou unitaire. L'accès à ce service contribué à la diminution des risques pour la santé. Toutefois, un perfectionnement de couverture de l'assainissement ne convient pas forcément à une amélioration de la gestion de l'eau, ou de la santé publique (UN WATER, 2017).

D'après les données du rapport de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et le Fonds des Nations Unies pour l'Enfance (UNICEF) en 2017, 39 % de la population mondiale équivalent de 2,9 milliards de personnes bénéficiaient d'un service d'assainissement géré en toute sécurité.

La figure ci-dessous schématise les proportions des populations mondiales bénéficiant d'un service d'assainissement géré en toute sécurité, où les effluents sont dirigés dans des systèmes d'assainissement et épurés sur site ou hors site en 2017 par pays.

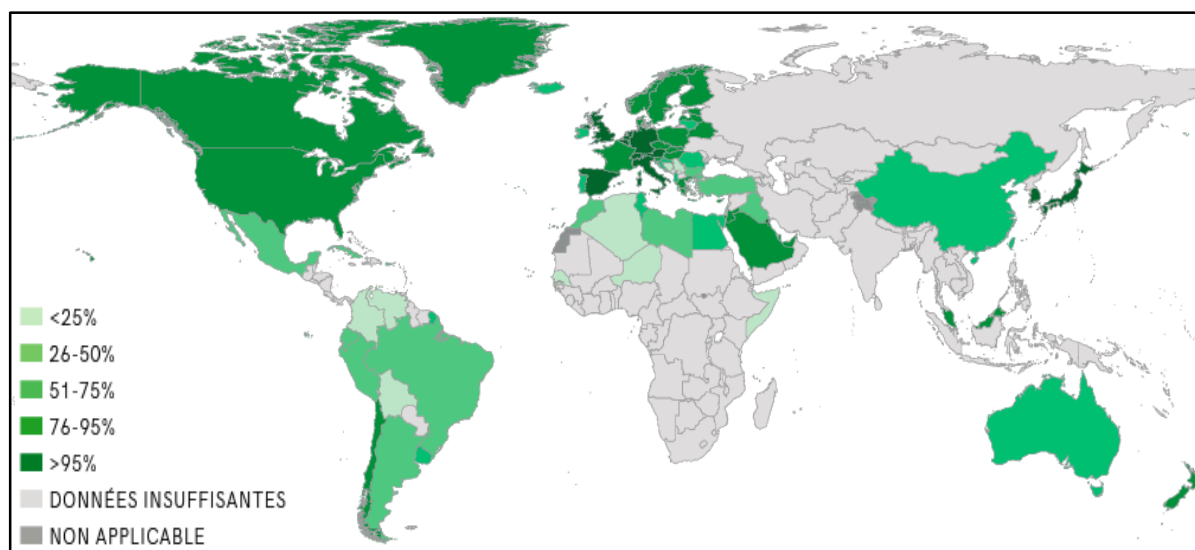


Figure 1 : Proportion de la population ayant accès à des services d'assainissement gérés en toute sécurité (OMS & UNICEF, 2017).

Ou on observe qu'un taux de (OMS & UNICEF, 2017) :

- 27 % de la population mondiale dont 1,9 milliard de personnes avaient accès à des services d'assainissement privés raccordés à un réseau d'égouts permettant une épuration des effluents ;
- 13 % de la population mondiale dont 0,9 milliard de personnes avaient accès à l'assainissement et même le géré sur site ;
- 600 millions de personnes avaient accès à un service d'assainissement limité, où une installation améliorée partagée avec d'autres ménages ;
- 892 millions de personnes dans le monde pratiquaient toujours la défécation à l'air libre.

Cependant, le programme de développement durable adopté par États membres des Nations Unies vise à maintenir l'accès de tous à des services d'assainissements, l'amélioration de la qualité de l'eau usée en réduisant matières dangereuses, la diminution de moitié la proportion d'eaux usées non traitées et augmentation considérablement à l'échelle mondiale le recyclage et la réutilisation de l'eau sans danger d'ici 2023 (OMS & UNICEF, 2017).

3.2. Assainissement en Algérie

Au début de dernier siècle, l'assainissement urbain peut être défini comme étant l'ensemble des stratégies utilisées par les habitants des villes, responsables officiels ou non, afin d'évacuer l'ensemble des effluents issus des diverses activités humaines hors des zones agglomérées pour des raisons d'hygiène et de confort. Mais le milieu naturel s'est rapidement détérioré où l'auto épuration est dépassé en raison du développement rapide de l'urbanisation, les activités industrielles et agricoles (Bedjou, 2020). Depuis, des efforts considérables ont été faits pour réduire le maximum les risques sanitaires et environnementaux, en renforçant le secteur de l'assainissement et en dotant les agglomérations par des stations d'épuration. Ainsi, c'est pourquoi ce secteur s'est orienté vers une politique sur la gestion et le développement durable des ressources en eau (JORA, 2005).

3.2.1. Evolution du secteur de l'assainissement

Le développement des services d'assainissement publics a été exigé afin d'améliorer des conditions d'hygiène, aussi bien en milieu urbain qu'en milieu rural, et ce, non seulement pour faire face au retard dans ce domaine, mais aussi prendre en considération la croissance démographique, qu'a certes eu des retombées positives mais, elle a aussi entraîné des effets négatifs sur l'environnement et sur la ressource hydrique du fait d'une prise en charge insuffisante en matière d'environnement. En effet la pollution risque d'être la cause de la pénurie d'eau dans un pays semi-aride comme le nôtre, d'où la nécessité d'une protection plus accrue de la ressource hydrique (Toumi et Chocat, 2004 ; MRE, 2022).

Une politique d'assainissement se pose pour préserver des ressources existantes, valoriser les eaux usées épurées et préserver la santé des citoyens et au développement économique. Les projets d'assainissements ont été réalisés essentiellement par les collectivités locales avec l'appui des Directions de l'Hydraulique de Wilaya, il est ainsi qu'une grande partie des réseaux d'assainissement ont été réalisés par les OPGI et les EPLF (Toumi et Chocat, 2004).

Les efforts de pays en matière d'assainissement ont été prouvé par le taux de raccordement au réseau public d'assainissement qui était de 35 % de la population total algérienne autrement dit 14,69 millions étaient raccordées à un réseau public d'assainissement en 1970, actuellement ce taux a été porté à 91 % de la population total qui est de 40 millions en 2019 (MRE, 2022 ; Bedjou, 2020). La figure ci-après représente l'évolution du linéaire du réseau assainissement en millier de Km depuis 1999 à 2016 d'après le site du ministère des ressources en eaux (MRE, 2022) et pour l'année 2019 calculé à partir des données figurées dans le premier tableau.

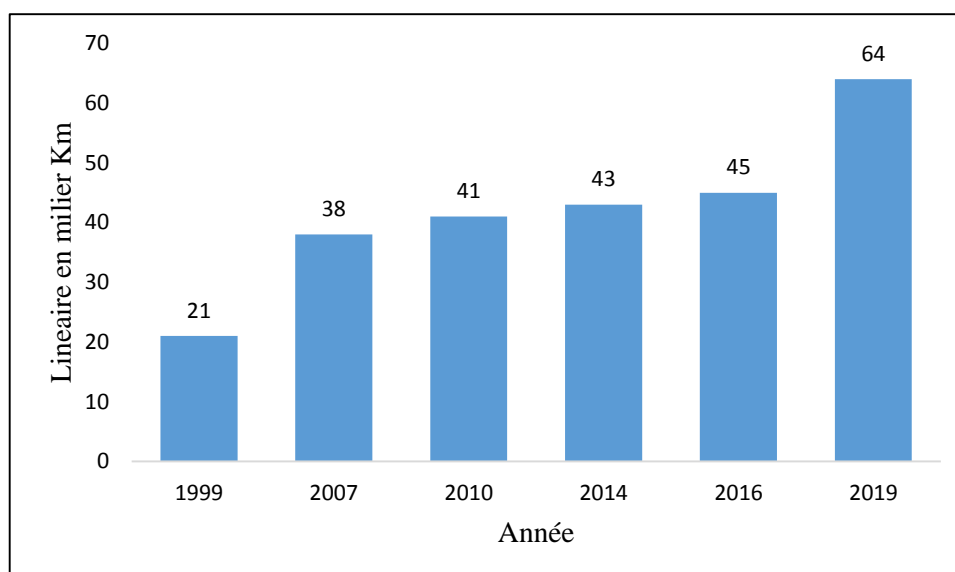


Figure 2 : Evolution du linéaire du réseau assainissement en millier Km en fonction des années en Algérie.

3.2.2. Structuration des organismes de l'assainissement

Les structures en charge de l'assainissement sont (Bedjou, 2020) :

- **Assemblées Populaires Communales (APC)** : elles sont responsables de la gestion de l'assainissement dans les municipalités non transférées à l'ONA, elles assurent l'alimentation en eau potable et l'assainissement des eaux usées en les confiant à des régies ou en les déléguant à des établissements publics régionaux
- **Office National de l'Assainissement (ONA)** : dans le contexte de l'application de la politique nationale de l'assainissement, l'ONA est responsable à l'échelle nationale du fonctionnement, du maintien, du renouvellement, de l'extension et de la construction des ouvrages et des infrastructures de l'assainissement.
- **Sociétés par actions (SPA)** : la gestion des services publics de l'eau et de l'assainissement des Wilaya d'Alger, d'Oran et de Constantine se fait par divers opérateurs privés à savoir : Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger (SEAAL), Société de l'Eau et de l'Assainissement d'Oran (SEOR), Société de l'Eau et de l'Assainissement de Constantine (SEACO).

3.2.3. Modes de gestion du réseau d'assainissement

La mise à niveau de l'assainissement a pour but d'améliorer de la collecte des eaux usées, l'utilisation des capacités épuratoires des stations d'épuration, de protéger la qualité des

ressources en eau et les écosystèmes naturels, éradiquer les maladies à transmission hydrique et diminuer des risques d'inondation au niveau des villes (Djelouah, 2018).

La longueur du réseau assainissement est 64 714 Km répartie sur 165 STEP avec un nombre de station de relevage total de 602 stations, le tableau 1 représente la répartition de la gestion d'assainissement par organismes.

Tableau 1 : Répartition de la gestion d'assainissement par organismes en 2020.

| Organismes | Linéaire du réseau assainissement (Km) | STEP | Station de relevage | Capacité (EH) |
|-------------------|---|-------------|----------------------------|----------------------|
| ONA | 55 342 | 154 | 499 | 10,39 millions |
| SEAAL | 5 782 | 7 | 99 | 3,8 millions |
| SEACO | 1 390 | 1 | 2 | 450 000 |
| SEOR | 2 200 | 3 | 2 | 525 000 |

3.2.4. Evolution du système épuratoire

Le raccordement des populations urbaines aux réseaux de collecte l'épuration de ces eaux usées constituent un axe stratégique pour l'équilibre hydrique et écologique. L'Algérie a ratifié la convention de Barcelone pour la protection de la mer Méditerranée en 2017. Cette convention est orientée vers la protection des ressources en eau, la réduction des maladies à transmission hydrique, la protection des milieux récepteurs y compris le littoral et de manière plus générale la lutte contre la précarité sanitaire, elle comptait 45 STEP dont seulement 12 STEP en service avec une capacité cumulée de 90 m³/an et ce en 1999. En 2016 ce chiffre est multiplié par 14 soit 177 STEP en exploitation avec un taux de raccordement de 40 % de la population soit une capacité de 13 millions équivalent habitant et un débit nominal cumulé d'eaux usées brutes de 805 hm³/an, dont 49 d'une capacité de 6 millions EH sont situées dans les villes côtières les plus importantes tel que : Alger, Oran, Aïn Temouchent, Skikda, Annaba, Jijel, Boumerdes, etc. (MRE, 2022).

En plus dudit parc déjà opérationnel, le Ministère des ressources en eau compte 69 stations d'épuration en cours de travaux avec une capacité totale estimée à 6 millions équivalent habitant et un débit 244 millions m³/an d'eaux usées théorique à traiter, et 28 STEP en cours de

lancement avec 207,1 millions m³/an de débit théorique d'eaux usées à traiter et une capacité totale installée de 3,9 millions équivalent habitant à l'horizon 2020.

Ajoutant à ce parc un nombre de 54 STEP dont les études sont programmées ou en cours de programmation d'ici 2030. Le parc national sera donc de 328 STEP opérationnelles réparties sur territoire national et toutes les stations à boues activées disposent de laboratoire de contrôle. Les procédés de l'épuration les plus utilisés sont à boues activées et à lagunage naturel. Il cumule ainsi 1407 hm³/an comme débit nominal des eaux usées à traiter (ONA, 2022).

La figure ci-après représente des STEP par type de procédé d'épuration à savoir boues activées, lagunage aéré, lagunage naturel et filtre plantés dans les différentes wilaya (ONA, 2020).

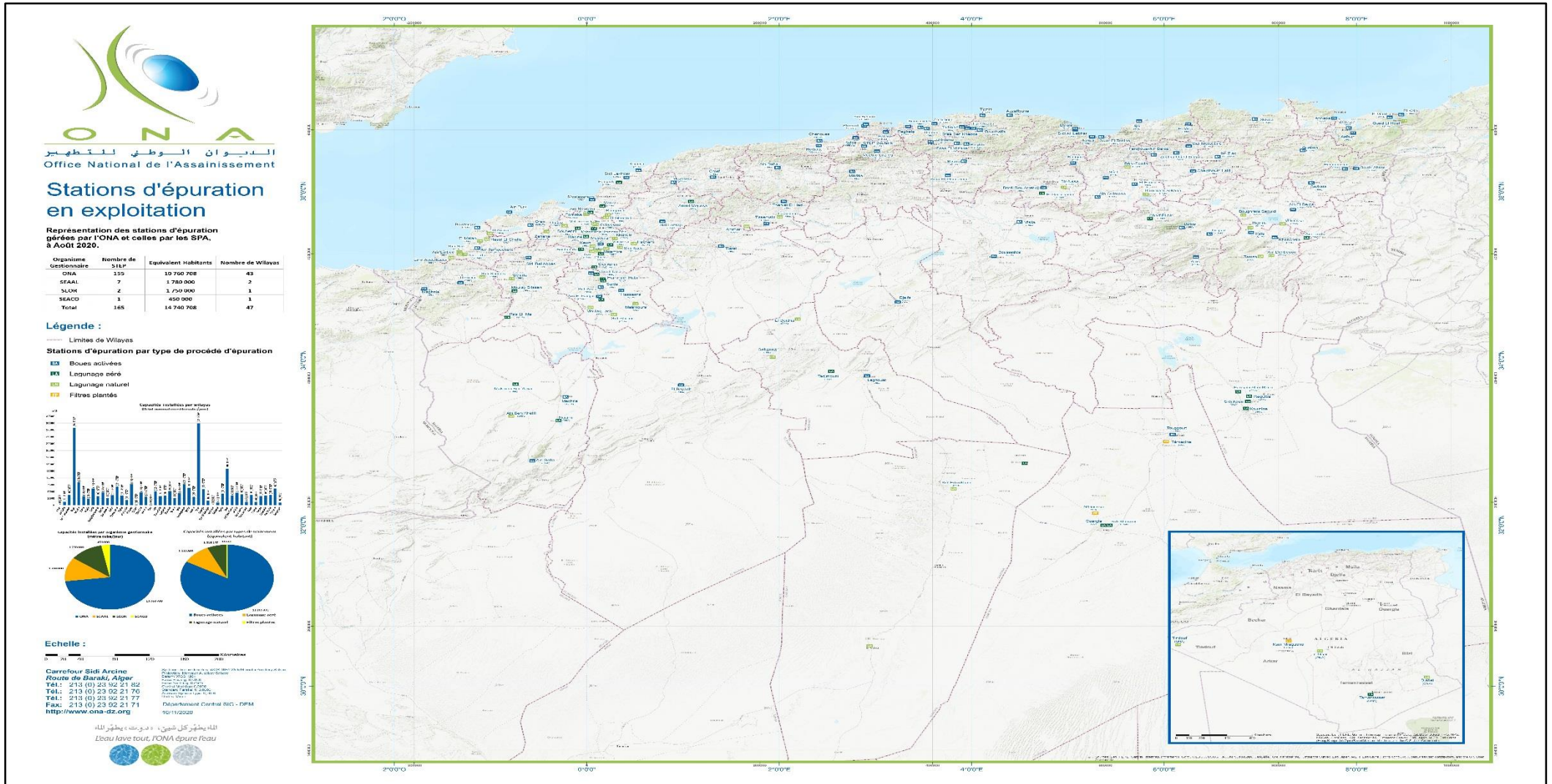


Figure 3 : Stations d'épuration par type de procédé d'épuration en Algérie (ONNA, 2020).

3.3. Etat des lieux de l'assainissement de la Wilaya de Tizi-Ouzou

La wilaya de Tizi-Ouzou dispose de deux bassins versants d'une superficie globale de 2 900 km² avec une population globale de 1 257 300 habitants, dont 90 % raccordées au réseau public d'assainissement. Ce taux est une preuve des progrès de la région en matière d'assainissement (DRE Tizi-Ouzou, 2022).

La Wilaya de Tizi-Ouzou occupe une place importante dans la gestion des eaux usées. Le linéaire du réseau d'assainissement de la wilaya a connu un net essor expliquer en terme d'évolution de taux de raccordement aux systèmes d'assainissement entre 1999 et 2021, passant ainsi de 66 à 90 % comme le montre la figure 4. Ceci a permis aussi de supprimer une grande partie des décharges sauvages d'eaux usées notamment au niveau des agglomérations urbaines et d'éradiquer un nombre important de fosses septiques, voir 662 fosses en 2021 à travers la wilaya, réduisant ainsi le risque de maladies à transmission hydrique (DRE Tizi-Ouzou, 2022).

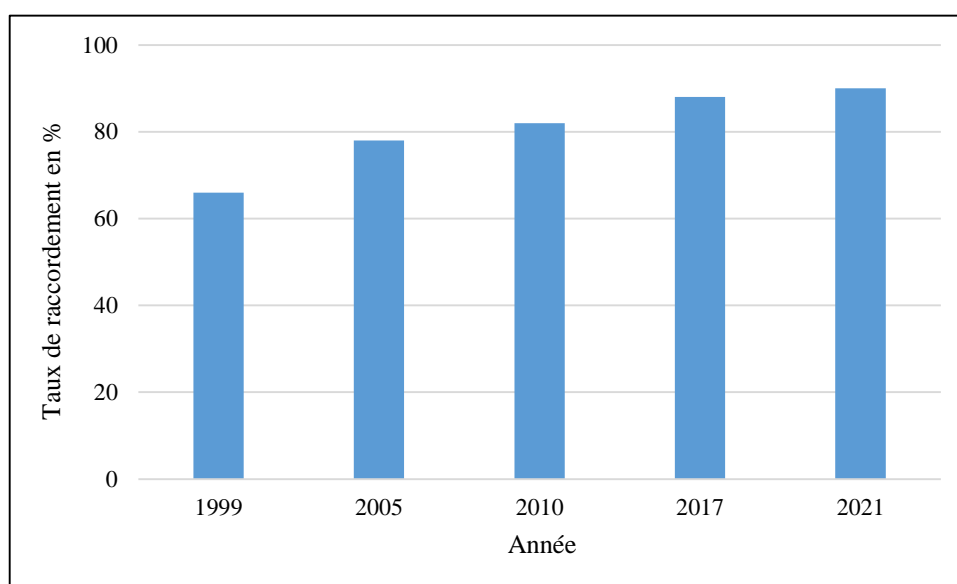


Figure 4 : Evolution du taux de raccordement en % aux systèmes d'assainissement en fonction des années à la wilaya de Tizi-Ouzou.

La gestion du réseau public d'assainissement de la wilaya de Tizi-Ouzou gérés en toute sécurité par l'ONA sont illustrés dans le tableau 2. Les eaux usées évacuées sont traitées dans des stations d'épuration, bassins de décantation, bassins de filtration ou auto-épurées naturellement (DRE Tizi-Ouzou, 2022).

Tableau 2 : Gestion du réseau public d'assainissement de la wilaya de Tizi-Ouzou (DRE Tizi-Ouzou, 2022).

| Linéaire du réseau en Km | | Taux de raccordement au réseau public d'assainissement en % | | | | Débit d'eaux usées rejeté en m ³ /j | |
|--------------------------|-----------|---|--------|-------|-----------|--|-----------|
| Total | Chef-lieu | Total | Urbain | Rural | Chef-lieu | Total | Chef-lieu |
| 4988,44 | 207,64 | 90 | 97 | 80 | 96 | 149642 | 25084 |

Le système d'assainissement répondu dans notre wilaya est le réseau unitaire, où les eaux pluviales sont mêlées aux eaux usées domestiques. La contrainte majeure de ce système est fréquentée dans les périodes à forte pluie, elle impose ainsi le déversement direct (sans aucun traitement) du mélange (eaux usées domestiques + eaux pluviales) très pollué dans le milieu naturel afin de préserver les ouvrages des STEP en aval (DRE Tizi-Ouzou, 2022).

Une station d'épuration doit être le point de chute d'un réseau d'assainissement, elle vise à éliminer les contaminants afin qu'elle puisse être soit réutilisée à nouveau soit retournée au cycle de l'eau avec un minimum d'impact sur l'environnement. En outre, la collecte et d'évacuation des eaux usées ne garantit pas la disponibilité d'un système d'épuration. Très souvent, les eaux usées collectées sont déchargées directement dans les cours d'eau. D'après la Direction des Ressources en Eau de la wilaya de Tizi-Ouzou, un volume total de 149 197 m³ rejeté chaque jour en eau usée, dont 26 588 m³/j traité dans 8 STEP, 24 bassins de décantation et 210 bassins de filtration et 123 054 m³/j rejeté sans traitement dans le milieu naturel (DRE Tizi-Ouzou, 2022) (Annexe 1).

La figure 5 représente l'évolution du secteur d'eau dans la wilaya de Tizi-Ouzou.



Figure 5 : Schéma du système de l'assainissement de la wilaya de Tizi-Ouzou (DRE Tizi-Ouzou, 2022).

3.3.1. Patrimoine hydraulique des STEP à Tizi-Ouzou

L'épuration des eaux usées est une initiative importante qui doit être prise au sérieux afin de protéger l'environnement en adéquation avec les conditions de santé publique, les enjeux économiques et sociaux la wilaya de Tizi-Ouzou comprend dans son patrimoine assainissement Huit (08) stations d'épuration de type biologique toutes exploitées par l'organisme de gestion l'Office National de l'Assainissement, dont la capacité totale de traitement est de 286 000 Eq/Hab, soit un débit nominal total de 40 650 m³/j dont 21 647 m³/j sont réellement épurés en 2021 (DRE Tizi-Ouzou, 2022). Le tableau ci-dessous représente les STEP en exploitation dans la wilaya de Tizi-Ouzou (tableau 3).

Tableau 3 : STEP en exploitation dans la wilaya de Tizi-Ouzou (DRE Tizi-Ouzou, 2022).

| Nom de STEP | T-O Est | T-O Ouest | Tadmait | Boghni | Draâ El Mizan | Draâ Ben Khedda | Tigzirt | Azeffoun |
|-----------------------------------|--|-----------|----------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------------|------------------|
| Date de mise en service | Juil 2000 | Nov 2006 | Mai 2007 | Nov 2006 | Juil 2013 | Nov 2016 | Juin 2013 | Juin 2013 |
| Entreprise de réalisation | Hydro aménagement Foremhyd | Foremhyd | Foremhyd | Foremhyd | ETUB, ECE, Inter-entreprise | Foremhyd | Hydro aménagement, Hydro traitement | Hydro traitement |
| Capacité en Eq/Hab | 120 000 | 25 000 | 13 000 | 13 000 | 30 000 | 50 000 | 10 000 | 20 000 |
| Débit nominal (m ³ /j) | 18 000 | 3 750 | 1 950 | 1 950 | 4 500 | 7 500 | 1 000 | 2 000 |
| Débit réel (m ³ /j) | 12001 | 2960 | 744 | 1495 | 2759 | 316 | 390 | 982 |
| Etat de la STEP | En marche | | | | | Arrêt | En marche | |
| Rôle de la STEP | Protection de la nappe phréatique de l'Oued Sébaou | | | Protection d'Oued Boghni | Protection de l'Oued Ksari | Protection d'Oued Sébaou | Protection du littoral | |

Face à la situation des ressources hydriques conventionnelles qui s'approchent de leurs limites qualitatives et de protéger l'important bassin hydrographique des rejets urbains dans notre région ainsi dans l'optique d'un projet de réutilisation des eaux usées épurées (REUE) à des fins agricoles, des perspectives à court et long terme, dont :

- Deux STEP en état de finalisation avec un taux d'avancement de 95 % (tableau N° 04).
- 349 bassins de décantation et six STEP à court terme pour la protection de la cuvette du Barrage Taksebt voir Irdjen 1, Irdjen 2, Ain El Hamam, Ouadhias, Ouacif et Mechtras d'une capacité respectivement de l'ordre de 15 000, 11 200, 15 500, 21 500, 11 000 et 35 000 Eq/Hab.
- STEP de Tamda (Ouaguenoun) proposée pour inscription d'une capacité de 50 000 Eq/Hab
- Quatre STEP en cours d'étude voir Dhous, Agouni, Ocharki et Ait Chaffa d'une capacité de 50 000 Eq/Hab pour chaque STEP et Iflessen d'une capacité de 30 000 Eq/Hab

Tableau 4 : STEP en voie de réalisation (DRE Tizi-Ouzou, 2022).

| Nom des STEP | Azazga | Oued Falli |
|------------------------------------|--|-----------------------------------|
| Capacité en Eq/Hab | 60 000 | 100 000 |
| Débit nominal en m ³ /j | 9 000 | 15 000 |
| Communes raccordées à la STEP | Ville d'Azazga et ville de Fréha | Pôle d'excellence et d'Oued Falli |
| Rôle de la STEP | Protection de l'Oued Diss et l'Oued Sebaou | Protection de l'Oued Sébaou |
| Perspectives d'amélioration | Réutilisation des eaux usées pour l'irrigation. Récupération des boues comme fertilisant. | |

4. Typologie des eaux usées

La pollution hydrique est déclenchée quand des matières indésirables introduisent dans l'eau, en modifiant la qualité physique, chimique et biologique. Celle-ci peut avoir répercussions négatives sur les activités économiques, des effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement (Chaudhry et Malik, 2017).

La qualité de l'eau est affectée par les activités humaines et se dégrade en raison de déversement d'eaux usées brutes, d'ordures dans les masses d'eau réceptrices sans tenir compte la capacités d'assimilation et le temps de l'épuration naturelle des eaux polluées où les eaux fortement polluées peuvent parcourir de longues distances en quelques jours avant d'atteindre un degré

satisfaisant d'épuration. En outre, l'urbanisation et la croissance démographique constituent de plus en plus des principales sources de pollution par ses rejets inconsidérés de déchets domestiques, pathologiques et commerciaux, etc. ajoutant à ce les effluents industriels non traités provenant des zones résidentielles et industrielles voisines (Haseena *et al.*, 2017 ; Halder et Islam, 2015 ; Verma et Dwivedi, 2013).

D'autre part, il existe des sources non ponctuelles de la pollution hydrique, les polluants sont libérés à partir de différentes sources représenté dans la tableau 5.

Tableau 5 : Sources de contaminants dans les systèmes d'eau usée urbaine (Speight, 2020).

| Contaminant | Sources typiques |
|-----------------------------|---|
| Métaux | Automobiles, dépôts atmosphériques, zones industrielles, érosion des sols, corrosion des surfaces métalliques, processus de combustion. |
| Pathogènes microbiens | Conduites d'égouts, sanitaires non étanches, déchets animaux, fosses septiques. |
| Nutriments | Engrais, dépôts atmosphériques, gaz d'échappement des voitures, érosion des sols, déchets animaux, détergents. |
| Huile/graisse/hydrocarbures | Routes, parcs de stationnement, aires d'entretien des véhicules, stations-service, déversements illicites dans les égouts pluviaux. |
| Matières organiques | Jardins résidentiels, aménagements paysagers commerciaux, déchets d'animaux |
| Pesticides/herbicides | Jardins résidentiels, bords de routes, emprises de services publics, zones paysagères commerciales et industrielles, lavage du sol. |
| Sédiments/flottables | Routes, activités de construction, dépôts atmosphériques et érosion des canaux de drainage. |

4.1. Eaux usées

Elles représentent les eaux rejetées après utilisation humaine, elles sont perçues comme une combinaison d'une ou de plusieurs utilisations voir domestiques, les eaux provenant des institutions, des commerces et les hôpitaux, les effluents industriels, les eaux des pluies et des ruissellements urbains et les eaux de ruissellement agricole (Raschid-Sally et Jayakody, 2008).

Le prélèvement, la collecte et le traitement (après utilisation de l'eau douce) sont les étapes nous permettant de gérer les eaux usées dans l'ensemble du cycle de gestion de l'eau, vu qu'elles une composante importante de ce dernier (figure 6).

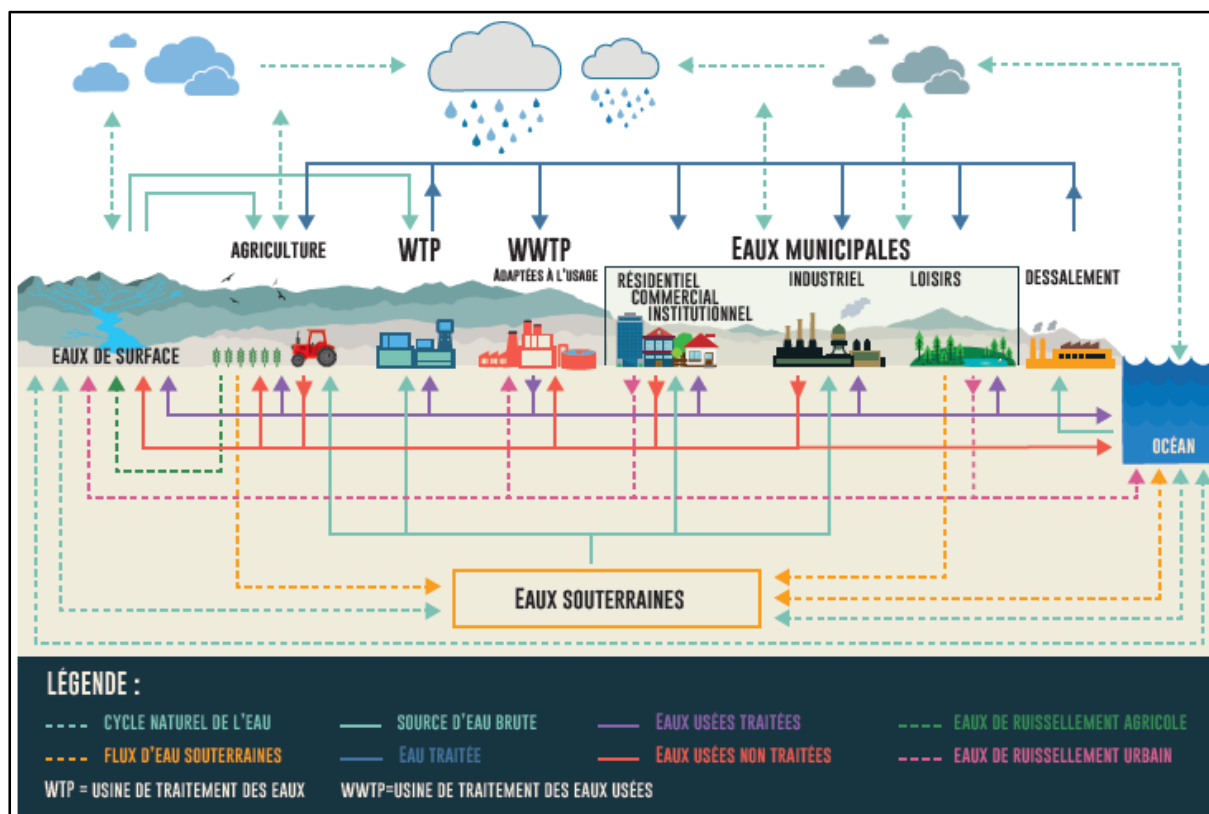


Figure 6 : Eaux usées dans le cycle de l'eau (UN WATER, 2017).

4.2.Types d'eau usée

4.2.1. Eaux usées domestiques

Ce sont les eaux qui ont été utilisées par une communauté pour l'usage domestique, elles contiennent toutes les matières ajoutées à l'eau pendant son emploi. Elles sont donc composées des déchets du corps humain (fèces et urines), de l'eau utilisée pour les chasses d'eau des toilettes et des eaux usées résultant du lavage personnel, nettoyage et de la préparation des aliments de cuisine. Elles sont chargées en matière en suspension et matière organique composée principalement de protéines, d'hydrates de carbone et de graisses (Mara, 2003 ; Paudel *et al.*, 2015).

4.2.2. Eaux de ruissellement

Elles se composent généralement d'une combinaison d'une ou de plusieurs eaux polluées : le ruissellement des eaux pluviales en surfaces imperméable, les eaux de lessivage des sols et les eaux des écoulements urbains comme le lavage de voiries et parkings. Les eaux pluviales ont la même composition que les eaux usées domestiques et peuvent contenir en plus des métaux lourds et des toxiques (OIEAU, 2005).

4.2.3. Eaux usées industrielles

Représentent les effluents rejetés par les usines vers le milieu extérieur. Sa composition est liée à la nature de l'activité industrielle. La pollution peut être organique, particulaire et ou toxique (Seow et Hauser, 2016). Ci-après, sont indiquées les caractéristiques type des eaux usées de certaines industries (UN WATER, 2017).

- Mines et carrières : ce secteur génère des effluents chargés en particules de roche et de très fines particules, les huiles hydrauliques et les minéraux indésirables comme l'arsenic.
- Industrie alimentaire : on trouve de nombreuses filières de production d'eaux usées, comme le cas de transformation des légumes, des viandes, de cuisson, des produits laitiers et dérivés. Les effluents générés ont des concentrations fortes en matières organiques, matières en suspension, d'antibiotiques, d'hormones de croissance, de pesticides et d'insecticides, des sucres dissout, protéines, résidus d'additifs, azote et phosphore.
- Génération d'énergie : ce secteur génère des effluents de nature très différente, et ce, selon la variabilité de secteur. Les eaux chaudes issues refroidissement et de divers contaminant provenant de puits pétroliers, gaziers et fracturation...

La Wilaya de Tizi-Ouzou n'est pas différente des autres régions du monde, elle possède diverses unités industrielles et plusieurs stations de lavages qui rejettent des effluents chargés de ciment, de matière organique, de lactosérum, de margine et des huiles usagées, ces unités sont variables selon la fiabilité des prétraitements de leurs rejets c'est-à-dire conforme, non-conforme voir absent avant déversement dans les systèmes d'assainissement ou dans une STEP. La collecte des eaux usées en elle-même ne présente pas un traitement, une quantité importante de ces effluents collectés sont déchargés directement dans l'environnement sans aucun traitement (DRE Tizi-Ouzou, 2022).

5. Paramètres de pollution

5.1. Potentiel Hydrogène

Le potentiel hydrogène est la résultante de la mesure de couple acido-base présent dans l'eau. Ceci est un paramètre global, qui varie en fonction de la température. Le pH des eaux naturelles varié entre 6,5 à 8,5 en fonction de leur origine, de la nature géologique du terrain traversé, ainsi que du niveau de pollution. Il s'agit d'un paramètre très important dans l'environnement, car un effluent dont le pH est trop faible ou trop élevé peut avoir un effet néfaste sur la vie aquatique : plus les valeurs du pH s'éloignent de la neutralité, plus vie aquatique est perturbée voire impossible ; par exemple, les eaux acides avec $\text{pH} < 6$ privilégient la solubilisation des métaux. En revanche, les eaux basiques avec un $\text{pH} > 8$ contribuent la formation de l'ammoniac qui est mortel pour les poissons à partir de 0,2 mg/L (Angerville, 2009 ; Gagné *et al.*, 2007 ; Morin-Crini *et al.*, 2017).

Le pH a un rôle majeur dans les réactions chimiques qui ont lieu dans le traitement des eaux, où il peut favoriser la formation des complexes chimiques ou des précipitations. Les variations des valeurs du pH acide puis basique peuvent affecter le bon fonctionnement de l'épuration biologique. Le pH d'un effluent urbain classique est légèrement alcalin (entre 7,5 à 8). La régulation du pH en tête de bassin d'aération peut être réalisée par l'ajout d'acide et base complémentaire ou par l'auto neutralisation dans le bassin tampon. Les eaux usées, une fois épurées, sont généralement remises à pH de 6,5 à 8,5 avant rejet dans le milieu récepteur (OIEAU, 2005).

5.2. Température

La température constitue un paramètre physique essentiel dans la modification des propriétés chimiques, physiques et biologiques de l'eau (Akli *et al.*, 2014). Dans un milieu naturel, la température peut augmenter réduisant ainsi la concentration en oxygène dissous. Elle joue un rôle important dans le traitement biologique et contribue à la vie des bactéries épuratrice. Les températures élevées causent de sérieux problèmes dans les ouvrages d'assainissement, elles modifient les conditions chimiques au cours du transfert des effluents, facilitant ainsi le dégagement des gaz (H_2S) et la fermentation anaérobique. Cela peut présenter des risques pour le personnel exploitant et les ouvrages de traitement des effluents (Fidele, 2020).

5.3. Matières en suspension

Les MES comprennent les matières solides grossiers visibles à l'œil nu, les matières décantables qui correspondent à celles qui se déposent au repos pendant une durée fixée

conventionnellement à 2 heures et les matières colloïdales d'un diamètre inférieur à 1 μm . Elles peuvent être d'origine minérale, organique et/ou biologique. Elles sont résultantes des source naturelle (sable, terre, limon, plancton, etc.) et une source anthropique (rejets urbains, agricoles ou industriels). La présence de MES dans les eaux usées provoque le dépôt de matières par conséquence le phénomène de colmatage, réduisent le passage de la lumière donc la croissance des végétaux, la présence des matières colloïdales génère la couleur et la turbidité (Fidele, 2020 ; Morin-Crini *et al.*, 2017).

5.4. Demande chimique en oxygène

C'est un paramètre global qui mesure indirectement la quantité de pollution oxydée chimiquement dans un échantillon d'eau. La DCO s'exprime en $\text{mg d'O}_2/\text{L}$ et est égale à la quantité d'oxygène apportée pour un oxydant généralement dichromate de potassium afin de détruire toutes les matières organiques biodégradables et non biodégradables dans des conditions opératoires bien définies. La DCO est la somme de deux fractions : une fraction dite biodégradable tels le sucre, l'alcool, etc. et une autre fraction dite non biodégradable par exemple les graisses, etc. (Atinkpahoun, 2018).

La demande chimique en oxygène d'une eau usée domestique est comprise entre 500 et 700 $\text{mg d'O}_2/\text{L}$, elle peut atteindre 1 000 $\text{mg d'O}_2/\text{L}$ pour un effluent communal non épuré et peut dépasser 5 000 $\text{mg d'O}_2/\text{L}$ pour certaines eaux usées industrielles non traitées. Plus la DCO est élevée, plus la quantité de pollution principalement inorganique est élevée dans l'échantillon (Morin-Crini *et al.*, 2017 ; Fidele, 2020).

5.5. Demande biochimique en oxygène

C'est un paramètre important utilisé pour caractériser une eau, il permet d'évaluer la quantité d'oxygène pour l'autoépuration naturelle. En effet, il représente la quantité d'oxygène exigée par les organismes aérobies pour dégrader les matières organiques présentes dans un effluent donné. La détermination de la DBO est une façon indirecte d'évaluer la quantité de matières organiques biodégradables contenues dans l'effluent (Yu *et al.*, 2019). Dans une eau usée, la concentration en DBO est comprise entre 200 à 400 $\text{mg d'O}_2/\text{L}$ (Fidele, 2020).

La DBO_5 est la mesure de la teneur en oxygène consommé à 20 °C, dans l'obscurité pendant 5 jours, pour assurer par voie biologique l'assimilation de la pollution biodégradable carbonée, et qu'ensuite les micro-organismes assimilaient la pollution biodégradable azotée (OIEAU, 2005).

5.6. Indice de biodégradabilité

Il fournit des informations sur le devenir et les effets de la matière organique dans le milieu. Il est défini soit par le rapport DBO_5/DCO , soit par le rapport DCO/DBO_5 .

Selon le rapport mondial des nations unies sur eau en 2017 la valeur du rapport DBO_5/DCO se trouve entre 0 et 1 détermine la possibilité et le rendement de dégradation par un traitement d'oxydation biologique. Un traitement est dit réalisable quand ces valeurs sont proche de 1. En général, on considère que pour un rapport :

- $DBO_5/DCO < 0,25$: une grande partie des matières oxydables est non organiques, donc elles ne sont pas parfaitement dégradables par des micro-organismes, l'effluent est difficile à épurer par voie biologique.
- $0,25 < DBO_5/DCO < 0,35$: les matières oxydables peuvent être dégradables avec des souches sélectionnées, dans ce cas traitement biologique est possible.
- $DBO_5/DCO > 0,35$: les matières oxydables sont dégradables par les micro-organismes, donc le traitement biologique est réalisable voir efficace, généralement pour les effluents urbains et agroalimentaires.

Selon Metahri (2012), le rapport DCO/DBO_5 est un indicatif de la dégradabilité des matières oxydables présentes dans un effluent, reparti comme suite :

- $DCO/DBO_5 < 1,5$: les matières oxydables constituées une grande partie de matières fortement biodégradable.
- $1,5 < DCO/DBO_5 < 2,5$: les matières oxydables sont moyennement biodégradables.
- $2,5 < DCO/DBO_5 < 3$: les matières oxydables sont peu biodégradables.
- $DCO/DBO_5 > 3$: les matières oxydables sont non biodégradables.

Le tableau ci-après représente les variations du rapport DCO/DBO_5 en fonction de la nature des effluents.

Tableau 6 : Variations du rapport DCO/DBO₅ en fonction de la nature des effluents.

| DCO/DBO ₅ | Natures des effluents | Références |
|----------------------|------------------------|------------------------------------|
| 1,5 | Rejets d'abattoir | (OIEAU, 2005) |
| 1,5 à 1,8 | eaux usées domestiques | (Morin-Crini <i>et al.</i> , 2017) |
| 1,6 à 2 | eaux usées laitières | (Morin-Crini <i>et al.</i> , 2017) |
| 2 à 3 | eaux usées urbaines | (OIEAU, 2005) |
| 4 à 6 | eaux usées textiles | (Morin-Crini <i>et al.</i> , 2017) |

5.7. Azote

L'azote se présente dans les eaux usées sous forme d'azote organique (urée, protéine, acide urique...) et minérale dissoute (azote ammoniacal, azote des nitrites et azote des nitrates). (Metahri, 2012).

Selon Sawadogo (2018), l'élimination de l'azote se fait par deux processus : aérobie qui représente l'étape de nitrification et anaérobie qui représente l'étape de dénitrification. A l'entrée de la STEP, les eaux urbaines contiennent majoritairement l'azote organique et de l'azote ammoniacal. L'ammonification commence dans le réseau d'assainissement, elle se poursuit dans la STEP jusqu'à ce que l'azote organique se transforme totalement en en NH₄-N

Au cours du traitement biologique des effluents, l'azote peut subir différentes transformations :

- Nitrification est le processus de transformation de l'azote ammoniacal en nitrate en présence des bactéries autotrophes, elle s'opère en deux étapes :
 - Nitritation qui oxyde l'ammonium en nitrites.
 - Nitratisation qui convertit les nitrites en nitrates.

L'azote peut devenir fortement nocives pour les eaux lorsqu'il est en excès, il participe au développement plus rapidement des végétaux dans l'eau, étouffe la vie aquatique et peut le phénomène d'eutrophisation. Son origine dans l'environnement est variée : eaux usées domestiques, effluents industriels, lessivage des engrais, etc. (Kinidi *et al.*, 2018).

5.8. Phosphore

Il se trouve principalement dans les eaux naturelles et les effluents sous la forme de phosphates ou PO_4^{3-} . Son origine est dû au drainage les terrains agricoles fertilisées, les rejets des activités industrielles agroalimentaires et les rejets des laveries industrielles (Atinkpahoun, 2018).

La mesure des phosphates est très importante pour évaluer le bon fonctionnement des STEP, l'élimination du phosphore se fait sous forme de gaz ou piégé dans les boues par traitement chimique et biologique. La présence de DBO_5 en quantité suffisante implique une efficacité d'élimination biologique en phosphore. Les rapports $\text{P}/\text{DBO}_5 < 0,03$ et $\text{N}/\text{DBO}_5 < 0,25$ assurent une décomposition du phosphore vers la forme insoluble (Morin-Crini *et al.*, 2017).

Le contrôle de rejet de phosphore par les stations d'épuration municipales et industrielles est un facteur clé pour prévenir l'eutrophisation des eaux de surface, car les teneurs excessives en phosphore dans les eaux réceptrices entraîne généralement à une croissance extensive des algues (Akpor et Muchie, 2011).

6. Tendances en eaux usées

Les eaux usées présentent d'environ 99 % d'eau et 1 % de matières solides en suspension, colloïdales et dissoutes (Mara, 2003), leur émission directe provoque des effets néfastes sur la santé humaine, l'environnement et répercussions des activités économiques (UN WATER, 2017).

