

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة سعيدة – د. مولاي الطاهر
UNIVERSITÉ DE SAÏDA - Dr. MOULAY TAHAR



Faculté des sciences et de Technologie
Département de Génie Civil et d'Hydraulique

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du Diplôme de MASTER en Hydraulique

Spécialité : Hydraulique Urbaine

Analyse de l'influence des eaux usées épurées sur la qualité agricole dans la région de Saïda. Cas de la STEP de la ville de Saïda

Présenté par :

ADEL Chahreddine

ALLAL Khaled

Soutenu le 22 / 06 / 2026, devant le jury composé de :

M. BENIKDES Aissa		Président
M ^{me} HAKEM Mebarka		Encadreur
M ^{me} KIES Souad		Examineur

Année universitaire 2025/2026

Remerciements

Au terme de ce travail, nous rendons grâce à Allah, le Tout-Puissant, qui nous a accordé la force, la persévérance et la patience nécessaires pour accomplir ce mémoire et mener à bien nos études.

Nous exprimons notre profonde gratitude à notre encadreur, Mme HAKEM Mebarka, pour avoir accepté de diriger ce travail. Ses orientations judicieuses, sa disponibilité, ses conseils avisés, son soutien constant et ses remarques constructives ont constitué une aide précieuse tout au long de cette étude. Qu'elle trouve ici l'expression de notre sincère reconnaissance et de notre profond respect.

Nous adressons nos plus vifs remerciements à M. BENIKDES Aïssa, qui nous fait l'honneur de présider le jury de cette soutenance. Nous lui témoignons notre profonde gratitude pour l'intérêt qu'il porte à notre travail et pour le temps qu'il lui consacre.

Nous tenons également à remercier chaleureusement Mme KIES Souad d'avoir accepté d'examiner ce mémoire en qualité de membre du jury. Nous lui exprimons toute notre considération et notre reconnaissance.

Nous souhaitons exprimer notre reconnaissance à l'ensemble de nos enseignants, qui ont contribué à notre formation universitaire par la qualité de leurs enseignements, leurs conseils et leur dévouement. Les connaissances acquises tout au long de notre parcours ont constitué un appui essentiel pour l'élaboration de ce travail.

Nous adressons également nos sincères remerciements au personnel de la Station d'Épuration de Saïda, et plus particulièrement à Mme GUERROUDJ H. ainsi qu'à M. CHIBANI Miloud, Directeur de la STEP, pour leur disponibilité, leur accueil chaleureux, leur collaboration et les facilités accordées durant les différentes étapes de cette étude.

Nous adressons également nos sincères remerciements au Professeur TERRAS pour son aide et son soutien lors du semis des cultures au niveau du laboratoire de biologie, ainsi qu'au Professeur AMMAM pour son aide durant cette étude.

Enfin, nous exprimons notre gratitude à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire et ont participé, par leur soutien ou leurs encouragements, à l'aboutissement de ce travail.

À tous, nous adressons nos plus sincères remerciements.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents, ma mère et mon père, en témoignage de mon amour, de mon respect et de ma profonde gratitude pour leurs sacrifices, leur soutien et leurs encouragements tout au long de mon parcours.

À ma chère fille, Rahaf fatima zahra, source de mon bonheur et de mon inspiration. Je lui souhaite un avenir rempli de réussite et de bonheur.

À mon cher frère Djeloul, à son épouse ainsi qu'à leurs enfants Rouneq et Nasreddine.

À ma sœur Chahrazad, à son époux Haïda et à leurs enfants Islam, Djoud et Ayane.

À mes chères sœurs Abir et Latifa pour leur amour, leurs encouragements et leur présence constante à mes côtés.

À la famille ADEL, pour leur soutien, leur affection et leurs encouragements.

À toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Avec toute ma gratitude et mon affection.

CHAHR EDDINE

Dédicaces

Je dédie ce travail, avant tout, à Dieu Tout-Puissant, qui m'a donné la force, la patience et la volonté pour réaliser ce mémoire.

À mes chers parents, pour leur amour, leurs sacrifices, leurs encouragements et leur soutien durant tout mon parcours.

À mes chers frères, pour leur présence et leur soutien moral, avec une pensée particulière pour ma petite sœur Maria.

À mon cher grand-père, pour sa présence, son affection et ses précieux conseils.

À la mémoire de ma chère grand-mère, qui attendait ce jour avec impatience. Que Dieu lui accorde Sa miséricorde et l'accueille dans Son vaste paradis

À toute la famille **Allal**

Enfin, je dédie ce travail à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

KHALED

SOMMAIRE

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des symboles

Introduction générale.....I

CHAPITRE I

LA REUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES

I.1 Introduction..... 1

I.2 Définition..... 2

I.3 Principaux domaines de réutilisation des eaux usées épurées 2

I.3.1 La réutilisation des EUE en milieu urbain..... 3

I.3.2 La réutilisation des EUE dans le secteur industriel 3

I.3.3 La réutilisation des EUE dans le secteur agricole 3

I.4 Impacts et risques de la réutilisation des eaux usées traitées..... 4

I.4.1 Impacts sur les sols..... 4

I.4.2 Impacts sanitaires..... 4

I.4.3 Impacts sur l'environnement 4

I.5 Situation de la réutilisation des eaux usées épurées dans les pays du Maghreb 5

I.5.1 Capacité de traitement et potentiel de réutilisation..... 5

I.5.2 Distribution des usages 5

I.5.3 Situation de la Réutilisation des eaux usées épurées en Algérie 6

I.5.4 Situation de la réutilisation des eaux usées épurées en Tunisie..... 6

I.5.5 Situation de la réutilisation des eaux usées épurées au Maroc 6

I.5.6 Situation de la réutilisation des eaux usées épurées en Libye 7

I.5.7 Situation de la réutilisation des eaux usées épurées en Mauritanie 7

I.6 Paramètres de qualité des eaux usées épurées pour l'irrigation..... 7

I.6.1 Paramètres physico-chimiques..... 7

I.6.1.1 Le PH 7

I.6.1.2 Les matières en suspension (MES)..... 8

I.6.1.3 La salinité (conductivité électrique)..... 8

I.6.1.4 La Demande biochimique en oxygène (DBO5) 8

I.6.1.5 La demande chimique en oxygène (DCO) 8

I.6.1.6 Oxygène dissout (OD) 9

I.6.1.7 Nutriments (Azote, Phosphore) 9

I.6.1.8 Métaux lourds 9

I.6.2 Paramètres microbiologiques..... 9

I.7 Les organismes responsables sur la gestion de l'opération de la REUT en Algérie..... 10

I.7.1 L'Office National de l'Assainissement (ONA).....	10
I.7.2 L'ONID (Office National de l'Irrigation et du Drainage).....	10
I.7.3 Cadre juridique Algérien.....	10
I.8 Les contrôles	12
I.9 Conclusion	13

CHAPITRE II PRESENTATION GENERALE DE LA STATION D'EPURATION DE SAIDA

II.1 Introduction	14
II.2 Présentation générale de la ville de Saida	15
II.3 Situation climatologique.....	16
II.3.1 Pluviométrie	16
II.3.2 Température.....	17
II.3.3 Humidité	17
II.3.4 Vents.....	18
II.3.4 Le réseau hydrographique	18
II.4.1 Historique de la STEP de Saida.....	18
II.4.2 Situation géographique	19
II.4.3 Les impacts socio-économiques de la station d'épuration	19
II.4.4 Production de l'eau épurée	19
II.4.5 Caractéristiques d'eaux avant et après le traitement	21
II.4.5.1 Qualité des eaux usées brutes	21
II.4.5.2 Qualité des eaux usées épurée	21
II.5 Fonctionnement de la STEP de la ville de SAIDA	22
II.5.1 Procédés d'épuration de la STEP	22
II.5.2 Description des différents ouvrages de la STEP de Saida.....	22
II.5.2.1 Le déversoir d'orage.....	22
II.5.2.2.1 Dégrillage	24
II.5.2.2.2 Dessablage et déshuilage.....	24
II.5.2.3 Station de relevage	25
II.5.2.4 Traitement biologique (secondaire).....	26
II.5.2.5 Clarification ou Décantation secondaire	27
II.5.2.6 La Chloration, désinfection	27
II.5.2.7 Traitement des boues.....	28
II.5.2.7.1 Epaississement des boues	28
II.5.2.7.2 Séchage des boues	29
II.6 Conclusion	30

III.1 Introduction.....	31
III.2 Modes de prélèvement et de conservation des eaux usées épurées.....	32
III.2.1 Définition	32
III.2.2 Lieu de prélèvement.....	32
III.2.3 Matériels utilisés.....	33
III.3 Méthodologie des analyses physico-chimiques	34
III.3.1 Préparation des échantillons.....	34
III.3.2 Paramètres de qualité de l'eau mesurés in situ.....	34
III.3.2.1 Mesures de pH.....	34
III.3.3 Paramètres physicochimiques analysés au laboratoire	35
III.3.3.1 Oxygène dissous	35
III.3.3.2 Matières en suspension (MES).....	36
III.3.3.4 Dosage spectroscopique	38
III.4 Description des expérimentations	42
III.4.1 Matériels et Méthodes.....	42
III.4.2 Protocole d'irrigation.....	44
III.4.2.1 Dynamique de rendement des cultures	44
III.4 Conclusion	49

IV.1 Introduction.....	50
IV.2 Analyses physico-chimiques des eaux usées de la STEP de Saïda au cours des années 2023, 2024 et 2025.....	51
IV.2.1 La Conductivité électrique (CE)	52
IV.2.2 Les MES (Matières en Suspension).....	53
IV.2.3 Demande Biochimique en Oxygène en 5 jours (DBO ₅)	54
IV.2.4 Demande Chimique en Oxygène (DCO)	54
IV.2.5 Les Nitrates (NO ₃ ⁻)	55
IV.2.6 Les Nitrites (NO ₂ ⁻).....	56
IV.2.7 Le Phosphore (PO ₄ ³⁻).....	56
IV.2.8 Métaux lourds	57
IV.3 Analyses physico-chimiques des eaux usées au cours de la période d'étude	58
IV.3.1 La Température.....	58
IV.3.2 PH	58
IV.3.3 Conductivité (CE)	59
IV.3.4 Matière en suspension (MES).....	60
IV.3.5 Demande Biochimique en Oxygène en 5 jours (DBO ₅)	60

IV.3.6 Demande Chimique en Oxygène (DCO)	61
IV.3.7 Le Rapport (DCO/DBO5).....	61
IV.3.8 Les Nitrites (NO_2^-).....	62
IV.3.9 L'ammonium (NH_4^+).....	63
IV.4 Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation.....	63
IV.5 Normes de réutilisation des eaux épurée en agriculture	64
IV.5.1 Normes physico-chimique	64
IV.5.2 Normes microbiologiques.....	64
IV.5.2.1 Irrigation non restrictive (< 100 CFU/100 ml)	64
IV.5.2.2 Irrigation restrictive (< 250 CFU/100 ml)	64
IV.6 Évaluation de la compatibilité entre la qualité des eaux usées traitées et les exigences agronomiques des cultures étudiées.....	65
IV.6.1 Blé (<i>Triticum aestivum</i>).....	65
IV.6.2 Haricot vert (<i>Phaseolus vulgaris</i>).....	65
IV.6.3 Épinard (<i>Spinacia oleracea</i>)	66
IV.7 Conclusion	67

CHAPITRE V

RESULTATS ET DISCUSSION

V.1 Introduction	68
V.2 Analyses des plantes.....	69
V.2.1 Analyse morphologique des cultures	69
V.2.1.1 Évolution de la croissance en longueur.....	69
V.2.1.1.1 Croissance en longueur des haricots verts	71
V.2.1.1.2 Croissance en longueur des épinards	73
V.2.1.1.3 Croissance en longueur du blé	75
V.2.1.2 Évolution de la croissance en poids	76
V.2.1.2.1 Évolution de la croissance en poids des haricots vert.....	77
V.2.1.2.2 Évolution de la croissance en poids des épinards	78
V.2.1.2.3 Évolution de la croissance en poids des blés traité et non traité.....	78
V.3 Conclusion.....	80
CONCLUSION GENERALE.....	81
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE.....	83

LISTE DES ABREVIATIONS

Cd :	Cadmium.
CE :	Conductivité électrique
Cr :	Chrome.
Cl :	Chlorure
DBO5 :	Demande biochimique en oxygène pendant cinq jours.
DCO :	Demande chimique en oxygène.
DRE :	Direction des ressources en eau de La Wilaya De Saida.
DSA :	Direction des services agricoles.
EH :	Equivalents-habitants.
ET :	Eaux traitées.
ETM :	Eléments traces métalliques.
EU :	eaux usées.
EUE :	Eaux usées épurées
EUE :	eaux usées épurées.
FAO :	Food and Agriculture Organisation.
Ha :	Hectare.
HCO₃ :	Bicarbonate
PH :	potentiel d'hydrogène.
MES:	Matières en Suspensions.
Mm³ :	Million de m ³ .
MO :	Matières organiques.
MRE :	Ministère Des Ressources En Eau
MTH :	Maladie à transmission Hydrique.
MVS :	Matières Volatiles en Suspension.
NH₄⁺ :	Ammonium
Ni :	Nickel
NO₃⁻ :	Azote
NO₂⁻ :	Nitrite
NT :	Azote total.
OD :	Oxygène dissout.
OMS :	Organisation Mondiale de la Santé.
ONA :	Office National de l'Assainissement (en Algérie).
ONID :	Office National d'Irrigation et de et de Drainage.
ONM :	Office National de la Météorologie
Pb :	Plomb
PO₄³⁻ :	Phosphate
REUE :	Réutilisation des eaux usées épurées.
STEP :	Station d'épuration.

LISTE DES FIGURES

I.1	Schéma de la valorisation et de réutilisation des eaux usées	02
II.1	Carte géographique de la willaya de Saida	15
II.2	Carte géographique de la willaya de Saida.	16
II.3	Histogramme des températures mensuelles moyennes à Saïda	17
II.4	Image satellitaire de la Station d'épuration de la ville de SAIDA	20
II.5	Déversoir d'orage	23
II.6	Prétraitement	23
II.7	Dégrillage.	24
II.8	Dessablage –Déshuilage	25
II.9	Traitement biologique	26
II.10	Décantation – Clarification	27
II.11	Chloration –désinfection.	28
II.12	Epaississement des boues	28
II.13	Déshydratation des boues sur lits de séchage.	29
II.14	Vue globale de la Station d'épuration de la ville de Saida.	30
III.1	Lieu de prélèvement des eaux épurées à la sortie de la station d'épuration	32
III.2	Glacière isotherme utilisée pour le transport des échantillons	33
III.3	Échantillons collectés au niveau de la station d'épuration : (a) eau usée et (b) eau épurée	34
III.4	PH-METRE	34
III.5	Oxymètre du bassin biologique	36
III.6	Filtration sous vide	36
III.7	Balance électronique	36
III.8	Flacons pour la mesure de la DBO	38
III.9	Hydroxyde de potassium	38
III.10	Spectrophotomètre de type HACH DR 3900	39
III.11	Réacteur d'oxydation de la DCO	40
III.12	Réactifs de la DCO	40
III.13	Réaction de dosage des nitrites	41
III.14	Spectrophotomètre DR 3900 pour la mesure de la concentration des nitrites (NO ₂ ⁻)	41
III.15	Procédure de préparation des échantillons	43
III.16	Schéma expérimental des cultures étudiées	43

III.17	Échantillonnage du haricot vert, des épinards et du blé	43
III.18	Protocole d'irrigation	44
III.19	Évolution de la germination des graines de haricot vert irriguées avec (a) de l'eau du robinet et (b) des eaux usées épurées.	45
III.20	Évolution de la germination des graines des épinards irriguées avec (a) de l'eau du robinet et (b) des eaux usées épurées.	45
III.21	Évolution de la germination des graines de blé.	45
III.22	Évolution de la germination des différentes espèces cultivées	46
III.23	Évolution de la germination des différentes espèces cultivées	46
III.24	Croissance des épinards irrigués avec de l'eau de robinet au cours du temps	46
III.25	Croissance des haricot vert irrigués avec de l'eau usées épurées au cours du temps	47
III.26	Croissance des haricot vert irrigués avec de l'eau de robinet au cours du temps	48
III.27	Croissance de blé irrigués avec de l'eau usées épurées au cours du temps	48
IV.1	Conductivité électrique sur la période 2023–2025	53
IV.2	Concentrations en MES sur la période 2023–2025	53
IV.3	Comparaison des concentrations en DBO5 sur la période 2023–2025	54
IV.4	Concentrations en DCO sur la période 2023–2025	55
IV.5	Concentrations en Nitrates sur la période 2023–2025	55
IV.6	Comparaison des concentrations en Nitrites sur la période 2023–2025	56
IV.7	Concentrations de Phosphore sur la période 2023–2025	57
IV.8	Répartition de la température	58
IV.9	Répartition du PH	59
IV.10	Répartition de la conductivité	59
IV.11	Répartition de la MES	60
IV.12	Répartition DBO5	60
IV.13	Répartition de la DCO	61
IV.14	Rapport de biodégradabilité (DCO/DBO5)	62
IV.15	Répartition des Nitrites	62
IV.16	Répartition de l'ammonium (NH ₄ ⁺)	63
V.1	Haricot vert irrigué par eau usée épurée	71
V.2	Haricot vert irrigué par eau de robinet	71
V.3	Évolution de la croissance en longueur du haricot vert (Echantillon N.01)	72
V.4	Évolution de la croissance en longueur du haricot vert (Echantillon N.02)	72
V.5	Rendement des trois échantillons de haricot vert irrigués par eaux usées épurées	73
V.6	Rendement des trois échantillons de haricot vert irrigués par l'eau de robinet	73

V.7	Évolution de la croissance en longueur des épinards (Echantillon N.02)	74
V.8	Évolution de la croissance en longueur des épinards (Echantillon N.03)	74
V.9	Évolution de la croissance en longueur du blé traité	75
V.10	Évolution de la croissance en longueur du blé non traité	75
V.11	Évolution de la croissance en poids du Haricot vert (Echantillon 01)	77
V.12	Évolution de la croissance en poids du les épinards (Echantillon 01)	78
V.13	Évolution de la croissance en poids du Blé traité	79
V.14	Évolution de la croissance en poids du Blé non traité	79

LISTE DES TABLEAUX

I.1	La réutilisation des eaux usées épurées en Algérie dans le secteur agricole	06
I.2	Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées	11
I.3	Les Normes Algérienne des paramètres physicochimiques de réutilisation des eaux usées épurées	11
I.4	Résumé des taches des intervenants sur le périmètre d'irrigation (cas de Tlemcen)	12
II.1	Précipitations moyennes mensuelles de la période 2025-2026	16
II.2	Les températures mensuelles moyennes de la ville de Saïda	17
II.3	Les variations mensuelles moyennes de la vitesse du vent	18
II.4	Production d'eau théorique de la STEP de Saida	20
II.5	Les charges de pollution admissible à l'entrée de la STEP	20
II.6	Qualité des eaux usées brutes	21
II.7	La qualité des eaux épurées rejetées de la STEP de SIADA	21
II.8	Le rendement minimum d'élimination de la station d'épuration	22
II.9	Caractéristiques techniques du déversoir d'orage	23
II.10	Caractéristiques techniques du Dégrillage grossier et fin	24
II.11	Caractéristiques techniques du dessableur-déshuileur	25
II.12	Caractéristiques techniques de la Station de relevage	26
II.13	Caractéristiques techniques des bassins biologiques	26
II.14	Equipements des bassins	26
II.15	Caractéristiques techniques des décanteurs secondaires	27
II.16	Caractéristiques techniques du bassin de chloration	28
II.17	Caractéristiques techniques de l'épaississeur	29
II.18	Caractéristiques techniques des lits de séchage.	29
III.1	Liste des équipements utilisés dans le laboratoire de la STEP de Saïda	33
III.2	Date de germination et de récolte des cultures	44
IV.1	La Moyenne annuel des analyses physico-chimiques de la STEP de Saïda (Année 2023)	51
IV.2	La Moyenne annuel des analyses physico-chimiques de la STEP de Saïda (Année 2024)	51
IV.3	La Moyenne annuel des analyses physico-chimiques de la STEP de Saïda (Année 2025)	52
IV.4	La Moyenne saisonnier des analyses physico-chimiques de la STEP de Saïda (Année 2026)	52
IV.5	Classification de la salinité du sol et effets sur les plantes	52
IV.6	Les résultats d'analyse des métaux lourds des eaux usées épurées de la STEP de Saïda (04/12/2025)	57
IV.7	Normes physico-chimique	64

IV.10	Exigences de qualité des eaux usées traitées pour l'irrigation du blé, du haricot vert et l'épinard	66
V.1	Évolution de la croissance en longueur des cultures irriguées avec le temps	69
V.2	Évolution de la croissance en longueur de Blé traité et Blé non traité	70
V.3	Évolution de la croissance en poids des Haricot vert et Les épinards	76
V.4	Évolution de la croissance en poids de blé traitée de blé non traité	76

INTRODUCTION GENERALE

L'eau constitue une ressource vitale, indispensable non seulement au maintien de la vie, mais également au développement socio-économique des nations. À l'échelle mondiale, et plus particulièrement dans les régions arides et semi-arides, la gestion des ressources hydriques fait face à des défis sans précédent.

En Algérie, le patrimoine hydraulique subit une pression anthropique croissante, exacerbée par une dynamique démographique galopante et une expansion continue des secteurs agricole et industriel. Cette tension sur l'eau douce est dramatiquement accentuée par les effets du changement climatique, qui se traduisent par des cycles de sécheresse récurrents, une baisse de la pluviométrie et un tarissement progressif des ressources conventionnelles. Face à ce stress hydrique structurel, la diversification des sources d'approvisionnement ne relève plus d'une simple option, mais s'impose désormais comme une nécessité stratégique majeure (Mezouane, 2026).

Parmi les alternatives innovantes et durables la réutilisation des eaux usées épurées (REUE) occupe une place prépondérante dans les politiques de gestion intégrée des ressources en eau. Considérée comme une ressource non conventionnelle à fort potentiel, la REUE permet d'alléger de manière significative la pression exercée sur les aquifères et les réserves d'eau de surface. Son intégration dans le secteur agricole présente des perspectives prometteuses. En effet, elle garantit non seulement un apport hydrique régulier et indépendant des aléas climatiques pour l'irrigation, mais elle participe également à une dynamique d'économie circulaire en recyclant les nutriments, contribuant ainsi à une gestion plus résiliente et durable des hydrosystèmes (Ammam, 2020).

