



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج

Université Mohammed El Bachir El Ibrahimi B.B.A

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers
قسم العلوم الفلاحية

Département des Sciences Agronomique

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences agronomique

Spécialité : Aménagement Hydro-Agricole

Intitulé :

*Caractérisation physico-chimique des eaux usées récupérées de la station
d'épuration de bordj Bou Arreridj et possibilité de réutilisation en irrigation*

Présenté par :

Djeghbellou Saadia & Halkoum Anis

Soutenu le _11_ / _06_ / 2025, Devant le Jury :

	Nom & Prénom	Grade	Affiliation / institution
Président :	Mme Laoufi Hadjer	MCB	Université de Bordj Bou Arreridj
Encadrant :	Mme. Salamani Amel	MCA	Université de Bordj Bou Arreridj
Examineur :	M. Deffaf Ammar	MCB	Université de Bordj Bou Arreridj

Année Universitaire 2024/2025

Remerciement

Avant toute lecture et appréciation de ce modeste travail que nous avons eu le plaisir de réaliser, il nous paraît essentiel d'exprimer notre gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à son bon aboutissement.

Nous tenons tout d'abord à adresser nos sincères remerciements à Madame Salamani Amel, enseignante à l'Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi de Bordj Bou Arreridj, pour sa disponibilité, sa patience, ses conseils précieux et son accompagnement bienveillant tout au long de ce travail. Sa rigueur scientifique et son soutien constant ont été d'une grande aide dans l'avancement de notre réflexion.

Nous remercions également les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce mémoire. Leur regard critique et leurs observations enrichissantes sont pour nous une réelle source d'amélioration.

Notre reconnaissance s'étend aussi à l'ensemble des enseignants de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (SNV), qui nous ont accompagnés tout au long de notre parcours universitaire, par leur soutien moral, intellectuel et pédagogique.

Enfin, nous adressons nos remerciements aux ingénieurs et techniciens des laboratoires de la Faculté SNV, notamment Mr. Makhoukhe, Mr. Mihoub, pour leur assistance technique et leur collaboration durant la phase expérimentale de ce travail.

Dédicace

C'est avec profonde gratitude et sincères mots, Que nous dédions ce modeste travail de fin d'étude à nos chers parents, qui ont sacrifié leurs vies pour notre réussite et nous ont éclairé le chemin par leurs conseils judicieux.

J'espère qu'un jour, Nous pourrons leurs rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour nous, que dieu les protège et leurs donne une longue vie pleine de bonheur.

Nous dédions aussi ce travail à nos frères, nos sœurs, notre famille et nos amis. Et à tout ce qui sont chers pour nous.

Table des matières

Remerciement

Dédicace

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction..... 1

I. Matériel et méthodes

I.1. Présentation de la station dépuratoire

I.1.1 . Situation géographique de la station d'épuration : 3

I.1.2. Le fonctionnement de la STEP 3

I.1.3. Critères de choix du site d'implantation de la station dépuratoire..... 4

I.1.4. Situation climatique de la zone d'étude..... 5

I.1.5. Fiche technique de la STEP de BBA 5

I.1.6. Étapes de traitement des eaux usées à la STEP de BBA..... 5

I.1.6.1. Le relevage..... 6

I.1.6.2. Prétraitement 6

I.1.6.3. Traitements primaires 7

I.1.6.4. Traitements secondaires..... 7

I.1.6.5. Traitements tertiaires 7

I.1.7. Les problèmes relevés au niveau de la STEP de BBA..... 7

I.2. Echantillonnage et méthodes d'analyses

I.2.1. Durée du stage..... 8

I.2.2. Techniques de prélèvement..... 8

I.2.3. Méthodes d'analyse physico-chimique des eaux..... 8

I.2.3.1 Mesure du pH..... 8

I.2.3.2. Mesures de la température, de la salinité et de la conductivité électrique 9

I.2.3.3. Mesure de la matière en suspension (MES)..... 9

I.2.3.5. Demande Biologique en Oxygène (DBO_5)..... 9

I.2.3.6. L'analyse de (PO_4^{-3})	9
I.2.3.7. Dosage de Nitrite (NO_2^-)	9
I.2.3.8. Dosage de Nitrate (NO_3^-)	9
I.2.3.9. L'analyse de calcium (Ca^{2+}) et de magnésium (Mg^{2+}) :.....	10
I.2.3.10. L'analyse des carbonates et bicarbonates (CO_3^{-2} et HCO_3^-) :	10
I.2.3.11. L'analyse de sulfates (SO_4^{-2}).....	10
I.2.3.12. L'analyse des chlorures (CL^-).....	10

I.3. Classification des eaux d'irrigation

II. Résultats et discussion

II.1. Etude des paramètres physico-chimiques.....	12
II.1.1. Température	12
II.1.2. Potentiel d'Hydrogène.....	13
II.1.3. Conductivité Electrique (CE).....	15
II.1.4. Oxygène dissous (OD).....	16
II.1.5. Matières en suspension (MES)	17
II.1.6. Demande Biologique en Oxygène (DBO_5).....	19
II.1.7. Demande Chimique en Oxygène (DCO)	20
II.1.8. Nitrite (NO_2^-).....	21
II.1.9. Nitrate (NO_3^-)	23
II.1.10. Matières phosphorées (PO_4^{-3}).....	24
II.1.11. L'ammonium (NH_4^+)	25
II.1.12. La salinité.....	27
II.2. État de la qualité des eaux en vue d'un usage agricole	28
II.2.1. Faciès chimique des eaux (Diagramme de Piper).....	29
II.2.2. Classification des eaux d'irrigation	30
II.2.3. Aptitude à l'irrigation	33
Conclusion	36
Références bibliographiques.....	38

Liste des figures

Figure 1: Situation géographique de la zone d'étude. -----	4
Figure 2: Vue de la station d'épuration de BBA (Source Google earth). -----	4
Figure 3 : Variation mensuelle de la température à l'entrée et à la sortie de la STEP, (Période de mai 2024 à avril 2025) -----	13
Figure 4 : Variation mensuelle du pH à l'entrée et à la sortie de la STEP, (Période de mai 2024 à avril 2025) -----	14
Figure 5 : Variation mensuelle de la conductivité à l'entrée et à la sortie de la STEP, (Période de mai 2024 à avril 2025) -----	15
Figure 6 : Variation mensuelle de l'oxygène dissous à l'entrée et à la sortie de la STEP, (Période de mai 2024 à avril 2025). -----	17
Figure 7 : Variation mensuelle de la MES à l'entrée et à la sortie de la STEP, (Période de mai 2024 à avril 2025). -----	18
Figure 8 : Variation mensuelle de la DBO ₅ à l'entrée et à la sortie de la STEP, (Période de mai 2024 à avril 2025). -----	19
Figure 9 : Variation mensuelle de la DCO à l'entrée et à la sortie de la STEP, (Période de mai 2024 à avril 2025). -----	21
Figure 10 : Variation mensuelle de NO ₂ ⁻ à l'entrée et à la sortie de la STEP, (Période de mai 2024 à avril 2025). -----	22
Figure 11 : Variation mensuelle de NO ₃ ⁻ à l'entrée et à la sortie de la STEP, (Période de mai 2024 à avril 2025). -----	24
Figure 12 : Variation mensuelle de PO ₄ - 3 à l'entrée et à la sortie de la STEP, (Période de mai 2024 à avril 2025). -----	25
Figure 13 : Variation mensuelle de l'ammonium à l'entrée et à la sortie de la STEP, (Période de mai 2024 à avril 2025). -----	26
Figure 14 : Variation mensuelle de la salinité à l'entrée et à la sortie de la STEP, (Période de mai 2024 à avril 2025). -----	28
Figure 15 : Classification de l'eau traitée de la STEP selon le diagramme de Piper. -----	29
Figure 16 : Classification de l'eau traitée de la STEP selon le diagramme de Riverside. --	30
Figure 17: Classification de l'eau traitée de la STEP selon le diagramme de Richards ----	31
Figure 18: Classification de l'eau traitée de la STEP selon le diagramme de Wilcox. -----	32

Liste des tableaux

Tableau 1: Fiche technique de la STEP de BBA	6
Tableau 2 : Les résultats de la température obtenus durant la période de Janvier jusqu' à Avril 2025.	21
Tableau 3 : Les résultats du pH obtenus durant la période de Janvier jusqu'à Avril	22
Tableau 4:Les résultats de la conductivité obtenus durant la période de Janvier Jusqu'à Avril 2025.	24
Tableau 5:Les résultats de l'oxygène dissous obtenus durant la période de Janvier jusqu'à Mai 2025.	25
Tableau 6: Les résultats de la MES obtenus durant la période de Janvier jusqu'à Avril	26
Tableau 7: Les résultats de la DBO_5 obtenusdurant la période de Janvier jusqu'à Avril	28
Tableau 8 : Les résultats de la DCO obtenus durant la période de Janvier jusqu'à Avril 2025.	29
Tableau 9 : Les résultats de NO_2^- obtenus durant la période de Janvier jusqu'à Avril 2025.	30
Tableau 10 : Les résultats de NO_3^- obtenus durant la période de Janvier jusqu'à Avril 2025.	31
Tableau 11 : Les résultats de la matières phosphorées obtenus durant la période de Janvier jusqu'à Avril 2025.	32
Tableau 12 : Les résultats de l'ammonium obtenus durant la période de Janvier jusqu'à Avril 2025.	33
Tableau 13 : Les résultats de la salinité obtenus durant la période de Janvier jusqu'à Avril2025.	35
Tableau 14 : Résultats des analyses chimiques de l'eau traitée obtenus durant la période de Janvier jusqu'à Avril 2025	36
Tableau 15 : Valeurs du rapport d'adsorption du sodium (SAR) des eaux traitées	42
Tableau 16: Classification du SAR	42
Tableau 17 : Classification selon la teneur en sodium (Na^+ en meq/L).	43

Liste des abréviations

BBA : Bordj Bou-Argeridj

CE : Conductivité Electrique.

Cond : Conductivité Electrique

DBO5 : Demande Biochimique en Oxygène pendant 5 jours.

DCO : Demande Chimique en Oxygène.

EH : Equivalent habitant

E.H.T : Entreprise Hydro –Traitement.

JORA : Journal Officiel de la république Algérienne

MES : Matière En Suspension.

ONA : Office nationale d'assainissement

OD : Oxygène Dissous.

OMS : Organisation Mondiale de la santé

PH : potentiel Hydrogène.

Pr : prélèvement

Q : Débit en $\frac{m^3}{s}$

RN : Route National

REUE : Réutilisation des eaux usées épurées

STEP: Station de purification.

SAR: Sodium Absorption ratio

Introduction

Introduction

La sécheresse constitue l'un des principaux défis environnementaux auxquels l'Algérie est confrontée, avec des répercussions négatives sur la production agricole et les conditions de vie des populations. Ce phénomène devient d'autant plus préoccupant dans le contexte du changement climatique mondial, qui accentue les variations climatiques et entraîne une diminution progressive des ressources en eau disponibles (**Boursali, 2025**).

La région de Bordj Bou Arreridj, située dans une zone semi-aride de l'Algérie, est fortement touchée par la sécheresse. La faiblesse des précipitations annuelles, combinée à une forte variabilité climatique, entraîne une pression croissante sur les ressources en eau, particulièrement pour l'agriculture. Cette situation affecte la productivité des cultures et la disponibilité de l'eau potable. (**Belhamra, 2018**).

Afin de pallier les pénuries d'eau dans le secteur agricole et de répondre à une demande croissante et variée en eau dans les autres secteurs, la réutilisation des eaux usées traitées s'impose comme une alternative stratégique majeure dans cette région. Ce procédé permet non seulement de réduire la pression exercée sur les ressources en eau conventionnelles, mais aussi de limiter la pollution et de protéger l'environnement. Toutefois, l'usage de ces eaux non conventionnelles en agriculture doit impérativement respecter les normes de qualité établies par les réglementations nationales et internationales, afin de garantir la sécurité sanitaire et prévenir les risques pour la santé humaine (**Ait-Mouheb., 2018**).

Les eaux usées représentent des milieux très complexes, dont la composition est fortement influencée par les activités humaines telles que l'usage domestique, l'industrie, l'agriculture ou d'autres sources. Elles sont considérées comme polluées. Le rejet direct des eaux usées dans le milieu naturel perturbe l'équilibre aquatique, transformant parfois le milieu récepteur en égout. Cette pollution peut aller jusqu'à provoquer la disparition de toute forme de vie. Il est donc essentiel de traiter les eaux usées et d'en éliminer un maximum de polluants avant leur rejet, afin de minimiser leur impact sur la qualité des milieux aquatiques naturels (**Baumont., 2005**).