La prévention de la pollution hydrique par le rejet eaux usées non épurées ou mal épurées est un programme de développement durable adopté par 193 États Membres de l'Assemblée générale des Nations en 2015. Ce programme vise la protection l'environnement à l'horizon 2030 en réduisant 50 % les pourcentages des eaux usées non traitées en 2015 (UN WATER, 2017). La figure 7 représente les pourcentages des eaux usées non traitées en 2015 et les pourcentages souhaitables en 2030, dans les pays ayant différents niveaux de revenu.

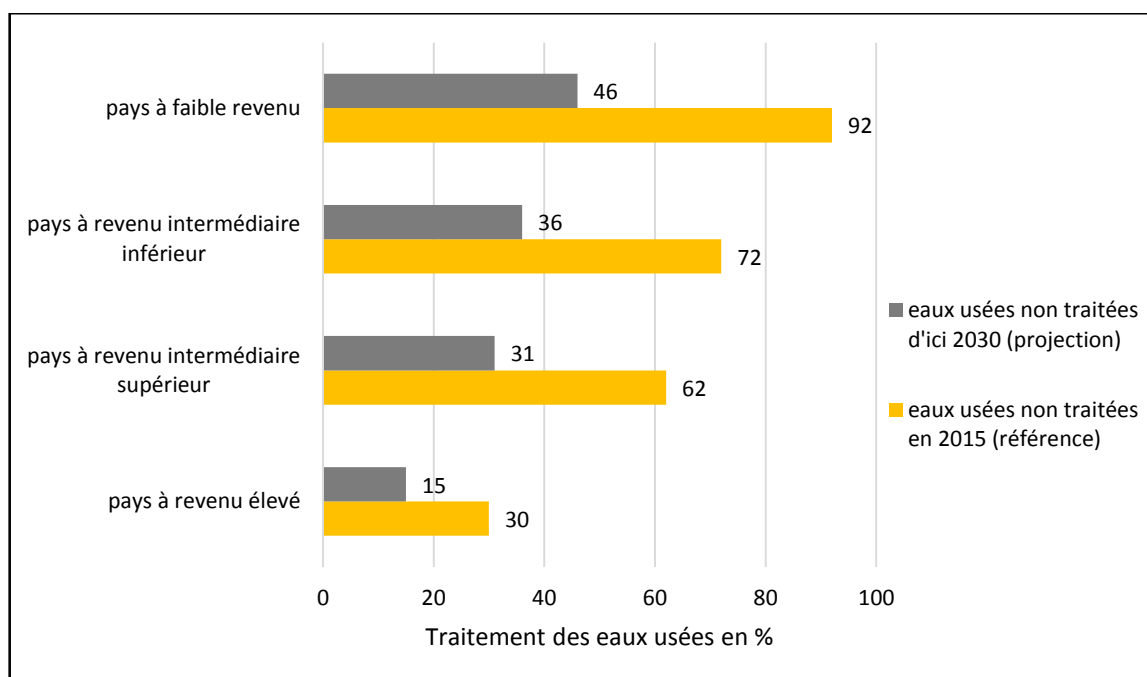


Figure 7 : Pourcentages de référence (2015) et de projection (2030) des eaux usées non traitées dans les pays ayant différents niveaux de revenu (UN WATER, 2017).

7. Procédés de traitement des eaux usées

Actuellement, le traitement des eaux usées urbaines est une pratique courante dans les pays développés pour restituer une eau de haute qualité au milieu naturel, protégeant ainsi la santé humaine et l'environnement (Santos *et al.*, 2022). Selon la charge polluant et la sensibilité du milieu récepteur, un nombre de processus de traitement des eaux usées physiques, chimiques et biologiques est mis en œuvre (Waqas *et al.*, 2020).

Les eaux usées traitées doivent répondre aux normes sanitaires homologuées en fonction de leurs destinations finales. Cette norme définit la qualité de l'effluent en fonction du milieu récepteur, qu'il soit maritime, public hydraulique ou pour un recyclage quelconque.

Les rendements épuratoires varient selon le type de procédé et du traitement appliqués. Du point de vue élimination de la pollution organique, les procédés intensifs à boues activées ou à lits bactériens sont en moyenne les plus performants donnant une charge moyenne de 25 à 30 mg/l pour la DBO₅, de 80 à 90 mg/l pour la DCO et de 25 à 35 mg/l pour les MES.

Le traitement par procédé extensif de type lagunage permet une meilleure réduction de la charge microbiologique, mais, moins performant concernant la réduction de la pollution organique (DBO₅ = 55 à 60 mg/l, DCO > à 200 mg/l et MES = 50 à 60 mg/l).

7.1. Prétraitement

L'objectif du prétraitement est l'élimination des solides grossiers et matières volumineuses qu'on trouve souvent dans les eaux usées brutes. Il permet d'éliminer et de réduire les matières et les solides de grande taille, entraînés, en suspension ou en flottation (Sonune et Ghate, 2004). Cette étape protège les ouvrages ultérieurs du traitement en évitant les dépôts et la corrosion, elle comprend (Nedjah, 2016) :

- Dégrillage pour arrêter les déchets solides qui sont constitués de morceaux de bois, de tissu, de papier, de plastique, d'ordures, etc.
- Dessablage pour retenir les solides inorganiques lourds tels que le sable et le gravier ainsi que le métal ou le verre.
- Dégraissage et déshuilage pour éliminer les quantités excessives d'huiles ou de graisses.

7.2. Traitement primaire

Le traitement primaire appelé aussi décantation primaire, est un procédé physique conçu pour éliminer les matières organiques résiduelles et les solides en suspension par sédimentation et flottation. Il utilise des clarificateurs ou des bassins de décantation, qui éliminent environ 30 % des matières en suspension, 6 % des matières colloïdales, 65 % des matières dissoutes, 25 à 50 % de la demande biochimique en oxygène, 50 à 70 % des solides en suspension et 65 % des corps gras. Une partie de l'azote organique et du phosphore organique sont également éliminés. L'effluent des unités de décantation primaire est appelé effluent primaire (Benyoucef, 2021 ; Sonune et Ghate, 2004).

7.3. Traitement secondaire

Le processus de traitement secondaire consiste à traiter biologiquement les eaux usées en utilisant de nombreux micro-organismes dans un environnement contrôlé. Les micro-organismes transforment les matières organiques biodégradables en substances basiques plus stables et en biomasse. Plusieurs procédés biologiques aérobies sont utilisés pour le traitement secondaire. Ils diffèrent principalement par la manière dont l'oxygène est fourni aux microorganismes et par la vitesse à laquelle les organismes métabolisent la matière organique (Khaoulani, 2015). On distingue ainsi deux systèmes d'épuration : systèmes intensifs et les systèmes extensifs.

7.3.1. Techniques intensives

Son principe est la localisation sur des surfaces réduites et l'intensification des phénomènes de transformation et de dégradation de la matière organique. Elle représente les procédés

classiques comprennent les croissances attachées et en suspension. Dans le premier cas, les micro-organismes sont attachés à une surface rigide pour former un biofilm comme dans les filtres à ruissellement et les contacteurs biologiques rotatifs. Tandis que dans le second cas, les micro-organismes sont en suspension comme dans le procédé d'épuration à boues activées (Waqas *et al.*, 2020).

➤ **Cultures fixes**

Les eaux usées préalablement décantées sont ruisselées sur un matériau poreux lequel les cultures bactériennes se développent pour former un biofilm. Ces cultures bactériennes se nourrissent de la matière organique contenue dans les eaux usées permettant ainsi l'élimination d'une partie importante de la pollution. A partir de ce principe, deux procédés ont été développés voir les lits bactériens et les disques biologiques (Bedouh, 2014).

➤ **Cultures libres**

Appelés aussi boues activées, ce procédé est basé sur l'intensification des processus d'épuration naturelle présente dans l'environnement. Il est composé de deux bassins : bassin d'aération et le clarificateur (Bedouh, 2014).

Dans le bassin d'aération (réacteur biologique), les micro-organismes sont mélangés aux eaux usées où ils sont maintenus en suspension grâce à un apport en oxygène assuré par un brassage continu de la liqueur. Les microorganismes se développent en nourrissant des polluants organiques présents dans les effluents. Les polluants sont convertis en davantage d'organismes, en biomasse et en certains sous-produits tel que le dioxyde de carbone et eau (Nejjari *et al.*, 2022).

Après une durée de traitement suffisante, la liqueur mixte, s'écoule vers le clarificateur (décanteur secondaire) où les boues sont séparées de l'eau épurée (effluent secondaire). Une partie des boues décantées est continuellement recyclée du clarificateur vers réacteur biologique pour assurer le maintien d'une quantités adéquates de micro-organismes dans ce bassin. Les boues en excès sont envoyées vers la filière de traitement des boues (Nejjari *et al.*, 2022 ; Pasquini, 2013).

7.3.2. Techniques extensives

➤ **Cultures fixes**

Les procédés réalisent une épuration sur un support fin, ils consistent le ruissellement de l'eau à traiter sur plusieurs massifs indépendants. En se basant sur deux mécanismes qui sont :

- ✓ Filtration superficielle : les MES et une partie de la DCO sont arrêtées à la surface du massif filtrant.
- ✓ Oxydation : une oxydation de la pollution dissoute par se développent les bactéries aérobies fixées sur le milieu granulaire, constitue ainsi un réacteur biologique.

Les procédés d'épuration à cultures fixes sont : l'infiltration-percolation, filtre planté à écoulement vertical et filtre planté à écoulement horizontal (Berland *et al.*, 2001).

➤ **Cultures libres**

L'épuration repose sur le développement des cultures bactériennes aérobies, l'oxygène provient de diverses sources selon les filières (naturelle pour le lagunage naturel et artificielle pour aéré). La culture bactérienne est ensuite séparée de l'eau épurée par mécanisme de décantation dans un ouvrage (clarificateur, lagune de décantation, etc.). Les procédés d'épuration à cultures libre sont : lagunage naturel, lagunage à macrophyte et le lagunage aéré (Berland *et al.*, 2001).

7.4. Traitement tertiaire

Le traitement tertiaire vise à éliminer les éléments indésirables comme les nutriments, les contaminants et certains composés (pesticides, métaux, détergents, etc.), il est mis en place quand la méthode classique de traitement des eaux usées ne répondant pas aux exigences réglementaires et environnementales. Son but est d'améliorer la qualité de l'eau secondaire avant son retour dans le milieu naturel ou sa réutilisation (Mimeche, 2014).

Cependant, le traitement tertiaire est actuellement développé par plusieurs procédés qui sont : l'adsorption, oxydation avancée et les procédés membranaires. Le choix du procédé est basé sur l'adaptés vis-à-vis de la réutilisation désirée et de la qualité de l'effluent en sortie de station (Mailler *et al.*, 2014 ; Benyoucef, 2021).

7.4.1. Elimination de la matière en suspension et de la matière organique

Dans ce cas la rétention des matières en suspension et des matières organiques est basée sur le principe de filtration. Les procédés utilisés sont la microfiltration, l'ultrafiltration, la nanofiltration, l'osmose inverse et l'infiltration-percolation qui peut être également utilisée comme traitement de finition (Boutin *et al.*, 2009).

7.4.2. Réduction d'autres paramètres chimiques

Se fait par plusieurs techniques s'avère très efficaces en traitement tertiaire selon la nature d'élément qu'on cherche à éliminer ou à réduire. Nous distinguons :

- Lagunage tertiaire, il consiste l'utilisation de plusieurs lagunes de maturation à faibles profondeurs et permettent une désinfection des eaux en présence des algues.
- Echange d'ion, le charbon actif en grains (CAG) et en poudre (CAP), ainsi que l'électrodialyse (Boutin *et al.*, 2009).

7.4.3. Elimination de l'azote et du phosphore

Traitement tertiaire de l'azote se fait par l'étape de nitrification et/ou dénitrification avec apport de carbone soluble méthanol ou acétate, elle est ajoutée après le traitement biologique secondaire. Ce type de traitement permet d'abaisser au maximum la concentration en azote résiduelle des eaux usées (Metahri, 2012).

L'élimination du phosphore ou déphosphatation peut être réalisé soit par voie biologique par l'accumulation du le phosphore sur la biomasse épuratrice, soit par voie physico-chimique qui peut être effectué par l'ajout de chlorure ferrique permet aux ions phosphates de former un précipité de phosphate de fer, qui est ensuite éliminé par une étape de séparation (Metahri, 2012).

7.4.4. Elimination des pathogènes

Les effluents secondaires à la sortie de la STEP contiennent une grande variété de charge microbienne, son élimination peut se faire par plusieurs procédés, on distingue ainsi :

- Désinfection par chloration : le chlore est injecté directement dans les eaux usées. Il permet d'éliminer la plupart des microorganismes pathogènes même à faible dose. Toutefois, la désinfection par le chlore peut avoir un impact négatif sur la faune et flore aquatique, et sur la formation des sous-produits cancérigène comme organochlorés (Boutin *et al.*, 2009).
- Désinfection par l'ozone : permet la dégradation de la matière organique et l'élimination les principales sources pathogènes présentes dans l'eau. Les propriétés de l'ozone sont les suivantes, il est désinfectant, désodorisant, respectueux de l'environnement et purificateur (Arzate *et al.*, 2019).
- Désinfection par ultraviolet : se place après un traitement secondaire du type boues activées, elle s'agit de lampes à mercure disposées parallèlement au eaux qui attaquent ensuite les microorganismes (Metahri, 2012).

8. Relation entre eau épurée et milieu récepteur

La connaissance de la qualité des eaux épurées permet d'une manière générale d'adapter la gestion du périmètre irrigué. Les principales informations à recueillir sont :

- La teneur en matières solides en suspension qui informe sur les risques de colmatage et de la nécessité de prévoir une filtration pour les systèmes d'irrigations localisées ;
- La charge en micro-organismes pathogènes qui conditionnera les mesures de précaution appropriées ;
- La composition en sels (salinité globale : CE, SAR, et effet spécifique des ions) ; cette information permet d'estimer la fraction de lessivage et de sélectionner les cultures les mieux adaptées ;
- La composition en éléments fertilisants qui servira pour mieux ajuster la fertilisation ;
- La teneur en métaux lourds qui permet d'appréhender les risques de contamination et de toxicité.

9. Dispositions réglementaires des eaux usées en Algérie

La protection des ressources hydriques en Algérie est régie par un cadre législatif afin de protéger les ressources en eau contre les déversements nuisibles, la pollution, la surexploitation et de prévenir les effets négatifs sur l'environnement.

- **Arrêté interministériel du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005 de l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau par la loi n° 05-12 relative à l'eau**

Article 119 exige une autorisation préalable de l'administration des ressources en eau pour tout déversement des effluents non domestiques dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration d'eaux usées autres que domestiques est soumis à l'autorisation préalable de l'administration chargée des ressources en eau.

Article 120 interdit d'introduire toute matière susceptible d'affecter la santé du personnel ou d'entraîner une dégradation ou une gêne de fonctionnement des ouvrages de collecte, d'évacuation et d'épuration des eaux usées.

- **Arrêté interministériel du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels par le décret exécutif n° 06-141**

Le présent décret fixe les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels vers un milieu naturel (annexe 2), des prescriptions techniques relatives aux rejets d'effluents liquides industriels et le contrôle des rejets d'effluents liquides industriels.

- **Arrêté interministériel du 27 Joumada Ethania 1430 correspondant au 21 juin 2009 fixant les modalités d'octroi de l'autorisation de déversement d'eaux usées autres que domestiques dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration par le décret exécutif n° 09-209**

Article N° 3 définit les valeurs limites maximales de déversement des eaux usées autres que domestiques dans un réseau d'assainissement ou dans une STEP (annexe N° 03).

Article N° 4 oblige un prétraitement de tout effluent autre que domestique dont les caractéristiques ne sont pas conformes aux limites fixées par l'article précédent avant son déversement dans un réseau public ou dans une STEP.

10. Réutilisations des eaux usées

La gestion de l'eau est perturbée par la situation climatique actuelle, la réutilisation des eaux usées traitées constitue l'une des solutions à mettre en œuvre pour faire face à une raréfaction grandissante de l'eau et pour s'adapter à des tensions saisonnières sur l'eau, en outre elle permet d'améliorer la qualité de l'eau qui sera rejetée dans l'environnement (Harmand *et al.*, 2022).

La réutilisation des eaux usées en agriculture est pratiquée depuis des siècles au Mexique et en Chine qui représente un moyen de réduire la pression sur les ressources en eau douce (Ababsa *et al.*, 2020).

La réussite d'un projet de réutilisation d'eaux usées épurées repose, entre autre, sur la bonne gestion de l'eau d'irrigation. Cet aspect doit être bien identifié et bien structuré. En Algérie, ce volet est régi par le décret exécutif 07-149 du 20 mai 2007 qui stipule que la concession d'utilisation des eaux usées peut être octroyée à une institution publique (ONID...) et/ou au privé (coopérative agricole, promoteur...).

Le concessionnaire est tenu d'assurer une exploitation rationnelle des eaux usées épurées, d'entretenir et de réparer les ouvrages et canalisations du réseau de distribution. Il distribue les eaux usées épurées vers les utilisateurs agricoles ou autres. Lorsque le concessionnaire est un organisme public, l'application de la réglementation, l'exécution des contrôles et la répression des fraudes sont en général mieux assurés.

L'irrigation avec les eaux usées épurées exige, en plus des paramètres communs d'une irrigation avec des eaux conventionnelles, la maîtrise d'autres paramètres liés à la qualité physico-chimique, et biologique des effluents (micro-organismes pathogènes, parasites, éléments toxiques, salinité, matières en suspension, etc.).

Sur 169 stations d'épuration gérées par l'ONA, 14 STEP concernées par la REUT, avec un volume moyen mensuel de plus d'un million de m³/mois d'eaux épurées réutilisées en agriculture, afin d'irriguer une superficie de plus de 9159 ha et plus de 7 500 m³/mois d'eau épurées réutilisées à des fins industrielles et municipales (ONA, 2021).

La réutilisation des eaux usées traitées est réalisée à partir du listing des STEP actuellement en exploitation, en travaux, en étude ou programmées à l'horizon 2030. Il s'agit de proposer un programme de réalisation des projets de réutilisation des eaux usées épurées en adoptant des critères de priorités basés sur l'emplacement des STEP, de leur taille (volume d'eau épurée) et des possibilités physiques et financières de réalisation :

- La planification des projets de REUT est arrêté à 101 STEP, avec une capacité nominale de 752,39 hm³/an. Le volume disponible pour l'irrigation est de 626,8 hm³/an, ce qui permettrait l'irrigation 94 987 hectares en premier lieu ;
- Ce listing n'a pas inclus les grandes stations qui devront faire l'objet d'une étude spécifique à s'avoir : Baraki (298 000 m³/j), Béni Messous (100 800 m³/j), Oran (270 000 m³/j) et Annaba (83 620 m³/j), soit une production annuelle théorique cumulée de 274,6 hm³/an. Parmi ces STEP citées, seules celles de Baraki et d'Oran seraient retenues pour l'irrigation agricole. Le volume mobilisé est totalement disponible pour la réutilisation agricole en raison de la présence des ouvrages de stockage selon le MRE. La STEP d'Annaba est dans un premier temps, destinée au complexe d'El Hadjar. Celle de Béni Messous à usages multiples. Il est de même pour les stations dont la production journalière ne dépasse pas les 1 000 m³/j, qui feront l'objet d'utilisations locales et dont l'impact sur le bilan global est négligeable. Ce qui porte en fait les volumes théoriques mobilisables à 952,39 hm³/an et les surfaces potentielles à irriguer à près de 129 500 hectares ;
- Le reste des stations existantes ou à venir pourront dans le cas échéant et à la demande faire l'objet de projet de réutilisation des eaux usées épurées selon la même approche.

11. Situation de la réutilisation dans la wilaya de Tizi-Ouzou

Les eaux usées épurées issues des STEP fonctionnelles de ladite wilaya ne sont pas réutilisées en irrigation et cela est dû à l'absence de périmètre irrigué et avant étude de possibilité de leurs exploitations en irrigation, il est impossible d'imaginer quel sera l'avenir de la nappe alluviale et les affluents du Sebaou, si la pollution apportée par le déversement direct d'un volume non-négligeable des eaux usées dans le milieu naturel. Néanmoins, ces STEP contribuent à la dépollution en grande partie des rejets de la population de la wilaya et les résultats d'analyse des rejets obtenus sont satisfaisantes dans l'ensemble et conforme en normes de l'OMS. Cependant, le bilan de la valorisation des eaux usées épurées et les boues dans la wilaya de Tizi-Ouzou est représenté dans le tableau ci-dessous.

Tableau 7 : Bilan de la valorisation des eaux usées épurées et les boues dans la wilaya de Tizi-Ouzou (DRE Tizi-Ouzou, 2022).

| STEP | Filière boue | | | | | | Filière eau | |
|------------------|--|-----------------------|--------------------------------------|---|---------------------------------------|---|--|--|
| | Quantité de boues produites (m ³ /mois) | Siccité des boues (%) | Fréquence de caractérisation (Année) | Qualité de boue | Type de valorisation | Condition de valorisation et de suivi | Volume réutilisé à l'intérieur des STEP (m ³ /an) | Type de culture ou nom du périmètre irrigué |
| Tizi-Ouzou Est | 46 | 53 | 02 | Conforme à la norme NA 17671 pour les teneurs en éléments traces Métalliques : (Nickel, Cuivre, Cadmium, Plomb, chrome, Zinc et Sélénium) | Valorisation Agricole (Arboriculture) | Engagement de l'Agriculteur à respecter les conditions d'utilisation de la boue, imposées par l'ONA (signature d'un engagement) Suivi assuré par l'équipe d'exploitation interne de l'unité de Tizi-Ouzou | 12 038,95 | Agrumiculture et pommes de terre, d'une superficie de 100 Ha à raison de 5 000 m ³ /ha. |
| Tizi-Ouzou Ouest | 17 | 40 | 01 | | | | 1 375,14 | Agrumes et cultures maraichères |
| Tadmait | 05 | 93 | 01 | | | | 5 312 | la pépinière de l'entreprise public ERGR DJURDJURA |
| Draa Ben Khedda | 03 | 95 | 01 | | | | - | Orangeriaie |
| Tigzirt | 25 | 39 | 01 | | | | 1 845 | - |
| Azeffoun | 16 | 50 | 01 | | | | - | Vigne, pastèque et alimentation de la retenue collinaire située à proximité |
| Boghni | 30 | 76 | 01 | | | | 7 805 | - |
| Draa El Mizan | 59 | 31 | 01 | | | | 1 152,50 | - |
| Total | 201 | - | 09 | | | | - | - |

Chapitre II : Etude qualitative
des eaux usées brutes et
épurées des STEP de Tizi-
Ouzou.

1. Introduction

Les traitements classiques des STEP sont insuffisants pour la dépollution totale des eaux usées, cela remonte à des raisons technologiques et économiques. C'est pourquoi le suivi du fonctionnement des STEP est recommandé (Khaoulani, 2015).

Dans ce chapitre, nous présenterons les différentes stations d'épuration des eaux usées urbaines fonctionnelles de la région d'étude et l'analyse de la qualité de ses effluents. Ensuite, nous décrirons les étapes allant des procédés d'épuration jusqu'à l'évaluation des paramètres analysés. Les résultats d'analyse obtenus dans ce chapitre nous ont permis d'évaluer la qualité des eaux usées brutes et épurées des six STEP étudiées. La mesure des concentrations des différents paramètres de pollutions nous a permis de connaître la nature des substances dégradées dans les STEP conventionnelles de Tizi-Ouzou et de caractériser la nature et l'origine des effluents bruts et la qualité des effluents secondaires rejetés dans le milieu naturel.

2. Matériels et méthode

2.1. Présentation de la zone d'étude

La wilaya de Tizi-Ouzou constitue la région d'étude

2.1.1. Situation géographique

La wilaya de Tizi-Ouzou située au Nord de l'Algérie, sur le littoral centre-Est du pays à une centaine de kilomètres de la capitale Alger. Elle est limitée par la wilaya de Bouira, Bejaia et Boumerdès respectivement au Sud, à l'Est et à l'Ouest. La wilaya de Tizi-Ouzou étale sur une superficie de 2 958 km², soit 0,13 % du territoire national. Elle dispose d'une interface de 85 km (Dib, 2021). La wilaya de Tizi-Ouzou est divisée administrativement en 67 communes dont Tizi-Ouzou, Tadmait, Draa El Mizan, Boghni et Azeffoun où se situent les stations d'épuration étudiées (figure 8).

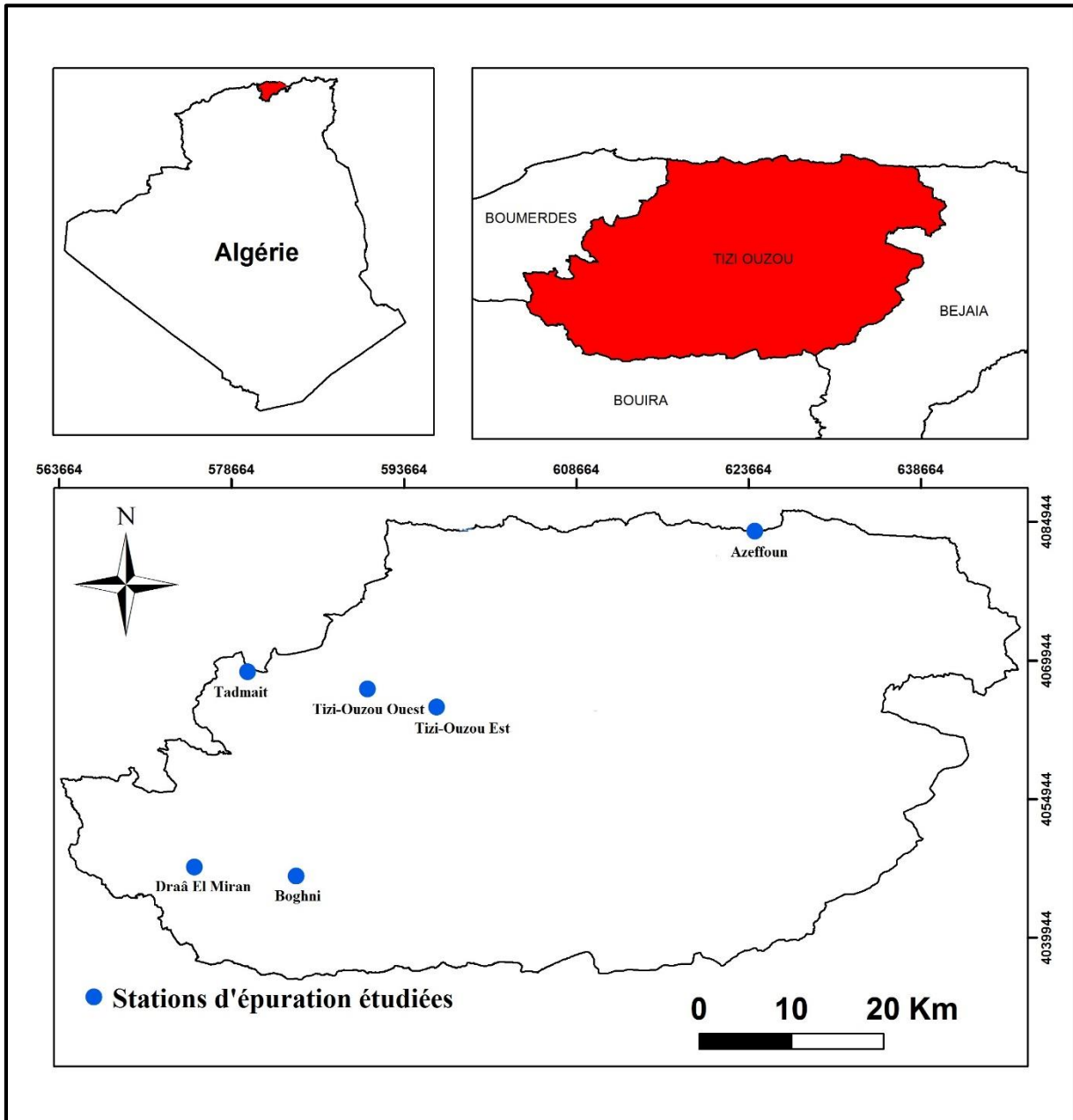


Figure 8 : Carte représentative de la région d'étude (Aissaoui *et al.*, 2022)

2.1.2. Cadre climatique

Le climat joue un rôle important dans notre vie quotidienne, représenté par une description statistique en fonction de la variabilité des conditions météorologiques (température, vent, précipitation...) des périodes d'un lieu donné. L'emplacement stratégique de la région d'étude se trouve sous l'influence du climat méditerranéen qui varie de l'humide au subhumide, ses caractéristiques fondamentales peuvent être résumées par une saison humide froide en hivers avec des précipitations à grandes irrégularités inter annuelles et une saison sèche en été avec une sécheresse totale bien marquée, se prolongeant de la mi-juin à octobre (Sekhi, 2022).

2.1.2.1. Données climatiques

➤ Précipitation

Les pluies en Algérie sont plutôt orographiques. La direction des axes montagneux par rapport à la mer et aux vents humides détermine la hauteur pluviométrique. En effet, les versants Nord, Nord-Ouest et leurs sommets reçoivent les précipitations les plus fortes (Bebba, 2017). La figure ci-dessous représente les précipitations totales en mm de Janvier 2012 à Décembre 2022 dans la wilaya de Tizi-Ouzou.

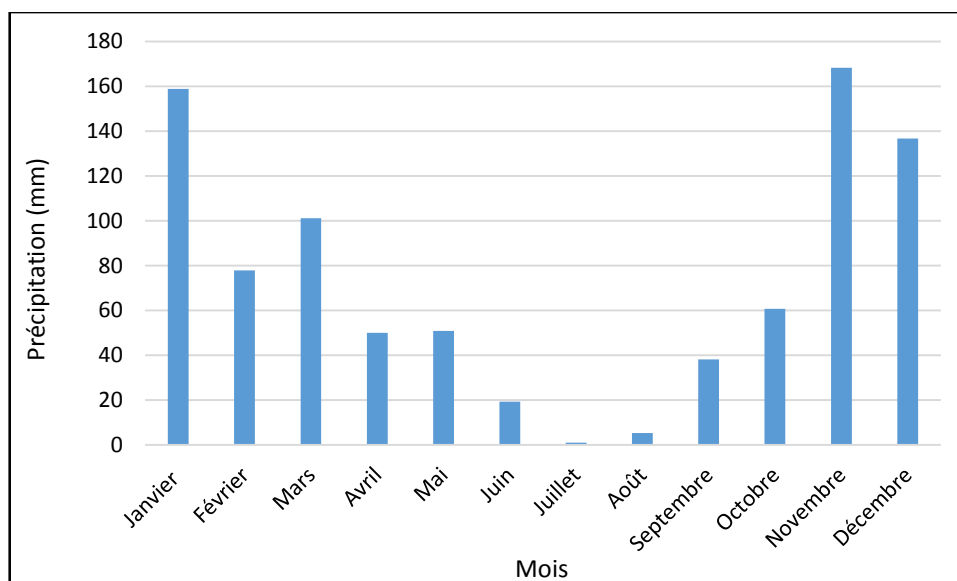


Figure 9 : Variation des précipitations moyennes mensuelles (mm) de la wilaya de Tizi-Ouzou de Janvier 2012 à Décembre 2022.

Le régime annuel des pluies est caractérisé par une irrégularité très marquée. Le mois le plus pluvieux est le mois de Novembre avec un maximum de 168,32 mm contre un minimum de 0,98 mm au mois de Juillet qui était le mois le moins pluvieux. Cependant, la précipitation totale était de 868,31 mm/an.

➤ Température

Le tableau ci-dessous représente les températures enregistrées au niveau de la wilaya de Tizi-Ouzou, elles appartiennent au climat méditerranéen : Froides en hiver (Janvier : moyenne des minimas : 5,80 °C) et chaudes en été (Juillet et Août : moyenne des maximas : 33,80 °C).

Les valeurs de température moyennes enregistrées allant de l'année 2012 à 2022 varient de 9,80 à 28,50 °C. La température moyenne mensuelle maximale est observée au mois de Juillet avec une valeur de 33,80 °C, tandis que la température moyenne mensuelle minimale est observée au mois de Janvier avec une valeur de 5,80 °C.

Tableau 8 : Variation des températures moyennes mensuelles (°C) de la wilaya de Tizi-Ouzou de 2012 à 2022.

| | Jan | Fév | Mars | Avr | Mai | Juin | Juil | Août | Sept | Oct | Nov | Déc |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Tmax | 13,8 | 15,3 | 17,9 | 21,1 | 24,7 | 29,3 | 33,8 | 33,6 | 29,5 | 24,8 | 18,6 | 15,3 |
| Tmin | 5,8 | 7,1 | 9,2 | 11,4 | 14,9 | 19,2 | 23,2 | 23,1 | 20,4 | 16,1 | 10,7 | 6,8 |
| Tmoy | 9,8 | 11,2 | 13,5 | 16,3 | 19,8 | 24,3 | 28,5 | 28,3 | 25 | 20,5 | 14,7 | 11,1 |

Tmax : Températures moyennes mensuelles maximales.

Tmin : Températures moyennes mensuelles minimales.

Tmoy : Températures mensuelles moyennes.

➤ Humidité

Elle exprime le rapport en pourcentage de la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air (Pa) à la pression de la vapeur saturante (Pr) dans les mêmes conditions de mesure de température lue au thermomètre sec et de pression (Bebba, 2017). L'humidité relative moyenne mensuelle de l'air de la wilaya de Tizi-Ouzou de 2012 à 2022 est représentée dans la figure ci-dessous.

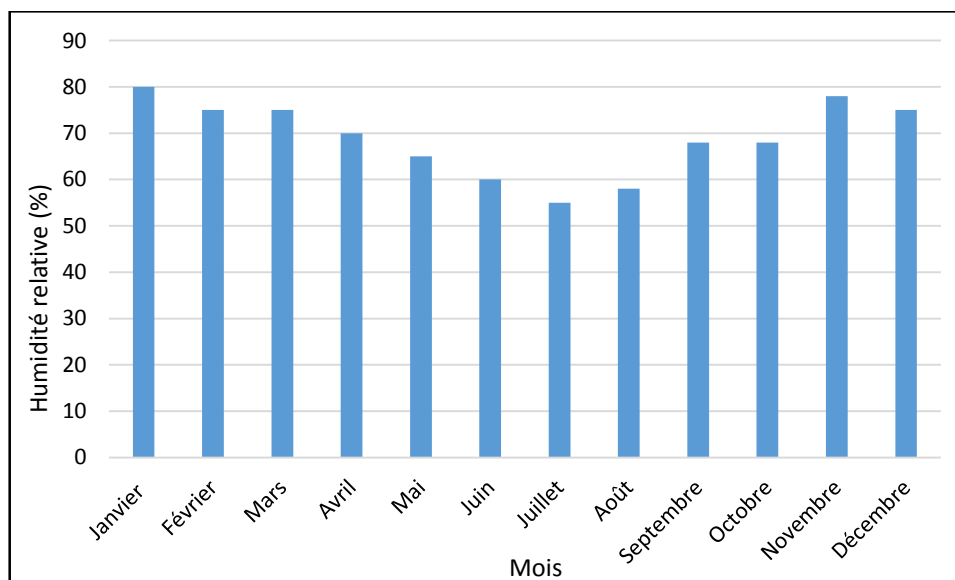


Figure 10 : Variation de l'humidité relative moyenne mensuelle (%) de la wilaya de Tizi-Ouzou de 2012 à 2022.

La valeur moyenne de l'humidité relative est de 68,92 % avec une valeur maximale enregistrée durant la période hivernale (80 %) correspondant au mois de Janvier, tandis qu'une valeur plus basse est relevée en été, particulier en Juillet (55 %).

➤ Vent

Le vent correspond au déplacement de l'air d'une zone de haute pression vers une zone de basse pression, il est caractérisé par sa vitesse et sa direction (Shukuru, 2022 ; Carrega, 2008).

La figure ci-après représente les vitesses moyennes de vent de la wilaya de Tizi-Ouzou.

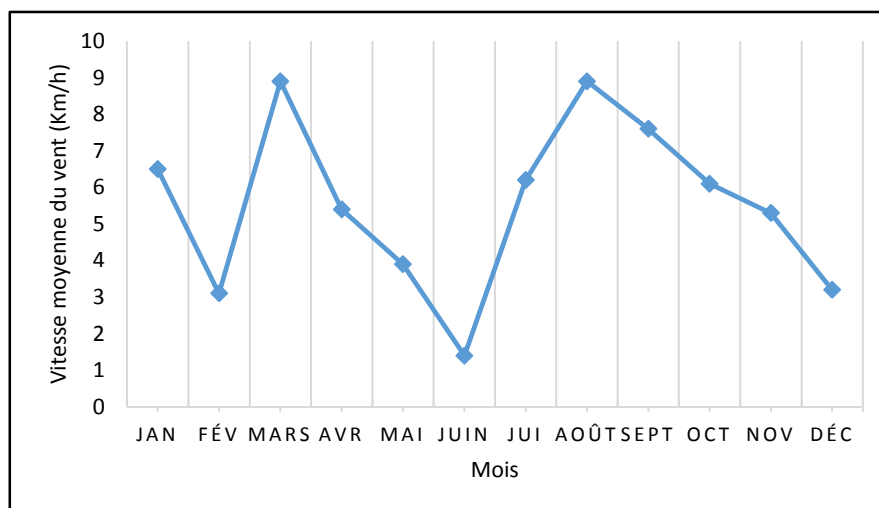


Figure 11 : Variation du vent (Km/h) de la wilaya de Tizi-Ouzou.

Les valeurs de vitesse moyenne du vent varient d'un minimum de 1,40 Km/h à un maximum de 8,90 Km/h. En comparant ces résultats à l'échelle de Beaufort, nous constatons alors que ces vents sont de 1^{er} et 2^{ème} degré à souffle très léger (1 à 5 Km/h) à léger (6 à 11 Km/h), on remarque aussi, une augmentation parallèle de vent et de pluie en mois de Mars cela peut être expliqué par les vents chargés de pluies qui soufflent pendant l'automne et l'hiver et une partie du printemps et viennent du Nord-Ouest après qu'ils perdent une grande partie de l'humidité sur l'Atlas tellien (Remini, 2005).

2.1.2.2. Synthèse climatique

➤ Diagramme ombrothermique

Afin de déterminer la période sèche et la période humide dans la région d'étude. Il est recommandé d'établir le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson qui représente des précipitations portées à une échelle double des températures $P \text{ (mm)} \leq 2 T \text{ (}^\circ\text{C)}$.

La figure 12 représente le diagramme ombrothermique de la wilaya de Tizi-Ouzou de 2012 à 2022.

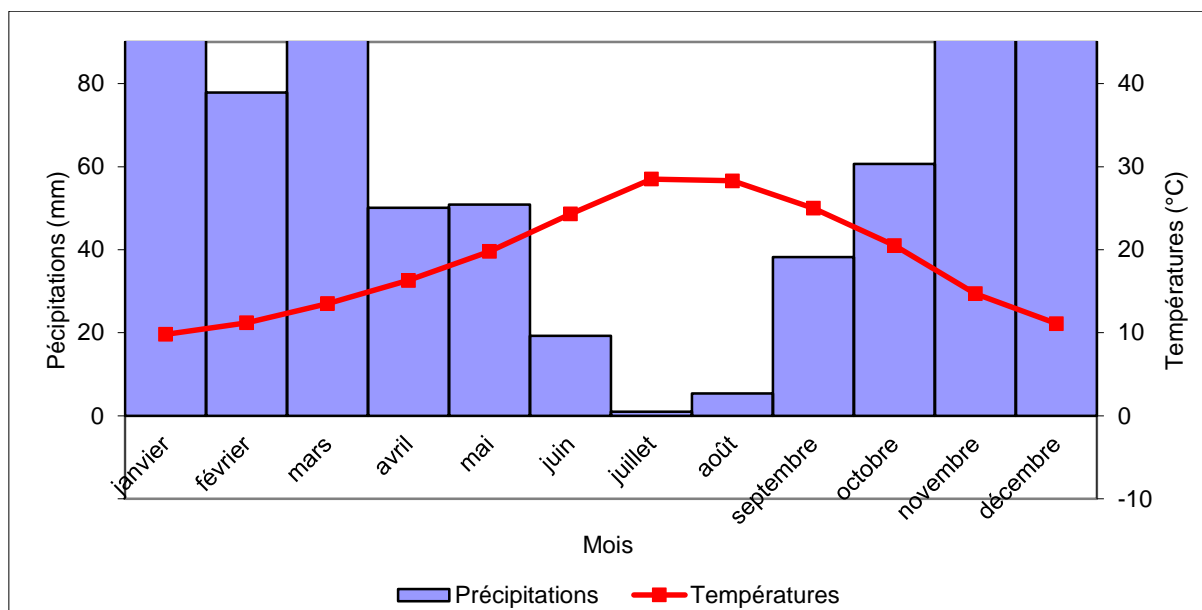


Figure 12 : Diagramme ombrothermique de la wilaya de Tizi-Ouzou de 2012 à 2022.

L'analyse des diagrammes ombrothermiques présente deux périodes : sèche et humide, la période sèche est de 4 mois, elle s'est étalée du début Juin à la fin de Septembre. La période humide s'est étalée du mois d'Octobre au mois de Avril.

➤ Climagramme d'Emberger

Pour déterminer l'étage bioclimatique de la wilaya de Tizi-Ouzou, l'indice d'aridité annuel est calculé la formule quotient pluvio-thermique d'Emberger $Q = \frac{2000 P}{M^2 - m^2}$

La précédente est simplifiée pour obtenir la formule suivante : $Q_2 = \frac{3,43 P}{M - m}$

Avec :

P : précipitations moyennes annuelles en (mm).

M : la moyenne des maxima de la température du mois le plus chaud.

m : la moyenne des minima de la température du mois le plus froid.

Dans notre cas, le quotient pluvio-thermique d'Emberger est de 106,37 et la variante thermique $m = 5,80$ °C.

La figure 13 illustre la représentation schématique de la situation de Tizi-Ouzou dans le climagramme d'EMBERGER durant la période 2012 à 2022.

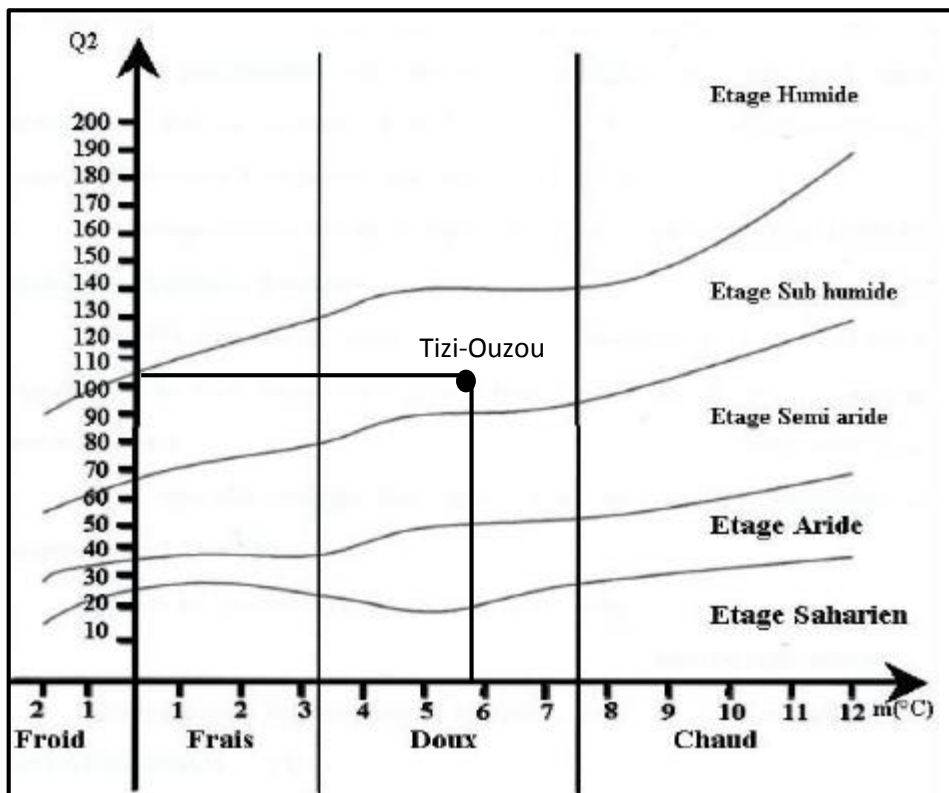


Figure 13 : Représentation schématique de la situation de Tizi-Ouzou dans le climagramme d'EMBERGER pendant la période 2012 à 2022.

En représentant ces valeurs sur le climagramme d'Emberger, nous constatons que la wilaya de Tizi-Ouzou appartient à l'étage bioclimatique subhumide à hiver doux ou tempéré.

2.2.Présentation des stations d'épuration étudiées

Les stations d'épuration de la wilaya de Tizi-Ouzou ont pour but d'épurer des eaux usées de nature urbaine à dominance domestique dans l'intention de préservation de la santé publique, lutte contre les sources de pollution hydrique et de protéger et sauvegarder le versant du Sebaou et le littorale, c'est pourquoi elles ont été installées à proximité des ressources et de l'environnement hydrique voir Oued Sébaou, Oued de Boghni, Oued Ksari et la plage Caroubier. Le tableau ci-dessous représente les différentes caractéristiques des STEP étudiées et leurs effluents raccordés.