Toutefois, le recours aux eaux usées épurées ne peut s'envisager sans un cadre réglementaire et sanitaire strict. Une surveillance rigoureuse et continue de la qualité des effluents traités est impérative. En effet, une épuration insuffisante ou défailante peut introduire dans le milieu récepteur des charges polluantes (chimiques, biologiques ou métalliques) susceptibles de dégrader la structure des sols, d'altérer le rendement et la salubrité des cultures, et de poser des risques majeurs pour la santé publique et l'environnement. L'évaluation approfondie des caractéristiques physico-chimiques de ces eaux constitue une étape d'échantillonnage et de contrôle préalable incontournable avant toute valorisation agricole.

La wilaya de Saïda de par son positionnement géographique est soumise à un climat semi-aride caractérisé par une irrégularité thermique et pluviométrique, limitant drastiquement la disponibilité des eaux douces. Alors que l'agriculture y demeure un pilier économique et social fondamental, la rareté de l'eau menace la pérennité des exploitations locales. Dans ce contexte, l'exploitation des eaux usées épurées se présente comme une opportunité d'adaptation sectorielle majeure capable de combler le déficit hydrique agricole tout en sanctuarisant les ressources en eau potable.

C'est dans cette problématique globale que s'inscrit le présent travail dont l'objectif principal est d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux usées épurées issues de la station d'épuration (STEP) de la ville de Saïda, afin de déterminer leur aptitude à être réutilisées en irrigation agricole.

De manière spécifique notre étude vise à analyser l'impact potentiel et la faisabilité technique de l'utilisation de ces effluents pour l'irrigation de trois cultures stratégiques et diversifiées de la région :

- **Le blé** : une culture céréalière majeure pour la sécurité alimentaire, sensible à la salinité et aux excès d'éléments minéraux.
- **Les épinards** : une culture maraîchère de type légume-feuille, hautement sensible à la contamination de surface (pathogènes, métaux lourds) et exigeante en azote.
- **Le haricot vert** : culture maraîchère annuelle, sensible à la phytotoxicité (éléments traces et métaux lourds) et dépendante de la qualité physico-chimique de l'eau (Conductivité électrique).

Afin de répondre à cette problématique et de structurer notre démarche, le présent mémoire est organisé en cinq chapitres :

Le premier chapitre est dédié à une synthèse bibliographique sur la thématique de la réutilisation des eaux usées épurées. Il pose les fondements théoriques liés à la typologie des eaux usées et explore les modalités de leur valorisation agricole au regard des exigences spécifiques des filières céréalières et maraîchères et arboricoles, tout en mettant en lumière les bénéfices les contraintes et les risques associés.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude. Il expose le contexte géographique et climatique de la wilaya de Saïda, et fournit une description technique détaillée de la station d'épuration (STEP) faisant l'objet de notre évaluation.

Le troisième chapitre présente le matériel utilisé et les méthodes d'analyse. Il détaille la façon dont les échantillons ont été prélevés, les techniques de mesure des paramètres physico-chimiques et les outils d'analyse statistique.

Le quatrième chapitre étudie l'évolution de la qualité des eaux usées épurées sur les trois dernières années. Ce suivi sur plusieurs années permet de vérifier si la station d'épuration est stable et si ses eaux respectent la réglementation.

Enfin, **le cinquième chapitre** présente les résultats et leur discussion. En comparant nos données avec les normes et la bibliographie, nous pourrions valider si les eaux de la STEP de Saïda sont adaptées à l'irrigation du blé, des épinards et du haricot vert.

CHAPITRE I

GENERALITE SUR LA REUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES

I.1 Introduction

Ce chapitre présente les principales notions liées à la réutilisation des eaux usées épurées ainsi que son importance dans la gestion durable des ressources hydriques. Il met en évidence les différents usages des eaux épurées notamment dans le domaine agricole tout en abordant les avantages, les contraintes et les risques associés à cette pratique.

I.2 Définition

La réutilisation des eaux usées épurées représente une solution durable face à la demande croissante en eau car elle permet de préserver les ressources en eau potable tout en fournissant une source alternative renouvelable pour plusieurs usages notamment l'agriculture (Condom, 2015).

Cette pratique contribue également à réduire les rejets polluants dans l'environnement et connaît un développement important dans les régions touchées par le stress hydrique. À l'échelle mondiale environ 14 % des terres agricoles sont irriguées par des eaux usées épurées (Thebo, 2017).

Les pays méditerranéens, tels que la Tunisie, avec un taux de réutilisation d'environ 10 % et Chypre où près de 95 % des eaux usées traitées sont réutilisées principalement pour l'irrigation agricole et la recharge des nappes phréatiques, figurent parmi les exemples les plus avancés en matière de réutilisation des eaux usées épurées (Areosa I. et al., 2024). Cependant, cette pratique demeure encore limitée dans certaines régions, notamment au sein de l'Union européenne, où les eaux usées épurées réutilisées ne représentent que 2,4 % du volume total des eaux usées traitées (Deloitte, 2015).

En Algérie le secteur agricole consomme environ 65 % des ressources hydriques nationales ce qui fait de l'approvisionnement en eau pour l'irrigation une priorité stratégique. Face à la croissance démographique et au stress hydrique lié au climat aride le pays développe des techniques de traitement et de réutilisation des eaux usées afin de répondre aux besoins agricoles et de préserver les ressources en eau.

Cependant la réutilisation des eaux usées peut présenter des risques liés aux polluants résiduels après traitement. L'amélioration des performances des stations d'épuration ainsi qu'une maintenance régulière des infrastructures restent donc indispensables pour garantir une utilisation sécurisée et durable de cette ressource alternative (Yazid, 2014).

I.3 Principaux domaines de réutilisation des eaux usées épurées

Les eaux usées traitées peuvent être exploitées dans divers domaines, bien que leur répartition reste inégale selon les besoins. Les eaux usées épurées représentent également une source durable pour le secteur industriel et peuvent être utilisées dans les zones urbaines pour diverses applications.

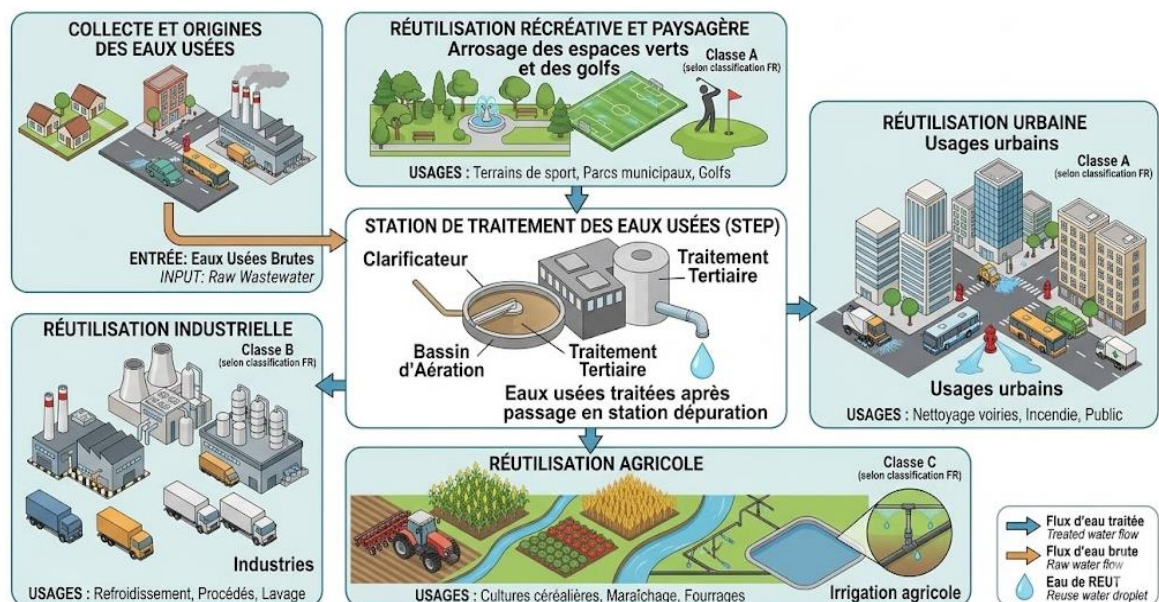


Figure I.1 Schéma de la valorisation et de réutilisation des eaux usées

I.3.1 La réutilisation des EUE en milieu urbain

Les eaux usées épurées (EUE) représentent une source alternative d'eau potable utilisée pour approvisionner les ménages en eau douce, particulièrement dans les régions où les ressources hydriques naturelles sont insuffisantes.

Cette utilisation peut être envisagée selon deux approches principales : de manière directe, via une injection dans le réseau de distribution, ou indirecte, par la recharge des nappes phréatiques et des réservoirs de stockage (Tchobanoglous G. , 2011).

L'histoire de la réutilisation des eaux usées épurée pour la production d'eau potable a commencé dans les années 1960s avec le projet de recharge de nappe à Montebello Forebay, Californie (1962) par infiltration d'eau recyclée et le premier projet de réutilisation directe comme eau potable à Windhoek, Namibie (1968) (Suez, 2026). Depuis, l'expérience d'exploitation de ces projets et celle de plusieurs autres projets mis en œuvre depuis a démontré la faisabilité de ce type de réutilisation et l'absence d'effets négatifs sur la santé publique.

Toutefois, le déploiement de cette stratégie nécessite la mise en place de procédés de traitement avancés et une supervision rigoureuse pour garantir le respect des normes d'usage et de qualité de l'eau. Bien qu'elle constitue une réponse durable aux enjeux de la raréfaction des ressources en eau douce, cette pratique rencontre souvent des résistances au sein de la population, principalement en raison de barrières psychologiques et culturelles.

En parallèle, les eaux usées traitées (EUT) peuvent être valorisées en milieu urbain pour des usages non potables, tels que l'entretien des voiries, l'arrosage des espaces verts ou encore des terrains sportifs. Ici également, un traitement poussé est requis notamment au niveau biologique afin d'éliminer tout risque de contamination touchant les lieux publics (Jiménez, 2024).

I.3.2 La réutilisation des EUE dans le secteur industriel

La REUE industrielle peut être intéressante dans le secteur de l'énergie, dans les circuits de refroidissement fermés ou ouverts. Les autres applications possibles concernent les laveries industrielles, les stations de lavage de voiture, l'industrie du papier, la production d'acier, de textiles les industries d'électroniques et de semi-conducteurs etc.

La qualité requise est spécifique à chaque industrie parce que sa composition Chimique peut avoir des répercussions sur les processus industriels. Les préoccupations concernent principalement les phénomènes d'entartrage, de corrosion, de développement de bactéries d'encrassement, de formation de mousse et d'inhalation d'aérosols par les travailleurs. Il n'y a pas de problème sanitaire spécifique à l'industrie et on retrouve les mêmes contaminants que pour les autres usages (Yakoub, 2022).

I.3.3 La réutilisation des EUE dans le secteur agricole

Historiquement, les eaux usées ont été utilisées pour irriguer et fertiliser les cultures. Les eaux usées étaient souvent déversées directement sur les terres agricoles situées à proximité des zones urbaines entraînant l'apparition de nombreuses épidémies meurtrières, telles que le choléra, la peste ou d'autres maladies d'origine hydrique (Angelakis, 2018).

Aujourd'hui, l'agriculture demeure le principal usage des eaux usées traitées. Leur exploitation permet non seulement d'élargir les surfaces cultivées, mais également de diversifier les types de productions agricoles.

Par ailleurs, orienter les eaux traitées vers l'agriculture réduit leur rejet direct dans les milieux naturels contribuant ainsi à limiter les impacts néfastes sur l'environnement (Metahri, 2012).

Les eaux usées épurées s'avèrent également une ressource précieuse stable et durable pour améliorer les rendements agricoles et renforcer la sécurité alimentaire, notamment dans les pays confrontés à des périodes de sécheresse. Malgré leur potentiel, ces eaux restent encore largement sous-exploitées à l'échelle mondiale et sont rarement intégrées dans les politiques nationales de gestion des ressources en eau.

I.4 Impacts et risques de la réutilisation des eaux usées traitées

Malgré les avantages qu'offre la réutilisation des eaux usées épurées en irrigation, cette pratique peut présenter certains risques pour les sols, la santé humaine et l'environnement. En effet, même après traitement ces eaux peuvent encore contenir des sels dissous, des micro-organismes pathogènes ainsi que de faibles concentrations d'éléments traces métalliques (ETM) et de substances chimiques d'origine domestique, agricole ou industrielle. Lors d'une utilisation prolongée ces éléments peuvent s'accumuler dans les sols. (Kouamé, 2018).

I.4.1 Impacts sur les sols

Les eaux usées épurées peuvent contenir de faibles concentrations d'éléments traces métalliques (ETM), de sels dissous ainsi que certains micropolluants susceptibles de s'accumuler progressivement dans les sols après une utilisation prolongée en irrigation. Cette accumulation peut modifier les propriétés physico-chimiques du sol, notamment le pH, la salinité et la perméabilité, en particulier lorsque la teneur en sodium est élevée.

Ces changements risquent d'altérer la fertilité des terres agricoles, de perturber l'activité microbienne du sol et de ralentir la croissance des cultures.

De plus certaines substances peuvent être absorbées par les plantes et intégrer la chaîne alimentaire. Par ailleurs, le lessivage des sels et des micropolluants vers les nappes phréatiques constitue également un risque potentiel pour la qualité des eaux souterraines (Bouhanna, 2021).

I.4.2 Impacts sanitaires

Même après traitement, les eaux usées épurées peuvent contenir certains micro-organismes pathogènes tels que des bactéries, virus ou parasites. Les agriculteurs manipulant ces eaux ainsi que les consommateurs de produits irrigués peuvent être exposés à des infections cutanées, intestinales ou parasitaires.

Les eaux épurées peuvent également renfermer des résidus de médicaments, d'antibiotiques et de perturbateurs endocriniens susceptibles d'avoir des effets nocifs sur la santé humaine et de favoriser la résistance aux antibiotiques (Adegoke, 2020).

Afin de réduire ces risques, il est recommandé d'améliorer les procédés de traitement, d'utiliser des techniques d'irrigation localisée comme le goutte-à-goutte et de respecter les règles d'hygiène, notamment le lavage et la désinfection des produits agricoles (Adegoke, 2020).

I.4.3 Impacts sur l'environnement

La réutilisation des eaux usées épurées peut avoir des effets sur les écosystèmes si leur qualité n'est pas suffisamment contrôlée. Les eaux contenant encore des nutriments, comme l'azote et le phosphore,

peuvent provoquer l'eutrophisation des milieux aquatiques favorisant une prolifération excessive des algues et une diminution de la biodiversité (FAO., 2024)

De plus, certains micropolluants et résidus pharmaceutiques présents dans les eaux épurées peuvent contaminer les eaux de surface et les nappes souterraines, perturbant ainsi les équilibres écologiques (Helmecke, 2020).

I.5 Situation de la réutilisation des eaux usées épurées dans les pays du Maghreb

I.5.1 Capacité de traitement et potentiel de réutilisation

Le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie, Libye et Mauritanie) souffre d'une forte pénurie d'eau liée au climat aride. Cette situation favorise la réutilisation des eaux usées traitées, notamment en irrigation.

Une part importante des eaux usées produites dans les pays du Maghreb est aujourd'hui traitée grâce au développement progressif des infrastructures d'assainissement et à la reconnaissance des eaux épurées comme ressource alternative. Toutefois, malgré ce potentiel, la mise en œuvre de programmes de traitement et de réutilisation à grande échelle demeure limitée. Les principaux obstacles concernent le manque de données fiables sur les impacts environnementaux et sanitaires, les coûts élevés des stations d'épuration et des réseaux de collecte, ainsi que l'insuffisance des mécanismes de financement et de gestion des projets (Tchobanoglous G. L., 2011).

D'après l'Observatoire du Sahara et du Sahel, les taux de traitement des eaux usées présentent des disparités significatives entre les différents pays de la région :

- La Tunisie affiche un taux de traitement élevé (environ 90 %),
- L'Algérie atteint près de 70 %,
- Le Maroc se situe autour de 40 %,
- La Mauritanie avec un niveau de traitement encore limité, environ 10 à 15 %
- La Libye reste très en retard avec moins de 10 %.

Malgré ces progrès, le taux de réutilisation des eaux usées traitées demeure faible, estimé en moyenne à environ 13 % à l'échelle régionale. Ce faible niveau d'exploitation traduit un décalage important entre le potentiel disponible et son utilisation effective (OSS, 2024).

I.5.2 Distribution des usages

En Afrique du Nord, l'usage principal des eaux usées traitées est destiné à l'irrigation agricole, qui représente le débouché majeur en raison de l'importante demande en eau dans ce domaine. Effectivement, l'agriculture consomme plus de 70% de l'eau totale dans la majorité des pays de cette région.

Les autres usages incluent :

- L'irrigation des espaces verts urbains (parcs, golfs),
- Les usages industriels (refroidissement, lavage),
- La recharge artificielle des nappes phréatiques.

Cependant, ces usages restent encore marginaux et peu développés, en raison de contraintes techniques, économiques et réglementaires.

I.5.3 Situation de la Réutilisation des eaux usées épurées en Algérie

L'Algérie discute d'un programme ambitieux visant à accroître l'utilisation de l'eau purifiée dans l'irrigation agricole. Le pays dispose de 200 stations d'épuration d'une capacité de production de 500 millions de m³ /an. Ces stations devraient atteindre 1 million de m³ /an d'ici 2032. Le secteur prévoit d'utiliser l'eau purifiée pour 40 000 hectares d'ici 2030. Le développement de la capacité d'épuration vise également d'autres secteurs, tels l'industrie, l'irrigation des jardins publics, la lutte contre les feux de forêts ainsi que le projet du barrage vert (Youssof, 2020).

Tableau I.1: La réutilisation des eaux usées épurées en Algérie dans le secteur agricole.

Wilaya	Superficies irriguées	Cultures
TLEMCEM	1000 Ha	Agrumes, oliviers
ORAN	350 Ha	Les céréales
BOUMERDES	350 Ha	Agrumes, oliviers
BORDJ BOU ARREDJ	250 Ha	Viticulture, céréales
SETIF	800 Ha	Les céréales
CONSTANTINE	600 Ha	Les céréales
MASCARA	300 Ha	Agrumes, oliviers, céréales
OUARGLA	800 Ha	Palmiers dattiers

Source : COSTEA (2022).

I.5.4 Situation de la réutilisation des eaux usées épurées en Tunisie

La Tunisie occupe une position centrale au Maghreb en matière de réutilisation des eaux usées épurées et constitue le pays le plus avancé dans ce domaine. Elle produit environ 300 à 320 millions de m³ d'eaux usées traitées par an grâce à plus de 120 stations d'épuration. Toutefois, le taux de réutilisation reste faible, ne dépassant généralement pas 6 % à 10 %, ce qui traduit une sous-exploitation importante de cette ressource non conventionnelle malgré son potentiel élevé (ONAS, 2018).

L'essentiel de la réutilisation des eaux usées épurées en Tunisie est destiné à l'irrigation agricole et aux espaces verts, en accord avec la stratégie nationale de gestion intégrée des ressources en eau. Le pays se distingue au Maghreb par un système de collecte et de traitement relativement développé. Toutefois, la part réellement réutilisée reste faible par rapport au volume traité, ce qui met en évidence la nécessité de renforcer les réseaux de distribution, d'améliorer la qualité des effluents et d'élargir les usages agricoles afin de mieux valoriser cette ressource face au stress hydrique (Sabbahi, 2026).

I.5.5 Situation de la réutilisation des eaux usées épurées au Maroc

Le Maroc a fait de la réutilisation des eaux usées traitées un axe stratégique de sa politique de gestion de l'eau. Le pays dispose actuellement d'une capacité d'environ 52,6 millions de m³ par an, avec un objectif d'atteindre 100 millions de m³ d'ici 2027, notamment grâce au développement de nouvelles stations d'épuration et au renforcement des infrastructures. Les eaux usées traitées sont principalement utilisées pour l'irrigation agricole, l'arrosage des espaces verts, ainsi que pour certains usages industriels. Une part importante est également destinée aux terrains de golf et aux espaces urbains, répartis sur plusieurs régions du royaume. Cette stratégie vise non seulement à préserver les ressources en eau potable, mais aussi à soutenir l'agriculture et à promouvoir une économie circulaire basée sur la valorisation des eaux usées, contribuant ainsi à une gestion plus durable des ressources hydriques (Afrive, 2024).

I.5.6 Situation de la réutilisation des eaux usées épurées en Libye

La Libye souffre d'une forte pénurie en ressources hydriques en raison de son climat aride et de sa dépendance aux eaux souterraines. Dans ce contexte, la réutilisation des eaux usées épurées représente une solution importante pour l'irrigation agricole. Plusieurs stations d'épuration ont été développées dans des villes comme Tripoli, Misurata, Sirte et Tobrouk afin de réduire la pollution et valoriser les eaux traitées.

Certaines stations produisent des volumes importants d'eaux traitées, comme à Tobrouk avec environ 7 000 m³/jour destinés à l'agriculture. Cependant, le manque de désinfection et de contrôle régulier limite encore leur réutilisation. Des études montrent également que la qualité des eaux traitées ne respecte pas toujours les normes internationales, ce qui nécessite une amélioration des systèmes de traitement et de gestion (Milad, 2014).

I.5.7 Situation de la réutilisation des eaux usées épurées en Mauritanie

La Mauritanie fait face à une forte rareté des ressources en eau particulièrement dans la région de Nouakchott ce qui a favorisé le recours à la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture. Dans la zone maraîchère de Sebkha les eaux traitées issues de la station d'épuration sont utilisées pour l'irrigation des cultures maraîchères afin de soutenir l'activité agricole et réduire la pression sur les ressources en eau conventionnelles.

Cependant plusieurs études montrent que la qualité microbiologique des eaux traitées reste préoccupante. Les analyses réalisées ont révélé des concentrations élevées en coliformes fécaux et streptocoques fécaux dépassant les normes de l'OMS malgré des paramètres physicochimiques globalement acceptables ce qui montre la nécessité d'améliorer les systèmes de traitement et la gestion des eaux usées (N'Diaye, 2014).

I.6 Paramètres de qualité des eaux usées épurées pour l'irrigation

Dans la pratique de la réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation, il est essentiel de contrôler la fiabilité des traitements et de surveiller en permanence les paramètres de qualité correspondants. Ces actions visent à protéger l'environnement, les sols agricoles ainsi que les cultures. Divers paramètres qu'ils soient chimiques, physiques ou biologiques, sont pris en compte afin d'assurer une irrigation à la fois sûre et performante (Maki, 2023).

I.6.1 Paramètres physico-chimiques

I.6.1.1 Le PH

Le pH est un paramètre essentiel pour évaluer la qualité des eaux épurées car il influence directement les sols les plantes cultivées et l'équilibre des écosystèmes en agissant sur la disponibilité des éléments nutritifs dans le sol.