La station d'épuration est un outil essentiel pour protéger l'environnement, en tenant compte à la fois de sa position géographique et des conditions climatiques. L'évaluation des débits à traiter ainsi que l'analyse des caractéristiques des eaux usées représentent des étapes cruciales dans la conception d'une station de traitement. Par ailleurs, la connaissance de la vocation de la région étudiée, qu'elle soit à dominance agricole ou industrielle, influence directement sur le choix du procédé de traitement le plus adapté (**E.H.T, 2013**).

L'Algérie dispose d'un vaste réseau de stations de traitement des eaux usées, avec un total de 232 stations en service jusqu'en 2023. Afin de renforcer ses capacités dans ce domaine, le pays a mis en œuvre un programme national de traitement et de purification des eaux usées, visant à porter la capacité actuelle de 1 milliard à 1,5 milliard de mètres cubes par an (**Ministère de l'Hydraulique, Algérie, 2023**).

Cette étude a été réalisée à la station d'épuration de la ville de Bordj Bou Arreridj dans le but d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux traitées, en vue de déterminer leur potentiel de réutilisation pour l'irrigation.

Pour mener à bien ce travail, le mémoire est structuré en trois parties principales. La première partie présente la zone d'étude. La seconde expose le protocole d'échantillonnage ainsi que les différentes méthodes d'analyse utilisées. La troisième partie détaille les résultats obtenus et propose une discussion approfondie. Enfin, une conclusion générale synthétise les principaux résultats de l'étude et formule des recommandations.

Matériel et méthodes

I. Matériel et méthodes

I.1 Présentation de la station dépuratoire

I.1.1. Situation géographique de la station d'épuration :

La station d'épuration de Bordj Bou Arreridj a été mise en service au mois de Mai 2002, Elle a été inaugurée par le Président de la République algérienne le 17 octobre 2003. Elle est située au sud de la ville, sur une superficie de 42 750 m².

Sa capacité de traitement est de 150 000 (eq/ H), soit un débit journalier d'environ 30 000 m³ par jour. Les eaux usées brutes proviennent essentiellement de la ville de Bordj Bou Arreridj, incluant à la fois des rejets domestiques et industriels, acheminés par les drains collecteurs. La station prend en charge les eaux usées ménagères, industrielles et hospitalières (notamment celles de deux hôpitaux et de plus de cinq centres de santé).

La station utilise le procédé biologique à boues activées pour le traitement des effluents. Les eaux épurées sont ensuite rejetées dans l'Oued Ksob, situé à environ 200 mètres de la station. Cet oued alimente le barrage de Ksob, situé dans la wilaya de M'sila (ONA., 2015).

I.1.2. Le fonctionnement de la STEP

La figure 01 représentant la zone d'étude comprend l'agglomération du chef-lieu de Bordj Bou Arreridj. Elle est située dans le sud de la wilaya de Bordj Bou Arreridj, à proximité de l'Oued Ksob, et se développe de part et d'autre de la RN°45 (Bordj Bou Arreridj -Boussaâda) (figure 02) (E.H.T,2013).

Les coordonnées géographiques de la station sont approximativement

Latitude : 36.04502° N

Longitude : 4.74646° E

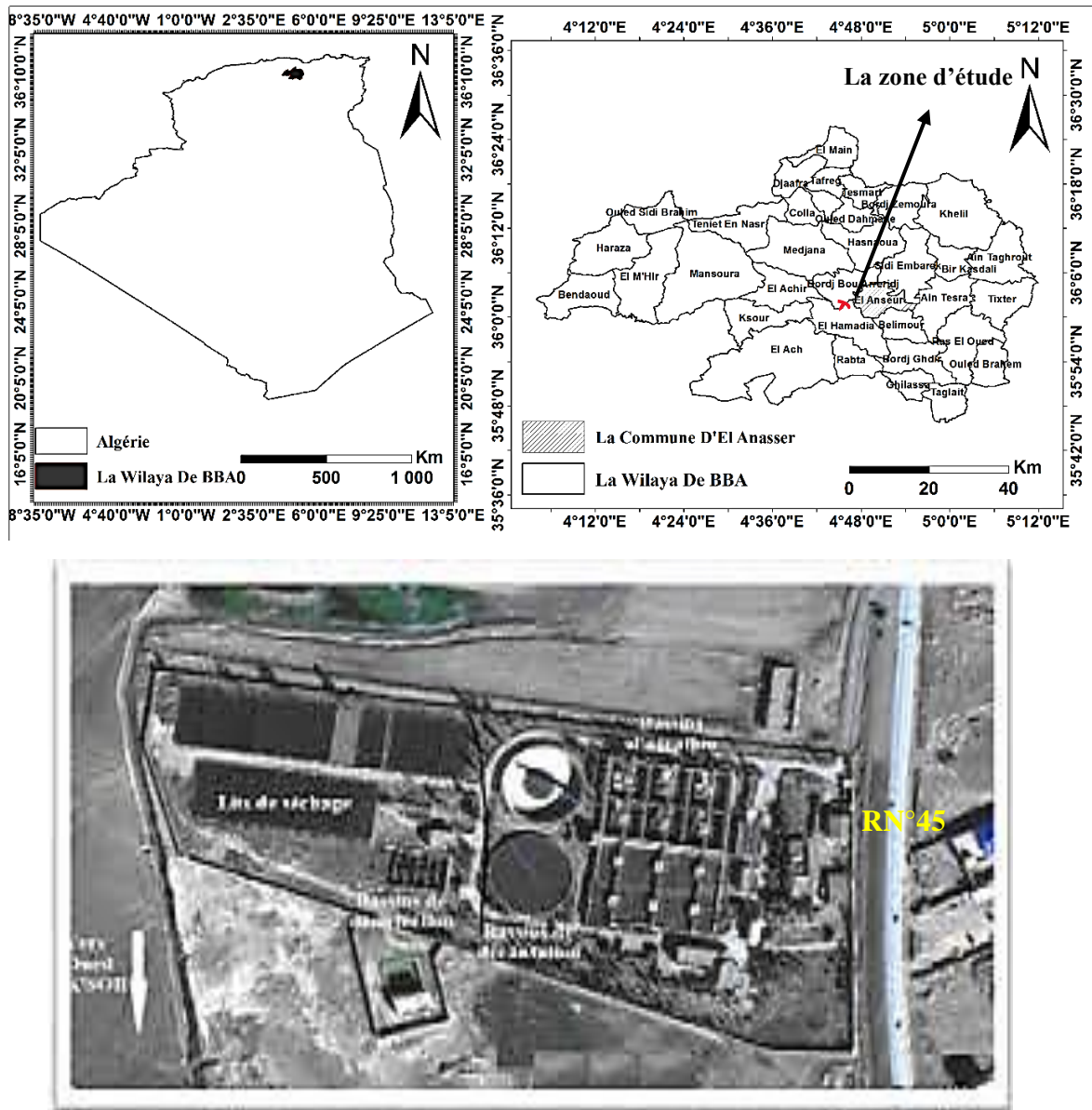


Figure 2: Vue de la station d'épuration de BBA (Source Google earth).

I.1.3. Critères de choix du site d'implantation de la station dépuración

La valorisation de l'image de la station passe par un ensemble de dispositions, en commençant par le choix de l'emplacement du site. A cet égard, quelques règles doivent être précisées :

- Choix de site : il est important de choisir un site qui soit adapté pour accueillir une station, dépuración, en tenant compte de critères tels que l'accessibilité, la proximité des sources de pollution, la topographie du terrain etc....

- Éviter les zones inondables entraînant parfois des dysfonctionnements pendant de longues périodes ; sinon veiller à mettre les équipements électriques hors d'eau ;
- Éviter de construire à proximité d'habitations et des zones d'activités (sportives, touristiques, industrielles, etc.)
- S'éloigner le plus possible des zones de captage même si le périmètre de protection est respecté (E.H.T. 2013).

I.1.4. Situation climatique de la zone d'étude

L'étude climatique, nous renseigne sur la pluviométrie, les températures et les vents. La région d'étude est caractérisée par un climat méditerranéen continental à étage bioclimatique semi-aride, la température moyenne varie de 20 à 25 C° et la pluviométrie annuelle estimée entre 300 et 350 mm/an.

I.1.5. Fiche technique de la STEP de BBA

Tableau 1 : Fiche technique de la STEP de BBA

Wilaya	Bordj Bou Arreridj
Nom	STEP de Bordj Bou Arreridj
Date de mise en service	15 /05/2002
Procédé d'épuration	Boue activée à faible charge
Capacité de la station	150 000 eq/ J
Communes raccordées à la STEP	Bordj Bou Arreridj
Impacts	Elimination des rejets
Débit moyen des eaux usées	30 000 m ³ /J
Date de transfert de la station a l'ONA	16/07/2003
Milieu récepteur	Oued ksob /eau réutilisée à des fins agricoles (périmètre d'irrigation 300 hectares)
Entreprise retenue pour la réalisation du génie -civil	Hydro -traitement
Entreprise retenue pour la partie d'équipement	Hydro -traitement

I.1.6. Étapes de traitement des eaux usées à la STEP de BBA

La station d'épuration rassemble une succession de mécanisme pour traiter des eaux usées. Chacune de ces dispositifs est conçue pour extraire un ou plusieurs polluants.

L'épuration doit permettre, au minimum, d'éliminer la majeure partie de la pollution carbonée. (Koller, 2009).

La station d'épuration de BBA met en œuvre une série d'étapes de traitement des eaux usées, comprenant :

I.1.6.1. Le relevage

Le transfert des eaux usées à travers les collecteurs se fait généralement par gravité, grâce à leur propre poids. Un poste de relevage est nécessaire pour recevoir ces eaux et les pomper vers la station principale.

I.1.6.2. Prétraitement

Un prétraitement comporte un certain nombre d'opérations physiques et mécaniques destinées à extraire les éléments les plus grossiers, susceptibles de gêner les traitements ultérieurs, tels que les déchets volumineux, les sables, les graviers et les graisses. Le prétraitement est composé de trois étapes principales :

A- Dégrillage

Dès son arrivée, l'eau passe à travers des grilles destinées à retenir les éléments grossiers tels que les corps flottants, les branchages ou les cailloux. Le dégrillage a pour fonction d'arrêter et d'extraire les matières en suspension présentes dans l'effluent, tout en retenant les objets volumineux afin de protéger les équipements et les installations des étapes suivantes. (Legube 1996)

B- Dessablage

Le dessablage consiste à extraire les graviers, les sables et les particules minérales des eaux brutes afin d'éviter les dépôts dans les canaux et les conduits, de protéger les équipements contre l'abrasion et de ne pas surcharger les prochaines étapes de traitement. L'eau s'écoule lentement dans un bassin appelé « dessableur », où les particules se déposent au fond (Aconsult,2005).

C- Dégraissage et déshuilage

Généralement combiné avec le dessablage, il vise la séparation des produits de densité légèrement inférieure à l'eau, par effet de flottation, naturelle ou assistée, dans une

enceint de volume suffisant (**Degrémont, 2005**). Le terme déshuilage est habituellement réservé à l'élimination des huiles présentes en quantité notable dans les eaux résiduaires.

I.1.6.3. Traitements primaires

Le traitement primaire consiste en une simple décantation. Elle permet d'alléger les traitements biologiques et physico-chimiques ultérieurs, en éliminant une partie des solides en suspension. L'efficacité du traitement dépend du temps de séjour et de la vitesse ascensionnelle (qui s'oppose à la décantation) (**Hadjou belaid, 2013**).

I.1.6.4. Traitements secondaires

Cette étape consiste à utiliser des bactéries pour éliminer les polluants restants. Elle repose sur le brassage intensif du mélange d'eaux usées, de micro-organismes et d'oxygène. L'oxygène favorise l'activité bactérienne, permettant une dégradation plus rapide et plus efficace des substances polluantes (**Koller, 2009**).

I.1.6.5. Traitements tertiaires

Le traitement tertiaire vise à éliminer les substances dissoutes tels que les métaux, les composés organiques et les nutriments comme le phosphore et l'azote. Il fait appel à un ensemble de procédés physiques et biologiques permettant d'affiner la qualité de l'eau traitée

I.1.7. Les problèmes relevés au niveau de la STEP de BBA.

Au cours de notre stage plusieurs problèmes d'ordres techniques et organisationnels ont été signalés au niveau de la STEP de BBA parmi eux :

- L'insuffisance de réactifs au laboratoire ont limité la capacité à effectuer un suivi analytique fiable de la qualité des eaux usées.
- Le raccordement des eaux industrielles aux réseaux d'eaux domestiques complique considérablement le traitement des effluents dans la station d'épuration.
- L'existence de réseaux d'assainissement unitaires, qui collectent à la fois les eaux usées domestiques et les eaux pluviales, pose des défis techniques importants, car les eaux pluviales diluent les effluents et, lors des orages, entraînent des eaux boueuses riches en sable et en débris, perturbant ainsi le processus de traitement.

I.2 Echantillonnage et méthodes d'analyses

I.2.1. Durée du stage

Dans le cadre de notre travail, les prélèvements des échantillons et les analyses des eaux ont été réalisés sur la période allant de janvier à avril 2025.