Tableau 9 : Différentes caractéristiques des STEP étudiées (DRE Tizi-Ouzou, 2022).

| Nom de STEP | Tizi-Ouzou Est | Tizi-Ouzou Ouest | Tadmait | Boghni | Draâ El Mizan | Azeffoun |
|--|--|--|--------------------------------|----------------------------------|---|--------------------------------|
| Procédé d'épuration | Boues activées à moyenne charge | Boues activées à faible charge | Boues activées à faible charge | Boues activées à faible charge | Boues activées à faible charge | Boues activées à faible charge |
| Capacité en Eq/Hab | 120 000 | 25 000 | 13 000 | 13 000 | 30 000 | 20 000 |
| Débit nominal (m³/j) | 18 000 | 3 750 | 1 950 | 1 950 | 4 500 | 2 000 |
| Débit réel (m³/j) | 12001 | 2960 | 744 | 1495 | 2759 | 982 |
| Zones raccordées à la STEP | Tizi-Ouzou Nord-Est, Sud-Est et Redjaouana | Boukhalfa, Tala Allam, Tizi-Ouzou Ouest, Sud-Ouest et Nord-Ouest en partie | Tadmait Est et Ouest | Partie Est de la ville de Boghni | Ville de Draâ El Mizan et une partie de Draâ Sachem | Ville d'Azeffoun |
| Effluents influencés par | 3 hôpitaux majeurs Stations de lavage. | Fromagerie Laiterie Stations de lavage. | Stations de lavage. | Stations de lavage. | Stations de lavage. | Stations de lavage. |
| Exutoire de la STEP | Oued Sebaou | | | Oued Boghni | Oued Ksari | Mer (Plage Caroubier) |

2.3. Procédés d'épuration

Les différentes méthodes d'épuration des effluents bruts de la wilaya de Tizi-Ouzou peuvent être classées en deux catégories : les traitements physico-chimiques et le traitement biologique à boues activées (figure 14).

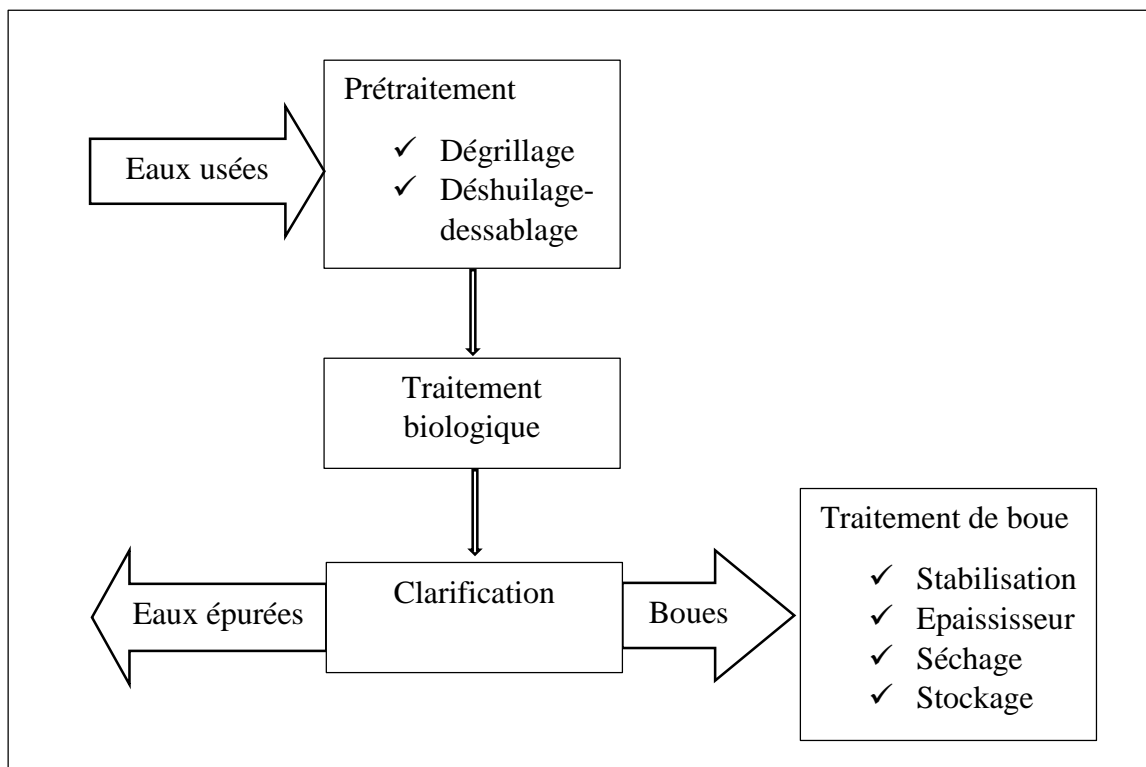


Figure 14 : Schéma représentatif des étapes principales de l'épuration biologique des STEP étudiées.

2.3.1. Déversoir d'orage

L'installation des bassins d'orage s'impose systématiquement dans la construction des STEP, car ils jouent un rôle important dans le bon fonctionnement de celle-ci. Ils protègent hydrauliquement la station en admettant un débit maximum déterminé en fonction de la capacité de la station et ils protègent ses ouvrages en évacuant des arrivées anormalement chargées (Pronost *et al.*, 2002).

2.3.2. Prétraitements

Quelle que soit la taille de la station, les prétraitements sont importants pour le bon fonctionnement des ouvrages. Le dégrillage et le dessablage-déshuilage constituent les deux étapes du prétraitement utilisées dans nos STEP.

Le rôle de dégrillage est une protection mécanique des pompes et réduit les risques de colmatage des conduites mises en place dans les STEP. Il permet de récupérer les déchets plus

ou moins volumineux entraînés par les effluents dans les canalisations d'assainissement (Canler, 2004). Deux types de dégrillage sont utilisés voir grossier et fin.

Le bassin d'assemblage opère deux sous-étape dessablage et déshuilage, il est aéré afin d'assurer une séparation de la fraction organique fixée sur les sables et les graisses. Le dessablage permet de retenir les particules sédimentables essentiellement minérales de type graviers et sables. Cependant, le lavage des sables est préconisé pour éviter les problèmes de fermentation par la proportion de matière organique retenue. Le déshuilage permet de retenir les particules de densité plus faible que l'eau (graisses et les huiles). En effet, la présence des huiles et des graisses en surface des milieux naturels peuvent former en zone calme une couche fine réduisant ainsi les échanges gazeux eau-atmosphère (Adler, 2005).

Ce procédé se termine par une décantation, elle permet d'alléger le poids du traitement biologique par la clarification des sables.

2.3.3. Traitement biologique

Le traitement biologique est réalisé dans les bassins d'aération dans le but d'éliminer de la matière organique par voie biologique, il est caractérisé par la charge massique exprimée en kg de DBO₅/kg de matière organique de boue/jour (Adler, 2005). Les stations étudiées sont conçues pour le procédé de boue activée à faible charge (0,20 – 0,50 kg de DBO₅/kg de matière organique de boue/jour) à l'exception de la STEP Est boue activée à moyenne charge (0,50 – 1,50 kg de DBO₅/kg de matière organique de boue/jour).

Les effluents sont épurés dans des bassins d'aération formant une zone de contact qui favorise le développement bactéries. Les éléments majeurs à maîtriser dans ce bassin sont : l'aération pour assurer la fonction de brassage et d'homogénéisation de la totalité des boues, le mode d'introduction et de déplacement de l'effluent et la bonne gestion de la boue dans l'ouvrage (Canler *et al.*, 2007).

La liqueur (eau usée et micro-organisme) est envoyée vers le clarificateur où s'effectue une séparation solide (boue) liquide (eau épurée). Une partie de ces boues décantées est réintroduite dans les bassins d'aération afin de maintenir son équilibre et une l'autre partie expédiée vers des systèmes de traitement de boues.

Les stations étudiées menées de plusieurs étapes de traitement des boues constituées par l'épaississement, la stabilisation, la déshydratation naturelle et ou mécanique et le stockage.

2.4. Techniques d'échantillonnages

L'échantillonnage d'eau est une opération délicate qui doit être manipulée avec prudence. Il conditionne les résultats et l'interprétation de l'analyse. Les échantillons doivent être homogènes, représentatifs et obtenus sans altérer les caractéristiques physico-chimiques de l'eau afin de garantir des résultats analytiques fiables. L'échantillonnage a été effectué durant les années 2018 et 2019 avec un prélèvement par mois dans deux points différents voir eaux brutes et eaux épurées. Le choix du type d'échantillonnage est le suivant :

- Echantillon direct : l'échantillon est prélevé manuellement en une seule fois, il est mesuré *in situ* comme le potentiel hydrogène, la température et la conductivité électrique.
- Echantillon composite : l'échantillon est préparé en mélangeant plusieurs sous-échantillons ponctuels et il est transporté dans une glacière jusqu'à l'arrivée de laboratoire.

2.5. Analyses physico-chimiques

Le potentiel hydrogène et la température ont été déterminés par la méthode électrométrie en utilisant un pH-mètre Hanna (pH 211) et mini-thermomètre Hanna de précision avec sonde déportée Checktemp1 (HI 98509). La conductivité électrique (CE) a été déterminée à l'aide d'un conductivité-mètre Hanna (HI 8820).

Les matières en suspension (MES) ont été déterminées en suivant la norme française NF T 90-105 par filtration d'un volume d'effluent sur des filtres cellulose sous vide de maille 0,45 µm puis séchage à 105 °C.

La demande biologique en oxygène pendant cinq jours (DBO₅) a été déterminée par la méthode manométrique réalisée dans des flacons Oxitop, cette méthode repose sur la mesure de la pression dans un système clos. Les micro-organismes consomment l'oxygène de l'échantillon en formant du CO₂. Celui-ci est absorbé par NaOH et il s'en suit une dépression dont la mesure peut être traduite directement en mg d'O₂/l.

La demande chimique en oxygène (DCO) a été déterminée par l'oxydation de la matière organique de l'échantillon à 150 °C pendant 2 heures en excès de bichromate de potassium dans les conditions de l'essai en présence de sulfate de fer et d'ammonium comme catalyseur, la mesure a été faite à l'aide d'un spectrophotomètre Hach DR 2000.

Les nitrates, nitrites et l'ammonium et les Orthophosphates ont été dosés selon la méthode colorimétrique et la lecture à l'aide d'un spectrophotomètre Hach DR 2000. Les nitrates ont été

déterminés par l'ajout d'un réactif NitraVer 5 en sachet de poudre pour des échantillons de 25 mL qui forment avec les ions nitrates, un complexe coloré marron dont l'intensité est proportionnelle à la teneur en nitrates et qui absorbe à la longueur d'onde de 500 nm. Les nitrites ont été déterminés par l'ajout d'un réactif NitriVer 3 en sachet de poudre pour des échantillons de 25 mL qui forment avec les ions nitrites un complexe coloré rose dont l'intensité est proportionnelle à la teneur en nitrites et qui absorbe à la longueur d'onde de 507 nm. L'ammonium a été déterminé en présence du salicylate ammoniacal et des cyanurates ammoniacal qui donnent une couleur verdâtre. L'absorbance est obtenue à la longueur d'onde de 655 nm. Les Orthophosphates ont été déterminés en présence d'un réactif PhosVer 3 qui forment avec les ions Orthophosphates un complexe coloré en bleu la mesure a été faite à une longueur d'onde de 890 nm.

3. Résultats et discussion

Les figures 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 et 24 représentent les variations spatio-temporelles des paramètres physico-chimiques enregistrées au cours de la période d'étude dans les stations d'épuration Tizi-Ouzou Est, Tizi-Ouzou Ouest, Tadmait, Boghni, Draâ El Mizan et Azeffoun. L'évolution des paramètres des eaux usées brutes (entrée) est représentée par des histogrammes bleus et les eaux traitées (sortie) par des histogrammes orange, le rendement épuratoire est représenté par la courbe grise marquée et les normes inférieures et supérieures Algériennes de rejet vers le milieu naturel sont représentées respectivement par les courbes vert et rouge.

3.1. Etude physico-chimique

3.1.1. Température (T)

La figure 15 illustre les variations de température au cours de la période d'étude dans les six STEP.



Figure 15 : Variations de la température des eaux usées brutes et traitées en fonction du temps.

Les résultats d'analyse ont montré des variations saisonnières remarquables de la température des eaux allant de 13 à 27,10 °C à l'entrée et de 11,80 à 28 °C à la sortie. Les valeurs maximales sont marquées en mois de Juillet, Août et Septembre. A l'inverse les valeurs minimales sont enregistrées en mois de Janvier. Cette différence de température témoigne que la température

de l'eau est fortement liée à la température de l'air : elles sont plus élevées pendant les saisons sèches et les plus basses pendant les saisons humides (Merghem *et al.*, 2016).

Nous observons une légère variation des valeurs de la température dans les effluents épurés en comparant avec celles des effluents bruts, les écarts de réductions sont expliqués par l'activité de la dégradation de la pollution contenue dans l'eau brute par les microorganismes, car dans une eau chargée, les particules en se frottant augmentent la température du milieu (Benyoucef, 2021). Les écarts d'élévation sont observés dans les saisons chaudes et par conséquent, l'augmentation de la température de l'air contribue à l'augmentation de la température des eaux épurées dans les ouvrages des STEP.

Les températures des eaux brutes et épurées mesurées dans l'ensemble des stations d'épuration ne dépassent pas 30 °C considérée comme norme Algérienne de rejet vers le milieu naturel (JORA, 2006) et la plage adéquate à l'activité microbienne et à l'équilibre écologique, favorise ainsi le traitement biologique dans les STEP et épuration naturelle des eaux usées (Metahri, 2012).

En termes d'eau brute, nos résultats sont plus ou moins similaires avec ceux trouvés à Angola par Fidele (2020), nos valeurs maximales sont similaires à celles trouvées à Touggourt par Amiri (2017) voir 27,35 °C et à Biskra (village Ain Zaatoot) par Mimeche (2014) voir 27 °C. Pour les eaux épurées, les valeurs enregistrées sont plus ou moins similaires à la plage [12,8 – 25,5] trouvée par Chabi et Hammar (2019) à Souk Ahras. En revanche, la valeur moyenne (19,1 °C) est légèrement inférieure à 21 °C trouvée à Mascara (Saifi *et al.*, 2018).

3.1.2. Potentiel Hydrogène (pH)

La figure 16 représente les variations des valeurs de pH des eaux usées brutes et épurées enregistrées au cours de la période d'étude dans quatre STEP voir Tizi-Ouzou Est, Tizi-Ouzou Ouest, Tadmait et Azeffoun.

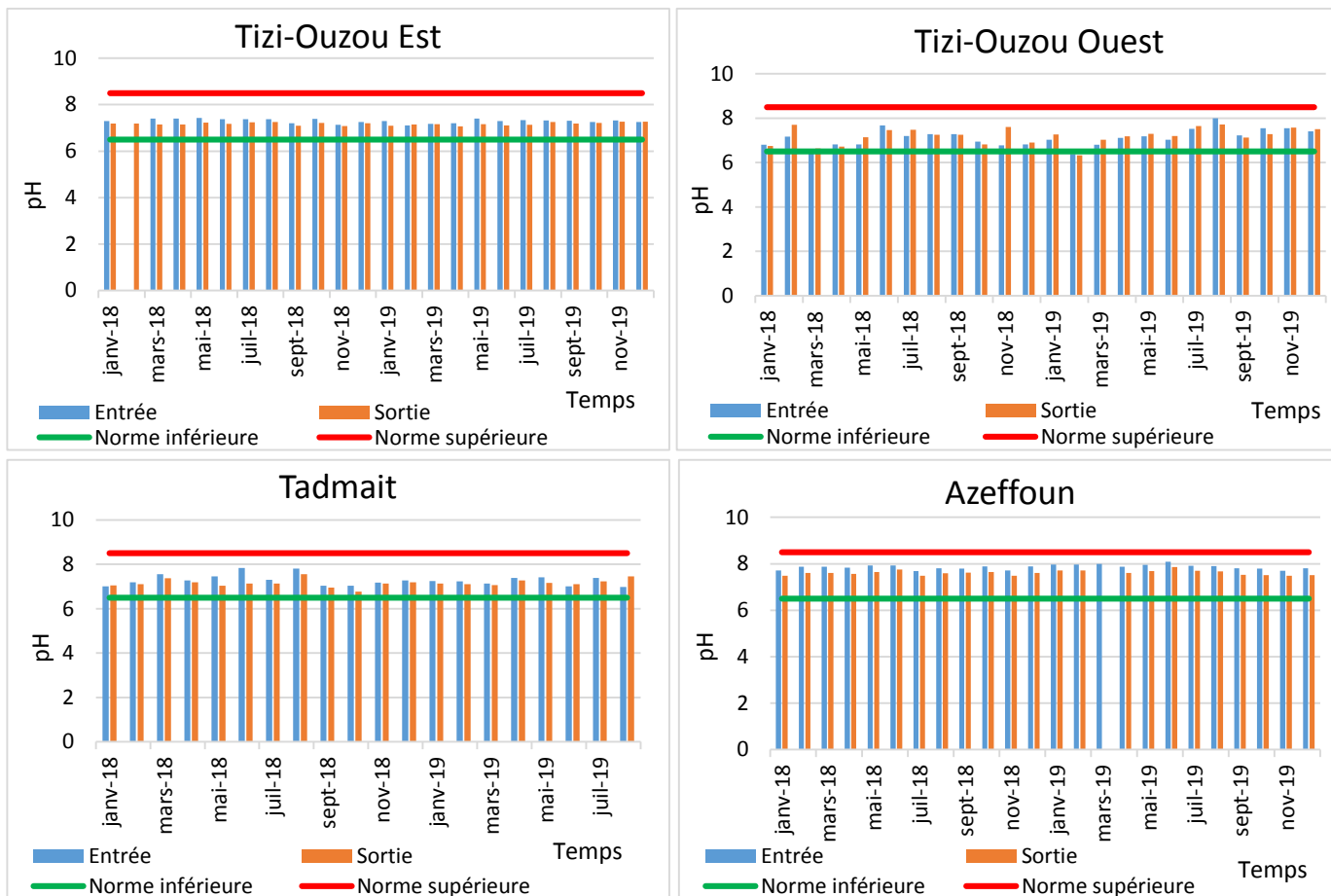


Figure 16 : Variations de pH des eaux usées brutes et traitées en fonction du temps.

Les résultats de pH montrent que les valeurs minimales et maximales sont respectivement de 6,54 et 8,09 avec une moyenne de 7,39 pour l'entrée et 7,29 pour la sortie. Ces résultats sont inclus dans l'intervalle 6,5-8,5 et considérés comme normes inférieures et supérieurs de rejets (JORA, 2006). Néanmoins, deux valeurs extrêmes minimales ont été enregistrées en-dessous de la norme inférieure (6,50) dans la STEP Ouest en mois de Février pour eaux brutes et épurées voir 6,38 et 6,32, ce là indique une légère acidité des eaux usées qui peut être due au rejet anormalement chargé déversé dans le réseau d'assainissement. La pollution dans ce cas est essentiellement organique, la dégradation des substances organiques entraîne une tendance générale à acidifier le milieu par suite de la fermentation rapide (Hamdi *et al.*, 2012). D'une manière générale, la gamme de valeurs de pH obtenues favorise la croissance des organismes nécessaire à la dégradation biologique de la pollution organique (Benyoucef, 2021).

Les résultats moyens de pH sont similaires à ceux démontrés par Laabassi (2016) à Batna (7,20), par Chabi et Hammar (2019) à Souk Ahras [7-7,95] et par Moondra *et al.* (2021) en Inde (7,28). Ils sont inférieurs à 8,31 et 8,16 trouvés respectivement pour les eaux brutes et traitées

à la STEP de Mascara (Saifi *et al.*, 2018) et à 8 trouvée à la STEP de Burkina Faso (Ouedraogo *et al.*, 2018).

3.1.3. Conductivité (CE)

La figure ci-après révèle les variations de la conductivité des eaux usées brutes et épurées enregistrées au cours de la période d'étude dans les stations d'épuration Tizi-Ouzou Est, Tizi-Ouzou Ouest, Tadmaït et Azeffoun.

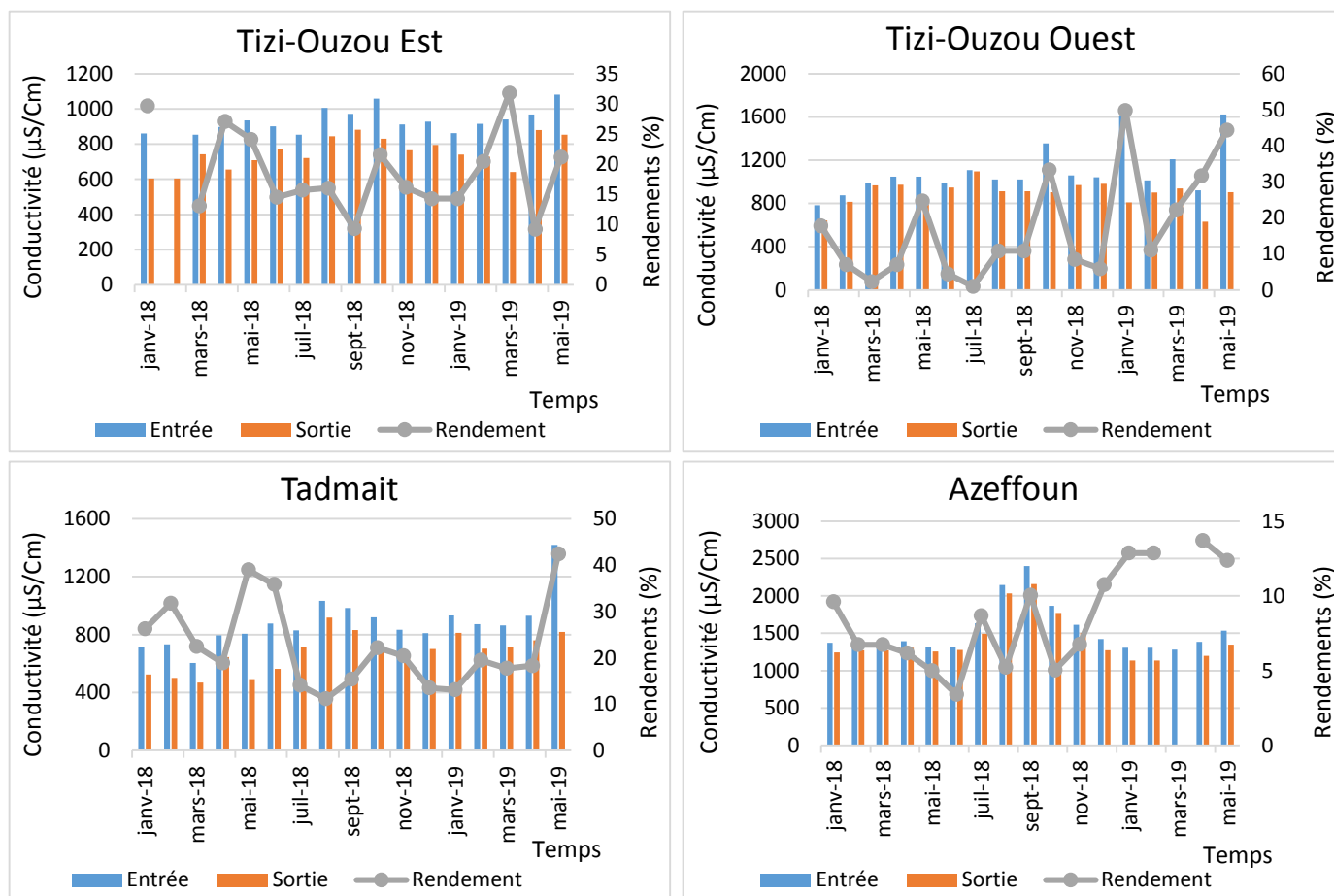


Figure 17 : Variations de la conductivité (µS/Cm) des eaux usées brutes et traitées en fonction du temps.

Les résultats dans la figure ci-dessus révèlent que les valeurs extrêmes minimales et maximales de la conductivité varient de 603,50 à 2 703 µS/cm à l'entrée et de 468 à 2 335 µS/cm à la sortie des stations d'épuration. Les valeurs maximales de la conductivité sont marquées au niveau de la STEP d'Azeffoun en mois d'Août. On observe une diminution de la conductivité dans les eaux épurées avec un rendement épuratoire moyen de 19, 17, 22 et 10 % enregistré respectivement dans les STEP Tizi-Ouzou Est, Tizi-Ouzou Ouest, Tadmaït et Azeffoun. Selon EL Hachemi *et al.* (2012), la réduction de la conductivité dans la STEP est due à l'assimilation

des sels nutritifs (azote et phosphate) produit par la dégradation de la matière organique en présence de bactéries.

De plus, la valeur moyenne de la conductivité des eaux brutes mesurée (1181,37 $\mu\text{S}/\text{cm}$) est supérieure à 609,90 $\mu\text{S}/\text{cm}$ trouvée en Angola (Fidele, 2020). Elle est inférieure à 2300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ trouvée comme valeur minimale à l'Est du Maroc (Hammam-Foukani) par EL Hachemi *et al.* (2012), elle est inférieure également à 3535 et 2529 $\mu\text{S}/\text{cm}$ trouvée respectivement à la commune de Nezla à Touggourt (Amiri *et al.*, 2017) et à Biskra (Mimeche, 2014). Notre valeur moyenne reste similaire à 1280 $\mu\text{S}/\text{cm}$ trouvée en Inde par Moondra *et al.* (2021). Concernant les eaux épurées, la valeur moyenne démontrée (995,94 $\mu\text{S}/\text{cm}$) est largement inférieure à celle trouvée à Mascara (1718 $\mu\text{S}/\text{cm}$) par Saifi *et al.* en 2018 et à Setif (1546 $\mu\text{S}/\text{cm}$) par Benyoucef en 2021.

3.1.4. Matières en suspension (MES)

La figure 18 révèle les variations d'analyse de MES des eaux usées brutes et traitées dans l'ensemble des sites d'étude.

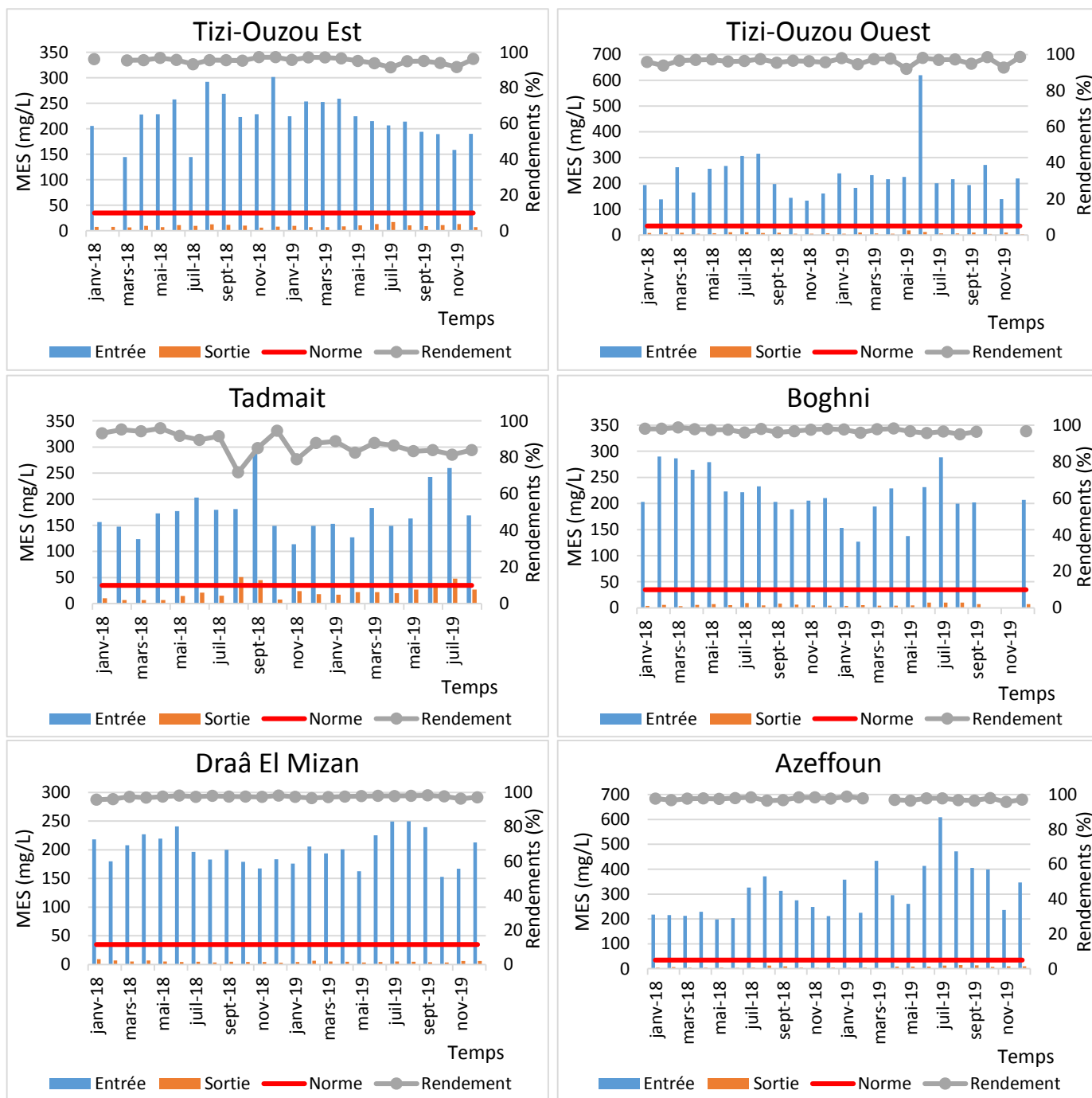


Figure 18 : Variations de la MES (mg/L) des eaux usées brutes et traitées en fonction du temps.

Les valeurs de MES obtenues sont variables avec une proportion de 1 à 5, le minimum est mesuré au mois de Novembre à Tadmaït à savoir 114 mg/L et le maximum au mois de Juin à Tizi-Ouzou Ouest avec une valeur de 620 mg/L où elle dépasse 600 mg/L considérée comme norme de rejet Algérienne vers un réseau d'assainissement (JORA, 2009).

A la sortie des STEP, les teneurs en MES varient de 3 à 18 mg/L, ces valeurs sont au-dessous de la norme Algérienne de rejet qui de 35 mg/L (JORA, 2006) à l'exception de la STEP de

Tadmait, elles varient de 7 à 51 mg/L avec une moyenne de 23,61 mg/L. Globalement l'élimination de MES dans cette station donne un résultat satisfaisant. Néanmoins, elle présente quelques pics par rapport à la norme de rejet.

L'évolution des MES dans toutes les STEP va dans le sens de réduction indiquant une élimination de celles-ci. Elles assurent une importante décantation avec un abattement total minimale de 72 % observé dans la station de Tadmait et atteint une efficacité maximale de 99 % dans les autres stations. Ces valeurs sont similaires aux rendements trouvés dans les stations d'épuration du village Sukunan en Indonésie par Lim *et al.* en 2014 [84,70-96,60 %].

Par ailleurs, la teneur moyenne des effluents bruts trouvée (227,76 mg/L) est similaire au résultat trouvé en Malaysia voir 226 mg/L (Ng *et al.*, 2021) et elle est largement inférieure à la teneur des eaux usées domestiques trouvée en Inde par Saravanakmar *et al.* en 2019 à savoir 715 mg/L et à la teneur des eaux usées trouvée dans la ville de Biskra par Mimeche (2014) à savoir 726,19 mg/L.

3.1.5. Demande biologique en oxygène (DBO₅)

La figure 19 montre les variations d'analyse de la DBO₅ des eaux usées brutes et traitées pendant la période d'expérimentation dans les sites d'étude.

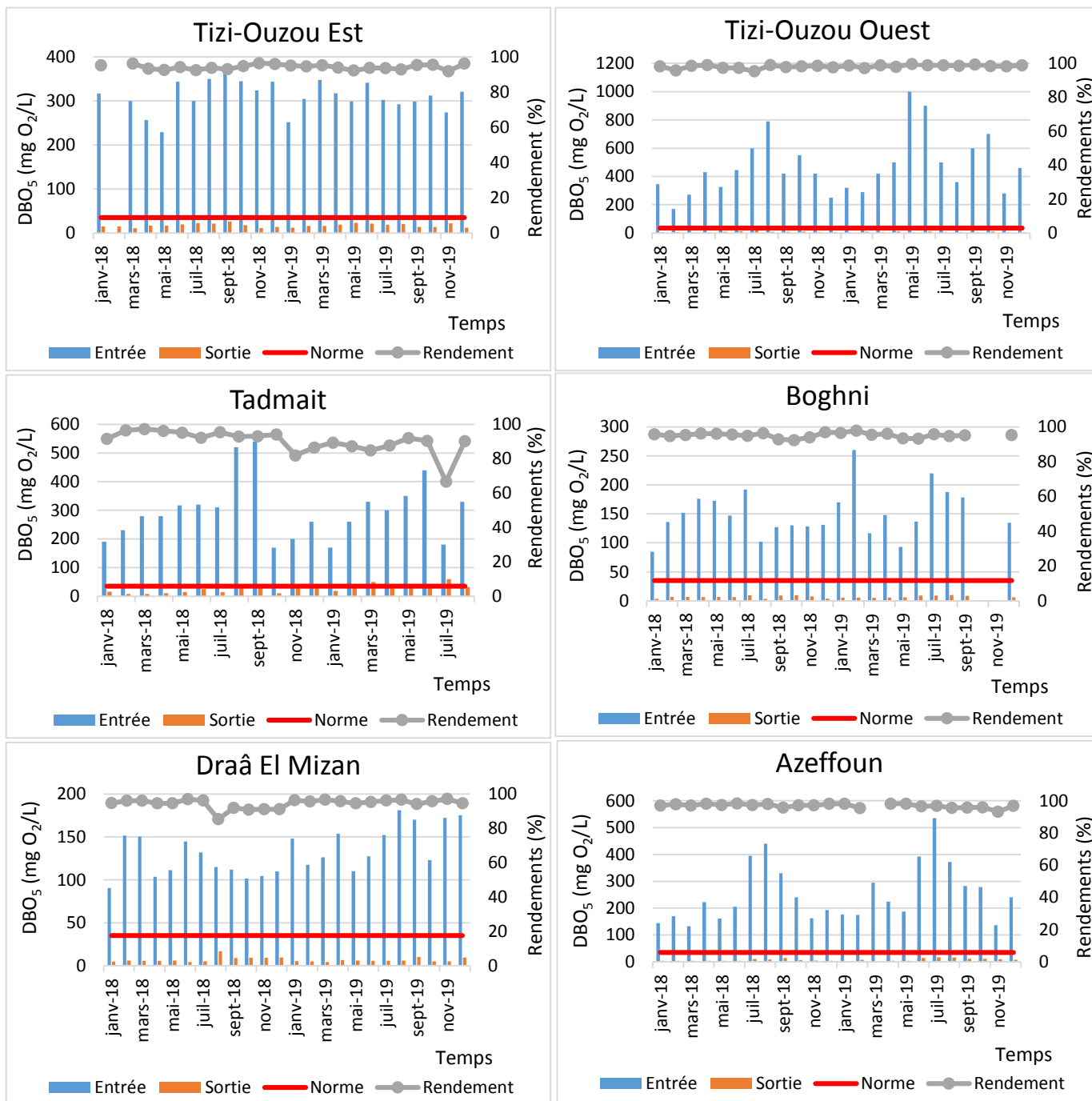


Figure 19 : Variations de la DOB₅ (mg/L) des eaux usées brutes et traitées en fonction du temps.

Les valeurs extrêmes minimales et maximales de la demande biologique en oxygène varient de 84,50 à 1000 mg/L à l'entrée et de 3,25 à 60 mg/L à la sortie. Les valeurs maximales sont enregistrées à l'entrée des stations Tizi-Ouzou Ouest, Tadmait et Azeffoun. De plus, ces dernières dépassent 500 mg/L considérée comme norme de rejet des eaux autres que domestiques dans un réseau d'assainissement ou dans une STEP (JORA, 2009). Dans la station Tizi-Ouzou Ouest, l'élévation est probablement due aux effluents chargés en matière organique

rejetés par la fromagerie et la laiterie implantées dans la zone Sud-Ouest de la ville de Tizi-Ouzou. De même, les augmentations ont été observées en période estivale à la station d’Azeffoun, cette région est connue par sa situation stratégique et son caractère touristique.

Cependant, la teneur moyenne globale de la DBO₅ dans les eaux épurées est de 9,45 mg/L. Cette valeur est largement au-dessous de la valeur limite imposée par le JORA (2006). Alors que, les histogrammes des eaux épurées présentent quelques sommets par rapport à la courbe de norme algérienne de rejet qui est de 30 mg/L (JORA, 2006) particulièrement dans la STEP de Tadmaït.

La diminution des valeurs de la DBO₅ observée à la sortie des STEP peut être due à la bonne dégradation de la matière organique par les bactéries épuratrices. Les stations de la wilaya de Tizi-Ouzou assurent une élimination satisfaisante de la matière organique biodégradable, atteignant une efficacité minimale de 67 % et maximale de 99 %.

En ce qui concerne les effluents bruts, des concentrations similaires (260 mg/L) aux nôtres (270,55 mg/L) ont été démontrées dans le village Ait Zaatoot à Biskra par Mimeche (2014), tandis que des concentrations supérieures ont été démontrées en ville par ce dernier (385,40 mg/L), à Boumerdès voir 309,60 mg/L par Ait Baziz *et al.* (2022) et en France avec une moyenne de 433 mg/L par Prigent (2012). En outre, la valeur moyenne des eaux épurées enregistrée (12,09 mg/L) est moins similaire à 16,70 mg/L trouvée à Mascara (Saifi *et al.*, 2021). Mais elle est largement inférieure à 68 mg/L trouvée à Setif (Benyoucef, 2021).

3.1.6. Demande chimique en oxygène (DCO)

La figure 20 illustre les analyses de la DCO des effluents bruts et épurés enregistrées au cours de la période d’étude dans les sites d’étude.

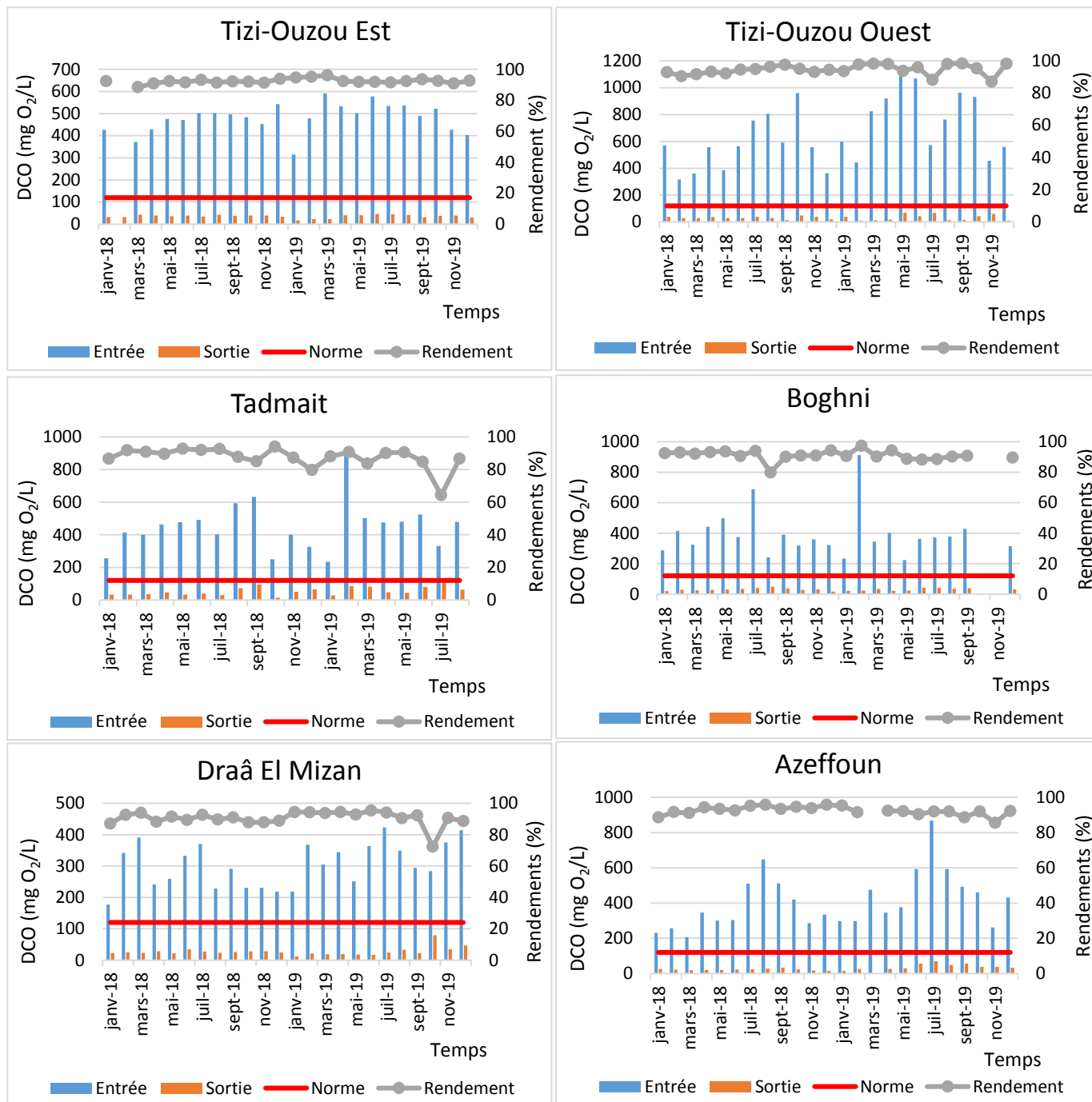


Figure 20 : Variations de la DCO (mg/L) des eaux usées brutes et traitées en fonction du temps.

La charge de la demande chimique en oxygène oscille considérablement de 172,40 à 1123 mg/L pour les eaux brutes et de 10 à 118 mg/L pour les eaux épurées.

Une variation de données allant de 316,84 à 1123 mg/L a été observée à l'entrée de la station de Tizi-Ouzou Ouest, les valeurs maximales sont enregistrées en mois de Mai et Juin et les minimales en mois de Février. Des pics dépassent la norme de rejet des eaux usées autres que

domestiques vers un réseau d'assainissement ou dans une station d'épuration due probablement au déversement des effluents industriels agroalimentaires anormalement chargés. Par conséquent, ces rejets ont de nombreux effets sur les ouvrages d'assainissement et de STEP.

Les teneurs de la DCO enregistrées pour les effluents épurés sont largement inférieures à celle des effluents bruts, ce qui évoque les taux d'élimination bons à excellents de la DCO, ils varient d'un minimum de 64 % (STEP de Tadmaït) à un maximum de 98 %. Il est à souligner que le système de boues activées assure une élimination satisfaisante et complète de la matière organique. Les valeurs des eaux épurées restent en dessous de la norme algérienne de rejet vers le milieu naturel qui est de 120 mg/L (JORA, 2006).

Les valeurs de DCO des eaux brutes présentent une variation non-négligeable dans les STEP de la wilaya de Tizi-Ouzou avec une moyenne de 451,92 mg/L. Cette valeur est supérieure aux valeurs trouvées à Touggourt [369-162,50 mg/L] par Amiri *et al.* (2017) et à la valeur moyenne trouvée en Angola (338 mg/L) par Fidele (2020). De même, elle est similaire à la valeur des eaux urbaines de la ville d'Ouagadougou au Burkina Faso (Ouedraogo *et al.*, 2018). En revanche, elle est inférieure à la valeur observée à Boumerdès (539 mg/L) par Ait Baziz *et al.* (2022) et à la valeur démontrée en Inde (680 mg/L) par Saravanakumar *et al.* (2019). Bien que les valeurs des eaux épurées sont supérieures à celles trouvées à Souk Ahras [6-67,20 mg/L] par Chabi et Hammar (2019).

3.1.7. Ammonium (NH₄⁺)

Les variations spatiales de l'Ammonium ainsi que leurs abattements totaux sont donnés en moyenne dans la figure ci-après.

