



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



UNIVERSITE ABBES LAGHROUR KHENCHELA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT ECOLOGIE ET ENVIRONNEMENT

MEMOIRE

Présenté en vue l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

FILIERE : Écologie et Environnement

SPECIALITE : Écologie Fondamentale et Appliquée

Thème

**Etude de la qualité des eaux usées d'une STEP et
la possibilité de leur réutilisation en irrigation :
(Cas de STEP d'Ain Beida Oum El Bouaghi)**

Présenté par

BEN ABDESLAM MAROUA

Mémoire de Master académique soutenu devant le jury composé de

Président	ADDAD. Dalila	(MCA)	Univ. Abbès Laghrou – Khenchela
Encadrant	HALIMI. Samia	(MCA)	Univ. Abbès Laghrou – Khenchela
Examineur	BERKANI. Cherifa	(MCA)	Univ. Abbès Laghrou – Khenchela

Année universitaire 2023/ 2024

عنوان المنكرة : تقييم جودة مياه محطة معالجة المياه المستعملة وإمكانية إعادة استخدامها : (دراسة حالة محطة معالجة المياه المستعملة في عين البيضاء، أم البواقي).
الإسم و اللقب : بن عبد السلام مروة
المؤطر : حلومي سامية

ملخص :

في مواجهة النقص المتزايد في المياه، أصبحت الإدارة المثلى لهذا المورد الحيوي أمراً حتمياً. يمكن أن تشكل إعادة استخدام المياه العادمة المعالجة مصدرًا إضافيًا للمياه، لا سيما في المناطق الجافة وشبه الجافة. قامت هذه الدراسة بتقييم فعالية معالجة المياه في محطة معالجة مياه الصرف الصحي في مدينة عين البيضاء (أم البواقي) وإمكانية إعادة استخدام مياهها في الري خلال الفترة 2021-2023. بشكل عام، أظهرت نتائجنا أن معظم المعايير الفيزيائية والكيميائية كانت متوافقة مع المعايير الوطنية والدولية، مع تحقيق معدلات تنقية تتجاوز 90%. علاوة على ذلك، أظهرت قيم مؤشرات جودة مياه الري أن المياه المعالجة تتمتع بجودة متوسطة نظرًا لملوحتها العالية نسبيًا، ويمكن استخدامها لري المحاصيل المتحملة للأملاح في التربة جيدة الصرف. تبقى الحاجة إلى إجراء تقييم شامل لمياه الري ومتابعة منتظمة ضرورية لتجنب الآثار السلبية على المحاصيل وجودة التربة.

الكلمات المفتاحية : الري ؛ جودة المياه ؛ مردود التصفية ؛ معالجة مياه الصرف الصحي.

Title of the dissertation : Study of the quality of wastewater from a WWTP and its possible reuse: (Case study: Ain Beida WWTP, Oum El Bouaghi).

Full name : Ben Abdeslam Maroua

Directed by : Halimi Samia

Abstract:

In the face of increasing water scarcity, optimal management of this vital resource is imperative. Treated wastewater reuse can provide an additional water source, particularly in arid and semi-arid regions. This study evaluated the treatment efficiency of the wastewater treatment plant in the city of Ain Beida (Oum El-Bouaghi) and the feasibility of reusing its water for irrigation during the period from 2021 to 2023. Overall, our results showed that the majority of physico-chemical parameters were in compliance with national and international standards, with purification efficiencies exceeding 90%. Additionally, the values of irrigation water quality indicators revealed that the treated water is of medium quality due to its relatively high salinity. It can be used to irrigate salt-tolerant crops on well-drained soils. A comprehensive characterization of irrigation water and regular monitoring remain essential to avoid negative impacts on crops and soil quality.

Key words : Irrigation ; Treatment efficiency ; Wastewater treatment ; Water quality.

Titre du mémoire: Etude de la qualité des eaux usées d'une STEP et possibilité de leur réutilisation : (Cas de STEP d'Ain Beida Oum El Bouaghi)

Nom et prénom: Ben Abdeslam Maroua

Encadreur : Halimi Samia

Résumé :

Face à la pénurie croissante d'eau, une gestion optimale de cette ressource vitale s'impose. La réutilisation des eaux usées traitées peut constituer une source d'eau supplémentaire, en particulier dans les régions arides et semi-arides. Cette étude a évalué l'efficacité du traitement des eaux par la station d'épuration des eaux usées de la ville d'Aïn Beida (Oum El-Bouaghi) et la faisabilité de la réutilisation de ses eaux pour l'irrigation durant la période 2021-2023. Dans l'ensemble, nos résultats ont montré que la majorité des paramètres physico-chimiques étaient conformes aux normes nationales et internationales, avec des rendements épuratoires supérieurs à 90%. Par ailleurs, les valeurs des indicateurs de qualité de l'eau d'irrigation ont révélé que l'eau traitée est de qualité moyenne en raison de sa salinité relativement élevée. Elle peut être utilisée pour irriguer des cultures tolérantes aux sels sur des sols bien drainés. Une caractérisation complète de l'eau d'irrigation et un suivi régulier restent essentiels pour éviter les impacts négatifs sur les cultures et la qualité du sol.

Mots-clés : Irrigation; Qualité de l'eau ; Rendement épuratoire ; Traitement des eaux usées.

DÉDICACES

À ma chère mère

À mon cher père

À mon seul frère

*Je vous dédie ce mémoire en guise de reconnaissance car vous m'êtes si chers
que je ne peux que vous offrir ce que j'ai appris de mieux dans ma vie..... !*

REMERCIEMENTS

Je remercie Dieu le Tout-Puissant de m'avoir donné la santé et la volonté de terminer ce travail.

J'exprime ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à ma directrice de mémoire **Dr. Halimi Samia**, qui m'a accordé sa confiance. Sa contribution hautement distinguée dans la réalisation de ce travail me restera à l'esprit. Son sens d'appréciation scientifique, ses suggestions pertinentes dans la recherche et surtout sa disponibilité, ont permis, à maintes reprises, de clarifier mes pensées.

J'exprime ma profonde reconnaissance au **Dr. Addad Dalila** pour l'honneur qu'elle me fait en présidant le jury de soutenance.

Je tiens également à remercier **Dr. Berkani Cherifa** d'avoir accepté d'évaluer notre travail et participer au jury en tant que examinateur.

Je tiens à adresser mes plus vifs remerciements au dévoué personnel de la station d'épuration des eaux usées d'Ain El Beida (Oum El Bouaghi), et tout particulièrement à **Mr. Bougoufa Hamza** (Ingénieur responsable du laboratoire des analyses de l'eau), leur disponibilité sans faille et leur précieuse contribution en termes de données et de documentation ont été essentielles à la réussite de cette recherche.

Je ne saurais clôturer cette liste de remerciements et de reconnaissances, sans exprimer ma profonde gratitude à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

TABLE DES MATIERES

Liste des figures	VI
Liste des tableaux.	VII
Liste Des Abréviations.	VIII
INTRODUCTION GENERALE & OBJECTIFS.....	1
CHAPITRE 01 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	
1 Généralité sur les eaux usées.....	3
1.1 Définition des eaux usées	3
1.2 Origines des eaux usées.....	3
1.2.1 Eaux usées domestiques	3
1.2.2 Eaux usées industrielles.....	3
1.2.3 Eaux usées agricoles.....	4
1.2.4 Eaux usées pluviales.....	4
1.3 Caractéristiques des eaux usées	4
1.3.1 Caractéristiques organoleptiques.....	4
1.3.1.1 Couleur.....	4
1.3.1.2 Odeur	5
1.3.2 Paramètres physico-chimiques.....	5
1.3.2.1 Température	5
1.3.2.2 Matières en suspension (MES).....	5
1.3.2.3 Turbidité.....	6
1.3.2.4 Potentiel hydrogène (pH).....	6
1.3.2.5 Conductivité électrique (CE).....	7
1.3.2.6 Oxygène dissous (OD).....	7
1.3.2.7 Demande Biologique en Oxygène (DBO ₅).....	7
1.3.2.8 Demande chimique en oxygène (DCO).....	7
1.3.2.9 Biodégradabilité des effluents (ratio DCO/DBO ₅).....	7
1.3.2.10 Composés azotés	8
1.3.2.11 Composés phosphorés	8
1.3.2.12 Métaux lourds.....	8
1.3.3 Paramètres microbiologiques	8
2 Traitements des eaux usées	9
2.1 Définition	9
2.2 L'importance du traitement des eaux usées	9

2.3 Principe d'épuration et les méthodes classiques du traitement des eaux usées	9
2.3.1 Prétraitement	10
2.3.2 Traitement primaire	10
2.3.3 Traitement secondaire.....	11
2.3.3.1 Procédés intensifs	11
2.3.3.2 Procédés extensifs	11
2.3.4 Traitement tertiaire	13
2.4 Traitement des boues.....	13
3 Réutilisation des eaux usées épurées et des boues résiduaires	14
3.1 Réutilisation des eaux usées en Algérie	14
3.2 Modes de réutilisation des eaux usées.....	15
3.3 Avantages de la réutilisation des eaux usées épurées.....	16
3.4 Risques liés à la réutilisation agricole des eaux épurées	17
3.4.1 Risques sanitaires	17
3.4.2 Risques environnementaux	17
3.5 Possibilité de réutilisation des eaux usées épurées en agriculture.....	17
3.6 Valorisation des boues résiduaires	18

CHAPITRE 02 : MATERIELS ET METHODES

1 Présentation de la ville d'Ain Beida.....	19
2 Présentation générale de la STEP de Ain Beida.....	20
3 Objectifs principaux de la station d'épuration	20
4 Fonctionnement de la STEP d'Ain Beida	20
4.1 Filière de traitement des eaux	21
4.1.1 Arrivée des eaux brutes	21
4.1.2 Prétraitement	21
4.1.2.1 Panier grossier	21
4.1.2.2 Dégrillage grossier.....	22
4.1.2.3 Relevage d'eau	23
4.1.2.4 Dégrillage fin	23
4.1.2.5 Dessablage / Dégraissage.....	24
4.1.3 Traitement biologique.....	25
4.1.3.1 Bassin biologique	26
4.1.3.2 Bassin de dégazage.....	28
4.1.4 Décantation secondaire (Clarification).....	29
4.1.5 Traitement tertiaire	29
4.2 Filière des Boues	30

4.2.1 Épaississement primaire	30
4.2.2 Digestion aérobie.....	31
4.2.3 Épaississement secondaire	32
4.2.4 Déshydratation des boues	33
5 Collecte des données, échantillonnage et analyses des eaux usées	35
5.1 Échantillonnage.....	35
5.2 Analyses physicochimiques	36
6. Normes admissibles des eaux usées.....	37
CHAPITRE 03 : RESULTATS ET DESCUSSION	
1 Etude de la Qualité physico-chimique des eaux usées brutes et épurées de la STEP d'Ain Beida	39
1.1 Variation des températures	39
1.2 Variation de potentiel d'hydrogène (pH).....	41
1.3 Variation de la conductivité électrique.....	41
1.4 Variation des matières en suspension.....	42
1.5 Variation de la demande biologique en oxygène	43
1.6 Variation de la demande chimique en oxygène	44
1.7 Variation de l'azote ammoniacal	45
1.8 Variation des nitrates.....	47
1.9 Variation des nitrites	48
1.10 Variation des orthophosphates	48
2 Identification de faciès chimique des eaux traitées	49
3 Le Rendement épuratoire (Taux d'abattement)	51
4 Évaluation de l'adéquation des eaux usées traitées à des fins d'irrigation.....	53
4.1 Risque de salinité	53
4.2 Taux des sels dissouts (TDS).....	53
4.3 Ratio d'adsorption du sodium (SAR)	54
4.4 Pourcentage de sodium (Na%).....	55
4.5 Pourcentage de sodium soluble (SSP).....	57
4.6 Ratio de Kelly (KR)	57
4.7 Indice de perméabilité (PI)	57
4.8 Risque du magnésium (MH).....	58
4.9 Carbonate de sodium résiduel (RSC)	58
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS	61
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	63
R É S U M É	IX

LISTE DES FIGURES

N°	Titre	Page
01	Exemple des traitements mis en œuvre au sein d'une station d'épuration	09
02	Schéma d'un traitement préliminaire d'une STEP	10
03	Traitement des boues de station d'épuration	14
04	Aspects de réutilisation des EU dans les différentes régions du monde	16
05	Localisation de la ville d'Ain Beida dans la wilaya d'Oum El Bouaghi	19
06	Photo satellitaire du STEP d'Ain Beida	20
07	By pass	21
08	Le panier grossier	22
09	Le Dégrilleur grossier / transporteur des déchets	22
10	Pompes de relevage	23
11	Le dégrillage fin	24
12	Le dessablage déshuilage (A : Dessableur-Dégraisseur ; B : Classificateur a sable	25
13	La zone anaérobie	26
14	La zone anoxie	27
15	Zone aérobie (Bassin avec insufflation d'air)	27
16	Bassin de dégazage	28
17	Décanteur secondaire (Clarificateur)	29
18	Bassin de chloration	29
19	L'épaississeur primaire	30
20	Le digesteur aérobie	31
21	L'épaississeur secondaire	32
22	Les lits de séchage(A :Avant séchage ;B :Après séchage)	33
23	Présentation générale des différents ouvrages au niveau de la STEP d'Ain Beida	34
24	Échantillonneur automatique	35
25	Echantillonnage manuel	35

26	Variation mensuelle de la température des eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d'Ain Beida pour la période 2021-2023	40
27	Variation mensuelle des valeurs du pH des eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d'Ain Beida pour la période 2021-2023	41
28	Variation mensuelle de la conductivité électrique des eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d'Ain Beida pour la période 2021–2023	42
29	Variation mensuelle de MES des eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d'Ain Beida pour la période 2021–2023	43
30	Variation mensuelle de DBO ₅ des eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d'Ain Beida pour la période 2021–2023	44
31	Variation mensuelle de DCO des eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d'Ain Beida pour la période 2021–2023	45
32	Variation mensuelle de NH ₄ ⁺ des eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d'Ain Beida (2021–2023)	46
33	Variation mensuelle de nitrate (NO ₃ ⁻) des eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP Ain Beida pour la période 2021–2023	47
34	Variation des nitrites (NO ₂ ⁻) des eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP Ain Beida pendant la période 2021–2023	48
35	Variation mensuelle des teneurs d'orthophosphates (PO ₄ ³⁻) des eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d'Ain Beida durant la période 2021-2023	49
36	Diagramme de Piper et de Schoeller Berkaloff des eaux épurées de la ville d'Ain Beida	51
37	Représentation graphique des rendements épuratoires de la STEP d'Ain Beida des années: 2021, 2022 et 2023 respectivement.	53
38	Diagramme de Richards des eaux traitées de STEP d'Ain Beida	55
39	Diagramme de Wilcox des eaux traitées de STEP d'Ain Beida	56

LISTE DES TABLEAUX

N°	Titre	Page
01	Les différents avantages et inconvénients des procédés intensifs de traitement des EU	12
02	Les différents avantages et inconvénients des procédés extensifs de traitement des EU	13
03	Caractéristiques de grille grossière	23
04	Caractéristiques de grille fine	24
05	Caractéristiques de Dessableur – déshuileur	25
06	Caractéristiques de bassin biologique	28
07	Caractéristiques d'épaississeur primaire	30
08	Caractéristiques de digesteur aérobic	31
09	Caractéristiques de l'épaississeur secondaire	32
10	Caractéristiques des lits de séchage	33
11	Les appareils et leur fonction dans le laboratoire de la STEP d'Ain Beida	36
12	Les normes des eaux traitées	38
13	Statistiques descriptives des caractéristiques physico-chimiques des eaux brutes et traitées de la STEP d'Ain Beida durant la période (2021–2023)	39
14	Les variations annuelles du Rendement (%) au niveau de la STEP d'Ain Beida (Période : 2021-2023).	52
15	Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation (méthode de SAR)	54
16	Indices et classes de la qualité des eaux épurées destinées à l'irrigation (Cas de la STEP d'Ain Beida)	59

LISTE DES ABREVIATIONS

STEP : Station d'épuration des eaux usées

T : Température

pH : Potentiel d'hydrogène

CE : Conductivité électrique

DBO₅ : Demande biochimique d'oxygène pendant 5 jours

DCO : Demande chimique d'oxygène

MES : Matière en suspension

MVS : Matières volatiles en suspensions

NH₄: Ammonium

NO₂: Nitrite

NO₃: Nitrates

N_t : Azote total

PO₄ : ortho-phosphate

P_t : Phosphor total

JORA : Journal Officiel de la République Algérienne

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ONA : Office National de l'Assainissement

ET : Écart type

FAO : Food and Agricultural Organisation (Organisation des Nations Unies Pour l'Alimentation et l'Agriculture)

EUT : Eaux usées traitées

EUB : Eaux usées brutes

REUE : Réutilisation des eaux usées épurées

SAR : Sodium Adsorption Ratio

TDS : Solides dissous totaux

N% : Pourcentage de sodium

SSP : Pourcentage de sodium soluble

KR : Ratio de Kelly

PI : Indice de perméabilité

MH : Risque du magnésium

RSC : Carbonate de sodium résiduel

***INTRODUCTION GENERALE &
OBJECTIFS***

INTRODUCTION GENERALE ET OBJECTIFS

L'eau est une ressource vitale qui joue un rôle fondamental dans la préservation de l'équilibre écologique de notre planète. Sa disponibilité et sa qualité sont essentielles au maintien de la biodiversité, à la santé des êtres vivants et à la durabilité environnementale (Aslan, 2024). La pénurie d'eau est une préoccupation majeure dans de nombreux pays du monde et plus spécialement les pays à climat aride et semi-aride, où les ressources naturelles en eau sont limitées et fortement exploitées (Jiang, 2024).

Cette pression sur les ressources en eau est exacerbée par l'expansion urbaine, l'industrialisation et la croissance économique, mettant en péril la disponibilité et la qualité de cette ressource vitale (Tzanakakis *et al.*, 2023). De plus, les changements climatiques a accentué les pressions sur les ressources hydriques en raison d'événements météorologiques extrêmes tels que les phénomènes de sécheresse et l'augmentation des températures, affectent non seulement les êtres humains, mais aussi les cultures, les sols et la biodiversité, impactant ainsi les performances globales des écosystèmes (Angelakis *et al.*, 2024).

Les ressources en eau non conventionnelles deviennent de plus en plus une source d'eau supplémentaire. Par conséquent, les clés de la résolution des problèmes résident dans l'augmentation du rythme d'utilisation des ressources en eau non conventionnelles et dans l'allocation de ces ressources d'une manière juste, rationnelle, équitable et scientifique (Guo *et al.*, 2024). La réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation émerge comme une solution innovante et nécessaire pour maintenir l'approvisionnement sans épuiser les sources naturelles d'eau (Silva, 2023). Elle permet une gestion rationnelle de l'eau, contribuant ainsi au principe de développement durable (Klos, 2023).

Ces eaux procurent à l'agriculture une ressource précieuse et renouvelable et libèrent un volume supplémentaire d'eau de bonne qualité pour des utilisations prioritaires. Elles constituent en outre, une alternative aux rejets dans les milieux récepteurs qui peuvent présenter des capacités d'absorption limitées (Alzahrani *et al.*, 2023). Par ailleurs, la richesse de ces eaux en éléments nutritifs, notamment en azote, phosphore et potassium, permet de diminuer les frais de fertilisation des sols (Nawar *et al.*, 2024).

Elles peuvent également contribuer à améliorer la structure du sol et sa capacité de rétention d'eau (Ali *et al.*, 2022). Si les eaux usées constitue une valeur hydrique et un potentiel d'apport de matières fertilisantes, elle peut être également une source de pollution. Son contenu en éléments traces métalliques et en agents pathogènes ainsi que sa teneur élevée en azote peuvent présenter un risque pour l'environnement et la santé humaine (Habibi, 2019 ; AlKhazaleh *et al.*, 2023).

Pour réutiliser les eaux usées traitées, les performances des stations d'épuration des eaux usées doivent être soigneusement examinées. La quantité de paramètres des effluents tels que la DCO, la DBO₅, les MES, le pH, le NO₃⁻, le NO₂⁻, le PO₄³⁻, les métaux lourds, la température et la turbidité doivent être conformes aux normes environnementales (**Ganji et al., 2024**). Ces normes prennent en compte les conditions de rejet dans les eaux de surface et de rejet dans les puits ainsi que l'utilisation des effluents traités dans l'agriculture et l'irrigation (**Xie et al., 2023**).

Cette étude vise à fournir des méthodes utiles pour porter des jugements éclairés sur la qualité des eaux usées épurées de la ville d'Ain Beida au cours de la période 2021-2023, ainsi que la faisabilité de la réutilisation de ces eaux en se basant sur des analyses physico-chimiques, afin de garantir une gestion adéquate. Par conséquent, cette recherche a été entreprise pour :

- (i) La surveillance de la qualité physico-chimique des eaux et l'efficacité de leur traitement ;
- (ii) Déterminer les faciès chimiques des eaux via des approches illustratives ;
- (iii) L'évaluation du rendement épuratoire de la STEP ;
- (iv) L'évaluation de la possibilité de réutilisation des eaux épurées de STEP d'Ain Beida à l'irrigation à l'aide de plusieurs indicateurs de la qualité d'eau d'irrigation.

Le manuscrit élaboré s'articule autour de trois parties principales, en plus de l'introduction et la conclusion. La première partie est consacré à une revue bibliographique, dont laquelle nous avons abordé tous ce qui concerne les eaux usées, leur traitement et valorisation, la deuxième partie décrit le site d'étude ainsi que les détails sur les étapes de traitement des eaux usées, les protocoles et l'appareillage utilisés. La troisième partie porte sur la présentation, l'analyse, l'interprétation et la discussion des résultats.

CHAPITRE 1

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1 Généralité sur les eaux usées

1.1 Définition des eaux usées

Les eaux usées sont des eaux dont la qualité a été affectée négativement par les activités humaines (**Hussain et Bhattacharya, 2019**). Elles contiennent des impuretés organiques ou inorganiques sous forme solide, liquide ou gazeuse à des concentrations nocives lorsqu'elles sont rejetées dans l'environnement (**Karia et al., 2023**).

Pour remédier à ce problème, le gouvernement prend la responsabilité de traiter les eaux usées en les dirigeant vers des stations d'épuration (STEP) au lieu de les rejeter dans le plan d'eau récepteur (**Hannachi, 2016**), par le biais de systèmes d'égouts unitaires ou séparatifs (**Dagba et al., 2022**).

1.2 Origines des eaux usées

Les eaux usées proviennent de quatre sources principales : les eaux domestiques, les eaux industrielles, les eaux agricoles et les eaux de pluie.

1.2.1 Eaux usées domestiques

Elles proviennent des différents usages domestiques essentiels aux besoins hygiéniques et alimentaires de l'homme (**Sushila et Kumar, 2024**). Les eaux domestiques sont composées d'excréments humains, d'urine, de composés organiques et de boues (**Jothieswari et al., 2023**).

Elles se répartissent en eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines, et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques...etc. et en eaux "vannes", s'agissant des rejets des toilettes, chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux (**Manurung et al., 2023**).

1.2.2 Eaux usées industrielles

Elles sont définies comme des eaux usées générées par les activités industrielles (**Tarawneh et al., 2024**). Ces eaux varient en quantité et en qualité d'une industrie à l'autre et d'un procédé à l'autre pour une même industrie. En général, la majorité des industries manufacturières génèrent un volume important d'eaux usées à haute concentration (**Karia et al., 2023**).

Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. Elles sont mêlées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de dépollution (**Bouanani, 2021**).

1.2.3 Eaux usées agricoles

L'utilisation d'engrais chimiques de synthèse (engrais phosphorés et azotés), de pesticides, ainsi que les effluents d'élevage par les agriculteurs constituent des sources diffuses de pollution des eaux d'origine agricole à travers les sols (lessivage, percolation, lixiviation). Ces substances chimiques peuvent soit s'infiltrer dans le sol et atteindre la nappe phréatique, soit être lessivées par les eaux de pluie et drainées dans les eaux usées (**Tiomele et al., 2022**).

1.2.4 Eaux usées pluviales

Les eaux de pluie ruissellent dans les rues où sont accumulées polluants atmosphériques, poussières, détritiques, suies de combustion et hydrocarbures rejetés par les véhicules (**Bouanani, 2021**). Cependant, la composition est extrêmement variable en fonction des événements météorologiques mais aussi de l'occupation des sols, des pratiques et des activités économiques (**Kok et al., 2021**).

Le traitement des eaux pluviales avant leur rejet dans l'environnement est une question cruciale en raison de la présence de micropolluants issus de la pollution urbaine (atmosphère, toitures...), lorsqu'elles sont envoyées dans les STEP, elles diluent la charge polluante (DBO5, DCO) et donc les nutriments nécessaires aux microorganismes qui permettent l'épuration de l'eau. De ce fait, cela peut causer de mauvais rendements de ces STEP (**Frat, 2020**).

1.3 Caractéristiques des eaux usées

L'eau usée contient plusieurs substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux microorganismes. Ces eaux peuvent être classées en fonction de leurs caractéristiques : chimiques, physiques, organoleptiques et biologiques.

1.3.1 Caractéristiques organoleptiques

1.3.1.1 Couleur

La couleur des eaux usées fraîches est légèrement grise, tandis que les eaux usées viciées ou septiques apparaissent gris foncé ou noires (**Qasim et Zhu, 2017**). Elle est souvent liée au déversement de composés chimiques solubles présentant une coloration marquée (effluent de teinturerie par exemple) (**Moletta, 2015**). D'après **Frat (2020)**, la couleur n'est cependant pas un facteur « grave » de pollution et n'est pas un indicateur fiable de la présence de micropolluants, Elle peut cependant avoir des conséquences dans l'environnement telles qu'une mauvaise pénétration de la lumière et l'eutrophisation.

1.3.1.2 Odeur

L'eau est inodore, mais la présence d'agents chimiques et biologiques tels que certains composés organiques et inorganiques d'azote, de soufre et de phosphore présents dans les eaux usées provoquent une odeur nauséabonde dans l'eau (**Srivastava, 2018**). D'après **Qasim et Zhu (2017)**, L'intensité de l'odeur est exprimée par un test d'odeur.