Les prélèvements à l'entrée et à la sortie de la station d'épuration (STEP) pour l'analyse des paramètres physiques sont effectués quotidiennement. En revanche, les paramètres chimiques sont analysés à partir d'un prélèvement hebdomadaire, soit quatre prélèvements par mois. Les résultats obtenus sont ensuite moyennés pour représenter la valeur mensuelle de chaque paramètre.

Les analyses physico-chimiques ont été effectuées au laboratoire de la station d'épuration (STEP) de Bordj Bou Arreridj. Les dosages des cations et des anions ont été réalisés au laboratoire de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (SNV) de l'Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi de Bordj Bou Arreridj. Quant aux analyses du sodium et du potassium, elles ont été effectuées au sein du laboratoire privé « El-SIHA ».

I.2.2. Techniques de prélèvement

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté, Il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation des données. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physicochimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension...etc.) (Rodier et al., 2005)

Dans la station d'épuration de Bordj Bou Arreridj, les échantillons d'eau usée sont prélevés manuellement, à l'aide de récipients ou de flacons, aussi bien à l'entrée qu'à la sortie de la STEP. Lorsque les analyses ne sont pas réalisées immédiatement, les échantillons sont conservés à une température de 4 °C, puis analysés dans un délai de 24 heures ou jusqu'à 7 jours pour certains paramètres, afin de prévenir toute altération de leurs caractéristiques physico-chimiques.

I.2.3. Méthodes d'analyse physico-chimique des eaux

I.2.3.1 Mesure du pH

Pour la détermination de l'acidité, la neutralité ou la basicité de l'eau, l'appareil utilisé consiste en un pH mètre relié à une électrode. Ce dernier s'étalonne d'abord dans des solutions tampons de pH 7 et 4 puis introduit dans l'eau à analyser. (Rodier et al, 2005)

I.2.3.2. Mesures de la température, de la salinité et de la conductivité électrique

Les mesures de la température, de la salinité et de la conductivité électrique sont réalisées à l'aide d'un conductimètre. L'électrode de l'appareil est d'abord rincée plusieurs fois à l'eau distillée afin d'éviter toute contamination. Elle est ensuite immergée dans un récipient contenant l'échantillon à analyser, en veillant à ce qu'elle soit entièrement plongée pour garantir une mesure précise. Le conductimètre utilisé est équipé d'un thermomètre intégré, ce qui permet l'enregistrement simultané de la température (**Rodier et al., 2009**).

I.2.3.3. Mesure de la matière en suspension (MES)

La matière en suspension se détermine par un spectrophotomètre et les résultats sont exprimés en mg/l.

I.2.3.4. Demande Chimique en Oxygène (DCO)

Mesurer la quantité équivalente d'oxygène nécessaire à l'oxydation de la matière organique par un spectrophotomètre, les résultats sont exprimés en mg/l.

I.2.3.5. Demande Biologique en Oxygène (DBO₅)

C'est une méthode qui utilise un DBO mètre de marque DBO Sensor à affichage numérique, qui se fixe directement sur le flacon DBO, Il permet de mesurer la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes pour dégrader la matière organique dans l'eau. Le système de mesure comprend les composants suivants : plates formes d'agitation, flacons à échantillon et tête (testeur) de mesure (figure 02), les résultats sont exprimés en mg/l.

I.2.3.6. L'analyse de (PO_4^{-3})

C'est la mesure de la quantité de phosphate présente dans l'eau brute et épurée par un spectrophotomètre, les résultats sont exprimés en mg/l.

I.2.3.7. Dosage de Nitrite (NO_2^-)

C'est la mesure de la quantité de nitrite présente dans l'eau brute et épurée à l'aide d'un spectrophotomètre, les résultats sont exprimés en mg/l.

I.2.3.8. Dosage de Nitrate (NO_3^-)

C'est la mesure de la quantité de nitrate présente dans l'eau épurée par un spectrophotomètre, les résultats sont exprimés en mg/l.

I.2.3.9. L'analyse de calcium (Ca^{2+}) et de magnésium (Mg^{2+}) :

Le calcium est dosé avec une solution aqueuse d'E.D.T. A à pH compris entre 12 - 13. Ce dosage se fait en présence de MUREXIDE. L'E.D.T. A réagi tout d'abord avec les ions de calciums libres, puis avec les ions calcium combiné avec l'indicateur qui vire alors de la couleur rouge à la couleur violet.

I.2.3.10. L'analyse des carbonates et bicarbonates (CO_3^{2-} et HCO_3^-) :

Les carbonates n'existant qu'à $pH > 8,3$ et les bicarbonates si le pH est compris entre 4,4 et 8,3. Au cours d'un dosage cimérique doublé d'une mesure de pH, à quel moment ces ions sont encore présents ou non dans l'échantillon.

I.2.3.11. L'analyse de sulfates (SO_4^{2-})

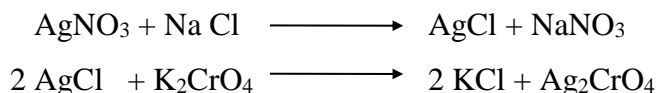
Le sulfate est précipité en milieu faiblement acide par les ions de baryum. Le sulfate de baryum obtenu est pesé. La solution est acide de manière à éviter la formation d'un précipité de $Ba(OH)_2$:



I.2.3.12. L'analyse des chlorures (Cl^-)

On fait agir en milieu neutre, $pH = 6.7$ ou 7 , une solution à titrer de nitrate d'argent sur une prise d'essai connue de solution titrée de chlorure de sodium.

La réaction se fait en présence de chromate de potassium.



Les ions argent réagissent préférentiellement avec les ions chlorure. Lorsque tous les ions chlorure sont consommés, les ions argent réagissent avec les ions chromate. L'ion chromate est un indicateur coloré de fin de réaction.

On dosera donc une solution d'ions chlorure à l'aide d'une solution de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. Ce dernier donnera un précipité rouge lorsque l'équivalence sera atteinte (quand tous les ions chlorures auront réagi). Le chromate d'argent est plus soluble que le chlorure d'argent.

I.3. Classification des eaux d'irrigation

Afin d'interpréter les résultats des analyses, nous avons utilisé le Logiciel d'Hydrochimie, qui permet de classer les eaux selon leur faciès chimique, leur aptitude à la consommation ou à l'irrigation, et de générer divers diagrammes hydro chimiques tels que ceux de Piper, Riverside, Richards ou Wilcox. L'utilisation de ces représentations graphiques

facilite grandement la classification et la comparaison des eaux naturelles. La réalisation des diagrammes a été effectuée à l'aide du logiciel « Diagrammes », spécialement conçu pour le traitement des données hydro chimiques (Agaoui, 2004) et (Simler, 2007).

Résultats et discussion

II. Résultats et discussion

L'objectif principale de ce travail est d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux traitées et voire la possibilité de réutilisation dans l'irrigation.

II.1. Etude des paramètres physico-chimiques

Il est important de signaler que les analyses faisant l'objet de ce travail ont été réalisées durant la période allant de janvier jusqu'à avril 2025. Afin d'évaluer les performances et le rendement épuratoire de la station de BBA, cette étude a été étendue à d'autres mois, allant de mai à décembre 2024, afin d'obtenir une évaluation plus fiable.

II.1.1. Température

Le tableau 02 représente les résultats de la température obtenus durant la période de Janvier jusqu'à Avril 2025.

Les valeurs de la température de l'eau traitée varient de 14,8 à 19,1 avec une moyenne de 16,22°C. Tandis que les valeurs de la température de l'eau brute varient de 15,7 à 19,3, avec une moyenne de 16,7°C. Ces valeurs relativement basses sont cohérentes avec la température atmosphérique observée durant la saison. De plus, le passage de l'eau dans les canalisations souterraines contribue à son refroidissement avant son arrivée à la station de traitement. La température de l'eau influence les processus biologiques dans la STEP, notamment l'activité des bactéries dans les bassins d'aération (**Henze,2008**).

Tableau 2 : Les résultats de la température obtenus durant la période de Janvier jusqu' à Avril 2025.

Les mois	T(°C) Entrée	T (°C) Sortie
Janvier	15,7	15,6
Février	15,8	14,8
Mars	16	15,4
Avril	19,3	19,1

La figure 03 représente la variation mensuelle de la température de l'eau à l'entrée et à la sortie de la STEP. D'après les résultats obtenus, les valeurs de la température de l'eau brute, se situent dans un intervalle qui varie de 12,5 à 28 avec une moyenne de 20,17°C.

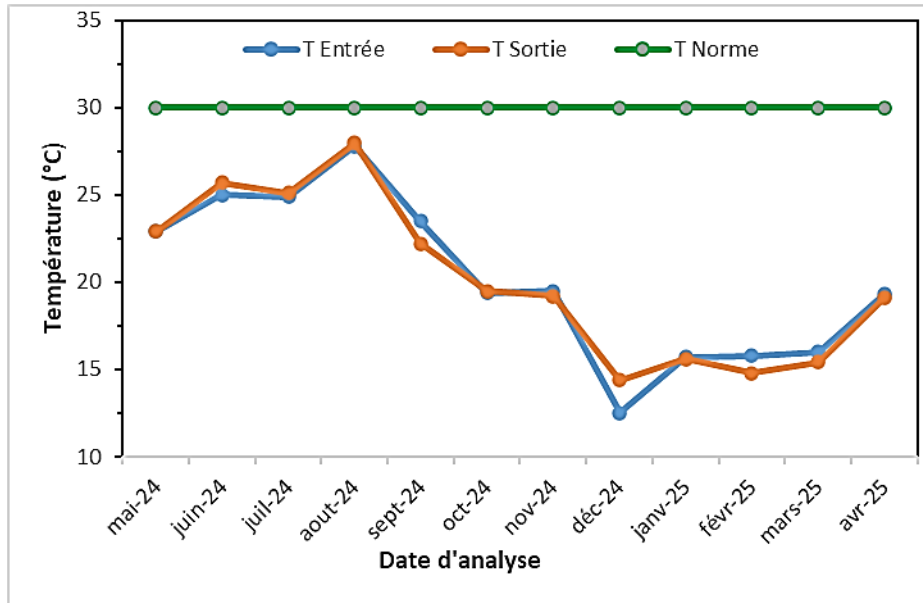


Figure 3 : Variation mensuelle de la température à l'entrée et à la sortie de la STEP, (Période de mai 2024 à avril 2025)

Les températures de l'eau traitée varient de 14,4 à 28, avec une moyenne de 20,16 °C. Ces valeurs, proches des températures ambiantes, dépendent de l'heure de prélèvement. L'élévation de la température au cours du temps est influencée par la température atmosphérique (Houasni et Bensmaili, 2017).

Suivant les résultats observés, la température des eaux au niveau de la STEP est généralement basse et respecte la norme algérienne (30 °C).

II.1.2. Potentiel d'Hydrogène

Le tableau 03 représente les résultats du pH obtenus durant la période de Janvier jusqu'à Avril 2025.

Les valeurs du pH de l'eau brute varient de 6,5 à 8,65, avec une moyenne de 7,64. Tandis que les valeurs du pH de l'eau traitée varient de 6,6 à 8,95, avec une moyenne de 7,71. Les valeurs du pH à l'entrée de la station au cours des mois de mars et avril dépassent la limite maximale fixée par la norme. En revanche, les valeurs du pH de l'eau traitée restent conformes à la norme gravitant autour de 6,5 à 8,5, à l'exception du mois de mars.

Tableau 3 : Les résultats du pH obtenus durant la période de Janvier jusqu'à Avril

Les mois	PH Entrée	PH Sortie
Janvier	6,87	7,04
Février	6,5	6,6
Mars	8,65	8,95
Avril	8,54	8,24

La figure 04 représente la variation mensuelle du pH de l'eau à l'entrée et à la sortie de la STEP. D'après les résultats obtenus, les valeurs du pH de l'eau brute, se situent entre 6,5 et 8,65 avec une moyenne de 7,81, Cette moyenne respecte les normes algériennes. Aussi le pH de l'eau traitée, se situent dans un intervalle de 6,5 à 8,95, avec une moyenne de 7,84 cette moyenne se situe dans l'intervalle des normes algériennes.