Un pH proche de la neutralité favorise de bonnes conditions pour le développement des cultures. En revanche une acidité excessive pH inférieur à 6 peut nuire à la biodiversité en affectant la survie et la reproduction des organismes aquatiques notamment par la libération de métaux lourds dans le milieu. À l'inverse un pH trop alcalin perturbe l'absorption des nutriments par les plantes et peut limiter leur croissance et leur développement (FAO, 2018).

I.6.1.2 Les matières en suspension (MES)

Les matières en suspension (MES) englobent l'ensemble des particules organiques et minérales qui ne se dissolvent pas dans l'eau. Leur concentration varie en fonction de la qualité des eaux usées et de l'efficacité des processus de traitement appliqués. L'analyse de MES revêt une importance majeure en raison de leurs impacts significatifs sur les systèmes d'irrigation, l'environnement et la biodiversité. Une teneur élevée en MES peut provoquer l'obstruction des dispositifs d'irrigation par goutte-à-goutte (FAO, 2018), réduire la transparence des eaux dans les milieux récepteurs et, par conséquent, diminuer le rendement photosynthétique de diverses espèces aquatiques. De plus, les MES sont susceptibles de renfermer des substances nocives variées qui peuvent entraîner une toxicité dans les sols irrigués ainsi que dans les écosystèmes environnants.

Cependant, un traitement adéquat et efficace permet de diminuer la concentration de MES à des niveaux conformes aux normes établies par de nombreuses organisations internationales et locales. Cela garantit ainsi une utilisation sûre des eaux traitées (ET) à des fins d'irrigation (Ahmad, 2020).

I.6.1.3 La salinité (conductivité électrique)

La conductivité électrique (CE) indique la concentration de sels dissous dans l'eau, principalement le sodium, les chlorures et les sulfates. Ce paramètre est couramment utilisé pour évaluer la salinité, qui constitue un critère essentiel dans l'analyse de la qualité des eaux traitées destinées à l'irrigation.

La teneur en sels d'une eau usée est étroitement liée à la qualité de l'eau potable initialement utilisée ainsi qu'à la nature des activités industrielles impliquées. Surveiller la salinité est primordial en raison de son impact négatif considérable sur les plantes, les sols et les écosystèmes. Une eau destinée à l'irrigation est jugée de bonne qualité si sa CE reste inférieure à 3 dS/m.

Lorsque des eaux fortement salées sont utilisées pour l'irrigation, des accumulations de sels surviennent dans le sol, engendrant une sécheresse physiologique chez les plantes et une baisse des rendements agricoles, particulièrement pour les cultures sensibles au sel.

Par ailleurs, certains ions, comme le sodium, peuvent être nocifs pour les plantes, détériorer la structure du sol, limiter sa perméabilité et réduire son activité biologique (Etchebarne, 2019).

I.6.1.4 La Demande biochimique en oxygène (DBO₅)

La DBO₅ correspond à la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes pour dégrader la matière organique présente dans l'eau pendant cinq jours à 20 °C. Exprimée en mg O₂/l, elle constitue un indicateur important de la qualité des eaux et de l'efficacité des traitements des eaux usées (Metahri, 2012).

La mesure de la DBO₅ permet d'évaluer la charge organique des eaux destinées à l'irrigation. Une forte teneur en matière organique peut provoquer des déséquilibres écologiques dans les milieux récepteurs (Wen, 2017).

D'après les normes de l'OMS, une DBO₅ supérieure à 30 mg O₂/l indique un risque pour les sols et les cultures. Le rejet de ces eaux dans les milieux aquatiques peut aussi entraîner l'eutrophisation et une baisse de l'oxygène dissous (Wen, 2017).

I.6.1.5 La demande chimique en oxygène (DCO)

Contrairement à la DBO₅, qui indique la concentration de matière organique biodégradable, la DCO représente un paramètre essentiel pour évaluer la qualité des eaux épurées destinées à l'irrigation. En

effet, elle offre une mesure globale de la charge en polluants, en calculant la quantité d'oxygène requise pour l'oxydation de la matière organique et minérale présente dans l'eau (Mezerai, 2023).

Le rejet ou l'utilisation d'eaux insuffisamment traitées, caractérisées par des valeurs de DCO élevées, peut engendrer des impacts négatifs sur les sols agricoles en introduisant des polluants via les eaux d'irrigation.

Ces eaux peuvent perturber les milieux aquatiques en provoquant une hypoxie susceptible de menacer les organismes vivants. Pour atténuer les risques associés à l'utilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation (EUE), l'adoption de technologies innovantes dans le traitement des eaux usées apparaît aujourd'hui comme une solution prometteuse (Metahri, 2012).

I.6.1.6 Oxygène dissout (OD)

La mesure de la concentration en oxygène dissout dans les eaux usées épurées est importante car cet élément est indispensable à la dégradation biologique de la matière organique. Le maintien d'un taux d'oxygène proche de 4 mg/L durant le traitement des eaux usées permet d'assurer une élimination efficace des matières carbonées ainsi qu'une bonne nitrification (Bekkari, 2020). L'oxygène dissout (OD) est aussi un indicateur de la qualité des eaux d'irrigation car une faible teneur en oxygène peut provoquer des conditions anaérobies dans le sol, entraîner une hypoxie de la rhizosphère, perturber l'absorption des nutriments par les plantes et favoriser la formation de composés toxiques. (Bekkari, 2020).

I.6.1.7 Nutriments (Azote, Phosphore)

Les eaux usées, même après traitement, contiennent encore des nutriments tels que l'azote et le phosphore. Bien que leur présence dans l'eau d'irrigation puisse être bénéfique à la nutrition des plantes cultivées, des concentrations excessives peuvent provoquer une eutrophisation importante des milieux aquatiques et des sols. Par conséquent, il est crucial de surveiller les concentrations de ces éléments dans les effluents des stations d'épuration afin de protéger l'environnement contre leurs effets négatifs (Metahri, 2012).

I.6.1.8 Métaux lourds

La concentration des métaux lourds dans les eaux épurées est généralement faible, mais à long terme, l'irrigation à l'aide d'eaux polluées par les éléments traces métalliques peut entraîner leur accumulation dans les sols, ce qui a des répercussions sur la santé des plantes cultivées ainsi que sur celle des consommateurs, en raison de leur bioaccumulation dans les tissus biologiques. Par conséquent, la surveillance de leur concentration est d'une importance cruciale pour l'évaluation de la qualité des eaux traitées (Saeed, 2020).

I.6.2 Paramètres microbiologiques

L'évaluation de la qualité microbiologique des eaux épurées destinées à l'irrigation vise à réduire les risques sanitaires et environnementaux. En effet, les eaux usées traitées peuvent contenir des parasites, des bactéries et des virus nuisibles à la santé humaine.

Les principaux indicateurs utilisés pour évaluer la qualité microbiologique sont les coliformes fécaux et *Escherichia coli*, constamment présents dans les eaux usées. L'OMS recommande des concentrations inférieures à 1 000 UFC/100 ml, ainsi qu'une surveillance de certains parasites et d'agents pathogènes dangereux tels que *Shigella* et *Salmonella*. (FAO, 2018).

I.7 Les organismes responsables sur la gestion de l'opération de la REUT en Algérie**I.7.1 L'Office National de l'Assainissement (ONA)**

Est un établissement public national chargé de la gestion et de l'utilisation des ressources en eau pour l'agriculture. Il a été créé par le décret n° 01-102 du 27 avril 2001, visant à absorber la pollution des eaux usées urbaines pour protéger l'environnement. L'ONA est sous la tutelle du Ministère des Ressources en Eau.

Il gère 130 stations d'épuration réparties sur 44 wilayas dont 17 axées sur la réutilisation des eaux épurées pour l'agriculture. La mission de l'ONA comprend la protection du milieu hydrique, la lutte contre les sources de pollution des eaux, la préservation de la santé publique et la mise en œuvre de projets liés au traitement des eaux.

I.7.2 L'ONID (Office National de l'Irrigation et du Drainage)

Créé en 2005, est chargé de la gestion, de l'exploitation et de l'entretien des réseaux d'irrigation, de l'orientation des irrigations, de la commercialisation de l'eau et de l'assistance aux utilisateurs. L'ONID exploite 25 périmètres d'irrigation, couvrant plus de 200 000 hectares de terres irriguées.

I.7.3 Cadre juridique Algérien

Entre 1995 et 2005, une série de réformes a repensé la mobilisation, la gestion et l'utilisation des ressources en eau en prenant en compte trois points :

- Les principes (cadre réglementaire, gestion intégrée, efficience de l'eau agricole, politique tarifaire).
- Les institutions (création du ministère des Ressources en eau, des agences de bassins hydrographiques et restructuration des agences nationales et régionales).
- Les priorités (alimentation en eau potable, transferts d'eau, etc.) qui définissent la nouvelle politique nationale de l'eau.

Une réglementation a été mise en œuvre, c'est l'arrêté interministériel du 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012 fixant la liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées, et les normes physico-chimique et bactériologiques. Ce texte est promulgué par les ministres chargés des ressources en eau, de l'agriculture et de la santé. Les parcelles destinées à être irriguées avec des eaux usées épurées ne doivent porter aucune culture, autre que celles figurant sur la liste indiquée.

Tableau I.2: Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées (BENCHRIRAT, 2024).

Groupes de cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées	Liste des cultures
Arbres fruitiers	Dattiers, vigne, pomme, pêche, poire, abricot, nêfle, cerise, prune, nectarine, grenade, figue, rhubarbe, arachides, noix,
Agrumes	Pamplemousse, citron, orange, mandarine, tangerine, lime, clémentine.
Cultures fourragères	Bersim, maïs, sorghos fourragers, vesce et luzerne.
Culture industrielles	Tomate industrielle, haricot à rames, petit pois à rames, betterave sucrière, coton, tabac, lin
Cultures céréalières	Blé, orge, triticales et avoine.
Cultures de production de semences	Pomme de terre, haricot et petit pois.
Arbustes fourragers	Acacia et atriplex.
Plantes florales à sécher ou à usage industriel	Rosier, iris, jasmin, marjo laine et romarin

Tableau I.3: les Normes Algérienne des paramètres physicochimiques de réutilisation des eaux usées épurées (BENCHRIRAT, 2024).

Paramètres	Unité	Concentration maximale admissible
PH		6.5 < ph < 8.5
MES	Mg/l	30
CE	Ds/m	3
Infiltration le SAR	= 0-3 CE	Ds/m 0.2
	= 3-6	0.3
	= 6-12	0.5
	= 12-20	1.3
	= 20-40	3
DBO5	Mg/l	30
DCO	Mg/l	90
Chlorure (Cl)	Mg/l	10
Azote (NO3-N)	Mg/l	30
Bicarbonate (HCO3)	Mg/l	8.5
Aluminium	Mg/l	20
Arsenic	Mg/l	2
Béryllium	Mg/l	0.5
Bore	Mg/l	2
Cadmium	Mg/l	0.05
Chrome	Mg/l	1
Cobalt	Mg/l	5
Cuivre	Mg/l	5
Cyanures	Mg/l	0.5
Fluor	Mg/l	15
Fer	Mg/l	20
Phénols	Mg/l	0.002
Plomb	Mg/l	10
Lithium	Mg/l	2.5

Il est autorisé d'irriguer avec des eaux usées épurées à condition.

- L'irrigation doit s'arrêter deux semaines avant la cueillette
- L'irrigation par aspersion est à Eviter.
- Les fruits tombent au sol ne sont pas ramassés et sont à détruire.

Le pâturage direct dans les parcelles irriguées par les eaux usées épurées est strictement interdit et, ce afin de prévenir toute contamination du cheptel et par conséquent des consommateurs (BENCHRIRAT, 2024).

I.8 Les contrôles

Plusieurs mesures sont prises afin de garantir la durabilité du projet et de réduire les conséquences néfastes tant sur la santé humaine que sur l'environnement.

Selon les articles de 26 à 31 du décret exécutif 07-149 du 20 mai 2007 (JO. Algérien n°35), les éléments qui seront soumis à un contrôle régulier comprennent

- La qualité des eaux destinée à être utilisée pour l'irrigation.
- L'évolution de la qualité des eaux de la nappe
- L'état des ouvrages de distribution et de stockage.
- L'état sanitaire du personnel affecté au travail à l'irrigation par les eaux épurées.
- Les cultures.
- Le sol.
- Les produits agricoles.

Ces contrôles sont effectués par les services compétents chacun en ce qui le concerne à savoir ; DRE (direction des ressources en eau), la santé, DSA (direction des services agricoles) et les services des commerces.

Tableau I.4: Résumé des tâches des intervenants sur le périmètre d'irrigation (cas de Tlemcen) (BENCHRIRAT, 2024).

Intervenant	Mission
DRE : Les Services de l'hydraulique de la wilaya	- Contrôle et suivi : La qualité des eaux usées épurées destinées à l'irrigation. - L'évolution de la qualité de l'eau de la nappe souterraine. - L'état des ouvrages de stockage et de distribution des eaux usées épurées.
Santé : Les services De la santé de la wilaya.	Contrôle : La santé de la personne affectée à l'irrigation
DSA : Les service de l'agriculture de la wilaya	- Contrôle et suivi : Phytosanitaire des cultures irriguées. - Evolution des caractéristiques du sol
Les services commerce de la wilaya	Contrôle : Produits agricoles (biologique et physico-chimique)
ONA	- Exploitation de la station d'épuration. - Garantir une eau épurée en quantité et qualité requises
ONID	- Assurer une exploitation rationnelle des eaux usées épurées. - Vérifier que la qualité des eaux usées épurées distribuées aux usagers est conforme à la réglementation en vigueur. - Suivi de l'évolution des paramètres fertilisants (N.P.K) au niveau du sol irrigué.
EAC, EAI et agriculteur privé	Exploitation des terres agricoles.

I.9 Conclusion

La réutilisation des eaux usées épurées représente une solution importante face au stress hydrique surtout dans le domaine agricole. Elle permet de préserver les ressources en eau et de réduire les rejets polluants. Ce chapitre a présenté les principaux usages des eaux usées traitées ainsi que leurs avantages et leurs risques sur les sols la santé humaine et l'environnement. Il a également montré l'importance du contrôle des paramètres physicochimiques et microbiologiques afin d'assurer une utilisation sûre des eaux épurées.

L'étude des pays du Maghreb et de l'Algérie montre que malgré les progrès réalisés dans le traitement des eaux usées la réutilisation reste encore limitée. Le respect des normes et l'amélioration des systèmes de traitement demeurent donc indispensables pour garantir une réutilisation durable et sécurisée des eaux usées épurées en agriculture.

CHAPITRE II

PRESENTATION GENERALE DE LA STATION D'EPURATION DE SAÏDA

II.1 Introduction

La croissance démographique et l'expansion urbaine en Algérie, notamment dans la ville de Saïda, ont entraîné une augmentation rapide de la consommation d'eau potable et des besoins en irrigation. Cette évolution s'accompagne d'un accroissement significatif des volumes d'eaux usées rejetées. En l'absence d'un traitement adéquat, ces rejets contribuent à la dégradation de l'environnement, à la pollution des nappes souterraines et peuvent engendrer des risques pour la santé publique.

Située dans une zone à climat semi-aride où la demande en eau est particulièrement élevée, la ville de Saïda doit faire face à des contraintes hydriques importantes. Afin de limiter ces impacts, les eaux usées sont acheminées vers des stations d'épuration qui regroupent un ensemble de procédés destinés à éliminer progressivement les différents polluants.

De plus, la ville de Saïda parmi les plus anciennes agglomérations du pays présente un tissu agricole et industriel dynamique entraînant une augmentation significative des besoins en eau.

Dans ce chapitre, nous présenterons la station d'épuration de la ville de Saïda ainsi que les principaux ouvrages qui la composent.

II.2 Présentation générale de la ville de Saïda

La ville de Saïda, chef-lieu de la wilaya de Saïda, est située dans le nord-ouest de l'Algérie, aux coordonnées géographiques approximatives de 34°50' de latitude Nord et 0°09' de longitude Est. Elle se caractérise par une altitude moyenne comprise entre 800 et 900 mètres au-dessus du niveau de la mer (ONM., 2022).

Implantée au pied des monts de l'Atlas tellien, la ville occupe une position de transition entre les zones montagneuses du Nord et les régions steppiques du Sud. Cette situation géographique influence directement ses conditions climatiques et hydrologiques (Figure II.1).

Depuis le découpage administratif de 1984, la ville de Saïda est limitée par

- La wilaya de Mascara au nord ;
- La wilaya d'El Bayadh au sud ;
- La wilaya de Sidi Bel Abbès à l'ouest ;
- La wilaya de Tiaret à l'est.



Figure II.1 : Carte géographique de la wilaya de Saïda (Meriem, 2020)

La ville de Saïda, chef-lieu de wilaya, est située à environ 360 km de la capitale d'Algérie Alger. Elle se trouve également à environ 170 km d'Oran, 98 km de Sidi Bel Abbès, 200 km d'El Bayadh et 180 km de Tiaret. Elle est desservie principalement par la Route Nationale RN6 et la RN94 (DRE, 2024) (Figure II.2).

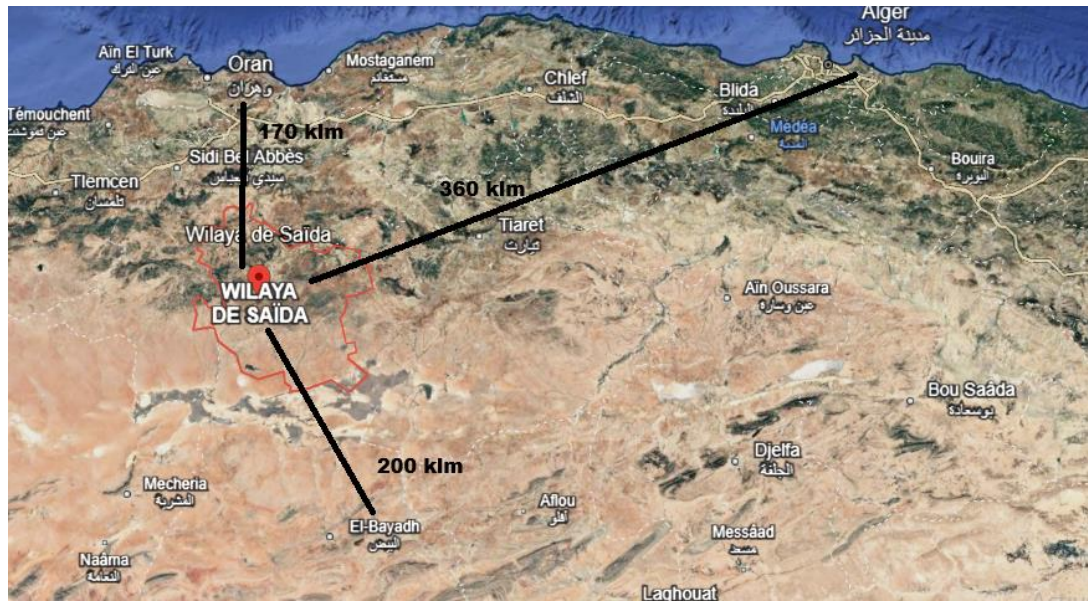


Figure II.2: carte géographique de la wilaya de Saïda.

II.3 Situation climatologique

La climatologie de Saïda, située au nord-ouest de l'Algérie, est caractérisée par un climat semi-aride à hiver froid, en raison de son altitude relativement élevée. Les étés sont chauds et secs, tandis que les hivers sont frais à froids avec des risques de gel. Les précipitations annuelles restent modérées et irrégulières, concentrées en automne et en hiver. Cette variabilité climatique influence fortement les ressources hydriques et l'activité agricole de la région (Data, 2026).

II.3.1 Pluviométrie

Dans la zone d'étude, la répartition mensuelle des précipitations présente une variation saisonnière considérable. Les mois les plus humides, qui correspondent à l'hiver et à l'automne contribuent de manière significative des précipitations annuelles totales, les cumuls les plus élevés étant enregistrés en novembre, décembre et janvier (37 mm et 43 mm respectivement) (Météorologie, 2025). Toutefois, les mois les plus secs, qui représentent un faible pourcentage du total annuel, se situent en été et sont caractérisés par des précipitations faibles, voire nulle (Tableau II.1)

Tableau II.1: Précipitations moyennes mensuelles de la période 2025-2026 (ANRH, 2025).

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars.	Avr.	Mai.	Juin	Juil.	Août
Précipitation (mm)	23	22	37	43	43	36	35	27	18	13	3	3

II.3.2 Température

Le régime thermique de la région est caractérisé par des températures élevées en été et relativement basses en hiver. Les températures les plus élevées sont enregistrées durant les mois de Juillet et Août, où elles atteignent un maximum de 37°C en moyenne, ce qui correspond à une forte évaporation. Les basses températures se manifestent au mois de février avec une température moyenne de 11,3°C et une minimale moyenne de 5 ,7°C. La figure II.3 représente les variations mensuelles de Température pour l'année 2025 dans la région de Saida (Météorologie, 2025).

Tableau II.2: les températures mensuelles moyennes de la ville de Saïda (Météorologie, 2025)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout
Température												
T Max (°C)	32.30	27.20	20.00	13.70	14.80	16.90	19.10	24.50	27.60	37.00	37.10	37.00
T Moy (°C)	24.60	20.35	13.85	10.00	10.25	11.30	13.20	17.45	19.90	28.15	28.15	28.25
T Min (°C)	16.90	13.50	7.70	6.30	5.70	5.70	7.30	10.40	12.20	19.30	19.20	19.50

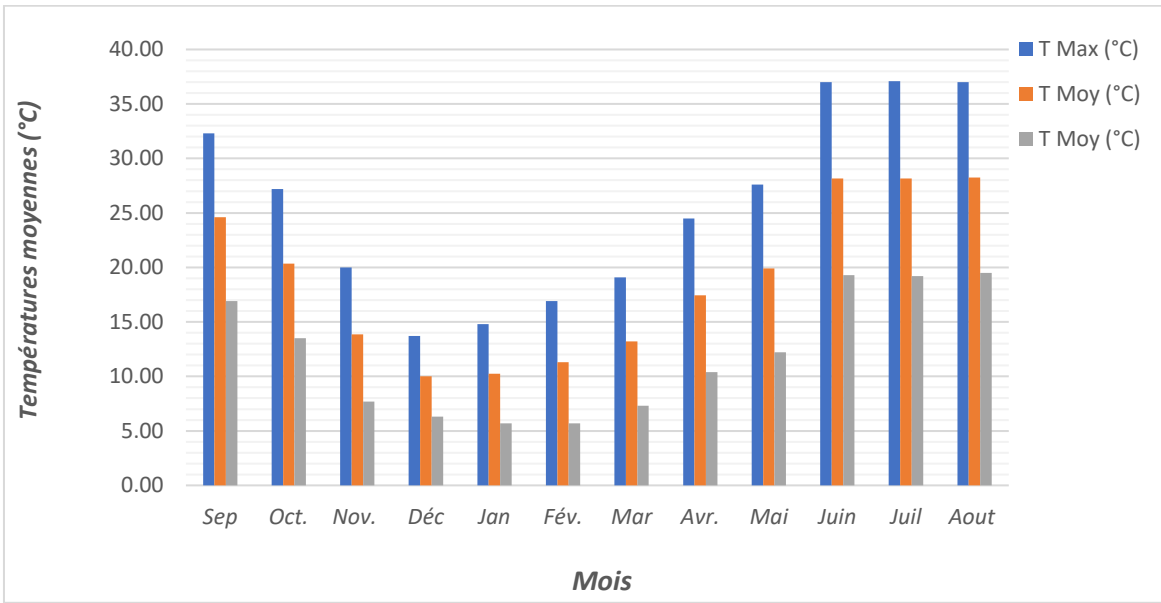


Figure II.3 : Histogramme des températures mensuelles moyennes à Saïda (Météorologie, 2025).