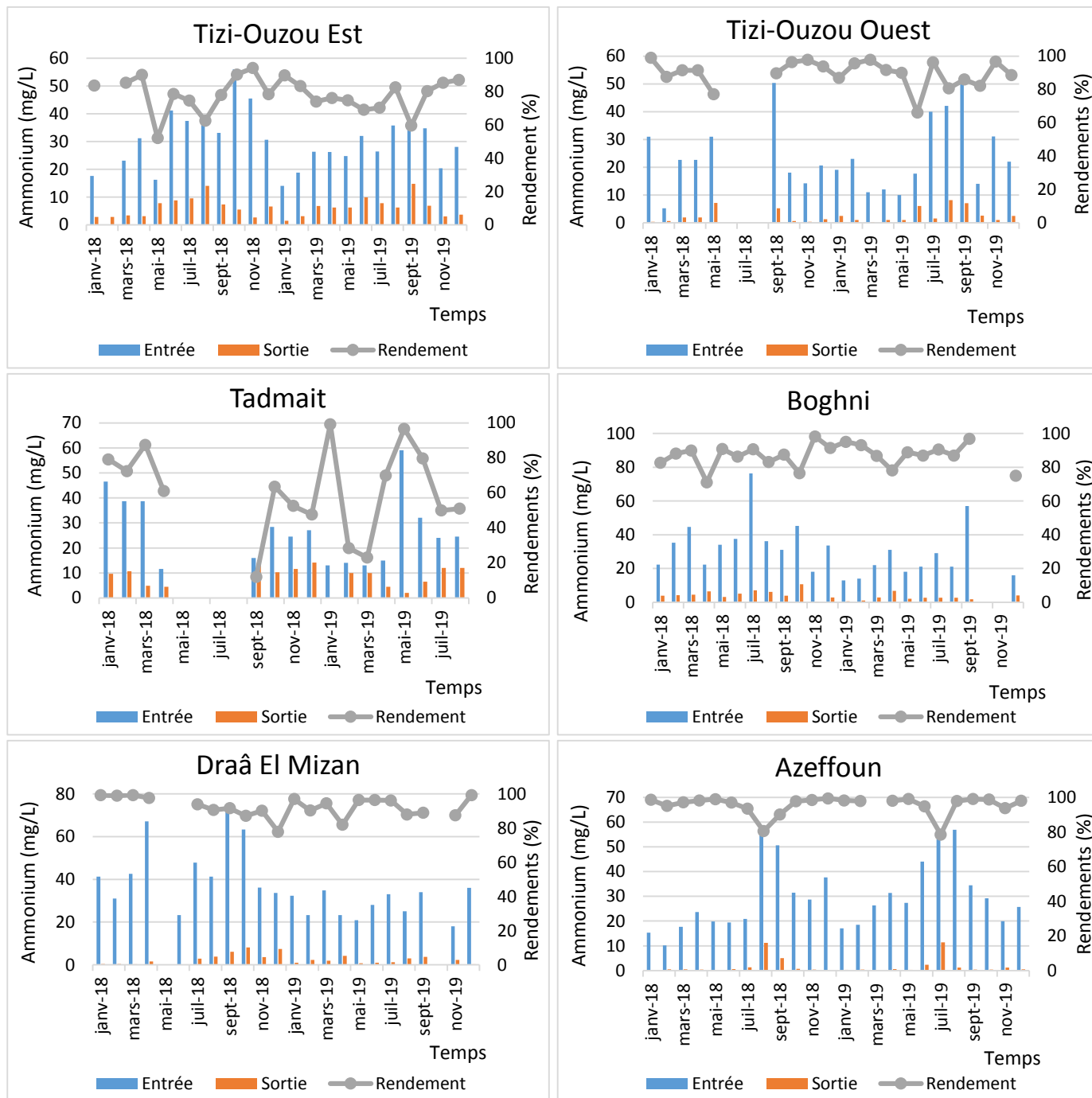


Figure 21 : Variations de l’ammonium (mg/L) des eaux usées brutes et traitées en fonction du temps.

L’eau brute est caractérisée par des concentrations d’ammonium importantes avec des valeurs fluctuant entre 5,16 à 76,31 mg/L et entre 0,10 à 14,76 mg/L pour l’eau épurée.

Étant donné que ces stations ne possèdent pas de filière de dénitrification, le résultat de la diminution des teneurs en ammonium dans les eaux de sortie par rapport aux eaux d’entrée peut être lié à plusieurs phénomènes. Notamment, la décantation de MES permet d’éliminer une

frange d'azote contenue dans cette pollution particulière. De même, la consommation de la matière organique par les bactéries aérobies contribue efficacement à l'oxydation biologique de l'ammonium. D'autre part, la diminution de la concentration en ammonium est due à l'assimilation sauvage de l'ammonium par la photosynthèse algale suite au phénomène d'eutrophisation qui succède l'autoépuration à l'extrémité des bassins.

Le rendement épuratoire de l'ammonium a atteint un pourcentage exceptionnel de 99 % et un minimum de 52 % enregistré en mois de Mai 2018 dans la STEP Est. À l'exclusion de la STEP de Tadmaït, l'abattement est très variable en période d'échantillonnage avec les valeurs qui ne dépassent pas 50 % enregistrées en mois de Septembre 2018, Février et Mars 2019, alors que l'efficacité d'élimination en Janvier 2019 est très élevée (99 %).

Par ailleurs, le résultat moyen en NH_4^+ (29,94 mg/L) en eau brute est inférieur à la teneur d'ammonium des eaux usées de Batna (64,40 mg/L) trouvée par Laabassi en 2016. De même, il est similaire à la valeur 27,82 mg/L trouvée dans la ville de Biskra (Mimeche, 2014). Par contre, notre résultat est supérieur à la valeur trouvée par Ait Baziz *et al.* (2022) à Boumerdès voir une moyenne de 17,70 mg/L, ainsi que les valeurs trouvées par Amiri *et al.* (2017) à la ville de Touggourt avec une maximale de 16,10 mg/L et aussi à la valeur moyenne trouvée par Moondra *et al.* (2021) en Inde. Concernant les effluents épurés, la valeur moyenne enregistrée (4,12 mg/L) est largement supérieure à la moyenne trouvée par Saïfi *et al.* (2018) à Mascara, contrairement à la concentration sortante de lagunage d'Emir à Ain Temouchent (21,80 mg/L) par Chachoua et Seddini (2013) qui est cinq fois supérieure à la nôtre.

3.1.8. Nitrites (NO_2^-)

La figure 22 illustre l'évolution des nitrites des eaux usées brutes et traitées enregistrées au cours de la période d'étude dans les sites d'étude.

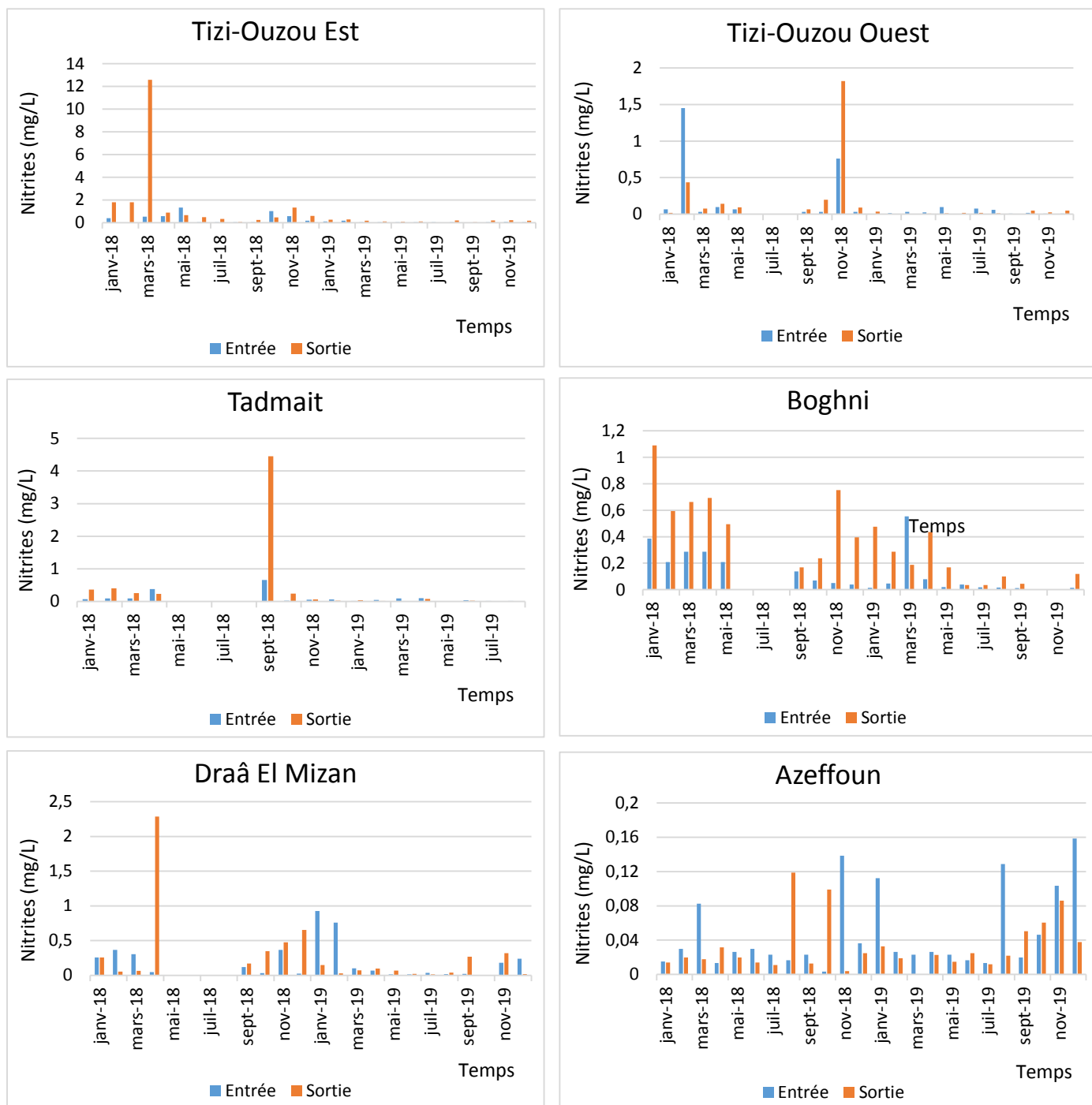


Figure 22 : Variations de NO_2^- (mg/L) des eaux usées brutes et traitées en fonction du temps. Les valeurs de la concentration des nitrites dans les eaux d'entrée sont généralement très faibles avec une moyenne maximale 1,45 mg/L observée au mois de Février à la STEP Ouest de la ville de Tizi-Ouzou. Contrairement aux eaux épurées a une charge très variable en fonction du temps et des sites, avec un minimum mesuré de 0,003 mg/L et un maximum de 12,59 mg/L mesuré au mois de Mars à la STEP Est.

Cependant, l'évolution des nitrites dans les stations ne va pas toujours dans le sens de l'élimination. Les histogrammes d'évolution présentent souvent des pics, indiquant une

production de celles-ci. L'augmentation des nitrites correspond à l'efficacité de la phase de nitrification. En particulier, l'azote nitreux (nitrite) issu de la transformation de l'azote ammoniacal en présence d'oxygène sous l'action de bactéries appelé nitrosomonas (Metahri, 2012). Ce phénomène est marqué dans toutes les périodes et dans toutes les stations étudiées. Selon Benyoucef (2021), les nitrites sont toxiques pour la faune aquatique.

La valeur moyenne des effluents bruts mesurée est de 0,14 mg/L, elle est compatible à 0,10 mg/L mentionnée par Laabassi *et al.* (2016) à Batna et à la valeur moyenne (0,12 mg/L) des eaux usées urbaines de la ville de Touggourt. Tandis qu'elle est inférieure à 4,26 mg/L mentionnée à Boumerdès (Ait Baziz *et al.*, 2022) et à 7,65 mg/L mesurée à Sétif (Benyoucef, 2021).

3.1.9. Nitrates (NO_3^-)

L'évaluation spatio-temporelle de l'azote nitrique est illustrée dans la figure ci-après.

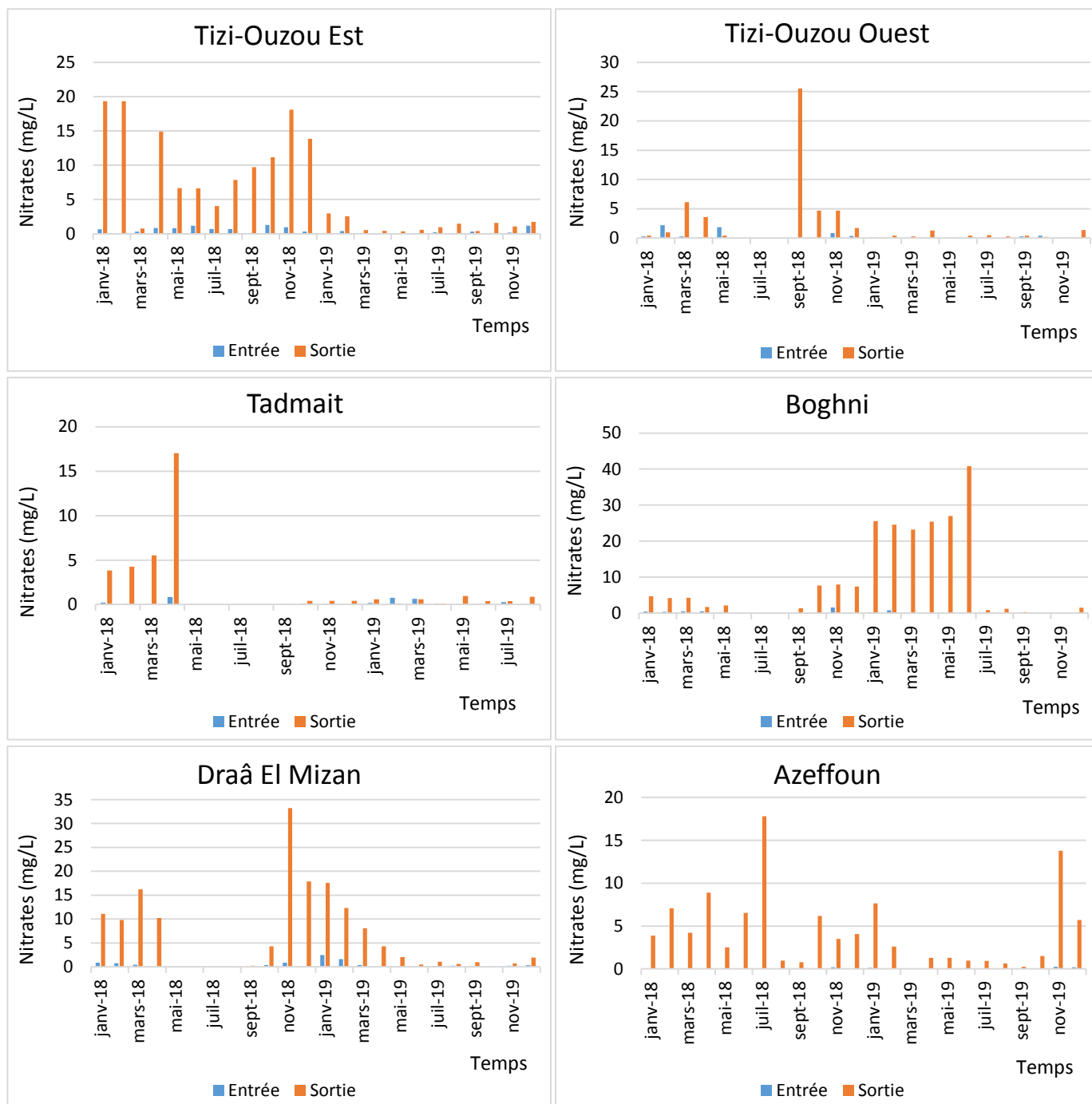


Figure 23 : Variations de NO_3^- (mg/L) des eaux usées brutes et traitées en fonction du temps.

Les valeurs maximales et minimales des concentrations en nitrates enregistrées en amont des STEP varient de l'ordre de 0,01 à 2,46 mg/L avec une moyenne de 0,30 mg/L. En aval, elles varient de 0,07 à 40,79 mg/L avec une moyenne de 5,77 mg/L.

L'évolution des nitrates dans les stations va dans le sens de production. D'une part, ce résultat pourrait être dû à l'oxydation biologique de l'acide nitreux en acide nitrique par les bactéries nitrifiantes appelées nitrobacter. En réalité, la production des nitrates reflète l'efficacité de la phase de nitratisation. D'autre part, ce résultat pourrait être dû à l'oxydation incomplète de l'acide nitrique en azote gazeux, qui est résulté de l'absence de procédé de dénitrification dans toutes les stations étudiées. À l'exception de la station Ouest, pendant les mois Février et Mai, l'évolution des histogrammes des nitrates va dans le sens d'élimination, cela peut être expliqué par la dénitrification sauvage de l'acide nitrique à l'extrémité des bassins.

Notre résultat moyen mesuré pour les eaux brutes est inférieur à 3,45 mg/L résultat des eaux usées municipales de la ville de Biskra (Mimeche, 2014) et à 2,40 mg/L des eaux usées de Batna (Laabassi, 2016). En revanche, le résultat moyen mesuré pour les eaux épurées est supérieur au résultat des eaux épurées de Sétif voir 1,85 mg/L (Benyoucef, 2021).

Selon l'Office Internationale de l'Eau (2005), les nitrites et les nitrates sont souvent absents dans les eaux usées urbaines brutes mais elles peuvent apparaître au cours du traitement. L'azote nitreux se trouve souvent en quantité très faible car il représente la forme chimique très instable contrairement à l'azote nitrique qui représente la forme chimique stable.

3.1.10. Orthophosphates (PO_4^{3-})

La figure 24 illustre l'évolution spatio-temporelle des orthophosphates dans eaux usées brutes et traitées enregistrées au cours de la période d'étude dans les sites d'étude.

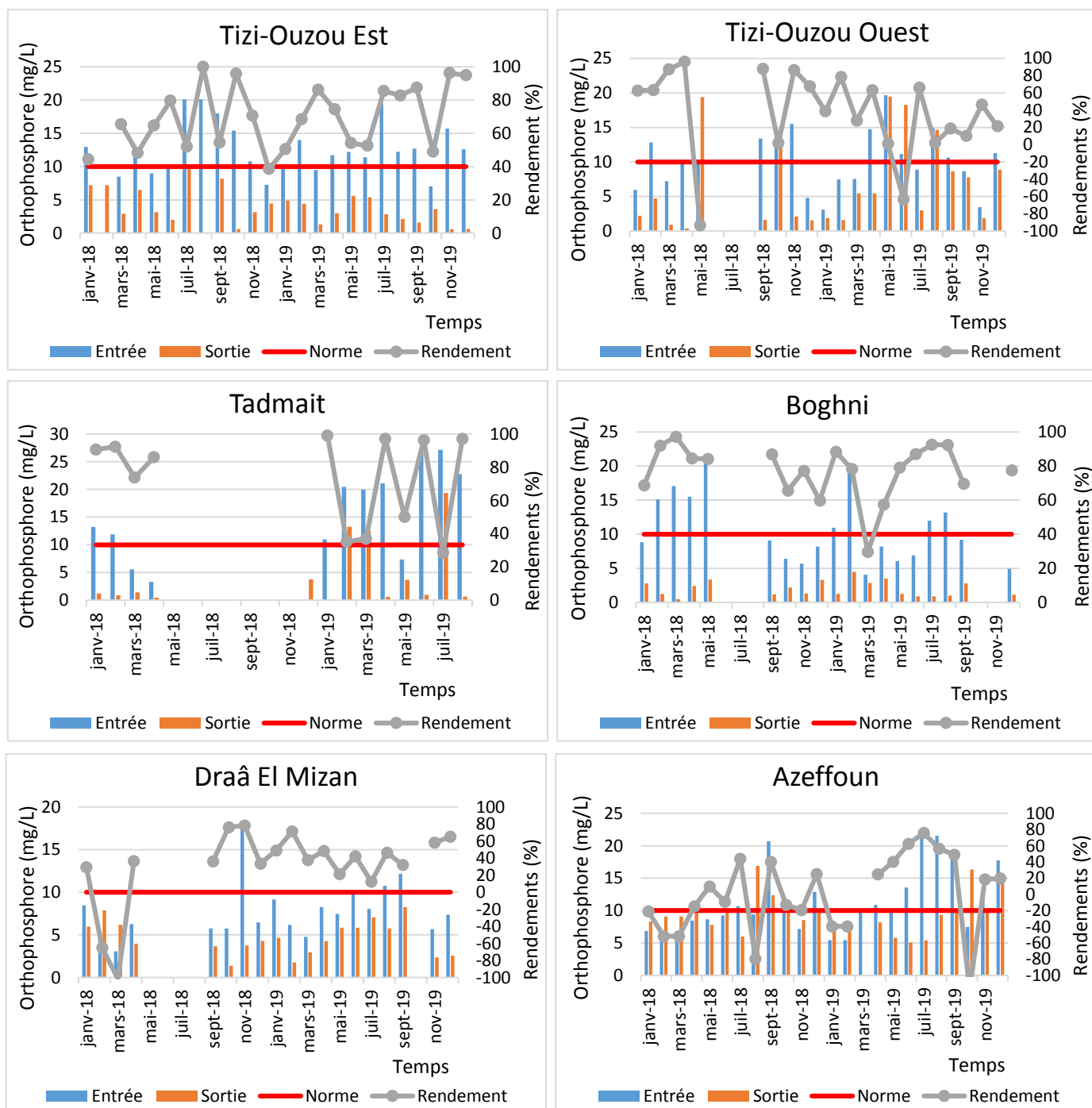


Figure 24 : Variations de PO_4^{3-} (mg/L) des eaux usées brutes et traitées en fonction du temps.

Les teneurs en orthophosphates trouvées oscillent entre 3,06 à 27,16 mg/l en amont des stations et entre 0,10 à 19,46 mg/l en aval. L'évolution des PO_4^{3-} dans les stations Est, Tadmaït et Boghni est dans le sens de réduction. Cependant, la production est rarement indiquée dans les autres stations.

La charge en phosphore que reçoit la station Est, Tadmait et Boghni en moyenne sont de l'ordre de 12,75, 15,89 et 10,68 mg/L. Elle régresse de l'entrée vers la sortie d'où les stations assurent des abattements moyens de 68,94, 71,43 et 79,86 %. Il est à souligner que le système d'épuration dans ces STEP assure une élimination considérable de la matière phosphorée. Les mécanismes de rétention du phosphore peuvent être liés à plusieurs phénomènes, en particulier, une proportion de 0 à 10 % est décantée (OIEAU, 2005) et une autre partie est éliminée par l'oxydation biologique en parallèle avec matière organique.

Les concentrations moyennes en matières phosphorées des eaux brutes dans les stations Ouest, Draâ El Mizen et Azeffoun sont de l'ordre de 10,24, 7,79 et 11,30 mg/L, et de l'ordre de 6,83, 4,66 et 9,48 mg/L à la sortie. Toutefois, les courbes d'évolution des PO_4^{3-} ne vont pas dans le sens de l'élimination mais elles présentent des pics indiquant une production d'orthophosphate à la sortie des STEP. Ce phénomène est plus marqué dans la station de Azeffoun, car les valeurs d'entrée ont été doublées à la sortie. La production d'orthophosphate à la sortie des STEP peut être expliquée par les phénomènes d'adsorption liés à la présence probable d'aluminium, de calcium et de fer dans les bassins d'épuration. Toutefois, l'existence de ce phénomène n'autorise pas la rétention de la pollution phosphorée.

Globalement les valeurs moyennes enregistrées en orthophosphates dans eaux épurées respectent la norme algérienne relative au rejet en milieu naturel fixées par le JORA en 2006, à l'exception de quelques valeurs au-dessus de la norme qu'ont été notées dans les stations Tizi-Ouzou Ouest, Tadmait et Azeffoun.

La valeur moyenne des PO_4^{3-} des eaux brutes des STEP de la wilaya de Tizi-Ouzou est supérieure aux valeurs trouvées à Touggourt [0,39-0,70 mg/L] par Amiri *et al.* (2017). De même, elle est similaire à 10,70 mg/L trouvée en Tunisie (Belhadj *et al.*, 2016) et à 11 mg/L trouvée à Batna (Laabassi, 2016). En revanche, elle est inférieure à la valeur observée en Malaisie (35 mg/L) par Ng *et al.* (2021) et à la valeur démontrée à la ville de Biskra (64,15 mg/L) par Mimeche (2019). Bien que la valeur moyenne des eaux épurées soit supérieure à celles trouvées à Mascara (0,72 mg/L) par Saifi *et al.* (2019).

3.2. Etude statistique

3.2.1. Analyse de corrélation

Les interrelations entre les différents paramètres physico-chimiques ont été déterminées à partir des matrices de corrélation pour les eaux brutes et les eaux épurées.

3.2.1.1.Eaux brutes

L'analyse de corrélation multiple entre les paramètres physico-chimiques des eaux brutes étudiés montre deux relations positives entre les variables (tableau 10).

Une relation fortement positive a été révélée entre les valeurs de la DBO_5 et la variable DCO avec $r = 0,86$ exprime ainsi que les matières organiques contenues dans les effluents bruts sont essentiellement biodégradables. Toutefois, une relation positive a été démontrée entre les valeurs de la NO_2^- et la variable NO_3^- avec $r = 0,66$.

Pour le reste des paramètres, les niveaux de liaisons sont généralement faibles démontrés ainsi l'absence de corrélations significatives entre eux.

Tableau 10 : Matrice de corrélation entre les variables physico-chimiques des eaux brutes.

| | DBO_5 | DCO | MES | NH_4^+ | NO_2^- | NO_3^- | PO_4^{3-} | Température |
|-------------|-------------------|-------------|------------|-------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|
| DBO_5 | 1,00000000 | | | | | | | |
| DCO | 0,85919845 | 1,00000000 | | | | | | |
| MES | 0,34105506 | 0,28334674 | 1,00000000 | | | | | |
| NH_4^+ | -0,05989721 | -0,06722506 | 0,1940054 | 1,00000000 | | | | |
| NO_2^- | -0,13563410 | -0,13906536 | -0,1650299 | -0,09086293 | 1,00000000 | | | |
| NO_3^- | -0,12177057 | -0,11968891 | -0,1971988 | -0,06972267 | 0,66438554 | 1,00000000 | | |
| PO_4^{3-} | 0,32241740 | 0,36365745 | 0,2090707 | 0,03828591 | -0,03000063 | 0,02719690 | 1,00000000 | |
| Température | 0,33897118 | 0,32735637 | 0,3868876 | 0,43639636 | -0,31612210 | -0,28869080 | 0,32778197 | 1,00000000 |

L'analyse de la matrice de corrélation illustrée dans le tableau 10 est représentée sous des graphiques de type nuages de points dans la figure ci-après.

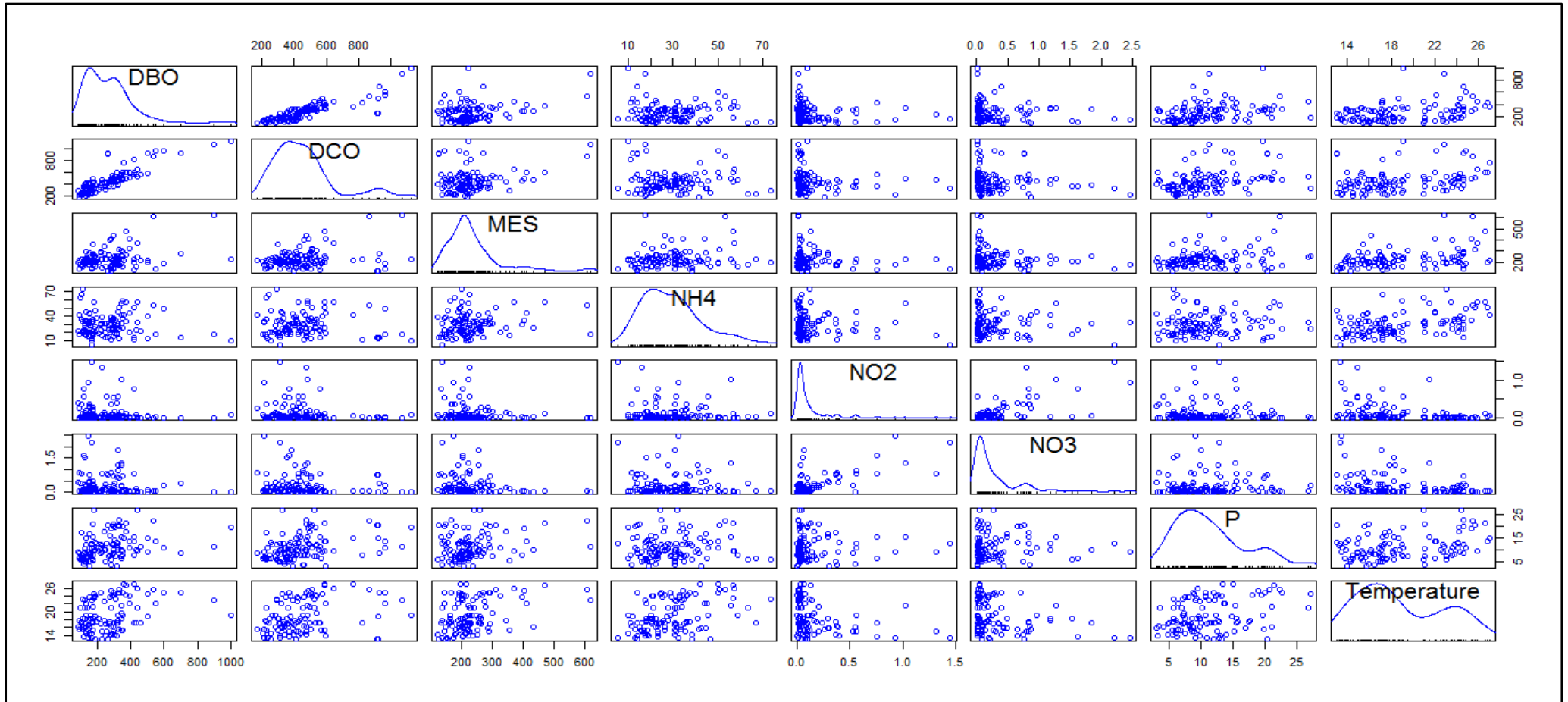


Figure 25 : Relations entre les paramètres physico-chimiques des eaux brutes mesurés.

D'après la figure 25 et le tableau 10, la matière organique exprimée par la DBO_5 et la DCO a montré une relation fortement croissante entre les valeurs de ces deux variables, mentionnées par un coefficient de corrélation positif hautement significatif ($r = 0,86$). Une corrélation croissante a été observée entre les paramètres de la pollution azotée exprimées en NO_2^- et NO_3^- avec un coefficient positif de 0,66.

3.2.1.2. Eaux épurées

L'analyse de la matrice de tableau 11 a révélé divers variables inter corrélées significativement entre elles. Une corrélation fortement positive a été observée entre les valeurs de la DBO₅ et les variables DCO, MES, NH₄⁺ avec des coefficients de corrélation respectivement de l'ordre de 0,73, 0,84 et 0,57. Ainsi qu'une relation fortement significative entre les valeurs de la DCO et la variable MES avec un coefficient de corrélation de 0,76. Ces relations peuvent être expliquées par l'élimination de la pollution organique en double phénomène physique et organique. D'une part, par une simple décantation : les matières en suspension, la frange de l'azote et les matières organiques particulières se retrouvent au fond du bassin et sont éliminées de la phase aqueuse. La partie biodégradable de la fraction organique décantée sera attaquée et dégradée par les bactéries anaérobies. D'autre part, la partie dissoute de la matière organique est minéralisée au niveau des couches superficielles par les bactéries aérobies en assimilant sauvagement l'ammonium à l'extrémité des bassins. Par contre, le reste des paramètres ne présentent pas de corrélation significative.

Tableau 11 : Matrice de corrélation entre les variables physico-chimiques des eaux épurées.

| | DBO ₅ | DCO | MES | NH ₄ ⁺ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | PO ₄ ³⁻ | Température |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|-------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------|
| DBO ₅ | 1,00000000 | | | | | | | |
| DCO | 0,72941024 | 1,00000000 | | | | | | |
| MES | 0,84355505 | 0,76460140 | 1,00000000 | | | | | |
| NH ₄ ⁺ | 0,57211454 | 0,40447799 | 0,42007468 | 1,00000000 | | | | |
| NO ₂ ⁻ | -0,02419982 | 0,01487925 | -0,09123052 | -0,010876465 | 1,00000000 | | | |
| NO ₃ ⁻ | -0,18081239 | -0,22266240 | -0,24771448 | -0,129200385 | 0,04756436 | 1,00000000 | | |
| PO ₄ ³⁻ | 0,09648873 | 0,16129055 | 0,18407336 | -0,001025346 | -0,10894278 | -0,17758486 | 1,00000000 | |
| Température | 0,16684483 | 0,26195707 | 0,23517551 | 0,255212220 | -0,14446377 | -0,16744244 | 0,168108274 | 1,00000000 |

L'ensemble des résultats de la matrice de corrélation de tableau 11 sont représentés sous forme des graphiques de type nuages de points dans la figure ci-après.

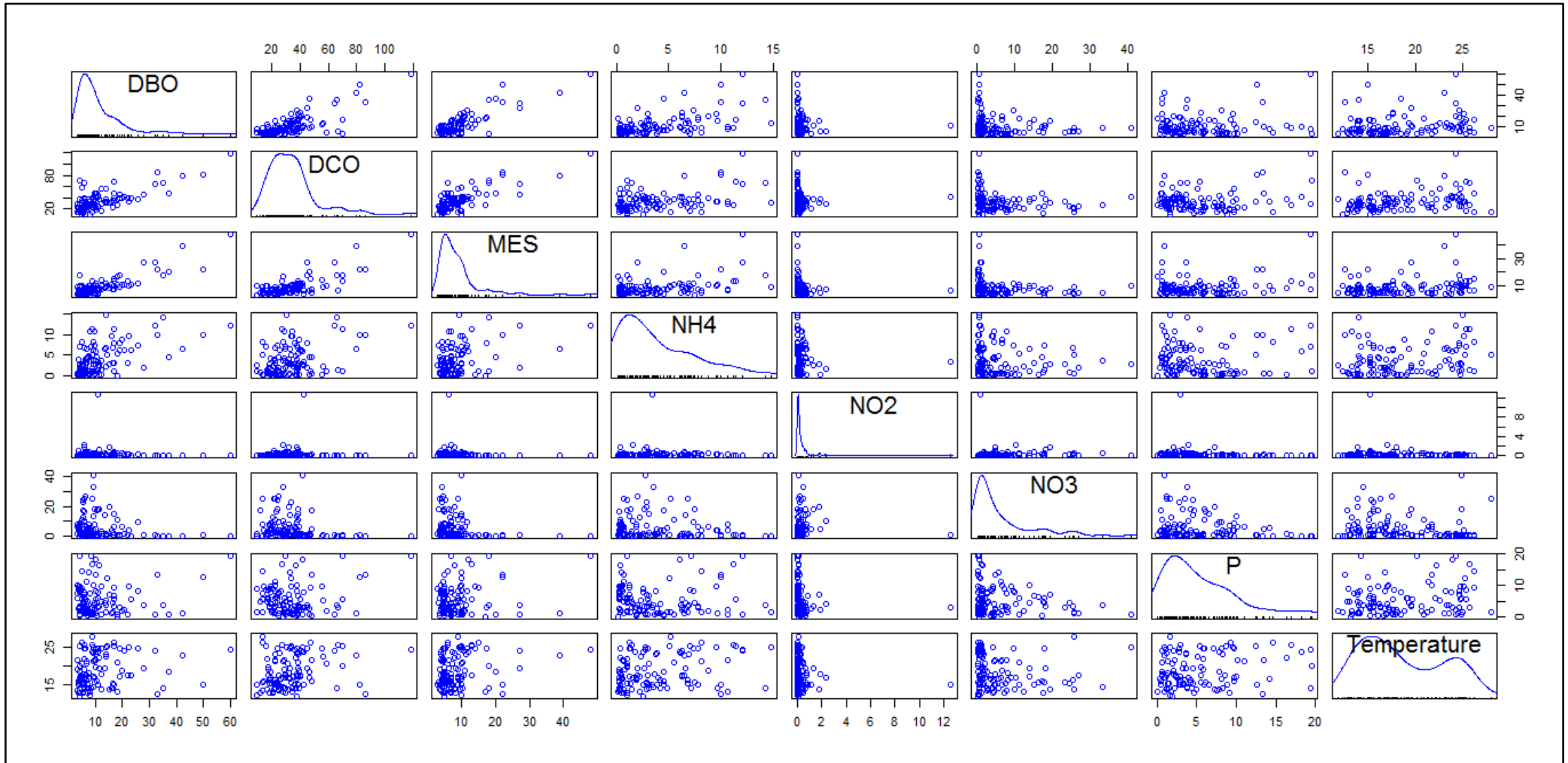


Figure 26 : Relations entre les paramètres physico-chimiques des eaux épurées mesurés.

Des relations fortement croissantes (figure 26) ont été signalées par des coefficients de corrélation positifs hautement significatifs entre la DBO_5 et la DCO ($r = 0,73$), la DBO_5 et la MES ($r = 0,84$) ainsi que la DCO et MES ($r = 0,76$). Cependant une relation moyennement croissante entre la DBO_5 et l' NH_4^+ ($r = 0,57$).

3.2.2. Variabilité de la qualité physico-chimique

Dans l'intention de connaître l'existence d'une différence significative des paramètres physico-chimiques mesurés en fonction des stations et des effluents, nous avons adopté à une analyse de variance à deux facteurs afin de détecter la différence des paramètres mesurés entre les six stations étudiées et entre les deux types d'effluent brut et épuré.

L'analyse ANOVA sur l'ensemble des valeurs enregistrées des 10 paramètres physico-chimiques dans chaque station et pour les deux types effluents a montré les résultats suivants :

- Les stations ont un effet très hautement significatif sur les valeurs des paramètres physico-chimiques enregistrées avec $P_{\text{value}} = 0,000037$.
- La comparaison de types d'effluents présente un effet très hautement significatif sur les valeurs des paramètres physico-chimiques enregistrées avec $P_{\text{value}} = 2,2 \times 10^{-16}$.
- En ce qui concerne l'interaction entre les 2 facteurs étudiée, stations et effluents, un effet très hautement significatif a été manifesté avec $P_{\text{value}} = 0,000073$.

4. Conclusion

À la lumière des résultats obtenus de l'évaluation du degré de pollution physico-chimique des eaux usées des stations d'épuration de Tizi-Ouzou, les valeurs enregistrées de certains paramètres étudiés présentent une pollution acceptable dans l'ensemble des STEP à l'exception de la STEP Ouest. Elle présente des teneurs en MES, DBO₅ et DCO plus au moins élevées aux normes de déversement d'eaux usées autres que domestiques dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration fixées par JORA (2009). Ces teneurs élevées indiquent l'existence d'une pollution organique. Etant donné qu'une laiterie et une fromagerie implantées dans le Sud-Ouest de la ville de Tizi-Ouzou sont raccordées au réseau d'assainissement, ce fait est dû probablement aux rejets d'effluents insuffisamment neutralisés.

À la sortie des stations et après épuration des eaux usées, les valeurs moyennes de tous les paramètres physico-chimiques analysés sont conformes aux normes nationales de rejet vers le milieu naturel fixées par le JORA (2006). Une élimination considérable et rendement épuratoire satisfaisant en MES, DBO₅ et DCO prouve les performances du système d'épuration biologique à boue activée dans les stations étudiées. Tandis que, l'élimination de la pollution phosphatée n'est pas toujours assurée dans les stations de Tizi-Ouzou Ouest, Draâ El Mizen et Azeffoun. En réalité, ce fait est dû probablement à plusieurs facteurs :

- Principalement à l'absence de processus de déphosphatation dans les stations.

- Phénomènes d'adsorption liés à la présence d'aluminium, de calcium et de fer dans les bassins d'épuration.

Cependant, des efforts doivent être déployés en dotant les stations par un traitement tertiaire pour éviter le phénomène d'eutrophisation dans la plage caroubier (Azeffoun) et l'Oued Sébaou. De plus, il est nécessaire de compléter par des analyses physico-chimiques le long du réseau public d'assainissement des zones raccordées à la STEP Ouest (Boukhalfa, Tala Allam, Tizi-Ouzou Ouest, Sud-Ouest et Nord-Ouest en partie) afin d'identifier la source de pollution et l'organisme qui n'a pas tenu compte de la loi 05-12 relative à l'eau (JORA, 2005).

Chapitre III : Caractérisation
physico-chimique des eaux de
la STEP de Tigzirt

1. Introduction

L'objectif de ce chapitre est porté sur le suivi des paramètres de pollution des eaux usées urbaines de la STEP de Tizirt influencées par le rejet liquide de la laiterie implantée dans la même région et d'évaluer la performance épuratoire spécifique à la STEP. La première partie décrit la zone d'étude, le fonctionnement de station d'épuration, les stratégies de prélèvement mises en œuvre, les protocoles et appareils utilisés pour l'analyse des paramètres de pollution classiques dans les eaux usées. La deuxième partie détaille les résultats physico-chimiques obtenus au cours de la période d'étude.

2. Matériels et méthode

2.1. Situation géographique de la commune de Tizirt

Tizirt est une commune de la wilaya de Tizi-Ouzou, ville côtière de Kabylie en Algérie, se situant à 124 Km à l'Est d'Alger, à 130 km à l'Ouest de Béjaïa et à 39 Km au Nord du chef-lieu de la wilaya de Tizi-Ouzou. C'est aussi le nom d'une daïra, regroupant les communes de Tizirt, Mizrana et Iflissen (Saboun et Aknine, 2017) (figure 27).

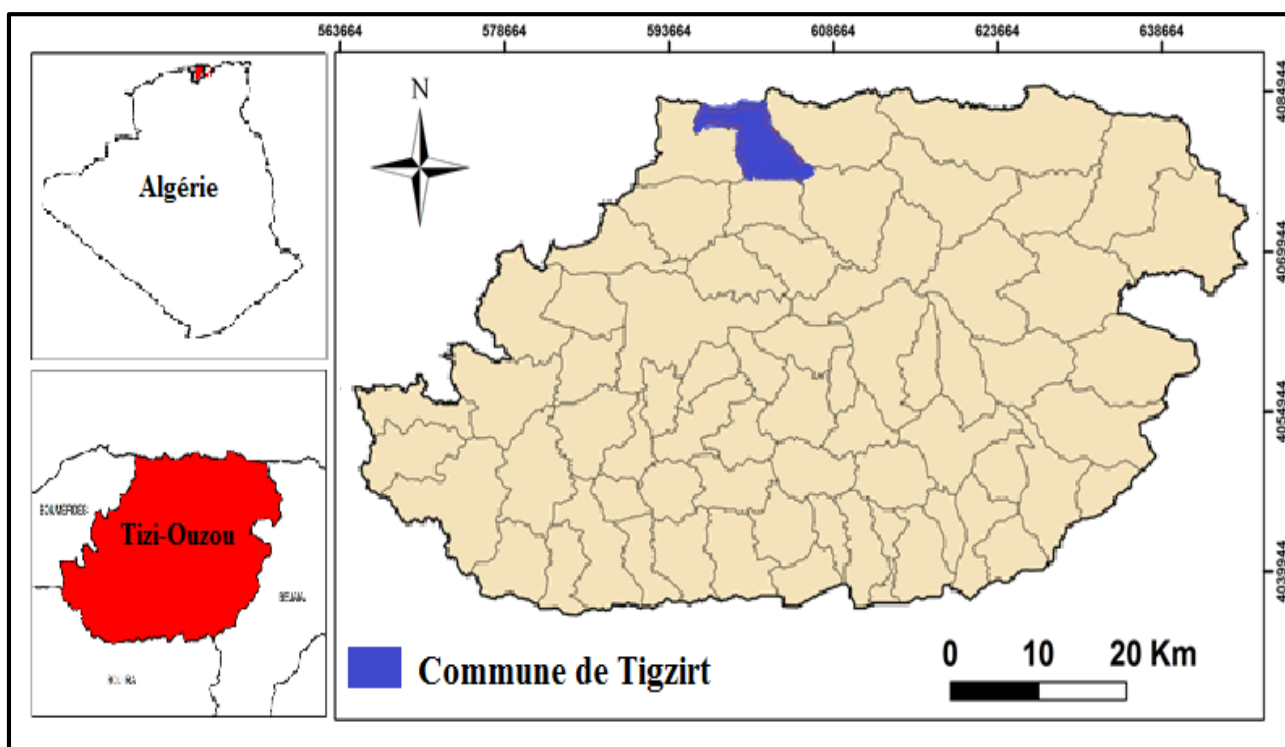


Figure 27 : Situation de la commune de Tizirt.

La commune de Tizirt est limitée au Nord par la Méditerranée, à l'Est par la commune d'Iflissen, à l'Ouest par la commune de Mizrana et enfin au Sud par les communes de Makouda

et Boudjima. Elle occupe une superficie de 45 km et une population globale de 15 980 habitants (Saboun et Aknine, 2017).

La commune de Tizirt est composée de 9 localités : Tizirt ville, Cheurfa, Tifra, El Kelaâ, Thala Testane, Ouaroudjen, El Azaïb, Atouri et Abla. Elle est desservie par plusieurs routes nationales : Route nationale 24 (Route de Béjaïa), Route nationale 71 (Route de Aïn El Hammam), Route nationale 72 (Route de Makouda).

Tizirt bénéficie d'une place stratégique au sein de la wilaya. En effet, elle est avantagée par sa localisation à mi-chemin entre la capitale et la ville métropole Béjaïa, mais aussi par sa position proche de la mer et possédant un nombre important de ressources naturelles et archéologique (Saboun et Aknine, 2017).

2.2. Etat du réseau d'assainissement et rejet des eaux usées

La population de la commune de Tizirt est de 15 980, dont 95,22 % voir 15 216 personnes sont raccordées à linéaire de réseau d'assainissement de 66,42 Km. La gestion du service public est assuré par l'APC et l'ONA excepte le chef-lieu qu'est assuré par l'ONA. La commune de Tizirt possède 13 points de rejets avec un volume total d'eaux usées rejetées de 5 752,80 m³/j dont 3 249 m³/j rejetées vers la STEP, 1019,16 m³/j rejetées dans des bassins de décantation puis la nature et 1484,64 m³/j rejetées dans la nature sans aucun traitement comme le montre le tableau 12.