L'indice d'odeur seuil (IOS) correspond au taux de dilution le plus élevé auquel l'odeur est tout juste perceptible. Le ISO est exprimé par l'équation suivante :

$$ISO = (A + B)/A$$

Où :

- ISO = nombre seuil d'odeur
- A = volume de l'échantillon, en ml
- B = volume d'eau inodore, en ml.
- Le volume recommandé de: A + B est de 200 ml

1.3.2 Paramètres physico-chimiques

1.3.2.1 Température

La température a un impact significatif sur diverses caractéristiques physiques et chimiques de l'eau (**Wang et al., 2024**). Des températures plus élevées diminuent la solubilité de l'oxygène dissous dans l'eau, réduisant ainsi sa concentration et sa disponibilité pour les organismes aquatiques. Les vitesses de réactions chimiques et la toxicité de nombreuses substances (comme le cyanure, le zinc, le phénol et le xylène) s'intensifient à mesure que la température augmente (**Papadopoulos et al., 2024**). **Kazmi et al. (2022)** ont rapporté que la température peut également affecter l'état physiologique et biochimique d'un organisme, influençant par conséquent la distribution des produits chimiques entre les différents compartiments de l'organisme.

1.3.2.2 Matières en suspension (MES)

Le terme matières en suspension (MES) fait référence à la masse (mg) ou à la concentration (mg/L) des particules fines d'un diamètre inférieur à 62 µm, organiques (MVS) ou minérales (MMS) retenues dans la colonne d'eau d'un ruisseau, d'une rivière, d'un lac ou d'un réservoir et maintenues en suspension par turbulence (**Bilotta et Brazier, 2008**).

L'effet négatif de MES se produit par la réduction des ressources alimentaires, Cela est dû à une diminution de l'intensité de la photosynthèse due à une diminution de la transparence de l'eau. Dans les milieux aquatiques ces matières en suspension, se déposant au

fond, et forment des sédiments qui peuvent empêcher le développement du système racinaire des plantes (**Kuznietsov et Biedunkova, 2023**).

D'après **Buehler et al., (2012)**, les MES sont composées de deux éléments:

- **Les matières volatiles en suspension (MVS)** : Elles représentent la fraction organique de MES d'origine animale ou végétale, ils peuvent être traités par des procédés biologiques.
- **Les matières minérales (MMS)** : Elles représentent la fraction minérale de MES tels que le sable, le gravier et le sel.

1.3.2.3 Turbidité

La turbidité est un indicateur de la transparence de l'eau (**Salazar et al., 2024**). C'est une mesure globale qui prend en compte toutes les matières colloïdales, insolubles, d'origine minérale ou organique, Il y a une forte corrélation entre la turbidité, les matières en suspension et les éléments traces métalliques d'une part et la diminution des teneurs en éléments traces métalliques au cours du procédé de décantation, tout procédé visant à éliminer la turbidité et les matières en suspension dans l'eau impliquerait une diminution considérable des métaux : Manganèse, le Cuivre, le Fer, le Zinc et le Plomb (**N'Diaye et al., 2013**). La turbidité n'est pas nécessairement une mesure directe de la contamination microbienne, mais les microbes sont souvent associés aux particules présentes dans l'eau (**Nedjai et al., 2024**). L'unité de mesure est NTU (unités de turbidité néphélométries) (**N'Diaye et al., 2013**).

1.3.2.4 Potentiel hydrogène (pH)

Potentiel d'hydrogène est défini comme le logarithme négatif (base 10) de la concentration d'ions hydrogène : $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$, il permet de déterminer le degré d'acidité de fluides (**Rabb et al., 2024**). Les valeurs d'acidité et de base des fluides sont exprimées par un nombre comprises entre 0 et 14. Un pH de 7 est neutre, les valeurs supérieures à 7 sont alcalines (basiques), tandis que les valeurs inférieures à 7 sont acides (**Yıldırım et Koçan, 2023**).

Les changements de pH peuvent modifier indirectement la répartition de la biodisponibilité du carbone tout en modifiant également la disponibilité des métaux traces et des nutriments essentiels qui peuvent potentiellement provoquer des effets physiologiques directs sur le phytoplancton à des niveaux de pH extrêmes (**Ahmad Ariffian et Mohamed, 2024**).

1.3.2.5 Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique (CE) est un paramètre important utilisé pour évaluer et surveiller la qualité de l'eau. C'est une mesure de la capacité d'une solution aqueuse à conduire un courant électrique (**Kumar et al., 2023**). Elle est fortement liée à la concentration des substances dissoutes et à leur nature (**Bouknana et al., 2014**).

1.3.2.6 Oxygène dissous (OD)

Le terme "oxygène dissous (OD)" fait référence à l'oxygène gazeux dissous dans l'eau et disponible pour les organismes aquatiques (**Bulbul et Mishra, 2022**), c'est un facteur environnemental clé qui affecte la croissance et la physiologie des organismes. Pour la plupart des micro-organismes, il joue un rôle essentiel dans le métabolisme et la production d'énergie et la respiration (**Dmitrieva et al., 2023**). L'oxygène se dissout dans l'eau par diffusion à partir de l'atmosphère ou par photosynthèse à travers les plantes aquatiques (**Bulbul et Mishra, 2022**).

1.3.2.7 Demande Biologique en Oxygène (DBO₅)

La Demande Biologique en Oxygène (DBO₅) est la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour assimiler la pollution biodégradable pendant une période d'incubation de 5 jours à 20 °C (**Ooi et al., 2021**). Elle est devenue un indicateur répandu en biochimie de l'eau environnementale et en toxicologie, comme moyen d'évaluer la capacité des organismes microbiens à décomposer la matière organique, les déchets organiques, y compris les polluants de l'habitat aquatique et les sédiments (**Smagin, 2018**).

1.3.2.8 Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) détermine la quantité d'oxygène nécessaire à la décomposition chimique de toutes les matières organiques biodégradables et non biodégradables contenue dans l'eau (**Junior et al., 2023**).

1.3.2.9 Biodégradabilité des effluents (ratio DCO/DBO₅)

Le rapport DCO/DBO₅ indique le niveau de biodégradabilité des eaux usées, plus le ratio est élevé, plus la biodégradabilité des eaux usées est faible (**Al-Rosyid et al., 2021**). De nombreux facteurs contrôlent la biodégradation, allant de la composition chimique et de la structure des matériaux aux facteurs environnementaux tels que la température, l'humidité, le pH, le potentiel redox, la dispersion, ainsi que la présence d'organismes destructeurs et de leurs enzymes (**Smagin et al., 2023**).

D'après **Yapo (2009)** :

- DCO/DBO₅ < 2 caractérise un effluent facilement biodégradable.

- $2 < \text{DCO/DBO5} < 3$ un effluent biodégradable.
- $\text{DCO/DBO5} > 3$ caractérise un effluent non biodégradable.

1.3.2.10 Composés azotés

Selon sa forme chimique, l'azote est l'un des principaux contaminants des eaux usées pouvant être destructeurs pour la vie aquatique (Qi et Liu, 2023). En effet, des formes organiques et inorganiques d'azote peuvent être trouvées dans les eaux usées. L'azote organique peut être présent dans les acides aminés, l'urée, les acides uriques, les purines et les pyrimidines. Cependant, l'ammonium (NH_4^+), le nitrite (NO_2^-), le nitrate (NO_3^-), l'oxyde nitreux (N_2O) et l'azote élémentaire dissous ou diazote (N_2) sont les différentes formes d'azote inorganique (Debik *et al.*, 2023). Toutes les sources organiques et inorganiques d'azote après avoir pénétré dans le milieu aquatique ont tendance à être converties en nitrates, forme la moins nocive et la moins stable. L'indicateur d'azote total détermine la saturation totale de l'eau en composés azotés minéraux et organiques (Karimov *et al.*, 2020). Une quantité excessive de nitrates dans l'eau favorise la reproduction d'algues et de cyanobactéries, ce qui donne lieu au processus d'eutrophisation des plans d'eau (Loboda et Daus, 2021).

1.3.2.11 Composés phosphorés

Dans les eaux résiduaires urbaines, le phosphore provient du métabolisme et des détergents, mais cette dernière origine tend à diminuer par la réduction des composés phosphorés dans les lessives (Bouanani, 2021). Le phosphore dans les eaux usées se présente sous les formes d'orthophosphates (PO_4^{3-}), de polyphosphates (phosphates inorganiques condensés), de phosphate organique (atomes de phosphore lié à la matière organique). ces différents composés sont soit dissous, soit attachés aux matières en suspension (Bouknana *et al.*, 2014).

1.3.2.12 Métaux lourds

Les métaux lourds tels que le nickel, le chrome, le cadmium, le zinc, le cuivre et le mercure, ainsi que les composés qu'ils forment, sont toxiques pour les micro-organismes. Cela pose donc un problème dans le traitement biologique des eaux usées (Yalçın *et al.*, 2023).

1.3.3 Paramètres microbiologiques

La principale origine des micro-organismes présents dans les eaux usées domestiques sont les fèces humaines. Parmi ces micro-organismes on trouve les bactéries (*Escherichia*

coli, *Salmonella*, *Shigella*, *Vibrio cholérique*), virus (*Poliovirus*, *Rotavirus*), et protozoaires (*Giardia lamblia*, *Entamoeba histolytica*) (Bouchenak, 2021).

2 Traitements des eaux usées

2.1 Définition

Le traitement des eaux usées comprend l'ensemble des processus physiques, chimiques et biologiques successivement (Chowdhury *et al.*, 2020), pour la dépollution des eaux usées, visant à éliminer les matières organiques biodégradables, les solides en suspension et les nutriments (Cotterill *et al.*, 2017). Le traitement est réalisé dans une usine nommée station d'épuration ou station de traitement des eaux polluées (STEP).

2.2 L'importance du traitement des eaux usées

L'objectif principal du traitement des eaux usées est de produire des effluents traités à un niveau approprié et acceptable, qui ne engendre aucun risque ni pour la santé humaine ni pour l'environnement. Les stations d'épuration des eaux résiduaires, indépendamment du type de traitement, réduisent la charge organique et les solides en suspension et éliminer les constituants chimiques des eaux usées qui peuvent être toxiques pour les cultures et la santé publique (FAO, 2003).

2.3 Principe d'épuration et les méthodes classiques du traitement des eaux usées

Le traitement des eaux usées se réalise en quatre phases consécutives, qui sont précédées d'un processus de relevage (transport des eaux usées des agglomérations dans les collecteurs vers la STEP), Ce transport se fait généralement par gravité ou occasionnellement par pompage (Fig. 1).

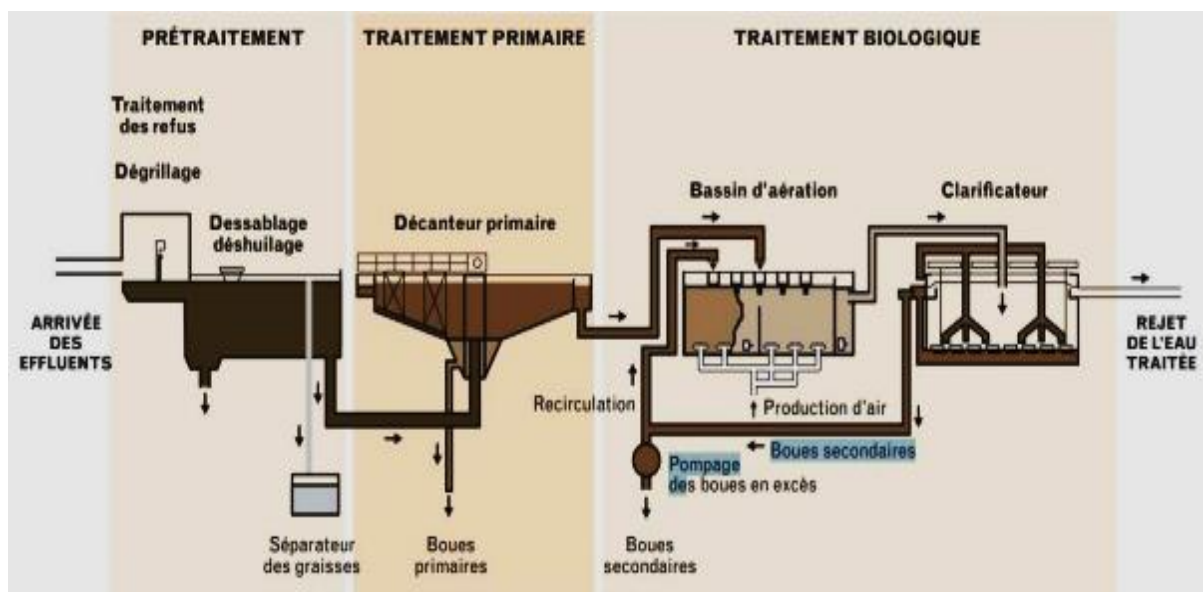


Figure 1. Exemple des traitements mis en œuvre au sein d'une station d'épuration (Deshayes, 2015)

2.3.1 Prétraitement

Le prétraitement est une phase de séparation physique, ce type de traitement s'appuie sur des processus mécaniques afin de capter et éliminer tous les éléments volumineux tels que le bois, le sable, les roches ou les déchets flottants (Suchankova *et al.*, 2023). L'objectif principal de cette phase est de protéger les unités de traitement ultérieures et de réduire les problèmes opérationnels causés par des objets solides qui peuvent endommager les pompes, obstruer l'équipement de pompage ou obstruer les canaux d'écoulement (Donald *et al.*, 2022). Le prétraitement comprend les étapes suivantes : (1) Dégrillage, (2) Dessablage et (3) Déshuilage-dégraissage.

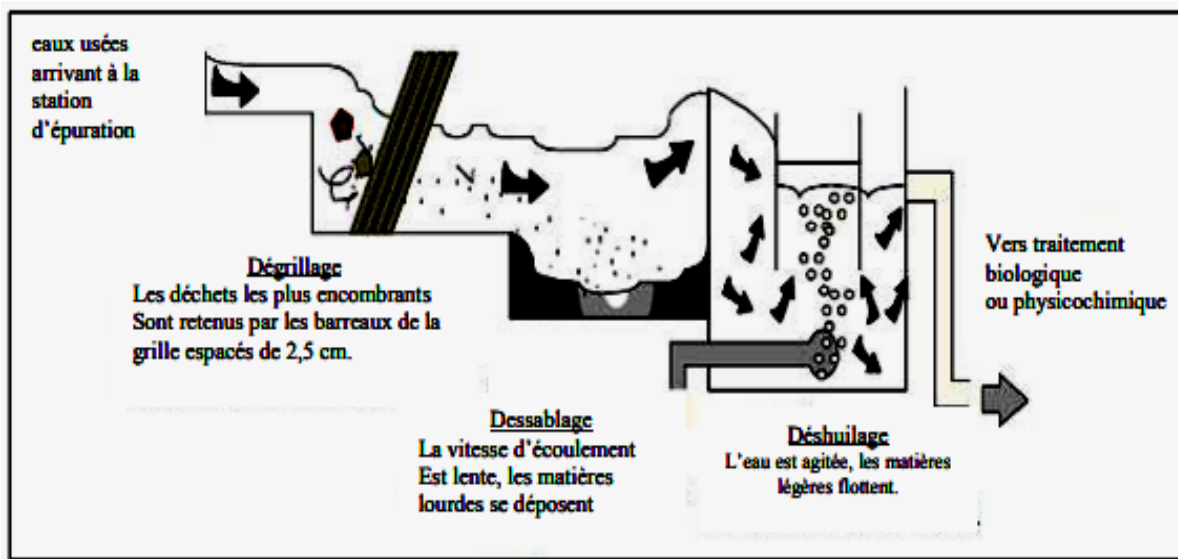


Figure 2. Schéma d'un traitement préliminaire d'une STEP (Mancer et Saifia, 2023)

2.3.2 Traitement primaire

Le traitement primaire est utilisé pour réduire les matières en suspension et flottantes (Chowdhury *et al.*, 2020). Il existe différents types de ce traitement tels que :

- **Décantation classique (physique)** : le principe de séparation solide-liquide est la pesanteur, les matières en suspension ou colloïdales tendent à se séparer du liquide par sédimentation (Attab, 2011).
- **Flottation (physique)** : par opposition à la décantation, la flottation est un procédé de séparation solide-liquide ou liquide-liquide qui s'applique à des particules dont la masse volumique réelle ou apparente (flottation assistée) est inférieure à celle du liquide qui les contient (Attab, 2011).
- **Coagulation/floculation (physico-chimique)**

Elle a pour but de déstabiliser les matières colloïdales, qui sont des molécules ne s'agglomérant pas naturellement, en raison des forces de répulsion électrostatiques

dont elles sont chargées (**Donald et al., 2022**). La coagulation consiste à ajouter des substances ioniques (coagulants) (tel que : la chaux, sulfate d'aluminium, le chlorure ferrique et le sulfate ferreux), capables d'annuler les forces répulsives (**Qasim et Zhu, 2017**). Les matières colloïdales sont soumises aux mécanismes d'agrégation ou d'adsorption. La floculation résulte de l'agglomération des matières colloïdales. (**Donald et al., 2022**).

Le traitement primaire peut réduire la demande biochimique en oxygène (DBO5) et la demande chimique en oxygène (DCO) des eaux usées entrantes de 25 à 50 % , le total des matières en suspension est éliminé d'environ 50 à 70 % (**Chowdhury et al., 2020**).

2.3.3 Traitement secondaire

Le traitement secondaire (biologique) des eaux usées est le procédé de dégradation des matières organiques polluantes (**Povis et al., 2024**) et de certains nutriments (tels que le phosphate et l'azote ammoniacal) présents dans les effluents du traitement primaire (**Debik et al., 2023**), par des communautés de micro-organismes, généralement constituées de bactéries, protozoaires, champignons, algues et parfois nématodes (**Wagner, 2000**), afin de transformer ces substances en sous-produits inoffensifs (**Suchankova et al., 2023**).

Ces techniques peuvent être aérobies ou anaérobies (**Rezazi et al., 2022**), et permettent de réduire d'au moins 70 % la DBO et d'au moins 75% la DCO (**Upton, 2016**). Les procédés secondaires sont répartis en deux catégories : les procédés intensifs et les procédés extensifs :

2.3.3.1 Procédés intensifs

Les procédés biologiques intensifs se caractérisent par une forte concentration en microorganismes épurateurs dont la liqueur est régulièrement récupérée. La consommation énergétique de ces ouvrages est plus importante mais la surface occupée est petite et avantageuse pour les agglomérations urbaines (**Bouanani, 2021**). Les procédés détaillés dans le Tableau 1 sont parmi les plus utilisés pour le traitement secondaire (intensif).

2.3.3.2 Procédés extensifs

Contrairement aux procédés intensifs, les procédés biologiques extensifs se caractérisent par une faible concentration en microorganismes épurateurs et dont la liqueur épuratrice à faible concentration ne permet pas la récupération et nécessite un temps de réaction plus important. Le rendement énergétique est gratifiant mais des surfaces très importantes sont nécessaires à ce genre d'ouvrages (**Bouanani, 2021**). Les procédés détaillés dans le Tableau (2) sont parmi les plus utilisés pour le traitement secondaire (extensif).

Tableau 1. Les différents avantages et inconvénients des procédés intensifs de traitement des EU (Le Roy *et al.*, 2020).

Procédé	Avantages		Inconvénients	
	Capacités de Tt	Autres	Limites du Tt	Autres
BA	-Bonnes performances sur tous les paramètres (MES, DCO, DBO5, N) -Mise en œuvre déphosphatation simultanée possible	-Capacité de traitement adaptée à toutes les collectivités >1000 EH	-Risque de dépôts de boues (rejet de MES au milieu récepteur)	-Coûts d'exploitation et d'investissement élevés - Consommation énergétique importante - Sensible aux surcharges hydrauliques - Requiert une formation du personnel d'exploitation
BRM	-Bonnes performances (DCO, DBO5, MES et NK) -Désinfection efficace -Élimination des pathogènes	-Facilité d'exploitation -Consommation énergétique inexistante si dénivelé favorable -Supporte de grandes variations de charges Hydrauliques	-Traitement de l'azote global (NGL) difficile à réaliser	-Consommation énergétique importante -Coût des membranes élevé Exploitation : coût élevé et contraignante -Risque de colmatage
LB	-Traitement MES et pollution carbonée	-Consommation énergétique faible -Exploitation simple -Supporte relativement bien les variations de charges hydrauliques et organiques	-Abattement limité de l'azote et du phosphore	-Sensible au colmatage -Coûts d'investissement élevés
DB	-Traitement MES et pollution carbonée		-Abattement limité de l'azote	-Requiert du personnel d'exploitation très qualifié -Coûts d'investissement élevés

NB : BA : boues activées ; BRM : bioréacteurs à membranes ; LB : lit bactérien ; DB : disques biologiques.

Tableau 2. Les différents avantages et inconvénients des procédés extensifs de traitement des EU (Le Roy *et al.*, 2020).

Procédé	Avantages		Inconvénients	
	Capacités de traitement	Autres	Limites du traitement	Autres
FPR	-Bonnes performances pour les paramètres particuliers, carbonés et azotés	-Facilité et faible coût d'exploitation -Coût d'investissement faible -Possibilité de traiter les EUB	-Faible abattement pour le traitement de l'azote global (absence de dénitrification) et du phosphore	-Exploitation de faible durée -Grande emprise au sol -Accepte des surcharges hydrauliques ponctuelles mais globalement peu adapté
LN	-Bonne élimination de l'azote et du phosphore -Bonne élimination des germes pathogènes en été	-Facilité d'exploitation -Consommation énergétique inexistante si dénivelé favorable -Supporte de grandes variations de charges hydrauliques	-Élimination moyenne de la matière organique -Qualité du rejet dépend des saisons	-Grande emprise au sol -Maîtrise limitée de l'équilibre biologique et des processus de traitement

NB : FPR : filtre planté de roseaux ; LN : lagunage naturel

2.3.4 Traitement tertiaire

Il existe différents types de traitement tertiaire, permettant d'éliminer les teneurs résiduelles en polluants majeurs des eaux usées traitées (EUT), principalement les MES (contenant les fractions particulières de l'azote et du phosphore) et les pathogènes.

Les premières peuvent être traitées par différents processus de filtration (microfiltration, ultrafiltration, osmose inverse ou filtration sur milieu granulaire), atteignant un rendement supérieur à 70%. Pour les seconds, une étape de désinfection est nécessaire pour l'élimination / dégradation des pathogènes et des micropolluants, par processus chimiques (chloration, ozonation) ou physiques (rayonnement UV) (Le Roy *et al.*, 2020).

2.4 Traitement des boues

Les différentes étapes de la filière « eau » génèrent des sous-produits plus communément appelés boues. Ces boues sont produites lors des traitements primaire et secondaire et résultent de l'accumulation de trois phénomènes : la production de micro-organismes, l'accumulation à la fois de matières en suspension minérales et de matière organique non biodégradable (Edwards *et al.*, 2017).

Comme l'illustre la Figure 3, il existe un nombre important de traitements possibles. Globalement, quatre étapes peuvent être mises en place : l'épaississement, la stabilisation, le conditionnement et la déshydratation.

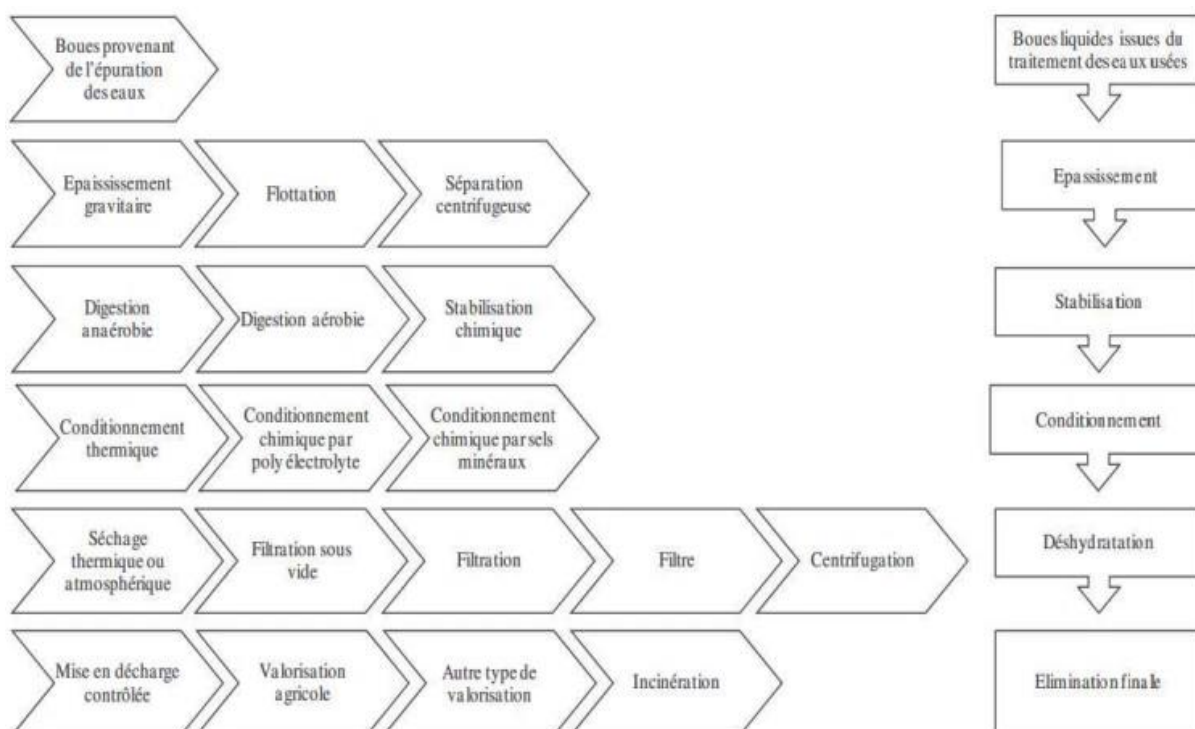


Figure 3. Traitement des boues d'une station d'épuration (Deshayes, 2015).

3 Réutilisation des eaux usées épurées et des boues résiduaires

3.1 Réutilisation des eaux usées en Algérie

L'accès durable aux ressources en eau est une préoccupation majeure dans tous les pays du monde. L'Algérie est l'un des pays de la méditerranée touchés par le stress hydrique, elle est classée dans la catégorie des pays pauvres en cette matière, soit en dessous du seuil théorique de rareté fixé à 1000 m/hab/an (Bouchaala *et al.*, 2017).