II.3.3 Humidité

Le niveau d’humidité perçu à Saïda, évalué à partir du pourcentage de temps durant lequel les conditions atmosphériques sont considérées comme lourdes, oppressantes ou étouffantes, présente une faible variabilité interannuelle. Il reste globalement stable autour de 1 % (±1 %), ce qui traduit un inconfort hygrométrique très limité dans la région (Climat, 2025).

Cette stabilité s'explique par les caractéristiques climatiques semi-arides de la zone, marquées par une faible teneur en vapeur d'eau dans l'air et une dominance de conditions sèches sur la majeure partie de l'année.

II.3.4 Vents

Les vents dominants dans la région sont principalement de directions nord et sud. On observe également la présence du sirocco, un vent chaud et sec qui contribue à l'assèchement de l'atmosphère et peut engendrer des impacts négatifs sur la végétation et les cultures. Par ailleurs, les vents peuvent être classés selon leur intensité en plusieurs catégories :

- vents calmes ;
- vents faibles à modérés ;
- vents forts;
- vents violents.

Tableau II.3 : les variations mensuelles moyennes de la vitesse du vent (Climat, 2025)

Mois	janv.	févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	juil.	Août	Sept	oct.	nov.	déc.
Vitesse du vent en (km)	14.8	15.7	15.7	15.1	15.0	13.7	12.9	12.5	12.2	12.3	13.2	13.5

II.3.4 Le réseau hydrographique

La majorité des oueds drainent le bassin versant de l'oued de Saïda. Les principaux sont :

- L'oued Tébouda, qui prend sa source à Aïn Beïda, à environ 3 km au sud d'Aïn El Hadjar.
- L'oued de Saïda, qui constitue le prolongement de l'oued Tébouda.
- L'oued Rebahia, qui prend sa source à Aïn Zerga.
- L'oued Massil, qui prend sa source à Aïn Mettiouia.

II.4 Présentation de la Station d'épuration de Saïda

II.4.1 Historique de la STEP de Saïda

La station d'épuration (STEP) de la ville de Saïda est implantée sur le territoire de la commune de Saïda et s'étend sur une superficie d'environ 11,47 hectares. Elle représente la principale infrastructure de traitement des eaux usées de la wilaya de Saïda. Dimensionnée pour une capacité de 150 000 équivalents-habitants (EH), cette installation est conçue pour traiter un débit pouvant atteindre 30 000 m³ d'eaux usées par jour, selon un procédé biologique à boues activées.

Achevée à la fin de l'année 2009, sa mise en service a été effectuée en janvier 2010. La station a été dimensionnée afin de répondre aux besoins de la population à l'horizon 2030, en tenant compte de l'évolution démographique et de l'extension urbaine.

La STEP de Saïda a pour objectif le traitement des eaux usées domestiques de la ville de Saïda ainsi que de l'agglomération d'Ouled Khaled (Rebahia), en plus des effluents industriels provenant de plusieurs unités, notamment :

- l'unité de limonaderie;
- L'usine de production de lait (OROLAIT);
- l'unité de fabrication d'abrasifs;
- L'usine de fabrication de détergents (ENAD).

II.4.2 Situation géographique

La station d'épuration de Saïda est située en aval de la ville de Saïda, au nord-ouest (Figure II.4), sur la rive droite de l'oued de Saïda, qui constitue le milieu récepteur des eaux épurées, à l'écart des zones d'habitation afin de limiter les nuisances (odeurs, bruit) et de respecter les normes environnementales (BOUSNINA, 2013). Les coordonnées de la station sont comme suit : X= 267 000 ; Y= 178 200 ; Z = 747 (Idrisi, 2017).

II.4.3 Les impacts socio-économiques de la station d'épuration

La station d'épuration des eaux usées (STEP) de la ville de Saïda constitue un élément essentiel dans la gestion durable des ressources en eau et la protection de l'environnement. Face à l'augmentation de la population urbaine et des rejets domestiques, la mise en place d'une STEP moderne permet de traiter les eaux usées avant leur rejet dans le milieu naturel. Au-delà de son rôle environnemental, cette infrastructure joue un rôle majeur sur le plan socio-économique en contribuant au développement local, à la santé publique et à la valorisation des ressources (ONA, 2025).

- La protection de la nappe de SAÏDA et du barrage d'OUIZERT contre la pollution.
- La possibilité de réutiliser l'eau traitée pour l'irrigation.
- La possibilité de réutiliser les boues issues de l'épuration à des fins agricoles.
- La protection de l'environnement.
- L'amélioration du cadre de vie des populations.

II.4.4 Production de l'eau épurée

La production de l'eau épurée au niveau de la STEP de Saïda constitue un maillon essentiel dans la gestion durable des ressources hydriques. Elle permet non seulement de réduire l'impact des rejets urbains sur le milieu naturel, mais aussi de valoriser les eaux usées traitées dans divers domaines, notamment l'irrigation.

La réutilisation des eaux épurées à des fins agricoles est un des objectifs de la STEP, dont il faut définir les quantités et la qualité d'eau produite par la STEP. Les tableaux suivants montrent les volumes d'eau produits théoriquement et réellement :

Tableau II.4: Production d'eau théorique de la STEP de Saida (ONA, 2025).

Commune	Nbr hab en	Nbr hab à l'horizon 2030	Processus	Capacité	Capacité (m ³ /an)		Volume journalier	
	2025		D'épuration	(Éq/hab)			Rejeté (m ³ /j)	
					2025	2030	2025	2030
SAIDA	226 938	360380	Boue activée	150 000	28006	30000	26527	29000

Tableau II.5 Les charges de pollution admissible à l'entrée de la STEP

Charge polluante	Kg/j
Charge journalière en DCO	15000
Charge journalière en DBO₅	9000
Charge journalière en MES	12000

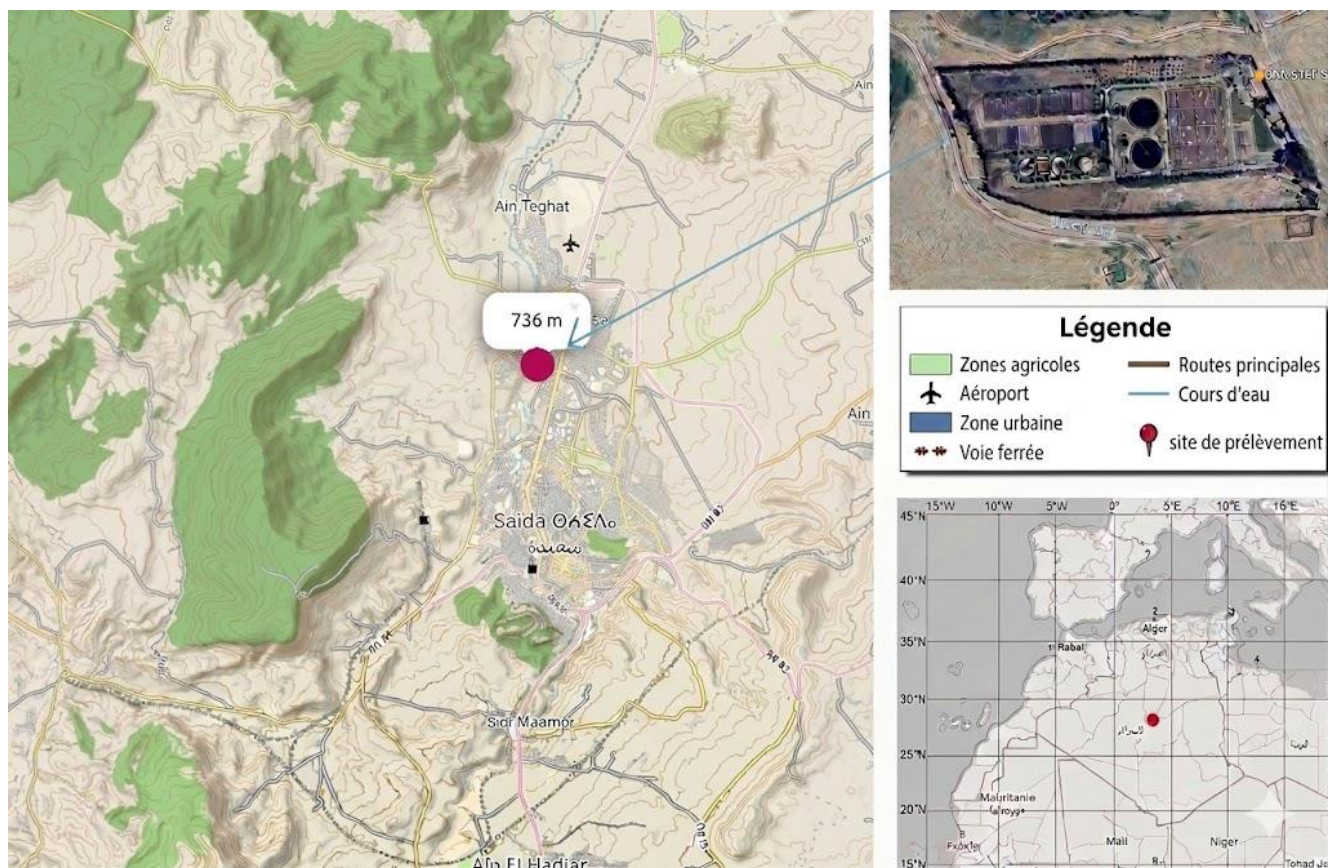


Figure II.4: Image satellitaire de la Station d'épuration de la ville de SAIDA

II.4.5 Caractéristiques d'eaux avant et après le traitement

II.4.5.1 Qualité des eaux usées brutes

Le tableau suivant présente les normes de qualité applicables aux eaux usées :

Tableau II .6 Qualité des eaux usées brutes (ONA, 2025)

Paramètres	Unité	Concentration (ONA, 2025)	Concentration (JORAD)
DBO5	mg/l	334	500
DCO	mg/l	703	1000
MES	mg/l	342	600
NTK	mg/l	/	/
P total	mg/l	/	50
N total	mg/l	121	150
N-NO2	mg/l	0.05	0,1
PH	/	6,5-8,5	5,5-8,5
Température	°C	15-25	30

II.4.5.2 Qualité des eaux usées épurée

Le tableau suivant récapitule les valeurs limites de qualité des eaux usées épurées avant leur rejet ou leur réutilisation.

Tableau II.7 : la qualité des eaux épurées rejetées de la STEP de SIADA (ONA, 2025)

Paramètres	Unité	Entrée	Sortie	NORME JORAD	NORME OMS
Couleur	/	Gris noirâtre	Jaune très clair	Jaune très clair	Jaune très clair
Odeur	/	Désagréable	Sans	Sans	Sans
Débit	m ³ /j	28006	26527	/	/
Conductivité	µs /cm	2370	2163	/	/
T° (eau)	°C	18.2	17	< 30	< 30
O ₂	mg/l	0.19	2.65	/	/
PH	mg/l	7.67	8.20	6,5-8,5	6,5-8,5
MES	mg/l	337	25	<35	<20
DBO ₅	mg/l	329	26	< 35	< 30
DCO	mg/l	713	41	<120	<90
N-NO ₃	mg/l	2.42	0.66	<1	<1
N-NO ₂	mg/l	0.450	0.528	<0,1	<0,1
Nt	mg/l	196	37.4	< 30	<30

Taux épuratoire : 93.68 %

Tableau II .8 Le rendement minimum d'élimination de la station d'épuration (ONA, 2025)

Paramètres	Unité	Rendement minimum d'élimination en %
DBO5	mg/l	90,06
DCO	mg/l	93.00
MES	mg/l	95.19
NTK	mg/l	/
P total	mg/l	/

II.5 Fonctionnement de la STEP de la ville de SAIDA

Les eaux usées représentent une menace importante pour les écosystèmes aquatiques et terrestres, car elles peuvent entraîner leur dégradation progressive, voire leur destruction. Afin de limiter ces impacts, il est indispensable de procéder au traitement des eaux usées au moyen d'installations spécialisées appelées stations d'épuration (STEP) (Ammam, 2020).

Le traitement des eaux usées repose sur l'élimination des matières indésirables qu'elles contiennent grâce à différentes techniques d'épuration physiques, chimiques et biologiques.

À la STEP de Saïda, le procédé de traitement utilisé est celui des boues activées, qui constitue une méthode biologique efficace permettant la dégradation de la matière organique par l'action de micro-organismes.

II.5.1 Procédés d'épuration de la STEP

Sur une superficie de 11.47 Ha, la station d'épuration de Saida s'est implantée avec une capacité de 150 000 équivalents d'habitant (éq/hab), et traite chaque jour par voie biologique 30 000 m³ d'eaux usées (ONA, 2025).

La STEP de Saida est conçue selon un procédé biologique basé sur le principe de boues activées ou les matières organiques contenues dans les eaux usées sont dégradées par des bactéries mises dans des conditions favorables, qui les transforment en sels minéraux et vise les objectifs d'un traitement secondaire

II.5.2 Description des différents ouvrages de la STEP de Saida

II.5.2.1 Le déversoir d'orage

Le déversoir d'orage est un ouvrage hydraulique installé à l'entrée de la station d'épuration afin de recevoir les eaux usées provenant de la ville de Saïda. Il est équipé d'un système de by-pass permettant d'évacuer les eaux en excès directement vers l'aval de la station dans certaines situations exceptionnelles, notamment lors des crues, des opérations de maintenance de la STEP, ou encore en cas de changement brusque de la couleur ou de l'odeur des eaux usées, ainsi que durant la période de l'Aïd el-Adha (Guerroudj, 2017) où les rejets peuvent être excessivement élevés.

Les caractéristiques du déversoir d'orage de la STEP de Saïda sont présentées dans le tableau II.9 :

Tableau II.9 : Caractéristiques techniques du déversoir d'orage (ONA, 2025).

Caractéristiques	Dimensions
Longueur	20 m
Largeur	4 m
Hauteur	2.5 m
Volume total	200 m ³
Temps de rétention a débit maximum	24 mn
Diamètre conduite	1250 mm



Figure II.5 : Déversoir d'orage (ONA, 2025).

II.5.2.2 Les prétraitements

Les prétraitements ont pour objectif d'éliminer les éléments les plus grossiers (figure II.6). Il s'agit des déchets volumineux (dégrillage), des sables et graviers (dessablage) et des déshuile (déshuilage). Il comporte les éléments suivants.



Figure II.6 : Prétraitement

II.5.2.2.1 Dégrillage

Il consiste à retenir et éliminer les déchets solides grossiers transportés par les eaux usées, tels que les plastiques, chiffons, papiers, branches et autres objets volumineux.

Cette opération est réalisée à l'aide de grilles métalliques placées à l'entrée de la station (Figure II.7). Ces grilles permettent de protéger les équipements hydrauliques et mécaniques (pompes, canalisations, vannes) contre le colmatage, les détériorations et les dysfonctionnements (Benaissa, 2021).



Figure II.7 : Dégrillage.

Les caractéristiques de la grille grossière de la STEP de Saida sont regroupées dans le tableau ci-dessous.

Tableau II.10 Caractéristiques techniques du Dégrillage grossier et fin (ONA, 2025)

Dégrilleur grossier manuel	01
Largeur	1,5 m
Longueur	6 m
Dégrilleurs fin automatique	02
Nombre de canaux de dégrillage fin	02
Largeur de la grille	1000 mm
Largeur nette de passage	660 mm
Nombre de barreaux	33
Séparation entre barreaux	10mm

II.5.2.2.2 Dessablage et déshuilage

Le dessablage et le déshuilage sont deux étapes essentielles du prétraitement des eaux usées. Le dessablage permet, par décantation, d'éliminer les sables issus du ruissellement ou de l'érosion des canalisations, évitant ainsi leur dépôt dans les ouvrages en aval et la détérioration des équipements. Les sables extraits sont souvent lavés pour réduire leur teneur en matières organiques et limiter les odeurs.

Le déshuilage repose sur la flottation par injection de fines bulles d'air, favorisant la remontée des huiles et graisses en surface grâce à leur caractère hydrophobe. Celles-ci sont ensuite éliminées par raclage. Cette opération est indispensable pour prévenir l'encrassement des installations et garantir le bon fonctionnement des traitements ultérieurs, notamment la décantation et les échanges gazeux (Ammam, 2020).

Les caractéristiques du dessabler déshuileur de la STEP de Saida sont regroupées dans le tableau II.13.



Figure II.8 : Dessablage –Déshuilage

Tableau II.11 Caractéristiques techniques du dessableur-déshuileur (Meziane, 2020)

Dessabler– Déshuileur	02 Unité
Largeur totale zone de dessablage-déshuilage	4m
Largeur totale zone de dessablage	3m
Largeur totale zone de déshuilage	1m
Hauteur totale	5m
Hauteur de l'eau	4m
Longueur totale	18m
Volume utile total	242,9m ³

II.5.2.3 Station de relevage

La station de relevage permet de transporter les eaux usées vers le bassin biologique lorsque l'écoulement gravitaire n'est pas possible. Elle utilise des pompes de relevage commandées par des sondes de niveau pour démarrer ou arrêter le pompage automatiquement.

Des vannes et clapets anti-retour assurent la sécurité du fonctionnement. L'entretien régulier des pompes et des sondes est essentiel pour garantir un transfert fiable des eaux usées vers le traitement (Ammam, 2020).

Tableau II.12 Caractéristiques techniques de la Station de relevage

Pompes immergées	4
Marque	ABS
Poids	42Kg

II.5.2.4 Traitement biologique (secondaire)

Il s'agit de l'étape la plus importante. Les eaux passent dans un bassin d'aération où des micro-organismes (bactéries) consomment la matière organique dissoute. L'apport d'oxygène (par aération) est essentiel pour favoriser leur activité. Ce processus transforme la pollution organique en boues biologiques et en gaz (CO₂) (Figure II.9) (Meziane, 2020).



Figure II.9 : Traitement biologique

Les aérateurs installés ont les caractéristiques enregistrées dans le tableau ci-dessous

Tableau II.13 Caractéristiques techniques des bassins biologiques (ONA, 2025)

Bassin d'aération	02 unités
Forme	Rectangulaire
Longueur	66,0 m.
Largeur	44,0 m.
Hauteur	4,5 m
Profondeur total	5m
Hauteur Béton	5,60 m.
Volume utile total	26136 m ³ .

Tableau II.14: Equipements des bassins

Nombre de turbine	12
Puissance des turbines installées	75/55 KW
Oxymètres de mesure d'oxygène dissous	02

II.5.2.5 Clarification ou Décantation secondaire

La séparation du floc biologique et de l'eau épurée se fait dans un ouvrage appelé le décanteur (ou le clarificateur). L'eau épurée est évacuée en surverse par goulotte vers la sortie alors que les boues sont récupérées au fond de l'ouvrage vers le puits de boues pour être recyclées une partie dans le bassin de boues activées et une partie (boues en excès) envoyée au traitement des boues.

La STEP de Saïda est équipée de deux décanteurs circulaires munis de racleurs couvrant toute la profondeur du bassin (figure II.10).



Figure II.10 : Décantation – Clarification

Les caractéristiques de chaque ouvrage sont citées dans le tableau suivant

Tableau II.15: Caractéristiques techniques des décanteurs secondaires (ONA, 2025)

Nombre	02
Diamètre	43 m.
Surface unitaire	1452 m ³ .
Hauteur d'eau	3 ,50 m
Volume cylindrique	50827 m ³ .

II.5.2.6 La Chloration, désinfection

À la sortie de la station d'épuration des eaux usées (STEP), et en aval des décanteurs secondaires, un ouvrage de chloration est installé afin d'assurer la désinfection finale de l'effluent traité (Figure II.11). Cette étape est essentielle pour éliminer les micro-organismes pathogènes encore présents dans l'eau épurée.

La désinfection est généralement réalisée par injection d'hypochlorite de sodium, un agent oxydant efficace. Le chlore libéré agit en détruisant les membranes cellulaires des bactéries, virus et autres germes. Ainsi, l'effluent traité respecte les normes sanitaires avant son rejet dans le milieu naturel ou sa réutilisation (Guerroudj, 2017).



Figure II.11 Chloration –désinfection.

Tableau II.16: Caractéristiques techniques du bassin de chloration

Longueur	30 m
Largeur	12 m
Hauteur utile	3,5 m
Hauteur total	4 m
Volume	1260 m³

C'est le traitement complémentaire des eaux usées avant rejet, la désinfection est prévue pour le chlore gazeux, le volume du bassin est calculé pour un temps de séjour suffisant au débit afin d'obtenir une bonne efficacité de l'action du chlore,

Note : Selon les responsables de la STEP, l'étape de chloration n'est actuellement pas mise en œuvre en raison de contraintes techniques, bien que les infrastructures et les équipements requis soient disponibles au niveau de la station.

II.5.2.7 Traitement des boues

II.5.2.7.1 Epaississement des boues

L'épaississeur est un ouvrage (bassin) de forme circulaire, du type raclé à fond conique à faible pente et équipé d'un racleur tournant en permanence. Le racleur permet de favoriser l'épaississement des boues qui sont dirigées au fond du bassin. Les boues en excès sont refoulées vers l'épaississeur (Benaissa, 2021) (Figure II.12).