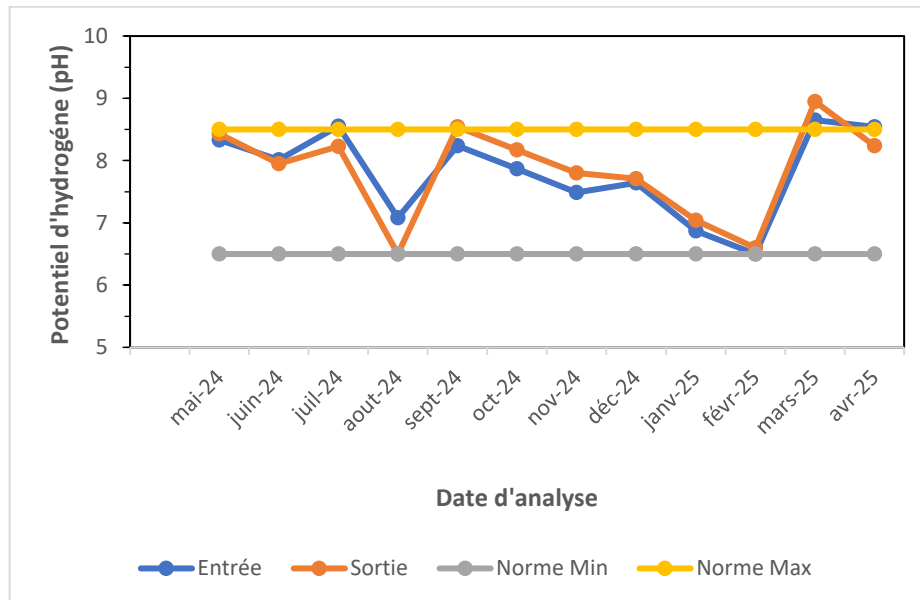


Figure 4 : Variation mensuelle du pH à l'entrée et à la sortie de la STEP, (Période de mai 2024 à avril 2025)

Nous observons à l'entrée, que les pH des mois de juillet 2024, mars et avril 2025 dépassent la norme maximale de 8,50, ceci est dû aux matériaux non contrôlés tels que le déchet industriel alcalins qui entrent à la STEP.

Les micro-organismes présents dans l'eau se développent généralement dans une plage de pH comprise entre 6,5 et 8,5. Un pH en dehors de cet intervalle peut nuire à leur croissance ainsi qu'à leur survie (Metcalf, 2014).

II.1.3. Conductivité Electrique (CE)

Le tableau 04 représente les résultats de la conductivité obtenus durant la période de Janvier jusqu'à Avril 2025.

Tableau 4 : Les résultats de la conductivité obtenus durant la période de Janvier Jusqu'à Avril 2025.

Les mois	CE(μS/cm) Entrée	CE(μS/cm) Sortie
Janvier	2430	2110
Février	3210	2930
Mars	2960	2330
Avril	1909	1693

Les valeurs de la conductivité de l'eau brute varient de 1909 à 3210, avec une moyenne de 2627μS/cm. Tandis que les valeurs de la conductivité de l'eau traitée varient de 1693 à 2930, avec une moyenne de 2265μS/cm. Les valeurs de la conductivité des eaux brutes et traitées sont supérieures à la norme algérienne, fixée à 1500 μS/cm.

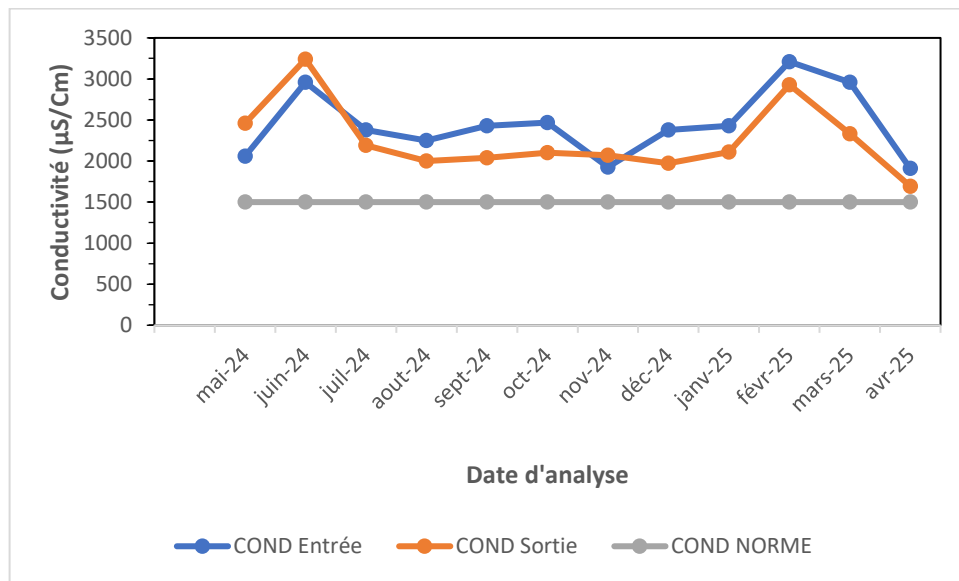


Figure 5 : Variation mensuelle de la conductivité à l'entrée et à la sortie de la STEP, (Période de mai 2024 à avril 2025)

L'ensemble des résultats illustrés dans la figure 05 présente les valeurs mensuelles de la conductivité relevées à l'entrée et à la sortie de la STEP. Ces valeurs dépassent la norme algérienne.

La conductivité élevée des eaux usées est principalement due à la forte concentration en sels dissous, souvent liée aux rejets industriels et domestiques (Metcalf, 2014). Cela

dépasse fréquemment les normes environnementales et peut altérer les processus biologiques d'épuration.

II.1.4. Oxygène dissous (OD)

Le tableau 05 représente les résultats de l'oxygène dissous obtenus durant la période de Janvier jusqu'à Mai 2025.

Les valeurs de l'oxygène dissous de l'eau brute varient de 0 à 0,17, avec une moyenne de 0,135mg/l. Tandis que les valeurs de l'oxygène dissous de l'eau traitée varient de 0,02, à 0,98, avec une moyenne de 0,42 mg/l. Nous observons que les valeurs des concentrations en oxygène dissous des eaux traitées sont élevées par rapport aux eaux brutes.

Tableau 5 : Les résultats de l'oxygène dissous obtenus durant la période de Janvier jusqu'à Mai 2025.

Les mois	OD (mg/l) Entrée	OD (mg/l) Sortie
Janvier	0,1	0,63
Février	0	0,05
Mars	0	0,02
Avril	0,17	0,98

La figure 06 représente les variations mensuelles des concentrations en oxygène dissous à l'entrée et à la sortie de la STEP. D'après les résultats obtenus, nous remarquons que les teneurs en oxygène dissous des eaux brutes de la STEP, se trouvent dans un intervalle qui varie de 0, à 1,92 avec une moyenne de 0,46 mg/l. Pour les teneurs en oxygène dissous des eaux traitées, elles se situent dans un intervalle qui s'étale de 0,02 à 3,4 avec une moyenne de 0,94 mg/l.

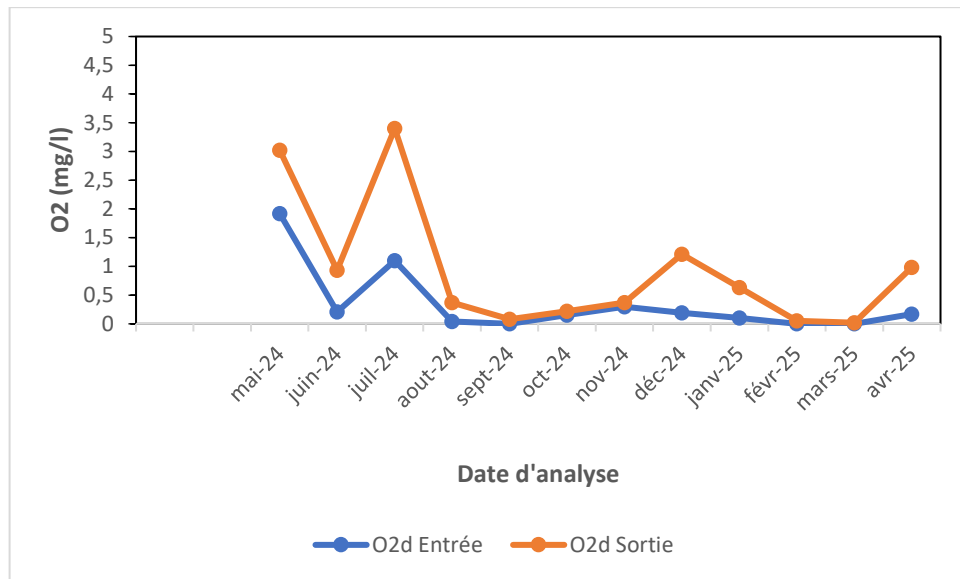


Figure 6 : Variation mensuelle de l’oxygène dissous à l’entrée et à la sortie de la STEP, (Période de mai 2024 à avril 2025).

Nous notons une augmentation des valeurs moyennes mensuelles des concentrations en oxygène des eaux traitées par rapport aux eaux brutes, cette augmentation peut être expliquée par la présence de l'aération artificielle au niveau de la STEP. Les valeurs obtenues se révèlent inférieures à celles rapportées par **Hallouche et Rouabah (2022)** à la STEP de Ain Taghrout, où une concentration moyenne de 3,33 mg/l a été enregistrée dans les eaux traitées. La faible teneur en oxygène dissous dans les eaux usées s’explique principalement par une forte charge organique, qui augmente la consommation d’oxygène par les micro-organismes, ainsi que par une aération insuffisante, la présence de polluants réducteurs, tel que l’ammoniac et sulfures, contribue également à cette diminution (**Metcalf, 2014**).

II.1.5. Matières en suspension (MES)

Le tableau 06 représente les résultats obtenus de la MES durant la période de Janvier jusqu’à Mai 2025.

Les valeurs de la MES de l’eau brute varie de 489 à 593,5, avec une moyenne de 525,125 mg/l. Tandis que les valeurs de la MES de l’eau traitée varie de 61, à 165, avec une moyenne de 96,4 mg/l. Les concentrations de la MES de l’eau brute et traitée sont élevés et dépassent la norme algérienne (45 mg/l).

Tableau 6 : Les résultats de la MES obtenus durant la période de Janvier jusqu'à Avril

Les mois	MES (mg/l) Entrée	MES (mg/l) Sortie
Janvier	508	61
Février	489	96,5
Mars	510	165
Avril	593,5	63

La figure 07 représente la variation mensuelle de la concentration de la matière en suspension de l'eau à l'entrée et à la sortie de la STEP.

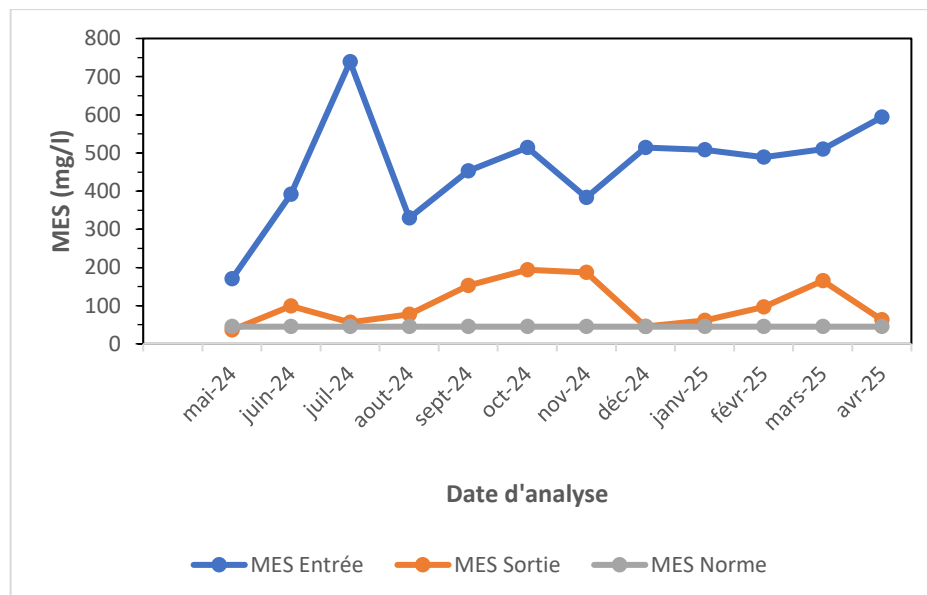


Figure 7 : Variation mensuelle de la MES à l'entrée et à la sortie de la STEP, (Période de mai 2024 à avril 2025).

D'après les résultats obtenus, les concentrations de la MES de l'eau brute sont élevées, se situant dans un intervalle qui varie de 170 à 739 avec une moyenne de 466,23 mg /l. Cependant, les concentrations de l'eau traitée, s'étale sur un intervalle qui varie de 36 à 194 avec une moyenne de 102,71 mg/l.

Les concentrations en MES mesurées à l'entrée et à la sortie de la STEP dépassent la limite fixée par la norme algérienne (45mg/l), ce qui s'explique par une charge élevée en matières organiques, solides en suspension et débris provenant des rejets domestiques, industriels ou de ruissellement urbain. Toutefois, les valeurs relevées dans l'eau traitée sont

inférieures à celles des eaux brutes, ce qui témoigne de l'efficacité du système d'épuration de la STEP(Rodier,2009).

II.1.6. Demande Biologique en Oxygène (DBO₅)

Le tableau 7 représente les résultats obtenus de la DBO₅ durant la période de Janvier jusqu'à Avril 2025.