À cet égard, l'Algérie a affiché la volonté de développer une politique d'atténuation du phénomène de rareté d'eau et ne veut plus tourner le dos à la valorisation des EUT pour les besoins agricoles (Maki et Chenini, 2023).

Parmi les grands objectifs de la politique de gestion du secteur de l'eau, figurent la réhabilitation et la réalisation des systèmes d'épuration des eaux usées des zones agglomérées dont la population est supérieure à 100000 habitants et des agglomérations situées à proximité des périmètres agricoles et des agglomérations à haut risque de pollution environnemental (Bouhanna, 2021).

Durant l'année 2019, un volume de 12.325.269 m³ d'eaux épurées a servi à l'irrigation de 11.045 hectares de terres agricoles, soit un taux de la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture (REUE) de 31 % du volume épurée.

En revanche, le potentiel de la réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles évoluera d'une manière significative, durant l'année 2020, où sur les 154 stations d'épuration exploitées par l'ONA (76 stations à boues activées, 75 stations de lagunage et 03 filtres plantés) à travers les 44 wilayas, 16 stations sont concernées par la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture (**ONA, 2019**). Ces 154 STEP ont assuré l'épuration de plus de 253 millions de m³ d'eaux. La capacité globale installée de ces 154 stations est de 10 390 762 EH, soit un débit nominal moyen de 1 573 867 m³/j et un débit moyen journalier des eaux usées épurées de 668 396 millions m³/j (**Abbes, 2022**).

D'après **Maki et Chenini (2023)**, L'utilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation dans l'Algérie n'en est qu'à ses balbutiements. Avec une production d'eaux usées estimée à 1,2 milliard de m³/an et une capacité de traitement de 0,8 milliard de m³/an, l'Algérie réutilise aujourd'hui seulement 0,1 milliard de m³/an.

3.2 Modes de réutilisation des eaux usées

La réutilisation des eaux usées est répandue dans le monde entier avec plusieurs types de valorisations (**Fig.04**). Il existe des milliers de projets de réutilisation des eaux usées (**Bixio et al, 2008**). On peut distinguer cinq catégories de réutilisation :

- Réutilisation pour l'irrigation : cultures fourragères ou maraîchères, céréales, prairies, etc.
- Réutilisation industrielle : circuit de refroidissement, construction, papeteries, industries textiles, etc.
- Réutilisation en zone urbaine: lutte contre l'incendie, lavage de voirie, recyclage des eaux usées d'un immeuble, arrosage de parcs, golfs, cimetières, etc.
- La production d'eau potable.
- La recharge de la nappe phréatique (**Degremont, 2005**).

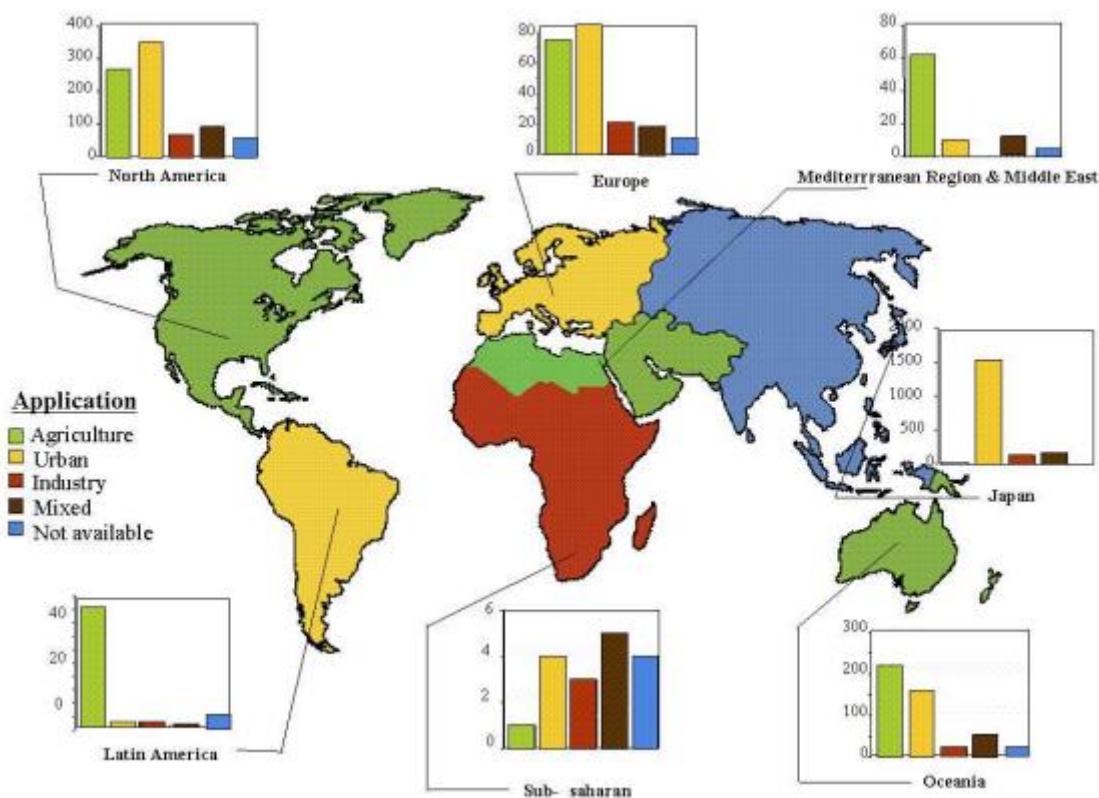


Figure 4. Aspects de réutilisation des EU dans les différentes régions du monde (Boxio *et al.*, 2005)

3.3 Avantages de la réutilisation des eaux usées épurées

L'utilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation peut avoir une influence positive sur la production agricole et améliorer les caractéristiques physico-chimiques du sol (Kiziloglu *et al.*, 2007). La présence d'azote, de phosphore, de matière organique et d'autres oligo-éléments dans l'eau constitue une bonne source de nutriments pour la croissance, le rendement et la qualité des cultures. Elle minimise la dégradation du sol, améliore la fertilité et rétablit la teneur en nutriments du sol (Khurana et Singh, 2012; Christou *et al.*, 2014; Almukhtar *et al.*, 2015 ; Almukhtar et Scholz, 2016).

L'apport supplémentaire de carbone organique ou l'ajout de micro-organismes via les eaux usées augmente l'activité microbienne du sol. Cette augmentation de l'activité microbienne du sol est bénéfique à la fois pour l'agriculture et pour le développement de la flore et de la faune dans l'écosystème du sol (Friedel *et al.*, 2000).

La réutilisation des eaux usées peut également présenter un avantage économique, car son coût est limité par rapport à d'autres techniques mises au point pour obtenir de l'eau douce. La production d'eaux usées traitées peut coûter moins cher que l'approvisionnement en eaux souterraines profondes, l'importation d'eau et le dessalement (Ganji *et al.*, 2024).

3.4 Risques liés à la réutilisation agricole des eaux épurées

3.4.1 Risques sanitaires

La principale préoccupation liée à la réutilisation des eaux usées, même si elles ont été traitées, est la transmission potentielle de maladies infectieuses, essentiellement, les pathogènes entériques (**Farhadkhani et al., 2020**). Différentes études ont montré que les *Campylobacter* pathogènes (*jejuni* et *coli*), *Salmonella spp.* et *E. coli* qui produisent des toxines Shiga (STEC) ont été observées dans les eaux usées traitées (**Bonetta et al., 2022**). Les eaux usées épurées peuvent contenir divers contaminants à l'état de traces appelés "micropolluants" dont leur toxicité est surtout liée à leur potentiel effet cancérigène, mutagène et/ou reprotoxique (**Carré, 2017**).

3.4.2 Risques environnementaux

De nombreux auteurs ont signalé que l'irrigation par les eaux usées peut entraîner le dépôt de sels (cations et anions) dans le sol et augmenter sa salinité (**Kallel et al., 2012 ; Shakir et al., 2017**). Une grande quantité de sodium dans l'eau affecte la perméabilité des sols et pose des problèmes d'infiltration (**Suarez et al., 2006**). Une salinité élevée du sol peut affecter la physiologie et l'anatomie des plantes et réduire la productivité des cultures. Le stress osmotique provoqué par une salinité élevée peut réduire le potentiel hydrique des plantes en le provoquant dans leur zone racinaire (**Mishra et al., 2023**).

Les chercheurs affirment que l'irrigation avec des EUT par rapport à l'eau douce peut entraîner l'accumulation de métaux lourds dans les plantes (**Parveen et al., 2015 ; Qureshi et al., 2016 ; Rezapour et al., 2019**). Le fer, le plomb, le zinc, le cuivre, le cadmium, le nickel et le chrome sont souvent des éléments accumulés (**Becerra-Castro et al., 2015**). Ces éléments favorisent la croissance des plantes, mais Lorsque leurs concentrations de ces composés dépassent le seuil limite, ils peuvent induire une toxicité par accumulation dans les plantes (**Batarseh et al., 2011**).

La toxicité des plantes peut également augmenter en raison de l'absorption et de l'accumulation de produits chimiques xénobiotiques, y compris les médicaments, les articles de soins personnels et les perturbateurs endocriniens (**Mishra et al., 2023**). Les effluents des stations d'épuration déposent de grandes quantités de matières organiques dans les plans d'eau récepteurs, l'augmentation de la charge en éléments nutritifs entraîne une eutrophisation (**Ghosh, 2019**).

3.5 Possibilité de réutilisation des eaux usées épurées en agriculture

La sélection d'un système d'irrigation à eau récupérée approprié est importante pour garantir une application uniforme et une efficacité élevée. La qualité des eaux usées, le type

de sol et de culture, la capacité de l'opérateur à utiliser diverses méthodes ainsi que les risques potentiels pour l'environnement et la santé humaine déterminent le type d'irrigation choisi. Les méthodes d'irrigation peuvent être regroupées en cinq catégories : (i) l'irrigation par inondation, (ii) l'irrigation par sillons, (iii) l'irrigation par aspersion, (iv) l'irrigation souterraine et (v) l'irrigation localisée (**Hashem et Qi, 2021**) .

Exemple d'irrigation localisée est l'irrigation goutte à goutte, où l'application de l'eau récupérée se fait directement sur les racines de la plante. L'irrigation goutte à goutte empêche la propagation des maladies par contact direct avec des feuilles contaminées (par exemple, taches noires et oïdium) ou par dérive d'aérosols, réduisant ainsi les problèmes de santé pour les opérateurs et la communauté (**Santos et al., 2023**). L'irrigation souterraine ou gravitaire peut nuire à la qualité des eaux souterraines et de surface. Des contaminations directes peuvent avoir lieu lors de la maintenance du système d'irrigation.

L'irrigation par aspersion crée des aérosols contaminants qui peuvent être transportés sur de longues distances. Alors que l'irrigation gravitaire à la raie et par inondation exposent les travailleurs à des hauts risques sanitaires, notamment lorsque le travail de la terre se fait sans protection (**Peasey et al., 2000**). Les nouvelles recommandations de l'OMS ont prévu des niveaux de risque selon la technique d'irrigation et les types des cultures (**OMS, 2006**).

3.6 Valorisation des boues résiduaires

Les boues d'épuration sont issues de la phase de traitement biologique après décantation. Elle contient de l'eau, 35 à 85 % de matière sèche organique et principalement composée de cadavres de bactéries. Leur siccité initiale ne dépasse pas 10 %. Les composés azotés et phosphorés n'étant généralement pas spécifiquement éradiqués, ils peuvent servir d'amendement agricole valorisant si les boues subissent un traitement approprié (**Kettab, 2017**).

Les boues traitées contiennent de grandes quantités de nutriments, tels que N, P, K et des matières organiques et ont le potentiel d'être utilisées comme fertilisant de sols (**Feng et al., 2015**), dans les zones où le sol a été appauvri en nutriments ou sa capacité de rétention d'eau est faible (**Bajsa et al., 2004**).

CHAPITRE 2
MATERIEL ET METHODES

1 Présentation de la ville d'Ain Beida

La ville d'Ain Beida, est la plus grande ville de la wilaya d'Oum El Bouaghi, située au Sud-Est d'Oum El Bouaghi à 24 km et au Nord-est de l'Algérie entre latitude : 35.77930 N et longitude : 7.55971 E, une altitude de 1060 m au-dessus du niveau de la mer (**Fig. 5**) dans les hautes plaines constantinoises avec une altitude moyenne de 926 mètres au niveau du noyau central (**Benchaabane, 2019**).

Elle est limitée par:

- A l'Ouest par la wilaya d'Oum El Bouaghi.
- Au Nord-Ouest par la commune de Berriche.
- Au Sud par la commune de Fkirina.
- A l'Est par la commune de Zorg.

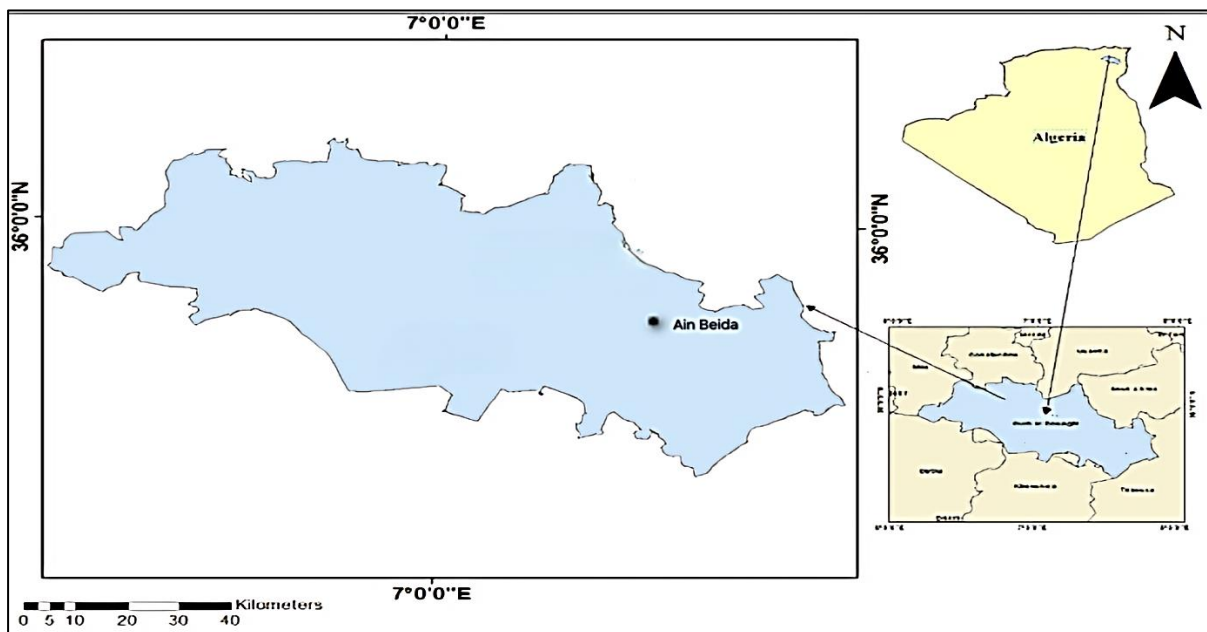


Figure 5. Localisation de la ville d'Ain Beida dans la wilaya d'Oum El Bouaghi (**Gagui et al., 2023**).

La ville d'Ain Beida se situe dans les hautes plaines telliennes et subit les influences d'une zone sub-saharienne. Elle connaît des hivers froids et rigoureux ainsi que des étés chauds et secs.

Les moyennes de précipitation et de température sont respectivement de l'ordre de 326.46 mm et 15.77 °C (2010-2021, station d'Oum Bouaghi).

Le réseau hydrographique d'Ain Beida est représenté par oued « El Hassi », au nord-ouest et oued « Yesfer » au sud-est (**Benchaabane, 2019**). L'alimentation en eau potable de la ville d'Ain Beida se fait à partir :

- Eaux souterraines.

- Eaux de surface (barrage d'Ain Dalia, Wilaya de Souk Ahras) (Mazouz, 2018).

2 Présentation générale de la STEP de Ain Beida

La station d'épuration des eaux usées d'Ain Beida (Wilaya de Oum El Bouaghi) (Fig. 6), se trouve au sud-ouest de la ville à 3.5 km, elle a été mise en service le 01/01/2015 par les canadiens et transférée à l'ONA le 01/07/2015. La conception de la station répond aux exigences de la ville d'Ain Beida d'une capacité de $14 \cdot 10^4$ EH. Les coordonnées de géolocalisation selon GPS sont : $35^{\circ}47'22.60''N$, $7^{\circ}20'20.14''E$. Altitude : 930 m (niveau de la mer). Le milieu récepteur des eaux traitées est Oued El Azzabi.



Figure 6. Photo satellitaire du STEP d'Ain Beida (Google Earth, 2024)

3 Objectifs principaux de la station d'épuration

- Protection de la nappe phréatique.
- Préservation de la santé publique contre les maladies à transmission hydriques.
- Réutilisation des eaux épurées pour l'irrigation.
- Réutilisation des boues issues de l'épuration à des fins agricoles.

4 Fonctionnement de la STEP d'Ain Beida

La STEP d'Ain Beida fonctionne selon un procédé à cultures libres de type boues activées à faible charge et à aération prolongée.

L'eau usée brute arrive à la station avec un débit moyen de 10^4 m³/jour et une pointe de débit max de l'ordre de $16,84 \cdot 10^3$ m³/jour. Après une série de prétraitements (dégrillage, dessablage, déshuilage), les eaux usées sont admises directement dans les bassins d'activation

pour un traitement biologique. Le fonctionnement des bassins biologiques est anaérobie/aérobie.

Après dégradation de la pollution carbonée, azotée et phosphorée les eaux usées sont dirigées vers un clarificateur pour une séparation solide-liquide. L'eau clarifiée est directement rejetée dans l'Oued El Azzabi.

4.1 Filière de traitement des eaux

4.1.1 Arrivée des eaux brutes

L'arrivée des eaux usées municipales de la ville se fait par gravité. Le by-pass des réseaux des eaux usées, construit pour contrôler le débit des eaux usées dans la station, il peut réduire ou augmenter le débit des rejets. Comme il assure l'évacuation de l'excès en eau et lutte contre les risques d'arrivée brutale des eaux fortes surtout dans les cas des inondations ou forte averse (**Fig. 7**).



Figure 7. By-pass (2024)

4.1.2 Prétraitement

4.1.2.1 Panier grossier

Les eaux à traiter passent d'abord par un panier grossier manuel (distance entre les barres d'environ 10^2 mm) (**Fig. 8**), il a pour but d'éliminer les matières volumineuses. Le poste de relevage contient à l'intérieur, les installations de dégrillage grossier (**Fig. 9**) et quatre pompes de relevage d'eau (**Fig. 10**).



Figure 8. Le panier grossier (2024)

4.1.2.2 Dégrillage grossier

Le dégrilleur grossier existe à l'intérieur du poste de relevage son rôle c'est de filtrer tous les déchets qui ont réussi à passer l'étape précédente dans le panier grossier, et les déchets qui ont un diamètre inférieur à 10 cm (**Fig. 9**). Le rôle de cette étape est d'éviter l'engorgement des pompes (**Fig. 10**) et des équipements en aval du dégrillage en éliminant les gros déchets rejetés dans un transporteur de déchets. (**Fig. 9**).



Figure 9. Le Dégrilleur grossier / transporteur des déchets (2024)

Tableau 3. Caractéristiques de grille grossière (STEP Ain Beida, 2024).

Désignation	Caractéristiques
Nombre de grille	2
Largeur du canal	1 600 mm
Distance entre les barreaux	40 mm
Angle d'inclinaison	60 °
Épaisseur des barreaux	10 mm

4.1.2.3 Relevage d'eau

Le relèvement des eaux usées après le dégrillage grossier, se fait à l'aide des quatre pompes de relevage qui ont une capacité totale de 4400 m³/h (**Fig. 10**).

**Figure 10.** Pompes de relevage (2024)

4.1.2.4 Dégrillage fin

Après le relevage d'eau (**Fig. 11-A**), vers le haut, l'eau passe au dégrilleur fin (**Fig. 11-B**) afin d'éliminer tous les déchets solides de petite taille (**Fig. 11-C**).

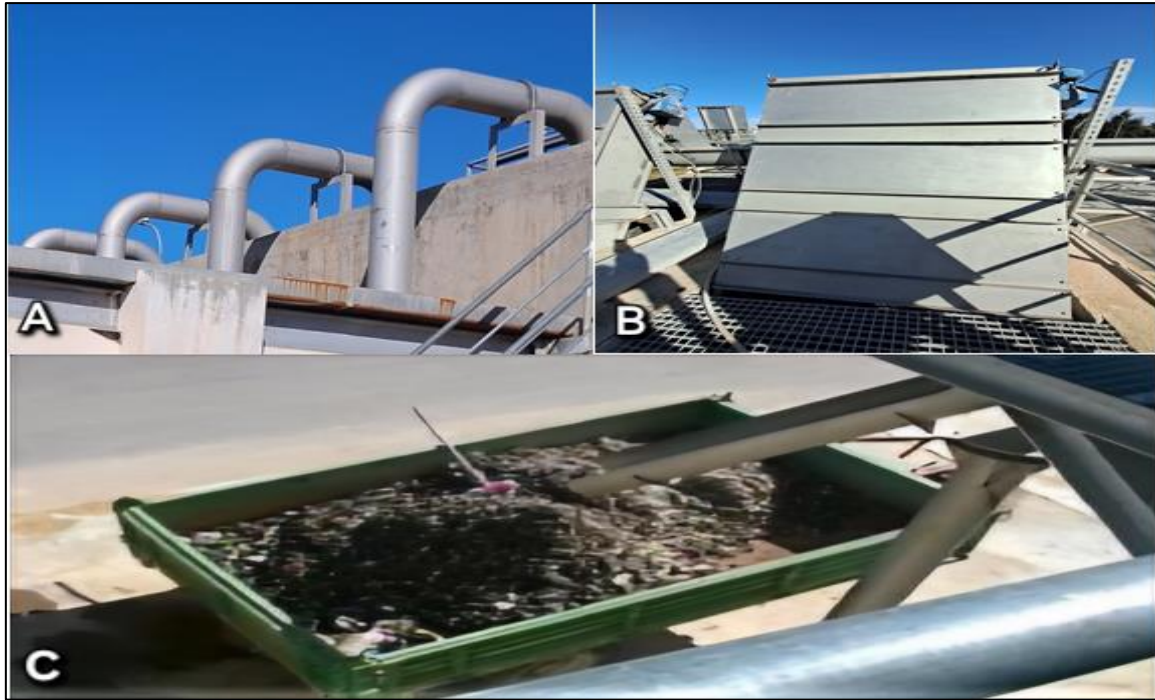


Figure 11. Le dégrillage fin (2024)

Tableau 4. Caractéristiques de grille fine (STEP Ain Beida, 2024).

Désignation	Caractéristiques
Nombre de grille	2 en service
Largeur du canal	1 600 mm
Distance entre les barreaux	8 mm
Angle d'inclinaison	60 °
Épaisseur des barreaux	6 mm

4.1.2.5 Dessablage / Dégraissage

La stagnation des eaux permet la sédimentation des dépôts lourds au fond du bassin. Ces dépôts composés de sable, argile, limons, graviers et d'autres particules minérales, ces derniers sont récupérés par un pompage, puis les eaux sont acheminées vers le classificateur à sable (**Fig. 12-B**) afin d'évacuer l'eau et extraire sauf le sable.

Les graisses et les huiles sont légères, puis, remontées à la surface avec l'injection des bulles d'air qui facilite leur flottation, l'ouvrage muni d'un pont roulant sert à racler les huiles et les graisses flottantes (**Fig. 12-A**).

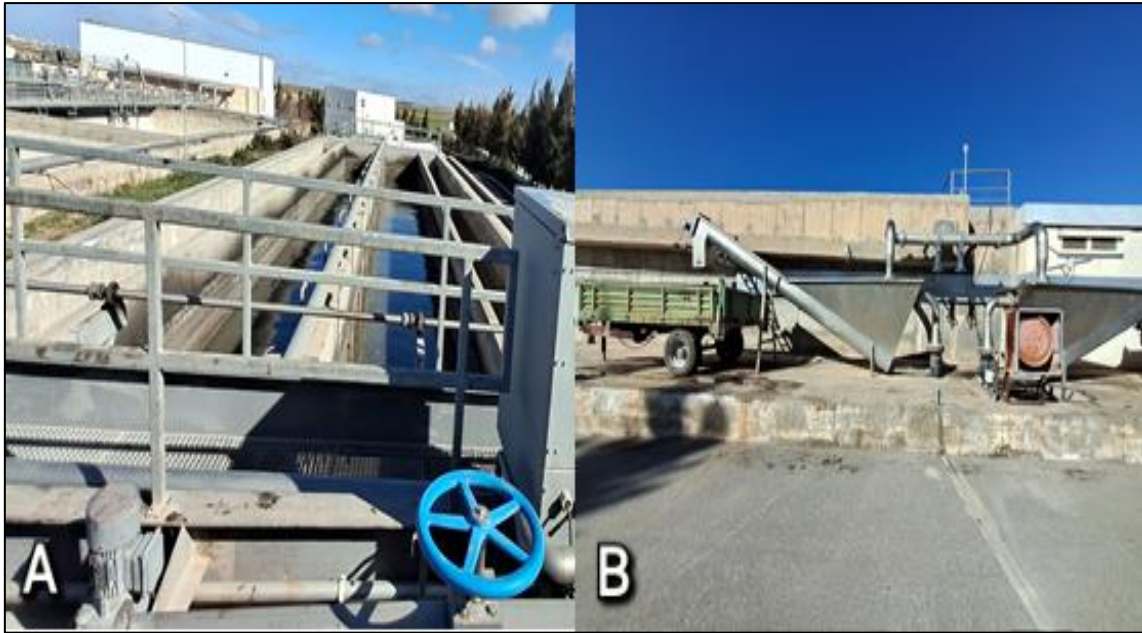


Figure 12. Le dessablage déshuilage (A : Dessableur-Dégraisseur ; B : Classificateur a sable (2024)

Tableau 5. Caractéristiques de Dessableur – Déshuileur (STEP Ain Beida, 2024).