Tableau 12 : Etat du réseau d'assainissement existant (DRE Tizi-Ouzou, 2022).

| AGG | Population | Gestion | T R (%) | Linéaire du réseau (Km) | | VEUR (m ³ /J) | NPR | Lieu de rejet | Milieu récepteur |
|---------------------|------------|---------|---------|-------------------------|------------|--------------------------|-----|---------------|------------------|
| | | | | primaire | secondaire | | | | |
| Chef-lieu | 7117 | ONA | 100 | 16,65 | 3,00 | 2562,12 | 1 | STEP | Mer |
| Cheurfa | 1514 | ONA/APC | 90 | 3,70 | 0,80 | 545,04 | 1 | STEP | Mer |
| Tifra | 2638 | ONA/APC | 85 | 11,30 | 4,00 | 949,68 | 5 | Talweg | Talweg |
| El Kelaâ | 1712 | ONA/APC | 95 | 7,00 | 1,00 | 616,32 | 1 | B.D. | Talweg |
| Tala Testane | 432 | ONA/APC | 98 | 0,40 | 0,00 | 155,52 | 1 | Talweg | Taweg |
| Ouaroudjene | 461 | ONA/APC | 97 | 6,00 | 1,50 | 165,96 | 1 | B.D. | Talweg |
| El Azaïb | 658 | ONA/APC | 97 | 7,07 | 1,30 | 236,88 | 1 | B.D. | Talweg |
| Atouri | 1054 | ONA/APC | 95 | 0,20 | 0,00 | 379,44 | 1 | Talweg | Talweg |
| Abla | 394 | ONA/APC | 100 | 1,50 | 1,00 | 141,84 | 1 | STEP | Mer |
| Total de la commune | 15980 | / | 95 | 53,82 | 12,60 | 5752,80 | 13 | / | / |

AGG : Agglomérations, T R : Taux de Raccordement, VEUR : Volume des Eaux Usées Rejetées, NPR : Nombres de Points de Rejet, B.D : Bassin de Décantation.

2.3.Description de la STEP

La station d'épuration des eaux usées est située sur la route nationale N° 24 à la sortie de la ville de Tizirt allant vers Dellys (Figure 28). La station a été mise en service en 2013 et elle a été conçue pour traiter les eaux usées urbaines de la ville de Tizirt et une partie du village Taksebt (Commune Iflissen). Pourtant ces eaux sont influencées par les effluents agroalimentaires de la laiterie implantée dans la région. D'une capacité de 10 000 habitants et d'un débit nominal de 1 000 m³/j, la STEP est destinée à la protection du littoral. Cette station rejette ses eaux épurées dans l'Oued Tamba puis Mer (Plage Tassalast).

Les principales étapes du traitement de l'eau dans la station d'épuration de Tizirt sont :

- Regard d'arrivée
- By-pass (émissaire en mer)
- Poste de relevage (Comptage des eaux brutes)
- Dégrillage grossier (manuel)
- Dégrillage fin mécanique
- Dessablage déshuilage aéré
- Classificateur de sable
- Bassins d'aération
- Bassin d'anoxie
- Clarificateurs
- Bassin de désinfection



Figure 28 : Photo satellitaire de la STEP de la ville de Tizirt (Google Maps, 2023)

2.4. Mode de prélèvement

L'échantillonnage a été effectué du mois de Février jusqu'au mois d'Octobre 2019, à raison d'un prélèvement par mois. Le choix de type d'échantillonnage est le suivant :

- Des prélèvements automatiques sont effectués directement à partir de l'échantillonneur pour la mesure in situ de la température, le pH et les MES.
- Des prélèvements manuels instantanés (échantillonnage composite) sont conservés immédiatement dans une glacière (Température < à 4 °C) jusqu'à l'arrivée au laboratoire. Ils consistent à la mesure de DBO₅, DCO, NH₄⁺ et PO₄³⁻.

Deux points de prélèvement ont été choisis à savoir :

- Un prélèvement de l'eau brute après l'étape de dégrillage.
- Un prélèvement de l'eau épurée à la sortie du clarificateur.

2.5. Méthodes d'analyse

La température et le pH ont été mesurés à l'aide d'un thermomètre et pH-mètre. La matière en suspension a été déterminée par mesure simple et directe à l'aide d'un spectrophotomètre Hack DR 6000. La demande biologique en oxygène a été déterminée par la méthode manométrique à l'aide d'un incubateur DBO en présence de l'hydroxyde de potassium (Figure 29). La demande chimique en oxygène, l'ammonium et les ortho-phosphates ont été déterminés par un spectrophotomètre Hack DR 6000 (Figure 30).



Figure 29 : DBO-mètre



Figure 30 : Spectrophotomètre Hack DR6000

3. Résultats et discussion

Les résultats d'analyse physico-chimique des effluents bruts et traités sont comparés aux normes recommandées par le JORA et par l'OMS d'une part et d'autre part nous avons calculé les taux d'abattement exprimés en pourcentage afin d'évaluer le rendement épuratoire du procédé d'épuration par boues activées au niveau de la station d'épuration de Tizirt.

3.1. Caractérisation physico-chimique

3.1.1. Variation de la température (T)

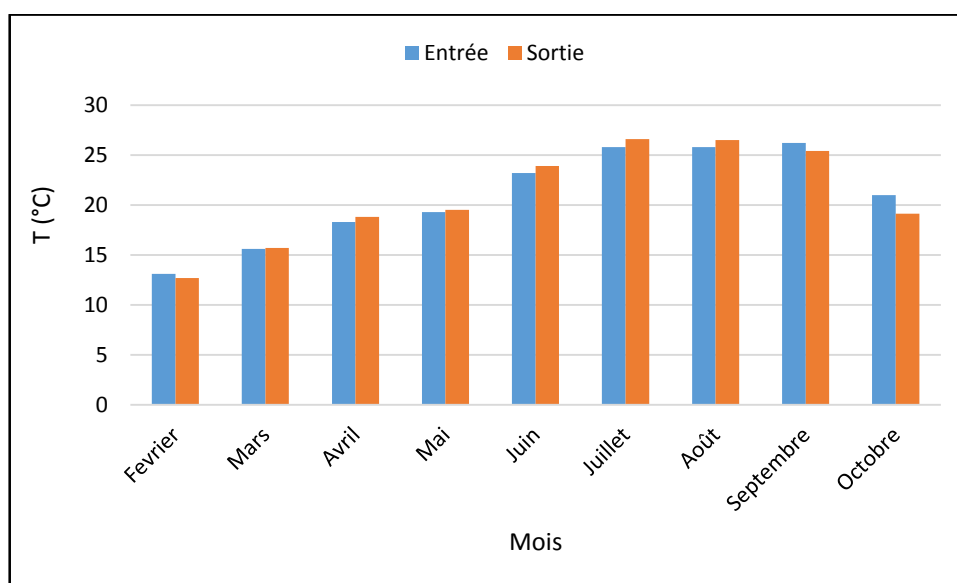


Figure 31 : Variation de la température à l'entrée et à la sortie de la STEP.

Les valeurs de la température des différents échantillons oscillent entre un minimum de 13,10 °C et un maximum de 26,20 °C à l'entrée avec une moyenne de 20,92 °C et entre 12,70 et 26,60 °C pour les eaux épurées avec une moyenne de 20,91 °C (figure 31).

La fluctuation de la température observée suit les variations saisonnières. Nos résultats sont inférieurs à la norme algérienne de rejet admis dans la nature qui est de l'ordre de 30 °C (JORA, 2006). Selon Hamaidi-Chergui *et al.* (2016), la température modérée constitue un milieu idéal pour l'équilibre biologique et la multiplication des microorganismes.

Certes, notre résultat moyen des effluents bruts est inférieur à 24 °C trouvé à Sidi Bel-Abbès par Chadli *et al.* (2022), en revanche, il est supérieur à 14 °C trouvé à Batna par Hannachi (2018).

3.1.2. Variation du potentiel Hydrogène

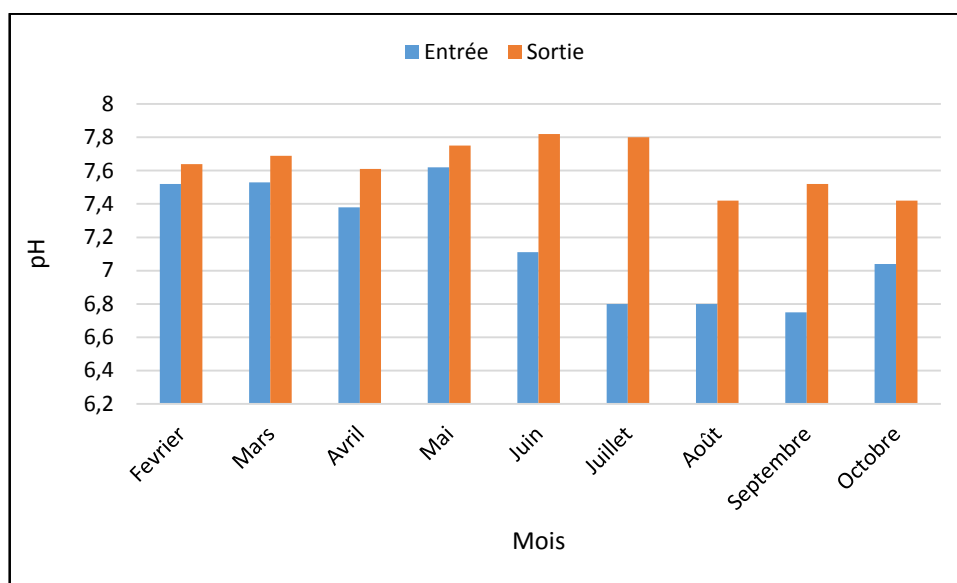


Figure 32 : Variation du pH à l'entrée et à la sortie de la STEP.

Les valeurs du pH des eaux usées brutes sont comprises entre 6,75 et 7,62 avec une moyenne de 7,17 (figure 32). Ces valeurs sont dans la plage favorable à l'action bactérienne pour les processus d'épuration aérobie et anaérobie permettant la dégradation de la matière organique ce qui conduit à la dépollution de l'eau (Metahri, 2012 ; Hamaidi-Chergui *et al.*, 2016).

Pour les eaux épurées, le pH varie de 7,42 à 7,82 avec une moyenne de 7,63. Une augmentation du pH a été observée dans les effluents traités, elle peut être expliquée par la transformation et la dégradation des acides lactiques parvenant de la laiterie implantée dans la région.

Néanmoins, les valeurs de sortie sont incluses dans les normes inférieures et supérieures de rejet fixées par le Journal Officiel Algérien qui varient de 6,5 à 8,5 (JORA, 2006).

Le résultat moyen du pH est plus au moins similaire à ceux illustrés à Sidi Bel-Abbès par Chadli *et al.* (2022) voir 7,96 et en Egypte par Tawfik *et al.* (2008) voir 7,90.

3.1.3. Variation de la matière en suspension (MES)

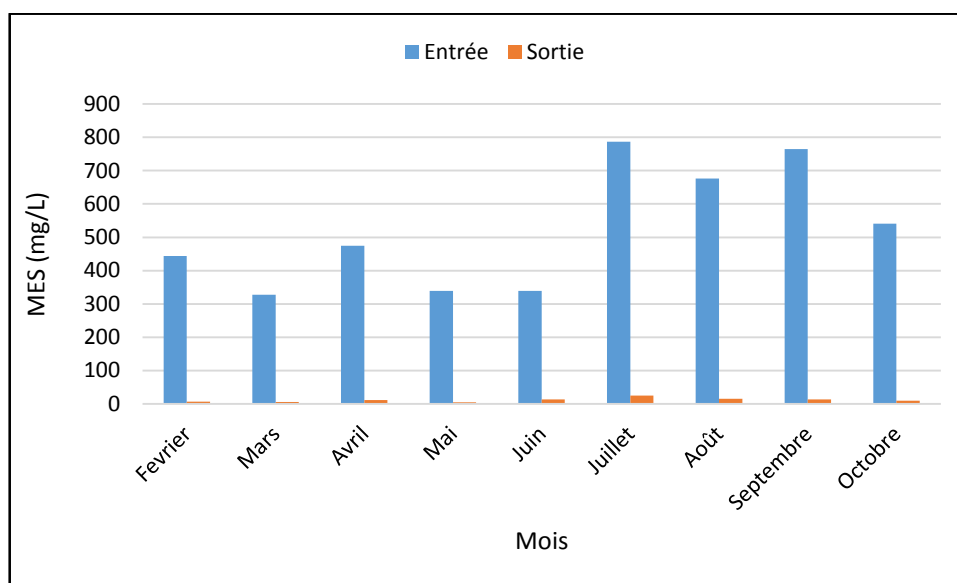


Figure 33 : Variation de la MES (mg/L) à l'entrée et à la sortie de la STEP.

Les concentrations des matières en suspension dans les effluents bruts sont variables, elles se situent entre 327,25 et 787,25 mg/L avec une moyenne de 521,67 mg/L, l'instabilité de la qualité des eaux usées à l'entrée de la STEP est probablement due à la diversification des origines de rejets. Cependant, la présence des teneurs excessives des matières en suspension peut entraîner des difficultés de transport et l'obturation des systèmes d'assainissement.

Les résultats enregistrés à la sortie révèlent une réduction importante de la pollution physique entre les eaux brutes et traitées (Figure 33), où le taux de MES des eaux épurées varie entre 4,75 et 24,50 mg/L avec une moyenne de 11,71 mg/L. Ce dernier reste cependant inférieur à la norme de rejet de l'OMS (30 mg/L) et à celle du Journal Officiel Algérien limitée à 35 mg/L (JORA, 2006).

Par ailleurs, la teneur moyenne des eaux brutes est largement inférieure à la teneur des eaux usées domestiques influencées par les rejets de laiterie trouvée en Egypte par Tawfik *et al.* en 2008 (831 mg/L) et en Pologne par zawadzka *et al.* en 2021 (790 mg/L).

3.1.4. Variation de la demande chimique en oxygène (DCO)

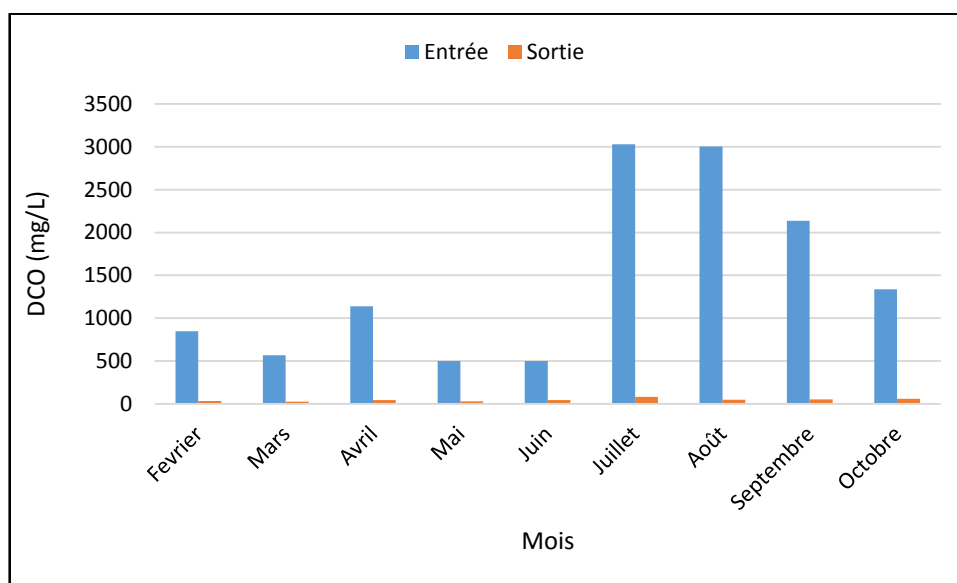


Figure 34 : Variation de la DCO (mg/L) à l'entrée et à la sortie de la STEP.

Les valeurs de la DCO oscillent de 499 à 3 032 mg O₂/l avec une moyenne de 1 451,30 mg O₂/l (Figure 34). La variabilité de la qualité des eaux usées brutes est due à diversification des sources de pollution comprenant essentiellement les effluents industriels agroalimentaire et les effluents urbains de la région de Tizirt. Les valeurs élevées de la DCO sont dues au rejet d'effluents de la laiterie fortement chargés en matières organiques biodégradables et non biodégradables, elles dépassent 1 000 mg d'O₂/L considéré comme valeur moyenne de rejet admissible dans les ouvrages d'assainissement ou dans une station d'épuration (JORA, 2009).

Concernant les effluents traités, nous avons observé une réduction importante de la matière organique avec des valeurs qui varient de 24,90 à 81,97 mg O₂/l. Ces valeurs sont conformes aux normes internationales de rejet vers le milieu naturel (< 90 mg O₂/l) et algériennes de rejet qui est de 120 mg O₂/l (JORA, 2006).

Cependant, la valeur moyenne des eaux brutes est supérieure à 1 322,50 mg/L trouvée à Sidi Bel-Abbès (Chadli *et al.* 2022). En revanche, elle est inférieure à la valeur observée 1807,80 mg/L trouvée en Pologne (zawadzka *et al.*, 2021) et à 3 383 mg/L trouvée en Egypte (Tawfik *et al.*, 2008). Concernant les eaux épurées, la valeur moyenne est largement inférieure à 108 mg/L trouvée à Batna (Hannachi, 2018) et à 378,16 mg/L trouvée à Sidi Bel-Abbès (Chadli *et al.* 2022).

3.1.5. Variation de la demande biologique en oxygène (DBO₅)

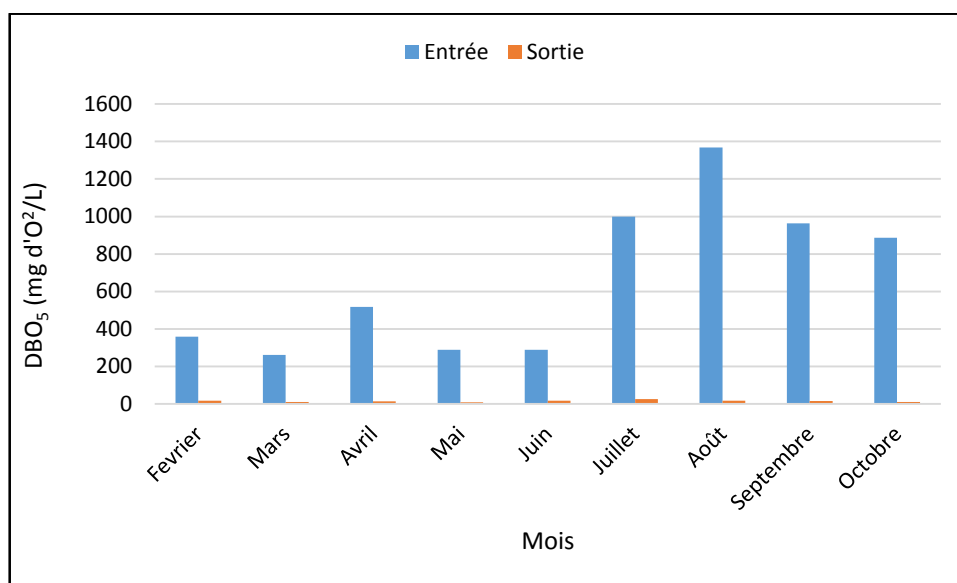


Figure 35 : Variation de la DBO (mg/L) à l'entrée et à la sortie de la STEP.

Les valeurs de la charge organique biodégradable reçue dans la station sont instables, elles varient de 261,50 à 1 368,66 mg O₂/l avec une moyenne de 658,91 mg O₂/l (figure 35). Les valeurs élevées sont probablement dues aux volumes importants des effluents industriels agroalimentaires de ladite laiterie qui est raccordée au réseau public d'assainissement, ces rejets biodégradables provoquent pour la biomasse de la station en aval des déséquilibres nutritionnels, des à-coups de charge organique et des fermentations dans les réseaux. Elles peuvent être justifiées par l'insuffisance ou l'absence de neutralisation dans la laiterie. Les effluents non domestiques présentent une source majeure de nuisances. Ils contribuent à la dégradation prématurée des ouvrages d'assainissement et au dysfonctionnement de la STEP qui traite principalement les effluents urbains. La valeur moyenne dépasse 500 mg d'O₂/L considéré comme valeur moyenne de rejet admissible dans les ouvrages d'assainissement ou dans une station d'épuration (JORA, 2009).

Les eaux épurées s'appauvrissent et montrent des teneurs qui oscillent entre 7,70 et 26,17 mg O₂/l avec une moyenne de 14,85 mg O₂/l. Elles sont inférieures aux normes internationale (30 mg O₂/l) et algériennes de rejet vers le milieu naturel qui est de 35 mg O₂/l (JORA, 2006).

De plus, la valeur moyenne de la DBO₅ des eaux brutes mesurée est largement inférieure à 1941 mg/L trouvée en Egypte (Tawfik *et al.*, 2008) et à 1 048,90 mg/L démontrée en Pologne

(zawadzka *et al.*, 2021). En revanche, elle est supérieure à 211 mg/L trouvée à Batna (Hannachi, 2018) et à 514,91 mg/L trouvée à Sidi Bel-Abbès (Chadli *et al.* 2022).

3.1.6. Variation de rapport entre la DCO et la DBO₅

La valeur moyenne du rapport DBO₅/DCO calculée est de 0,49. Le rapport mondial des nations unies sur l'eau (2017) a rapporté que lorsque DBO₅/DCO > 0,35, les matières oxydables sont dégradables par les micro-organismes et le traitement biologique est réalisable voir efficace généralement pour les eaux usées urbaines et agroalimentaires.

Les valeurs du rapport DCO/DBO₅ oscillent entre 1,51 et 3,04 avec une moyenne de 2,13 ce qui indique que les polluants sont moyennement biodégradables et parfois difficilement biodégradables.

3.1.7. Variation de l'azote ammoniacal (N-NH₄⁺)

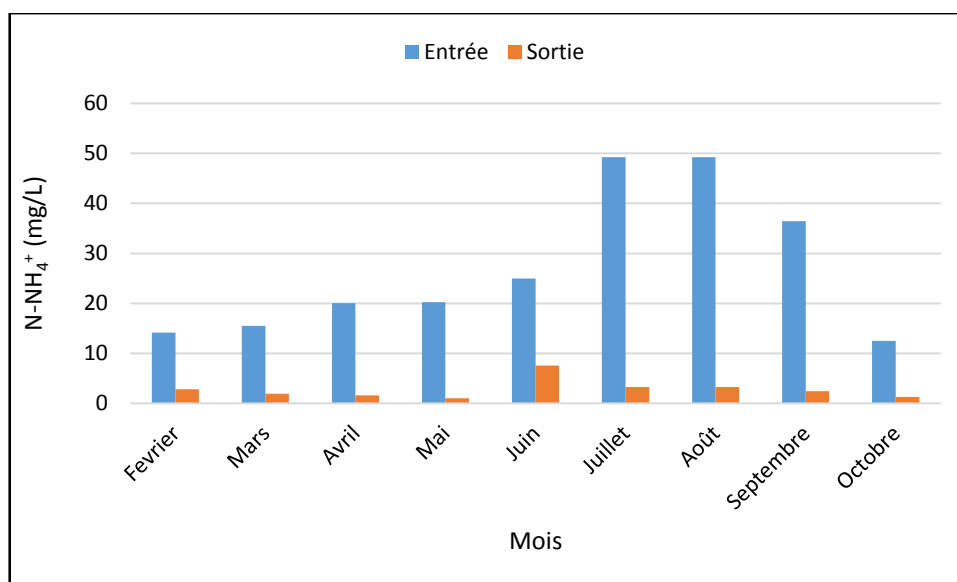


Figure 36 : Variation de N-NH₄⁺ (mg/L) à l'entrée et à la sortie de la STEP.

Les concentrations de N-NH₄⁺ mesurées dans l'eau brute présentent des variations importantes, elles fluctuent de 12,49 à 49,28 mg/L avec une moyenne de 26,93 mg/L et entre 1,00 à 7,53 mg/L avec une moyenne de 2,78 mg/L pour l'eau épurée (Figure 36).

Une réduction des valeurs de l'azote ammoniacal dans les eaux épurées a été observée alors, elle peut être traduite par la minéralisation de l'azote au niveau des bassins d'aérations par deux étapes nitrification et la dénitrification. Dans la nitrification, l'ammonium est l'oxydé en nitrate

en présence d'oxygène ajouté par les aérateurs et dans la dénitrification, les nitrates sont convertis en azote gazeux dans des conditions anoxiques qui s'échappe ensuite dans le dégazeur.

Par ailleurs, le résultat moyen en NH_4^+ en eau brute est similaire à la valeur 36,30 mg/L démontrée en Pologne (zawadzka *et al.*, 2021).

3.1.8. Variation des orthophosphates (P-PO_4^{3-})

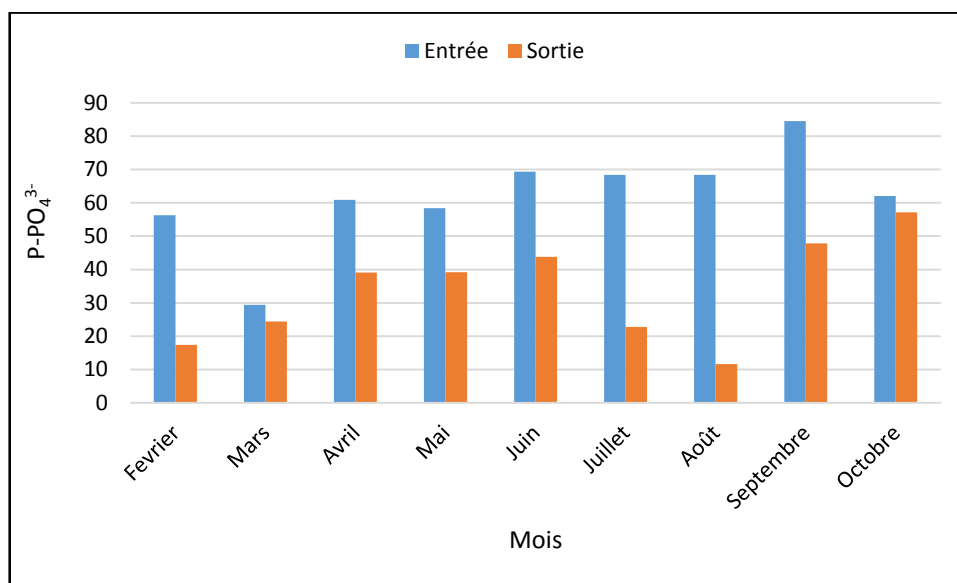


Figure 37 : Variation de P-PO_4^{3-} (mg/L) à l'entrée et à la sortie de la STEP.

Les effluents bruts sont caractérisés par des teneurs élevées en orthophosphates, elles varient entre 29,40 et 84,88 mg/L avec une moyenne de 61,98 mg/L. Ces élévations en phosphore sont probablement expliquées par le rejet des eaux blanches issues des lavages et de l'hygiène chargées en produits détergents et désinfectants de ladite laiterie. La valeur moyenne trouvée reste supérieure à 50 mg/L considérée comme valeur moyenne de rejet en phosphore admissible dans les ouvrages d'assainissement ou dans une station d'épuration (JORA, 2009).

Dans les eaux épurées, les concentrations oscillent entre 11,60 à 57,20 mg/L avec une moyenne de 33 mg/L (Figure 37). Une faible réduction du phosphore a été observée, elle pourrait être expliquée par la décantation d'une proportion de 0 à 10 % et par l'oxydation biologique en parallèle avec matière organique d'une part et d'autre part par l'absence de la filière de déphosphatation au niveau de la STEP et la laiterie. Néanmoins, les eaux de sortie ne peuvent pas, en référence aux normes nationale (10 mg/L), être rejetées sans danger dans le milieu naturel.

Le résultat moyen trouvé en eau brute est largement supérieur à 22 et 22,29 mg/L trouvée respectivement en Egypte (Tawfik *et al.*, 2008) et en Pologne (zawadzka *et al.*, 2021). De même, il est plus au moins similaire à la valeur 68,46 mg/L observée à Sidi Bel-Abbès (Chadli *et al.* 2022).

3.2. Rendements épuratoires

Les taux de réduction de pollution physique et hydrocarbonée obtenus sont très satisfaisants par rapport aux résultats suggérés à Batna par Hannachi (2018) à savoir 87,60 % pour les MES, 87 % pour la DCO et 91 % pour DBO₅, les rendements sont représentés dans les figures ci-dessus. Le rendement moyen d'abattement de la pollution physique en termes de matière en suspension est de l'ordre 98 %. En fait, ce résultat nous confirme la performance du système de la décantation dans la STEP de Tizirt.

Les rendements moyens d'abattement de la pollution hydrocarbonée sont de l'ordre 98 % pour la DBO₅ et 97 % pour la DCO. Ces résultats nous renseignent de l'efficacité du traitement biologique et de la bonne dégradation des matières oxydables par les micro-organismes.

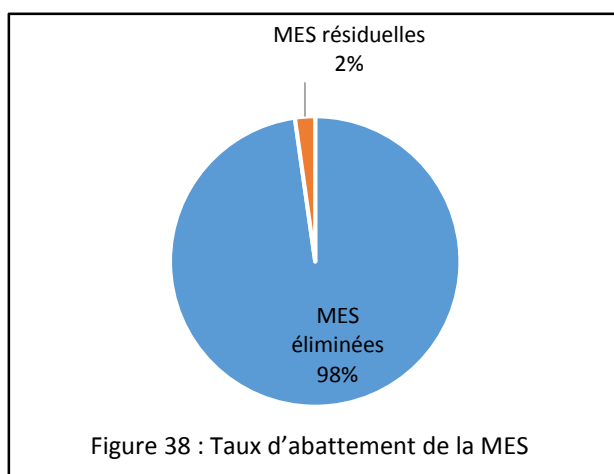


Figure 38 : Taux d'abattement de la MES

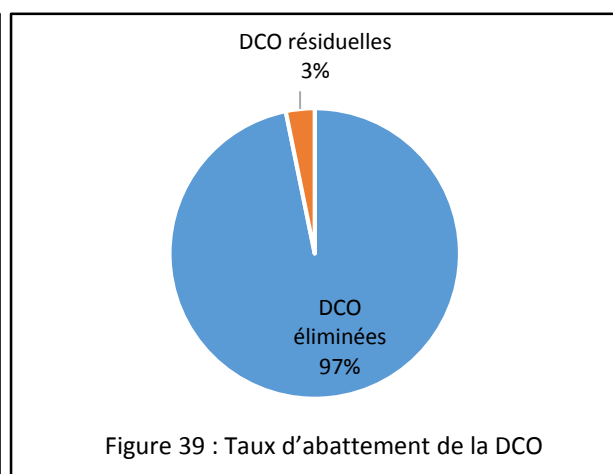


Figure 39 : Taux d'abattement de la DCO

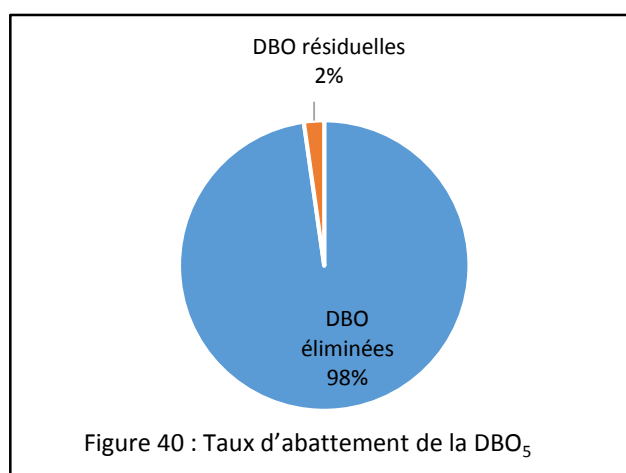
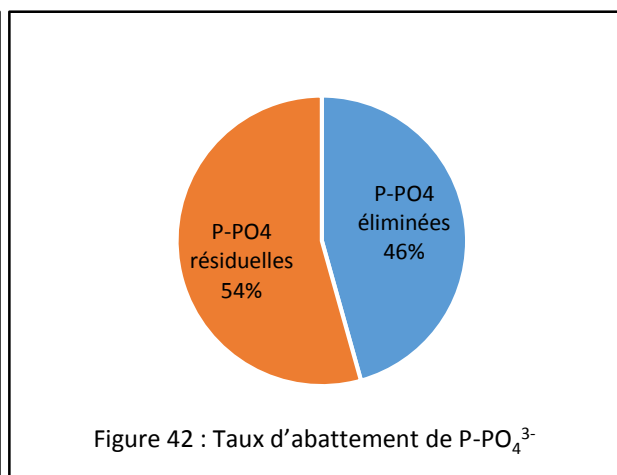
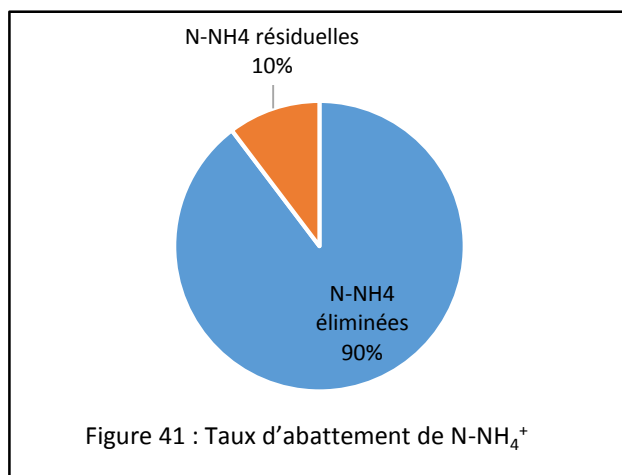


Figure 40 : Taux d'abattement de la DBO₅

Le rendement d'élimination en azote ammoniacal obtenu est satisfaisant, il est évalué 90 % (figure 41). Tandis qu'il est inférieur à 97,67 % démontré à Médéa par Hamaidi-Chergui *et al.* (2016).

Le rendement d'élimination en orthophosphates est de l'ordre de 46 % (Figure 42). Ce taux peut être expliqué par l'absence du système de déphosphoration au niveau de la STEP étudié. Ce résultat est largement inférieur à 76,06 % affirmé à Médéa (Hamaidi-Chergui *et al.*, 2016).



3.3. Etude statistique des données

3.3.1. Analyse de corrélation

3.3.1.1. Corrélation entre les effluents bruts

Les interrelations entre les paramètres physico-chimiques étudiés à l'entrée de la STEP de Tizirt ont été déterminées à partir de la matrice de corrélation (tableau 13), l'analyse de la matrice a révélé une inter corrélation significative entre toutes les variables.

La corrélation entre les variables DBO₅ et DCO a montré une relation hautement positive avec un coefficient de 0,93 exprime ainsi le caractère biodégradable de la matière organique. De même, une relation fortement positive a été observée entre les valeurs moyennes de la MES mesurées et les variables DBO₅ et DCO avec des coefficients de corrélation de l'ordre de 0,88 et 0,94.

L'azote minéral exprimé en NH₄⁺ présente de même une forte relation positive avec les pollutions organique et physique, les coefficients de corrélation hautement significatifs sont respectivement de l'ordre de 0,76, 0,89 et 0,78 pour la DBO₅, la DCO et la MES. Cependant, des relations positives moyennes et/ou fortes ont été démontrées entre la pollution phosphatée

et les valeurs des variables DBO₅, DCO, MES et NH₄⁺ avec des coefficients de corrélation respectivement de 0,56, 0,53, 0,66 et 0,56.

Le potentiel Hydrogène a montré l'existence des relations négatives, hautement significatives avec les variables étudiées mentionnées par des coefficients de corrélation de -0,86 pour DBO₅ et MES, -0,84 pour DCO, -0,78 pour NH₄⁺ et -0,73 pour PO₄³⁻.

En outre, une corrélation a été démontrée entre les valeurs de température moyenne enregistrées et les divers paramètres étudiés par des relations positives avec DBO₅ (r = 0,74), DCO (r = 0,73), MES (r = 0,72), NH₄⁺ (r = 0,82) et PO₄³⁻ (r = 0,76) et par une relation hautement négative avec le pH (r = -0,90).

En somme, ces résultats reflètent l'influence des effluents agroalimentaire de la laiterie sur les eaux usées urbaines de Tizirt.

Tableau 13 : Matrice de corrélation entre les variables physico-chimiques des effluents bruts de la STEP de Tizirt.

| | DBO ₅ | DCO | MES | NH ₄ ⁺ | PO ₄ ³⁻ | pH | Température |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------|-------------|
| DBO ₅ | 1,0000000 | | | | | | |
| DCO | 0,9343950 | 1,0000000 | | | | | |
| MES | 0,8828934 | 0,9363527 | 1,0000000 | | | | |
| NH ₄ ⁺ | 0,7593376 | 0,8910854 | 0,7798951 | 1,0000000 | | | |
| PO ₄ ³⁻ | 0,5645287 | 0,5300577 | 0,6624626 | 0,5591010 | 1,0000000 | | |
| pH | -0,8605305 | -0,8380867 | -0,8624383 | -0,7811182 | -0,7330747 | 1,0000000 | |
| Température | 0,7404244 | 0,7316958 | 0,7198482 | 0,8216742 | 0,7569390 | -0,9023119 | 1,0000000 |

L'analyse de corrélation entre les paramètres physico-chimiques des effluents bruts de la station étudiée montre l'existence de plusieurs relations positives et négatives entre toutes les variables. La figure ci-après représente des nuages de points dont le sens croissant ou décroissant selon le coefficient de corrélation trouvé.

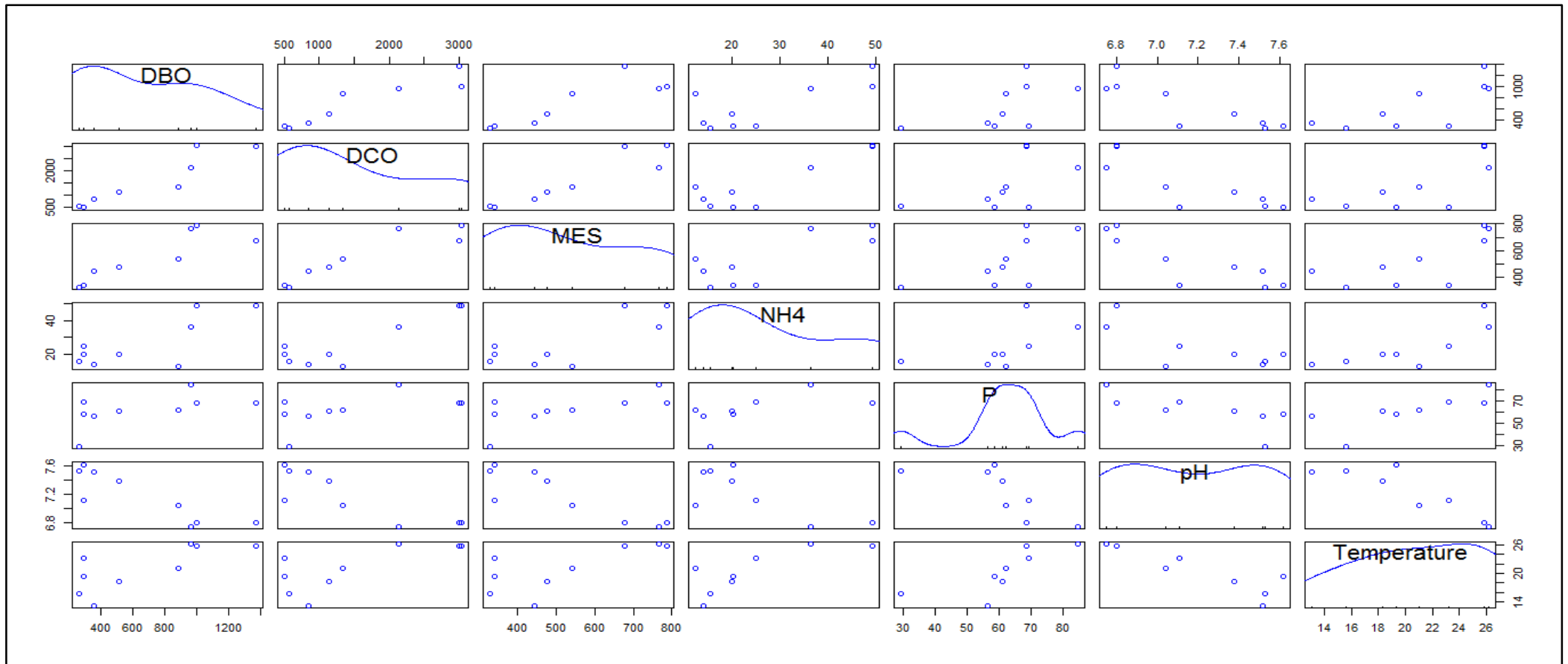


Figure 43 : Relations entre les paramètres physico-chimiques des effluents bruts de la STEP de Tizirt.

Les graphiques de la figure 43 et le tableau 13, ont montré l'existence de corrélation entre tous les paramètres étudiés, elle est exprimée par de fortes relations croissantes pour DBO_5 , DCO, MES, NH_4^+ , PO_4^{3-} et température à l'exception de pH, il présente une relation fortement décroissante avec toutes les valeurs des variables enregistrées.

3.3.1.2. Corrélation entre les effluents épurés

Les interrelations entre les variables étudiées à la sortie de la STEP de Tizirt ont été déterminées à partir de la matrice de corrélation illustrée dans le tableau 14, l'analyse de la matrice a révélé des interrelations significatives entre diverses variables qui paraissent en gras dans le tableau.

La matière organique exprimée par DBO₅ et DCO, a montré une relation positive avec un coefficient de corrélation de 0,67 entre ces dernières. De même, des relations fortement positives ont été observées entre la matière en suspension et les variables de la matière organique DBO₅ et DCO avec coefficients de corrélation de l'ordre de 0,87 et 0,89. Cependant, des corrélations positives ont été indiquées entre les valeurs de température moyenne et les variables DCO (r = 0,67) et MES (r = 0,79). Certes, des paramètres moyennement corrélés où les liaisons ont été indiquées par des coefficients significatifs moyens entre les valeurs de la DBO₅ et les valeurs des variables NH₄⁺ (r = 0,50) et température (r = 0,496).

Les liaisons entre les restes des paramètres sont généralement faibles et ne présentent pas de corrélations significatives.

Tableau 14 : Matrice de corrélation entre les variables physico-chimiques des effluents épurés de la STEP de Tizirt.

| | DBO ₅ | DCO | MES | NH ₄ ⁺ | PO ₄ ³⁻ | pH | Température |
|-------------------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------|
| DBO ₅ | 1,0000000 | 0,67207178 | 0,8708472 | | | | |
| DCO | 0,6720718 | 1,0000000 | 0,8887320 | | | | |
| MES | 0,8708472 | 0,88873203 | 1,0000000 | | | | |
| NH ₄ ⁺ | 0,5047516 | 0,13821626 | 0,3926649 | 1,0000000 | | | |
| PO ₄ ³⁻ | -0,4861242 | 0,12240912 | -0,1868191 | -0,0676351 | 1,0000000 | | |
| pH | 0,2846022 | -0,08649254 | 0,1198004 | 0,4198324 | -0,10509920 | 1,0000000 | |
| Température | 0,4966096 | 0,67161028 | 0,7867941 | 0,3817641 | 0,04942724 | -0,04659598 | 1,0000000 |

Les résultats de la matrice de corrélation de tableau 14 sont représentés sous forme de nuages de points dans la figure ci-après.

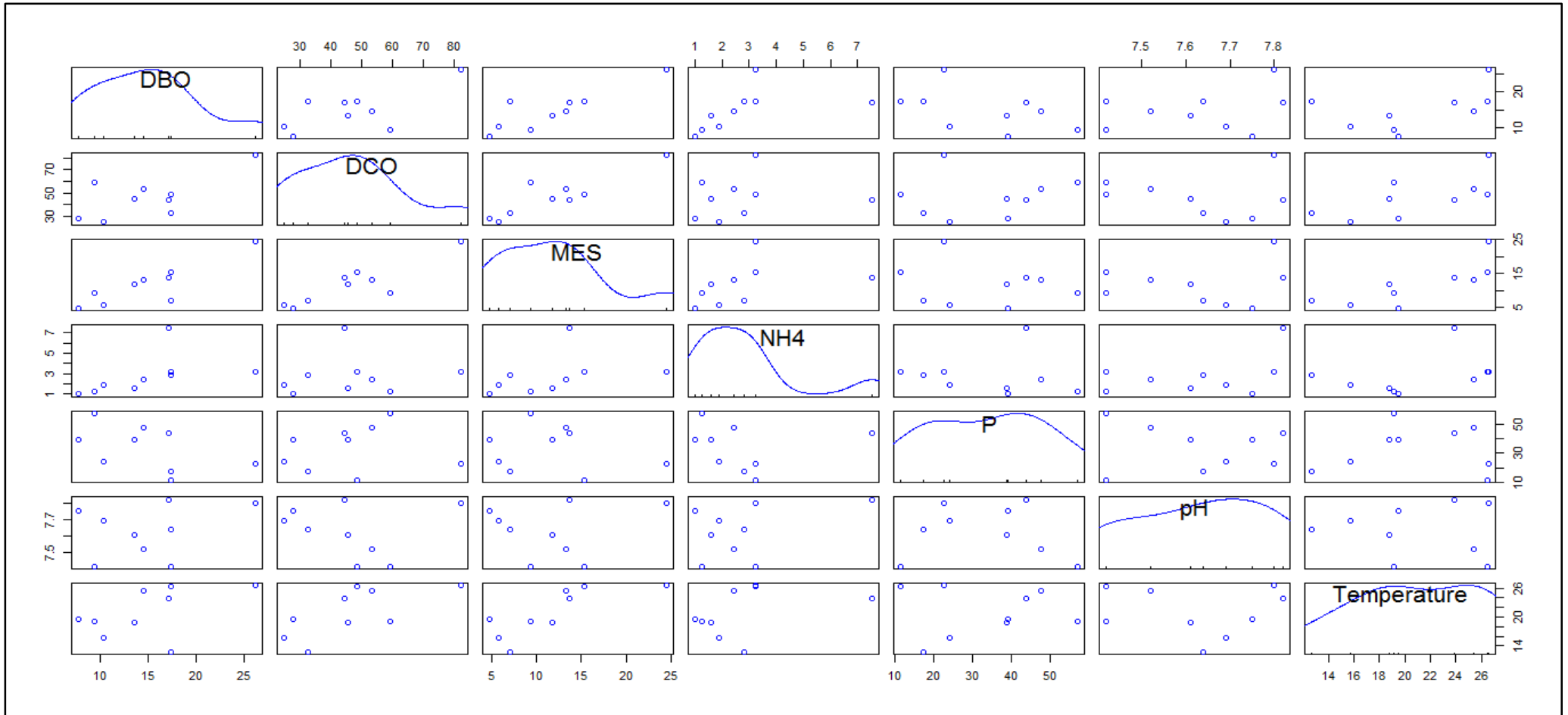


Figure 44 : Relations entre les paramètres physico-chimiques des effluents épurés de la STEP de Tizirt.