Figure II.12: Epaississement des boues

Tableau II.17: Caractéristiques techniques de l'épaississeur (ONA, 2025)

Nombre	01
Diamètre	16 m.
Hauteur	4 m.
Surface	201.1 m ²
Volume de l'épaississeur	804,25 m ³ .
Production des boues en excès	7500 KG /J

II.5.2.7.2 Séchage des boues

Les boues épaissies sont ensuite extraites de l'épaississeur gravitaire et acheminées vers le lit de séchage (Figure II.13). L'eau surnageante est drainée manuellement des lits par un système de vannes et renvoyée à l'entrée de la station pour être traitée. Le reste de l'eau s'évapore et les boues sèchent à l'air. Le dimensionnement des lits se fait sur la base d'une durée de séchage de trois semaines en saison hivernale et d'une hauteur de remplissage de 0,4 m et d'une durée de trois jours en saison estivale (Benaissa, 2021).



Figure II.13: Déshydratation des boues sur lits de séchage.

Tableau II.18: Caractéristiques techniques des lits de séchage.

Longueur	30 m
Largeur	15m
Nombre total des lits	20
Surface totale à mettre en œuvre :	9000 m ²
Production annuelle des boues	83.865 m ³ /an
Equivalent- habitant par unité d'aire	16,7 eq/ hab/ m ²



Figure II.14 : Vue globale de la Station d'épuration de la ville de Saida.

II.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une description générale de la zone d'étude, à savoir la ville de Saïda, en mettant en évidence ses principales caractéristiques géographiques, hydrologiques, hydrographiques, climatiques ainsi que son contexte hydraulique.

Les paramètres essentiels liés à la qualité de l'eau épurée ont été définis, et une description globale de la station d'épuration (STEP) a été réalisée, en détaillant les différents ouvrages qui la composent ainsi que leurs rôles respectifs.

Ainsi, cette présentation constitue une base fondamentale pour la compréhension du fonctionnement global de la STEP et prépare le terrain pour les analyses et investigations plus approfondies qui seront développées dans les chapitres suivants.

METHODOLOGIE D'ECHANTILLONNAGE ET PROTOCOLE EXPERIMENTAL

III.1 Introduction

Le présent chapitre expose la démarche méthodologique adoptée pour évaluer la qualité des eaux usées épurées de la STEP de Saïda et leur impact sur l'irrigation.

Dans un premier temps, nous décrivons les protocoles de prélèvement et de conservation des échantillons, suivis d'une présentation détaillée du matériel et des techniques d'analyses physico-chimiques. Cette étape analytique permet d'établir les caractéristiques de l'eau épurées avant son utilisation. Enfin, nous détaillons le dispositif expérimental mis en place pour l'irrigation de différentes cultures, telles que les épinards, les haricots verts et le blé. L'objectif est de comparer l'évolution de la croissance et du rendement entre un arrosage à l'eau épurée et un témoin irrigué à l'eau potable, afin de valider la faisabilité de cette réutilisation agricole.

III.2 Modes de prélèvement et de conservation des eaux usées épurées

III.2.1 Définition

L'étape de prélèvement constitue l'une des plus importantes étapes dans l'étude des eaux car, elle influence directement la qualité des résultats analytiques. Des précautions nécessaires doivent être prises afin de collecter un échantillon représentatif, aussi pour minimiser les risques associés à la contamination de l'échantillon (Rodier J. (2005)).

Dans le cadre de notre étude, nous avons choisi la station d'épuration (STEP) de Saïda pour effectuer des prélèvements d'eau usée épurée. Les échantillons ont été prélevés deux fois par semaine pendant une période de cinq (5) mois allant de janvier 2026 à mai 2026, afin de réaliser les analyses physico-chimiques prévues et d'évaluer la qualité des eaux traitées.

III.2.2 Lieu de prélèvement

Pour effectuer les analyses physico-chimiques des eaux usées traitées, un échantillon a été prélevé à un point situé à la sortie de la STEP.

Pour les prélèvements destinés à l'analyse physico-chimique et l'irrigation, ils sont réalisés dans des flacons en plastiques en polyéthylène, En utilisant un préleveur manuel de 2 à 3 m. Les échantillons ont ensuite été transportés au laboratoire dans une glacière maintenue à une température comprise entre 4 °C et 6 °C, afin d'assurer leur bonne conservation. (Figures III.1 et III.2).



Figure III.1. Lieu de prélèvement des eaux épurées à la sortie de la station d'épuration



Figure III.2 : Glacière isotherme utilisée pour le transport des échantillons

Les eaux épurées sont collectées dans des flacons :

- D'un volume de 100 *ml* pour l'analyse des eaux épurées
- D'un volume de 6 *l* pour l'irrigation des cultures.

Il convient que les flacons contenant les échantillons soient protégés et bouchés de telle sorte que les échantillons ne se détériorent pas et qu'ils ne perdent aucun de leurs constituants durant le transport. Il convient que le matériau d'emballage protège les récipients contre toute contamination extérieure et toute rupture éventuelle, notamment après l'ouverture du récipient, et qu'il ne soit pas lui-même une source de contamination.

III.2.3 Matériels utilisés

Le tableau ci-après présente un aperçu du matériel utilisé au sein du laboratoire de la STEP de Saïda.

Tableau III.1 : Liste des équipements utilisés dans le laboratoire de la STEP de Saïda

Désignation	Marque
Etuve	RAYPA
Four à moufle	DINKO
Centrifugeuse	NUVE NF 200
Unité de filtration avec pompe aride	JOAN LAB
Distillateur (SG)	PRO-NITRO M
Plaque chauffante DCO	WTW
Balance de Précision	JOAN LAB
Spectrophotomètre	HACH
Agitateur	FAITHFUL
Microscope Optique	OPTIKA
Conductimètre	AUXILAB
pH mètre	HANNA HI-6221

III.3 Méthodologie des analyses physico-chimiques

III.3.1 Préparation des échantillons

À l'arrivée au laboratoire, on prépare les erlenmeyers rodés en les remplissant avec 100 mL d'eau à analyser, comme illustré sur la figure ci-dessus.

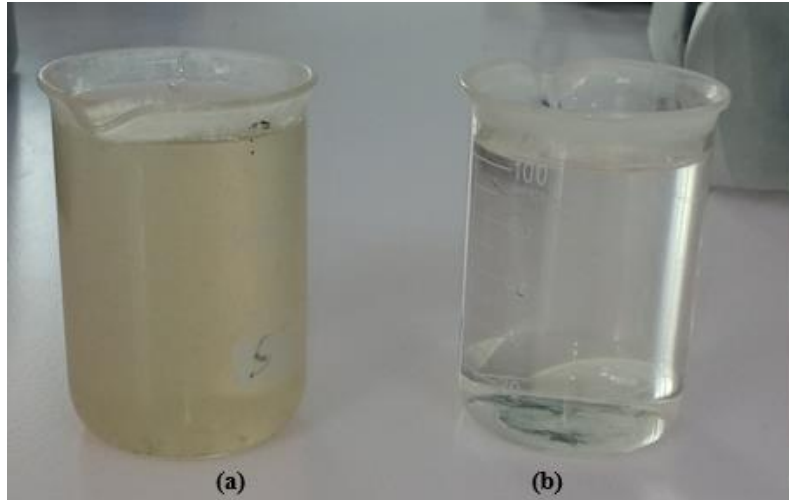


Figure III.3 : Échantillons collectés au niveau de la station d'épuration : (a) eau usée et (b) eau épurée

III.3.2 Paramètres de qualité de l'eau mesurés in situ

III.3.2.1 Mesures de pH

Le pH (potentiel hydrogène) mesure la concentration en ions H^+ dans l'eau. Il traduit ainsi l'équilibre entre l'acidité et la basicité du milieu.

Ce paramètre caractérise de nombreux équilibres physicochimiques et dépend de plusieurs facteurs, notamment l'origine de l'eau, la température, la salinité et la teneur en matières dissoutes. Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre de marque CRISON (Figure III.4).

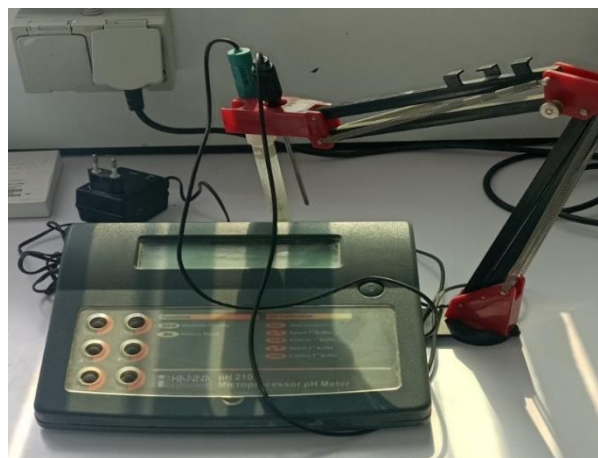


Figure III.4 PH-METRE

III.3.2.1.1 Matériau et réactifs

- Verre de précipité
- PH mètre

III.3.2.1.2 Procédure expérimentale

- Étalonnage de l'appareil sur trois points de calibration correspondant à des solutions tampons de pH 4,01 (milieu acide), 7,00 (milieu neutre) et 9,21 (milieu basique).
- Appuyer le bouton du thermomètre pour sélectionner la température par apport à l'échantillon
- Laver l'électrode à l'eau distillée
- Appuyer sur le bouton analyse échantillon puis OK
- Lire la valeur après stabilisation du signal de mesure.
- Laver l'électrode à l'eau distillée et remettre le dans la solution électrolyte de KCL

III.3.2.2 Température

La température constitue un élément écologique essentiel dans les écosystèmes aquatiques. Une augmentation de celle-ci peut avoir des impacts significatifs sur la vie aquatique, engendrant notamment une pollution thermique (Rodier, J. (2005)).

Pour mesurer la température, un thermomètre ayant une plage de mesure de 0 à 30 °C est utilisé. Celui-ci est immergé dans un échantillon contenu dans une fiole et la lecture en degrés Celsius (°C) est effectuée après stabilisation de la mesure.

III.3.3 Paramètres physicochimiques analysés au laboratoire

III.3.3.1 Oxygène dissous

L'oxygène dissous constitue un élément crucial dans l'eau, car il favorise la vie de la faune et de la flore aquatiques et joue un rôle fondamental dans les réactions biologiques au sein des écosystèmes aquatiques.

Dans le domaine du traitement des eaux usées il est essentiel pour assurer la dégradation des polluants. La concentration en oxygène dans l'eau est influencée par divers facteurs tels que la température, la pression et la force ionique du milieu.

La solubilité de l'oxygène dans l'eau, qui est relativement faible, varie principalement en fonction de la température. Pour mesurer l'oxygène dissous, on utilise un oxymètre (illustré à la figure III.5). Les étapes de mesure consistent à :

- Plonger la sonde de l'appareil dans l'échantillon d'eau après le traitement.
- Relever la valeur affichée par l'oxymètre une fois que les résultats se stabilisent à l'écran.



Figure III.5 : Oxymètre du bassin biologique

III.3.3.2 Matières en suspension (MES)

Les matières en suspension (MES) désignent de fines particules solides le plus souvent visibles à l'œil nu. Théoriquement elles ne sont pas dissoutes dans l'eau. La majorité des MES sont d'origine biodégradable. Une grande partie des micro-organismes pathogènes présents dans les eaux usées est transportée par ces particules qui leur offrent une certaine protection contre de nombreux traitements. Cependant, lorsque leur concentration est trop élevée les MES peuvent provoquer l'obstruction des canalisations.

Pour mesurer les MES on utilise une méthode de filtration sous vide à l'aide d'une pompe de filtration. Cette technique consiste à filtrer l'eau et à déterminer la masse des particules retenues par une pesée différentielle (Rodier, J. (2009)).



Figure III.6: Filtration sous vide

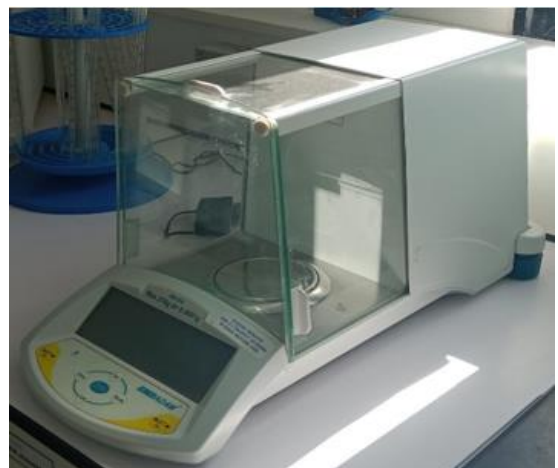


Figure III.7: Balance électronique

III.3.3.2.1 Matériaux et réactifs

- Pompe à vide
- Unité de filtration (Figure III.6)
- Filtres de microfibres de verre
- Poêle
- Dessiccateur
- Balance analytique (figure III.7)

III.3.3.2.2 Procédure expérimentale

- Peser le filtre vide P0 dans la balance électronique
- Placer le filtre sur l'entonnoir de l'unité de filtration (partie lisse en bas)
- Agiter le flacon de l'échantillon
- Verser un volume V= 50ml d'eau dans l'éprouvette graduée
- Filter l'échantillon
- Libérer le dispositif sous vide lorsque le filtre est pratiquement sec
- Retirer avec précaution le papier filtre à l'aide d'une pince à extrémité plate
- Placer le filtre sur un support de séchage (encapsule)
- Sécher le filtre dans l'étuve à 105 C ° pendant deux heures et plus
- Reporter la capsule dans le dessiccateur.
- Peser P1
- Renouveler ces opérations jusqu'à l'obtention d'un poids constant (La différence entre deux pesées consécutives n'excède pas 0, 5 ou 0,1mg.

$$\text{MES} = \frac{P_1 - P_0}{V} \times 1000 \quad (\text{mg /l}) \quad (\text{III.1})$$

Avec :

P₀ : masse totale de la capsule de pesée vide en (g)

P₁ : masse totale de la capsule de pesée pleine après dessiccation à 105°C en (g)

V : Volume d'eau traitée en ml.

Dans notre étude sur les eaux usées et les eaux épurées la quantité de matières en suspension (MES) est déterminée à l'entrée de la station d'épuration afin d'évaluer la charge en solides en suspension à l'entrée de la STEP. Par la suite la concentration des solides en suspension dans les réacteurs (MLSS) est mesurée afin d'estimer la quantité totale de biomasse présente dans les réacteurs biologiques.

III.3.3.3 Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO5)

La demande biochimique en oxygène (ou DBO) est la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour assimiler la pollution biodégradable sur une période définie. En effet, une période de 5 jours serait nécessaire aux micro-organismes pour assimiler la totalité de la pollution biodégradable.

III.3.3.3.1 Matériaux et réactifs

- DBO mètre système :
- Têtes mesureurs (OXYTOP)
- Ampoules de mesure marron
- Agitateurs magnétiques
- Pince
- Carcasses de gommages pour les goulots des ampoules
- Lentilles de NAOH
- Armoire thermostatique de température constante à 20°C
- Inhibiteur de nitrification.

III.3.3.3.2 Procédure expérimentale

- Remplir deux flacons le premier avec 97 ml d'eau usée et le second avec 365 ml d'eau épurée.
- Placer un barreau magnétique dans chacun des flacons afin d'assurer l'homogénéisation du milieu.
- Ajouter le gel nutriment DBO pour activer l'activité bactérienne.
- Introduire 1 g d'hydroxyde de potassium (KOH) dans les bouchons hermétiques afin d'absorber l'humidité (Figure III.8).
- Visser l'OxiTop sur les flacons (Figure III.9).
- Régler ensuite les plages de mesure de 0 à 90 pour les eaux épurées.
- Placer les flacons dans une armoire thermostatique équipée d'un agitateur.
- L'incubation des échantillons est réalisée pendant 5 jours à 20 °C. Les valeurs retenues correspondent à celles affichées à la fin des 5 jours.



Figure III.8 : Flacons pour la mesure de la DBO



Figure III.9 : Hydroxyde de potassium

III.3.3.4 Dosage spectroscopique

Les nitrates, les nitrites, l'ammoniac et la DCO ont été déterminés à l'aide d'un Spectrophotomètre de type HACH DR 3900 (figure III.10) et des tubes en verre de 25 ml de capacité. La détection se fait dans le domaine du visible de l'appareil allant de 325 à 900 nm.

L'analyse de l'élément ou du composé est réalisée suite à la complexation de celui-ci avec le réactif ajouté, ce qui développe une couleur. L'intensité de la couleur obtenue ainsi que le choix approprié de la longueur d'onde permettent l'analyse de l'élément contenu dans l'échantillon.



Figure III.10 : Spectrophotomètre de type HACH DR 3900

III.3.3.5 Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les bactéries pour la dégradation des matières organiques et minérales.

Le test consiste en une oxydation chimique à l'aide d'un oxydant fort en milieu acide à température élevée utilisant le bichromate de potassium, l'acide sulfurique et le sulfate de mercure.

III.3.3.5.1 Matériaux et réactifs

- Kit pour DCO LCK 314 et LCK 514
- Pipette graduée de 2 ml
- Réacteur DCO
- Spectrophotomètre

III.3.3.5.2 Procédure expérimentale

- Allumer le spectrophotomètre pour calibrage automatique
- Pipette 2 ml de l'échantillon eau épurée (sortie) (Figure III.11)
- Ouvrir le bouchon du kit adéquat soigneusement et ajuster l'échantillon
- Bien fermer le kit et mélange délicatement (réaction thermique immédiate)
- Placer les deux kits dans le réacteur DCO (Figure III.12)
- Programmé le réacteur DCO à 148°C pendant deux heures
- Après refroidissement des kits lire au spectrophotomètre
- Lire la valeur affichée par le code à barre imprimé sur le kit.



Figure III.11 Réacteur d'oxydation de la DCO



Figure III.12: Réactifs de la DCO

III.3.3.6 Dosage de l'ammoniac

Le dosage de l'ammoniac consiste à déterminer la concentration de l'ion ammonium (NH_4^+) présent dans l'eau. Cette analyse est réalisée à l'aide d'un kit colorimétrique et d'un spectrophotomètre. Une petite quantité d'échantillon est introduite dans une cuve contenant les réactifs nécessaires à la réaction chimique. Après un temps de réaction déterminé, la coloration obtenue est mesurée par l'appareil. Les résultats sont exprimés en mg/L afin d'évaluer la qualité de l'eau analysée.

III.3.3.6.1 Procédure expérimentale

- Retirer avec précaution la feuille de protection du DosiCap Zip détachable.
- Dévisser le DosiCap Zip.
- Prélever 0,2 ml d'échantillon à l'aide d'une micropipette et l'ajouter dans la cuve du test (kit).
- Laisser la réaction se dérouler pendant 15 minutes.
- Lire le résultat à l'aide du spectrophotomètre via un code-barres.

Le DosiCap Zip est une capsule contenant des réactifs prêts à l'emploi, utilisée pour faciliter et standardiser les analyses chimiques de l'eau.

III.3.3.7 Dosage des nitrites

Le dosage des nitrites permet de déterminer la concentration des ions nitrites (NO_2^-) présents dans l'eau. L'analyse est réalisée à l'aide d'un kit colorimétrique et d'un spectrophotomètre. Une quantité d'échantillon est introduite dans une cuve contenant les réactifs nécessaires.

Après le temps de réaction, la coloration obtenue est mesurée par l'appareil. Les résultats sont exprimés en mg/L afin d'évaluer la qualité de l'eau analysée.

III.3.3.7.1 Procédure expérimentale

Pour le dosage des nitrites le programme du spectrophotomètre DR 3900 est 371 avec une longueur d'onde réglée à 507 nm. Les résultats sont affichés directement en mg/L sur l'écran de l'appareil.

- On prépare deux cuvettes de 10 ml chacune (échantillons témoins)
- Deux autres cuvettes remplies de 10 ml d'échantillon plus le réactif de NitriVer3
- Mettre un barreau magnétique dans chaque cuvette
- Laisser agir pendant 20 mn sur l'agitateur
- Formation d'un composé complexe de l'acide sulfanilique pour former un sel de diazonium qui réagit avec l'acide chromo tropique pour produire un complexe coloré rose (Figure III.13).

La réaction est la suivante :

- Au spectrophotometer
- On place le blanc dans le puits de mesure et on presse ZERO L'affichage
- On place l'échantillon préparé et on lit le résultat affiché en mg/l NNO_2 (figure III.14)
- Pour avoir les nitrites en mg/l, on multiplie par la constante 4.4 et par le facteur de dilution
- (10) s'il ya lieu de dilution



Figure III.13: Réaction de dosage des nitrites



Figure III.14 : Spectrophotomètre DR 3900 pour la mesure de la concentration des nitrites (NO_2^-)

III.4 Description des expérimentations

Cette étude expérimentale a pour objectif d'évaluer l'effet des eaux usées épurées de la STEP de Saïda sur la croissance de certaines cultures agricoles en comparaison avec une irrigation à l'eau minérale de la source de SAIDA (située à la ville de REBAHIA) utilisée comme témoin.

L'expérimentation a été réalisée au laboratoire dans des conditions contrôlées sur trois cultures : le haricot vert (*Phaseolus vulgaris*), les épinards (*Spinacia oleracea*) et le blé (*Triticum aestivum*).

Les semis ont été effectués dans des pots contenant un mélange de terreau de sable et de sol argileux. Pour chaque culture six pots ont été préparés trois irrigués par les eaux usées épurées et trois par l'eau de source.

L'irrigation a été réalisée tous les deux jours avec le même volume d'eau pour tous les essais. Le suivi expérimental a permis d'observer les différentes étapes de développement des plantes notamment la germination et la croissance afin de comparer l'effet des deux types d'irrigation sur les cultures étudiées.

III.4.1 Matériels et Méthodes

Le matériel utilisé au cours de cette expérimentation comprend des pots en plastique un substrat de culture des graines des différentes espèces végétales étudiées ainsi que les eaux d'irrigation utilisées le substrat est constitué d'un mélange de terreau de sable et de sol argileux rouge à texture moyenne et à pH neutre.

Les essais ont été réalisés selon un protocole expérimental contrôlé, les graines ont été semées dans des pots préparés au préalable puis réparties en deux lots expérimentaux.