Désignation	Caractéristiques
Type de dessableur-Dégraisseur	Rectangulaire aéré
Nombre de canal	2 en service
Longueur	31 m
Largeur	3,5 m (2,3 m dessablage et 1,2 m déshuilage)
Hauteur d'eau active	2,21 m
Volume dessablage	166 m ³

4.1.3 Traitement biologique

Le fonctionnement d'épuration des eaux usées de la STEP d'Ain Beida est de type : Boue activée. Ce processus se fait dans la zone de contact boue/eau (**Fig. 13**) à l'intervention des micro-organismes (bactéries) épurateurs qui transforment la matière organique polluante dissoute (azotée /phosphorée/carboné) en boues biologiques par une alternance de phase d'aération et de repos dans des bassins biologiques, ce dernier comprend trois zones :

4.1.3.1 Bassin biologique

- **Zone anaérobie (déphosphoration)**

Dans ce milieu anaérobie, pauvre en oxygène, les bactéries décomposent 30% des phosphates, donc l'accumulation des phosphates dans la biomasse épuratrice ajouté sous forme d'une boue activée (**Fig. 13**).



Figure 13. La zone anaérobie (2024)

- **La zone anoxie**

La zone anoxie situé en amont du bassin d'aération (**Fig. 14**), avec la diminution d'oxygène dans le milieu, les bactéries utilisent les nitrates (NO_3^-) pour satisfaire leur besoin en oxygène, par la désoxygénation : $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2$.



Figure 14. La zone anoxie (2024)

- **Zone aérobie (Phase de nitrification)**

Comprend des équipements d'aération (diffuseur à disque) installé au fond du bassin, cela alimente le bassin en oxygène (**Fig. 15**) nécessaire pour le processus de la dégradation de la matière organique polluante par les microorganismes aérobies



Figure 15. Zone aérobie (Bassin avec insufflation d'air) (2024)

Tableau 6. Caractéristiques de bassin biologique (STEP Ain Beida, 2024).

Paramètre	Dimension
Forme de bassin	Rectangulaire
Nombre d'ouvrage	3 m
Longueur de bassin	96 m
Largeur de bassin	60 m
Hauteur d'eau	7 m
Volume totale de bassin d'aération	29625 m ³
Volume anaérobie	2250 m ³
Volume anoxie	4200 m ³
Age des boues	12 -20 jours
Temps de séjour	49 h
Débit moyen	16,840 m ³ /j

4.1.3.2 Bassin de dégazage

L'élimination des gaz et la précipitation des PO_4^- par un réactif chimique (le sel ferreux), dans le bassin de dégazage apparaissent dans la figure (16).

**Figure 16.** Bassin de dégazage (2024)

4.1.4 Décantation secondaire (Clarification)

L'eau après le dégazage passe au clarificateur qui sépare l'eau et la boue, le pont racleur apparaissent dans la figure (17) débarrasse les boues qui se déposent au fond.



Figure 17. Décanteur secondaire (Clarificateur) (2024)

4.1.5 Traitement tertiaire

La STEP d'Ain Beida applique la méthode de désinfection par chloration (**Fig. 18**). Cette étape est pour but l'élimination des microorganismes pathogène. Mais ce type de traitement a été abandonné ces dernières années.



Figure 18. Bassin de chloration (2024)

4.2 Filière des Boues

Après la séparation des boues dans le clarificateur, une partie des boues est recirculée vers les bassins biologiques pour l'accélération du processus de dégradation de la matière polluante, le reste des boues en excès est évacuer vers l'épaississeur.

4.2.1 Épaississement primaire

Les boues épaissies dans l'épaississeur primaire (**Fig. 19**) sont pompées vers le digesteur aérobie, et l'eau recirculée vers la station de relevage.



Figure 19. L'épaississeur primaire (2024)

Tableau 7. Caractéristiques d'épaississeur primaire (STEP Ain Beida, 2024).

Désignation	Caractéristiques
Type de bassin	Circulaire
Nombre de bassin	2
Hauteur	3 m
Surface par ouvrage	214 m ²
Diamètre	14,00 m
Concentration des boues	20 g/l
Débit journalier	908 m ³ /j
MES initiales	1,3 %
MES finales	4,0 %
Charge superficielle	35 Kg/m ² /j
Temps de séjour	6,5 h

4.2.2 Digestion aérobie

Dans le digesteur aérobie, la stabilisation des boues vise à limiter leur fermentation ultérieure, susceptible de produire des odeurs et d'altérer leur composition (**Fig. 20**).



Figure 20. Le digesteur aérobie (2024)

Tableau 8. Caractéristiques de digesteur aérobie (STEP Ain Beida, 2024).

Paramètre	Caractéristiques
Nombre d'ouvrage	2
Longueur d'un bassin	36 m
Largeur d'un bassin	16 m
Hauteur d'eau	5 m
Volume totale d'aération	5,200 m ³
Débit boue épaissie	243 m ³ /j
Temps de séjour	7 J
Quantité des boues totales	10,852 Kg/j
Matières organiques	68 %
Elimination des matières organiques	33 %
MES finales	3,5 %
Besoin en oxygène / air comprimé	
Besoin en oxygène spécifique	1,25 Kg O ₂ /kg MES
Consommation maximale	565 Kg O ₂ /h

4.2.3 Épaississement secondaire

L'épaississeur secondaire sert à épaissir les boues digérées (Fig. 21). Les boues épaissies sont pompées vers les lits de séchage.



Figure 21. L'épaississeur secondaire (2024)

Tableau 9. Caractéristiques de l'épaississeur secondaire (STEP d'Ain Beida, 2024).

Paramètre	Caractéristiques
Nombre d'ouvrage	1
Diamètre	19 m
Surface	284 m ²
Hauteur totale	4 m
Quantité de boues	22,059 Kg/j
MES initiales	3,2 %
MES finales	7 %
Charge superficielle	78 Kg/m ² /j
Temps de séjour	18 h
Débit de boues épaissies	315 m ³ /j
Débit de surnageant	381 m ³ /j

4.2.4 Déshydratation des boues

Les boues épaissies sont déchargées dans les lits de séchage (**Fig. 22-A**). Cela permet de diminuer la teneur en eau des boues (**Fig. 22-B**).

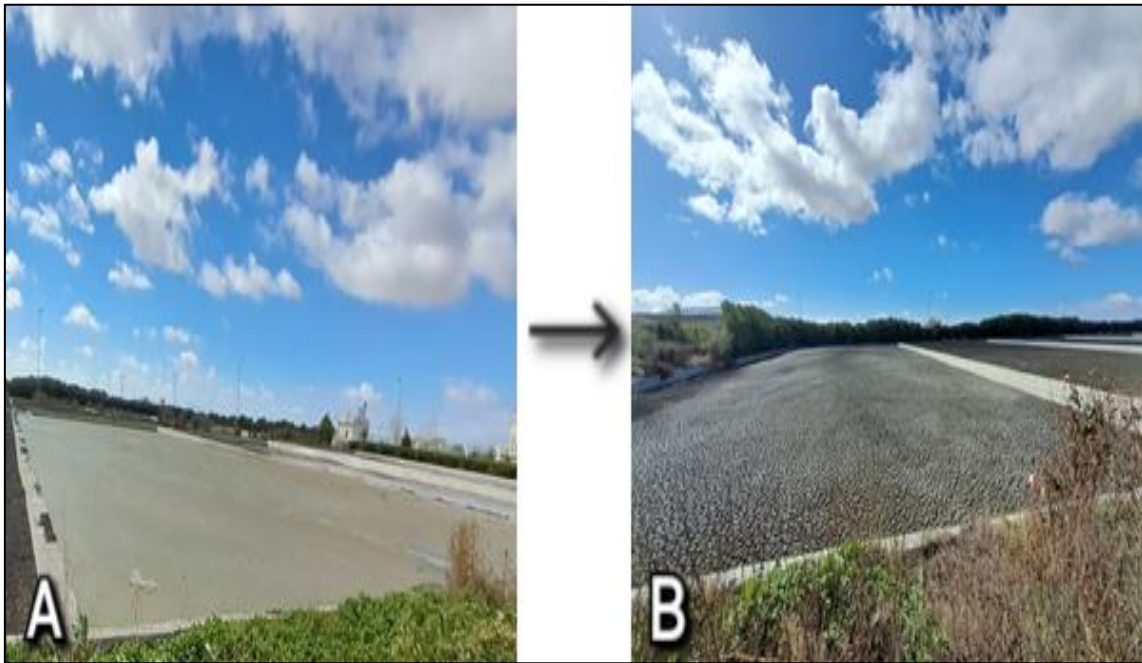


Figure 22. Les lits de séchage (**A** : Avant séchage ; **B** : Après séchage) (2024)

Tableau 10. Caractéristiques des lits de séchage (STEP Ain Beida, 2024).

Paramètre	Caractéristiques
Nombre d'ouvrage	10
Longueur de lit	50 m
Largeur de lit	25 m
Surface du lit	1250 m ²
Quantité de boues	7,600 Kg/j
Volume de boue	152 m ³ /j
Durée de séchage	90 J
Couche de boue	1 m

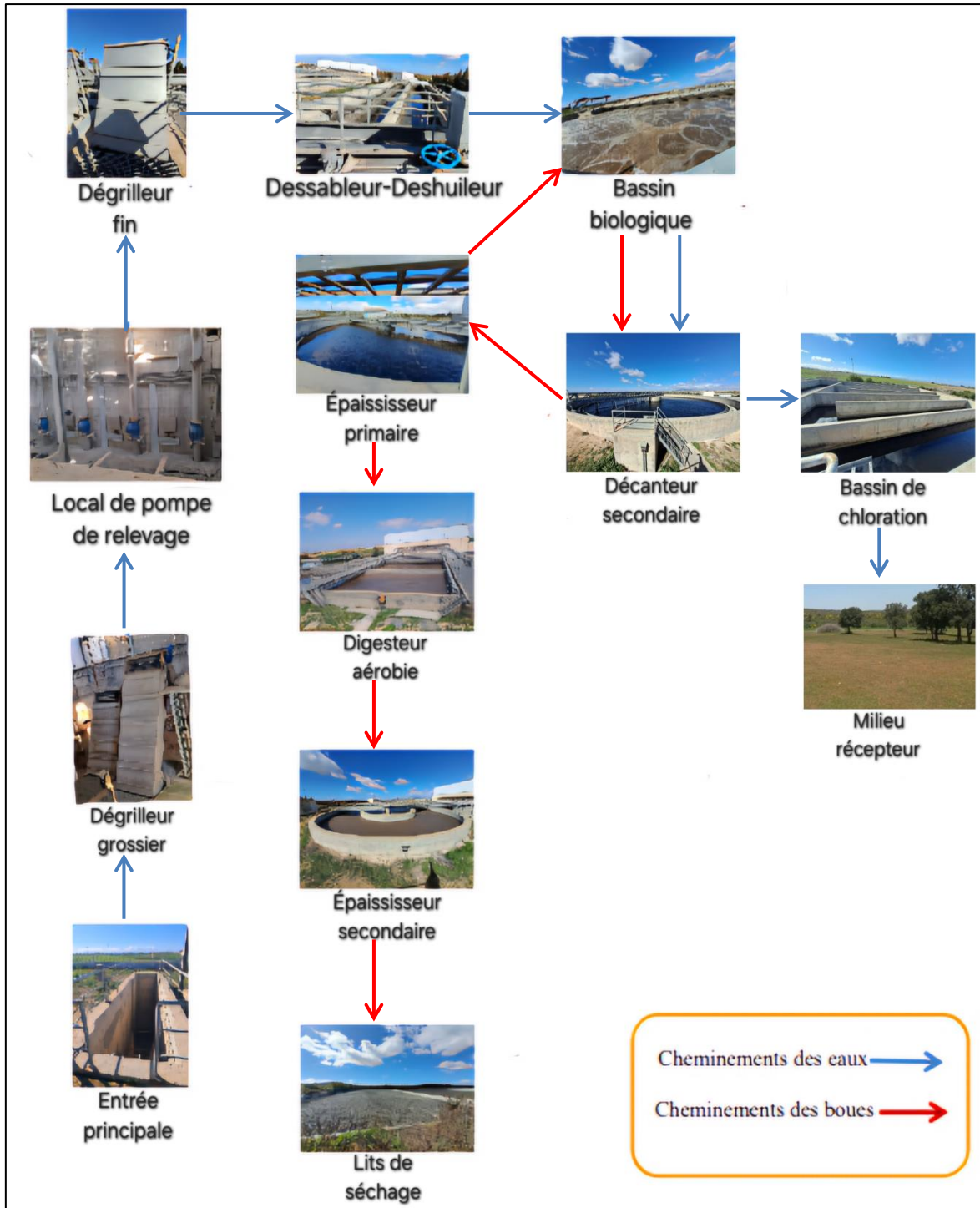


Figure 23. Présentation générale des différents ouvrages de la STEP d'Ain Beida

5 Collecte des données, échantillonnage et analyses des eaux usées

5.1 Échantillonnage

L'échantillonnage est effectué une seule fois par jour à l'entrée et à la sortie de la station, afin de suivre la performance épuratrice de la STEP.

- Un échantillon d'eau brute dans la phase de dégrillage fin.
- Un échantillon d'eau purifiée à la sortie.

Les échantillons doivent être conservés dans des conditions bien définies (température, obscurité....) dans un échantillonneur automatique (**Fig. 24**).

L'agent prélève un échantillon représentatif en mélangeant le contenu de 12 flacons et le rapporte au laboratoire de la STEP pour effectuer la caractérisation physicochimique des eaux. Le processus d'échantillonnage pour le moment est effectué manuellement (**Fig. 25**) en raison de dysfonctionnement d'échantillonneur automatique.



Figure 24. Échantillonneur automatique (2024)







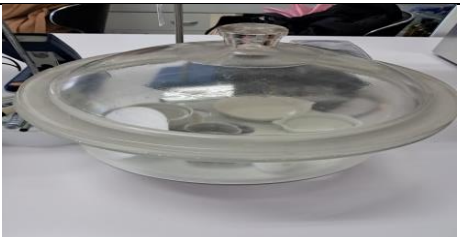
Figure 25. Echantillonnage manuel (2024)

5.2 Analyses physicochimiques

Généralement, T, PH, CE sont mesurées in situ, alors que MES, MVS, DCO, DBO₅, Nt, NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻ et PO₄³⁻ sont réalisé au niveau du laboratoire de la STEP. Le Tableau (11) résume les principaux paramètres physicochimiques analysés et l'appareillage utilisé.

Tableau 11. Les appareils et leur fonction dans le laboratoire de la STEP d'Ain Beida

Appareil	Fonction	Photo de l'appareil
Multi-paramètre	Mesure différents paramètre : pH, CE(μs/cm), Température(°C)	
Oxymètre de Laboratoire	Mesure d'oxygène Dissous en mg/L	
Spectrophotomètre	Spectrophotométrie des concentrations (DCO, Nt, NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ⁺ , Pt) en mg/L	
Réacteur DCO	Faire la minéralisation de la DCO (chauffé les tube à 148°C pendant 02 heures) en mg/L	
Armoire thermorégulatrice pour l'incubation	L'incubation des échantillons à 20°C pendant 05 jours (DBO ₅)	
DBO₅ mètre	Mesure la DBO ₅	

<p>Centrifuge</p>	<p>Appareil de séparation selon la densité (détermination des matières en suspensions)</p>	
<p>Balance de Précision</p>	<p>Mesure précise avant et après le séchage du MES</p>	
<p>Étuve</p>	<p>Séchage des matières en suspensions (MES)</p>	
<p>Bain-marie</p>	<p>Désinfection des Verreries</p>	
<p>Dessiccateur</p>	<p>Protéger les substances précieuses contre l'humidité</p>	

6 .Normes admissibles des eaux usées

Le recyclage (REUE) est une solution efficace pour la pénurie d'eau dans l'agriculture. En effet, le traitement et la réutilisation des eaux usées pour l'irrigation agricole permettent à la fois de :

- répondre aux besoins de ce domaine
- favoriser les économies
- venir en aide à certaines communautés.

Les eaux usées traitées de la STEP doivent présenter les caractéristiques physicochimiques présentées sur le Tableau (12) pour être acceptée pour le traitement

Tableau 12. Les normes des eaux traitées (OMS, 2006 ; JORA, 2012)

Paramètre	Unité	Norme (JORA, 2012)	Norme (OMS, 2006)
T	C °	30	30
PH	-	6.5-8.5	6.5-8.5
CE	µs/cm	3000	50-1500
DCO	mg/L	90	90
DBO ₅	mg/L	30	30
MES	mg/L	35	20
NH ₄	mg/L	-	0.5
NO ₂	mg/L	1	1

JORA : Journal Officiel de la République Algérienne, **OMS** : Organisation mondiale de la santé

CHAPITRE 3
RESULTATS ET DISCUSSION

1 Etude de la Qualité physico-chimique des eaux usées brutes et épurées de la STEP d'Ain Beida

Notre étude est basée sur l'identification, l'évaluation et la comparaison des résultats d'analyses d'un ensemble de paramètres physicochimiques des eaux usées à l'entrée et à la sortie de la station d'Ain Beida durant une période d'observation de trois ans : 2012, 2022 et 2023 (**Tableau 13**).

Tableau 13. Statistiques descriptives des caractéristiques physico-chimiques des eaux brutes et traitées de la STEP d'Ain Beida durant la période (2021–2023).

Paramètres	Eaux brutes				Eaux traitées				JORA	FAO
	Min	Max	Moy	ET	Min	Max	Moy	ET	(2012)	(1985)
T (°C)	7.9	25.24	14.42	4.76	6.83	23.2	12.23	4.06	30	30
pH	7.61	8.41	7.99	0.19	7.7	8.61	8.05	0.21	6.5-8.5	6.5-8.5
CE (mS/L)	1.79	2.64	1.99	0.18	1.57	1.97	1.75	0.12	3	3
MES (mg/L)	157.22	773.33	392.97	116.75	10.17	18.31	14.03	2.02	30	30
DBO ₅ (mg/L)	154.75	330.55	245.15	40.83	0.83	42.75	6.99	8.57	30	30
DCO (mg/L)	306.25	1279.15	660.32	201.45	34.5	107.21	50.79	14.23	90	90
NH ₄ ⁺ (mg/L)	29.4	68.4	49.42	11.12	0.001	15.4	2.2	5.24	-	5
NO ₃ ⁻ (mg/L)	-	-	-	-	1.95	19.5	11.32	3.91	30	15
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0.01	1.35	0.45	0.38	0.002	3.77	0.36	0.83	-	1
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	-	-	-	-	0.35	8.54	3.72	2.38	2	2

ET : écart type ; JORA : Journal Officiel de la République Algérienne ; FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

1.1 Variation des températures

La température est un facteur crucial car elle influe sur divers paramètres, notamment les réactions de dégradation et de minéralisation de la matière organique (**Moussaoui et al., 2023**). Ainsi que sur l'activité des micro-organismes, en modifiant les réactions chimiques et enzymatiques des cellules (**Tsertou et al., 2024**).

La disponibilité de l'oxygène est étroitement liée à la température puisque la solubilité de l'oxygène dans l'eau diminue avec l'augmentation de la température. Une élévation de la

température peut avoir des conséquences drastiques sur l'équilibre écologique en perturbant les réseaux alimentaires naturels, entraînant ainsi de nombreuses anomalies (Dwivedi, 2017).

À l'inverse, les basses températures ont un impact significatif sur le traitement biologique des eaux usées, retarde l'expression des gènes des enzymes clés de la dénitrification (Morales *et al.*, 2016). De plus, ces températures influent sur les performances d'adsorption et de décantation des boues activées (Wang *et al.*, 2024).

En se référant aux résultats sur la figure (26) qui représente les variations des températures des eaux usées à l'entrée et à la sortie de la STEP (2021, 2022 et 2023), les valeurs des températures des eaux brutes variaient de 7.9 °C à 25.24 °C, avec une moyenne de 14.42 ± 4.76 °C, alors que les valeurs des températures des eaux traitées fluctuaient entre 6.83 °C et 23.2 °C, avec une moyenne de 12.23 ± 4.06 °C.

Les températures les plus basses des eaux brutes et des eaux traitées sont respectivement (8.06 °C et 7.51°C), ces valeurs ont été enregistrées au mois de Janvier. En revanche, c'est au mois d'Août que l'on a observé les températures les plus élevées pour les eaux brutes et traitées (20.64 et 17.18 °C respectivement).

Les valeurs des températures des eaux usées de la STEP sont inférieures aux normes (30°C), ce qui assure le bon développement des populations bactériennes de type mésophile et favorise la dégradation de la pollution organique.

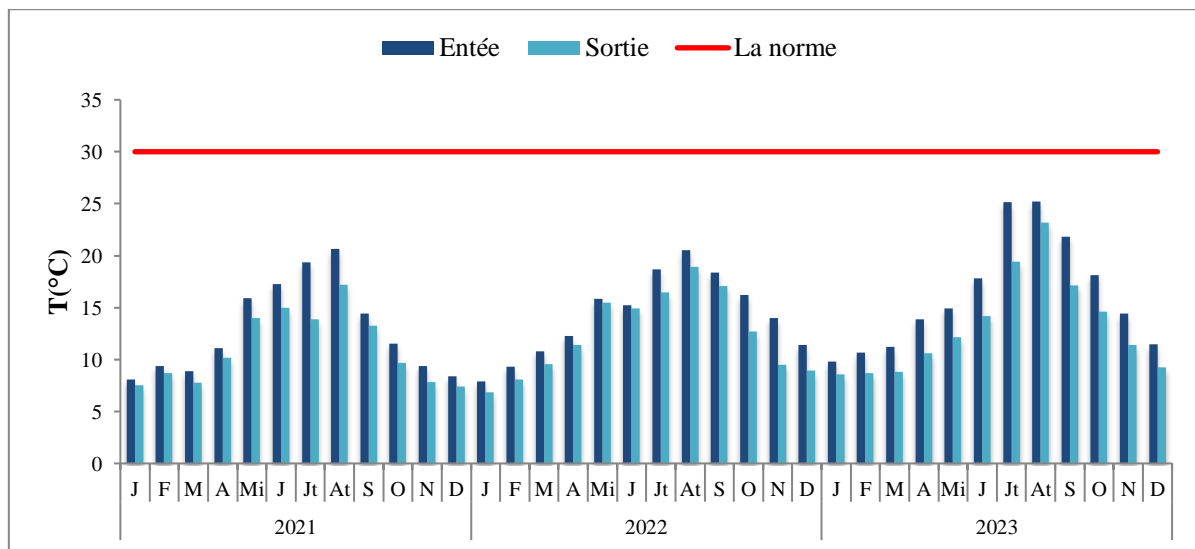


Figure 26. Variation mensuelle de la température des eaux usées brutes et traitées de la STEP d’Ain Beida pour la période (2021-2023)

1.2 Variation de potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH sert à quantifier la concentration en ions H^+ de l'eau qui lui confère son caractère acide ou basique, cette mesure peut apporter des renseignements sur la qualité d'une eau (Boyd *et al.*, 2015). Le pH joue un rôle important dans l'épuration d'un effluent. La nitrification optimale ne se fait qu'à des valeurs de pH comprises entre 7,5 et 9 (Metahri, 2012).

Le tableau (13) montre que les valeurs de pH des eaux brutes oscillent entre 7,61 et 8,41, avec une moyenne de $7,99 \pm 0,19$. En ce qui concerne les eaux épurées, les valeurs de pH oscillent entre 7,7 et 8,61, avec une moyenne de $8,05 \pm 0,21$, ce qui indique un état d'alcalinité pour les deux types d'eaux. Cette légère alcalinité est due à la présence de carbonates associés principalement au calcium et dans une moindre mesure au magnésium, sodium et potassium (Lehmann *et al.*, 2023).

La fluctuation du pH peut être expliquée par la présence de concentrations élevées de savon et de détergents dans les eaux domestiques, en plus de certains effluent industriels (Semegn *et al.*, 2023).

Les valeurs moyennes du pH de l'eau d'entrée et de la sortie sont parfaitement en accord avec les normes algériennes et internationales (6.5-8.5).

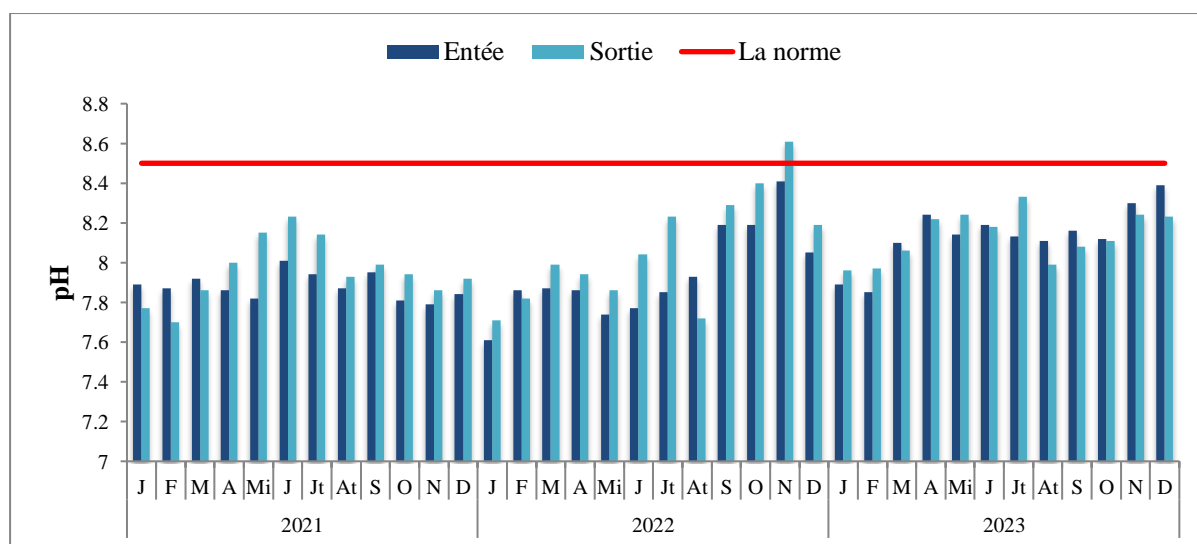


Figure 27. Variation mensuelle des valeurs du pH des eaux usées brutes et traitées de la STEP d'Ain Beida pour la période (2021-2023)

1.3 Variation de la conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau est une mesure de la quantité des ions dissous présents dans un échantillon (Zghari *et al.*, 2018). Le but des mesures de la CE est de

contrôler la qualité des eaux usées, elle reflète le degré de minéralisation global et nous renseigne sur la salinité de l'eau (**Rasheed et Hama Karim, 2017**).