Les graphiques de la figure 44 ont montré l'existence de corrélation fortement croissante entre les variables DBO_5/DCO , DBO_5/MES , DCO/MES , DCO/T et MES/T . Cependant, de corrélation moyennement croissante entre les variables DBO_5/T et DBO_5/NH_4^+ .

3.3.2. Variabilité de la qualité physico-chimique

Une analyse ANOVA a été appliquée sur l'ensemble des valeurs physico-chimiques des eaux brutes et épurées enregistrées dans la station d'épuration de Tizirt.

Le résultat a montré un effet très hautement significatif sur les deux type d'effluent étudiés avec $P_{\text{value}} = 0,000010$. Il reflète le bon fonctionnement de la station et la performance du système d'épuration à boues activées.

4. Conclusion

À travers cette étude, il est clair que l'effluent brut présente une charge polluante très importante due probablement aux rejets chargés de lactosérum et des eaux blanches et des produits détergents et désinfectants de la laiterie. Par ailleurs, les concentrations trouvées en MES, DCO, DBO_5 et P-PO_4^{3-} dépassent les normes de déversement d'eaux usées autres que domestiques dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration fixées par le Journal Officiel Algérien en 2009.

Après traitement des eaux usées à la STEP de Tizirt, les concentrations en polluants atténuent à un niveau très acceptable et répondent aux normes des rejets d'effluents liquides industriels vers un milieu naturel décrétées par Journal Officiel Algérien en 2006 à l'exception des orthophosphates. En effet, nous avons constaté des abattements très satisfaisant à savoir 98, 97, 98 et 90 % respectivement en termes de la MES, de la DCO, de la DBO_5 , et de l'azote ammoniacal.

Étant donné que la station de Tizirt ne possède pas de processus de déphosphoration, le rendement d'élimination de matière phosphorée (46 %) est acceptable. Toutefois, des efforts supplémentaires doivent être déployés pour éviter le phénomène d'eutrophisation par l'excès de phosphore dans les eaux épurées rejetées dans la plage Tassalast.

Cependant, il est nécessaire de compléter les analyses physico-chimiques analyses microbiologiques, d'agrandir la station en la dotant par le système de déphosphatation et de suivre l'évolution des paramètres d'effluent rejeté par la STEP tout le long de son parcours au sein de l'Oued Tamda afin d'évaluer les conséquences la santé humaine et animale.

Attendu que la charge polluante dépasse les normes de déversement d'eaux usées dans un réseau d'assainissement ou dans une station d'épuration fixées par le JORA (2009), une étude a été menée sur le réseau d'assainissement public afin d'identifier le site et l'origine des effluents anormalement chargés.

Chapitre IV : Etude des
variations spatio-temporelles
de la pollution physico-
chimique des effluents bruts
dans le réseau
d'assainissement de Tizirt

1. Introduction

La pollution est l'un des problèmes existentiels critiques qui affectent la société moderne. La révolution industrielle du siècle dernier et l'augmentation spectaculaire de la population humaine au fil du temps ont entraîné la production d'une quantité sans précédent de déchets et de polluants dans l'environnement (Ekperusi *et al.*, 2019).

Ce chapitre vise l'évaluation de certains paramètres de pollution par la mesure des concentrations de la matière en suspension, la demande biologique en oxygène, la demande chimique en oxygène et les orthophosphates dans des différents sites de prélèvement afin d'identifier la source et l'origine de la pollution dans le réseau d'assainissement de Tizirt. Ensuite, les interprété par rapport aux normes algériennes de rejet.

2. Matériels et méthode

2.1. Echantillonnage des eaux usées

L'échantillonnage des eaux usées a été effectué en cinq (5) campagnes, allant du mois d'octobre 2020 au mois de février 2021 sur quatre sites choisis représentatifs des grands ensembles du réseau d'égout et de leur caractère d'exutoire, comme l'indique la figure ci-après.

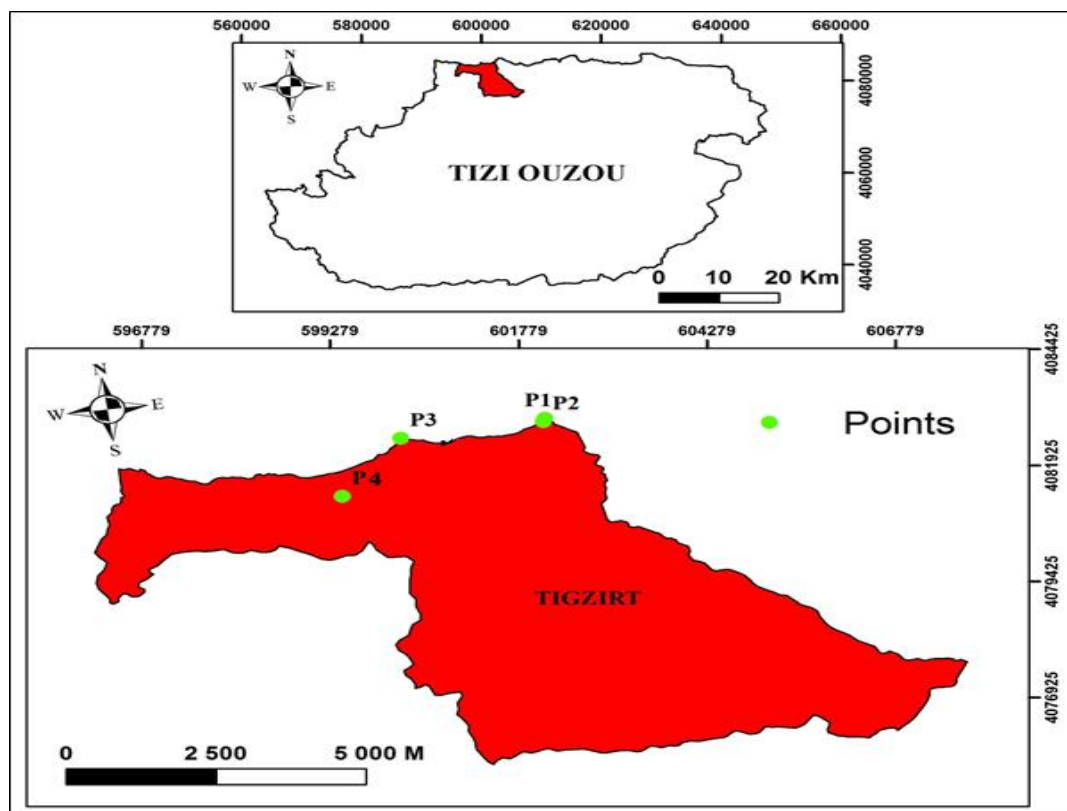


Figure 45 : Localisation des différents points de prélèvement des eaux brutes.

La procédure d'échantillonnage a été faite selon Rodier (2009) par des prélèvements instantanés (tableau 15), elle reflète de la composition de l'eau vis-à-vis des phénomènes de pollution et dans des bouteilles en plastique. L'usage des bouteilles jetables en plastique est répandu, en raison des facilités pour le transport et de leur utilisation unique étant donné leur prix compétitif. Dans le but de contrôler l'eau usée brute dans le réseau, il est indispensable d'attendre que l'eau en stagnation dans les canalisations soit éliminée, dont les principaux renseignements à fournir sont :

- Date et heure du prélèvement.
- Nom du point d'eau et sa localisation précise.
- Origine de l'eau (domestique, urbaine, industrielle, etc.).
- Enregistrer les remarques des aspects particuliers (couleur, débris, irisation, odeur, etc.) et de débit.

Tableau 15 : Identification et localisation des différents points de prélèvement des eaux brutes.

| Identification | Localisation | Nombre d'échantillons |
|----------------------------|---|-----------------------|
| P1 | Le regard en aval du collecteur principal des eaux usées de la partie Nord-Ouest du village Taksebt. | 5 |
| P2 | Elle représente l'exutoire des eaux usées provenant de la partie Est de la ville Tizirt. | 5 |
| P3 | Canal recueille les eaux usées du réseau principal et les réseaux secondaires provenant de toute la ville de Tizirt à l'exception de la partie Est. Elle est localisée dans la station de relevage du port. | 5 |
| P4 | Exutoire du réseau principal d'assainissement du village El Azaib. | 5 |
| Nombre total d'échantillon | | 20 |

Les échantillons ont été transportés dans des conditions requises à la température de 4 °C et à l'obscurité dans une glacière. Cela permet d'assurer une conservation satisfaisante (Rodier, 2009).

Il est important de souligner que les prélèvements ont été réalisés uniquement en temps sec afin de ne pas subir les effets de dilution liés à l'infiltration d'eau de pluie dans les réseaux d'égouts, et ainsi avoir des conditions de prélèvement comparables les unes aux autres. Le nombre de mesure de la DBO₅ est très faible, représenté en une seule mesure par point, et cela est dû au manque des conditions favorables et les matériels nécessaires.

2.2. Mesure des paramètres

2.2.1. Matière en suspension

La mesure des matières en suspension a été effectuée par la méthode de filtration. Le principe de cette dernière repose sur la double pesée. Tout d'abord, nous pesons une membrane de 1,5 micron préalablement à vide, sur laquelle un volume d'eau usée est filtré. Ensuite, nous pesons les résidus sur cette dernière. Le rapport de la différence de masse sur le volume d'eau filtrée donne la concentration de MES en milligramme/litre (OIEAU, 2005 ; Rice *et al.*, 2012).

2.2.2. Demande biologique en oxygène

L'analyse de la demande biologique en oxygène a été déterminée à l'aide des capteurs de pression OxyTop. Le principe de la méthode repose sur l'oxydation des matières organiques en consommant l'oxygène. Ce fait traduit une diminution de la pression d'air et la formation de CO₂ qui sera piégé par une solution de KOH. La valeur réelle en DBO est calculée par la multiplication des valeurs lues sur les capteurs et le facteur correctif qui dépend de la quantité d'échantillon prélevée et de la gamme de mesure souhaitée (Tandia, 2007 ; Rodier, 2009).

2.2.3. Demande chimique en oxygène

La demande chimique en oxygène a été déterminée par la méthode ST-DCO. Cette méthode propose d'introduire un volume précis d'échantillon dans des tubes fermés prêts à l'emploi. Ils contiennent tous les réactifs nécessaires (dichromate de potassium en présence d'acide sulfurique, de sulfate d'argent comme catalyseur et de sulfate de mercure) (Tandia, 2007 ; Rodier, 2009). La valeur réelle en DCO est obtenue en multipliant la valeur affichée sur le photomètre par 10.

2.2.4. Orthophosphates

La détermination des Orthophosphates a été effectuée sur l'oxydation des échantillons en présence d'acide sulfurique en utilisant des tubes fermés prêts à l'emploi et le dosage spectrométrique de l'oxydant consommé (Rodier, 2009).

3. Résultats et discussions

3.1. Caractérisation des eaux usées urbaines

Le traitement correct des ressources hydriques est une priorité dans notre société, ce qui permettra une amélioration de l'environnement, de la santé et de la qualité de vie. Pour cela, il est important de caractériser les eaux résiduaires produites par les agglomérations urbaines et de la terminologie de base en usage, indépendamment de la taille de la population et les activités dérivées du développement. En raison des différences de niveaux de développement économique et social, les eaux usées des petites agglomérations ont leurs propres caractéristiques, qui sont sensiblement différentes des eaux usées des zones urbaines (fluctuations dramatiques de débit, charge et concentrations élevées). Ce fait doit être pris en compte lors de la conception de ces installations. L'identification de degré de pollution est un élément essentiel pour préciser le procédé du traitement approprié (Mustafa et Hayder, 2021 ; FEDR, 2011). Le tableau 16 représente d'une part les résultats moyens des analyses des eaux usées brutes prélevées au niveau du réseau d'assainissement de la ville de Tizirt et d'autre part les valeurs typiques des principaux polluants de l'eau urbaine résiduaire en fonction de type de pollution (Metcalf et Eddy, 2000 in FEDR, 2011). Les jeux de données de ce tableau permettent d'évaluer le degré de pollution de nos effluents.

Globalement, nous remarquons un écartement important des valeurs des paramètres de pollution physique, hydrocarbonée et phosphorée dans les différents points étudiés. Cela est dû à l'origine des effluents prélevés.

Les valeurs trouvées en terme de MES, DBO_5 et PO_4^{3-} au niveau du premier point sont de l'ordre de 629,60, 650 et 25,44 mg/L supérieures respectivement de 79,89, 62,50 et 69,60 % aux valeurs typiques d'une eau urbaine résiduaire fortement polluée d'origine domestique voir 350, 400 et 15 mg/L. Par conséquence, cet effluent dépasse largement une forte pollution domestique. La teneur moyenne en DCO est de 943,20 mg/L inférieure de 5,68 % à la valeur typique de forte pollution d'une eau urbaine résiduaire d'origine domestique voir 1000 mg/L.

En effet, ce rejet n'est pas domestique mais plutôt urbain. La pollution urbaine est générée par les grands flux urbains en évacuant des effluents domestiques et industriels. Les déchets urbains se résument à tous les produits dont se débarrassent les habitants d'une agglomération, notamment les eaux usées domestiques, les huiles usagées, les médicaments périmés, les matières fécales, les produits d'emballage, etc. Le flux de déversement est lié à la taille de

l'agglomération, à son activité et à son niveau de vie. Les volumes des rejets industriels constituent principalement d'eaux de lavage et de déchets solides, qui varient selon la taille de l'agglomération et la nature de l'activité industrielles (Berradi et El harfi, 2016). L'origine de la pollution urbaine dans ce cas englobe les effluents domestiques des habitants du village de Taksebt et ceux des restaurants implantés sur la route littorale de Feraoun.

Selon l'Office Internationale de l'Eau (2005), le refroidissement et la condensation des graisses contiennent les eaux usées des restaurants déversées directement dans le réseau d'assainissement provoquant l'obturation et la corrosion des canalisations, la production d'odeurs et de gaz toxiques, une augmentation de la charge polluante organique, une difficulté de traitement des graisses en station d'épuration urbaine particulièrement par la croissance de bactéries filamenteuses responsables de la formation d'une mousse à la surface des bassins des stations d'épuration qui limitent la clarification des eaux usées.

Les teneurs moyennes trouvées en terme de MES, DCO et PO_4^{3-} au niveau du deuxième point sont de l'ordre de 226,40, 724,30 et 13,47 mg/L inférieures respectivement de 35,31, 27,57 et 10,20 % aux valeurs typiques d'une eau urbaine résiduaire fortement polluée d'origine domestique voir 350, 1000 et 15 mg/L, nous déduisons alors que cette eau est moyennement polluée, à l'exception la DBO_5 qui est supérieure de 12,50 % à la valeur typique d'une eau urbaine résiduaire fortement polluée d'origine domestique voir 400 mg/L. Par conséquent, cet effluent est fortement pollué en termes de DBO_5 . Nous concluons ainsi que l'origine de cette pollution est urbaine. Elle est engendrée par le déversement des déchets domestiques des habitants de la partie Est de la ville Tizirt qui sont des déchets biodégradables, les eaux usées des activités artisanale et commerciale notamment les polluants chimiques dangereux et toxiques tels que les détergents, les colorants, les peintures, les solvants, etc., des produits de soins personnels que les individus rejettent dans les égouts (Mayer *et al.*, 2016) et le rejet des hôpitaux. L'augmentation des charges polluantes générées par les flux de pollution domestique a des impacts négatifs sur la qualité des ressources en eau, l'écosystème aquatique et la santé des populations (Devitt *et al.*, 2016).

Les valeurs moyennes trouvées en termes de MES, DBO_5 et DCO au niveau du troisième point sont de l'ordre de 429,40, 700 et 1712 mg/L supérieures respectivement de 22,69, 75 et 71,20 % comparer aux valeurs typiques d'une eau urbaine résiduaire d'origine domestique à forte pollution voir 350, 400, 1000 mg/L. En effet, la teneur en orthophosphate est de 33,94 mg/L,

elle est deux fois plus à la valeur typique d'une eau urbaine résiduaire d'origine domestique à forte pollution voir 15 mg/L, par conséquent cet effluent est très fortement pollué, il est très chargé en matière organique et orthophosphate, nous concluons ainsi une pollution urbaine à dominance industrielle, les effluents demeurent plus chargés en matière organique.

Il paraît alors évident que le lactosérum a un poids très important dans la charge organique des effluents. Son surplus dans le milieu entraîne alors une asphyxie de celui-ci du fait de sa biodégradation (pour la partie biodégradable) qui consomme de l'oxygène. Les eaux résiduaires laitières sont caractérisées par des concentrations élevées en DBO, DCO et contiennent généralement des graisses, des nutriments, du lactose, ainsi que des détergents et des agents d'assainissement. Les nutriments conduisent à l'eutrophisation des eaux réceptrices, les détergents affectent l'environnement et les eaux réceptrices (Kaur, 2021). Néanmoins, ces eaux usées doivent subir un prétraitement leur donnant les mêmes caractéristiques à celles des eaux usées domestiques pour permettre un traitement en commun.

Les déchets municipaux comprennent les rejets domestiques des habitants de la ville de Tizirt auxquels s'ajoutent les déchets commerciaux et industriels provenant des usines qui rejettent leurs eaux usées sans traitement préalable ou insuffisants dans le réseau d'assainissement des eaux usées urbaines.

La forte pollution urbaine provient des déchets industriels provenant des usines qui rejettent leurs eaux usées sans traitement préalable dans la rivière ou la mer et des eaux usées domestiques.

Les activités industrielles sont la source la plus importante de la pollution de l'eau en raison de la production des effluents ayant des caractéristiques distinctes (Hakim *et al.*, 2017 ; Kautsar et Rinanti 2021).

Parmi les principales activités industrielles responsables de la dégradation des eaux de surface sont les industries alimentaires (Zarpelon *et al.*, 2016). Compte tenu de l'extrême diversité de ces industries, il est évident que les déchets déversés et les effluents rejetés sans traitement approprié entraîneront des changements indésirables dans les milieux récepteurs et les eaux réceptrices. Par conséquent, des effets néfastes sur les organismes vivants aquatiques et station d'épuration (Seow et Hauser, 2016).

Au niveau du quatrième point, les résultats moyens trouvés en termes de MES, DBO₅ et DCO sont de l'ordre de 134,80, 150 et 287,20 mg/L inférieures respectivement à 220, 220 et 500

considérées comme valeurs typiques d'une pollution moyenne d'eau urbaine résiduaire d'origine domestique. Nous déduisons ainsi une pollution moyenne à l'exception des orthophosphates, présente une forte pollution à savoir 9,44 mg/L contenu dans la plage 8-15.

L'origine de cette pollution est domestique résultante d'une utilisation quotidienne de l'eau dans la maison. Les eaux domestiques sont riches en déchets organiques, en graisses (eau de cuisine), matières minérales (eau de salle de bain), azote et phosphore, elles contiennent également des sels minéraux et des métaux. Les détergents contiennent des matières minérales tels les phosphates, qui entraînent la prolifération des algues dans le milieu naturel s'ils ne sont pas traités (Berradi et El harfi 2016).

Tableau 16 : Résultats moyens des analyses des eaux usées brutes prélevées au réseau d'assainissement de la ville de Tizirt et les valeurs typiques des principaux polluants de l'eau urbaine résiduaire en fonction de type de pollution (Metcalf et Eddy, 2000 in FEDR, 2011).

| Paramètres | Effluents de la présente étude | | | | Valeurs typiques d'une eau urbaine résiduaire (Metcalf & Eddy, 2000) | | |
|-------------------------------|--------------------------------|--------|--------|--------|--|---------|--------|
| | | | | | Type de pollution | | |
| | P1 | P2 | P3 | P4 | Forte | Moyenne | Légère |
| MES | 629,60 | 226,40 | 429,40 | 134,80 | 350 | 220 | 100 |
| DBO ₅ | 650 | 450 | 700 | 150 | 400 | 220 | 110 |
| DCO | 943,20 | 724,30 | 1712 | 287,20 | 1000 | 500 | 250 |
| PO ₄ ³⁻ | 25,44 | 13,47 | 33,94 | 9,44 | 15 | 8 | 4 |

3.2. Degré de pollution

La pollution de l'eau se produit lorsque des matières indésirables pénètrent dans l'eau, ce qui modifie sa qualité et nuit à l'environnement et à la santé humaine (Briggs, 2003). Lorsque la source de la pollution de l'eau est connue ou que les polluants qui pénètrent dans l'eau proviennent d'une source identifiable est connue sous le nom de pollution ponctuelle (Chaudhry et Malik 2017). Le tableau 17 représente les degrés de la pollution fréquentée dans le réseau

d'assainissement en fonction de couleur ; la couleur rouge représente une pollution très forte, la couleur orange représente une pollution forte, la couleur jaune représente une pollution moyenne, la couleur verte représente une pollution faible.

Nous constatons une très forte pollution représentée par la couleur rouge au niveau du P1 en matière de MES, DBO₅ et PO₄³⁻, P2 en termes de DBO₅ et en P3 pour tous les paramètres. Une forte pollution présentée par la couleur orange pour les MES en P2, DCO en P1 et P2 et en orthophosphate en P2 et P4. Une pollution moyenne présentée par la couleur jaune pour MES, DBO₅ et DCO en P5. L'absence de la couleur verte dans le tableau confirme l'absence d'une faible pollution sur le long du réseau d'assainissement.

Les principales sources de pollution pour les sites d'étude P1 et P2 sont l'urbanisation, la croissance de la population et un système de gestion faible.

L'urbanisation est la deuxième cause de dégradation d'un système d'eau, après l'agriculture. L'augmentation de la population crée de nombreux problèmes, elle joue également un rôle négatif dans la pollution de l'eau. L'augmentation de la population entraîne une augmentation de la production de déchets. Les déchets solides et liquides sont déversés dans les rivières et dans les réseaux d'assainissement (Jabeen *et al.*, 2011 ; Lu *et al.*, 2015).

Les sources de pollution ponctuelles au niveau du site P3 comprennent des effluents industriels essentiellement agroalimentaires dilués par les effluents municipaux de la ville de Tizirt.

Ces effluents assez diversifiés, entraînent une pollution importante dans les milieux récepteurs, principalement caractérisés par des teneurs élevées en matières organiques, des détergents et des matériaux désinfectants (Silva *et al.*, 2020).

Le raccordement des industries au réseau peut poser de nombreux problèmes ; les effluents industriels non ou insuffisamment traités peuvent entraîner des risques pour la santé des travailleurs exposés aux effluents en réseau d'assainissement ou en STEP, ainsi que des risques de dégradation des ouvrages d'assainissement et l'inefficacité de traitement de certaines pollutions non domestiques en passage dans les STEP.

Ils doivent faire l'objet d'un prétraitement correct avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. En raison du fort contenu organique, les déchets des industries laitières constituent une véritable menace pour l'environnement. Chaque année, dans le monde entier, des déchets laitiers d'environ 4 à 11 millions de tonnes sont rejetés dans l'environnement, ce qui représente un grave danger pour la biodiversité. L'un des problèmes graves causés par le rejet des eaux

usées brutes directement dans l'environnement est l'appauvrissement de l'oxygène dissous (Ahmad *et al.*, 2019).

Une forte pollution phosphorée enregistrée en point P4 due aux quantités d'eaux usées domestiques déversées dans le réseau de collecte. Du point de vue environnemental, la qualité des eaux de rejet a également son importance. Les détergents, souvent très polluants, peuvent contribuer à contaminer fortement les rejets et à altérer considérablement la qualité des effluents (Haseena *et al.*, 2017).

Tableau 17 : Types de la pollution dans les eaux usées.

| | MES | DBO ₅ | DCO | PO ₄ ³⁻ |
|----|--------|------------------|--------|-------------------------------|
| P1 | Red | Red | Orange | Red |
| P2 | Orange | Red | Orange | Orange |
| P3 | Red | Red | Red | Red |
| P4 | Yellow | Yellow | Yellow | Orange |

3.3. Situation de la pollution par rapport aux normes Algériennes

La pollution environnementale est actuellement l'un des problèmes les plus importants auxquels l'humanité est confrontée. Elle a augmenté de manière exponentielle au cours des dernières années et a atteint des niveaux alarmants en termes d'effets sur l'écosystème (Aleshinloye *et al.*, 2020). En effet, utiliser l'eau, c'est accepter de la polluer. Ainsi, toutes les activités concernées, qu'elles soient domestiques, industrielles ou agricoles, émettent des polluants indésirables plus ou moins toxiques. La réglementation sur le rejet des eaux usées est stricte et les industriels ont l'obligation de traiter leurs effluents (Khaoulani, 2015 ; Ali et Srekrishnan, 2001).

Dans le processus de protection des ressources en eau en Algérie, le gouvernement a fixé les principes et les règles applicables de l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau en 2005 par la loi 05-12 relative à l'eau, le décret exécutif 06-141 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels dans le milieu naturel et le décret exécutif 09-209 fixant les modalités d'octroi de l'autorisation de déversement d'eaux usées autres que domestiques dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration.

Le tableau 18 résume l'interprétation des résultats trouvés à des normes de rejet direct des effluents liquides industriels vers le milieu naturel (JORA, 2006) et vers un réseau d'assainissement ou dans une station d'épuration (JORA, 2009) en utilisant des signes. Le signe (+) signifie que la norme appropriée est dépassée par les valeurs des paramètres étudiés. Le signe (-) signifie que nos résultats sont acceptables et au-dessous de la norme de déversement vers le milieu naturel, un réseau d'assainissement ou dans une STEP.

L'analyse montre que les valeurs moyennes en MES, DBO₅, DCO et PO₄³⁻ dépassent largement les valeurs guides de rejet direct vers le milieu naturel (JORA, 2006), elles sont respectivement de l'ordre de 35, 35, 120 et 10 mg/L dans l'ensemble des points de prélèvement et elles sont représentées par un signe (+) dans le tableau, à l'exception des PO₄³⁻ au niveau du P5 voir 9,44 mg/L inférieure à la norme 10 mg/L et elle est représentée par un signe (-).

L'épuration de ces eaux usées s'avère obligatoire pour qu'elles ne présentent aucun danger pour l'environnement et la santé humaine une fois qu'elles seront retournées au cycle de l'eau avec un minimum d'impact sur l'environnement. La STEP de Tizirt installée en aval représente le point fort de la région qui jouera donc un rôle important dans la protection et la lutte contre la pollution, la préservation de la santé publique et hydrique et la diminution de la quantité de substances polluantes contenues dans les eaux usées collectées avant que celles-ci retournent dans la nature en sauvegardant des ressources et de l'environnement hydrique de la région d'étude.

Le résultat du premier point a montré la présence d'une variété de rejets issus de plusieurs sources. Les valeurs moyennes en MES et DBO₅ sont de l'ordre de 629,60 et 650 mg/L supérieures respectivement de 4,93 % et 30 % aux valeurs guides de rejet vers un réseau d'assainissement à savoir 600 et 500 mg/L (JORA, 2009) représentées par un signe (+). L'Etat Algérien n'a pas autorisé le déversement d'eaux usées anormalement chargées dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration ceci est expliqué dans la loi N° 09-209 chapitre 1 article 3 comme suite : La teneur en substances nocives des eaux usées autres que domestiques ne peut, en aucun cas, dépasser, au moment de leur déversement dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration (annexe 3). Les moyennes 943,20 et 25,44 mg/L sont notées respectivement pour la DCO et PO₄³⁻ semblent inférieures à 1000 et 50 mg/L considérées comme valeurs guides de rejet vers un réseau d'assainissement et ceux représentés par un signe (-) dans le tableau.

Un rejet plutôt d'origine urbain apparaît surtout pour le P2 où le signe négatif perçu des valeurs au-dessous des normes JORA (2009) pour tous les paramètres étudiés. Nous déduisons ainsi que ces effluents sont admissibles aux déversements vers le réseau d'assainissement ou dans une STEP.

Une pollution provenant de rejets mixtes industriels et urbains semble observée sur le P3, les concentrations moyennes en termes DBO₅ et DCO sont de l'ordre de 700 et 1712 mg/L supérieures respectivement de 40 % et 71,20 % aux valeurs guides de rejet vers un réseau d'assainissement voir 500 et 1000 mg/L (JORA, 2009) représenté par un signe (+).

Ces teneurs énormément élevées affectent principalement le réseau public d'assainissement et la STEP en aval. Selon l'article 3 chapitre 1 qui annonce la procédure d'autorisation de déversement du décret exécutif N° 09-209, cette eau n'est pas autorisée au déversement dans un réseau public d'assainissement. La question demeure, les autorités sont-elles appliquées la loi de même décrit en article 11 sur le contrôle par des prélèvements d'échantillons aux fins d'analyse et qui peuvent être effectués à tout moment dans le regard de branchement de l'établissement par les représentants de l'administration de wilaya chargée des ressources en eau afin de vérifier si les caractéristiques des eaux usées déversées dans le réseau public d'assainissement ou dans la station d'épuration sont conformes aux valeurs maximales fixées par le présent décret.

Pour le P4, un rejet plutôt d'origine domestique apparaît sur ensemble des paramètres étudiés représenté par le signe négatif perçu des valeurs au-dessous des normes JORA (2009). Nous déduisons ainsi que ces effluents sont admissibles aux déversements vers le réseau d'assainissement ou dans une station d'épuration sans aucun danger.

Tableau 18 : Interprétation de nos résultats a des normes de rejets algériennes.

| | MES | | DBO ₅ | | DCO | | PO ₄ ³⁻ | |
|----|--------------|--------------|------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------------|--------------|
| | JORA 2006 | JORA 2009 | JORA 2006 | JORA 2009 | JORA 2006 | JORA 2009 | JORA 2006 | JORA 2009 |
| P1 | + | + | + | + | + | - | + | - |
| P2 | + | - | + | - | + | - | + | - |
| P3 | + | - | + | + | + | + | + | - |
| P4 | + | - | + | - | + | - | - | - |

3.4. Suivi des paramètres de pollution

3.4.1. Matière en suspension

Les résultats de la figure 46 montrent des teneurs irrégulières en terme de MES dans les différents points de prélèvement. Les valeurs sont totalement supérieures à la valeur guide de rejet direct vers le milieu naturel qui est 35 mg/L (JORA, 2006) et à la norme de réutilisation qui est 30 mg/L (IANOR, 2014).

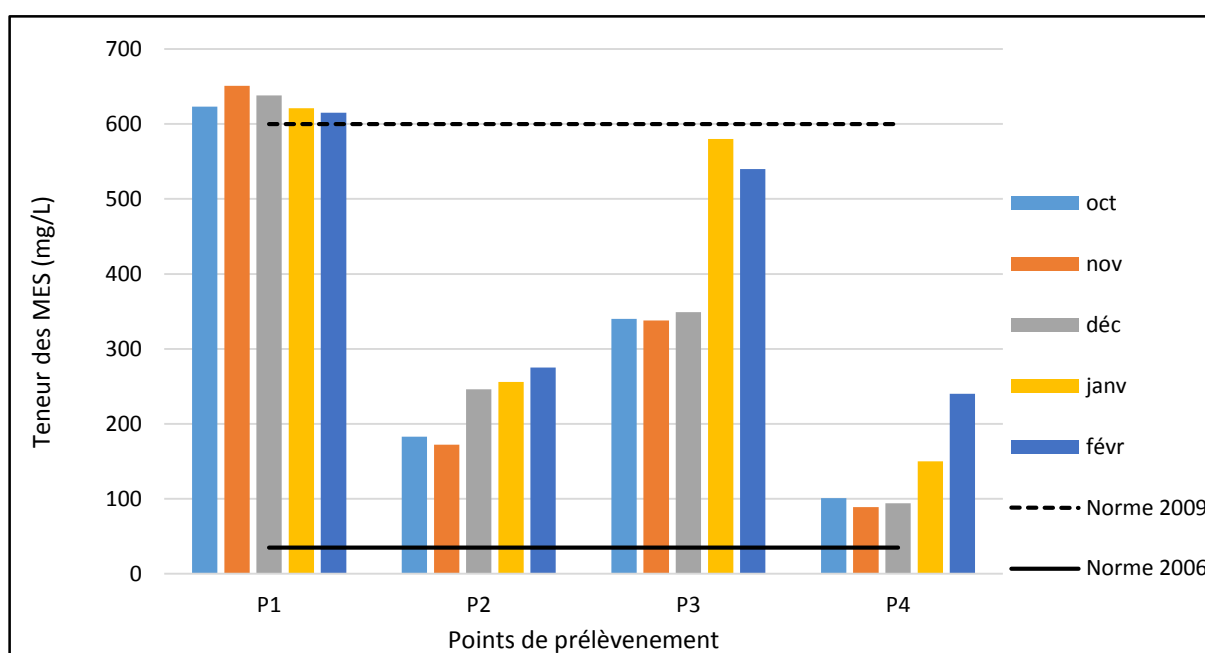


Figure 46 : Résultats d'analyses en MES trouvés dans les points du prélèvement.

Pour le point P1, la teneur en MES varie d'un minimum de 615 mg/L a un maximum de 651 mg/L. Ces valeurs sont supérieures à la valeur trouvée à Madagascar qui est 415 mg/L (Ndrianirina *et al.*, 2020). Des valeurs plus ou moins similaires à 655 mg/L, 609,33 mg/L, 658,45 mg/L et 613 mg/L ont été trouvées respectivement par Rassam *et al.* (2012) à Oujda, Hachi *et al.* (2016) à M'ritt (Maroc), Cheikhna *et al.* (2015) en Mauritanie, et Ahmad (2016) en Inde.

Les valeurs élevées en MES sont probablement liées à la charge en matières minérales et organiques. Les dépôts de MES dans les zones calmes peuvent entraîner la détérioration des ouvrages d'assainissement par obstruction des collecteurs et colmatage des regards (Angerville, 2009). Ces phénomènes sont observés souvent par les agents de l'ONA au niveau du P1.

Au fait, des observations ont été notées lors du prélèvement sur terrain ; l'eau a une apparence trouble, une mauvaise odeur et une flottation des graisses. Ajoutant également une faible pente dans le réseau de collecte ce qui traduit une dégradation anaérobie liée à la stagnation des eaux usées qui provoque la fermentation dans le réseau. L'entretien courant et le curage régulier de ces canalisations sont nécessaires tout en assurant une bonne ventilation de ces derniers.

Pour les points P2, les valeurs varient entre 172 et 275 mg/L avec une moyenne globale de 226,40 mg/L. Cette moyenne inférieure à celle trouvée à Azilal qui est de 559,38 mg/L (Idrissi, 2015), similaire à 245,10 mg/L et 215 mg/L trouvées respectivement au Chili (Andrés *et al.*, 2018) et en Colombie (Daud *et al.*, 2018). La variation de MES reflète la gamme des contaminants émis par les différentes combinaisons de sources domestiques, commerciales et hospitalières. La composition exacte des eaux usées est variable dans le monde, elle dépend de nombreux facteurs, dont l'utilisation domestique de l'eau et le niveau de développement de l'activité commerciale (UN WATER, 2017). La qualité de l'effluent liquide est adaptée au traitement physique de la STEP.

Les valeurs de MES du point P3, varient de 328 à 580 mg/L. Ces valeurs sont élevées, mais elles restent inférieures à 790,30 mg/L trouvée en Pologne par Zawadzka *et al.* (2021) qui regroupe les eaux usées domestiques et les effluents des laiteries, à 738 mg/L trouvée en Indonésie (Rozari *et al.*, 2020), à 700 mg/L trouvée à Istanbul (Cetin *et al.*, 2018) et à ceux trouvées à Souk Elarba du Gharb (Maroc) (Kbibch *et al.*, 2011). La valeur maximale est similaire à 587 mg/L des eaux usées urbaines de Sétif (Ababsa *et al.*, 2019). L'évaluation de MES peut se justifier par des rejets multiples qui regroupent les activités commerciales et artisanales, rejet industriel agroalimentaire et urbain.

P4, la teneur moyenne est de l'ordre de 134,80 mg/L, elle est inférieure à 86,39 mg/L trouvée en Jordan (Qasaimh et Al-Ghazawi, 2020), et proche de 192,21 mg/L des eaux usées de Ouargla (Hammadi *et al.* 2016) et de 197 mg/L trouvée à la ville de Tagajo au Japon par Ji *et al.* (2021). Ces valeurs peuvent être expliquées par l'origine domestique du rejet.

3.4.2. Demande biologique en oxygène

La figure 47 montre les résultats obtenus en DBO₅ mesurés. Les valeurs sont comprises dans la fourchette de 150 à 3200 mg/L dans les différents sites d'étude. Elles sont intégralement supérieures à la valeur guide de rejet direct vers le milieu naturel qui est 35 mg/L (JORA, 2006)

et à la norme de réutilisation qui est 30 mg/L (IANOR, 2014), elles sont aussi élevées comparées aux eaux usées industrielles rejetées vers un réseau d'assainissement ou dans une STEP qui est 500 mg/L (JORA, 2009) à l'exception P2 et P4.

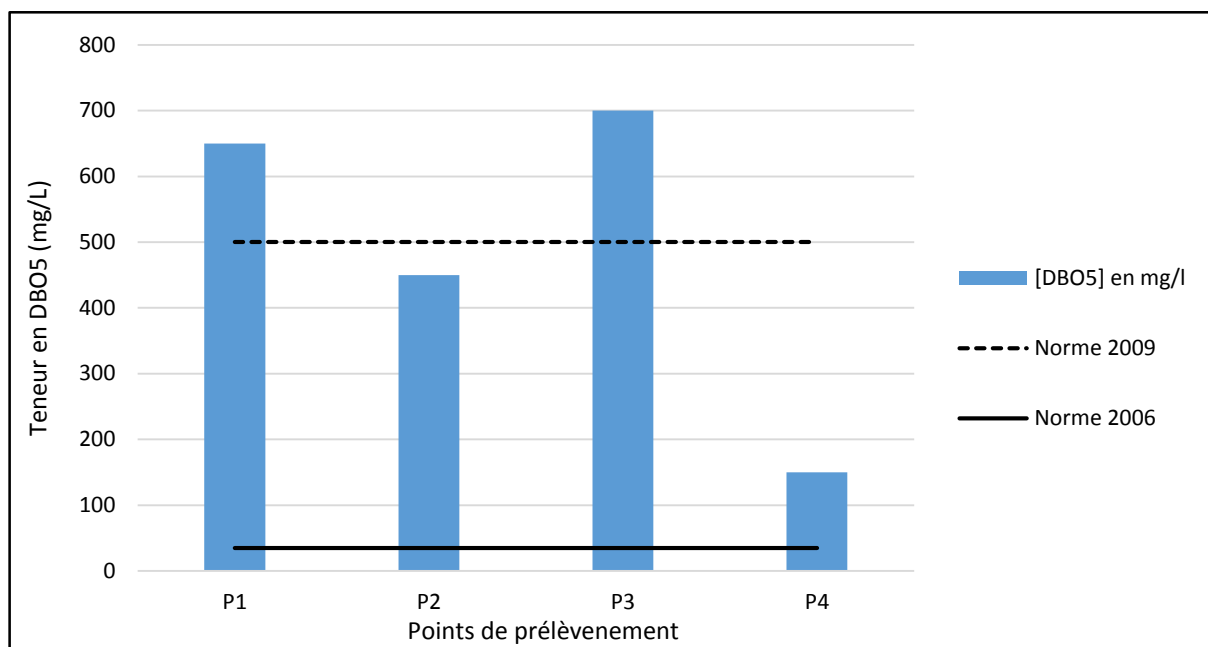


Figure 47 : Résultats d'analyses en DBO₅ trouvés dans les quatre points du prélèvement.

La concentration moyenne du P1 est de 650 mg/L, est inférieure à 794,80 mg/L trouvée à Abidjan (côte d'Ivoire) (Gnagne *et al.*, 2015). En revanche, elle est supérieure à 542 mg/L et 325 mg/L trouvée par Ngoc *et al.* (2020) au Vietnam et Hazourli *et al.* (2009) à Annaba. Le surplus en DBO₅ pourrait être expliqué par l'influence des eaux usées domestiques du village de Taksebt par les effluents de charcuteries et des restaurants sur la route littorale de Feraoun qui génèrent de faibles débits mais très concentrés en saumure et graisses. Cette forte charge, associée à une faible pente dans le réseau de collecte, traduit le phénomène de dégradation anaérobie lié à la stagnation des eaux usées dans les ouvrages d'assainissement d'où la fermentation est souvent fréquentée.

Pour le P2, la concentration moyenne est de l'ordre de 450 mg/L inférieure à celle trouvée dans le diagnostic des eaux usées des laboratoires médicaux à savoir 227 mg/L (Basturk *et al.*, 2020) en Turquie et à celle trouvée à Settat 242,02 mg/L (Maroc) (Bassir *et al.*, 2017), et similaire aux eaux urbaines d'Annaba (465 mg/L) (Hazourli *et al.*, 2007). Notamment, elle est supérieure de 3 à 4 fois à la valeur limite spécifique de rejets domestiques marocain à savoir 120 mg/L

(ONEP, 2014). Ces résultats sont élevés, car les effluents résultent d'une diversité de rejets qui sont les eaux usées domestiques des habitants de la partie Est de la ville de Tizirt et le rejet hospitalier.

La teneur moyenne du point de prélèvement P3 est de 700 mg/L, similaire à 740 mg/L trouvée à Al Hoceima, Maroc (El Abdouni *et al.*, 2021). En revanche, elle est inférieure aux résultats trouvés par Zawadzka *et al.* (2021) (1048,90 mg/L) qui regroupe les eaux usées domestiques et les effluents de laiteries. Les valeurs élevées proviennent des rejets mixtes dues au volume important d'eaux usées urbaines déversées par les habitants de la ville de Tizirt ainsi qu'aux effluents de l'industrie agroalimentaire. Les valeurs élevées sont dues aux volumes importants de ladite laiterie, ces rejets biodégradables provoquent pour la biomasse de la station en aval des déséquilibres nutritionnels, des à-coups de charge organique et des fermentations dans les réseaux. Elles peuvent être justifiées par l'insuffisance ou l'absence de neutralisation dans la laiterie.

Pour le point P4, la concentration moyenne est de 150 mg/L. Cette valeur est supérieure à 124,54 mg/L trouvée en Iraq (Al Saleh, 2021) et à 120 mg/L valeur limite de déversements d'eaux usées des agglomérations urbaines au Maroc (ONEP, 2014). Contrairement au 182 mg/L résultat trouvé par Ji *et al.* (2021) au Japon d'un rejet à caractère domestique qui dépasse notre résultat. Ces faibles valeurs peuvent être expliquées par la nature domestique du rejet. De fait, la STEP de Tizirt réduit la charge polluante qu'elle reçoit pour restituer au milieu aquatique une eau de bonne qualité et protéger la plage Tassalast de Tizirt.

3.4.3. Demande chimique en oxygène

Une synthèse des résultats obtenus en termes de DCO montrée dans la figure ci-dessous. Les valeurs trouvées sont irrégulières et supérieures à la valeur guide de rejet direct vers le milieu naturel qui est 120 mg/L (JORA, 2006) et à la norme de réutilisation qui est 90 mg/L (IANOR, 2014). L'épuration de ces eaux s'avère obligatoire afin de réduire la nocivité avant rejet dans le milieu naturel.