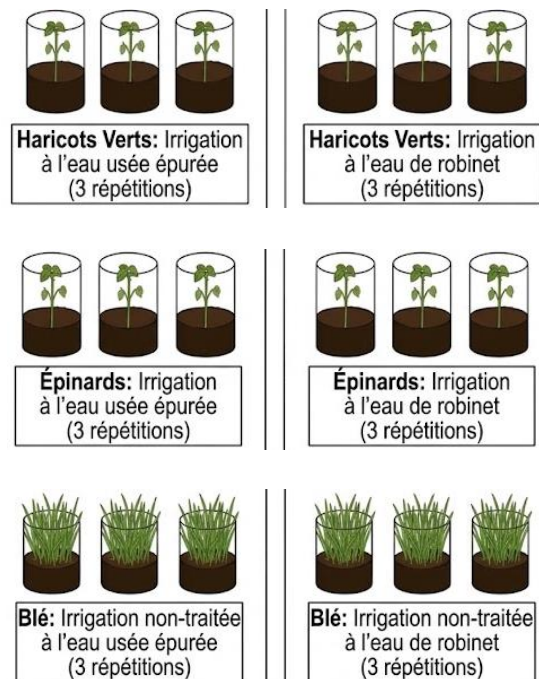
Deux types d'eau ont été utilisés pour l'irrigation des pots. Certains pots ont été irrigués avec des eaux usées épurées provenant de la station d'épuration (STEP) de Saïda, tandis que les autres pots ont été irrigués avec de l'eau potable (eau minérale), utilisée comme témoin. L'irrigation a été réalisée régulièrement en appliquant des volumes identiques aux deux pots afin d'assurer des conditions expérimentales homogènes tout au long de la période d'étude (Figure III.15).

Notre étude a été menée sur quatre cultures stratégiques largement répandues en Algérie : le haricot vert (*Phaseolus vulgaris*), l'épinard (*Spinacia oleracea*) et le blé (*Triticum aestivum*). Ces cultures ont été sélectionnées en raison de leur importance agricole et alimentaire, ainsi que de leur forte consommation par la population. Elles représentent différentes catégories végétales, notamment les légumes feuilles, les légumineuses et les céréales, ce qui permet d'évaluer de manière plus complète l'effet des conditions étudiées sur des types de cultures variés.

De plus, ces espèces sont couramment cultivées dans les systèmes agricoles locaux, ce qui rend les résultats obtenus plus représentatifs et mieux adaptés aux réalités du terrain (Figures III.16 et III.17).



Figures III.15: Procédure de préparation des échantillons



Figures III.16: Schéma expérimental des cultures étudiées



Figure III.17 : Échantillonnage du haricot vert, des épinards et du blé

Les échantillons ont été installés au laboratoire le 09/03/2026. Les graines ont été réparties en différents lots expérimentaux comprenant 6 pots d'épinard (*Spinacia oleracea*), 6 pots de haricot vert (*Phaseolus vulgaris*) et 6 pots de blé (*Triticum aestivum*).

Pour chaque espèce 3 pots ont été irrigués avec des eaux usées épurées et 3 pots avec de l'eau de source.

Tableau III.2 Date de germination et de récolte des cultures

Variétés	Haricot vert	Epinard	Le blé
Date de semis	09/3/2026	09/3/2026	09/3/2026
Date de levée	15/3/2026	13/3/2026	15/3/2026
Temps de germination (jours)	06 j	04 j	06 j
Date de récolte	14/05/2026	14/05/2026	14/05/2026

III.4.2 Protocole d'irrigation

Toutes les cultures sont irriguées par le même système et par le même volume d'eau tous les deux jours. (Figures III.18)

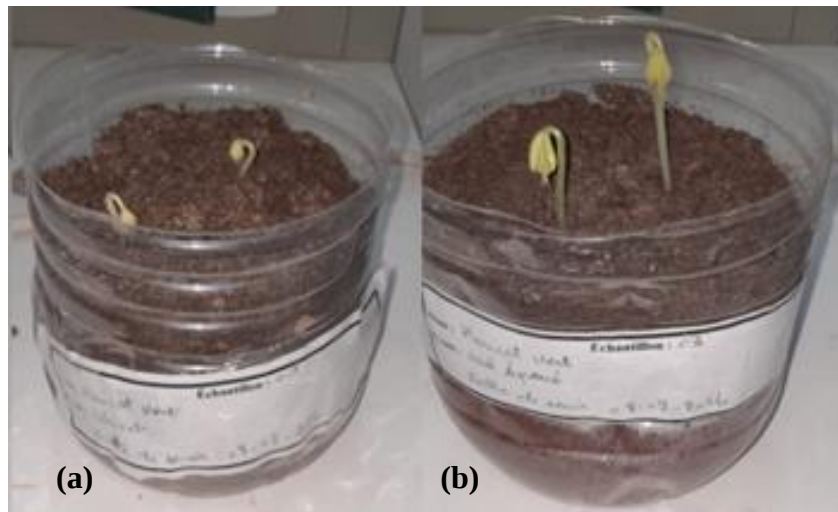


Figures III.18 : Protocole d'irrigation

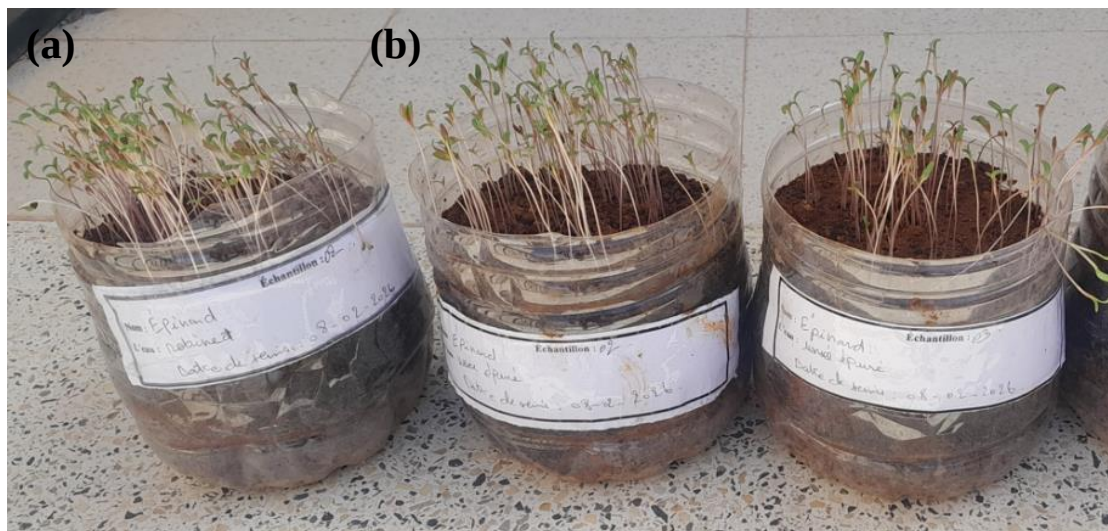
III.4.2.1 Dynamique de rendement des cultures

La dynamique de rendement des cultures a été suivie durant toute la période expérimentale afin d'évaluer l'effet des eaux épurées et des eaux de source sur la croissance des plantes (Figures III.19-III.23)

Les observations ont montré une évolution progressive des cultures caractérisée par une augmentation de la longueur, du volume et du développement végétatif notamment chez les cultures irriguées par les eaux épurées par rapport à celles irriguées par les eaux de source.



Figures III.19 Évolution de la germination des graines de haricot vert irriguées avec (a) de l'eau du source et (b) des eaux usées épurées.



Figures III.20 Évolution de la germination des graines des épinards irriguées avec (a) de l'eau de source et (b) des eaux usées épurées.



Figures III.21 : Évolution de la germination des graines de blé.



Figures III.22: Évolution de la germination des différentes espèces cultivées



Figures III.23: Croissance des épinards irrigués avec de l'eau usées épurées au cours du temps



Figures III.24: Croissance des épinards irrigués avec de l'eau de source au cours du temps



Figures III.25: Croissance des haricot vert irrigués avec de l'eau usées épurées au cours du temps



Figures III.26: Croissance des haricot vert irrigués avec de l'eau de source au cours du temps



Figures III.27 : Croissance de blé vert irrigués avec de l'eau usées épurées au cours du temps

III.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les matériels les méthodes d'analyses et le protocole expérimental utilisés pour évaluer la qualité des eaux usées épurées de la STEP de Saïda et leur effet sur certaines cultures agricoles les analyses physico-chimiques réalisées ont permis de déterminer plusieurs paramètres importants tels que le pH, la température, l'oxygène dissous les MES, la DBO₅, la DCO, l'ammoniac et les nitrites.

La partie expérimentale consacrée à l'irrigation a permis d'étudier le développement de différentes cultures irriguées par les eaux usées épurées et par l'eau de source utilisée comme témoin. Les observations obtenues ont montré une croissance satisfaisante des plantes, notamment pour les cultures irriguées par les eaux épurées. Ainsi, les méthodes appliquées dans cette étude constituent une base expérimentale permettant d'évaluer la possibilité de réutilisation des eaux usées épurées dans le domaine agricole.

ÉTUDE DE L'ÉVOLUTION DE LA QUALITE DES EAUX USEES EPUREES

IV.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à l'analyse des paramètres physico-chimiques des eaux usées traitées au niveau de la station d'épuration sur une période de trois années consécutives (2023, 2024 et 2025).

L'objectif principal est de mettre en évidence l'évolution temporelle de la qualité des effluents et d'évaluer la stabilité des performances épuratoires de la station à travers les principaux indicateurs de pollution tels que la DBO₅, la DCO, les MES, les nutriments azotés ainsi que d'autres paramètres physico-chimiques importants. Cette analyse permet d'identifier les variations interannuelles et de juger l'efficacité globale du système de traitement.

Par ailleurs, une analyse spécifique a été menée sur une période de quatre mois en 2026 au cours de laquelle des analyses physico-chimiques des eaux traitées ont été réalisées afin d'évaluer leur qualité et leur conformité aux normes en vigueur. Cette partie vise à interpréter les résultats obtenus et à évaluer la variabilité des principaux paramètres de pollution (DBO₅, DCO, MES et composés azotés) tout en vérifiant leur conformité aux normes de qualité. L'objectif est d'apprécier la stabilité de la qualité des eaux au cours de cette période et leur aptitude à la réutilisation notamment en irrigation.

IV.2 Analyses physico-chimiques des eaux usées de la STEP de Saïda au cours des années 2023, 2024 et 2025

L'analyse des paramètres physico-chimiques des eaux usées de la STEP de Saïda sur les 3 dernières années (2023, 2024 et 2025) telle qu'illustrée dans les tableaux suivants, permet d'évaluer l'évolution de la qualité des eaux traitées ainsi que la stabilité des performances épuratoires de la station.

Elle met en évidence les variations observées au niveau des principaux indicateurs de pollution et renseigne sur l'efficacité des procédés de traitement appliqués.

Elle constitue également un outil d'appréciation de la conformité des rejets aux normes environnementales en vigueur et de l'évolution des performances de la station au cours de la période étudiée.

Tableau IV.1: la Moyenne annuel des analyses physico-chimiques de la STEP de Saïda (Année 2023)
(ONA., 2026)

Paramètres	Unité	Entrée	Sortie
Conductivité	µs /cm	2281,25	2112,5
PH		7,91	8
MES	mg/l	300	26,51
DBO 5	mg/l	335,86	22,47
DCO	mg/l	590,8	37,55
NO ₃ ⁻	mg/l	5,95	5,45
NO ₂ ⁻	mg/l	0,07	0,69
PO ₄ ³⁻	mg/l	4,6	4,28

Tableau IV.2: la Moyenne annuel des analyses physico-chimiques de la STEP de Saïda (Année 2024)
(ONA., 2026)

Paramètres	Unité	Entrée	Sortie
Conductivité	µs /cm	2338	2149
PH		7,88	7,99
MES	mg/l	350,21	29,91
DBO 5	mg/l	355,58	31,74
DCO	mg/l	469,64	52,1
NO ₃ ⁻	mg/l	3,203	0,94
NO ₂ ⁻	mg/l	0,29	1,05
PO ₄ ³⁻	mg/l	3,73	1,35

Tableau IV.3 : la Moyenne annuel des analyses physico-chimiques de la STEP de Saïda (Année 2025)
(ONA., 2026)

Paramètres	Unité	Entrée	Sortie
Conductivité	µs /cm	2203	1966,2
PH		7,74	8,1
MES	mg/l	332,47	26,76
DBO 5	mg/l	343,25	26,8
DCO	mg/l	703,38	40,95
NO ₃ ⁻	mg/l	2,42	0,82
NO ₂ ⁻	mg/l	0,48	0,54
PO ₄ ³⁻	mg/l	4,31	1,54

Tableau IV.4: la Moyenne saisonnier des analyses physico-chimiques de la STEP de Saïda (Année 2026) (ONA., 2026)

Paramètres	Unité	Entrée	Sortie	Rendement épuratoire (%)
Conductivité	µs /cm	2449	2109	13 ,88 %
PH		7,6	7,82	/
MES	mg/l	337,7	24,7	92,69 %
DBO 5	mg/l	388	14,8	96,19 %
DCO	mg/l	288	29	89,93 %
NO ₃ ⁻	mg/l	2,67	10,8	/
NO ₂ ⁻	mg/l	0,2	1,2	/
PO ₄ ³⁻	mg/l	38,8	1,33	96,57 %
N _{tot}	mg/l	79.675	17.75	77.72 %

IV.2.1 La Conductivité électrique (CE)

La comparaison interannuelle montre que la conductivité a légèrement augmenté entre 2023 et 2024 passant respectivement de 2 281,25 à 2 338 µS/cm en entrée et de 2 112,5 à 2 149 µS/cm en sortie traduisant une hausse de la teneur en sels dissous (Figure IV.1).

En revanche, une diminution notable est observée en 2025 avec des valeurs qui chutent à 2 203 µS/cm en entrée et 1 966,2 µS/cm en sortie. Cette baisse indique une amélioration de la qualité de l'eau épurée, ce qui réduit le risque de salinisation des sols lors de son utilisation pour l'irrigation (Tableau IV.5).

Tableau IV.5 : Classification de la salinité du sol et effets sur les plantes

Classe	Conductivité de l'extrait de sol saturé (µs /m)	Effet sur la croissance des plantes
Non salins	0 - 2 000	Effets de la salinité négligeables
Légèrement salins	2 000 - 4 000	La production de certain es plantes sensibles peut être affectée
Modérément salins	4 000 - 8 000	La production de la plupart des plantes est restreinte
Fortement salins	8 000 - 16 000	Seules les plantes tolérantes au sel produisent de façon satisfaisante
Très fortement salins	>16000	Seul un très petit nombre de plantes tolérantes au sel produisent de façon satisfaisante

Source : (Ismail, 2020)

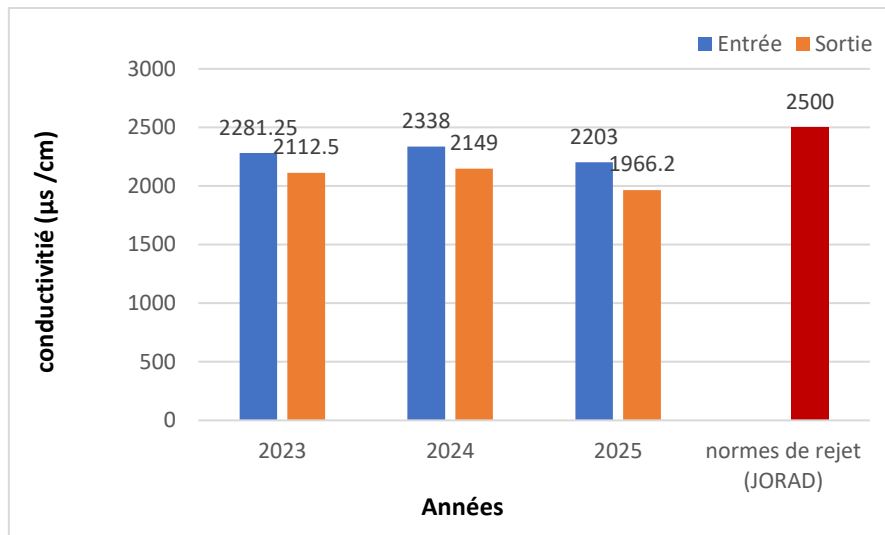


Figure IV.1 : Conductivité électrique sur la période 2023–2025

IV.2.2 Les MES (Matières en Suspension)

Les matières en suspension (MES) correspondent à l'ensemble des particules organiques et minérales insolubles, présentes sous forme flottante ou en suspension dans les eaux usées. Elles sont en grande partie biodégradable.

L'année 2024 présente la charge en MES la plus élevée à l'entrée ainsi que la concentration la plus élevée à la sortie, tandis que les années 2023 et 2025 affichent des résultats très similaires (Figure IV.2).

Ces observations montrent une stabilité des performances de la STEP et une réduction importante des matières en suspension sur l'ensemble de la période étudiée.

Les résultats de MES (Matières en Suspension) montrent que la station d'épuration assure une bonne élimination des particules solides durant les trois années étudiées.

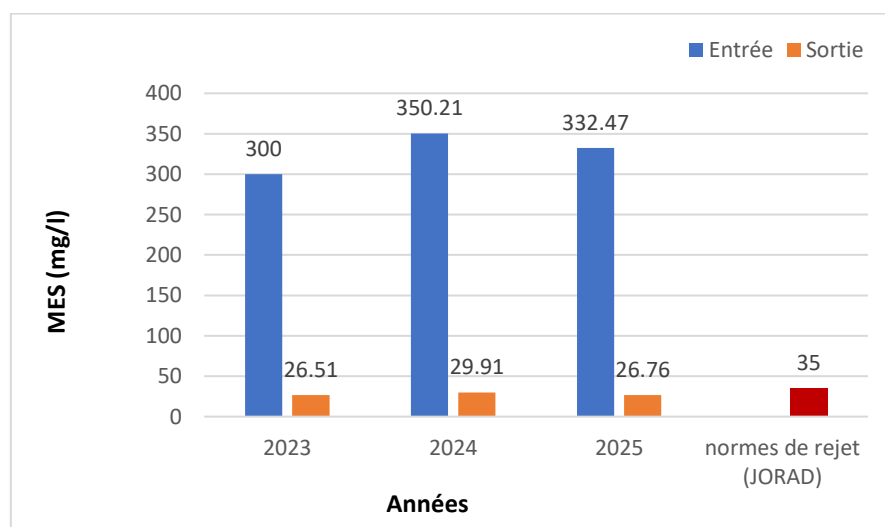


Figure IV.2 : Concentrations en MES sur la période 2023–2025

IV.2.3 Demande Biochimique en Oxygène en 5 jours (DBO₅)

La DBO₅ est une expression pour indiquer la quantité d'oxygène qui est utilisée pour la destruction de matières organiques décomposables par des processus biochimiques.

La concentration de DBO₅ dans eaux usées est très élevée de 500 mg /l, alors que la valeur dans les eaux épurées est faible (30 mg / l). Nous signalons que le rendement de l'épuration de cette charge organique varie en fonction de certains facteurs : temps, saison, nature de rejets (urbain et/ou industriel) (Ammam, 2020).

Les résultats des analyses montrent que la station maintient une excellente efficacité d'épuration sur les trois années, avec un taux d'abattage de la pollution organique supérieur à 91 %. Bien que la charge brute en entrée reste élevée et stable (oscillant entre 335 et 356 mg/l), la qualité de l'eau en sortie demeure très satisfaisante (Figure IV.3).

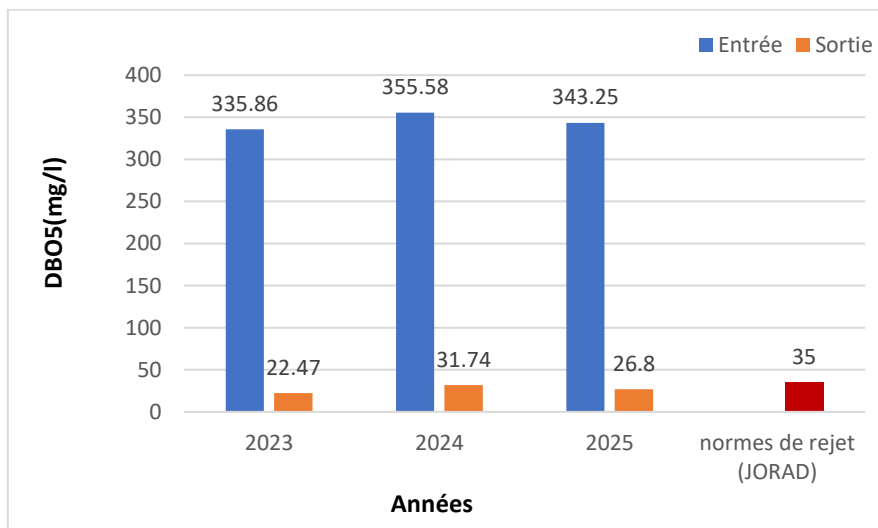


Figure IV.3 : Comparaison des concentrations en DBO₅ sur la période 2023–2025

IV.2.4 Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La Demande Chimique en Oxygène (DCO) est un paramètre qui mesure la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques et certaines substances minérales présentes dans l'eau. Elle permet d'évaluer le degré de pollution des eaux usées. Une valeur élevée de la DCO indique une forte charge polluante et une importante consommation d'oxygène dans le milieu récepteur. Ce paramètre est largement utilisé pour contrôler l'efficacité des stations d'épuration et la qualité des rejets (Zerrouki, 2023).

Les résultats montrent que la STEP présente une très bonne efficacité d'élimination de la DCO sur les trois années étudiées, avec des rendements supérieurs à 88 % (Figure IV.4). Malgré les variations de la charge organique à l'entrée les concentrations en sortie restent faibles et conformes aux normes de rejet. Cette qualité des eaux épurées favorise leur réutilisation en irrigation agricole tout en limitant les risques de pollution.

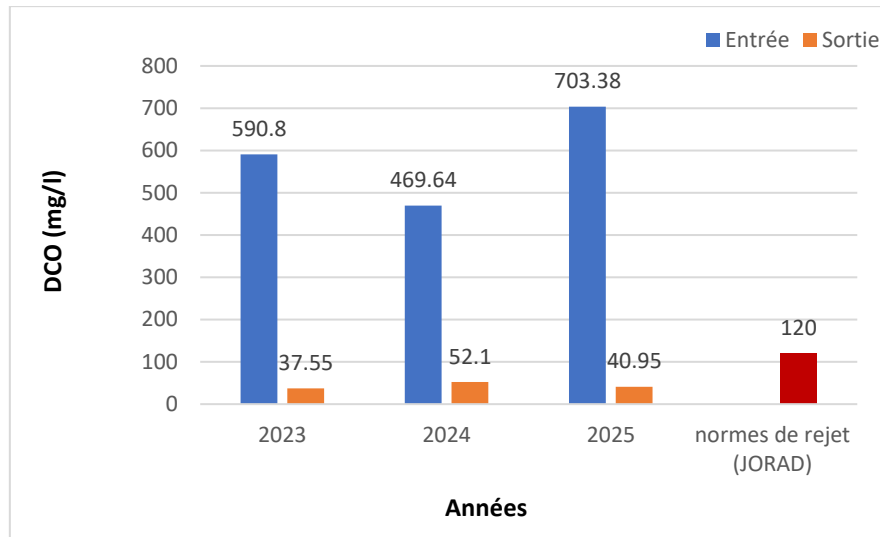


Figure IV.4 : Concentrations en DCO sur la période 2023–2025

IV.2.5 Les Nitrates (NO_3^-)

Le graphique montre une diminution progressive des concentrations en nitrates (NO_3^-) à l'entrée de la station entre 2023 et 2025, passant de 5,95 mg/l à 2,42 mg/l (Figure IV.5), ce qui traduit une amélioration de la qualité de l'eau brute. Parallèlement, les concentrations mesurées à la sortie restent nettement plus faibles, avec une efficacité de traitement qui s'améliore au fil des années. Alors que la réduction des nitrates est limitée en 2023, elle devient très importante en 2024 et 2025, où les valeurs en sortie sont inférieures à 1 mg/l.