Ses mesures peuvent être utilisées pour surveiller les processus de traitement des eaux usées qui provoquent des changements de conductivité tels que l'élimination biologique du phosphore et de l'azote (**Hadji et al., 2020**).

Les valeurs de la conductivité électrique de l'eau brute enregistrées au sein de la station d'épuration fluctuaient entre 1.79 et 2.64 mS/cm avec une moyenne de 1.99 ± 0.18 mS/cm, et pour les eaux traitées elle variait de 1.57 à 1.97 mS/cm avec une moyenne de 1.75 ± 0.12 mS/cm (**Tableau 13**). Ces valeurs enregistrées sont inférieures aux seuils recommandés par JORA et FAO (3 ms/cm). Cela signifie la bonne élimination des sels minéraux.

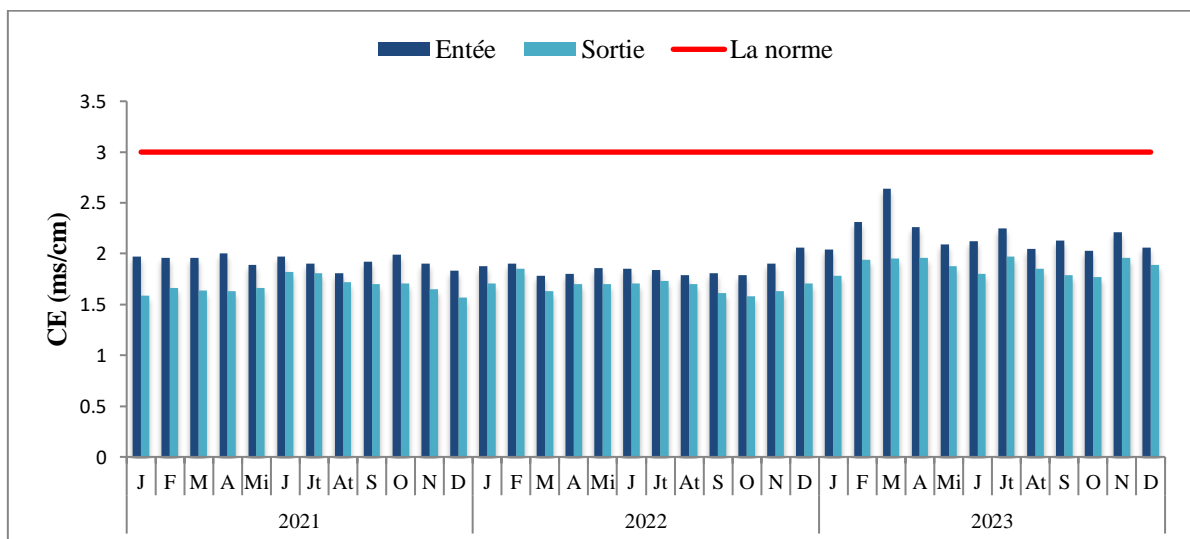


Figure 28. Variation mensuelle de la conductivité électrique des eaux usées brutes et traitées de la STEP d'Ain Beida pour la période (2021–2023)

1.4 Variation des matières en suspension

La matière en suspension est impliquée dans la composition de l'eau par ses effets sur l'échange d'ions ou l'absorption d'oligo-éléments ainsi que sur les micro-organismes (**Hadji et al., 2020**). Les altérations physiques causées par les MES comprennent une pénétration réduite de la lumière, des changements de température et le remplissage des canaux et des réservoirs lorsque des solides se déposent.

Les altérations chimiques provoquées par les MES comprennent la libération de contaminants, comme les métaux lourds et les pesticides et de nutriments comme le phosphore, dans le plan d'eau à partir de sites d'adsorption sur les sédiments (**Bilotta et Brazier, 2008**). De plus, là où les MES ont une teneur élevée en matières organiques, leur

décomposition in situ peut épuiser les niveaux d'oxygène dissous dans l'eau (Wijaya et Soedjono, 2018).

Le suivi de la variation de MES dans les eaux usées de la ville d'Ain Beida (Tableau 13, Fig. 29) montre que leurs teneurs varient entre 157.22 et 773.33 mg/l, avec une moyenne de 392.97 ± 116.75 mg/l pour les eaux brutes. Concernant les teneurs en MES des eaux traitées, leur étendue est comprise entre 10.17-18.31 mg/l avec une moyenne de 14.03 ± 2.02 mg/l. Ces résultats mettent en évidence l'efficacité du procédé de traitement biologique.

Ils indiquent qu'aucun problème n'est lié à la distribution de l'eau traitée. Aucune préoccupation ne se pose concernant le colmatage des systèmes d'irrigation ou la libération de contaminants (Moussaoui *et al.*, 2023), car la valeur moyenne calculée de MES ($14,03 \pm 2,02$ mg/L) dans l'eau traitée sont largement conforme aux normes fixées par la réglementation algérienne et internationale pour l'eau d'irrigation

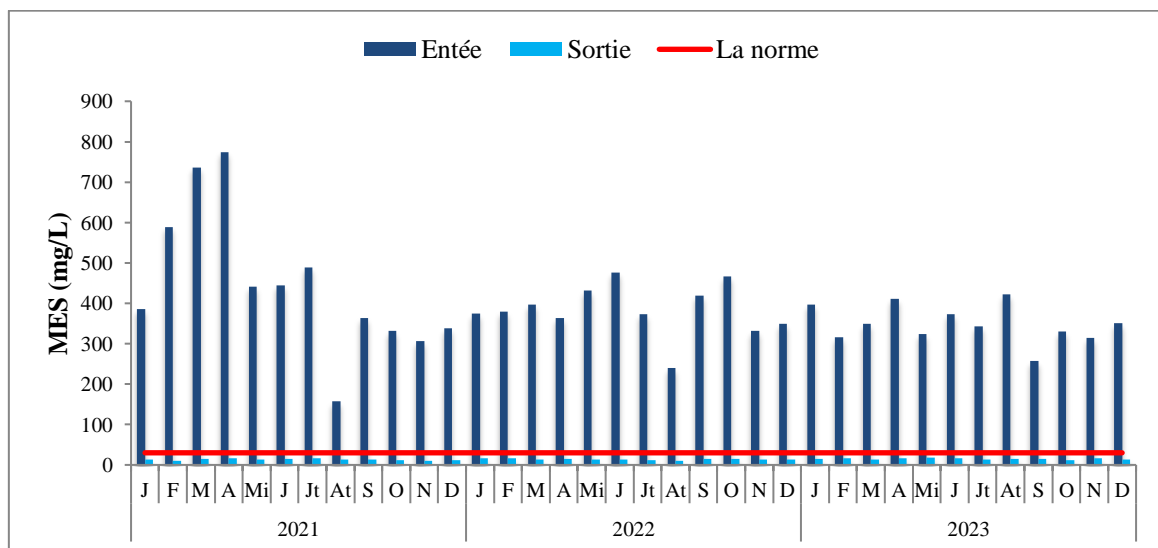


Figure 29. Variation mensuelle de MES des eaux usées brutes et traitée de la STEP d'Ain Beida pour la période (2021–2023)

1.5 Variation de la demande biologique en oxygène

Les analyses de la demande biologique en oxygène (DBO_5) sont largement utilisées comme paramètres de la qualité de l'eau pour retracer la dynamique de la MO dans les plans d'eau (Yang *et al.*, 2024), ainsi que l'efficacité des stations d'épuration des eaux usées (Lee *et al.*, 2015) et l'activité biologique des boues (Smagin *et al.*, 2018).

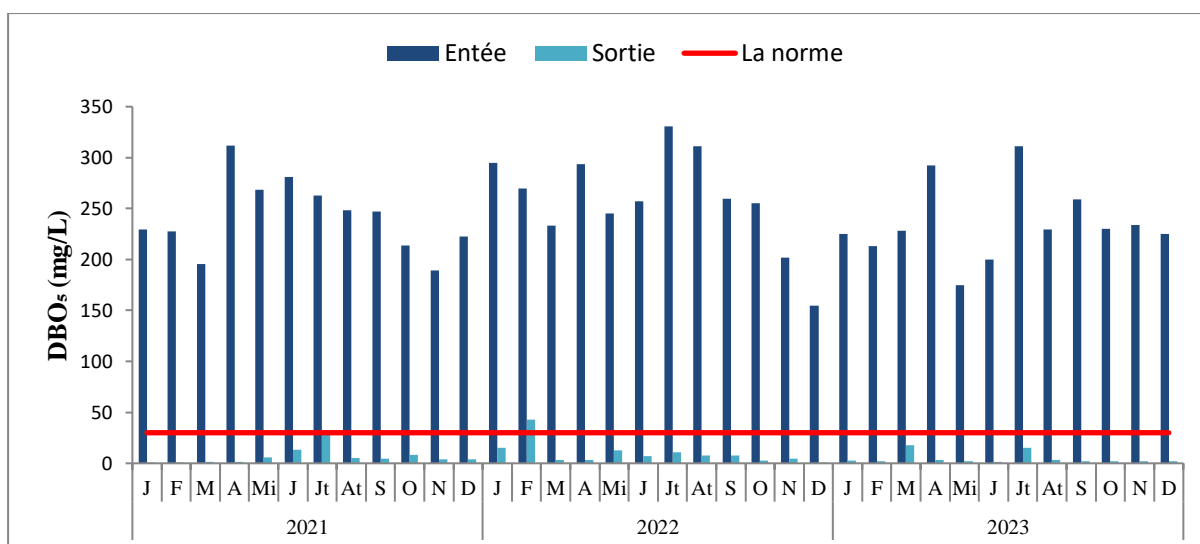


Figure 30. Variation mensuelle de DBO₅ des eaux usées brutes et traitées de la STEP d'Ain Beida pour la période (2021–2023)

Selon la FAO et les réglementations algériennes, la limite acceptable de la DBO₅ dans l'eau d'irrigation est de 30 mg/l. Comme illustre le figure (30), les valeurs des DBO₅ des eaux brutes variaient de 154.75 à 330.55 mg/, avec une moyenne de 245.15 ± 40.83 mg/l, alors que les valeurs des DBO₅ des eaux traitées fluctuaient entre 0.83 et 42.75 mg/l, avec une moyenne de 6.99 ± 8.57 mg/l. Les valeurs de sortie étaient inférieures à la limite fixée pour l'eau d'irrigation, sauf en février 2022, où certaines mesures dépassaient la limite, Cette situation peut s'expliquer par un apport insuffisant d'oxygène dans les bassins d'aération. Cependant, il est important de noter que l'eau traitée était toujours considérée comme sans danger pour le milieu récepteur, car elle ne présentait aucun risque en termes de pollution organique biodégradable, la mise en œuvre d'un traitement biologique des eaux usées s'est avérée très efficace pour garantir l'adéquation de l'eau à l'irrigation (**Moussaoui et al., 2023**).

1.6 Variation de la demande chimique en oxygène

La demande chimique en oxygène représente la quantité d'oxygène nécessaire à la décomposition des matières oxydables chimiquement contenues dans l'eau. Elle est représentative de la majeure partie des composés organiques, mais également des sels minéraux oxydable (**Karra et Sayantan, 2023**).

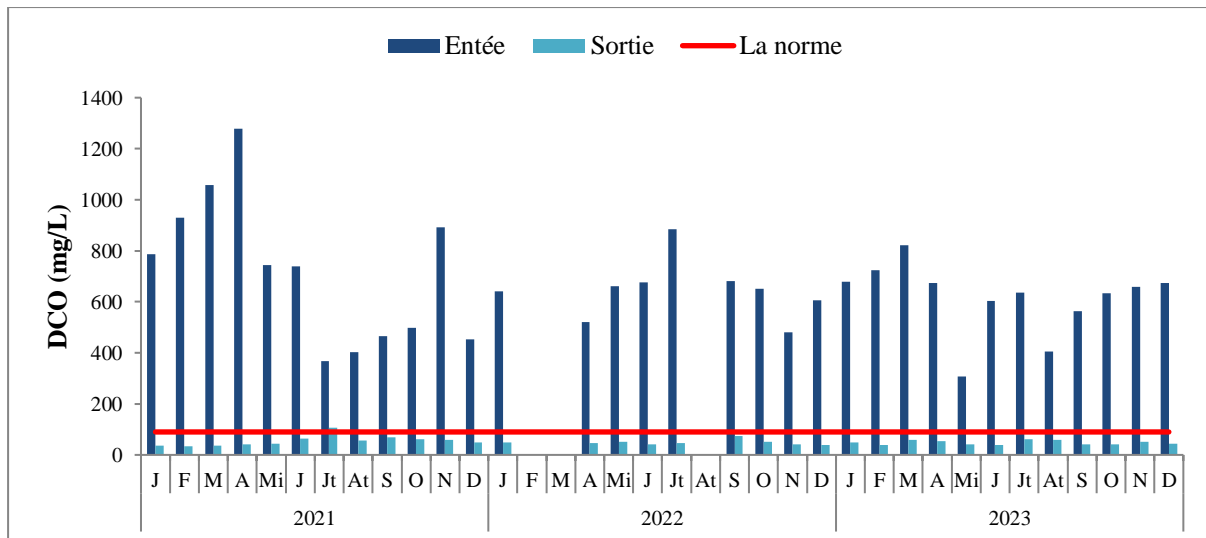


Figure 31. Variation mensuelle de DCO des eaux usées brutes et traitées de la STEP d'Ain Beida pour la période (2021–2023)

À partir de la figure (31), nous remarquons l'absence des données de la DCO durant trois mois (Février, Mars, Aout) de 2022. Les valeurs de la DCO enregistrées des eaux brutes s'étendent de 306.25 à 1279.15 mg/l avec une moyenne de 660.32 ± 201.45 mg/l, et pour la DCO des eaux traitées l'étendue des valeurs était de 34.5 à 107.21mg/l, avec une moyenne de 50.79 ± 14.23 mg/l.

Les valeurs observées de la DCO des eaux traitées sont compatibles avec les normes à l'échelle nationale et mondiale (90 mg/l), sauf en Juillet 2021 avec une concentration de 107.21mg/l, Comme **Ai et al. (2020)** l'affirme, cette valeur élevée de DCO pourrait indiquer une déficience en oxygène, ce qui entraverait la capacité des micro-organismes à décomposer la matière organique efficacement.

De plus, cela peut s'expliquer par l'absence du traitement primaire nécessaire pour réduire la DCO dans la station d'Ain El Beida.

1.7 Variation de l'azote ammoniacal

Le NH_4^+ est une forme d'azote qui peut être présent dans les eaux usées. Il est produit par la décomposition de la matière organique par des bactéries (**Patil et al., 2021**).

D'après la figure (32), nous remarquons l'absence des données de NH_4^+ durant 2021 et les neuf premiers mois de 2022 pour notre étude.

Les valeurs de NH_4^+ enregistrées des eaux brutes s'étendent de 29.4 à 68.4 mg/l avec une moyenne de 49.42 ± 11.12 mg/l, et pour la NH_4^+ des eaux traitées l'étendue des valeurs était 0.001-15.4 mg/l, avec une moyenne de 2.2 ± 5.24 mg/l.

L'eau traitée de la STEP d'Ain Beida avait une concentration moyenne d'azote ammoniacal de 2.2 ± 5.24 mg/l, ce qui se situe dans la plage typique pour l'eau destinée à l'irrigation (0 à 5 mg/l) selon les normes de FAO et JORA.

Les valeurs moyennes de Juillet et Aout 2023 ont dépassé les normes, ce qui pourrait avoir un impact sur le milieu récepteur. Les niveaux élevés d'ammonium pendant cette période peuvent avoir des implications sur la santé et la productivité des cultures. Nos résultats sont largement inférieurs à ceux trouvés par **Moussaoui *et al* (2023)** dans STEP d'Ain Sefra, qui a signalé que l'augmentation significative de l'azote ammoniacal observée en peut être attribuée à divers facteurs, les variations saisonnières (température et précipitations) influencent l'activité microbienne et la décomposition. Les changements dans l'aération et le dosage des nutriments dans la station d'épuration peuvent affecter les niveaux d'azote ammoniacal.

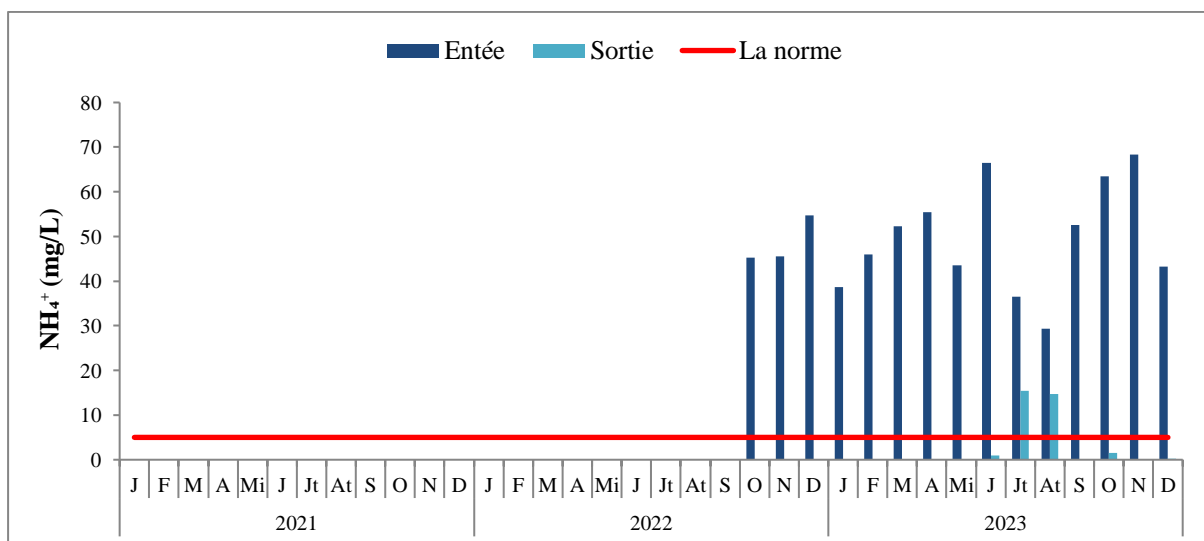


Figure 32. Variation mensuelle de NH_4^+ des eaux usées brutes et traitées de la STEP d'Ain Beida pour la période (2021–2023)

Des concentrations excessives d'ammonium peuvent avoir un impact négatif sur la croissance des plantes et provoquer un stress ou une toxicité, en particulier chez les espèces cultivées sensibles (**Brennan *et al.*, 2017**). Des niveaux élevés d'ammonium peuvent augmenter l'azote dans le sol, affectant potentiellement la fertilité du sol et la qualité des eaux superficiels (**Liu *et al.*, 2019**). Des facteurs tels que les processus de nitrification, les caractéristiques des influents et les performances du traitement peuvent affecter les niveaux d'ammoniac (**Roy *et al.*, 2017**).

1.8 Variation des nitrates

Dans une station d'épuration des eaux usées, le NO_3^- est une forme d'azote qui peut être présente dans l'eau traitée. La dénitrification biologique convertit le nitrate en azote gazeux (N_2) et constitue une étape cruciale dans l'élimination de l'azote des eaux usées. Un traitement inapproprié des nitrates dans les eaux usées peut facilement conduire à la pollution des eaux souterraines et de l'eau potable (Zheng *et al.*, 2024). La formule de la dénitrification est la suivante (Hassan *et al.*, 2016) : $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$.

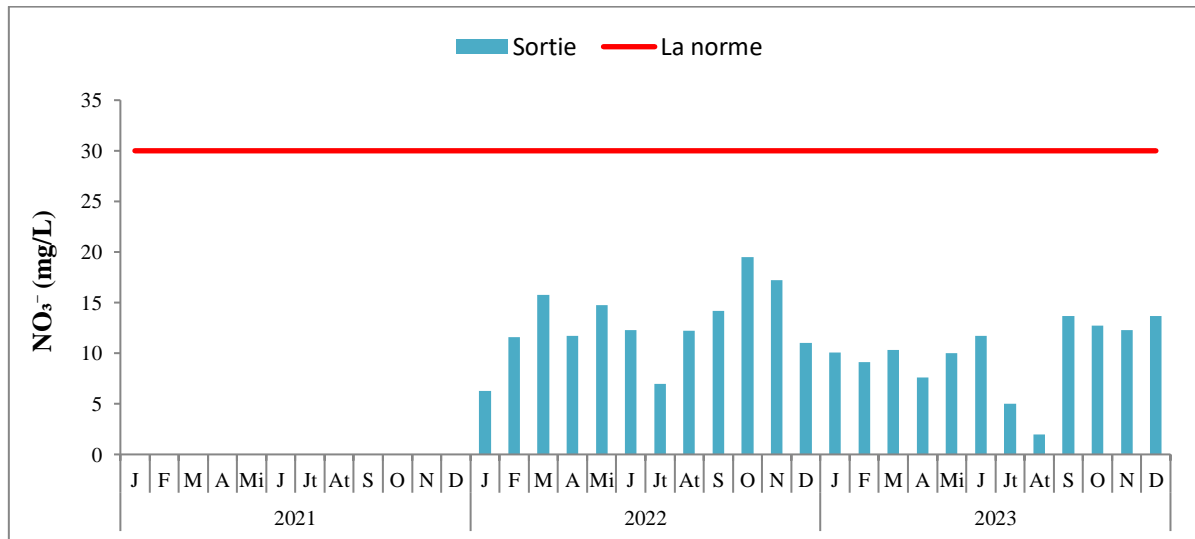


Figure 33. Variation mensuelle de nitrate (NO_3^-) des eaux usées brutes et traitées de la STEP Ain Beida pour la période (2021–2023)

L'eau traitée examinée dans cette étude (**Tableau 13**) présentait des niveaux de nitrate dans les eaux traitées allant de 1.95 à 19.5 mg/l avec un moyenne de 11.32 ± 3.91 mg/l. Ces valeurs étaient inférieures à la limite fixée par FAO (15 mg/l) et JORA (30 mg/l), à l'exception les mois de Mars, Octobre, Novembre de 2022, où certaines mesures dépassaient la limite.

Plusieurs facteurs peuvent contribuer à ces niveaux élevés de nitrates. D'après **Kristek *et al* (2024)**, La concentration élevée en nitrate pourrait être attribuée aux effluents domestiques, les rejets industriels, l'utilisation excessive de fertilisants en agriculture et les effluents d'élevage. Les conditions météorologiques telles que de fortes pluies peuvent contribuer au lessivage des nitrates du sol environnant vers les eaux usées, augmentant ainsi leur concentration (**Moussaoui *et al.*, 2023**).

Étant donné que l'ion nitrate est extrêmement soluble dans l'eau et incapable de se lier normalement aux particules du sol, il peut facilement pénétrer dans les eaux souterraines et

de surface (**Kristek et al., 2024**). Les concentrations élevées de nitrates présents dans les eaux de surface peuvent provoquer une eutrophisation.

1.9 Variation des nitrites

Les ions nitrite (NO_2^-) sont le produit soit de l'oxydation de l'ion ammonium (NH_4^+) dans les conditions d'aérobies par les nitrosomonas, soit de la réduction des ions nitrate (NO_3^-) en anoxie par les bactéries hétérotrophes (**Rekrak, 2020**).

L'absence des données de Décembre 2021 et au cours des sept premiers mois de 2022 est claire (**Figure. 34**). Les valeurs des nitrites enregistrées des eaux brutes s'étendent de 0.01 à 1.35 mg/l avec une moyenne de 0.45 ± 0.38 mg/l.

Quant à l'eau traitée, les concentrations des NO_2^- se situent entre 0.002 et 3.77 mg/l avec une moyenne de 0.36 ± 0.83 mg/l. Les valeurs moyennes des nitrites des eaux de sortie (0.36 ± 0.83 mg/l) sont admissibles par rapport à la norme de FAO (1 mg/l). Sauf en Aout (2.51 mg/l) et septembre (3.77 mg/l) de 2021.

D'après **Abour (2018)**, Il existe une corrélation entre la carence de l'oxygénation et l'augmentation de concentration des nitrites, où des quantités insuffisantes d'oxygène entravent le processus de nitrification.

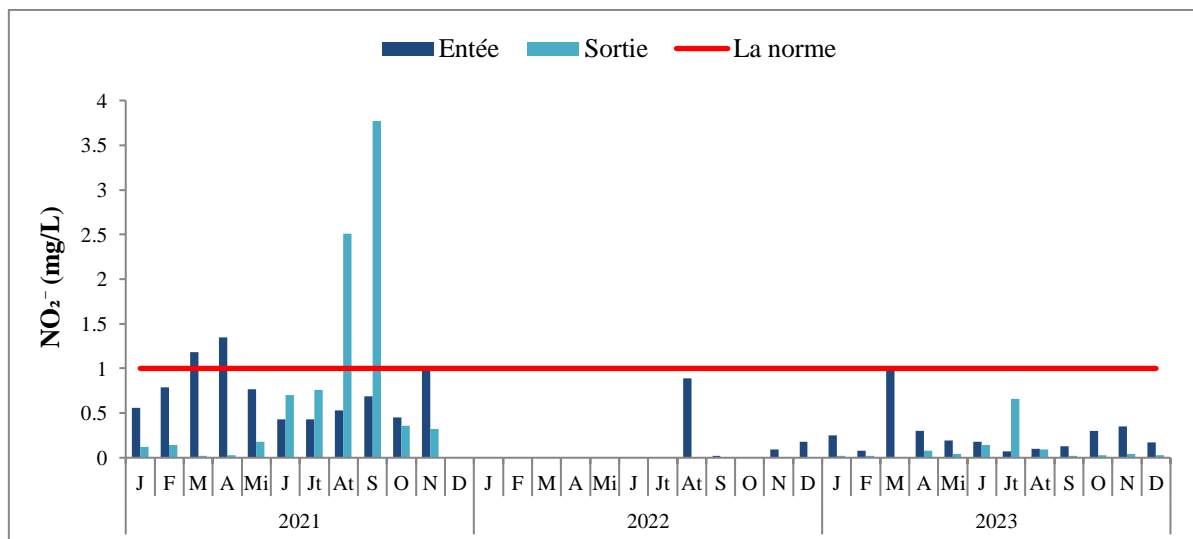


Figure 34. Variation des nitrites (NO_2^-) des eaux usées brutes et traitées de la STEP Ain Beida pendant la période (2021–2023)

1.10 Variation des orthophosphates

Le phosphore est un nutriment essentiel et principal qui soutient le développement et le rendement de la culture, tout comme l'azote. C'est un composant crucial à la fois des

acides nucléiques et des protéines végétales et il est nécessaire aux processus de phosphorylation (Mishra et Kumar, 2023).