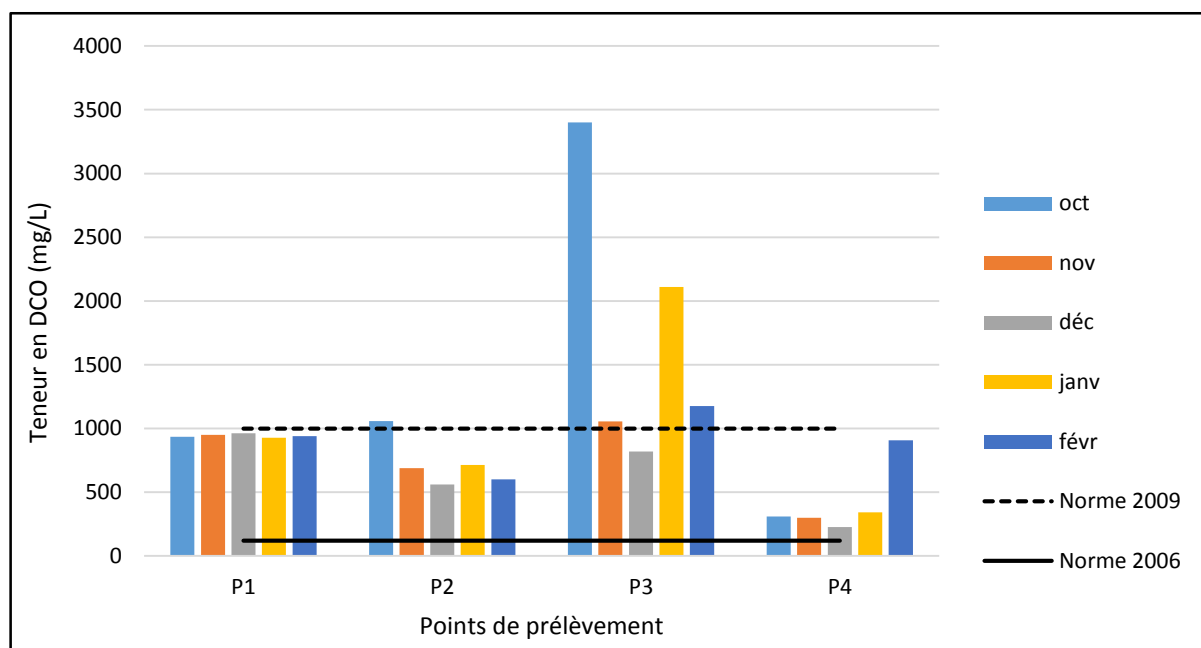


Figure 48 : Résultats d'analyses en DCO trouvés dans les quatre points du prélèvement.

Pour le P1, les valeurs sont proches et élevées varient de 928 à 963 mg/L. Elles sont similaires à ceux trouvés par Ngoc *et al.* (2020) à savoir 919 mg/L et par Gnagne *et al.* (2015) à Abidjan (975,30 mg/L) et par Hachi *et al.* (2016) à la ville de M'rirt Maroc (972,92 Mg/L). Ces rejets non domestiques sont une source majeure de nuisances engendrent de désordres et contribuent à la dégradation prématurée des ouvrages d'assainissement.

Pour le site P2, la concentration moyenne est de l'ordre de 724,30 mg/L similaire à la valeur 710 mg/L trouvée dans les effluents médicaux en Turquie (Basturk *et al.*, 2020) et à la valeur 799,20 mg/L trouvée à Nador au Maroc (Zerrouqi *et al.*, 2008). En revanche, elle est supérieure à la valeur 503,06 mg/L de rejet domestique de Settat au Maroc (Bassir *et al.*, 2017). À ce niveau, la pollution provient de rejets mixtes domestiques et de l'hôpital.

Pour le P3, la teneur moyenne est de 1712 mg/L, supérieure à 1280 mg/L trouvée à Al Hoceima (El Abdouni *et al.*, 2012) et à 1438,40 mg/L trouvée à Agadir (Hajji *et al.*, 2013) au Maroc. Elle est similaire à 1807,80 mg/L trouvée en Lublin, Pologne (Zawadzka *et al.*, 2021). Les valeurs élevées de la DCO pourraient être imputées à la charge élevée en matières organiques des eaux usées domestiques et aux effluents des unités industrielles déversées en amont de réseau d'assainissement. Les effluents sont fortement chargés en matières organiques biodégradables et non biodégradables dépassant la valeur moyenne admissible de 1000 mg d'O₂/L (JORA,

2009) autorisée pour les rejets dans les ouvrages d'assainissement. Cette situation peut avoir des effets négatifs sur la qualité de l'eau en raison de la baisse de la teneur en oxygène.

Pour le site P4, les résultats varient de 228 à 342 mg/L avec une moyenne de 287,20 mg/L. Ces résultats sont similaires à 256,21 mg/L trouvée en Iraq (Al Saleh, 2021) et à 250 mg/L valeurs limites spécifiques de rejets domestiques au Maroc (ONEP, 2014). En revanche, ils sont inférieurs à 480 mg/L trouvée par Jimenez *et al.* (2015), à 412 mg/L trouvée par Zhang *et al.* (2021) et à 422 mg/L trouvée par Ji *et al.* (2021). Les faibles teneurs prouvent que le rejet plutôt d'origine domestique.

3.4.4. Orthophosphates

Les résultats obtenus sont illustrés dans la figure 49. Les valeurs moyennes enregistrées sont supérieures à la valeur guide de rejet direct vers le milieu naturel qui est 10 mg/L (JORA, 2006) à l'exception de la valeur moyenne en P5. Alors qu'elles sont inférieures aux valeurs des eaux usées industrielles rejetées vers un réseau d'assainissement qui est 50 mg/L (JORA, 2009) à l'exception d'un échantillon en P3.

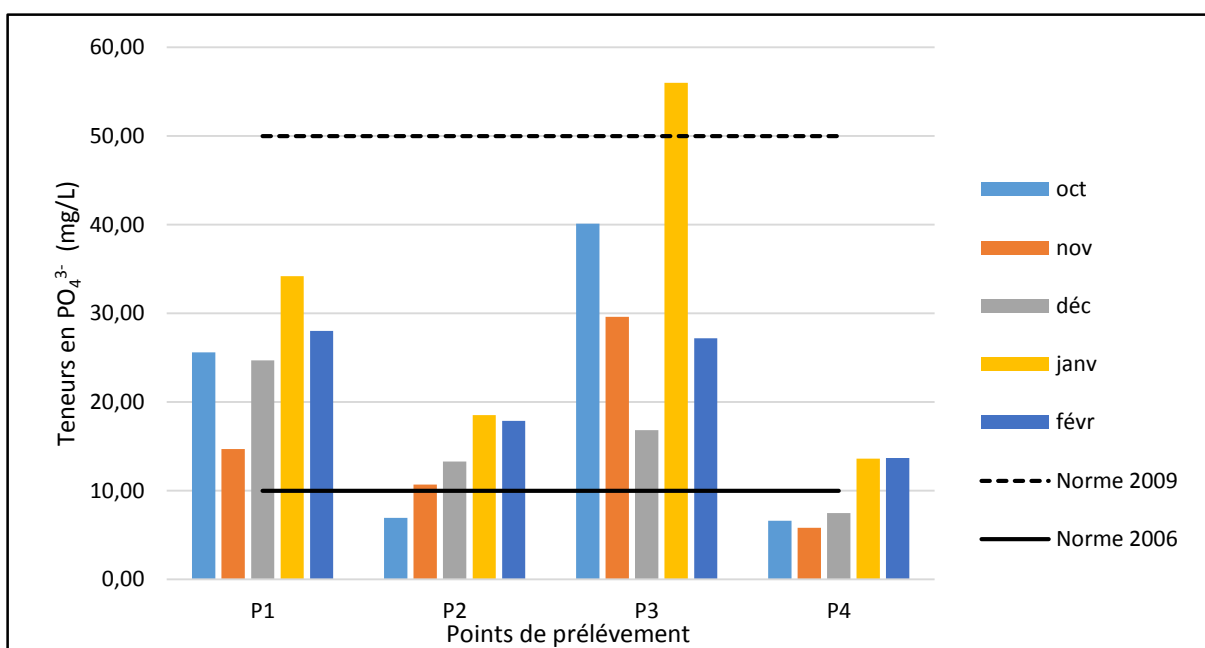


Figure 49 : Résultats d'analyses en Orthophosphates trouvés dans les quatre points du prélèvement.

Les teneurs en Orthophosphates varient de 14,70 à 34,20 mg/L pour le P1 avec une moyenne de 25,44 mg/L. Le résultat moyen dépasse largement 7,30 mg/L des eaux usées brutes de Nador

au Maroc (Zerrouqi *et al.*, 2008) et il est proche de 24 mg/L teneur des eaux usées domestiques en Indonésie (Wulan *et al.*, 2022). Cette hausse pourrait être attribuée aux apports des eaux usées ménagères dans les réseaux d'assainissement et l'augmentation de l'activité de nettoyage en particulier dans les restaurants situés sur les côtes touristiques de Tizirt.

En comparaison la teneur moyenne des orthophosphates démontrée en P2 avec les résultats trouvés par Dueñas *et al.* (2003) en Espagne, Andrés *et al.* (2018) au Chili et Dimane *et al.* (2016) à la ville d'Al Hoceima au Maroc comme suit 13 mg/L, 12,9 mg/L et 13,3 mg/L nous constatons une similarité avec notre valeur moyenne 13,47 mg/L. Ces résultats rentrent tous dans l'axe des valeurs [4 - 20] mg/L des eaux usées domestiques trouvées au Chili (Carrillo *et al.*, 2020). Les valeurs relativement élevées peuvent s'expliquer par une forte diversité de sources qui regroupe les eaux usées ménagères, les rejets des restaurants et des stations de lavage ainsi que des eaux de l'hôpital.

La concentration moyenne du point de prélèvement P3 est de l'ordre de 33,94 mg/L, elle est supérieure à la teneur des eaux usées domestiques influencées par la laiterie en Pologne 22,29 mg/L (Zawadzka *et al.*, 2021). Bien qu'elle est similaire à 32,29 mg/L trouvée au Benin (Soude *et al.*, 2018). Nos résultats dépassent largement 15 mg/L valeur typique en phosphore pour une eau fortement polluée (FEDR, 2011). Cela remonte à la présence des détergents de lessive et les produits de nettoyage en quantité élevée dans les eaux usées ménagères domestiques associés aux rejets des activités commerciales et artisanales et industriels principalement agroalimentaires.

Pour le point P4, les teneurs varient de 5,81 à 13,70 mg/L ce qui donne une moyenne de 9,44 mg/L, elle est supérieure à 5,82 mg/L d'eau résiduaire trouvée à Harbin en Chine (Xu *et al.*, 2006) et 2,1 mg/L d'eau usée domestique au Japon (Ji *et al.*, 2021). Elle reste proche de 9,6 mg/L et 8,84 mg/L résultats trouvés respectivement par Delgard (2018) et Ngoc *et al.* (2020). Toutes ces valeurs rentrent dans la plage [4 - 15] mg/L des eaux domestiques trouvées par Elgallal *et al.* (2016). Cette augmentation est probablement due à une minéralisation très poussée de la matière organique. L'emploi soutenu de produits lessiviels associé à l'urine peut expliquer les valeurs relativement élevées en phosphores (Brun *et al.*, 2017).

4. Conclusion

L'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux usées sur le long du réseau d'assainissement de la commune Tizirt a révélé l'existence de divers types de pollutions. Une pollution forte à très forte dans les sites P1, P2 ainsi que P3 et une pollution moyenne à forte dans le site P4.

L'interprétation des résultats trouvés aux normes de JORA (2006) montre l'incapacité de rejet direct des effluents liquides urbains ou domestiques dans le milieu naturel. De même, la station d'épuration de Tizirt joue un rôle important dans la protection et la lutte contre la pollution, la préservation de la santé publique et le littoral. Bien que, l'interprétation des résultats aux normes JORA (2009) présente des dépassements importants de la loi sur le rejet des effluents liquides autres que domestiques vers un réseau d'assainissement ou dans une station d'épuration au niveau de premier point en termes de MES et DBO₅ et au niveau de troisième point en termes de matière organique. Cela confirme d'une part l'inefficacité de la technique du traitement utilisée par la laiterie et d'autre part l'insuffisance du contrôle par la direction de ressources en eau de la wilaya.

Afin de réduire l'impact de la pollution par les eaux usées. Des efforts sont nécessaires pour maintenir la qualité des eaux usées suivant les décrets du journal officiel de la république algérienne. Il convient également d'éviter de mélanger des eaux usées plus concentrées avec les flux des eaux usées municipales qui pourraient être convenables pour le rejet direct, le recyclage et le traitement dans la STEP de Tizirt.

Conclusion générale

La problématique des eaux usées urbaines est différente dans le monde. Elle varie d'un pays à un autre selon des facteurs socio-économiques et culturels. Par conséquent, la mise au point de système d'épuration des eaux usées pour une zone définie passe nécessairement par sa propre étude et par la caractérisation correcte de ses rejets. La présente recherche s'est proposé d'établir une stratégie nationale d'épuration des eaux usées basée sur la connaissance du monde réel de nos effluents résiduaires, ce qui nous permet d'optimiser le dimensionnement et la construction avec des retombées économiques considérables à l'avenir.

Le travail vise la caractérisation physico-chimique des eaux usées des stations d'épuration de la wilaya de Tizi-Ouzou, d'identification les origines et les sources de pollution rejetée dans le réseau d'assainissement et d'évaluation les performances épuratrices des différentes stations. Les résultats obtenus ont montré une différence marquée de la qualité des eaux d'entrée d'une station a une autre. Cela est due à diversification des origines de rejets. Dans l'ensemble, les eaux brutes sont caractérisées par des températures et des pH variant respectivement de l'ordre de 13 à 27,10 °C et de 6,38 à 8,09, des concentrations en MES variant entre 127 et 787,25 mg/L, des teneurs oscillant entre 84 et 1 368,66 mg/L et entre 176,40 et 3 032 mg/L respectivement pour la DBO₅ et la DCO et des concentrations en orthophosphates variant de 3,06 à 84,88 mg/L. Les fortes fluctuations ont été observées dans la station de Tigzirt en termes de MES, de DBO₅, de DCO et de PO₄³⁻. Les concentrations moyennes de ces derniers dépassent des normes de rejet des eaux usées autres que domestiques admissibles dans les ouvrages d'assainissement ou dans une station d'épuration fixées par le JORA (2009), ajoutant aussi quelques valeurs observées à la station Tizi-Ouzou Ouest en termes de MES, de DBO₅ et de DCO. En somme, l'instabilité de la qualité des eaux d'entrée est due aux rejets des effluents industriels à caractère agroalimentaires raccordés aux réseaux public d'assainissement.

Le suivi de fonctionnement des stations et la dynamique d'épuration ont montré un bon fonctionnement de celles-ci. Une élimination importante de la pollution primaire, confirmée par un taux de MES varie de 3 à 24,50 mg/L. Ces résultats assurent le bon fonctionnement de la décantation dans les stations étudiées.

De même, la pollution secondaire a été éliminée de bonne a excellente façon avec des concentrations des eaux épurées qui varient de 23,25 à 28 mg/L pour la DBO₅ et de 10 à 81,97 mg/L pour le DCO. Les quantités de matières organiques totales contenues dans les eaux usées urbaines ont été convenablement éliminées par le système d'épuration à boues activées.

Du point de vue de la pollution tertiaire, le procédé d'épuration a permis une très bonne élimination de l'ammonium, avec des teneurs qui varient de 0,10 à 14,76 mg/L. Ce phénomène

est lié à la décantation de MES, dégradation de la matière organique et à la dénitrification sauvage à l'extrémité des ouvrages d'épuration. La pollution phosphatée a été éliminée d'une façon acceptable dans l'ensemble des stations, tandis qu'elle n'est pas toujours assurée dans les stations de Tizi-Ouzou Ouest, Draâ El Mizen et Azeffoun, malheureusement elles présentent quelques pics de production de celle-ci.

Les valeurs enregistrées pour les paramètres physico-chimiques des eaux épurées respectent les normes algériennes relatives au rejet en milieu naturel fixées par le JORA en 2006. À l'exception de phosphore, des valeurs rares au-dessus de la norme ont été notées dans les stations Tizi-Ouzou Ouest, Tadmaït et Azeffoun. De même, toutes les valeurs enregistrées sont largement supérieures à la valeur limite relative au rejet en milieu naturel particulièrement dans la station de Tigzirt.

L'évaluation des performances épuratoires de système d'épuration à boues activées dans les diverses stations d'épuration face à la pollution organique totale et particulière confirme son efficacité. En effet, elles présentent de très bons taux d'élimination en MES, DBO₅, DCO ainsi que NH₄⁺ et des taux acceptables en PO₄³⁻.

L'analyse de la matrice de corrélation entre les différentes données physico-chimiques nous a permis de faire ressortir diverses variables inter corrélées significativement entre elles, dont une corrélation hautement positive par des relations croissantes en entre la DBO₅ et la DCO dans toutes les stations ce qui confirme l'effet biodégradable de la pollution organique. Une corrélation positive par des relations croissantes a été observée dans les effluents bruts à la station de Tigzirt entre les pollutions particulière, organique et minérale. De même, une corrélation hautement positive par des relations croissantes entre les types de pollution étudiées et la température et par des relations décroissantes entre ces dernières et le pH.

Dans les effluents épurés, une corrélation positive par des relations croissantes a été observée entre les pollutions particulière et organique, entre la pollution organique biodégradable et l'azote minéral sous forme d'ammonium dans toutes les stations et une corrélation modérée par des relations croissantes entre la température et les pollutions particulière et organique notamment dans la station de Tigzirt.

L'analyse par l'ANOVA a montré des effets très hautement significatifs sur les valeurs des paramètres physico-chimiques d'une station à une autre et les types d'effluents (bruts et épurés) et puis l'interaction entre les 2 facteurs étudiée, stations et effluents, a montré également un effet très hautement significatif.

Concernant l'étude effectuée sur le long du réseau d'assainissement de la commune Tizirt, les résultats ont révélé l'existence d'une pollution forte à très forte dans les sites P1, P2 ainsi que P3 et une pollution moyenne à forte dans le site P4.

L'interprétation des résultats trouvés aux normes admissibles au rejet dans le milieu naturel montre l'incapacité de rejet direct de ces effluents. De plus, la station d'épuration de Tizirt joue un rôle important dans la protection de littoral et préservation de la santé publique notamment les touristes de la plage Tassalast.

L'interprétation des résultats aux normes admissibles au rejet dans un réseau d'assainissement ou dans une station d'épuration présente des dépassements importants de la loi rejet relative à l'eau aux niveaux des premier et troisième points. Ce résultat indique l'inefficacité des techniques de traitement utilisées par les industries agroalimentaires de la wilaya de Tizi-Ouzou et l'insuffisance du contrôle par la direction de ressources en eau de la même wilaya.

Grâce à cette étude, nous avons conclu l'existence de nombreux problèmes de la pollution de l'eau dans la wilaya de Tizi-Ouzou, qui sont les suivantes :

- Rejets des effluents industriels insuffisant prétraités voir non prétraités.
- Pollution des plans d'eau et des rivières par le rejet d'eaux usées domestiques non traités.
- Absence de contrôle, d'études et de schémas directeurs par les directions des ressources en eau et de l'environnement de ladite wilaya.
- Gestion inefficace des réseaux.
- Absence de la déphosphatation dans les stations existantes.

En dernier lieu, il serait intéressant de prendre des positions strictes dans le rejet des effluents liquides industriels et maintenir leur qualité suivant les décrets du journal officiel de la république algérienne. De plus, mettre en place certaines bonnes pratiques professionnelles comme l'extraction des graisses avant de vidanger les effluents dans les égouts en refroidissant les eaux de cuisson grasses et ne pas verser les huiles usagées dans les égouts. Il serait également intéressant de fournir plus d'effort concernant le rejet des eaux domestiques non-traités (nécessité de réalisation de nouvelles stations d'épuration) et doter les stations existantes par un système d'élimination de phosphore du fait qu'il contribue à l'eutrophisation des milieux.

Références bibliographiques

1. Ababsa, N., Kribaa, M., Tamrabet, L., Addad, D., Hallaire, V., & Ouldjaoui, A. (2020). Long-term effects of wastewater reuse on hydro physicals characteristics of grassland grown soil in semi-arid Algeria. *Journal of King Saud University-Science*, 32(1), 1004-1013.
2. ADLER, E. (2005). Eléments sur l'épuration des eaux usées et la gestion des sous-produits de l'assainissement. *ACONSULT, Cours sur l'épuration des eaux usées et la gestion des sous-produits de l'assainissement–ENTPE*.
3. Ahmad, I. (2016). Treatment of Domestic Waste Water by Filtration Operation Using Low-Cost Natural Adsorbents. *International Journal of Emerging Technologies in Engineering Research (IJETER)*, 4(4), 114-118.
4. Ahmad, J., Naeem, S., Ahmad, M., Usman, A. R., & Al-Wabel, M. I. (2019). A critical review on organic micropollutants contamination in wastewater and removal through carbon nanotubes. *Journal of environmental management*, 246, 214-228.
5. Aissaoui, D., Metahri, MS., & Belmihoub, N. (2022). Caracterisation et rationalisation des effluents urbains dans la region de Tizi-Ouzou (Algerie). *JOURNAL IRAKIEN DES SCIENCES AGRICOLES*, 53 (2), 258-264.
6. Ait Baziz, D., Maazouzi, A., & Lachache, S. (2022). Physical-chemical characterisation of the urban wastewater–case study of the Boumerdes region, North–Algeria. *Journal of Water and Land Development*, 243-250.
7. Ait-Aoudia, MN, & Berezowska-Azzag, E. (2016). Évaluation de la capacité de charge des ressources en eau : le cas de la capitale algérienne. *Habitat International*, 58, 51-58.
8. Akil, A., Hassan, T., Lahcen, B., & Abderrahim, L. (2014). Etude de la qualité physico-chimique et contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Guigou, Maroc. *European Scientific Journal*, 10(23).
9. Akpor, O. B., & Muchie, B. (2011). Environmental and public health implications of wastewater quality. *African Journal of Biotechnology*, 10(13), 2379-2387.
10. Al Saleh, H. A. (2021). Wastewater pollutants modeling using artificial neural networks. *Journal of Ecological Engineering*, 22(7).
11. Aleshinloye, A. O., Ngangso, K., Adaramola, F. B., & Onigbinde, A. (2020). Treatment of Poultry Wastewater Using Shells from African Cherry Seeds, Egg and Crab. *Asian Journal of Applied Chemistry Research*, 7(1), 16-30.
12. Ali, M., & Sreekrishnan, T. R. (2001). Aquatic toxicity from pulp and paper mill effluents: a review. *Advances in environmental research*, 5(2), 175-196.

13. Amiri, K., Bekkari, N., Débbakh, A., Benmalek, A., & Bouchahm, N. (2017). Caractérisation des eaux usées des rejets domestiques de la ville de Touggourt (Algérie). *J. Algér. Rég. Arid*, 14, 104-108.
14. Andrés, E., Araya, F., Vera, I., Pozo, G., & Vidal, G. (2018). Phosphate removal using zeolite in treatment wetlands under different oxidation-reduction potentials. *Ecological Engineering*, 117, 18-27.
15. Angerville, R. (2009). *Évaluation des risques écotoxicologiques liés au déversement de Rejets Urbains par Temps de Pluie (RUTP) dans les cours d'eau : application à une ville française et à une ville haïtienne* (Doctoral dissertation, INSA de Lyon).
16. Arzate, S., Pfister, S., Oberschelp, C., & Sánchez-Pérez, J. A. (2019). Environmental impacts of an advanced oxidation process as tertiary treatment in a wastewater treatment plant. *Science of the Total Environment*, 694, 133572.
17. Atinkpahoun, N. C. H. (2018). *Relations entre la variabilité de la pollution des eaux usées urbaines et les contextes géographiques, socio-économiques et culturels au Bénin et en France* (Doctoral dissertation, Université de Lorraine ; Université d'Abomey-Calavi (Bénin)).
18. Bassir, D. El Kharrima, K. Berradib, M. Fathic, J. Laamarid, A. Es-sahbanye, H. Belghytia, D. (2017). Study of domestic wastewater's physicochemical characterization of Settat city - Morocco. *International Journal of Academic Studies*, 3(9), 166-177.
19. Basturk, I., Varank, G., Murat Hocaoglu, S., & Yazici Guvenc, S. (2020). Medical laboratory wastewater treatment by electro-fenton process: Modeling and optimization using central composite design. *Water Environment Research*, 93(3), 393-408.
20. Bebba, N. (2017). *Impact des paramètres environnementaux et distribution spatio-temporelle des éphéméroptères dans les oueds de biskra et batna* (Doctoral dissertation, Université Ferhat Abbas).
21. Bedjou, A. (2020). *Identification et organisation des connaissances utiles pour l'aide à la décision dans la gestion de la maintenance des réseaux d'assainissement et des cours d'eau urbaine* (Doctoral dissertation, Université de Batna 2).
22. Bedouh, Y. (2014). *Évaluation de la toxicité des eaux usées traitées par la station d'épuration de Guelma et son impact sur l'oignon « Allium cepa »* (Doctoral dissertation, Université de Annaba-Badji Mokhtar).
23. Belhaj, D., Jerbi, B., Medhioub, M., Zhou, J., Kallel, M., & Ayadi, H. (2016). Impact of treated urban wastewater for reuse in agriculture on crop response and soil ecotoxicity. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 15877-15887.

24. Benhamiche, N., Madani, K., & Laignel, B. (2014). Impact of climate changes on water resources in Algeria. *Vulnerability of agriculture, water and fisheries to climate change: toward sustainable adaptation strategies*, 193-205.
25. Benkaddour, B. (2018). *Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Chélif (Algérie)* (Doctoral dissertation, Université de Perpignan ; Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem (Mostaganem, Algérie)).
26. Benyoucef, A. (2021). *Traitement des eaux usées par la phytoépuration* (Doctoral dissertation, Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi).
27. Berland, J. M., Boutin, C., Molle, P., & Cooper, P. (2001). *Procédés extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités (500-5000 eq-hab) : mise en oeuvre de la directive du Conseil n° 91-271 du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux urbaines résiduaires= Extensive wastewater treatment processes adapted to small and medium sized communities (500 to 5000 population equivalents) : implementation of Council directive 91-271 of 21 may 1991 concerning urban waste water treatment* (p. 41). Irstea.
28. Berradi, M. B., & El harfi, A., (2016). Review of the water resources, pollution sources and wastewaters of the Moroccan textile industry. *Journal of Water Science & Environment Technologies*, 1(2).
29. Bouchaala, L., Charchar, N., & Gherib, A. (2017). Ressources hydriques : traitement et réutilisation des eaux usées en Algérie. *Algerian journal of arid environment*, 7(1), 84-95.
30. Bouchedja, A. (2012, October). La politique nationale de l'eau en Algérie. In *Ministère des Ressources en Eau, Agence de bassin hydrographique constantinois-Seybousse-Mellegue, Euro-RIOB 2012–10e Conférence internationale, Istanbul, Turquie*.
31. Boutin, C., Héduit, A., Helmer, J.M. (2009). Technologies d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées (REUT). Convention de partenariat ONEMA-Cemagref 2008 Domaine : Ecotechnologies et pollutions Action : 28.
32. Briggs, D. (2003). Environmental pollution and the global burden of disease. *British medical bulletin*, 68(1), 1-24.
33. Brun, F., Merotto, C., Torrent, B., & Campan, C. (2017). *Caractérisation des Eaux Ménagères domestiques et de 3 filières de traitement associées Rapport d'étude de suivi in situ* (Doctoral dissertation, Réseau de l'Assainissement Ecologique ; Pôle d'Eco-Assainissement des Baronnies Provençales).

34. Canler, J.P. (2004). Dysfonctionnements biologiques des stations d'épuration : origines et solutions. *GIS-BIOSTEP. Ministère de l'agriculture et de la pêche.*
35. Canler, J.P., Perret, J. M., & Choubert, J. M. (2007). Le traitement du carbone et de l'azote pour des stations d'épuration de type boue activée confrontées à des fortes variations de charge et à des basses températures.
36. Carrega, P. (2008). Le vent : importance, mesures, modélisation et tribulations. *Bulletin de la Société géographique de Liège, 51*, 17-29.
37. Carrillo, V., Fuentes, B., Gómez, G., & Vidal, G. (2020). Characterization and recovery of phosphorus from wastewater by combined technologies. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 19(2)*, 389-418.
38. Cetin, E., Karakas, E., Dulekgurgen, E., Ovez, S., Kolukirik, M., & Yilmaz, G. (2018). Effects of high-concentration influent suspended solids on aerobic granulation in pilot-scale sequencing batch reactors treating real domestic wastewater. *Water research, 131*, 74-89.
39. Chabi, M., & Hammar, Y. (2019). Modélisation de la dépense énergétique en station d'épuration à boues activées : cas de la station de Souk Ahras. *Synthèse : Revue des Sciences et de la Technologie, 25 (1)*, 144-154.
40. CHADLI A., BENHASSEINI H., FERTOUT MOURI N., & AGUIAR H. (2022). La réutilisation des eaux usées, une alternative durable pour la gestion des ressources en eau de la ville de Sidi Bel Abbas (Algérie). *Revue Geo-Eco-Trop N° 46 Tome 2*, pp. 301-313.
41. Chaudhry, F. N., & Malik, M. F. (2017). Factors affecting water pollution: a review. *J Ecosyst Ecography, 7(225)*, 1-3.
42. Cheikhna, O. A., Abdellahi, M. V. M., Khyar, O. D. T., Mohamedou, E. O., Kankou, O. S. A. O., Daha, O. M., ... & Belghyti, D. (2015). Caractérisation physico-chimique des eaux usées brutes de la ville de Nouakchott (Mauritanie) [Characterization physico-chemical wastewater gross Nouakchott City (Mauritania)]. *International Journal of Innovation and Applied Studies, 11(1)*, 96.
43. Daud, M. K., Rizvi, H., Akram, M. F., Ali, S., Rizwan, M., Nafees, M., & Jin, Z. S. (2018). Review of upflow anaerobic sludge blanket reactor technology: Effect of different parameters and developments for domestic wastewater treatment. *Journal of Chemistry, 2018*.

44. Devitt, C., O'Neill, E., & Waldron, R. (2016). Drivers and barriers among householders to managing domestic wastewater treatment systems in the Republic of Ireland; implications for risk prevention behaviour. *Journal of Hydrology*, 535, 534-546.
45. Dib, D. (2021). *Impact de la pollution du sol aux hydrocarbures sur la flore et la pédofaune dans quelques stations-services de la wilaya de Tizi Ouzou* (Doctoral dissertation, Université Mouloud MAMMERRI Tizi-Ouzou).
46. Dimane, F., Haboubi, K., Hanafi, I., & El Himri, A. (2016). Etude de la performance du dispositif de traitement des eaux usées par boues activées de la ville d'Al-Hoceima, Maroc. *European Scientific Journal*, 12(17).
47. Djaffar, S., & Kettab, A. (2018). La gestion de l'eau en Algérie : quelles politiques, quelles stratégies, quels avenir ? *Revue algérienne des sciences et technologies de l'environnement*, 4 (1).
48. Djelouah, K. (2018). Accès à l'eau et à l'assainissement en Algérie. Conférence des Nations Unies sur le Commerce et le Développement (CNUCED), 14p.
49. DRE Tizi-Ouzou. (2022). Document interne de la direction des ressources en eaux.
50. Drouiche, N., Ghaffour, N., Naceur, M. W., Lounici, H., & Drouiche, M. (2012). Towards sustainable water management in Algeria. *Desalination and Water Treatment*, 50(1-3), 272-284.
51. Dueñas, J. F., Alonso, J. R., Rey, À. F., & Ferrer, A. S. (2003). Characterisation of phosphorous forms in wastewater treatment plants. *Journal of hazardous materials*, 97(1-3), 193-205.
52. Ekperusi, AO, Sikoki, FD et Nwachukwu, EO (2019). Application de la lentille d'eau commune (*Lemna minor*) à la phytoremédiation des produits chimiques dans l'environnement : état des lieux et perspectives d'avenir. *Chimiosphère* , 223 , 285-309.
53. El Abdouni, A. E., Bouhout, S., Merimi, I., Hammouti, B., & Haboubi, K. (2021). Physicochemical characterization of wastewater from the Al-Hoceima slaughterhouse in Morocco. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 19(3), 423-429.
54. El Hachemi, O., El Halouani, H., Meziane, M., Torrens, A., Salgot, M., & Sbaa, M. (2012). Etude des performances épuratrices dans une station de traitement des eaux usées par lagunage en climat désertique (Oasis de Figuig-Maroc): Aspect bactérien et organique. *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn*, 6(1), 84-97.
55. Elgallal, M., Fletcher, L., & Evans, B. (2016). Assessment of potential risks associated with chemicals in wastewater used for irrigation in arid and semiarid zones: A review. *Agricultural Water Management*, 177, 419-431.

56. FEDR. (2011). Technologies d'épuration des eaux résiduaires pour petites agglomérations urbaines, Institut Technologique des Canaries, S.A. 94p.
57. Fidele, M. K. (2020). *Conception d'une station expérimentale de traitement des eaux usées par filtres plantés des macrophytes : « Cas de l'Université Kimpa Vita d'Uíge/Angla »* (Doctoral dissertation, Université Côte d'Azur).
58. Gnagné, T., Brissaud, F., & Houénou, P. V. (2007). Possibilités d'utilisation du pH pour le suivi de l'efficacité épuratoire des eaux usées peu alcaline fortement chargées en matières oxydables en épuration par infiltration sur sable. *Journal-Société Ouest Africaine de Chimie*, 24, 83.
59. Gnagne, Y. A., Yapou, B. O., Meite, L., Kouame, V. K., Gadji, A. A., Mambo, V., & Houenou, P. (2015). Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux usées brutes du réseau d'égout de la ville d'Abidjan. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(2), 1082-1093.
60. Hachi, T., Hachi, M., Ech-Chafay, H., Elghabassi, M., Ettayea, H., Elkharrim, K., ... & Belghyti, D. (2016). Caractéristiques physicochimiques des eaux usées de la ville de M'rirt, (Maroc)/[Physico-chemical characteristics of wastewater from the city of M'rirt, (Morocco)]. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 17(3), 791.
61. HAJJI, C., BENDOU, A., & HASSOU, M. (2013). Caractérisation des rejets liquides d'une unité de réparation navale à Agadir. *Revue Internationale d'héliotechnique*, 45, 29-36.
62. Hakim, M. F., Iswato, B., & Lindu, M. (2017). Study of Water Quality at West Sunter Reservoir, North Jakarta Based On Physical and Chemical Parameters. *Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology*, 16-36.
63. Halder, J. N., & Islam, M. N. (2015). Water pollution and its impact on the human health. *Journal of environment and human*, 2(1), 36-46.
64. HAMAIDI-CHERGUI F., ZOUBIRI A.F., HAMAIDI M.S., DEBIB A., KAIS H. (2016). Evaluation de l'efficacité de la station d'épuration de Médéa (Algérie). *Larhyss Journal*, (26), 113-128.
65. Hamdi, W., Youcefi, M., Touil, Y., Bougrinat, R., Ferhi, N., & El Hadj, Mdo (2012). Contribution À l'étude De Quelques Caractéristiques Physico-Chimiques Et Hygiéniques Des Eaux Usées Issues De Rejets De Certaines Localités De La Cuvette De Ouargla (Sahara Septentrional Est Algérien) : Impact Sur Le Milieu Récepteur. *Revue Algérienne de l'Environnement Aride « AJAE »*, 2 (1), 8-8.

66. Hamlat, A., Errih, M., & Guidoum, A. (2013). Simulation of water resources management scenarios in western Algeria watersheds using WEAP model. *Arabian Journal of Geosciences*, 6, 2225-2236.
67. Hammadi, B., Bebbi, A. A., & Gherraf, N. (2016). Degradation of organic pollution aerated lagoons. In an arid climate: the case the treatment plant Ouargla (Algeria). *Acta Ecologica Sinica*, 36(4), 275-279.
68. Hannachi, A. (2018). *Les politiques publiques du recyclage des eaux usées traitées en agriculture périurbaine : enquête auprès des acteurs de la filière à Batna* (Doctoral dissertation, Université Ferhat Abbas).
69. Harmand, T., Harmand, J., & Frédéric, B. (2022). La réutilisation des eaux usées en droit interne et européen : regards croisés juridico-technologiques. In *SEMINAIRE SHS : EAU & DROITS « Aspects sociologiques, juridiques, démographiques et historiques des questions de l'eau »*.
70. Hasan, M. K., Shahriar, A., & Jim, K. U. (2019). Water pollution in Bangladesh and its impact on public health. *Heliyon*, 5(8), e02145.
71. Haseena, M., Malik, M. F., Javed, A., Arshad, S., Asif, N., Zulfiqar, S., & Hanif, J. (2017). Water pollution and human health. *Environmental Risk Assessment and Remediation*, 1(3).
72. Hazourli, S., Boudiba, L., & Ziati, M. (2007). Caractérisation de la pollution des eaux résiduaires de la zone industrielle d'El-Hadjar, Annaba. *Revue LARHYSS P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782*, (6).
73. Hazourli, S., Ziati, M., Boudiba, L., & Fedaoui, D. (2009). Pollution characterization of wastewater of an industrial zone example of a dairy water clarification. *Lebanese Science Journal*, 10(2), 17-31.
74. IANOR (2014). Protection de l'environnement : Réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles, municipales et industrielles Spécifications physico-chimiques et biologiques, NA 17683 : 2014.
75. Idrissi, Y. A., Alemad, A., Aboubaker, S., Daifi, H., Elkharrim, K., & Belghyti, D. (2015). Caractérisation physico-chimique des eaux usées de la ville d'Azilal-Maroc-/[Physico-chemical characterization of wastewater from Azilal city-Morocco-]. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 11(3), 556.

76. Jabeen, S., Mahmood, Q., Tariq, S., Nawab, B., & Elahi, N. (2011). Health impact caused by poor water and sanitation in district Abbottabad. *Journal of Ayub Medical College Abbottabad*, 23(1), 47-50.
77. Ji, J., Chen, Y., Hu, Y., Ohtsu, A., Ni, J., Li, Y., ... & Li, Y. Y. (2021). One-year operation of a 20-L submerged anaerobic membrane bioreactor for real domestic wastewater treatment at room temperature: Pursuing the optimal HRT and sustainable flux. *Science of The Total Environment*, 775, 145799.
78. Jimenez, J., Miller, M., Bott, C., Murthy, S., De Clippeleir, H., & Wett, B. (2015). High-rate activated sludge system for carbon management—Evaluation of crucial process mechanisms and design parameters. *Water research*, 87, 476-482.
79. JORA. (2005). Journal Officiel de la République Algérienne N° 60. Loi n° 05-12 du 28 Jomada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005 relative à l'eau.
80. JORA. (2006). Journal Officiel de la République Algérienne N° 26. Décret exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels.
81. JORA. (2009). Journal Officiel de la République Algérienne N° 36. Décret exécutif n° 09-209 du 17 Jomada Ethania 1430 correspondant au 11 juin 2009 fixant les modalités d'octroi de l'autorisation de déversement des eaux usées autres que domestiques dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration.
82. Joshiba, G. J., Kumar, P. S., Femina, C. C., Jayashree, E., Racchana, R., & Sivanesan, S. (2019). Critical review on biological treatment strategies of dairy wastewater. *Desalination and Water Treatment*, 160, 94-109.
83. Juneja, T., & Chaudhary, A. (2013). Assessment of water quality and its effects on the health of residents of Jhunjhunu district, Rajasthan: A cross sectional study. *Journal of public health and epidemiology*, 5(4), 186-191.
84. Kalra, S. S., Mohan, S., Sinha, A., & Singh, G. (2011, February). Advanced oxidation processes for treatment of textile and dye wastewater: a review. In *2nd International conference on environmental science and development* (Vol. 4, pp. 271-5). IACSIT Press Singapore.
85. Kaur, N. (2021). Different treatment techniques of dairy wastewater. *Groundwater for Sustainable Development*, 14, 100640.
86. Kautsar, M. L., & Rinanti, A. (2021, June). Performance evaluation of domestic wastewater treatment: case study "x building at Jakarta". In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 802, No. 1, p. 012060). IOP Publishing.

87. Kbibch, A., Belghyti, D., Elkharim, K., & ELKHOKH, K. (2011). Analyse de la pollution de l'oued Mda par les eaux usées domestiques de la ville de souk Elarba du Gharb. *Maroc. ScienceLib Editions Mersenne*, 3 (110203).
88. Kettab, A. (2001). Les ressources en eau en Algérie : stratégies, enjeux et vision. *Desalination*, 136(1-3), 25-33.
89. Khaoulani, S. (2015, December). Traitement d'eaux usées par adsorption sur des polymères de cyclodextrine et développement de capteurs chimiques à base de membranes de verres de chalcogénures destinées à la détection des ions Hg^{2+} . Université du Littoral Côte d'Opale.
90. Khaoulani, S. (2015, Décembre). Traitement d'eaux usées par adsorption sur des polymères de cyclodextrine et développement de capteurs chimiques à base de membranes de verres de chalcogénures destinées à la détection des ions Hg^{2+} . Université du Littoral Côte d'Opale.
91. Kinidi, L., Tan, I. A. W., Abdul Wahab, N. B., Tamrin, K. F. B., Hipolito, C. N., & Salleh, S. F. (2018). Recent development in ammonia stripping process for industrial wastewater treatment. *International Journal of Chemical Engineering*, 2018.
92. Klavarioti, M., Mantzavinos, D., & Kassinos, D. (2009). Removal of residual pharmaceuticals from aqueous systems by advanced oxidation processes. *Environment international*, 35(2), 402-417.
93. Kolev Slavov, A. (2017). General characteristics and treatment possibilities of dairy wastewater—a review. *Food technology and biotechnology*, 55(1), 14-28.
94. Kumar Reddy, D. H., & Lee, S. M. (2012). Water pollution and treatment technologies. *J Environ Anal Toxicol*, 2, e103.
95. Laabassi, A. (2016). *L'épuration des eaux usées par le système de lagunage à macrophytes* (Doctoral dissertation).
96. Lim, H. S., Lee, L. Y., & Bramono, S. E. (2014). Community-based wastewater treatment systems and water quality of an Indonesian village. *Journal of water and health*, 12(1), 196-209.
97. Lu, Y., Song, S., Wang, R., Liu, Z., Meng, J., Sweetman, A. J., ... & Wang, T. (2015). Impacts of soil and water pollution on food safety and health risks in China. *Environment international*, 77, 5-15.
98. Mailler, R., Gasperi, J., Coquet, Y., Nauleau, F., Rousselot, O., & Rocher, V. (2014). Traitement des eaux résiduaires urbaines par charbon actif en poudre—Etude du procédé

- CarboPlus® pour les polluants prioritaires et émergents. *Journées Information Eaux 2014*.
99. Malik, SN, Ghosh, PC, Vaidya, AN et Mudliar, SN (2020). Procédé d'ozonation hybride pour le traitement des eaux usées industrielles : principes et applications : un bilan. *Journal of Water Process Engineering*, 35, 101193.
100. Mara, D. (2003). *Domestic wastewater treatment in developing countries*. Routledge.
101. Mayer, R. E., Bofill-Mas, S., Egle, L., Reischer, G. H., Schade, M., Fernandez-Cassi, X., ... & Farnleitner, A. H. (2016). Occurrence of human-associated Bacteroidetes genetic source tracking markers in raw and treated wastewater of municipal and domestic origin and comparison to standard and alternative indicators of faecal pollution. *Water research*, 90, 265-276.
102. Mbeguere, M. (2002). Traitement des eaux usées domestiques et urbaines par voie naturelle sous climat tropical : étude des performances épuratoires de cinq écosystèmes artificiels terrestres au sein de mosaïques hiérarchisées d'écosystèmes artificiels. *ISE. Thèse universitaire. Dakar : UCAD. 191p*.
103. Mehta, D., Mazumdar, S., & Singh, S. K. (2015). Magnetic adsorbents for the treatment of water/wastewater—a review. *Journal of Water Process Engineering*, 7, 244-265.
104. Merghem, K. A., El Halouani, H., Alnedhary, A. A., Dssouli, K., Gharibi, E., Alansi, R. Q., & al-Nahmi, F. (2016). Etude de l'impact des rejets d'eaux usées brutes et épurées sur la qualité de l'Oued Bani Houat (Bassin de Sanaa) : Etude spatio-temporelle (Impact of. *Journal of Materials and Environmental Science*, 7(5), 1516-1530.
105. Metahri, M. S. (2012). *Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes : cas de la STEP est de la ville de Tizi Ouzou* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
106. Mimeche, L. (2014). *Etude de faisabilité de l'installation de station d'épuration des rejets urbains par les filtres plantés en milieu aride-Application à la région de Biskra* (Doctoral dissertation, Université de Biskra).
107. Mittal, A. (2011). Biological Wastewater Treatment. *Water Today*.
108. Moondra, N., Jariwala, N., & Christian, R. (2021). Role of phycoremediation in domestic wastewater treatment. *Water Conserv. Manag*, 5, 35-39.