Les valeurs de la DBO₅ de l'eau brute varient de 290,3 à 548,7, avec une moyenne de 432,25 mg/l. Tandis que les valeurs de la DBO₅ de l'eau traitée varient de 65,3, à 95,8, avec une moyenne de 79,3 mg/l. Les valeurs de la DBO₅ de l'eau traitée ne respectent pas la norme algérienne.

Tableau 7 : Les résultats de la DBO₅ obtenus durant la période de Janvier jusqu'à Avril

Les mois	DBO ₅ (mg/l) Entrée	DBO ₅ (mg/l) Sortie
Janvier	419,8	65,3
Février	548,7	75,7
Mars	470,2	95,8
Avril	290,3	80,3

La figure 08 représente la variation mensuelle de la concentration de la demande biologique en oxygène de l'eau à l'entrée et à la sortie de la STEP.

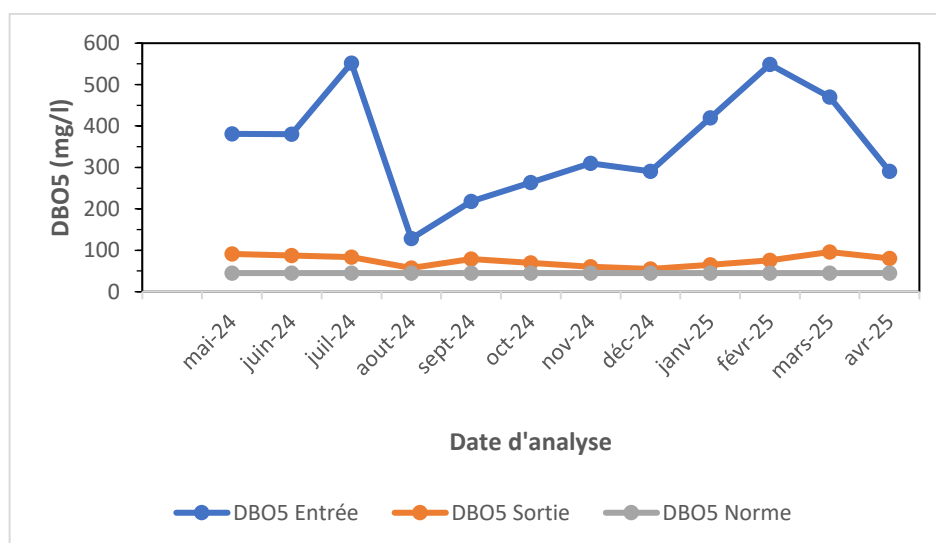


Figure 8 : Variation mensuelle de la DBO₅ à l'entrée et à la sortie de la STEP, (Période de mai 2024 à avril 2025).

D'après les résultats obtenus, les concentrations de DBO₅ de l'eau brute, se situent dans un intervalle qui débute de 128,20 à 552,20, avec une moyenne de 354,45 mg/l. Les concentrations en DBO₅ de l'eau traitée, s'étale sur un intervalle qui varie de 54,9 à 95,8 avec une moyenne de 74,96 mg/l, ces valeurs dépassent la norme algérienne (45 mg /l).

Une diminution notable de la DBO₅ est observée après traitement, bien que les valeurs restent supérieures à la norme algérienne. Cette concentration élevée s'explique par une forte charge en matières organiques biodégradables issues des rejets domestiques et industriels, favorisant une activité microbienne intense et, par conséquent, une demande accrue en oxygène pour leur dégradation.

II.1.7. Demande Chimique en Oxygène (DCO)

Le tableau 8 représente les résultats obtenus de la DCO durant la période de Janvier jusqu'à Avril 2025.

Les valeurs de la DCO de l'eau brute varient de 902,4 à 1670, avec une moyenne de 1264,1 mg/l. Tandis que les valeurs de la DCO de l'eau traitée varient de 164,3, à 329, avec une moyenne de 226,32 mg/l. Les valeurs de la DCO de l'eau ne respectent pas la norme Algérienne établie à 120 mg/l.

Tableau 8 : Les résultats de la DCO obtenus durant la période de Janvier jusqu'à Avril 2025.

Les mois	DCO (mg/l) Entrée	DCO (mg/l) Sortie
Janvier	1284	234
Février	1200	178
Mars	1670	329
Avril	902,4	164,3

La figure 9 représente la variation mensuelle de la concentration de la demande chimique en oxygène de l'eau, à l'entrée et à la sortie de la STEP.

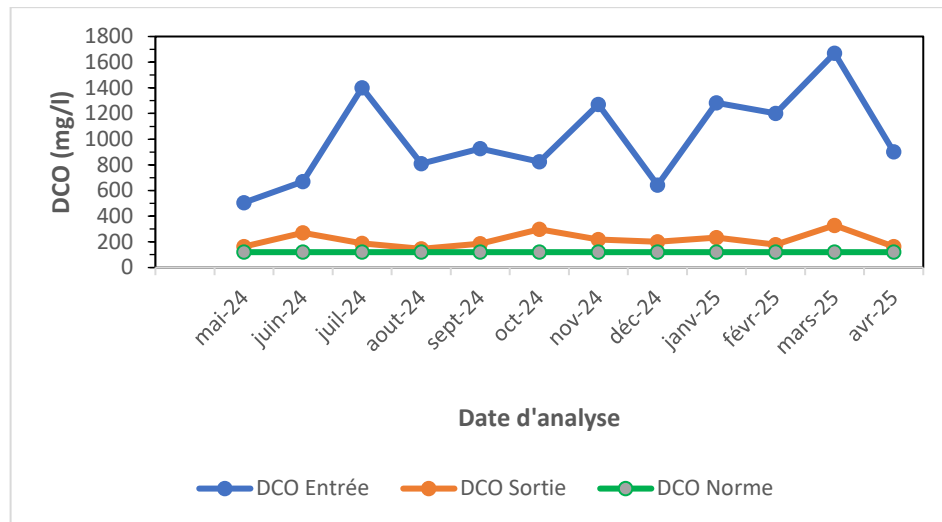


Figure 9 : Variation mensuelle de la DCO à l'entrée et à la sortie de la STEP, (Période de mai 2024 à avril 2025).

D'après les résultats obtenus dans la figure 9, nous remarquons que les valeurs de la concentration de la DCO des eaux brutes de la STEP, se situent dans un intervalle qui varie de 506 à 1670, avec une moyenne de 1009mg/l. Les valeurs de la concentration de la DCO des eaux traitées, se situent dans un intervalle qui s'étend de 146 à 329 avec une moyenne de 215 mg/l.

Suite à ces résultats, une diminution notable de la DCO est observée après traitement, bien que les valeurs restent supérieures à la norme algérienne. Cette concentration élevée s'explique par une forte charge en matières organiques non biodégradables, provenant principalement des rejets industriels et domestiques, qui sont difficilement éliminées par les procédés biologiques classiques (Rodier, 2009).

II.1.8. Nitrite (NO_2^-)

Le tableau 9 représente les résultats de NO_2^- obtenus durant la période de Janvier jusqu'à Avril 2025.

Les valeurs de NO_2^- de l'eau brute varient de 0,026 à 0,49, avec une moyenne de 0,662 mg/l. Tandis que les valeurs de NO_2^- de l'eau traitée varient de 0,004, à 0,17, avec une moyenne de 0,078 mg/l.

Tableau 9 : Les résultats de NO_2^- obtenus durant la période de Janvier jusqu'à Avril 2025.

Les mois	NO_2^- (mg/l) Entrée	NO_2^- (mg/l) Sortie
Janvier	0,029	0,004
Février	0,49	0,17
Mars	0,12	0,12
Avril	0,026	0,02

La figure 10 représente la variation mensuelle de la teneur en NO_2^- à l'entrée et à la sortie de la STEP. D'après les résultats obtenus, nous remarquons que les concentrations en NO_2^- des eaux brutes, ne dépassent pas les normes, en effet elles varient entre 0 et 0,49, avec une moyenne de 0,066 mg/l. De même, les concentrations en NO_2^- dans les eaux traitées varient entre 0,002 et 0,17, avec une moyenne de 0,06 mg/l. Selon les résultats observés, la teneur en nitrites au niveau de la STEP demeure largement inférieure à la norme algérienne fixée à 1 mg/l, ce qui est lié à l'efficacité du processus de nitrification, permettant une oxydation rapide des nitrites en nitrates dans des conditions aérobies favorables (Tchobanoglous, 2003).

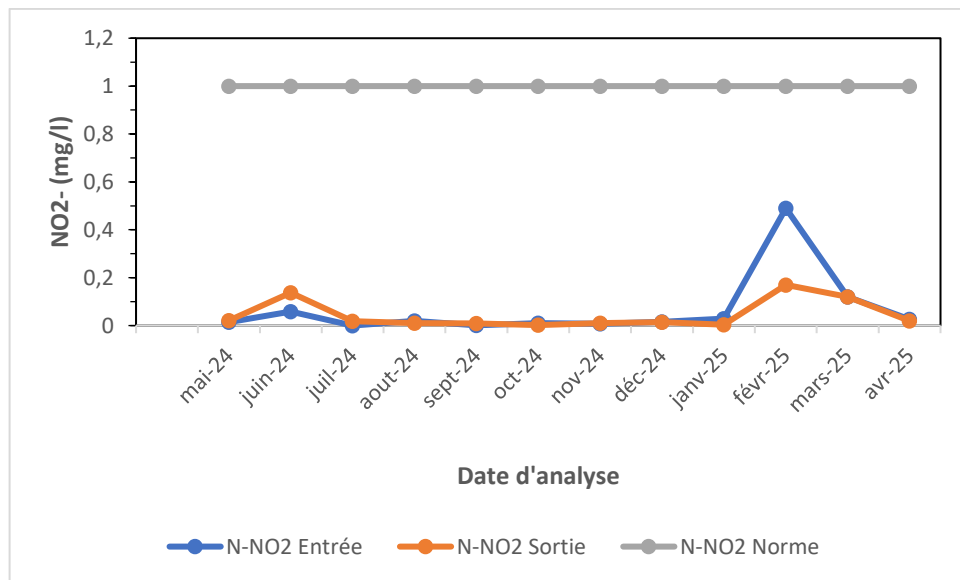


Figure 10 : Variation mensuelle de NO_2^- à l'entrée et à la sortie de la STEP, (Période de mai 2024 à avril 2025).

II.1.9. Nitrate (NO₃⁻)

Le tableau 10 représente les résultats obtenus de NO₃⁻ durant la période de Janvier jusqu'à Avril 2025.

Les valeurs de NO₃⁻ de L'eau brute varient de 1,32 à 7,6, avec une moyenne de 3,76 mg/l. Tandis que les valeurs de NO₃⁻ de l'eau traitée varient de 1,1, à 1,5, avec une moyenne de 1,28 mg/l.

Tableau 10 : Les résultats de NO₃⁻ obtenus durant la période de Janvier jusqu'à Avril 2025.

Les mois	NO₃⁻ (mg/l) Entrée	NO₃⁻ (mg/l) Sortie
Janvier	7,6	1,2
Février	2,12	1,5
Février	1,32	1,33
Mars	4	1,1

La figure 11 représente la variation mensuelle de la teneur en NO₃⁻ à l'entrée et à la sortie de la STEP, D'après les résultats obtenus, nous remarquons que les concentrations de NO₃⁻ des eaux brutes s'étale entre 1,32 et 8,4, avec une moyenne de 5,28 mg/l, De même, les valeurs de la concentration en NO₃⁻ des eaux traitées, se situent dans un intervalle de 1 à 2,4, avec une moyenne de 1,64 mg/l, mg/l, Ces valeurs restent inférieures à la limite fixée par la norme algérienne (10 mg/l).

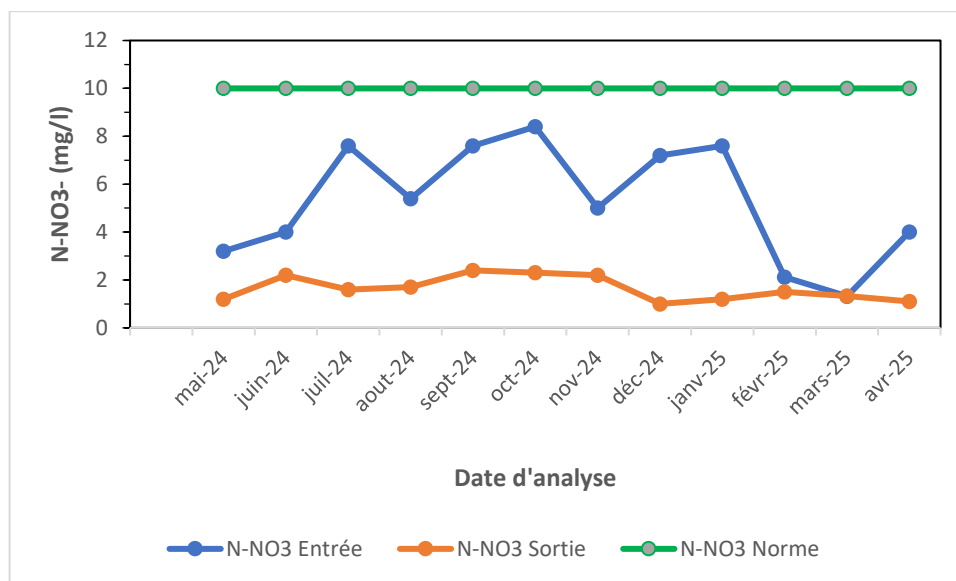


Figure 11 : Variation mensuelle de NO_3^- à l'entrée et à la sortie de la STEP, (Période de mai 2024 à avril 2025).