Les PO_4^{3-} ont été mesurés exclusivement dans les eaux traitées, les orthophosphates présentait des valeurs qui varient de 0.35 à 8.54 mg/L avec une moyenne de 3.72 ± 2.38 mg/L (Tableau 13). Les niveaux des PO_4^{3-} sont supérieurs aux normes algériennes et internationales (2 mg/l), On peut expliquer cette situation par la réception d'une forte concentration de débris provenant du ruissellement des eaux de pluie.

En général, les engrais, les insecticides, les activités industrielles et les produits de nettoyage sont les principales sources de phosphore (Karra et Sayantan, 2023).

En comparant les valeurs moyennes d'orthophosphates des eaux traitées avec celles de la STEP de Ain Témouchent (Rekrak, 2020) qui a montré une valeur moyenne de 2.09 mg/L, ces teneurs sont plus faibles par rapport aux résultats de la STEP étudiée.

Des concentrations excessive d'orthophosphates peuvent avoir des effets indésirables, comme l'eutrophisation et ses effets connexes (Roy, 2017), ce qui entraîne des proliférations d'algues abondantes, une croissance excessive des plantes aquatiques, une désoxygénation et des problèmes de purification de l'eau (Dunne et al., 2015 ; Omwene et al., 2018).

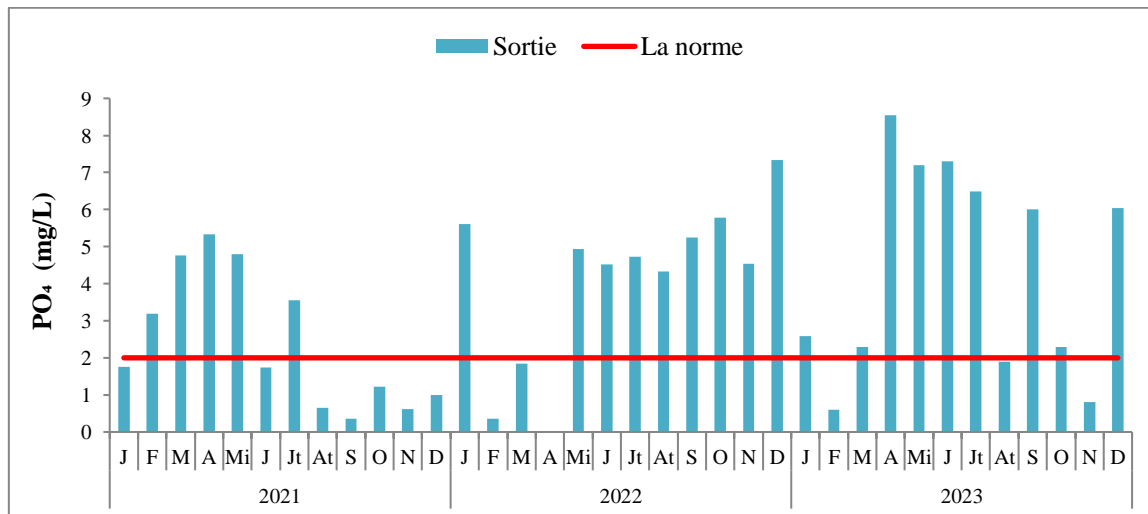
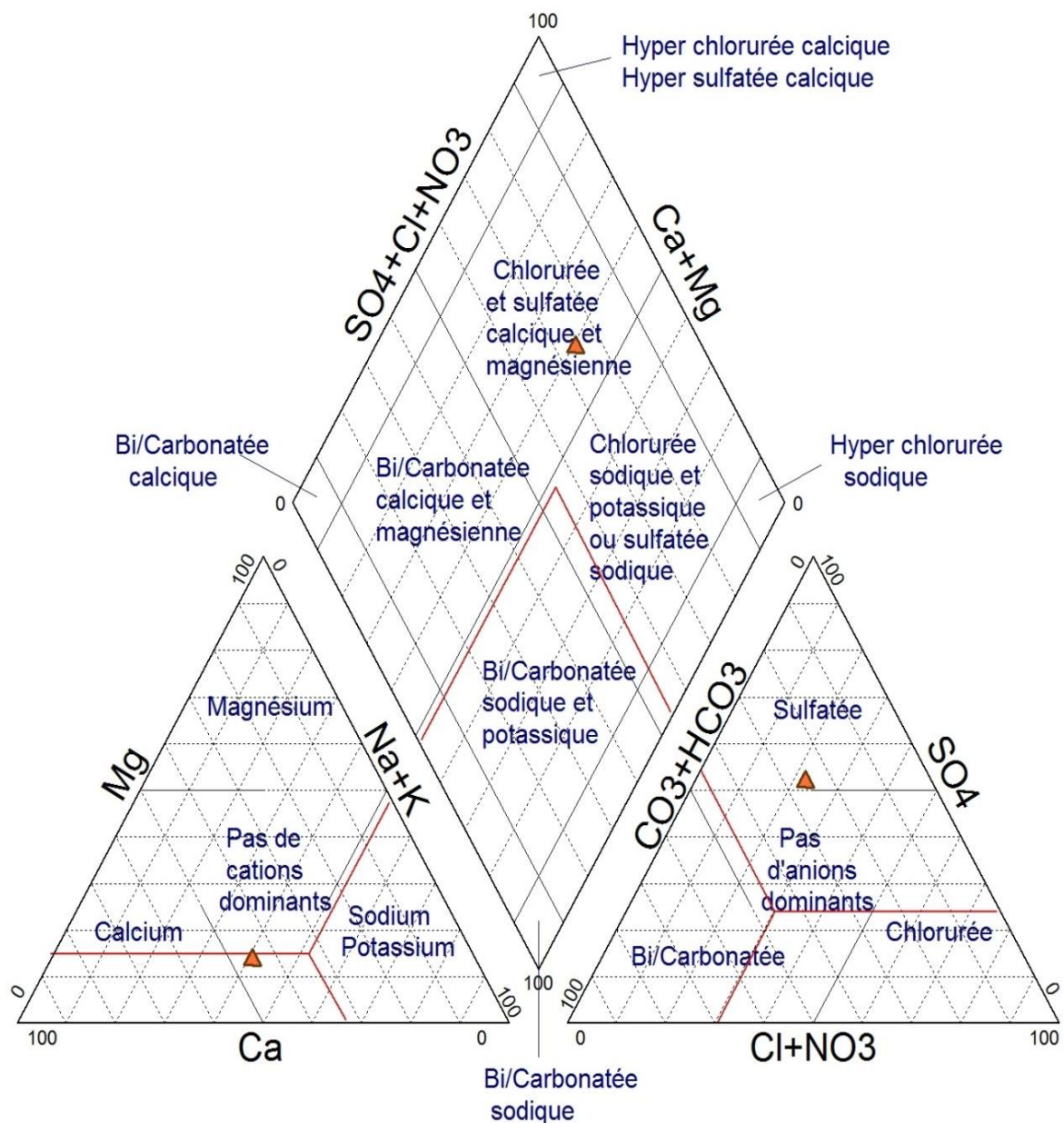


Figure 35. Variation mensuelle des teneurs d'orthophosphates (PO_4^{3-}) des eaux usées brutes et traitées de la STEP d'Ain Beida pour la période (2021-2023)

2 Identification de faciès chimique des eaux traitées

Un échantillon des eaux usées épurées de la STEP d'Ain Beida a été prélevé en Avril 2024, pour identifier le faciès chimique des eaux et l'étude de possibilité de réutiliser ces eaux en irrigation dans la région d'étude.

Les diagrammes de Piper et de Schoeller-Berkaloff sont des outils graphiques utilisés pour la classification hydrochimique des eaux épurées de la station d'Ain Beida (Fig.36). L'interprétation des résultats d'analyses hydro-chimiques permet d'avoir une idée sur les faciès chimiques des eaux traitées, les classant ainsi comme des eaux chlorurées et sulfatées calciques ou magnésiennes. Le diagramme de Schoeller Berkaloff a confirmé la dominance des mêmes faciès.



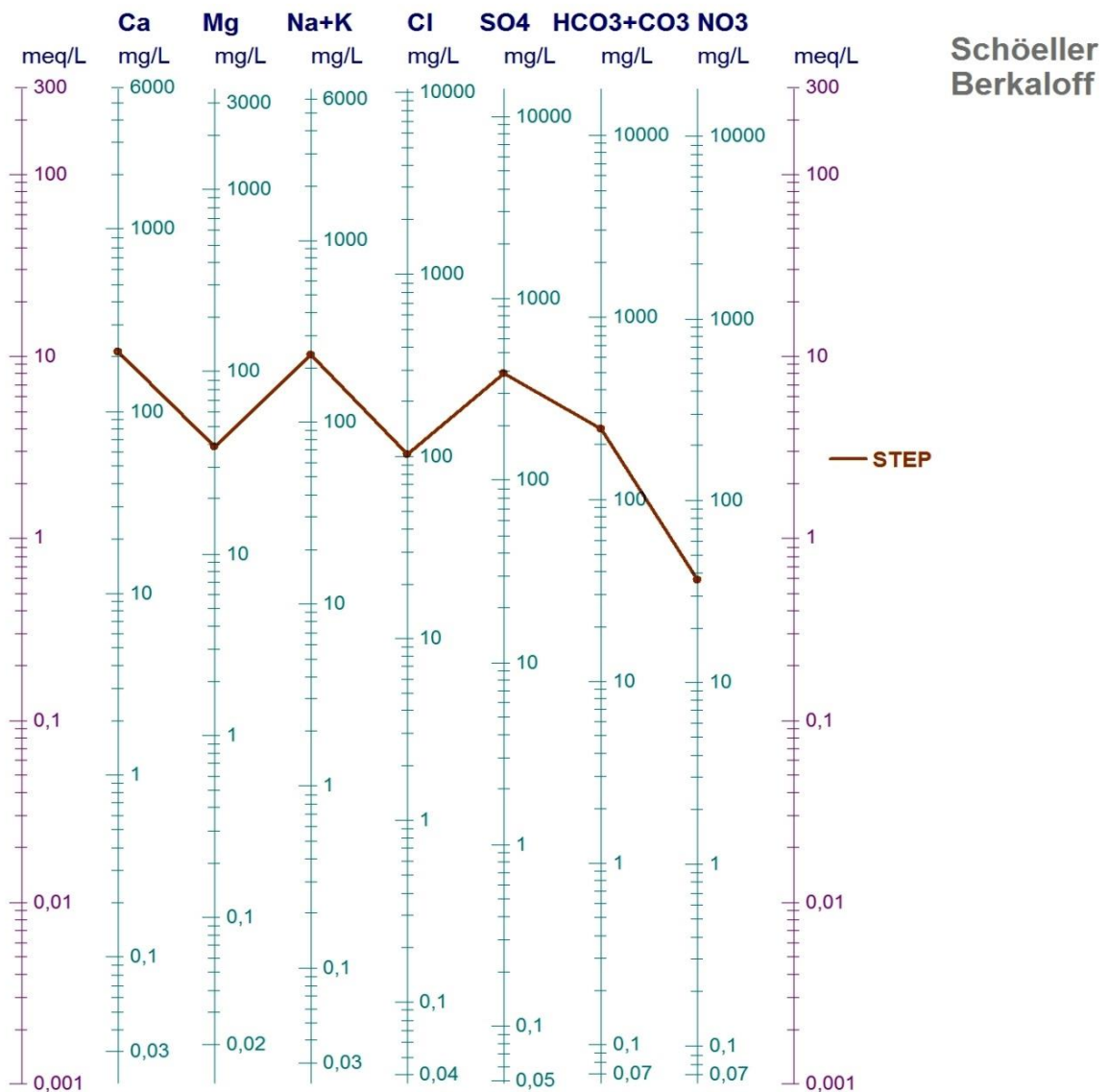


Figure 36. Diagramme de Piper et de Schoeller Berkaloff des eaux épurées de la ville d’Ain Beida (Avril, 2024)

3 Le Rendement épuratoire (Taux d’abattement)

Le rendement épuratoire est une mesure de l’efficacité de la station d’épuration à éliminer divers polluants présents dans les eaux usées. Il est calculé en faisant le rapport entre la concentration résiduelle de polluants (Cs) et la concentration initiale de polluants (Ce) dans l’eau brute à l’entrée de la station (**Benaziza et al., 2023**) selon la formule suivante:

$$R \% = \frac{(Ce - Cs)}{Ce} \times 100$$

Avec :

R (%) : rendement épuratoire.

Ce : Concentration d’entrée (Eau brute).

Cs : Concentration de sortie (Eau traitée).

Les variations annuelles du Rendement (%) durant la période étalée de 2021 à 2023 illustrées sur le tableau (14) nous indiquent :

- Pour l'élimination de MES, un taux d'abattement de l'ordre de 97 %, 96.44% et 95.69 % en 2021, 2022 et 2023 respectivement.
- Le taux d'abattement pour la DBO₅ est de l'ordre de 97.29 %, 96.18 % et 98.06% respectivement pour les années : 2021, 2022 et 2023.
- Pour la DCO, le taux d'abattement est de 92.33 %, 92.46 %, 92.16 %, respectivement pour les années : 2021, 2022 et 2023.
- Pour le NH₄, les valeurs de taux d'abattement sont : 99.97 % , 94.46 % (2022, 2023)
- Le taux d'abattement pour les NO₂ de l'ordre de 97.73 % et 65.38 % respectivement pour les années: 2022 et 2023

NB : Une faible performance épuratoire des NO₂ durant la période de 19/07/2021 au 27/07/2021 en raison d'une panne technique au niveau des pompes à oxygène.

Il est important de noter que la STEP d'Ain Beida assure une excellente élimination des matières polluantes avec un rendement épuratoire supérieure à 90 % dans la plupart des cas.

Tableau 14. Les variations annuelles du Rendement (%) au niveau de la STEP d'Ain Beida (Période : 2021-2023).

	R% MES	R% DCO	R% DBO₅	R% NH₄	R% NO₂
2021	97	92.33	97.29	-	-
2022	96.44	92.46	96.18	99.97	97.73
2023	95.69	92.16	98.06	94.46	65.38

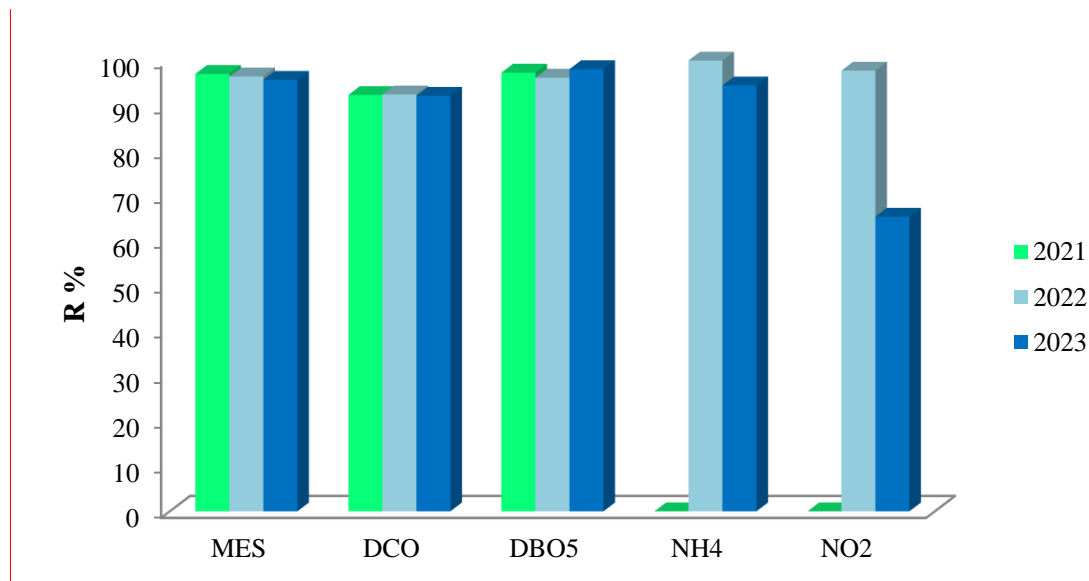


Figure 37. Représentation graphique des rendements épuratoires de la STEP d'Ain Beida (2021, 2022 et 2023)

4 Évaluation de l'adéquation des eaux usées traitées à des fins d'irrigation

Les sels peuvent perturber le développement physique des plantes. Du fait de l'absorption de l'eau, on peut observer des effets sur les processus osmotiques, ou du point de vue chimique par des réactions métaboliques, telles que celles causées par les constituants toxiques.

En plus les sels causent des changements dans la structure du sol (sur sa perméabilité et son aération), affectant directement le développement de la plante.

Dans cette partie de mémoire, on a essayé de confirmer la possibilité de la réutilisation des eaux épurées de la Station d'Ain Beida à des fins agricoles et pris en compte dans les calculs un prélèvement des eaux de la sortie de la STEP au mois d'Avril 2024. Les méthodes de Richards et Wilcox, les plus fréquemment utilisées sont développées

4.1 Risque de salinité

La conductivité électrique (CE) est un facteur crucial pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation, car elle reflète la présence de sels dans l'eau, qui peuvent avoir un impact sur le rendement des cultures (**Monika et al., 2024**).

Les résultats indiquent que les eaux usées de STEP d'Ain El Beida entrent dans la catégorie "Douteuse" concernant la CE (**Ayers et Wescott, 1985**) avec une valeur de conductivité de l'ordre de 2210 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

4.2 Taux des sels dissouts (TDS)

Un autre élément important affectant la qualité de l'eau dans l'agriculture est constituée de solides totaux dissous (TDS), qui dépendent de minéraux et d'ions tels que

Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , CO_3^- , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , et PO_4^{3-} (Giri *et al.*, 2022). L'échantillon obtenu présentait un TDS de 1676 mg/L, cette valeur met les eaux épurées de la STEP d'Ain Beida dans la classe bonne à l'irrigation en termes de TDS.

4.3 Ratio d'adsorption du sodium (SAR)

Le SAR est utilisé pour évaluer le risque de sodium causé par l'eau d'irrigation en fonction de la quantité relative d'ions sodium par rapport aux ions calcium et magnésium. Il s'agit d'un critère essentiel pour déterminer la pertinence de l'eau pour l'irrigation et le potentiel de problèmes d'accumulation de sodium pouvant endommager la structure du sol (Pranto *et al.*, 2021).

La surveillance du SAR permet de classer les eaux d'irrigation en termes de danger pour le sodium et d'adopter des mesures de gestion appropriées (Benaafi *et al.*, 2024).

Le SAR a été calculé à l'aide de l'équation de Richards (1954):

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}}$$

L'échantillon obtenu présentait un SAR de l'ordre de 3.34, cette valeur a été classée comme excellente pour l'irrigation avec un faible risque sodique.

Pour une analyse plus détaillée, une combinaison de la conductivité avec le ratio d'adsorption du Sodium (SAR), permet selon la classification de Richards, de déterminer les restrictions et les mesures à prendre en considération en cas de réutilisation (Fig. 38).

Tableau 15. Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation (méthode de SAR)

Degrés	Qualité	Classes	Etat d'utilisation
1	Excellente	C ₁ -S ₁ , C ₁ -S ₂	Utilisation sans danger pour l'irrigation des cultures et même pour les sols
2	Bonne	C ₂ -S ₁ , C ₂ -S ₂	Convenable pour des plantes qui ont une tolérance aux sels (générer des problèmes pour les argiles)
3	Admissible	C ₃ -S ₁ , C ₂ -S ₃ , C ₃ -S ₂	La salinité doit être contrôlée, irrigation des cultures tolérable aux sels sur des sols bien drainés
4	Médiocre	C ₄ -S ₁ , C ₂ -S ₁ , C ₃ -S ₃	Eau fortement minéralisée, utilisée seulement pour des plantes très résistantes aux sels (sols de bonne perméabilité)
5	Mauvaise	C ₃ -S ₄ , C ₄ -S ₃ , C ₄ -S ₄	Inutilisable

D’après le tableau de classification des eaux épurées par degré d’aptitude à l’irrigation par la méthode de SAR, les eaux de la station d’Ain Beida se situent dans la classe C3-S1 appartenant à une eau convenant à l’irrigation des cultures tolérantes au sels sur des sols bien drainés, avec nécessité d’analyse régulière de la salinité pour éviter le risque de dégradation des cultures et de la structure du sol (**Tableau 15**).

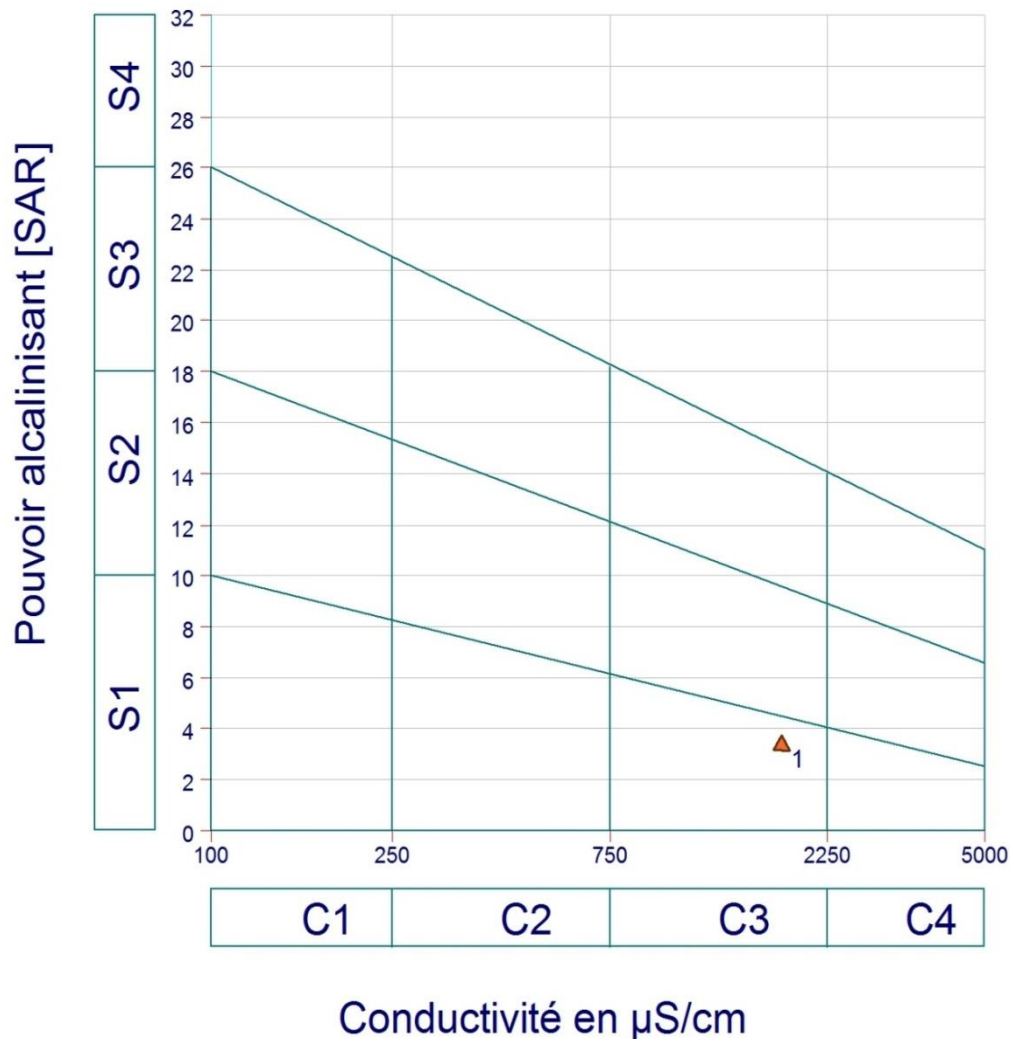


Figure 38. Diagramme de Richards des eaux traitées de STEP d’Ain Beida

4.4 Pourcentage de sodium (Na%)

Le pourcentage de sodium (Na%) est un indicateur important du risque associé à l'utilisation d'eau d'irrigation riche en sodium. Le Na% est calculé en utilisant la concentration de quatre cations dissous (sodium, potassium, magnésium et calcium) exprimée en milliéquivalents par litre (**Benaafi et al., 2024**). Une teneur élevée en sodium dans l'eau

d'irrigation peut entraîner des réactions avec les carbonates du sol, induisant une augmentation de son alcalinité.

De plus, des concentrations excessives de chlorure de sodium peuvent conduire à la salinisation du sol, réduisant sa perméabilité et entravant la circulation de l'eau, ce qui affecte négativement la croissance des cultures (Wang *et al.*, 2023).

Le pourcentage de sodium est obtenu par l'équation suivante (Eq. 2) :

$$Na\% = \frac{(Na^+ + K^+)}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+)} \times 100$$

La valeur calculée de Na% est de l'ordre de 40,88 %, par conséquent, les eaux épurées de la STEP d'Ain Beida sont classées comme permmissible pour l'irrigation des terres agricole.