Ces résultats confirment la bonne performance de la station d'épuration et son efficacité croissante dans l'élimination des nitrates, favorisant ainsi une meilleure qualité de l'eau pour une éventuelle réutilisation en irrigation agricole.

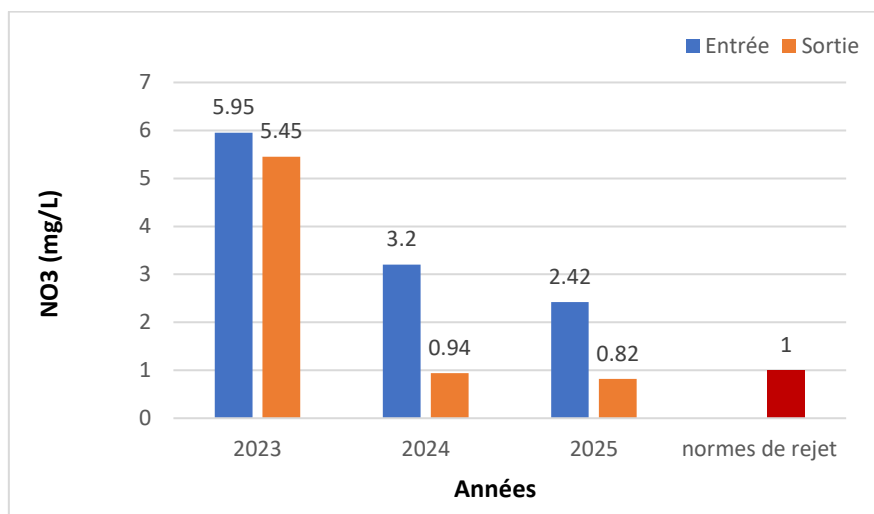


Figure IV.5 : Concentrations en Nitrates sur la période 2023–2025

IV.2.6 Les Nitrites (NO_2^-)

L'augmentation des concentrations en nitrites (NO_2^-) à la sortie de la STEP par rapport à l'entrée entre 2023 et 2025 traduit une nitrification incomplète (Figure IV.6). La transformation de l'ammonium en nitrites est réalisée correctement, mais leur oxydation en nitrates reste limitée en raison d'une activité insuffisante des bactéries nitrite-oxydantes (NOB).

Cette situation peut être causée par un manque d'oxygène dissous, une charge ammoniacale élevée ou un temps de séjour des boues insuffisant. En irrigation agricole, des teneurs élevées en nitrites peuvent présenter un risque de toxicité pour certaines cultures sensibles et altérer le développement des plantes. Une surveillance régulière de ce paramètre est donc nécessaire afin de garantir une réutilisation sûre des eaux épurées.

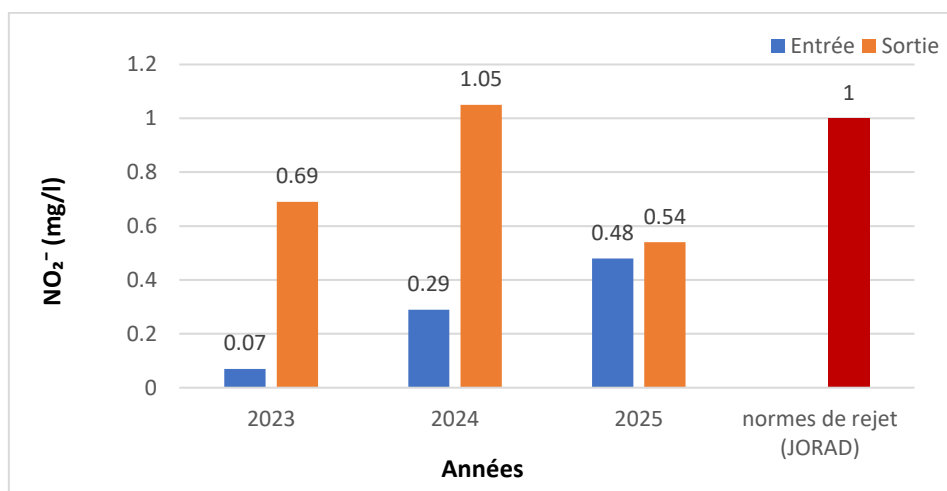


Figure IV.6 : Comparaison des concentrations en Nitrites sur la période 2023–2025

IV.2.7 Le Phosphore (PO_4^{3-})

L'année 2023 présente un très faible rendement d'élimination du phosphore (environ 7 %), ce qui indique une efficacité limitée du procédé de déphosphatation. Cette situation peut être liée à un fonctionnement insuffisant du traitement biologique ou à l'absence d'un traitement physico-chimique adapté.

À partir de 2024, les performances de la station s'améliorent nettement avec un rendement d'abattement d'environ 64 %, maintenu en 2025. Cette amélioration peut s'expliquer par une optimisation des conditions d'exploitation ou par une meilleure gestion du traitement du phosphore.

Malgré cette progression, les concentrations résiduelles en phosphore doivent rester sous contrôle, En irrigation agricole, le phosphore constitue toutefois un élément nutritif bénéfique pour les cultures lorsqu'il est présent à des concentrations modérées.

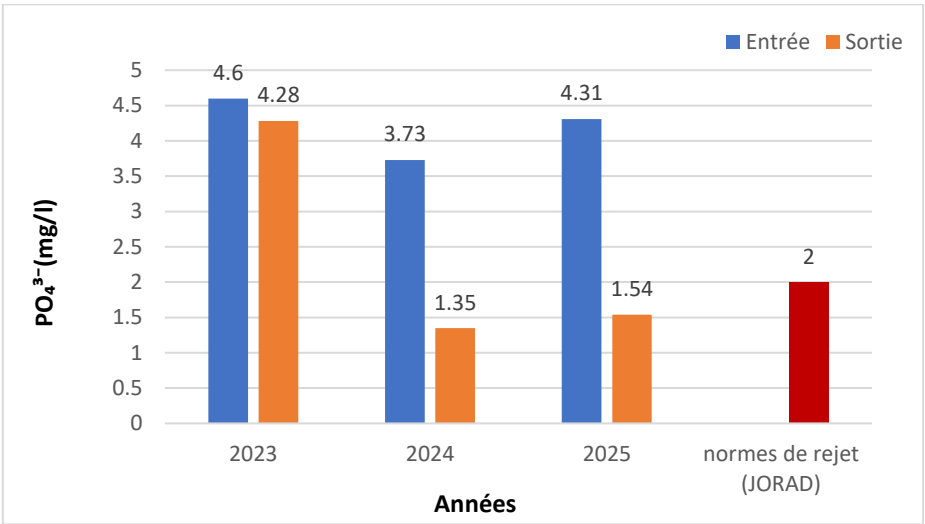


Figure IV.7 : Concentrations de Phosphore sur la période 2023–2025

IV.2.8 Métaux lourds

L’analyse des métaux lourds dans l’effluent traité de la STEP de Saïda montre globalement des concentrations très faibles. La majorité des éléments toxiques (Pb, Cd, Cr, Ni, Co, Zn et Fe) présentent des valeurs inférieures aux limites de détection ou très proches de zéro ce qui traduit une bonne efficacité du traitement vis-à-vis de la pollution métallique. Cette situation indique que la station parvient à réduire efficacement les apports en métaux lourds issus des eaux usées, limitant ainsi les risques de contamination du milieu récepteur.

Par ailleurs, seuls le cuivre (Cu = 0,1 mg/L) et le manganèse (Mn = 0,1 mg/L) sont détectés à de faibles concentrations restant toutefois dans des niveaux considérés comme acceptables pour la réutilisation en irrigation (Tableau IV.6).

Dans l’ensemble, ces résultats montrent une bonne qualité de l’eau épurée et suggèrent un potentiel favorable pour la réutilisation agricole tout en soulignant la nécessité d’un suivi régulier afin d’éviter toute accumulation progressive des métaux dans les sols à long terme.

Tableau IV.6 : les résultats d'analyse des métaux lourds des eaux usées épurées de la STEP de Saïda (04/12/2025) (ONA., 2026)

Métal	Unité	Résultat
Nickel	mg/L	<0,1
Cuivre	mg/L	0,1
Plomb	mg/L	<0,2
Chrome	mg/L	<0,5
Zinc	mg/L	<0,05
Cadmium	mg/L	<0,05
Cobalt	mg/L	<0,1
Fer	mg/L	<0,1
Manganèse	mg/L	0,1

IV.3 Analyses physico-chimiques des eaux usées au cours de la période d'étude

Les analyses physico-chimiques durant la période d'irrigation permettent de surveiller la qualité de l'eau au moment précis où elle est apportée aux cultures.

Ce suivi est essentiel pour vérifier que l'eau de la STEP reste stable riche en nutriments et sans danger (pas d'excès de sel ou de pollution) pour le développement du blé, épinards et du haricot vert pendant les mois de croissance.

IV.3.1 La Température

La température des eaux usées épurées varie généralement entre 15 et 25 °C, avec des fluctuations saisonnières pouvant atteindre 10 °C en hiver et 30 °C en été. Elle constitue un paramètre important influençant les processus biologiques ainsi que la qualité du rejet dans le milieu récepteur (Belgacem, 2021).

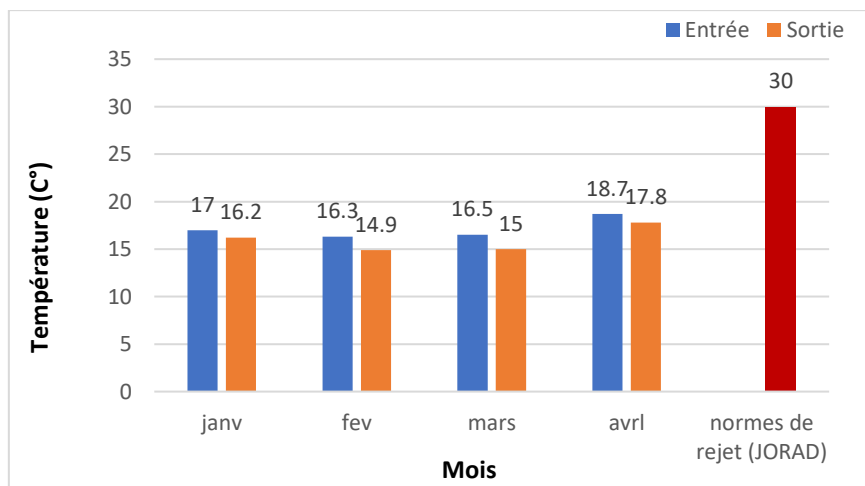


Figure IV.8 : Répartition de la température

On a remarqué que les températures mesurées dans les deux types d'eau sont presque semblables. Les valeurs varient de 14,9 à 18,7 °C (Figure VI.8), ce qui montre qu'elles sont conformes aux dispositions réglementaires nationales relatives à l'irrigation ($T < 30$ °C). De plus, ces températures restent favorables au bon fonctionnement de la station d'épuration, car elles assurent une activité optimale des bactéries responsables de la dégradation de la matière organique et contribuent ainsi à une bonne efficacité du traitement des eaux usées.

IV.3.2 PH

Le pH des eaux usées est généralement compris entre 6,5 et 8,5 favorables au développement des micro-organismes responsables des processus biologiques d'épuration. Plusieurs études menées en Algérie ont montré que le pH des eaux usées épurées se situe généralement entre 7 et 8 conformément aux normes de rejet (Belhadji, 2016).

Les analyses montrent que le pH des eaux usées à l'entrée et à la sortie de la station d'épuration de Saida s'est situé entre 7,43 et 7,97 durant la période d'étude. L'eau est légèrement alcaline et présente un pH stable (Figure IV.9), ce qui favorise le bon fonctionnement des processus de traitement biologique.

Le pH à la sortie est légèrement supérieur à celui à l'entrée en raison des réactions biologiques et chimiques qui se produisent pendant le traitement. Toutes les valeurs enregistrées sont conformes aux normes recommandées pour le rejet et la réutilisation des eaux usées traitées à des fins d'irrigation.

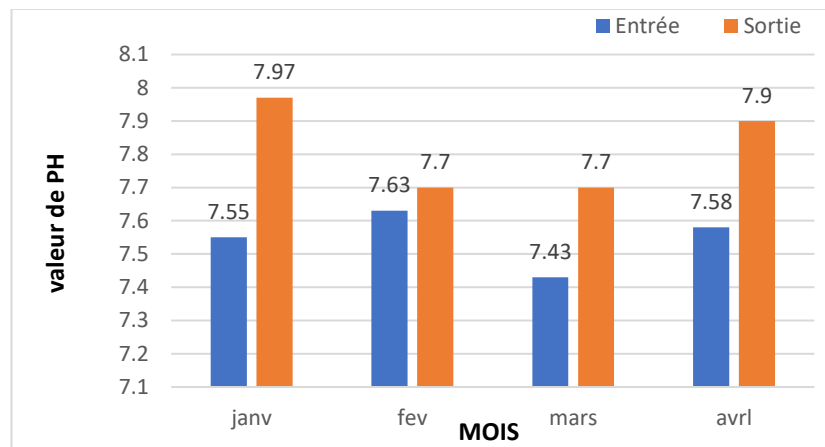


Figure IV.9 : Répartition du PH

IV.3.3 Conductivité (CE)

La mesure de la conductivité électrique, est probablement l'une des plus simples et plus importantes pour le contrôle de la qualité des eaux résiduaires. La figure IV.10 indique l'évolution des valeurs de la conductivité.

Les valeurs de la CE à l'entrée varient entre 2341 et 2575 $\mu\text{S}/\text{cm}$, tandis qu'à la sortie elles varient entre 2100 et 2130 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La valeur la plus élevée est enregistrée au mois d'avril, ce qui peut être lié à une augmentation de la concentration des matières dissoutes dans les eaux usées.

Ces résultats indiquent une forte minéralisation dans ces eaux, ces valeurs élevées de la Conductivité ne dépasse pas celle de la norme limitée à 3ms/cm selon (JORAD, 2012).

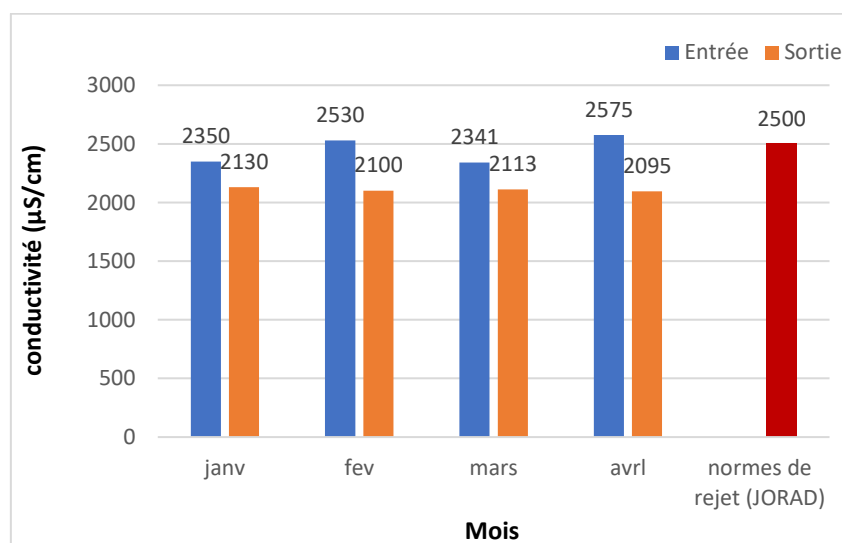


Figure IV.10 : Répartition de la conductivité

IV.3.4 Matière en suspension (MES)

Selon les résultats obtenus, les concentrations journalières de MES mesurées à l'entrée et à la sortie de la STEP de Saïda montrent des variations au cours de la période d'étude. D'après les normes du JORAD (2009), la plupart des valeurs enregistrées restent inférieures à 500 mg/L à l'entrée et à 30 mg/L à la sortie de la station d'épuration (Ammam, 2020).

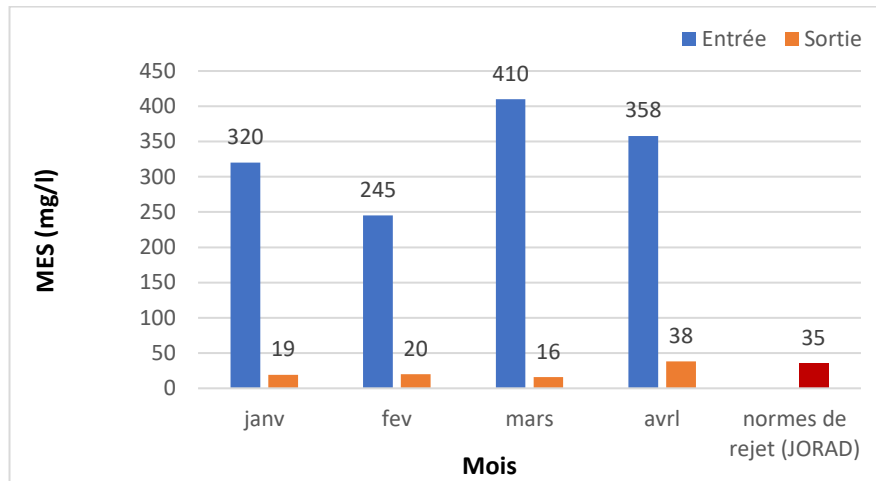


Figure IV.11 : Répartition de la MES

IV.3.5 Demande Biochimique en Oxygène en 5 jours (DBO₅)

L'analyse des résultats de la DBO₅ au niveau de la STEP de Saïda montre des valeurs élevées à l'entrée de la station, variant entre 212,5 et 428 mg/l, ce qui traduit une forte charge en matières organiques biodégradables dans les eaux usées brutes. En revanche, les valeurs enregistrées à la sortie sont nettement plus faibles, comprises entre 9 et 22,75 mg/l (Figure IV.12). Cette diminution importante témoigne d'un bon rendement épuratoire de la station dans l'élimination de la pollution organique. Les concentrations obtenues à la sortie respectent généralement les normes de rejet, ce qui indique l'efficacité du traitement biologique appliqué au sein de la STEP de Saïda.

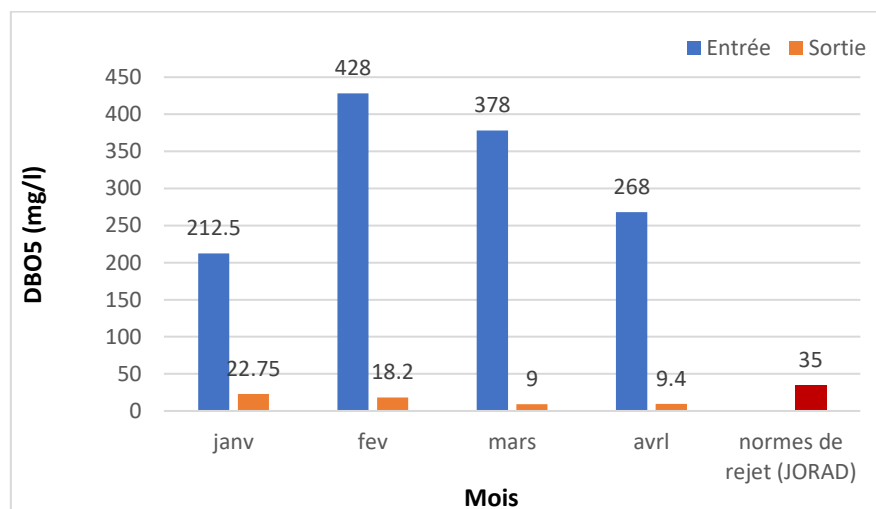


Figure IV.12 : Répartition DBO₅

IV.3.6 Demande Chimique en Oxygène (DCO)

L'analyse de la DCO montre des valeurs élevées à l'entrée de la STEP de Saïda (347 à 927 mg/L), indiquant une forte charge organique des eaux usées. Après traitement, les valeurs chutent entre 25 et 39,1 mg/L (Figure IV.13), ce qui traduit une bonne efficacité de la station dans l'élimination de la pollution organique et le respect des normes de rejet.

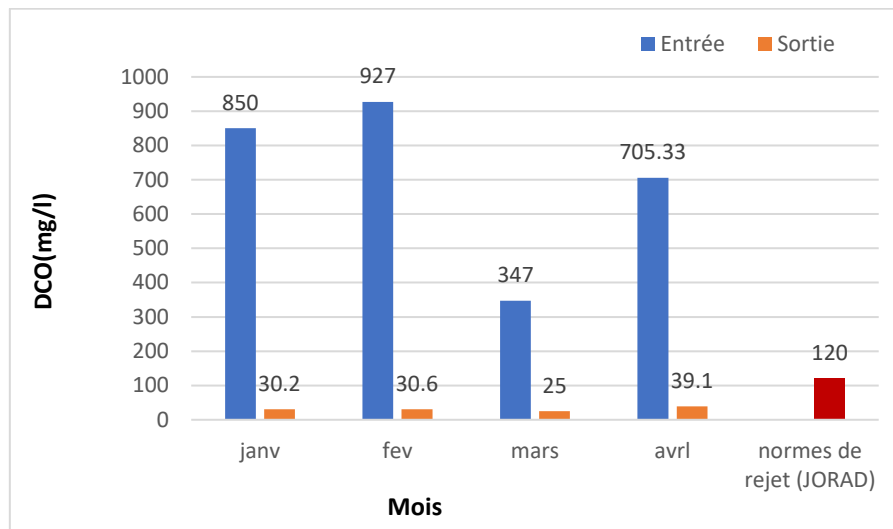


Figure IV.13 : Répartition de la DCO

VI.3.7 Le Rapport (DCO/DBO5)

Le rapport permet de dimensionner les stations d'épuration (STEP). Si le rapport est faible, une station à boues activées est adaptée. S'il est très élevé, des traitements complémentaires (oxydation avancée, charbon actif) sont souvent nécessaires (l'Industrie, 2006)

Le rapport DCO/DBO5 montre une variation importante de la biodégradabilité des eaux usées entre janvier et avril. En janvier, la valeur élevée à l'entrée (4,0) indique une pollution difficilement biodégradable, probablement liée à des rejets industriels, tandis qu'en mars (0,92), l'eau apparaît très facilement biodégradable. Les rapports observés en février et avril traduisent une biodégradabilité moyenne.