II.1.10. Matières phosphorées (PO_4^{-3})

Le tableau 11 représente les résultats obtenus de la matière phosphorées durant la période de Janvier jusqu'à Avril 2025.

Les valeurs de la matière phosphorée de l'eau brute varient de 9,3 à 20,72, avec une moyenne de 14,56 mg/l. Tandis que les valeurs de la matière phosphorée de l'eau traitée varient de 2,8, à 14 avec une moyenne de 8,6 mg/l.

Tableau 11 : Les résultats de la matière phosphorées obtenus durant la période de Janvier jusqu'à Avril 2025.

Les mois	PO_4^{-3} (mg/l) Entrée	PO_4^{-3} (mg/l) Sortie
Janvier	15,13	10,98
Février	20,72	14
Mars	13,1	6,64
Avril	9,3	2,8

La figure 12 représente la variation mensuelle de PO_4^{-3} à l'entrée et à la sortie de la STEP. D'après les résultats obtenus, nous remarquons que la concentration de PO_4^{-3} des eaux brutes, se trouve dans un intervalle de 3,54 mg /l a 20,72 avec une moyenne de 10,66 mg/l. Les valeurs de la concentration de PO_4^{-3} de l'eau traitée, se situent dans un intervalle de 1,26 à 14 avec une moyenne de 5,91 mg/l.

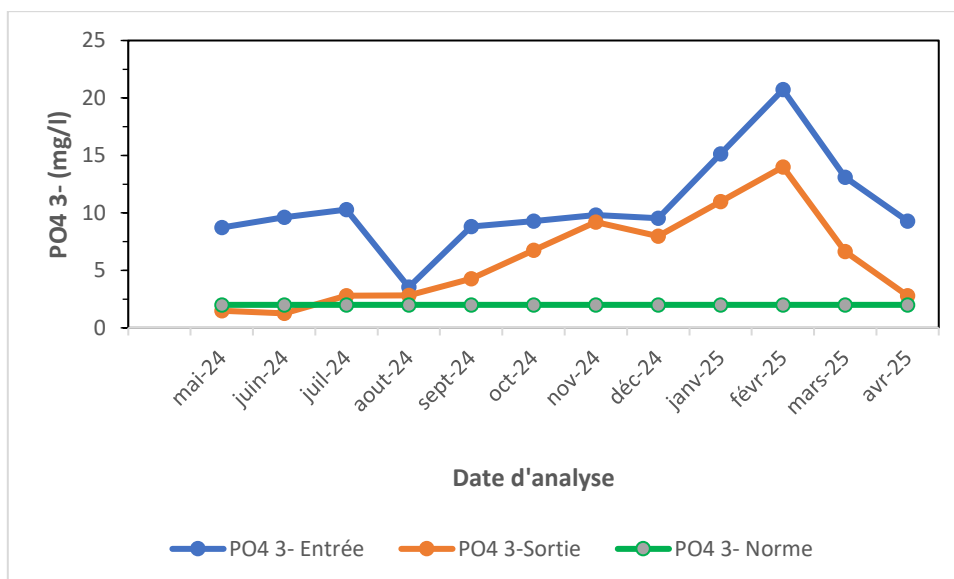


Figure 12 : Variation mensuelle de PO_4^{-3} à l'entrée et à la sortie de la STEP, (Période de mai 2024 à avril 2025).

Suite à ces résultats, nous constatons que les concentrations en PO_4^{-3} à l'entrée et à la sortie de la STEP dépassent la norme de l'OMS (2 mg/l), à l'exception des mois de mai et juin 2024. Cette situation peut s'expliquer par le déversement d'eaux usées domestiques riches en détergents phosphatés, souvent utilisés dans les produits ménagers. Il est à noter que les concentrations en phosphore dans l'eau traitée restent néanmoins inférieures à celles mesurées dans les eaux brutes, indiquant une certaine efficacité du procédé d'épuration.

II.1.11. L'ammonium (NH_4^+)

Le tableau 12 représente les résultats de l'ammonium obtenus durant la période de Janvier jusqu'à Mai 2025.

Les valeurs de l'ammonium de l'eau brute varient de 65 à 83 avec une moyenne de 75,75 mg/l. Tandis que les valeurs de l'ammonium de l'eau traitée varient de 34, à 53,4, avec une moyenne de 42,3 mg/l. Nous notons que les valeurs de l'ammonium de l'eau traitée sont inférieures des valeurs de l'eau brute.

Tableau 12 : Les résultats de l'ammonium obtenus durant la période de Janvier jusqu'à Avril 2025.

Les mois	NH ₄ ⁺ (mg/l) Entrée	NH ₄ ⁺ (mg/l) Sortie
Janvier	83	38,25
Février	75	43,5
Mars	80	53,4
Avril	65	34

La figure 13 représente la variation mensuelle de la concentration de l'ammonium de l'eau, à l'entrée et à la sortie de la STEP.

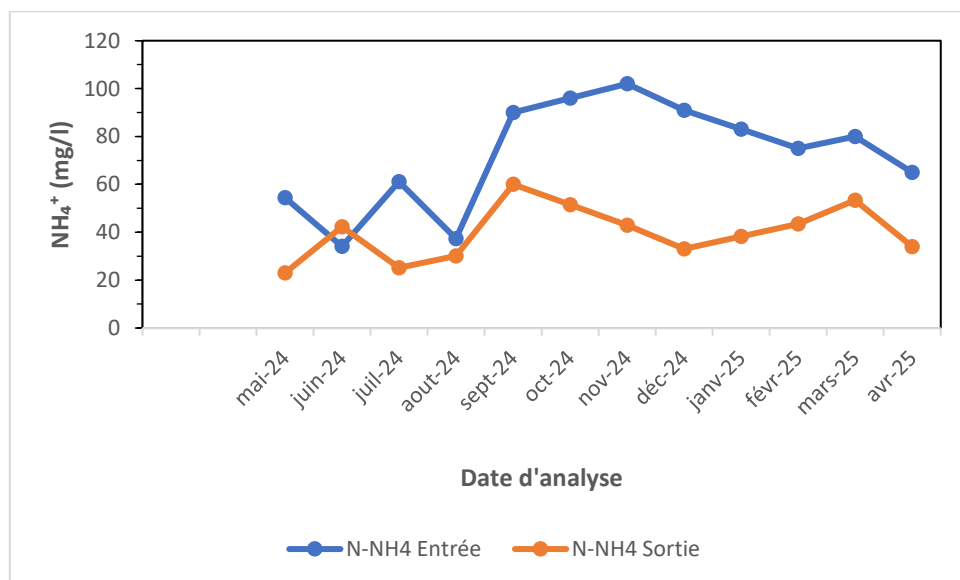


Figure 13 : Variation mensuelle de l'ammonium à l'entrée et à la sortie de la STEP, (Période de mai 2024 à avril 2025).

D'après les résultats obtenus dans la figure 13, nous remarquons que les valeurs de la concentration de l'ammonium des eaux brutes de la STEP, se situent dans un intervalle qui varie de 34,1 à 102, avec une moyenne de 72,4 mg/l. Les valeurs de la concentration de l'ammonium des eaux traitées, se situent dans un intervalle qui s'étend de 23 à 60 avec une moyenne de 39,8 mg/l.

À la lumière des résultats obtenus, il apparaît que les concentrations en ammonium dans les eaux traitées sont généralement inférieures à celles mesurées dans les eaux brutes, à l'exception du mois de juin 2024. Cette anomalie s'expliquerait par une pollution accrue d'origine industrielle durant cette période. Par ailleurs, les concentrations d'ammonium

dépassent largement la limite maximale autorisée de 10 mg/L, ce qui est probablement dû à une surcharge organique, un dysfonctionnement du système de traitement biologique ou une absence de traitement adéquat de l'azote ammoniacal (Metcalf, 2014).

II.1.12. La salinité

Le tableau 13 représente les résultats de la salinité obtenus durant la période de Janvier jusqu'à Mai 2025.

Les valeurs de la salinité de l'eau brute varient de 0,8 à 1,6, avec une moyenne de 1,25 g/l. Tandis que les valeurs de la salinité de l'eau traitée varient de 0,7, à 1,5, avec une moyenne de 1,075 g/l.

Tableau 13 : Les résultats de la salinité obtenus durant la période de Janvier jusqu'à Avril 2025.

Les mois	Sel (g/l) Entrée	Sel (g/l) Sortie
Janvier	1,1	0,9
Février	1,6	1,5
Mars	1,5	1,2
Avril	0,8	0,7

La figure 14 représente respectivement la variation mensuelle de la salinité de l'eau, à l'entrée et à la sortie de la STEP. D'après les résultats obtenus dans le tableau 13, nous remarquons que les valeurs la salinité des eaux brutes de la STEP, se situent dans un intervalle qui varie de 0,8 à 1,6, avec une moyenne de 1,1 g/l. Les valeurs des eaux traitées, se situent dans un intervalle qui s'étend de 0,7 à 1,7 avec une moyenne de 1,04 g/l.

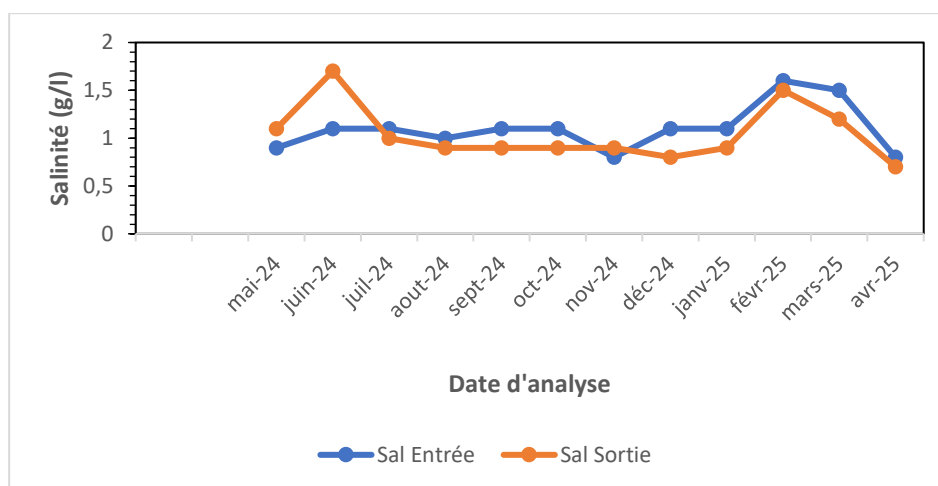


Figure 14 : Variation mensuelle de la salinité à l'entrée et à la sortie de la STEP, (Période de mai 2024 à avril 2025).

Il est observé que les valeurs de la salinité diminuent légèrement après le traitement des eaux usées, à l'exception des mois de mai, juin et novembre 2024, où une augmentation a été enregistrée. Cette élévation peut être attribuée à une baisse de l'efficacité du traitement durant ces périodes. Toutefois, les concentrations demeurent nettement en dessous de la limite réglementaire de 2 g/l fixée pour les solides dissous totaux (SDT).

II.2. État de la qualité des eaux en vue d'un usage agricole

Les concentrations des principaux éléments chimiques de l'eau traitée de la STEP de BBA sont présentées dans le tableau 14. Ces analyses ont été réalisées au laboratoire de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (SNV) de l'Université Mohamed El Bachir El Ibrahim, durant la période allant de janvier à avril 2025. Les analyses du sodium et du potassium ont été réalisées dans le laboratoire privé « El-SIHA ».

Tableau14 : Résultats des analyses chimiques de l'eau traitée obtenus durant la période de Janvier jusqu'à Avril 2025

Paramètre	Pr 1	Pr 2	Pr 3	Pr 4
Sodium (mg/l)	156,3	-	168,5	181
Potassium (mg/l)	2,0	-	1,5	1,0
Sulfate (mg/l)	327	329	350	339
Calcium (mg/l)	127,5	144	352	400
Magnésium (mg/l)	41,13	55	60	58,40
Chlorures (mg/l)	254	369	284	426
Bicarbonate (mg/l)	670	762	665	549
Carbonate (mg/l)	00	00	00	00

II.2.1. Faciès chimique des eaux (Diagramme de Piper)

Le diagramme de Piper permet de représenter le faciès chimique d'un ensemble d'échantillons d'eau. Il est composé de deux triangles permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique et d'un losange synthétisant le faciès global. Le diagramme de Piper est particulièrement adapté à l'étude de l'évolution des faciès des eaux lorsque la minéralisation augmente, ou bien pour comparer des groupes d'échantillons entre eux et indiquer les types de cations et anions dominants.