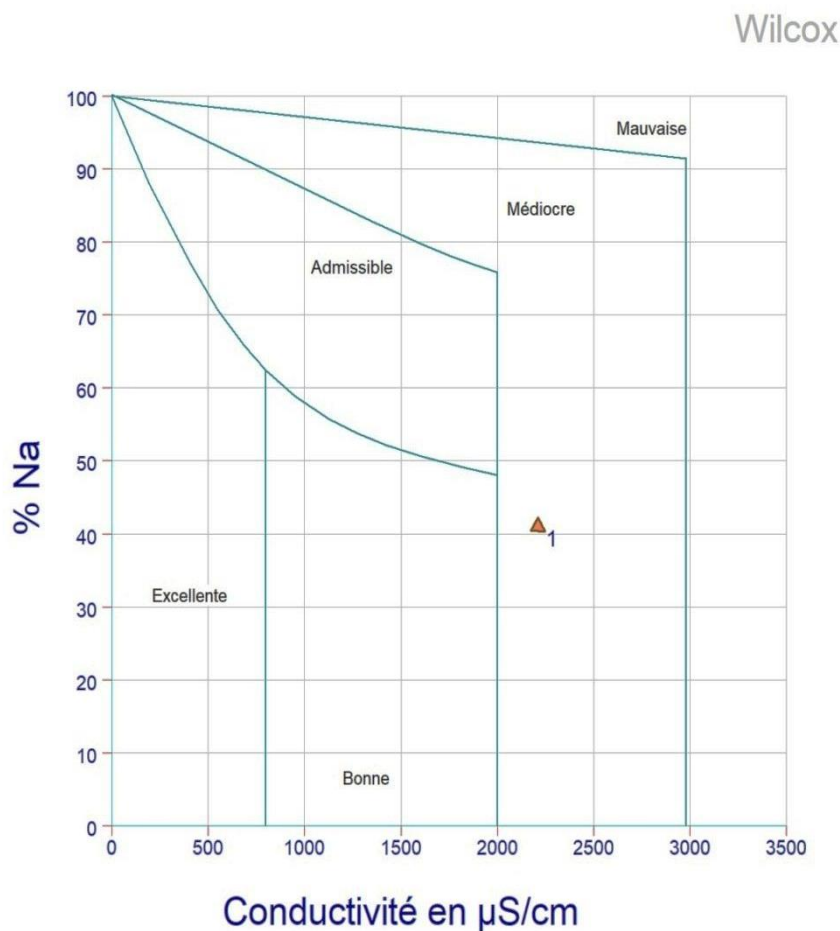


Figure 39. Diagramme de Wilcox des eaux traitées de STEP d'Ain Beida

D'autre part, d'après la classification de Wilcox (1955), pour identifier la qualité de l'eau d'irrigation a fourni le lien entre CE et Na% (Fig. 39), classe les eaux épurées de la STEP dans la catégorie médiocre pour l'irrigation, en raison de leur salinité relativement élevée.

4.5 Pourcentage de sodium soluble (SSP)

Le pourcentage de sodium soluble est calculé à l'aide de la formule ci-dessous (**Todd et Mays, 2004**) :

$$SSP = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+} \times 100$$

Le SSP a été utilisé pour estimer la salinité en comparant les concentrations de Na^+ aux concentrations de Ca^{2+} et de Mg^{2+} (**Gad et al., 2023**). La teneur élevée en Na^+ dans l'eau d'irrigation stimule le mécanisme d'échange de Ca^{2+} et de Mg^{2+} dans le sol, entraînant une faible perméabilité du sol et un mauvais drainage interne (**Kundu et Nag, 2018**), cela peut également provoquer des brûlures foliaires et la destruction des tissus des plantes (**Bhat et al., 2021**).

La valeur calculée du SSP est de 38.83%, sur la base de la catégorisation SSP de la validité de l'eau pour l'irrigation en ce qui concerne le risque salin, l'eau de STEP d'Ain Beida sont convenable pour l'agriculture avec des niveaux de SSP inférieurs à 60%.

4.6 Ratio de Kelly (KR)

Le KR est un indice d'irrigation utilisé pour évaluer l'équilibre entre le sodium et les cations divalents dans l'eau d'irrigation, en particulier le calcium et le magnésium (**Benaafi et al., 2024**).

Calculé par l'équation du Ratio de Kelly (**Kelly, 1951**) :

$$KR = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+}}$$

D'après le tableau 16, la valeur de KR est de l'ordre de 0.63, elle est inférieure à 1, le rapport de Kelly indique donc que l'eau de STEP étudiée est bonne pour l'irrigation des cultures.

4.7 Indice de perméabilité (PI)

L'indice de perméabilité (IP) évalue l'aptitude de l'eau à l'irrigation à long terme en fonction du risque de dégradation de la perméabilité et de diminution du taux d'infiltration dans le sol (**Al-Aizari et al., 2024**). Il représente les quantités de sodium, de calcium, de magnésium et de bicarbonate dans l'eau (**Kakooza et al., 2023**). L'indice de perméabilité du sol (**Doneen, 1964**) est calculé à l'aide de la relation ci-dessous:

$$PI = \frac{Na^+ + \sqrt{HCO^{3-}}}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+} \times 100$$

Les concentrations d'échantillon d'eau sont quantifiées en milliequivalent par litre (meq/L). Le résultat (47.61%) montre que l'échantillon testé (eau épurée de la STEP),

appartient à la classe II (25-75 %), ce qui indique une bonne qualité des eaux qui peuvent être réutilisé à l'irrigation.

4.8 Risque du magnésium (MH)

Dans la plupart des eaux, le calcium et le magnésium préservent un état d'équilibre. Selon cet indice, une valeur de risque élevée pour le magnésium a un effet inverse sur la productivité des cultures à mesure que le sol devient plus alcalin (**Al Hadidi et Al Hadidi, 2021**).

Le ratio d'adsorption du magnésium a été calculé selon l'équation ci-après donné par **Szabolcs et Darab (1964)**, où la concentration de chaque cation était exprimée en méq/l.

$$MH = \frac{Mg^{2+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \times 100$$

La valeur calculées de MH est de l'ordre de 23.08 %, cette valeur a été classée comme excellente et adaptée à l'irrigation.

4.9 Carbonate de sodium résiduel (RSC)

Le carbonate de sodium résiduel (RSC) est un facteur critique affectant la qualité de l'eau d'irrigation. Lorsque la concentration de carbonate (CO_3^{2-}) et de bicarbonate (HCO_3^-) dans l'eau dépasse celle de calcium (Ca^{2+}) et de magnésium (Mg^{2+}), cela peut nuire à la qualité de l'eau en favorisant la précipitation du calcium et du magnésium. Cela affecte à son tour les caractéristiques physiques des sols, conduisant à la dégradation des substances organiques présentes dans le sol. (**Monika et al., 2024**) ; (**Mousazadeh et al., 2019**).

Le RSC est calculé en soustrayant la quantité de concentration de calcium et de magnésium de la quantité de carbonates (**Eaton et al., 1995**) :

$$RSC = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$$

Nos eaux présentent une valeur de RSC égale à -9.92 mg/L, cela les classes comme des eaux de bonne qualité pour l'irrigation (**Al Hadidi et Al Hadidi en 2021**, ont également obtenu des valeurs inférieures à 0 à la STEP de Balqa en Jordanie).

Tableau 16. Tableau récapitulatif des Indices et classes de qualité des eaux épurées destinées à l'irrigation (Cas de la STEP d'Ain Beida).

Valeurs guides	Classes	Valeur calculée
Ratio d'adsorption du sodium (SAR)		
$SAR = (Na^+) / \sqrt{((Na^{2+} + Mg^{2+}) / 2)}$		
0–10	Faible risque sodique	3.34
10–18	Risque sodique moyen	-
18–26	Risque sodique élevé	-
>26	Risque sodique très élevé	-
Electric Conductivity (EC)		
<250	Excellent	-
250–750	Bonne	-
750–2000	Permissible	-
2000–3000	Douteuse	2210
>3000	Inapproprié	-
Pourcentage de sodium (Na %)		
$Na\% = (Na + K) / (Ca + Mg + Na + K)$		
<20	Excellent	-
20–40	Bonne	-
40–60	Permissible	40.88
60–80	Douteuse	-
>80	Inapproprié	-
Ratio de Kelly (KR)		
$KR = Na / (Ca + Mg)$		
<1	Approprié	0.63
>1	Inapproprié	-
Risque du magnésium (MH)		
$MH = Mg / (Ca + Mg) \times 100$		
≤50	Approprié	23.08
>50	Inapproprié	-
Indice de perméabilité (PI)		
$PI = (Na + \sqrt{HCO_3}) / (Ca + Mg + Na) \times 100$		
>75	Excellent	-

25-75	Bonne	47.61
<25	Inapproprié	-
Pourcentage de sodium soluble (SSP) SSP=Na/(Ca+Mg+Na)		
<60	Approprié	38.83
>60	Inapproprié	-
Solides dissous totaux (TDS)		
<500	Désirable pour bois	-
500-1000	Admissible pour la consommation	-
1000-3000	Utile à l'irrigation	1676
>3000	Impropres à la boisson et à l'irrigation	-
Carbonate de sodium résiduel (RSC) RSC=(CO₃+HCO₃)-(Ca+Mg)		
<1.25	Excellent	-9.92
1.25-2.5	Douteuse	-
>2.5	Inapproprié	-

***CONCLUSION GENERALE ET
RECOMMANDATIONS***

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

Cette recherche vise à établir un diagnostic exhaustif de l'état physico-chimique des eaux usées épurées de la STEP d'Ain Beida au cours de la période 2021-2023 et d'évaluer la faisabilité de la réutilisation de ces eaux à l'irrigation. Pour atteindre ces objectifs, les propriétés physico-chimiques ainsi que les indicateurs de qualité de l'eau d'irrigation ont été utilisés.

Les résultats obtenus révèlent que la plupart des paramètres étudiés des eaux traitées (T, pH, CE, DCO, DBO₅, MES, NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻) sont conformes aux normes nationales et internationales, à l'exception de quelques dépassements ponctuels concernant les taux d'ammonium (NH₄⁺), nitrite (NO₂⁻) et d'orthophosphates (PO₄³⁻). Au terme de la présente étude, et suite à l'analyse des données recueillies au laboratoire de la STEP sur une période de trois ans (2021-2023), une nette amélioration est observée entre les valeurs des eaux traitées et celles des eaux brutes. Cette observation témoigne le bon fonctionnement et de l'efficacité du traitement des eaux usées traitées par la STEP.

Le faciès chimique des eaux traitées a été déterminé à l'aide des diagrammes de Piper et Schoeller Berkloff, qui ont montré un faciès chloruré et sulfaté calcique ou magnésienne.

En outre, l'analyse des rendements épuratoires a clairement démontré l'efficacité du traitement des eaux usées par la STEP d'Ain Beida durant la période d'observation, avec des valeurs généralement supérieures à 90%.

Finalement, les indicateurs de qualité d'eau d'irrigation (SAR, CE, Na%, KR, MH, PI, SSP, TDS, RSC) ont montré des valeurs relativement bon et adéquats. La projection de nos résultats sur les deux diagrammes de Wilcox et Richards révèlent que l'échantillon se situe dans la classe (C3-S1), cette eau est de qualité moyenne convenant donc à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, avec nécessité d'analyse régulière de la salinité.

L'étude actuelle reconnaît certaines limitations et recommande des axes d'amélioration pour les recherches futures. Il est suggéré d'élargir la portée des évaluations de la qualité de l'eau afin d'inclure un éventail plus vaste de polluants, en mettant particulièrement l'accent sur les métaux lourds, les résidus pharmaceutiques, les produits de soins personnels et les agents pathogènes. De plus, la réalisation d'études longitudinales est nécessaire pour examiner les effets à long terme des eaux usées traitées sur la composition des sols et la production agricole.

Par ailleurs, il est essentiel de développer une stratégie de gestion des ressources en eau plus coopérative. L'implication active de la communauté scientifique, des décideurs

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

politiques, des agriculteurs et des populations locales dans un dialogue constructif peut favoriser des décisions éclairées et assurer une gestion responsable des ressources hydriques vitales.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abbes, S. B. (2022). La réutilisation des eaux usées, une alternative durable pour la gestion des ressources en eau de la ville de Sidi Bel Abbes (Algérie). *Geo-Eco-Trop*, 46(2), 301-313.

Abour, F. (2021). *Optimisation, traitement et qualité des eaux usées épurées (éléments nutritifs, boues et métaux lourds) et impact de leur réutilisation dans l'environnement. Cas de la STEP d'El-Allélick (Annaba), N.E Algérien* (Doctoral dissertation, Université Badji Mokhtar-Annaba).

Ahmad Ariffian, N.N., Mohamed, K. N. (2024). Effects of pH Changes on Phytoplankton Biomass. *ASM Science Journal*, 19, 1-11.

Ai, S., Dong, S., Nie, Z., Zhu, S., Ren, Q., & Bian, D. (2020). Study on aeration optimization and sewage treatment efficiency of a novel micro-pressure swirl reactor (MPSR). *Water (Switzerland)*, 12(3).

Al Hadidi, N., & Al Hadidi, M. (2021). Suitability of reclaimed wastewater effluent from decentralized wastewater plant for irrigation. *Applied Water Science*, 11(11), 173.

Al-Aizari, H. S., Aslaou, F., Mohsen, O., Al-Aizari, A. R., Al-Odayni, A. B., Abduh, N. A., ... & Taleb, E. A. (2024). Assessment of groundwater quality for irrigation purpose using irrigation water quality index (IWQI). *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 32(1), 1-11.

Ali, S., Ullah, S., Umar, H., Aslam, M. U., Aslam, Z., Akram, M. S., Haider, H., Nasir, S., Hayat, S., & Zain, R. (2022). Effects of Wastewater use on Soil Physico-chemical Properties and Human Health status, *Ind. J. Pure App. Biosci.*10(2), 50-56.

AlKhazaleh, H., Abu-Awwad, A., & AlQinna, M. (2023). Effect of Irrigation with Treated Wastewater on Potatoes' Yields, Soil Chemical, Physical and Microbial properties. *Jordan Journal of Earth and Environmental Sciences*, 14(2), 135-145.

Almuktar, S. A. A. N., & Scholz, M. (2016). Mineral and biological contamination of soil and Capsicum annum irrigated with recycled domestic wastewater. *Agricultural Water Management*, 167, 95-109.

Almuktar, S. A. A. N., Scholz, M., Al-Isawi, R. H. K., & Sani, A. (2015). Recycling of domestic wastewater treated by vertical-flow wetlands for irrigating chillies and sweet peppers. *Agricultural Water Management*, 149, 1-22.

Al-Rosyid, L. M., Titah, H. S., Santoso, I. B., & Mangkoedihardjo, S. (2021). Review on BOD/COD Ratio Toxicity to *Daphnia magna*, *Artemia salina* and *Brachydanio rerio*. *Nature Environment and Pollution Technology*, 20(4), 1741-1748.

- Alzahrani, F., Elsebaei, M., Tawfik, R. (2023).** Public Acceptance of Treated Wastewater Reuse in the Agricultural Sector in Saudi Arabia. *Sustainability*, 15, 15434.
- Angelakis, A. N., Tchobanoglous, G., Capodaglio, A. G., & Tzanakakis, V. A. (2024).** The Importance of Nonconventional Water Resources under Water Scarcity. *Water*, 16(7), 1015.
- Aslan, V. (2024).** Use of water resources and sustainability with concepts, definitions and examples. *J Civil Eng Environ Sci*, 10(1), 021-025.
- Attab, S. (2011).** *Amélioration de la qualité microbiologique des eaux épurées par boues activées de la station d'épuration Haoud Berkaoui par l'utilisation d'un filtre à sable local* (Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de magister, Université Kasdi Merbah Ouargla).
- Ayers, R. S., Wescott, D. W. (1985).** Water quality for agriculture. FAO Irrig. Drain. Pap., No. 22-82.
- Bachir, B. (2020).** *Contrôle et suivi de la qualité des eaux usées de la Station d'épuration de la ville de Tissemsilt* (Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de master, Université Mohamed khider – Biskra).
- Bajsa, O., Nair, J., Mathew, K., & Ho, G. E. (2004).** Vermiculture as a tool for domestic wastewater management. *Water science and technology*, 48(11-12), 125-132.
- Batarseh, M.I., Rawajfeh, A., Ioannis, K.K., Prodromos, K.H.(2011).** Treated municipal wastewater irrigation impact on olive trees (*Olea europaea* L.) at Al-Tafilah. Jordan. *Water Air Soil Pollut*, 217, 185–196.
- Becerra-Castro, C., Lopes, A.R., Vaz-Moreira, I., Silva, E.F., Manaia, C.M., Nunes, O.C.(2015).** Wastewater reuse in irrigation: a microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. *Environ. Int.*, 75, 117–135.
- Benaafi, M., Pradipta, A., Tawabini, B., Al-Areeq, A. M., Bafaqeer, A., Humphrey, J. D., ... & Aljundi, I. H. (2024).** Suitability of treated wastewater for irrigation and its impact on groundwater resources in arid coastal regions: Insights for water resources sustainability. *Heliyon*, 10(8), 29320.
- Benaziza, A., Snoussi, S. A., & Haddad, A. (2023).** Contribution à l'analyse de la problématique de réutilisation des eaux usées traitées par les stations de traitement (step) dans la wilaya de Tipaza. *Revue Agrobiologia*, 13(1), 3314-3321.
- Benchaabane, S. (2019).** *Inventaire et écologie des oiseaux urbains de la ville d'Ain-Beida (Wilaya d'Oum El-Bouaghi)*. Thèse, Univ. Oum El-Bouaghi.

- Benyerou,D.(2021).** *Epuration et Réutilisation des eaux résiduaires. Polycopié de cours en hydraulique.* Université Mohamed Boudiaf, Oran, 75 p.
- Bhat, S. U., Bhat, A. A., Jehangir, A., Hamid, A., Sabha, I., & Qayoom, U. (2021).** Water quality characterization of Marusudar River in Chenab Sub-Basin of North-Western Himalaya using multivariate statistical methods. *Water, Air, & Soil Pollution*, 232, 1-22.
- Bilotta, G. S., & Brazier, R. E. (2008).** Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water research*, 42(12), 2849-2861.
- Bixio D., De Heyder B., Chikurel H., Muston M., Miska V., Joksimovic D., Schäfer A.I., Ravazzini A., Aharoni A., Savic D. and Thoeye C. (2005).** Municipal wastewater reclamation: where do we stand? An overview of treatment technology and management practice. *Wat. Sci. Tech.: Wat. Supply*, 5(1) 77–85.
- Bixio, D., Thoeye, C., Wintgens, T., Ravazzini, A., Miska, V., Muston, M., ... & Melin, T. (2008).** Water reclamation and reuse: implementation and management issues. *Desalination*, 218(1-3), 13-23.
- Bonetta, S., Pignata, C., Gasparro, E., Richiardi, L., Bonetta, S., & Carraro, E. (2022).** Impact of wastewater treatment plants on microbiological contamination for evaluating the risks of wastewater reuse. *Environmental Sciences Europe*, 34(1), 20.
- Bouanani,H.(2021).** *Caractérisation et étude de la possibilité de réutilisation des eaux épurées dans l'irrigation.* (Doctoral dissertation, École Nationale Polytechnique).
- Bouchaala,L.,Charchar,N.,Gherib,A. (2017).** Ressources hydriques:traitement et reutilisation des eaux usees en algerie ,7,84-95.
- Bouchenak Khelladi, R. M. (2021).** *Comparaison qualitative entre filtration sur sable et filtration sur charbon actif appliquée aux eaux usées épurées de la STEP de Ain El Houtz-Tlemcen-Algérie* (Doctoral dissertation, Université Aboubakr Belkaïd Tlemcen).
- Bouhanna,A.(2021).** *Contribution à l'étude des impacts de la réutilisation agricole des eaux usées épurées sur la nappe phréatique : cas de la région de Ouargla.* (Doctoral dissertation, Université Kasdi Merbah Ouargla).
- Bouknana, D., Hammouti, B., Salghi, R., Jodeh, S., Zarrouk, A., Warad, I., ... & Sbaa, M. (2014).** Physicochemical characterization of olive oil mill wastewaters in the eastern region of Morocco. *J. Mater. Environ. Sci*, 5(4), 1039-1058.
- Boyd, C. E. (2015).** pH, carbon dioxide, and alkalinity. *Water Quality: An Introduction*, 153-178.

- Brennan, R.B., Clifford, E., Devroedt, C., Morrison, L., Healy, M.G. (2017).** Treatment of landfill leachate in municipal wastewater treatment plants and impacts on effluent ammonium concentrations. *J. Environ. Manag*, 188, 64–72.
- Buehler, B., Moreno, P., Williams, G. P., Nelson, E. J., Obregon, O., Gonzalez, N., & Swain, N. R. (2012).** Correlations between Total Solids, Total Suspended Solids, Total Volatile Suspended Solids, and Phosphate at Deer Creek Reservoir. In *World Environmental and Water Resources Congress 2012: Crossing Boundaries* (pp. 3383-3387).
- Bulbul Ali, A., & Mishra, A. (2022).** Effects of dissolved oxygen concentration on freshwater fish: A review. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 10, 113-127.
- Carré, E. (2017).** *Qualité biologique des eaux usées traitées en vue de la réutilisation* (Doctoral dissertation, Lyon).
- Chowdhury, S. R., Alhelal, F., Alahmadi, M., Alqahtani, N., Alkhaldi, A., & Asiz, A. (2020).** An overview on major design constraints, impact and challenges for a conventional wastewater treatment design. *J. Environ. Treat. Tech*, 9(1), 7-16.
- Christou, A., Maratheftis, G., Eliadou, E., Michael, C., Hapeshi, E., & Fatta-Kassinou, D. (2014).** Impact assessment of the reuse of two discrete treated wastewaters for the irrigation of tomato crop on the soil geochemical properties, fruit safety and crop productivity. *Agriculture, ecosystems & environment*, 192, 105-114.
- Cotterill, S. E., Dolfing, J., Jones, C., Curtis, T. P., & Heidrich, E. S. (2017).** Low Temperature Domestic Wastewater Treatment in a Microbial Electrolysis Cell with 1 m² Anodes: Towards System ScaleUp. *Fuel Cells*, 17(5), 584-592.
- Dagba, E. Y., Kouandote Doko, V., & Agbelele, J. K. (2022).** *Etude hydrologique, hydraulique et dimensionnement d'ouvrages d'assainissement des infrastructures de transport rural dans la commune de Za-kpota : Cas du collecteur de la piste Attedjogon-Hounzahito-Dotan-houngomè*. Mémoire de fin de Formation d'Ingénieur, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi.
- Debik, E., Bahadir, M., Haarstrick, A. (2023).** *Wastewater Management and Technologies*. Springer Nature Switzerland. p247.
- Degremont, G. (2005).** *Mémento technique de l'eau*. Tome 1, 2ème édition Cinquenaire, Paris
- Deshayes, S. (2015).** *Identification des sources de phtalates et d'alkylphénols (polluants émergents) en milieu urbain et compréhension des processus d'élimination* (Doctoral dissertation, Université Paris-Est).

- Dmitrieva, M. E., Malygina, E. V., Belyshenko, A. Y., Shelkovnikova, V. N., Imidoeva, N. A., Morgunova, M. M., ... & Axenov-Gribanov, D. V. (2023).** The Effects of a High Concentration of Dissolved Oxygen on Actinobacteria from Lake Baikal. *Metabolites*, 13(7), 830.
- Donald, A. N., Asif, M., & Felicien, S. (2022).** A review on the centralised municipal sewage and wastewater treatment unit processes. *MOJ Eco Environ Sci*, 7(2), 31-38.
- Doneen, L. D. (1964).** *Notes on water quality in agriculture. Department of Water Science and Engineering*, University of California, Davis.
- Dunne, E. J., Coveney, M. F., Hoge, V. R., Conrow, R., Naleway, R., Lowe, E. F., ... & Wang, Y. (2015).** Phosphorus removal performance of a large-scale constructed treatment wetland receiving eutrophic lake water. *Ecological Engineering*, 79, 132-142.
- Dwivedi, A. K. (2017).** Researches in water pollution: A review. *International Research Journal of Natural and Applied Sciences*, 4(1), 118-142.
- Eaton, A., Clesceri, L., Greenberg, A. (1995).** *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 19th ed. APHA, New York.
- Edwards, J., Othman, M., Crossin, E., & Burn, S. (2017).** Anaerobic co-digestion of municipal food waste and sewage sludge: A comparative life cycle assessment in the context of a waste service provision. *Bioresource Technology*, 223, 237-249.
- FAO. (2003).** Etude de l'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation FAO irrigation and drainage papier
- Farhadkhani, M., Nikaeen, M., Hadi, M., Gholipour, S., & Yadegarfar, G. (2020).** Campylobacter risk for the consumers of wastewater-irrigated vegetables based on field experiments. *Chemosphere*, 251, 126408.
- Feng, L., Luo, J., & Chen, Y. (2015).** Dilemma of sewage sludge treatment and disposal in China. *Environ.Sci. Technol.*, 49(8), 4781–4782.
- Frat, L. (2020).** *Caractérisation des eaux usées d'un réseau d'assainissement pour un diagnostic des pollutions en amont des stations d'épuration: de l'analyse physico-chimique au développement d'un nouveau bioessai toxicologique* (Doctoral dissertation, Institut agronomique, vétérinaire et forestier de France).
- Friedel, J. K., Langer, T., Siebe, C., & Stahr, K. (2000).** Effects of long-term waste water irrigation on soil organic matter, soil microbial biomass and its activities in central Mexico. *Biology and Fertility of Soils*, 31, 414-421.