109. Morin-Crini et al. (2017). <https://books.openedition.org/pufc/10857?lang=fr>
DOI : 10.4000/books.pufc.10857 consulté en Octobre 2022.
110. Mozas, M., & Ghosn, A. (2013). État des lieux du secteur de l'eau en Algérie. *Institut de Perspective Économique du Monde Méditerranéen (IPMED)*, 27.
111. MRE. (2022). https://www.mre.gov.dz/?page_id=247. Consulté en Avril 2022.
112. Mustafa, H. M., & Hayder, G. (2021). Performance of *Salvinia molesta* plants in tertiary treatment of domestic wastewater. *Heliyon*, 7(1), e06040.
113. Ndrianirina, S., Razanamparany, B., & Ramanantsizehena, G. (2020). Évolution spatio-temporelle de la pollution des eaux cressonnières et des eaux usées domestiques dans la commune urbaine d'Antananarivo, Madagascar. *Afrique Science*, 16(2), 217-228.
114. Nedjah, N. (2016). *Déphosphatation physico-chimique et biologique des eaux usées* (Doctoral dissertation, Université de Badji Mokhtar).
115. Nejjari, F., Khoury, B., Puig, V., Quevedo, J., Pascual, J., & de Campos, S. (2022). Economic Linear Parameter Varying Model Predictive Control of the Aeration System of a Wastewater Treatment Plant. *Sensors*, 22(16), 6008.
116. Ng, J. Y., Wong, D. L., Kutty, S. R. M., & Jagaba, A. H. (2021, May). Organic and nutrient removal for domestic wastewater treatment using bench-scale sequencing batch reactor. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2339, No. 1, p. 020139). AIP Publishing LLC.
117. Ngoc, L. T. B., Tu, T. A., Hien, L. T. T., Linh, D. N., Tri, N., Duy, N. P. H., ... & Phuong, P. T. T. (2020). Simple approach for the rapid estimation of BOD5 in food processing wastewater. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(16), 20554-20564.
118. Obotey Ezugbe, E., & Rathilal, S. (2020). Membrane technologies in wastewater treatment: a review. *Membranes*, 10(5), 89.
119. OIEAU. (2005). Office International de l'EAU. Développer les compétences pour mieux gérer l'eau. Caractérisation des eaux usées. Conception/dimensionnement.
120. ONA. (2020). Documentation interne de l'office national d'assainissement.
121. ONA. (2021). Documentation interne de l'office national d'assainissement.
122. ONA. (2022). <http://ona-dz.org/Exploitation-et-maintenance.html>. Consulté en Juin 2022.

123. ONEP. (2014). Direction de l'Assainissement et de l'Environnement : Evaluation environnementale du Projet de l'épuration complémentaire des eaux usées de la ville de BOUARFA. MAROC, 100 p.
124. Organisation mondiale de la Santé et le Fonds des Nations Unies pour l'enfance. (2017). Progrès en matière d'approvisionnement en eau potable, d'assainissement et d'hygiène. États-Unis. CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
125. Ouedraogo, D. B., Gnankambary, Z., Nacro, H. B., & Sedogo, M. P. (2018). Caractérisation et utilisation des eaux usées en horticulture dans la ville de Ouagadougou au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(6), 2564-2577.
126. Pasquini, L. (2013). *Micropolluants issus de l'activité domestique dans les eaux urbaines et leur devenir en station d'épuration* (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).
127. Paudel, S., Kang, Y., Yoo, Y. S., & Seo, G. T. (2015). Hydrogen production in the anaerobic treatment of domestic-grade synthetic wastewater. *Sustainability*, 7(12), 16260-16272.
128. Prigent, S. (2012). *Optimisation du traitement de l'azote et du phosphore des eaux usées domestiques adapté aux filtres plantés de roseaux* (Doctoral dissertation, Nantes, Ecole des Mines).
129. Pronost, J., Pronost, R., Deplat, L., Malrieu, J., & Berland, J. M. (2002). Stations d'épuration : dispositions constructives pour améliorer leur fonctionnement et faciliter leur exploitation. *Report n.*
130. Qasaimeh, A., & Al-Ghazawi, Z. (2020). Regression modeling for rapid prediction of wastewater BOD5. *Desalination Water Treat.*, 201, 165-172.
131. Raschid-Sally, L., & Jayakody, P. (2008). *Drivers and characteristics of wastewater agriculture in developing countries: Results from a global assessment. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. 35p.* IWMI Research Report 127. in https://www.researchgate.net/publication/242230848_Drivers_and_Characteristics_of_Wastewater_Agriculture_in_Developing_Countries_Results_from_a_Global_Assessment
132. Rassam, A., Chaouch, A., Bourkhiss, B., & Bourkhiss, M. B. (2012). Performances de la dégradation de la matière organique par lagunage aéré dans la station

- d'épuration des eaux usées de la ville d'Oujda (Maroc oriental). *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*.
133. Remini, B. (2005). L'évaporation des lacs de barrages dans les régions arides et semi arides : exemples algériens. *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782*, (4).
134. Rice, E. W., Bridgewater, L., & American Public Health Association (Eds.). (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (Vol. 10). Washington, DC: American public health association.
135. Rodier, J., Legube, B., Merlet, N., Brunet, R., Mialocq, J. C., Leroy, P., ... & Al Mardin, F. (2009). L'analyse de l'eau-9e éd. *Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer*. Dunod, 564-571.
136. Rozari, P. D., Krisnayanti, D. S., & Gaol, M. L. (2020, April). An investigation into the use of sand media planted with *Thypha latifolia* in constructed wetland ecotechnology in removing organic matter, suspended solids and nutrients from domestic wastewater. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2229, No. 1, p. 030032). AIP Publishing LLC.
137. Saboun, L. et Aknine, R. (2017). Le Territoire de la Commune de Tigzirt : entre les Initiatives des Acteurs Locaux et les Exigences de Tourisme Durable. *Revue Internationale des Affaires et des Stratégies Economique-IJBES*, Vol.6 pp.152-161.
138. Saifi, H., Saifi, R., Benabdelkader, M., Saidi, M., & Mabrouk, Y. (2018). Impact des Stations d'Épuration des Eaux Usées sur l'Environnement. Le 5ème Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables
139. Santos, A. F., Ferreira, A. G., & Quina, M. J. (2022). Efficient Management of Sewage Sludge from Urban Wastewaters with the Addition of Inorganic Waste: Focus on Rheological Properties. *Clean Technologies*, 4(3), 841-853.
140. Saravanakumar, P., Gopalakrishnan, P., Sivakamidevi, M., & Archana, E. S. (2019). Domestic wastewater treatment using flyash as adsorbent. *Int. J. Eng. Adv. Technol.*
141. Satyawali, Y., & Balakrishnan, M. (2008). Wastewater treatment in molasses-based alcohol distilleries for COD and color removal: a review. *Journal of environmental management*, 86(3), 481-497.
142. Sawadogo, B. (2018). *Traitement des eaux usées industrielles par des procédés membranaires sous climat sahélien : cas des eaux usées de brasserie au Burkina*

- Faso* (Doctoral dissertation, Université Montpellier ; Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement).
143. Sekhi, S. (2022). *Recherche sur la faunistique, l'écologie et la biogéographie des Trichoptères des cours d'eau de Kabylie (Tizi-Ouzou, Algérie)* (Doctoral dissertation, Université Mouloud MAMMERI Tizi-Ouzou).
144. Seow, W. Y., & Hauser, C. A. (2016). Freeze-dried agarose gels: A cheap, simple and recyclable adsorbent for the purification of methylene blue from industrial wastewater. *Journal of environmental chemical engineering*, 4(2), 1714-1721.
145. Shon, H. K., Vigneswaran, S., Kandasamy, J., & Cho, J. (2007). Characteristics of effluent organic matter in wastewater. *Eolss, Oxford*.
146. Shukuru, N.B. (2022). Consulté le 03/03/2023 sur : https://www.researchgate.net/publication/362909179_Notes_de_cours_de_Climatologie_generale_Republique_Democratique_du_Congo.
147. Silva, D. C., Queiroz, L. G., Marassi, R. J., Araújo, C. V., Bazzan, T., Cardoso-Silva, S., ... & Pompêo, M. L. (2020). Predicting zebrafish spatial avoidance triggered by discharges of dairy wastewater: An experimental approach based on self-purification in a model river. *Environmental Pollution*, 266, 115325.
148. Sonune, A., & Ghate, R. (2004). Developments in wastewater treatment methods. *Desalination*, 167, 55-63.
149. Soude M. K., Bothon F. T. D., Deguenon H. E. J., Koudoro Y. A., Agbangnan D. C. P., Mama D., And Wotto D. V. (2018). Analyses physico-chimique et bactériologique des eaux usées de quelques hôtels de Cotonou. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 23(2), 227-234.
150. Speight, J. G. (2020). Sources of water pollution. *Natural Water Remediation*, 165-198.
151. Sun, L., Wang, C., Ji, M. et Liu, X. (2012). Élimination de la DCO et amélioration de la biodégradabilité des eaux usées pharmaceutiques à l'aide d'un réacteur d'électrolyse interne multicouche. *Journal asiatique de chimie*, 24 (1), 112-116.
152. Tandia, C. T. (2007). Contrôle et suivi de la qualité des eaux usées protocole de détermination des paramètres physicochimiques et bactériologiques (Control and Monitoring of Wastewater Quality Protocol for Determining Physical, Chemical and

- Bacteriological Parameters). *Centre Régional Pour L'eau Potable Et L'assainissement A Faible Coût, Centre collaborant de l'OMS, Ouagadougou, Burkina Faso.*
153. Tawfik, A., Sobhey, M., & Badawy, M. (2008). Traitement d'une laiterie et d'eaux usées domestiques combinées dans un réacteur à couverture de boues anaérobies à flux ascendant (UASB) suivi de boues activées (système AS). *Dessalement*, 227 (1-3), 167-177.
 154. Toumi, A., & Chocat, B. (2004). L'assainissement en Algérie : problématique. *La Houille Blanche*, 90(6), 130-136.
 155. Trad RAÏS, M & XANTHOULIS, D. (1999). Amélioration de la qualité microbiologique des effluents secondaires par stockage en bassins, *BASE*, 3, 149-157.
 156. Verma, R., & Dwivedi, P. (2013). Heavy metal water pollution-A case study. *Recent Research in Science and Technology*, 5(5).
 157. Waqas, S., Bilad, M. R., Man, Z., Wibisono, Y., Jaafar, J., Mahlia, T. M. I., ... & Aslam, M. (2020). Recent progress in integrated fixed-film activated sludge process for wastewater treatment: A review. *Journal of environmental management*, 268, 110718.
 158. Water, U. N. (2017). Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2017. *Place de Fontenoy, 75352. Paris 07-SP.*
 159. Wulan, D. R., Hamidah, U., Komarulzaman, A., Rosmalina, R. T., & Sintawardani, N. (2022). Domestic wastewater in Indonesia: Generation, characteristics and treatment. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(22), 32397-32414.
 160. Xu, G. R., Zhang, Y. P., & Gregory, J. (2006). Different pollutants removal efficiencies and pollutants distribution with particle size of wastewater treated by CEPT process. *Water Practice and Technology*, 1(3).
 161. Yu, P., Cao, J., Jegatheesan, V., & Du, X. (2019). A real-time BOD estimation method in wastewater treatment process based on an optimized extreme learning machine. *Applied Sciences*, 9(3), 523.
 162. Zarpelon, F., Galiotto, D., Aguzzoli, C., Carli, L. N., Figueroa, C. A., Baumvol, I. J. R., ... & Giovanela, M. (2016). Removal of coliform bacteria from industrial wastewaters using polyelectrolytes/silver nanoparticles self-assembled thin films. *Journal of environmental chemical engineering*, 4(1), 137-146.
 163. Zawadzka, B., Siwiec, T., & Marzec, M. (2021). Effectiveness of Dairy and Domestic Wastewater Treatment and Technological Reliability of the Wastewater

- Treatment Plant in Michów, Poland. *Journal of Ecological Engineering*, 22(10), 141-151.
164. Zerrouqi, Z., Sbaa, M., Chafi, A., El Houadi, B., Fakiri, M., & EL KHARMOUZ, M. (2008). Évaluation des performances de la station d'épuration par boues activées de nador (Maroc Oriental). *Tribune de l'eau*, 61(646), 2-8.
165. Zhang, J., Shao, Y., Liu, G., Qi, L., Wang, H., Xu, X., & Liu, S. (2021). Wastewater COD characterization: RBCOD and SBCOD characterization analysis methods. *Scientific Reports*, 11(1), 1-10.

Annexes

Annexe 1 : Etat du réseau d'assainissement existant dans la wilaya de Tizi-Ouzou (DRE Tizi-Ouzou, 2022).

| Commune | Population | Taux de raccordement (%) | Linéaire du réseau (Km) | Volume d'eaux usées rejetées (m³/J) | Nombre points de rejets | Volume d'eaux usées traitées (m³/J) |
|----------------|-------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|--------------------------------|---|
| Tizi Ouzou | 156775 | 96,00 | 207,64 | 25 083,98 | 69,00 | 18 550,00 |
| Azazga | 42104 | 94,83 | 180,36 | 5 030,18 | 17,00 | 42,00 |
| Freha | 26765 | 66,50 | 148,02 | 2 801,18 | 26,00 | - |
| Ifigha | 10219 | 85,00 | 87,69 | 1 013,32 | 13,00 | 30,00 |
| Zekri | 3449 | 80,00 | 76,77 | 278,51 | 16,00 | 12,00 |
| Yakourene | 12754 | 70,00 | 140,09 | 1 165,74 | 32,00 | 24,00 |
| Azeffoun | 18686 | 69,08 | 58,03 | 2 381,48 | 32,00 | 1 000,00 |
| Aghribs | 13504 | 66,08 | 58,50 | 1 595,38 | 20,00 | - |
| Akerrou | 6588 | 88,67 | 32,27 | 874,89 | 12,00 | - |
| Ait Chafaa | 3856 | 89,29 | 37,70 | 524,42 | 21,00 | - |
| Beni Douala | 23400 | 94,23 | 59,76 | 1 123,20 | 64,00 | - |
| Ait Mahmoud | 7653 | 93,33 | 47,12 | 428,57 | 35,00 | - |
| Beni Aissi | 7863 | 93,89 | 37,27 | 361,68 | 35,00 | - |
| Beni Z'menzer | 12738 | 94,00 | 39,86 | 611,42 | 64,00 | - |
| Beni Yenni | 5854 | 95,29 | 31,59 | 763,77 | 35,00 | - |
| Iboudrarene | 5517 | 95,78 | 38,11 | 613,35 | 53,00 | - |

| Commune | Population | Taux de raccordement (%) | Linéaire du réseau (Km) | Volume d'eaux usées rejetées (m³/J) | Nombre points de rejets | Volume d'eaux usées traitées (m³/J) |
|-----------------|-------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|--------------------------------|---|
| Draa Ben Khedda | 34674 | 96,14 | 60,68 | 4 743,43 | 12,00 | 1 356,06 |
| Tadmait | 28170 | 97,00 | 54,83 | 3 424,39 | 29,00 | 600,00 |
| Sidi Naamane | 12681 | 94,77 | 38,26 | 1 473,29 | 40,00 | 166,95 |
| Tirmitine | 22779 | 94,50 | 55,57 | 2 724,10 | 84,00 | 514,94 |
| Maatkas | 33117 | 58,86 | 170,94 | 2 814,00 | 46,00 | - |
| Souk El Tenine | 16300 | 81,67 | 349,08 | 2 602,00 | 23,00 | 58,40 |
| Makouda | 24326 | 88,00 | 88,54 | 1 946,08 | 31,00 | - |
| Boudjima | 15475 | 85,27 | 36,83 | 1 238,00 | 20,00 | - |
| Mekla | 28572 | 98,33 | 69,80 | 3 533,75 | 41,00 | - |
| Ait Khellili | 14404 | 91,00 | 55,91 | 1 728,48 | 29,00 | - |
| Souamaa | 12737 | 84,82 | 67,94 | 1 528,44 | 35,00 | - |
| Ouacif | 10334 | 95,00 | 40,02 | 1 241,16 | 56,00 | - |
| Ait Boumahdi | 6125 | 95,00 | 32,25 | 735,34 | 46,00 | - |
| Ait Toudert | 8633 | 95,00 | 41,43 | 1 025,28 | 30,00 | - |
| Ouadhias | 19779 | 95,00 | 53,04 | 2 252,37 | 80,00 | - |
| Ait Bouaddou | 18136 | 95,50 | 55,02 | 2 176,32 | 29,00 | - |
| Tizi N'tleta | 17969 | 95,18 | 55,10 | 2 024,28 | 48,00 | - |

| Commune | Population | Taux de raccordement (%) | Linéaire du réseau (Km) | Volume d'eaux usées rejetées (m³/J) | Nombre points de rejets | Volume d'eaux usées traitées (m³/J) |
|------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|--------------------------------|---|
| Ait Aissa Mimoun | 23675 | 92,11 | 85,41 | 1 842,32 | 44,00 | 80,00 |
| Timizart | 30604 | 76,89 | 99,70 | 2 447,23 | 38,00 | 528,00 |
| Tigzirt | 15980 | 95,22 | 66,42 | 5 752,80 | 12,00 | 320,00 |
| Iflissen | 19467 | 86,32 | 112,16 | 2 336,04 | 44,00 | 19,00 |
| Mizrana | 12928 | 93,59 | 59,55 | 1 459,92 | 24,00 | - |
| Bouzeguene | 25173 | 90,46 | 92,43 | 1 821,66 | 36,00 | - |
| Illoula Oumalou | 13260 | 88,37 | 40,51 | 956,64 | 29,00 | - |
| Beni Zikki | 3869 | 83,44 | 26,23 | 290,75 | 17,00 | - |
| Idjeur | 10518 | 89,00 | 49,73 | 781,73 | 15,00 | - |
| Tizi Gheniff | 27863 | 63,11 | 112,81 | 2 665,61 | 54,00 | - |
| M'kira | 16727 | 57,27 | 74,42 | 1 006,48 | 34,00 | - |
| Iferhounene | 12510 | 92,61 | 82,58 | 1 542,51 | 36,00 | - |
| Imsouhal | 6481 | 92,35 | 49,96 | 823,48 | 29,00 | - |
| Illiltene | 9142 | 91,92 | 53,72 | 1 097,04 | 27,00 | - |
| Tizi Rached | 18773 | 97,88 | 68,11 | 2 647,55 | 46,00 | 54,00 |
| Ait Oumalou | 9597 | 98,17 | 57,35 | 1 061,28 | 31,00 | 24,00 |

| Commune | Population | Taux de raccordement (%) | Linéaire du réseau (Km) | Volume d'eaux usées rejetées (m³/J) | Nombre points de rejets | Volume d'eaux usées traitées (m³/J) |
|----------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|--------------------------------|---|
| Larbaa N'ath Irathen | 33799 | 99,11 | 165,84 | 4 596,62 | 59,00 | - |
| Ait Aggouacha | 4405 | 99,10 | 68,30 | 528,60 | 22,00 | - |
| Irdjen | 14758 | 99,27 | 54,85 | 1 656,96 | 28,00 | - |
| Draâ El Mizan | 43405 | 87,73 | 70,09 | 3 800,89 | 45,00 | 1 983,29 |
| Ain Zaouia | 22782 | 77,70 | 38,36 | 1 987,35 | 45,00 | - |
| Ain Zaouia | 22782 | 77,70 | 38,36 | 1 987,35 | 45,00 | - |
| Frikat | 12378 | 70,89 | 50,07 | 1 121,23 | 46,00 | - |
| Ait Yahia Moussa | 24365 | 75,54 | 208,88 | 1 851,83 | 48,00 | - |
| Ain El Hammam | 25290 | 95,00 | 54,56 | 2 916,73 | 55,00 | - |
| Abi Youcef | 7786 | 97,00 | 24,67 | 845,53 | 12,00 | - |
| Akbil | 9364 | 95,00 | 37,12 | 709,02 | 29,00 | - |
| Ait Yahia | 14521 | 94,28 | 45,57 | 1 604,42 | 60,00 | - |
| Boghni | 30756 | 98,50 | 111,35 | 5 947,34 | 13,00 | 1 000,00 |
| Assi Youcef | 16309 | 96,00 | 61,50 | 3 182,59 | 8,00 | - |
| Bounouh | 10690 | 92,50 | 52,50 | 1 693,66 | 18,00 | - |
| Mechtras | 12932 | 98,00 | 53,13 | 2 327,76 | 11,00 | - |
| Total Wilaya | 1257300 | 90,00 | 4 988,44 | 149 196,78 | 2 301,00 | 26 587,64 |

Annexe 2 : Valeurs limites de quelques paramètres de rejets d'effluents liquides industriels (JORA,2006).

| N° | Paramètres | Unité | Valeurs limites |
|----|------------------|-------|-----------------|
| 1 | Température | °C | 30 |
| 2 | pH | - | 6,5-8,5 |
| 3 | MES | mg/L | 35 |
| 4 | Azote Kjeldahl | mg/L | 30 |
| 5 | Phosphore total | mg/L | 10 |
| 6 | DCO | mg/L | 120 |
| 7 | DBO ₅ | mg/L | 35 |

Annexe 3 : Valeurs limites maximales de la teneur en quelques substances nocives des eaux usées autres que domestiques au moment de leur déversement dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration (JORA, 2009).

| N° | Paramètres | Unité | Valeurs limites |
|----|------------------|-------|-----------------|
| 1 | Température | °C | 30 |
| 2 | pH | - | 5,5-8,5 |
| 3 | MES | mg/L | 600 |
| 4 | Azote global | mg/L | 150 |
| 5 | Phosphore total | mg/L | 50 |
| 6 | DCO | mg/L | 1 000 |
| 7 | DBO ₅ | mg/L | 500 |

CHARACTERISATION AND RATIONALISATION OF URBAN EFFLUENTS IN THE TIZI-OUZOU REGION (ALGERIA)

D. Aissaoui
Researcher

M. S. Metahri
Senior lecturer

N. Belmihoub
Researcher

Dep. Agricultural Sciences - Faculty of Agro-Biology - University Mouloud Mammeri of Tizi-Ouzou

E-mail: dyhia.aissaoui@ummt.dz

ABSTRACT

The knowledge of the composition of urban wastewater discharges is an essential parameter to ensure the relevance of the choice and sizing of appropriate treatment systems to guarantee the quality objectives of the receiving environments. The results obtained allowed us to calculate the daily production per capita of physical, hydrocarbon, nitrogen and phosphorus pollution, specific to the study area. The values of the ratios calculated are : 30.02 g/IE/d for SM, 66.64% less than the reference discharge, i.e., 90 g/IE/d; 33.97 g/IE/d for BOD₅, 43.38% less than the reference discharge, i.e., 60 g/IE/d; 53.80 g/IE/d for COD, 55.17% less than the reference discharge, i.e., 120 g/IE/d; 3.14 g/IE/d for TN, 68.28% below the reference value of 9.9 g/IE/d and 1.07 g/IE/d for TP, also 53.50% below the reference value of 2 g/IE/d. These results show that the calculated values reflect a different reality than the reference values. This approach could optimise the choice and sizing of treatment works.

Keywords: Urban waste, normalisation, inhabitant equivalent.

ديهية وآخرون

مجلة العلوم الزراعية العراقية - 2022: 53(2): 258-264

توصيف وترشيد النفايات السائلة الحضرية في منطقة تيزي وزو (الجزائر)

بلميهوب نعيمة

مطاهري محمد سعيد

عيساوي ديهية

باحث

أستاذ محاضر

باحث

قسم العلوم الزراعية - كلية العلوم البيولوجية و العلوم الزراعية - جامعة مولود معمري تيزي وزو

المستخلص

تعد معرفة تركيبة مياه الصرف الصحي عامل أساسي لإختيار الطريقة المناسبة للمعالجة وذلك من أجل ضمان جودة البيئة المستقبلية. النتائج التي تم الحصول عليها، سمحت لنا بحساب الإنتاج اليومي الفردي لتلوث الفزيائي، الهيدروكربوني، النيتروجيني والفسفوري الخاص بمنطقة الدراسة. قيم النسب المحسوبة هي : 30.02 غ/ف/ي للمادة المعلقة، أصغر ب 66.64 % من قيمة المرجع 90 غ/ف/ي، 33.97 غ/ف/ي للطلب البيوكيميائي للأكسجين، هذه القيمة أصغر ب 43.38 % من قيمة المرجع 60 غ/ف/ي، 53.80 غ/ف/ي للطلب الكيميائي للأكسجين، هذه القيمة أصغر ب 55.17 % من قيمة المرجع 120 غ/ف/ي، 3.14 غ/ف/ي للطلب النيتروجيني، هذه القيمة أصغر ب 68.28 % من قيمة المرجع 9.90 غ/ف/ي و 1.07 غ/ف/ي للطلب الفوسفوري، هذه القيمة أصغر ب 53.50 % من قيمة المرجع 2 غ/ف/ي. تُظهر هذه النتائج أن القيم المحسوبة تعكس حقيقة مختلفة عن تلك الخاصة بالقيم المرجعية. هذا النهج يمكن أن يحسن إختيار هياكل العلاج وحجمها.

كلمات مفتاحية: النفايات الحضرية، تسوية، ما يعادل الفرد.

INTRODUCTION

With insufficient, irregular and unevenly distributed rainfall, the average annual mobilisation is around 300 m³ per year and inhabitant. Algeria, like the hydro-sensitive countries, is faced with a severe water deficit (3). Add to this the conventional water resources, which are approaching their qualitative limits. It is obvious then that the recourse to purified and treated non-conventional water is becoming more and more an attractive and unavoidable alternative (7; 11; 15). Faced with this situation and preserving conventional water resources for the most important uses, such as drinking water supply (11), the public authorities are directing their efforts towards mobilising and developing water treatment plants. In this respect, the number of functional WWTPs is currently 166 and will reach 272 by 2020, with a treatment capacity of 1 billion m³ per year (12). Urban wastewater treatment is essentially based on the actual quantification of the WWTP sizing parameters, i.e., SM, BOD5, COD, TN and TP. Knowing that the concentration and quantitative flows of these parameters depend directly on the socio-economic model of the connected population (13). The realisation of WWTPs in Algeria is based on European or American standards whose way of life and industry is totally different from ours. Hence, the standards used may be far from the reality of our urban discharges. In addition, a realistic estimate of the quality parameters of domestic wastewater would be an essential asset for the choice and sizing of treatment systems. Therefore, it is important to implement a national standardisation strategy based on the real values of pollution parameters in inhabitant equivalents per clean day for our discharges. This vision would allow an optimisation of the treatment works on the technical and economic levels. This study aims to characterise the raw urban effluents of six WWTPs studied in the Wilaya of Tizi-Ouzou. This examination will allow us to calculate the real daily production of physico-chemical pollution in inhabitant equivalent (IE) specific to the raw effluent of the study area.

MATERIALS AND METHOD

Presentation of the study area

The six WWTPs studied are located in the Tizi-Ouzou region (Figure 1). This region has two watersheds with a total area of 2,900 km² and a total population of 1,250,000 inhabitants, 88% of whom are connected to the sewerage system. This region is located between the polar and tropical air masses from October to April when the arctic air masses generally prevail and determine a high-water period. During the other months of the year, the wet polar air masses retreat to make way for the warmth of a low-water period. The average rainfall is between 700 and 1,000 mm of water per year, making this region one of Algeria's water centres. With an appreciable rainfall and a favourable topography, this region has a 180 hm³ dam, two dams under construction of 90 and 43 hm³ respectively and others in prospect. To protect the important hydrographic basin of this locality from urban discharges, 8 WWTPs have been set up, and 6 are in prospect in the short term.

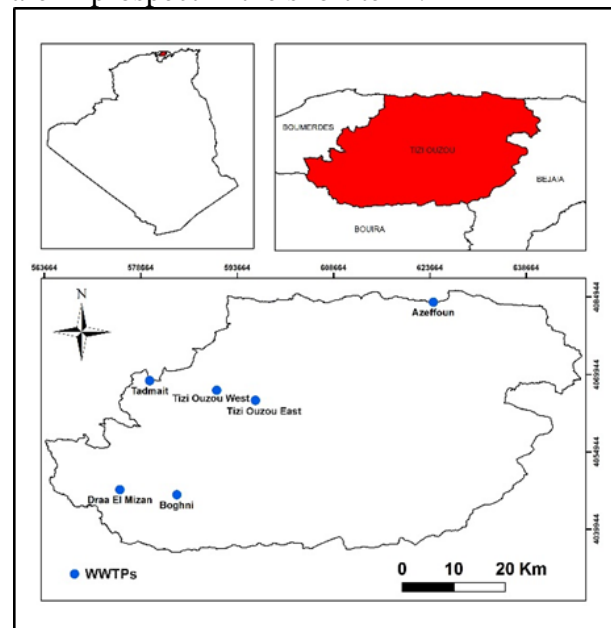


Figure 1. Geographic location of the study area.

Water consumption and sanitation

With a rugged topography and a difference in altitude of nearly 2000 meters, the daily water supply in the locality remains difficult and energy-consuming. However, it is noted that the average supply of drinking water is 150 litres per capita per day. The distribution can sometimes be discontinued for these reasons of difficult terrain. Given the water vocation of

the town, an important sanitation network is being set up, covering 88% of the population, with a total of 21 WWTPs in the medium term. It should be noted that with the current coverage, 81.52% of urban wastewater is not treated.

Wastewater sampling and analysis

The monitoring of the parameters SM, BOD₅, COD, TN and TP was carried out over a period of two years, 2019 and 2020. The sampling frequency was one weekly sample, for raw wastewater, at the head of the plant. The samples were of the composite type, 24-hour balances. They were prepared by mixing three spot samples at 08:00, 13:00 and 18:00, of constant volume, transported in a cooler to the laboratory and then stored at 04°C for the next day (ISO 5667-1 standard, ISO 5667-3 standard) (5; 16). All analyses were carried out in the water treatment laboratory of our faculty. SM was determined by the filtration method. The biochemical oxygen demand was determined by the manometric method using a BOD meter type TS 606/2-i. COD was measured by a COD meter type PB-CSB/12M.

Table 1. Daily accumulations of raw effluent from the studied wastewater treatment plant

| WWTP | Nominal capacity (IE) | Nominal flow rate (m ³ /d) | Theoretical flow rate (m ³ /d) | Actual population connected | Actual flow (m ³ /d) |
|-----------------|-----------------------|---------------------------------------|---|-----------------------------|---------------------------------|
| Draa El Mizan | 30 000 | 4 500 | 3 600 | 26 467 | 3 176 |
| Boghni | 13 000 | 1 950 | 1 560 | 16 976 | 2 037.08 |
| Azeffoun | 20 000 | 3 000 | 2 400 | 11 832 | 1 419.88 |
| Tadmait | 13 000 | 1 950 | 1 560 | 6 852 | 822.23 |
| West Tizi-Ouzou | 25 000 | 3 750 | 3 000 | 39 425 | 4 730.95 |
| East Tizi-Ouzou | 120 000 | 18 000 | 14 400 | 136 401 | 16 368.08 |

Suspended matter

The SM content of the raw effluent in the study area shows a close inter-site agreement of the recorded values. The averages vary between 212.65 and 291.10 mg/l, with an overall average of 250.19 mg/l (Figure 2). This average is 58.30 % lower than the guide value of direct discharges, which is 600 mg/l (9) and those found in Medea 529.67 mg/l (6), Azilal 559.39 mg/l (8) and higher than that found in Oujda 144 mg/l (1).

Nitrates and total phosphorus were determined by a HANNA multi-parameter photometer model HI 83214. Nitrite was determined by a UV-visible spectrophotometer and Kjeldhal nitrogen by a mineraliser type InKjet 1225 P.

RESULTS AND DISCUSSION

Characterisation of urban discharges in the study area

During this study, we monitored weekly averages of physicochemical parameters SM, BOD₅, COD, TN and TP of WWTP inlet effluents studied over a period of two years, 2019 and 2020. The aim was to estimate the gross urban discharge of the said locality in population equivalent (PE). First, we measured the real flow of the studied WWTPs, compared to the theoretical flow, which is calculated based on a return to the WWTP of 80% of the daily supply of water, i.e., 120 litres per inhabitant per day. Then we measured the nominal flow of the WWTPs, which is calculated based on the overall supply of water, i.e., 150 litres per inhabitant per day (Table 1).

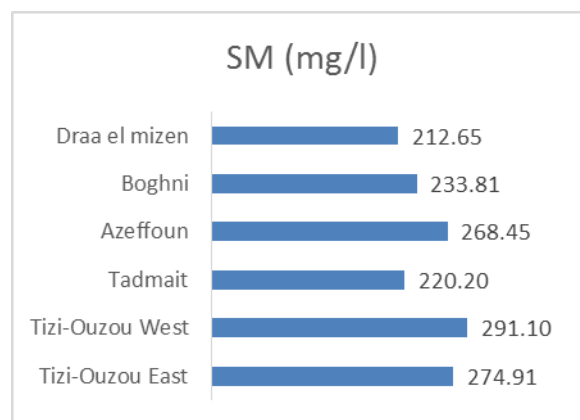


Figure 2. Average SM concentrations of wastewater in the study area (mg/l).

Biochemical oxygen demand

The BOD₅ values recorded range from 147.31 to 449.09 mg/l, see figure 3. The overall average being 283.07 mg/l, also lower than the guide value for urban wastewater, which is 500 mg/l (9). This concentration shows the predominance of the domestic character of these discharges. This value is also higher than that found in Oujda 181 mg/l (1). On the other hand, it is lower than that found in Sanaa 1137 mg/l (14).

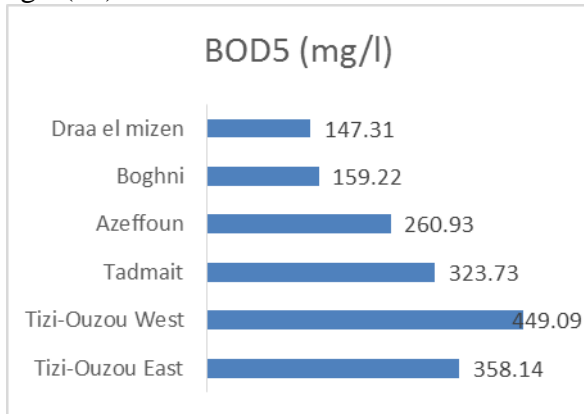


Figure 3. Average BOD₅ concentrations of wastewater in the study area (mg/l).

Chemical oxygen demand

Figure 4 shows an approximation of COD values which vary between 339.91 to 589.57 mg/l with an overall average of 448.32 mg/l. This average, which represents less than 55.17% of the guide value for raw urban wastewater, i.e., 1000 mg/l (9), also explains the domestic aspect of the effluents. Nevertheless, the average value is higher than that found in Oujda 313 mg/l (1).

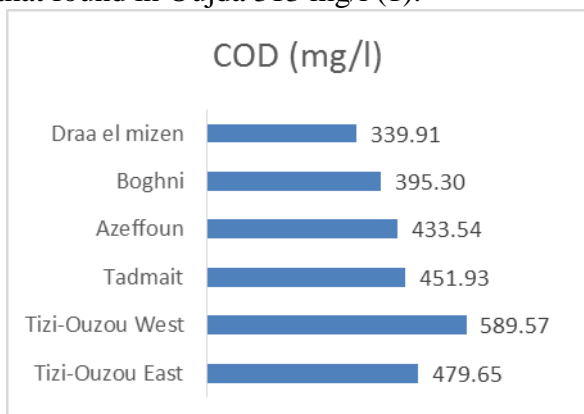


Figure 4. Average COD concentrations of wastewater in the study area (mg/l).

Nitrogen

In general, the nitrogen discharged by agglomerations is quickly found in the sewerage system in its two organic and

ammoniacal forms, with a slight predominance of the former at the beginning. The transit in the network with the secretion of urease by the presence of ammonifying bacteria modifies their proportions in favour of the ammoniacal form. This form can undergo different transformations during transit (passage from the ammoniacal form to the nitrous then nitric form), particularly in the presence of rainwater rich in oxygen (2 ; 4 ; 10). Its evolution during the treatment can only be carried out from a common basis: the number of moles of nitrogen and/or the masses of nitrogen involved. This is why the loads and concentrations of NH_4^+ , NO_2^- and NO_3^- are expressed in units of N (hence the formula N-N...). The total nitrogen content of the raw effluent varies between 15.22 and 40.90 mg/l. These relatively low averages reflect the dominance of domestic discharge and the weakness of the agri-food industry in the study area.

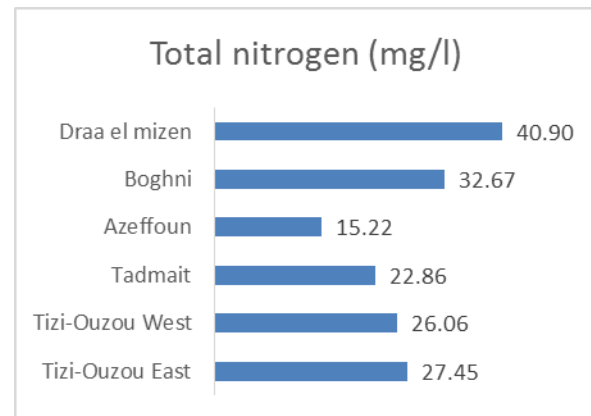


Figure 5. Average nitrogen concentrations in wastewater in the study area (mg/l).

Part of the phosphorus can be eliminated in the sewage system by integrating the sludge formed when the treatment process starts. Phosphorus averages vary between 5.92 and 10.45 mg/l. The recorded values remain below the 50 mg/l direct discharge limit allowed by JORA (2009).

Total phosphorus

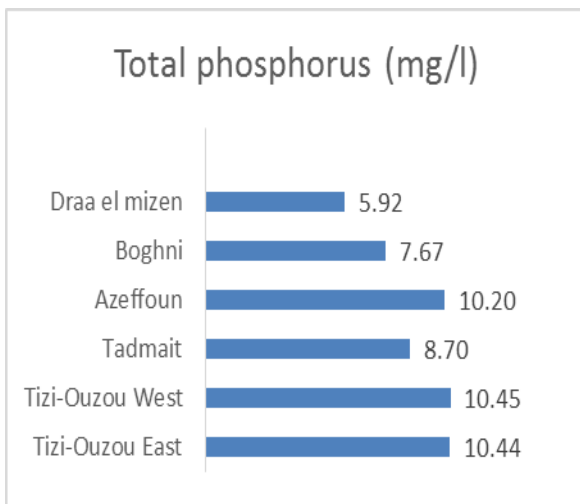


Figure 6. Average total phosphorus concentrations for the study area (mg/l). Calculation of the pollution ratios in population equivalent specific to the study region

For the remainder of the calculations, we considered the actual daily flows in Table 1. These calculations were used to evaluate the

Table 2. Pollution ratios in g/IE/d for the Tizi-Ouzou region

| WWTP | MY gMES/IE/d | BOD gO ₂ /IE/d | COD gO ₂ /IE/d | TN gN/IE/d | TP gP/IE/d |
|--|-----------------|------------------------------|------------------------------|---------------|---------------|
| Draa El Mizan | 25.52 | 17.68 | 40.79 | 4.71 | 0.71 |
| Boghni | 28.06 | 19.11 | 47.44 | 3.9 | 0.92 |
| Azeffoun | 32.21 | 31.31 | 52.02 | 1.83 | 1.22 |
| Tadmait | 26.42 | 38.85 | 54.23 | 2.3 | 1.04 |
| West Tizi-Ouzou | 34.93 | 53.89 | 70.75 | 2.83 | 1.25 |
| East Tizi-Ouzou | 32.99 | 42.98 | 57.56 | 3.29 | 1.25 |
| Average production per capita per day | 30.02 | 33.97 | 53.80 | 3.14 | 1.07 |
| Reference Ratios | 90 | 60 | 120 | 9.9 | 2 |

Overall, we note a significant inter-site convergence of daily per capita production values for physical, hydrocarbon, nitrogen and phosphorus pollution. The daily per capita SM production of the wastewater from the different plants varies between 25.52 and 34.93 g/IE/d with an average of 30.02 g/IE/d. This average value is 66.64% lower than the average daily discharge per person of reference, i.e., 90 g/IE/d. The values of the pollution ratio calculated for BOD₅ vary between 17.68 and 53.89 g/IE/d with an average of 33.97 g/IE/d. This calculated average value is also 43.38% lower than the

real daily productivity in the inhabitant equivalent of the urban raw effluent of the study area. The pollution ratio is an important element that characterises wastewater; it gives an idea of the pollution generated by each inhabitant per day (13). The pollution ratio of the different effluents studied is calculated based on the real flows at the WWTP inlet and the global pollution load of the physicochemical parameters measured at the water treatment laboratory of the faculty. The daily production per inhabitant concerning the physical, hydrocarbon, nitrogen and phosphorus pollution per inhabitant and per day, specific for the Wilaya of Tizi-Ouzou, are grouped in Table 2. It is important to note that the reference values recorded in Table 2 are those of DEGREMONT, used during the construction of the East WWTP of Tizi-Ouzou in 2001.

average daily domestic discharge per individual, i.e., 60 g/IE/d. The pollution ratio calculated in terms of COD varies from 40.79 to 70.75 g/IE/d with an average of 53.80 g/IE/d. These calculated values remain 55.17% lower than the reference value of 120 g/IE/d. The estimated daily per capita production of total nitrogen (TN) ranged from 1.83 to 4.71 g/IE/d with an average of 3.14 g/IE/d, 68.28% below the reference value of 9.9 g/IE/d. The daily per capita discharge of total phosphorus (TP) ranges from 0.71 to 1.75 g p.e.d. with an average of 1.07 g p.e.d. This average is 53.50% lower than the assessed reference

value of 2 g/IE/d. As far as the overall ratios are concerned, it can be noted that the calculated values are far lower than the reference values used. The calculated ratios reflect another reality in terms of daily discharges, which would depend directly on the socio-economic models of the connected populations.

CONCLUSION

This study aimed to assess the real daily production per inhabitant in SM, BOD5, COD, TN and TP at the entrance of the WWTP of the region of Tizi-Ouzou. The results obtained are respectively 30.02 g/IE/d for SM, 66.64% lower than the reference value of 90 g/IE/d, 33.97 g/IE/d for BOD5, 43.38% lower than the reference value of 60 g/IE/d, 53.80 g/IE/d for COD, which is 55.17% below the reference value, i.e., 120 g/IE/d, 3.14 g/IE/d for TN, i.e., 68.28% below the reference value, which is 9.9 g/IE/d, and 1.07 g/IE/d for TP, which is also 53.50% below the reference value, which is 2 g/IE/d. Comparing the ratios calculated for the study area with the reference ratios shows that the calculated daily productivity values reflect a different reality than the reference values used. This approach would make it possible to optimise the cost, the choice and the dimensioning of the treatment works. Indeed, the results indicate that the daily pollution ratio generated per inhabitant depends closely on the socio-economic models of the connected populations, namely: urbanisation, economic activity, drinking water supply, the type of wastewater collection network and the importance of parasitic water. However, to deepen these conclusions, an exhaustive study of the quality of wastewater per catchment area would be appropriate on the quantitative and qualitative aspects to estimate precisely the quantity of daily pollution generated by each inhabitant.

REFERENCES

1. Abouelouafa M. H., El Halouani M., Kharboua and A., Berrichi. 2002. Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux usées brutes de la ville d'Oujda : canal principal et Oued Bounaïm. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 22, no 3, 143-15.
2. Aubry G. 2003. Enlèvement de l'azote des eaux usées par un procédé à culture fixée immergée. Thèse de doctorat, Univ. Laval, Québec, 147 p
3. Delli R. 2018. Importance du concept de l'eau virtuelle agricole pour la gestion des ressources hydriques en Algérie. Cas de la phoenici-culture. Thèse de doctorat, école nationale agronomique, El-Harrach, Algérie, 89 p
4. Deronzier G.S., Schetrite Y., Racault. J.P. Canler A., Lienard A., Hedit and Et P. Duchene. 2001. Traitement de l'azote dans les stations d'épuration biologique des petites collectivités. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, Document technique FNDAE n° 25, 2001, Antony, France, 79 p
5. Fondation Nationale de la Sante. 2013. Manuel pratique d'analyse de l'eau, 4^eéd., Brasilia, 146 p
6. Hamaidi-Chergui F., Zoubiri A.F., Hamaidi M.S., Debib A, Kais H. évaluation de l'efficacité de la station d'épuration de Médéa Algérie. and Larhyss Journal, 2016, vol. 13, no 2, p. 113-128
7. Hannachi A., R., Gharzouli Djellouli and Y. Tabet 2014. Gestion et valorisation des eaux usées en Algérie. *Larhyss journal*, ISSN 1112-3680, n°19, 51-62
8. Idrissi Y. A., A., Alemad S. Aboubaker H., Daifi K., Elkharrim and D. Belghyti 2015. Caractérisation physico-chimique des eaux usées de la ville d'Azilal-Maroc. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. vol. 11, no 3, p. 556
9. Journal Officiel de la République Algérienne. 2009. N° 36, p 17-18
10. M.S., Metahri M., Bouzid N., Berrouane M., Boudiaf M., Taguemouth L., Lakabi and S. Meridja 2016. Effect of the gamma radiation on the abatement of nitrogen pollution, phosphate and disinfection of treated wastewater of the WWTP. *Journal of International Scientific Publications.*, 4, 1314-8591
11. Metahri M.S. 2012. Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes, cas de la STEP est de la ville de Tizi-Ouzou. Thèse de doctorat, Univ. Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie, 138 p

12. Mozas M., and A. Ghosn 2013. État des lieux du secteur de l'eau en Algérie. Institut de prospective économique du monde méditerranéen (IPEMED), 27p.
13. Office International de l'Eau. 2005. Conception/dimensionnement, caractérisation des eaux usées. Centre national de formation aux métiers de l'eau. France, 105 p
14. Raweh S., Belghyti D. Al-Zaemey A.B. El Guamri Y. and K. Elkharrim 2011. Qualité physico-chimique des eaux usées de la station d'épuration de la ville de S'Anaa YEMEN. International Journal of Biological and Chemical Sciences, vol. 5, no 1
15. Remini B. La problématique de l'eau en Algérie du Nord. 2010. LARHYSS Journal, 8, 1112-3680
16. Rodier. 2009. L'Analyse de l'eau. 9^e éd., Dunod, Paris, France, pp: 1526