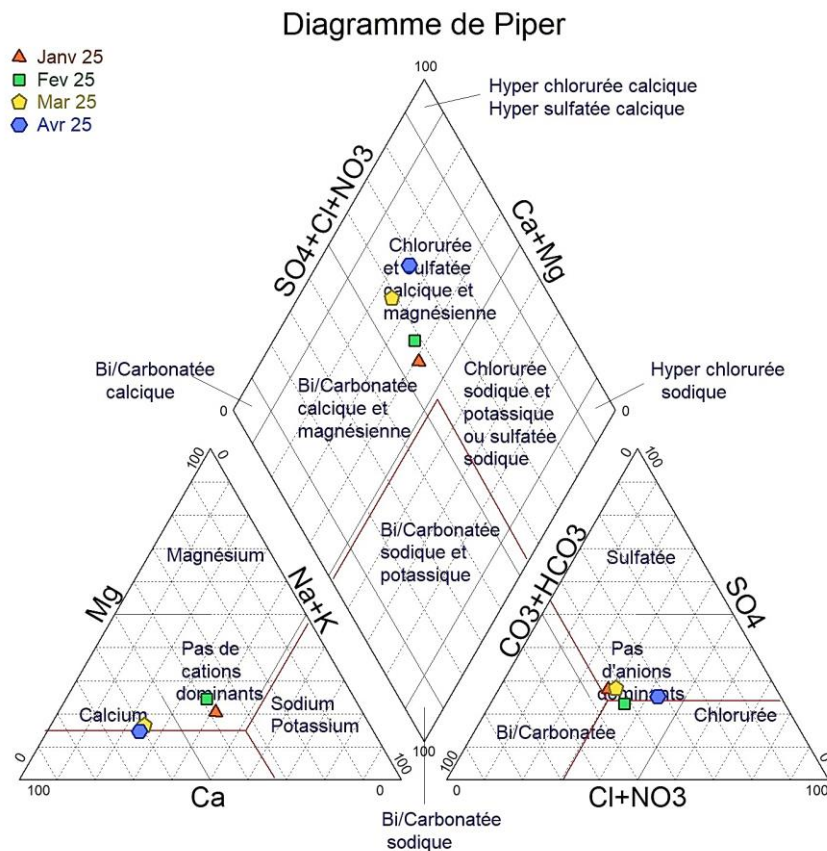


Figure 15 : Classification de l'eau traitée de la STEP selon le diagramme de Piper.

La projection des résultats des analyses des eaux traitées sur le diagramme de Piper (Fig. 15) révèle que leur composition chimique est dominée par un faciès chloruré et sulfaté, calcique et magnésien. Ce faciès hydro chimique demeure relativement stable au cours de la période d'étude (janvier à avril 2025), ce qui reflète une certaine régularité dans l'efficacité du traitement appliqué.

À forte concentration, le chlorure (Cl⁻) peut être toxique pour certaines cultures sensibles, telles que la vigne, les agrumes ou les légumineuses comme le haricot. Il est absorbé par les plantes, notamment par les feuilles, où il peut provoquer des nécroses, un jaunissement du

II.2.2.2. Diagramme de Richards

Le diagramme de Richards est en effet un diagramme de classification des eaux d'irrigation, basé sur les travaux de L.A. Richards (1954), qui combinent :

- La salinité, mesurée par la conductivité électrique (CE), classée de C1 à C4
- Le risque sodique, mesuré par le SAR, classé de S1 à S4

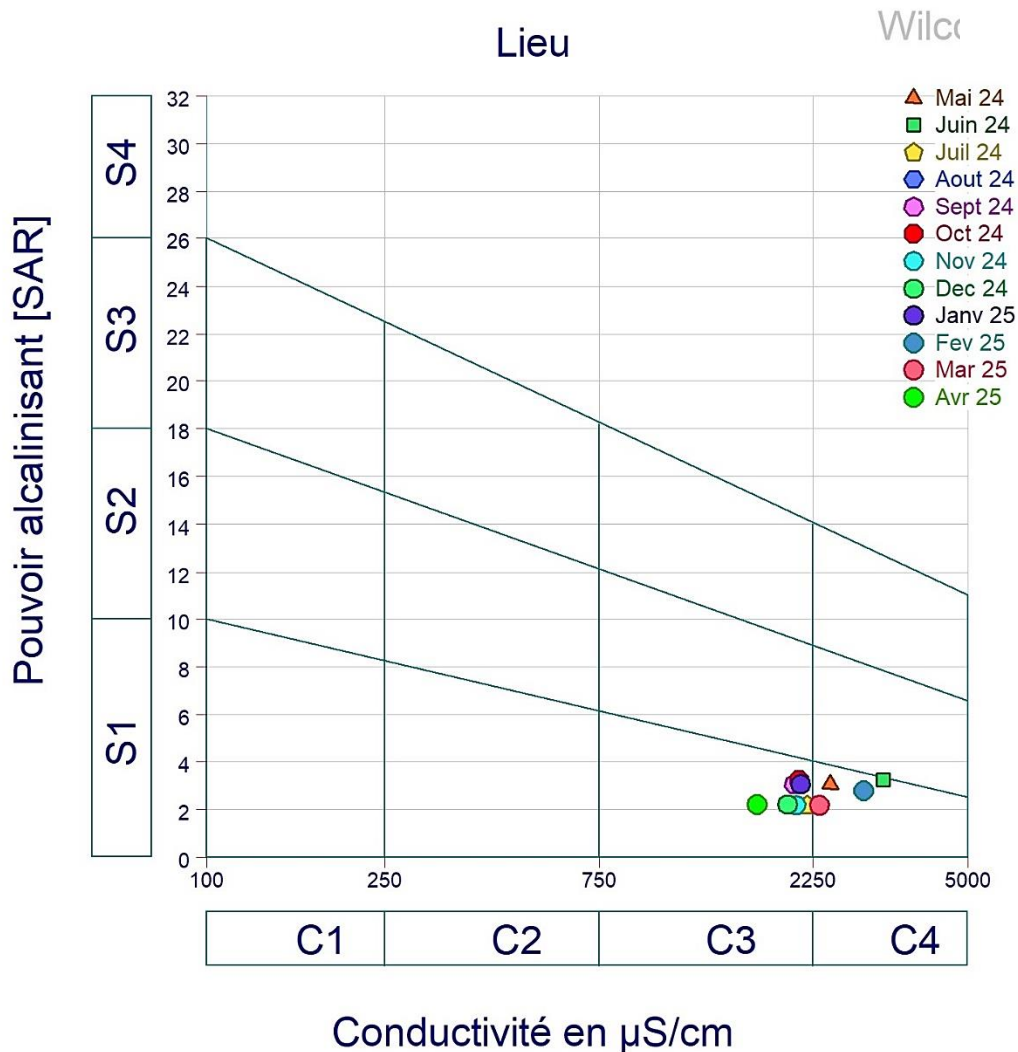


Figure 17: Classification de l'eau traitée de la STEP selon le diagramme de Richards

Le diagramme de classification des eaux d'irrigation selon Richards (Fig. 17) positionne les eaux traitées de la STEP dans deux catégories principales : C3-S1 et C4-S1.

- La classe C3-S1 correspond à une eau modérément saline, convenable pour l'irrigation de cultures tolérantes aux sels, à condition que le sol soit bien drainé. Toutefois, une surveillance régulière de la salinité est nécessaire afin d'éviter toute accumulation excessive de sels.

- La classe C4-S1 indique une eau fortement minéralisée, pouvant être utilisée uniquement pour certaines espèces très tolérantes au sel, et sur des sols bien drainés, afin de limiter les risques de salinisation.

II.2.2.3. Diagramme de Wilcox

Généralement, les plantes supportent mal les sols saturés en sodium. La classification de Wilcox fondée sur la conductivité électrique et la teneur en sodium dans l'eau, est définie

par la formule suivante :
$$\text{Na \%} = \frac{\text{Na}^+ \times 100}{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+)} \dots \dots \dots \text{eq02}$$

Tous les éléments sont exprimés en meq / l.

Cette classification définit cinq classes d'eau : -Excellente -Bonne -Admissible -Médiocre et -Mauvaise.

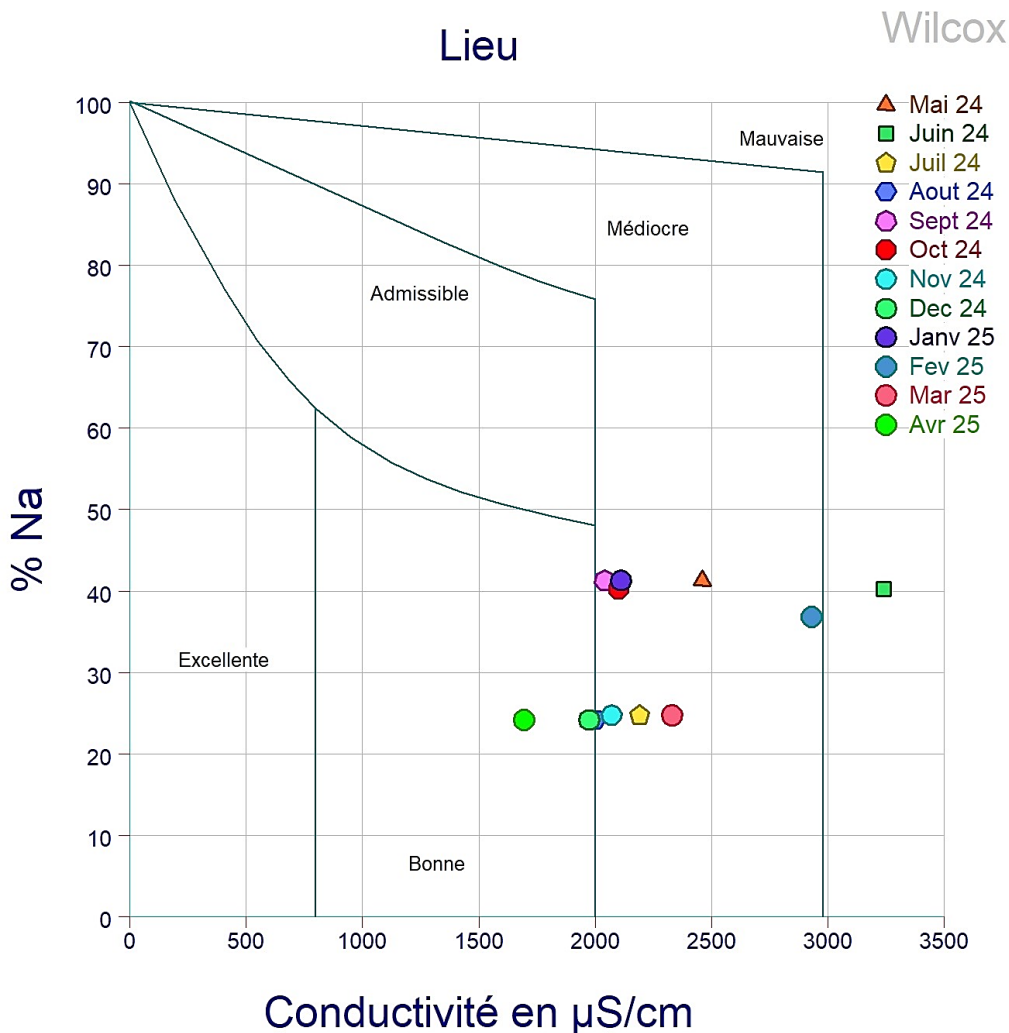


Figure 18: Classification de l'eau traitée de la STEP selon le diagramme de Wilcox.

D'après le diagramme de Wilcox (Figure 18), les eaux analysées peuvent être classées comme suit :

- Bonne qualité pour deux échantillons (décembre 2024 et avril 2025) ;
- Qualité médiocre pour la majorité des échantillons ;
- Mauvaise qualité pour l'échantillon de juin 2024.

Ces résultats indiquent une variabilité de la qualité de l'eau traitée de la STEP au cours du temps, avec une dégradation notable en juin 2024, probablement liée à une augmentation de la salinité, à l'accumulation de résidus, ainsi qu'à une diminution des précipitations. Cette évolution souligne la nécessité d'un suivi régulier afin d'ajuster l'utilisation de l'eau selon les périodes et les cultures.

II.2.3. Aptitude à l'irrigation

Pour estimer l'influence des eaux d'irrigation de notre zone d'étude sur le sol et sur certaines cultures pratiquées, nous allons essayer d'évaluer leur aptitude à l'irrigation. Pour cela nous avons utilisé plusieurs méthodes afin de les classer.