- Gad, M., Saleh, A. H., Hussein, H., Elsayed, S., & Farouk, M. (2023).** Water quality evaluation and prediction using irrigation indices, artificial neural networks, and partial least square regression models for the Nile River, Egypt. *Water*, 15(12), 2244.
- Gagui, F., Laamari, M., Tahar-Chaouche, S., Merzoug, D. (2023).** Aphids and their parasitoid Hymenoptera in Oum El Bouaghi Province (Algeria). *Bulletin de la Société Zoologique de France*, 148(2), 47-54.
- Ganji, F., Kamani, H., Ghayebzadeh, M., Abdipour, H., & Moein, H. (2024).** Evaluation of physical and chemical characteristics of wastewater and sludge of Zahedan urban wastewater treatment plant for reuse. *Heliyon*, 10(2).
- Ghosh, S. K., & Mukherjee, T. (2019).** Circular Economy Through Treatment and Management of Industrial Wastewater. *Waste Water Recycling and Management*, 1–13.
- Giri, A., Bharti, V. K., Kalia, S., Kumar, K., & Khansu, M. (2022).** Hydrochemical and quality assessment of irrigation water at the trans-himalayan high-altitude regions of Leh, Ladakh, India. *Applied Water Science*, 12(8), 197.
- Guo, H., Sun, Y., Li, T., Teng, Y., Dong, H., Li, H., & Liu, G. (2024).** The Analysis of Present and Future Use of Non-Conventional Water Resources in Heilongjiang Province, China. *Sustainability*, 16(9), 3727.
- Habibi, S. (2019).** A long-term study of the effects of wastewater on some chemical and physical properties of soil. *Journal of Applied Research in Water and Wastewater*, 6(2), 156-161.
- Hadji, F., Sari, F., & Khiat, A. (2020).** Wastewater Reuse for Irrigation Purposes: The Case of Aïn Témouchent Region. *Water Resources in Algeria-Part II: Water Quality, Treatment, Protection and Development*, 59-78.
- Hannachi, A., Gharzouli, R., Tabet, Y. D., & Daoud, A. (2016).** Wastewater reuse in agriculture in the outskirts of the city Batna (Algeria). *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 8(3), 919-944.
- Haoua, A.A. (2007).** *Modélisation de séchage solaire sous serre des boues de STEP urbains*. Thèse de doctorat, Université Louis Pasteurs-Strasbourg .
- Hashem, M. S., & Qi, X. (2021).** Treated wastewater irrigation—A review. *Water*, 13(11), 1527.
- Hassan, J., Qu, Z., Bergaust, L. L., & Bakken, L. R. (2016).** Transient Accumulation of NO₂- and N₂O during Denitrification Explained by Assuming Cell Diversification by Stochastic Transcription of Denitrification Genes. *PLOS Computational Biology*, 12(1), e1004621.

- Hussain, A., & Bhattacharya, A. (Eds.). (2019).** Advanced Design of Wastewater Treatment Plants: Emerging Research and Opportunities. États-Unis d'Amérique :IGI Global.
- Jiang, K. (2024).** Sustainable management of water resources in arid areas. *Applied and Computational Engineering*, 63(1), 172-175.
- JORA. (2012).** Arrêté interministériel du 2 janvier 2012 fixant le cahier des charges des eaux usées traitées destinées à l'irrigation.
- Jothieswari, M., Prabhakaran, N., Krithika, A., & Swarnalatha, S. (2023).** Reuse of treated domestic sewage for irrigation purposes using the algal-based treatment system. *Water, Air, & Soil Pollution*, 234(7), 464.
- Junior, A. P., Morales, G. P., Beltrão, N. E. S., Giuliatti, N. M., & Rodrigues, A. B. M. (2023).** Biological and chemical oxygen demand in the Uraim River and the urbanization process. *Paragominas-Pará. Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, 12(1), 384-399.
- Kakooza, S. P., Mmolawa, K. B., Gaboutloeloe, G. K., & Clift-hill, A. (2023).** Agricultural Drainage Water Assessment for Possible Reuse: A Case Study from Pandamatenga Commercial Arable Farms in Botswana. *EPRA International Journal of Multidisciplinary Research*, 5 (5).
- Kallel, M., Belaid, N., Ayoub, T., Ayadi, A., & Ksibi, M. (2012).** Effects of treated wastewater irrigation on soil salinity and sodicity at El Hajeb region (Sfax-Tunisia). *Journal of Arid Land Studies*, 22(1), 65-68.
- Karia, G. L., Christian, R. A., & JARIWALA, N. D. (2023).** Wastewater treatment: Concepts and design approach. 3eme édition. Delhi: Rimijhim.
- Karimov, B. K., Shoergashova, S. S., Talskikh, V. N., & Salokhiddinov, A. T. (2020).** Relationship between the concentrations of nitrogen compounds and the water discharge in the Chirchiq River, Uzbekistan. *In IOP conference series: earth and environmental science*, 614, 012154.
- Karra, T., & Sayantan, D. (2023).** Annual assessment of Physico-chemical parameters of the Untreated and treated sewage water fed ponds of CHRIST (Deemed to be University) campuses, Bengaluru, Karnataka, India. *Journal of Survey in Fisheries Sciences*, 536-553.
- Kazmi, S. S. U. H., Wang, Y. Y. L., Cai, Y. E., & Wang, Z. (2022).** Temperature effects in single or combined with chemicals to the aquatic organisms: an overview of thermo-chemical stress. *Ecological Indicators*, 143, 109354.
- Kelly, W. (1951).** Alkali Soils-Their Formation Properties and Reclamation, Third, Reinhold Publication.

- Kettab, A. (2017).** Traitement des eaux usées urbaines et leurs réutilisations en Agriculture. EUE Editions (éditions universitaires européennes/ European University Edition. ISBN : 978-3-330-87310-0.
- Khurana, M. P. S., & Singh, P. (2012).** Waste water use in crop production: a review. *Resources and environment*, 2(4), 116-131.
- Kiziloglu, M., Turan, F. M., Sahin, U., Angin, I., Anapali, O., Okuroglu, M. (2007).** Effects of wastewater irrigation on soil and cabbage-plant (*brassica oleracea* var. capitata cv. yalova-1) chemical properties. *Journal of plant nutrition and soil science*, 170(1), 166-172.
- Klos, L. (2023).** Agricultural producers' knowledge of rational water management – case stage (Poland, EU). *Economics and Environment*, 85(2), 271-295.
- Kok, L., Van Zyl, P. G., Beukes, J. P., Swartz, J., Burger, R. P., Ellis, S., Josipovic, M., Vakkari, V., Laakso, L., Kulmala, M. (2021).** Chemical composition of rain at a regional site on the South African Highveld. *Water SA*, 47(3) 326–337.
- Kristek, J. A., Habuda-Stanić, M., Dong, H., Tutić, A., Romić, Ž., Ergović Ravančić, M., ... & Šiljeg, M. (2024).** Utilization of Modified Sunflower Seed as Novel Adsorbent for Nitrates Removal from Wastewater. *Water*, 16(1), 73.
- Kumar, D., Singh, V. K., Abed, S. A., Tripathi, V. K., Gupta, S., Al-Ansari, N., ... & Mattar, M. A. (2023).** Multi-ahead electrical conductivity forecasting of surface water based on machine learning algorithms. *Applied Water Science*, 13(10), 192.
- Kundu, A., & Nag, S. K. (2018).** Assessment of groundwater quality in Kashipur block, Purulia district, West Bengal. *Applied water science*, 8, 1-18.
- Kuznietsov, P., & Biedunkova, O. (2023).** Evaluating the impact of dispersed particles in the water of a power plant recirculating cooling system on the discharge of suspended solids into a natural water body. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 126(10).
- Le Roy, J., Dubois, V., Tournebize, J., Lauvernet, C., & Clément, R. (2020).** *Synthèse bibliographique: Impacts de l'infiltration d'eaux usées traitées sur les sols* (Doctoral dissertation, INRAE UR Reversaal).
- Lee, L.K., Kim, J.H., Kim, J. (2015).** Monitoring the water quality of the Wangsukcheon river over a two year period. *Toxicol Environ Heal Sci*, 7, 91–96.
- Lehmann, N., Lantuit, H., Böttcher, M. E., Hartmann, J., Eulenburg, A., & Thomas, H. (2022).** Alkalinity generation from carbonate weathering in a silicate-dominated headwater catchment at Iskorasfjellet, northern Norway. *Biogeosciences Discussions*, 1-39.

- Liu, Y., Ngo, H.H., Guo, W., Peng, L., Wang, D., Ni, B. (2019).** The roles of free ammonia (FA) in biological wastewater treatment processes: A review. *Environ. Int.*, 123, 10–19.
- Loboda, N., & Daus, M. (2021).** Development of a method of assessment of ecological risk of surface water pollution by nitrogen compounds. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(10), 113.
- Maki, A., Chenini, F. (2023).** Les eaux non conventionnelles pour le développement agricole dans les pays de l'Afrique du Nord - Vers le déblocage du potentiel des eaux usées traitées et des eaux de drainage agricole. Tunis, FAO. ISBN 978-92-5-138091-8.
- Mancer, H., Saifia, S.I. (2023).** *Évaluation et possibilité de réutilisation des eaux usées épurées en agriculture (cas de la station d'épuration de la wilaya de Djelfa)* (Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de master, Université Ziane Achour Djelfa).
- Manurung, T., Natalia, N., Suma, J. A. A., Purba, A. N., Naiya, N., Hulu, D. F., ... & Hermayantiningsih, D. (2023).** Study of the Effect of Domestic Wastewater from Jalan Lele Residents of Palangka Raya City on the Acidity and Alkalinity Levels of the Receiving Water Body: Studi Pengaruh Air Limbah Domestik Penduduk Jalan Lele Kota Palangka Raya terhadap Kadar Asiditas dan Alkalinitas Badan Air Penerima. *Jurnal Jejaring Matematika dan Sains*, 5(1), 35-42.
- Mazouz, T. (2018).** *Etalement urbain et stratégies de développement durable : cas d'une ville intermédiaire Ain Beida.* (Doctoral dissertation, Université Oum El Bouaghi).
- Mefti, M. E. A. (2015).** *Réutilisation des eaux épurées dans l'irrigation* (Doctoral dissertation).
- 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).
- Mikulec, N., Špoljarić, J., Plavljanić, D., Lovrić, N., Oštarić, F., Gajdoš Kljusurić, J., ... & Kazazić, S. (2024).** MALDI-TOF Mass Spectrometry-Based Identification of Aerobic Mesophilic Bacteria in Raw Unpreserved and Preserved Milk. *Processes*, 12(4), 731.
- Mishra, S., Kumar, R., & Kumar, M. (2023).** Use of treated sewage or wastewater as an irrigation water for agricultural purposes-Environmental, health, and economic impacts. *Total Environment Research Themes*, 100051. DOI: 10.1016/j.totert.2023.100051.
- Moletta, R. (2015).** *Gestion des déchets.* Lavoisier, 685p
- Monika, R., Dimple, Kumar, S., & Giri, A. (2024).** Watering Sundarban's fields: a systematic review of groundwater and surface water suitability for irrigation. *Applied Water Science*, 14(4), 66.

- Morales, N., del Río, Á. V., Vázquez-Padín, J. R., Méndez, R., Campos, J. L., & Mosquera-Corral, A. (2016). The granular biomass properties and the acclimation period affect the partial nitrification/anammox process stability at a low temperature and ammonium concentration. *Process Biochemistry*, 51(12), 2134-2142.
- Mousazadeh, H., Mahmudy-Gharaie, M. H., Mosaedi, A., & Moussavi Harami, R. (2019). Hydrochemical assessment of surface and ground waters used for drinking and irrigation in Kardeh Dam Basin (NE Iran). *Environmental geochemistry and health*, 41, 1235-1250.
- Moussaoui, T., Derdour, A., Hosni, A., Ballesta-de los Santos, M., Legua, P., & Pardo-Picazo, M. Á. (2023). Assessing the quality of treated wastewater for irrigation: A case study of Ain Sefra wastewater treatment plant. *Sustainability*, 15(14), 11133.
- Nawar, B., Scardigno, A., & Sagardoy, J. A. (2024). Treatment and reuse of water: Economic feasibility and assessment of water pricing policies in Ouardanine irrigation district (Tunisia). *New Medit.* <https://10.30682/nm2401e>.
- N'Diaye, A. D., Thiam, O. U. S. M. A. N. E., & Namr, K. I. (2013). Turbidité et matières en suspension dans l'eau: Application à l'évaluation des métaux contenus dans l'eau de la rive droite du fleuve Sénégal. *LARHYSS Journal* P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782, (14).
- Nedjai, R., Al-Mamun, A., & Alam, M. Z. (2024). Effects of initial turbidity and myco-coagulant dose on the effectiveness of the coagulation process in water treatment. *Applied Chemical Engineering*, 7(2), 1546-1546.
- Olgun, A., Atar, N., Wang, S. (2013). Batch and column studies of phosphate and nitrate adsorption on waste solids containing boron impurity. *Chem. Eng. J*, 222, 108–119.
- OMS (2006). Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, volume II, Wastewater use in agriculture.
- Omwene, P. I., Kobya, M., & Can, O. T. (2018). Phosphorus removal from domestic wastewater in electrocoagulation reactor using aluminium and iron plate hybrid anodes. *Ecological Engineering*, 123, 65-73.
- ONA (Office national d'assainissement).(2019). Document interne bilan annuel DEM ONA 2019.
- Ooi, K. S., Chen, Z., Poh, P. E., & Cui, J. (2022). BOD5 prediction using machine learning methods. *Water Supply*, 22(1), 1168-1183.
- Papadopoulos, D. K., Lattos, A., Chatzigeorgiou, I., Tsaballa, A., Ntinis, G. K., & Giantsis, I. A. (2024). The Influence of Water Nitrate Concentration Combined with

Elevated Temperature on Rainbow Trout *Oncorhynchus mykiss* in an Experimental Aquaponic Setup. *Fishes*, 9(2), 74.

Parveen, T., Hussain, A., & Someshwar Rao, M. (2015). Growth and accumulation of heavy metals in turnip (*Brassica rapa*) irrigated with different concentrations of treated municipal wastewater. *Hydrology Research*, 46(1), 60-71.

Patil, P. B., Bhandari, V. M., & Ranade, V. V. (2021). Improving efficiency for removal of ammoniacal nitrogen from wastewaters using hydrodynamic cavitation. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70, 105306.

Peasey, A., Blumenthal, U., Mara, D., & Ruiz-Palacios, G. (2000). A review of policy and standards for wastewater reuse in agriculture: a Latin American perspective. WELL study, Task, 68.

Povis, A. A. L., Pérez, E. A. S., Quispe, K. A. O., & Yanqui, P. V. G. (2024). Effect of dissolved oxygen concentration on biomass production in wastewater. *Ambiente e Agua-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 19, 1-11.

Pranto, M. R. B. H., Hossain, M. B., Roy, D., Pal, P. L. C., & Tanha, A. N. (2021). Suitability of Municipal Wastewater for Crop Irrigation in Mymensingh Municipality Area of Bangladesh. *The Agriculturists*, 19(1 & 2), 12-20.

Qasim, S. R., & Zhu, G. (2017). Wastewater treatment and reuse, theory and design examples, volume 1: Principles and basic treatment. CRC press.

Qi, H., Liu, Y. (2023). Nitrogen removal through denitrification in China's aquatic system. *The Science of The Total Environment*, 891, 164317.

Qureshi, A. S., Hussain, M. I., Ismail, S., & Khan, Q. M. (2016). Evaluating heavy metal accumulation and potential health risks in vegetables irrigated with treated wastewater. *Chemosphere*, 163, 54-61.

Rabb, U. N., Shitole, A., & Kulkarni, A. (2024). The pH estimation of decoction of hingu (*Ferula foetida* Regel), chitraka (*Plumbago zeylanica* Linn), dhataki (*Woodfordia fruticosa* kurz), shatavari (*Asperagus racemosus* willd), shunthi (*Zingiber officinale* Rosc), maricha (*Piper nigrum* Linn), gokshura (*Tribulus terrestris* Linn) and Chandana (*Santalum album* Linn). *International Journal of Science and Research Archive* , 11(01), 432–435

Rasheed, R. O., Hama Karim, T. A. (2017). Impact assessment of wastewater and planning for a treatment plant within Sulaimani City, Iraq. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(23).

- Rekrak, A. Z. (2020).** *Performances épuratoires d'un échantillon de stations de traitement des eaux usées situées en Oranie* (Doctoral dissertation, Université de Tlemcen-Abou Bekr Belkaid).
- Rezapour, S., Atashpaz, B., Moghaddam, S. S., & Damalas, C. A. (2019).** Heavy metal bioavailability and accumulation in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) irrigated with treated wastewater in calcareous soils. *Science of the Total Environment*, 656, 261-269.
- Rezazi, Z., Rabhi, A., & Rahmani, A. C. (2022).** Evaluation de l'élimination du risque biologique dans les procédés de traitement des eaux usées.
- Richards, L. A. (1954).** *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. LWW: Baltimore, MD, USA, Volume 78.
- Roy, D., McEvoy, J., Blonigen, M., Amundson, M., Khan, E. (2017).** Seasonal variation and ex-situ nitrification activity of ammonia oxidizing archaea in biofilm based wastewater treatment processes. *Bioresour. Technol*, 244, 850–859.
- Roy, E. D. (2017).** Phosphorus recovery and recycling with ecological engineering: A review. *Ecological engineering*, 98, 213-227.
- Salazar, C., Adarchenko, I., Slabospitskaya, A. (2024).** Turbidity as a primary indicator of water quality from surface water sources. *Revue internationale de recherche scientifique*, 3(141)
- Santos, A. F., Alvarenga, P., Gando-Ferreira, L. M., & Quina, M. J. (2023).** Urban wastewater as a source of reclaimed water for irrigation: barriers and future possibilities. *Environments*, 10(2), 17.
- Semegn, G., Demeke, G., Aschale, M., & Melaku, A. (2023).** Seasonal Variation in Physico-chemical Characteristics of Wastewater from Domestic Treatment Plant. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3399220/v1>
- Shakir, E., Zahraw, Z., & Al-Obaidy, A. H. M. (2017).** Environmental and health risks associated with reuse of wastewater for irrigation. *Egyptian Journal of Petroleum*, 26(1), 95-102.
- Silva, J. A. (2023).** Water Supply and Wastewater Treatment and Reuse in Future Cities: A Systematic Literature Review. *Water*, 15(17), 3064.
- Smagin, A. V. (2018).** Biological oxygen demand in soils and hydrogel compositions for plant protection of the rhizosphere. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 121 (2), 022038.

- Smagin, A. V., Sadovnikova, N. B., & Budnikov, V. I. (2023).** Biodegradation of aqueous superabsorbents: kinetic assessment using biological oxygen demand analysis. *Journal of Composites Science*, 7(4), 164.
- Smagin, A. V., Smagina, M. V., & Sadovnikova, N. B. (2018).** Biological oxygen demand in soils and litters. *Eurasian Soil Science*, 51, 296-308.
- Srivastava, A. (2018).** Waste water treatment and water management. Notion Press.
- Suarez, D. L., Wood, J. D., & Lesch, S. M. (2006).** Effect of SAR on water infiltration under a sequential rain–irrigation management system. *Agricultural water management*, 86(1-2), 150-164.
- Suchankova, J., Roupцова, P., Suranova, K., Klouda, K., Krocova, S., Slany, J., & Tesarova, S. (2023).** Specific types of wastewater pollution in Ostrava and possibilities of decontamination through wastewater treatment plants. *E3S Web of Conferences*, 436, 10013.
- Sushila, S., Kumar, P. (2024).** Pollution Load Reduction from Domestic Wastewater with Electrocoagulation Process for Agricultural Reuse. *Indian Journal of Science and Technology*, 17(14):1409-1418.
- Szabolcs, I., Darab, C. (1964).** Influence of irrigation water of high sodium carbonate content of soils. In: Proceedings of the 8th international congress of ISSS, Tsukuba, Japan.
- Tarawneh, A., Assad, S., Alkhalil, S., & Suleiman, A. (2024).** Assessing acceptance of treated wastewater reuse in Jordan: A study of knowledge and preferences. *Desalination and Water Treatment*, 317, 100030.
- Tiomele, S. A. T., & Kamdem, M. S. (2022).** Logiques d’acteurs dans la gestion des eaux usées et assainissement dans la commune d’arrondissement de Bafoussam 1er (Ouest-Cameroun). *ESI Preprints*, 7, 196-196.
- Todd, D. K., & Mays, L. W. (2004).** Groundwater hydrology. John Wiley & Sons, NJ, USA. ISBN 0-471-05937-4.
- Tsertou, E., Caluwé, M., Goettert, D., Goossens, K., Seguel Suazo, K., Vanherck, C., & Dries, J. (2024).** Impact of low and high temperatures on aerobic granular sludge treatment of industrial wastewater. *Water Science & Technology*, 89(3), 548-561.
- Tzanakakis, V.A., Capodaglio, A.G., Angelakis, A.N. (2023).** Insights into Global Water Reuse Opportunities. *Sustainability*, 15(17),13007.
- Upton, S. (2016).** Panorama de L'environnement 2015. Les Indicateurs de L'OCDE. Editions OECD, Paris. 40p

- Wagner, G. H. (2000).** Wastewater Treatment and the Role of Laboratory Professionals. *Laboratory Medicine*, 31(4), 206-209.
- Wang, F., Cui, Q., Liu, W., Jiang, W., Ai, S., Liu, W., & Bian, D. (2024).** Synergistic denitrification mechanism of domesticated aerobic denitrifying bacteria in low-temperature municipal wastewater treatment. *npj Clean Water*, 7(1), 6.
- Wang, N., Luo, C., Wu, X., Chen, L., Ge X, Huang, C., Lin, X., Zhu, S. (2024).** Effects of water temperature on growth of invasive *Myriophyllum aquaticum* species. *Aquatic Invasions*, 19(2), 153–167.
- Wang, Y., Li, R., Wu, X., Yan, Y., Wei, C., Luo, M., ... & Zhang, Y. (2023).** Evaluation of groundwater quality for drinking and irrigation purposes using GIS-based IWQI, EWQI and HHR Model. *Water*, 15(12), 2233.
- Wijaya, I. M. W., & Soedjono, E. S. (2018).** Physicochemical characteristic of municipal wastewater in tropical area: Case study of surabaya city, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 135(1).
- Wilcox, L. (1955).** Classification and Use of Irrigation Waters. US Department of Agriculture: Washington, DC, USA.
- Xie, J., Pan, Y., Zheng, B., Liu, Y., Li, H., Wu, Y., Li, L., Shan, Z., Xin, K., Wang, N., Zhang, B., Lu., X. (2023).** Assessing the Effect of a Newly Implemented Basic Wastewater Discharge Standard on the Concentrations of Pharmaceutical and Personal Care Products in the Daqing River Basin, China. *Water*, 15(6), 1151.
- Yalçın, Z. G., Dağ, M., & Aydoğmuş, E. (2023).** Wastewater treatment using active microorganisms and evaluation of results. *Int. J. Adv. Nat. Sci. Eng. Res*, 7, 55-61.
- Yang, X., Zhou, Y., Spencer, R. G., Brookes, J. D., ... & Zhou, Q. (2024).** Optical measurements of dissolved organic matter as proxies for CODMn and BOD5 in plateau lakes. *Environmental Science and Ecotechnology*, 19, 100326.
- Yıldırım, İ., & Koçan, H. (2023).** The pH of Drinking Water and Its Effect on the pH of Urine. *Cureus*, 15(10).
- Zghari, B., Benyoucef, F., & Boukir, A. (2018).** Impact environnemental des margines sur les eaux d'oued oussefrou: caracterisation physico-chimique et evaluation par chromatographie gazeuse couplee a la spectrometrie de masse (CPG-SM) the environmental impact of olive mill wastewater in oussefrou. *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*, 2429, 5396.

Zheng, R., Zhang, K., Kong, L., & Liu, S. (2024). Research progress and prospect of low-carbon biological technology for nitrate removal in wastewater treatment. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 18(7), 80.

RÉSUMÉ

Face à la pénurie croissante d'eau, une gestion optimale de cette ressource vitale s'impose. La réutilisation des eaux usées traitées peut constituer une source d'eau supplémentaire, en particulier dans les régions arides et semi-arides. Cette étude a évalué l'efficacité du traitement des eaux par la station d'épuration des eaux usées de la ville d'Aïn Beida (Oum El-Bouaghi) et la faisabilité de la réutilisation de ses eaux pour l'irrigation durant la période 2021-2024. Dans l'ensemble, nos résultats ont montré que la majorité des paramètres physico-chimiques étaient conformes aux normes nationales et internationales, avec des rendements épuratoires supérieurs à 90%. Par ailleurs, les valeurs des indicateurs de qualité de l'eau d'irrigation ont révélé que l'eau traitée est de qualité moyenne en raison de sa salinité relativement élevée. Elle peut être utilisée pour irriguer des cultures tolérantes aux sels sur des sols bien drainés. Une caractérisation complète de l'eau d'irrigation et un suivi régulier restent essentiels pour éviter les impacts négatifs sur les cultures et la qualité du sol.

Mots-clés : Irrigation; Qualité de l'eau ; Rendement épuratoire ; Traitement des eaux usées.

ABSTRACT

In the face of increasing water scarcity, optimal management of this vital resource is imperative. Treated wastewater reuse can provide an additional water source, particularly in arid and semi-arid regions. This study evaluated the treatment efficiency of the wastewater treatment plant in the city of Ain Beida (Oum El-Bouaghi) and the feasibility of reusing its water for irrigation during the period from 2021 to 2024. Overall, our results showed that the majority of physico-chemical parameters were in compliance with national and international standards, with purification efficiencies exceeding 90%. Additionally, the values of irrigation water quality indicators revealed that the treated water is of medium quality due to its relatively high salinity. It can be used to irrigate salt-tolerant crops on well-drained soils. A comprehensive characterization of irrigation water and regular monitoring remain essential to avoid negative impacts on crops and soil quality.

Key words : Irrigation ; Treatment efficiency ; Wastewater treatment ; Water quality.

الملخص

في مواجهة النقص المتزايد في المياه، أصبحت الإدارة المثلى لهذا المورد الحيوي أمراً حتمياً. يمكن أن تشكل إعادة استخدام المياه العادمة المعالجة مصدرًا إضافيًا للمياه، لا سيما في المناطق الجافة وشبه الجافة. قامت هذه الدراسة بتقييم فعالية معالجة المياه في محطة معالجة مياه الصرف الصحي في مدينة عين البيضاء (أم البواقي) وإمكانية إعادة استخدام مياهها في الري خلال الفترة 2021-2024. بشكل عام، أظهرت نتائجنا أن معظم المعايير الفيزيائية والكيميائية كانت متوافقة مع المعايير الوطنية والدولية، مع تحقيق معدلات تنقية تتجاوز 90%. علاوة على ذلك، أظهرت قيم مؤشرات جودة مياه الري أن المياه المعالجة تتمتع بجودة متوسطة نظرًا لملوحتها العالية نسبيًا، ويمكن استخدامها لري المحاصيل المتحملة للأملاح في التربة جيدة الصرف. تبقى الحاجة إلى إجراء تقييم شامل لمياه الري ومتابعة منتظمة ضرورية لتجنب الآثار السلبية على المحاصيل وجودة التربة.

كلمات المفتاحية : الري ؛ جودة المياه ؛ مردود التنقية ؛ معالجة مياه الصرف الصحي.