II.2.3.1. La salinité

D'après **Ayers, (1988)**, quand les eaux d'irrigation sont chargées en sels, ces derniers s'accumulent dans la zone racinaire après que la plante ait prélevé l'eau. Ces sels s'épaississent et limitent la disponibilité de l'eau dans le sol pour la culture.

Les directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation montrent que :

- Si la salinité exprimée par la conductivité en $\mu\text{s}/\text{cm}$ est inférieure à $700 \mu\text{s}/\text{cm}$, il n'y a aucune restriction pour l'irrigation ;
- Si la conductivité varie entre 700 et $3000 \mu\text{s}/\text{cm}$, la restriction pour l'irrigation est légère ;
- Si elle est supérieure à $3000 \mu\text{s}/\text{cm}$, la restriction pour l'irrigation est forte.

L'examen du tableau 04 et de la figure 5 révèle que la majorité des eaux traitées présentent une restriction légère à l'irrigation, tandis qu'une forte restriction est observée au mois de juin 2024. Dans de telles conditions, l'utilisation de ces eaux pour l'irrigation peut provoquer une accumulation progressive de sels dans le sol, compromettant la croissance des plantes sensibles. Cela nécessite un suivi rigoureux de la salinité du sol et de l'eau.

En cas de restriction légère, l'irrigation demeure possible pour la plupart des cultures, à condition de mettre en place une gestion appropriée, incluant un drainage efficace et un contrôle régulier des paramètres physico-chimiques, afin de limiter les risques de salinisation à long terme.

II.2.3.2. Rapport d'adsorption du sodium (SAR)

À partir des résultats présentés dans le tableau 15, nous avons calculé le rapport d'adsorption du sodium (SAR) pour les différents échantillons d'eau traitée prélevés durant la période de janvier à avril 2025. Les valeurs obtenues sont regroupées dans le tableau 13.

Tableau 15 : Valeurs du rapport d'adsorption du sodium (SAR) des eaux traitées

Paramètre	Pr 1	Pr 2	Pr 3	Pr 4
Sodium (meq/L)	6.80	-	7.33	7.87
Potassium (meq/l)	0.051	-	0.038	0.026
Calcium (meq/L)	6.36	7.19	17.56	19.96
Magnésium (meq/L)	3.38	4.53	4.94	4.81
SAR	3.08	-	2.18	2.24

Une valeur élevée du SAR indique une prédominance du sodium (Na^+) par rapport au calcium et au magnésium. Cette situation peut entraîner le développement d'un sol alcalin, caractérisé par une forte concentration en sodium et une perméabilité réduite. Le SAR est calculé à l'aide de l'équation n°1 (voir paragraphe II.2.2.1).

Tableau 16 : Classification du SAR

Niveau de risque sodique	Plage de valeurs du SAR
Faible	0 – 10
Moyen	10 – 18
Élevé	18 – 26
Très élevé	≥ 26

D'après les tableaux 16 et 17, toutes les eaux analysées présentent des valeurs de SAR inférieures à 10, ce qui indique qu'elles sont faiblement sodiques. Cela signifie que les prélèvements réalisés entre janvier et avril 2025 sont généralement adaptés à l'irrigation, en particulier sur des sols bien drainés.

II.2.3.3 Sodium

L'utilisation d'une eau d'irrigation à forte teneur en sodium entraîne généralement une accumulation progressive de sodium dans le sol. Cette accumulation peut altérer la structure

du sol et sa perméabilité, les effets dépendant en grande partie de la fréquence des irrigations (Ayers, 1985).

L'interprétation des résultats d'analyse (tableau 14) montre que toutes les eaux traitées prélevées entre janvier et avril 2025 présentent une légère restriction à l'irrigation, selon la classification basée sur la concentration en sodium (tableau 17).

Tableau 17 : Classification selon la teneur en sodium (Na⁺ en meq/l).

Restriction pour l'irrigation	Na ⁺ (meq/l)
Aucune	<3
Légère	3-9
Forte	>9

Conclusion

Conclusion

La synthèse des résultats obtenus montre que la station d'épuration (STEP) de Bordj Bou Arreridj assure une amélioration significative de la qualité de l'eau, notamment en termes de pH, nitrates, nitrites et salinité. Cependant, des dépassements importants persistent au niveau de certains paramètres organiques et minéraux (MES, DBO₅, DCO, CE, phosphates, ammonium), traduisant une pollution organique et une contamination azotée élevée.

Les niveaux d'oxygène dissous (OD) soient initialement faibles à cause de la forte charge organique et la présence de polluants réducteurs, une amélioration est observée après traitement, indiquant une meilleure oxygénation de l'eau, Sans toutefois atteindre régulièrement les valeurs idéales.

L'analyse globale des eaux traitées à travers les diagrammes de Piper, Riverside, Richards et Wilcox révèle une qualité chimique dominée par un faciès chloruré et sulfaté calcique-magnésien, stable durant la période d'étude. Selon Richards et Riverside, les eaux présentent un faible risque sodique En revanche leur salinité modérée à élever limite leur utilisation à des cultures tolérantes et uniquement sur des sols bien drainés.

. Le diagramme de Wilcox confirme cette tendance, révélant une qualité des eaux variant de bonne à médiocre, la majorité des échantillons se classant dans la catégorie médiocre, voire mauvaise en période sèche.

L'analyse globale des paramètres liés à la salinité, au rapport d'adsorption du sodium (SAR) et à la teneur en sodium indique que les eaux traitées présentent une qualité globalement acceptable pour l'irrigation. La salinité se situe majoritairement dans la zone de légère restriction, suggérant une utilisation prudente, notamment pour les cultures sensibles. Les valeurs de SAR inférieures à 10 révèlent un faible risque de modification des sols, tandis que la concentration en sodium (Na⁺), généralement comprise entre 3 et 9 meq/L, confirme une légère restriction. Ainsi, ces eaux peuvent être utilisées en irrigation à condition d'assurer un bon drainage du sol et un suivi régulier de la salinité afin d'éviter toute accumulation de sels à long terme.

L'un des principaux facteurs à l'origine des dysfonctionnements observés au niveau de la STEP de BBA réside dans les rejets industriels, qui devraient être préalablement traités au sein de chaque unité industrielle de la zone concernée. Toutefois, ces effluents sont souvent acheminés directement avec les eaux usées domestiques vers la STEP, ce qui altère le bon déroulement du processus de traitement et diminue significativement son efficacité.

Soulignant la nécessité de renforcer l'efficacité des traitements appliqués, particulièrement pour les composés azotés et les matières en suspension.

L'eau traitée est globalement convenable pour l'irrigation, mais sous certaines conditions :

- Elle convient à des cultures tolérantes aux sels (comme l'orge, le coton, la betterave, etc.).
- Elle doit être utilisée sur des sols bien drainés, afin d'éviter l'accumulation de sels.
- Une surveillance régulière de la salinité est nécessaire, surtout pendant les périodes sèches, où la qualité se dégrade.

Une concentration élevée en sels dans le sol peut déséquilibrer son profil nutritionnel, en réduisant la disponibilité des éléments essentiels à la croissance des plantes. Cela peut entraîner, à terme, des carences minérales et une diminution progressive de la fertilité du sol. Si ces conditions persistent, elles risquent de compromettre durablement la productivité agricole.

Il est recommandé de mettre en place une surveillance continue et un suivi saisonnier de la qualité de l'eau traitée, accompagnés d'une optimisation des procédés de traitement, afin d'assurer sa conformité aux exigences des usages agricoles et environnementaux.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

Ait-Mouheb, N., Béline, F., & Audouin, E. (2018). Reuse of treated wastewater for agriculture: State of the art and perspectives in the Mediterranean region. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(12), 11344–11356.

Ministère de l'Hydraulique, Algérie, (2023). Cité dans *DK News*, «Eaux usées : Les capacités des stations d'épuration seront portées à 1,5 milliard m³/an ».

ONA., (2015). Fiche technique de la STEP. Office National de l'Assainissement Aconsulte, (2005). Elément sur l'épuration des eaux usées et la gestion des sous-produits de l'assainissement ,68p.

Agaoui, A. (2004). Hydrochimie : Application à l'étude des eaux souterraines. Éditions Office des Publications Universitaires (OPU), Alger.

Ayers, (1988). La qualité de l'eau en agriculture. ED: FAO; Rome ;81 P

Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). *Water quality for agriculture* (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29 Rev.1). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Belhamra, M., Toumi, S., & Bensaid, A. (2018). Analyse de la variabilité climatique dans la région de Bordj Bou Arreridj<. *Revue des Sciences de l'Eau*, 31(1), 45–53.

Boursali, I., Baba Hamed, K., & Bouanani, A. (2025). Analyse de la variabilité climatique et ses impacts sur les ressources en eau dans le bassin versant de l'oued Khemis, Algérie. *Vertigo- la revue électronique en sciences de l'environnement*, <https://doi.org/10.4000/13hs5>.

Degrement . (2005) Mémento technique de l'eau. 10^{ème} Edition tome I, paris.

E.H.T., (2013). Entreprise Hydro – Traitement, fiche technique de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Bordj Bou-Arreridj.

Hadjou belaid, Z., (2013). « Contribution à l'étude des dysfonctionnements relevés dans une station d'épuration, étude du cas : STEP d'Ain El Houtz », Mémoire de master en hydraulique, Université Abou-Bakr Belkaid de Tlemcen.

Hallouche S., Rouabah A., (2022). Evaluation des performances et rendement épuratifs de la station d'épuration de Ain Taghrout-Bordj Bou Arreridj, Mémoire de Master, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A.

Henze, M., van Loosdrecht, M. C. M., Ekama, G. A., & Brdjanovic, D., (2008). *Biological Wastewater Treatment: Principles, Modelling and Design*. IWA Publishing.

Koller E., (2009). *Traitement des pollutions industrielles, Eau, Air, Déchets, Sols, Boues, 2ème Edition, Dunod, 569p.*

Legube B., (1996). Le traitement des eaux superficielle pour la production d'eau potable), agence de l'eau loir -bretagne.

Metcalf, Inc. (2014). Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery (5th ed.). McGraw-Hill Education.

Rodier J., Bazing C., Broutin J. P., Chambon P., Champsaur H., Rodi L. (2005). L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie interprétation des résultats. EdDunod, Paris, P 1384.

Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. (2009). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Dunod.

Simler, R. (2007). Diagrammes version 6.3 : logiciel de traitement des analyses d'eau. Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse.

Tchobanoglous, G., Burton, F.L., & Stensel, H.D. (2003). Wastewater Engineering: Treatment and Reuse (4th ed.). McGraw-Hill.

Résumé

La qualité de l'eau traitée de la STEP de Bordj Bou Arreridj est globalement adéquate pour l'irrigation, bien que certains paramètres (CE, NH_4^+ , PO_4^{3-} , MES), dépassent les seuils réglementaires. Le SAR inférieur à 10 témoigne d'une faible sodicité, permettant l'usage sur des sols bien drainés. Cependant, la salinité modérée à élever limite son emploi pour les cultures sensibles. Selon le diagramme de Wilcox, la majorité des échantillons sont classés de qualité médiocre. Cela souligne la nécessité d'un suivi régulier et d'une gestion adaptée pour limiter les risques de salinisation des sols.

Mots clés : Station d'épuration (STEP), Eaux traitées, Irrigation, SAR, Diagramme de Wilcox

Summary

The quality of the treated water from the Bordj Bou Arreridj wastewater treatment plant (WWTP) is generally suitable for irrigation, although certain parameters (EC, NH_4^+ , PO_4^{3-} , TSS) exceed regulatory limits. A SAR value below 10 indicates low sodicity, allowing use on well-drained soils. However, moderate to high salinity restricts its use for salt-sensitive crops. According to the Wilcox diagram, most samples are classified as poor in quality. This highlights the need for regular monitoring and proper management to prevent soil salinization.

Keywords: Wastewater Treatment Plant (WWTP), Treated Water, Irrigation, SAR, Wilcox Diagram

المخلص

جودة المياه المعالجة في محطة تصفية المياه المستعملة بـ برج بوعريـج تُعتبر مناسبة بشكل عام للري، على الرغم من أن بعض المعايير (الموصيلية الكهربائية، الأمونيوم NH_4^+ ، الفوسفات PO_4^{3-} ، المواد العالقة MES) تتجاوز الحدود التنظيمية. إن قيمة SAR التي تقل عن 10 تشير إلى انخفاض نسبة الصوديوم، مما يسمح باستخدام هذه المياه في الأراضي جيدة الصرف. ومع ذلك، فإن الملوحة المتوسطة إلى المرتفعة تحد من استعمالها في ري المحاصيل الحساسة. وفقاً لمخطط ويلكوكس، تُصنّف غالبية العينات على أنها ذات جودة متوسطة. ويؤكد ذلك على ضرورة المتابعة المنتظمة والإدارة الملائمة للحد من مخاطر تملح التربة.

الكلمات المفتاحية: محطة معالجة المياه المستعملة (STEP)، المياه المعالجة، الري، SAR، مخطط ويلكوكس.