En sortie de station, l'augmentation du rapport en mars et avril montre une élimination efficace de la matière organique biodégradable par le traitement biologique. Cependant, la valeur élevée enregistrée en avril en sortie (4,16) peut indiquer la présence d'une charge chimique résiduelle nécessitant un traitement complémentaire.

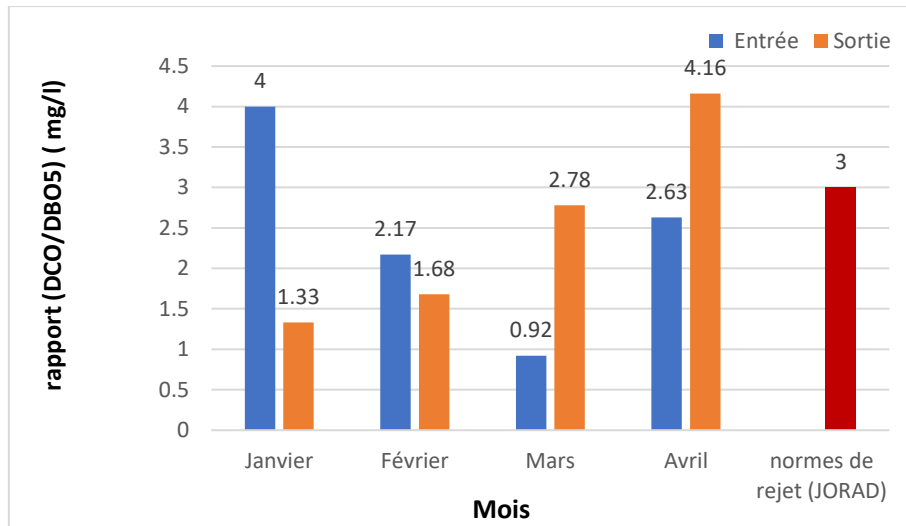


Figure IV.14 : Rapport de biodégradabilité (DCO/DBO5)

IV.3.8 Les Nitrites (NO_2^-)

L'analyse des nitrites montre que les concentrations à l'entrée de la station restent élevées et relativement stables, traduisant une charge importante en azote dans les eaux brutes. Après traitement, on observe une forte diminution des teneurs en sortie, avec une amélioration progressive de l'efficacité au fil des mois (Figure IV.15).

En janvier, le rendement est encore moyen en raison de l'effet des basses températures qui ralentissent l'activité des bactéries nitrifiantes. À partir du mois de février, le système devient beaucoup plus performant avec des concentrations très faibles en sortie. Globalement, la station assure une très bonne épuration des nitrites.

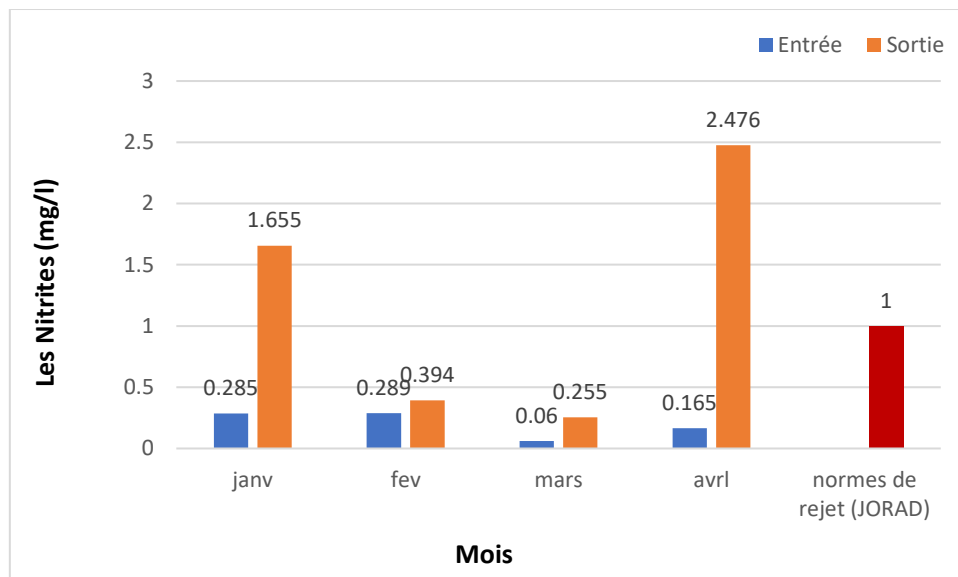


Figure IV.15 : Répartition des Nitrites

IV.3.9 L'ammonium (NH_4^+)

Le graphique montre des concentrations élevées d'ammonium à l'entrée (35,7 à 40,1 mg/l), indiquant une charge stable. À la sortie, on observe une forte diminution après le mois de janvier (19,25 mg/l), puis des valeurs très faibles en février, mars et avril ($\approx 0,8$ à 1,6), ce qui traduit une amélioration nette et une bonne efficacité de nitrification de la station d'épuration.

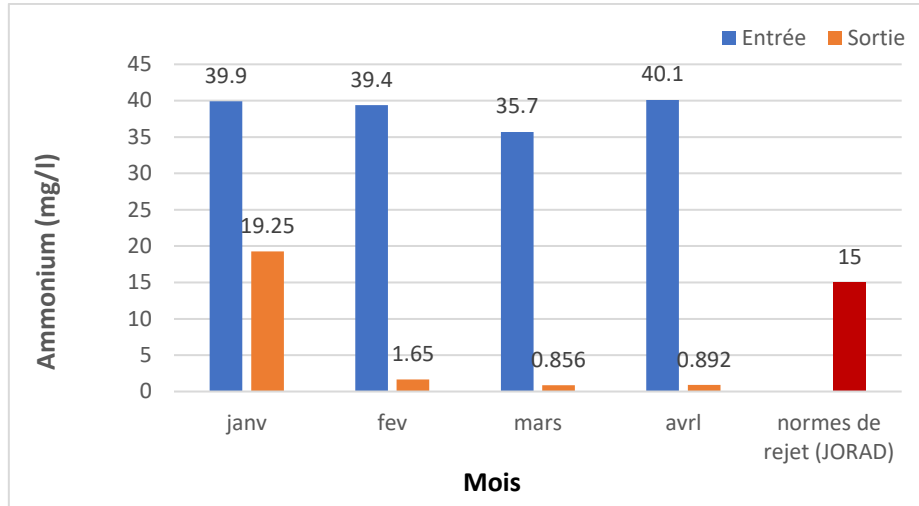


Figure IV.16 : Répartition de l'ammonium (NH_4^+)

Les eaux usées épurées issues de la station d'épuration peuvent être considérées comme une source d'eau non conventionnelle renouvelable, susceptible d'être valorisée dans le domaine agricole.

Afin d'apprécier la qualité des eaux traitées de la STEP de Saïda et leur aptitude à l'irrigation, une comparaison a été réalisée entre les valeurs maximales des paramètres physicochimiques obtenues au cours de la période d'étude, représentant le cas le plus critique, et les limites recommandées par les normes algériennes ainsi que celles de la FAO.

IV.4 Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation

Selon la réglementation algérienne en vigueur, notamment les normes fixées par le Journal Officiel (JORAD), les eaux usées épurées destinées à la réutilisation doivent répondre à des exigences microbiologiques strictes afin de préserver la santé publique et l'environnement. Le contrôle microbiologique repose principalement sur la surveillance des germes indicateurs de contamination fécale, notamment les coliformes fécaux et les œufs d'helminthes, dont les concentrations doivent rester inférieures aux limites réglementaires. Le respect de ces normes constitue une condition essentielle pour garantir une réutilisation sûre des eaux usées traitées en particulier dans le domaine de l'irrigation agricole (Kherici, 2019).

Cependant l'utilisation de ces eaux en irrigation nécessite certaines précautions notamment le contrôle du drainage et des caractéristiques du sol afin d'éviter l'accumulation des sels dans la zone racinaire. Dans les régions semi-arides à forte évaporation les risques de salinisation peuvent réduire la fertilité des sols et affecter les cultures sensibles (Bouaroudj, 2012).

L'évaluation des eaux épurées doit également prendre en compte d'autres paramètres comme l'alcalinité, le SAR (Sodium Adsorption Ratio), les ions spécifiques (Na^+ , Cl^- , Br^-) ainsi que les métaux lourds Cd, Cu, Mo, Ni, Zn, Hg et Pb. L'efficacité de la réutilisation dépend aussi du mode d'irrigation (gravitaire ou goutte-à-goutte ou aspersion), du type de sol et des cultures pratiquées (FAO, 2003).

IV.5 Normes de réutilisation des eaux épurée en agriculture

IV.5.1 Normes physico-chimique

Les normes physico-chimiques des eaux de réutilisation en irrigation selon le Journal officiel N° 41 du 15 juillet 2012 sont présentées dans le tableau N°04 suivant (MOUSSA, 2025)

Tableau IV.7 : Normes physico-chimique

PARAMETRES		UNITÉ	CONCENTRATION
Physiques	PH		$6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$
	MES	mg/l	30
	CE	ds/m	3
	Infiltration de SAR	ds/m	0.2
	3 à 6		0.3
	6 à 12		0.5
	12 à 20		1.3
Chimiques	DBO5	mg/l	30
	DCO	mg/l	90
	NO2	mg/l	1
	NO3	mg/l	1
	PO4	mg/l	2
	NH4	mg/l	15

IV.5.2 Normes microbiologiques

Les normes microbiologiques servent à évaluer la présence éventuelle de micro-organismes pathogènes dans les eaux usées épurées destinées à la réutilisation agricole. Les coliformes fécaux (CFU/100 ml) sont utilisés comme indicateurs de contamination d'origine fécale. Plus leur concentration est faible, plus le risque sanitaire pour les agriculteurs et les consommateurs est réduit.

IV.5.2.1 Irrigation non restrictive (< 100 CFU/100 ml)

Cette norme est plus stricte car elle concerne les cultures pouvant être consommées crues (laitue, tomate, fraise, etc.), les espaces verts accessibles au public et les terrains de sport. Une faible concentration en coliformes fécaux est nécessaire afin de limiter tout risque de transmission de maladies. (MOUSSA, 2025).

IV.5.2.2 Irrigation restrictive (< 250 CFU/100 ml)

Cette norme s'applique aux cultures qui ne sont généralement pas consommées crues ou qui subissent une transformation avant consommation, comme les céréales, les cultures industrielles ou les fourrages. Elle englobe également les arbres fruitiers à condition que le système d'irrigation utilisé (comme le goutte-à-goutte) évite tout contact direct de l'eau usée traitée avec les fruits et que ces derniers ne soient pas récoltés au sol. Le risque de contact direct avec les consommateurs étant plus faible, une concentration légèrement plus élevée en coliformes fécaux est tolérée.

IV.6 Évaluation de la compatibilité entre la qualité des eaux usées traitées et les exigences agronomiques des cultures étudiées

IV.6.1 Blé (*Triticum aestivum*)

Le blé est une culture céréalière dont les besoins nutritifs sont principalement liés à l'azote, au phosphore. Une concentration en azote total comprise entre 20 et 50 mg/L, associée à des teneurs en nitrates de 10 à 30 mg/L, favorise la croissance végétative et le remplissage des grains.

Le phosphore, présent sous forme de phosphore total (5 à 15 mg/L) ou de phosphates (5 à 30 mg/L), contribue au développement du système racinaire et à l'amélioration de l'absorption des nutriments.

Le potassium, à des concentrations comprises entre 10 et 40 mg/L, renforce la résistance de la plante aux stress hydrique et thermique.

Le blé présente également une bonne tolérance à la salinité et peut être irrigué avec des eaux modérément minéralisées sans diminution significative du rendement.

L'absence constatée de pollution métallique dans les eaux épurées de la STEP de Saïda garantit la sécurité sanitaire des récoltes de blé. Le risque de transfert de métaux dans la chaîne alimentaire est donc écarté.

IV.6.2 Haricot vert (*Phaseolus vulgaris*)

Le haricot vert est une culture légumière exigeante en phosphore et en potassium, nécessaires respectivement au développement racinaire, à la floraison et à la formation des gousses. Bien qu'il soit capable de fixer une partie de l'azote de l'air, il bénéficie d'une teneur modérée en azote total (10 à 30 mg/L) et en nitrates (5 à 20 mg/L) durant les premiers stades de croissance.

Les concentrations optimales en phosphore total et en phosphates sont respectivement de 5 à 15 mg/L et de 5 à 20 mg/L. Un excès d'azote peut retarder la formation des gousses au profit du feuillage. Les teneurs mesurées dans notre étude restent toutefois modérées, ce qui permet d'éviter l'apparition de ce phénomène.

Le haricot vert est aussi sensible à la salinité et nécessite une conductivité électrique inférieure à 3 dS/m pour maintenir un bon rendement. Les concentrations en MES, DBO₅ et DCO devraient rester inférieures à 30 mg/L, 20 mg/L et 60 mg/L afin d'éviter la dégradation des propriétés du sol.

Les teneurs en nitrites et en ammonium doivent également demeurer faibles (< 0,5 mg/L et < 5 mg/L respectivement). Enfin, une surveillance des métaux lourds, notamment du cadmium, du plomb, du chrome et du nickel, est indispensable pour prévenir leur accumulation dans les gousses et garantir la qualité sanitaire de la production (FAO., 1985).

IV.6.3 Épinard (*Spinacia oleracea*)

L'épinard est une culture foliaire particulièrement sensible à la qualité de l'eau d'irrigation en raison de sa forte capacité d'accumulation des nitrates dans les feuilles, ce qui constitue un risque direct pour la sécurité sanitaire des récoltes. Pour cette raison, les concentrations en nitrates doivent être strictement limitées à des valeurs inférieures à 10–20 mg/L, tandis que les nitrites doivent rester en dessous de 0,2 à 0,5 mg/L en raison de leur toxicité élevée. Les apports en azote total doivent être modérés (10–25 mg/L) afin d'éviter une accumulation excessive dans les tissus végétaux. Le phosphore, compris entre 5 et 12 mg/L, joue un rôle essentiel dans le développement racinaire et le métabolisme énergétique.

En tant que légume-feuille l'épinard exige de grandes quantités d'azote pour sa croissance végétative. La présence de nutriments azotés et phosphorés dans l'eau de la STEP est une opportunité de fertilisation gratuite (effet fertilisant).

Dans le contexte de la réutilisation des eaux épurées de la STEP de Saïda, les paramètres de pollution organique doivent rester faibles, avec des concentrations maximales de 30 mg/L pour les MES, 20 mg/L pour la DBO₅ et 60 mg/L pour la DCO, afin de préserver la structure du sol.

Enfin, un contrôle rigoureux des métaux lourds est indispensable pour éviter toute contamination des feuilles consommées fraîches, notamment le cadmium ($\leq 0,01$ mg/L), le plomb (≤ 5 mg/L), le chrome ($\leq 0,1$ mg/L) et le nickel ($\leq 0,2$ mg/L).

Tableau IV.8 : Exigences de qualité des eaux usées traitées pour l'irrigation du blé, du haricot vert et de l'épinard

Paramètre	Unité	Recommandations FAO pour l'irrigation	Blé	Haricot vert	Épinard
pH	-	6,5 – 8,4	6,0 – 8,0	6,0 – 7,5	6,5 – 7,5
Conductivité électrique (CE)	dS/m	< 3 (aucune restriction)	Tolérance jusqu'à 6	< 3	< 3
MES	mg/L	< 30	< 30	< 30	< 30
DBO ₅	mg O ₂ /L	< 30	< 30	< 30	< 30
DCO	mg O ₂ /L	< 90	< 90	< 90	< 90
Nitrates (NO ₃ ⁻)	mg/L	5 – 30	10 – 30	5 – 25	10 – 25
Nitrites (NO ₂ ⁻)	mg/L	< 1	< 1	< 0,5	< 0,5
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/L	< 5	< 5	< 2	< 2
phosphates (PO ₄ ³⁻)	mg/L	0,1 – 2	0,5 – 1,5	0,5 – 1,5	0,5 – 1,5
Cadmium (Cd)	mg/L	$\leq 0,01$	$\leq 0,01$	$\leq 0,01$	$\leq 0,01$
Chrome (Cr)	mg/L	$\leq 0,10$	$\leq 0,10$	$\leq 0,10$	$\leq 0,10$
Nickel (Ni)	mg/L	$\leq 0,20$	$\leq 0,20$	$\leq 0,20$	$\leq 0,10$
Plomb (Pb)	mg/L	$\leq 5,00$	$\leq 5,00$	$\leq 0,50$	$\leq 0,50$

Source: (FAO., 1990)

Remarque :

D'après nos résultats, l'eau traitée peut toujours être considérée comme apte à la réutilisation agricole dans des conditions contrôlées. Malgré l'absence d'une étape de traitement tertiaire à la station d'épuration de Saïda, qui repose principalement sur la chloration, les eaux épurées conservent une qualité acceptable pour l'irrigation de certaines cultures. De plus, sa teneur en nutriments résiduels notamment en azote et en phosphore peut contribuer positivement à la fertilité des sols en agissant comme un engrais d'appoint. Toutefois, cette réutilisation doit être gérée avec soin afin de prévenir tout risque potentiel pour les cultures, les sols et la santé publique.

IV.7 Conclusion

L'étude comparative des paramètres physico-chimiques des eaux usées traitées de la STEP de Saïda sur trois années consécutives montre une bonne stabilité des performances épuratoires. Les rendements d'élimination de la pollution organique et des matières en suspension (DBO₅, DCO et MES) respectent rigoureusement les normes de rejet. Malgré quelques variations annuelles liées aux conditions d'exploitation et aux caractéristiques des eaux brutes la qualité des effluents traités reste satisfaisante.

Du point de vue agricole, les eaux épurées présentent un intérêt important grâce à une salinité modérée et à la présence de nutriments (azote et phosphore), pouvant contribuer à la fertilisation des sols tout en réduisant l'utilisation d'engrais chimiques.

Ainsi, les eaux traitées de la STEP de Saïda constituent une ressource alternative durable pour l'irrigation, sous réserve d'un suivi régulier de leur qualité et d'une gestion raisonnée des pratiques d'irrigation.

CHAPITRE V

RESULTATS ET DISCUSSION

V.1 Introduction

Ce chapitre présente les résultats obtenus au cours de cette étude. Il est consacré à l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux usées épurées issues de la STEP de Saïda ainsi qu'à l'étude de leur potentiel de réutilisation en irrigation agricole. Les paramètres étudiés ont permis d'apprécier les performances épuratoires de la station et la conformité des eaux traitées aux normes applicables à la réutilisation agricole.

Par ailleurs, une étude expérimentale a été menée sur plusieurs espèces végétales, à savoir le haricot vert, les épinards et le blé, afin d'évaluer l'effet des eaux usées épurées sur leur croissance en longueur et en biomasse, en comparaison avec une irrigation à l'eau de source.

V.2 Analyses des plantes

L'évaluation de l'impact de la qualité de l'eau d'irrigation sur le développement végétatif des cultures examinées s'appuie sur l'analyse des plantes, qui est une étape essentielle. L'évaluation de la performance de croissance a été effectuée en se basant sur des critères morphologiques simples et illustratifs, notamment la taille et le poids des plantes. Ces paramètres servent à mesurer la réaction de chaque culture face à la nature et à la qualité de l'eau consommée. Les parties suivantes présentent et analysent les résultats obtenus.

V.2.1 Analyse morphologique des cultures

La mesure des critères morphologiques des plantes en évaluant les caractéristiques physiques et structurelles des végétaux pour apprécier leur croissance et leur développement. Parmi les principaux critères morphologiques mesurés figurent notamment la longueur (ou la hauteur) des plantes, le poids frais ou sec des plantes soumises aux diverses conditions expérimentales.

V.2.1.1 Évolution de la croissance en longueur

L'accroissement en hauteur représente l'augmentation progressive de la taille des plantes avec le temps. Elle est estimée par l'examen de la taille des divers cultures végétales à des intervalles réguliers, ce qui permet de visualiser leur développement et de mettre en parallèle l'impact d'irrigation avec les eaux usées épurées sur leur développement.

Tableau V.1 Évolution de la croissance en longueur des cultures irriguées avec le temps

Echantillon	Nature et longueur des plantes (cm)			
	Haricot vert irrigué par eau usée épurée	Haricot vert irrigué par eau de source	Les épinards irrigués par eau usée épurée	Les épinards irrigués par eau de source
	Date de semis 09/03/2026			
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
Echantillon	Le 16/03/2026			
1	2	1	2	1
2	2	2	3	2
3	2	1	2	1
Echantillon	Le 23/03/2026			
1	5	4	5	3
2	4,5	3,5	6	4
3	4	3	5	3
Echantillon	Le 30/03/2026			
1	8	7	7	5
2	7,5	6,5	8	6
3	7	6	6	5

Echantillon	Le 06/04/2026			
1	15	13	8	6
2	13	12	9	6
3	14	11	8	5
Echantillon	Le 14/04/2026			
1	20	17	12	7
2	18	15	13	8
3	19	14	11	6
Echantillon	Le 22/04/2026			
1	27	20	15	8
2	23	18	16	9
3	22	17	14	7
Echantillon	Le 29/04/2026			
1	33	22	18	9
2	27	20	19	10
3	26	19	17	9
Echantillon	Le 05/05/2026			
1	40	24	21	11
2	29	22	22	12
3	28	21	20	10
Echantillon	Le 14/05/2026			
1	43	28	24	14
2	32	25	25	15
3	30	25	23	13

Tableau VI.2 Évolution de la croissance en longueur de Blé traité et Blé non traité

	Nature et longueur des plantes (cm)			
Les Dates	Blé traité irrigué par eau usée épurée	Blé traité irrigué par eau de source	Blé non traité irrigué par eau usée épurée	Blé non traité irrigué par eau de source
09/03/2026	0	0	0	0
13/03/2026	3	2	4	3
15/03/2026	6	5	7	5
18/03/2026	9	8	10	8
25/03/2026	14	13	16	14
31/03/2026	18	16	20	17
07/04/2026	22	18	24	21
14/04/2026	25	21	28	23
19/04/2026	27	23	32	25
25/04/2026	28	24	36	27
30/04/2026	33	25	40	32
06/05/2026	37	27	45	35
14/05/2026	40	30	50	38

Remarque : Le blé traité est le blé ayant reçu un traitement fongicide ou fertilisant à base de soufre.

V.2.1.1.1 Croissance en longueur des haricots verts

L'augmentation de la longueur des haricots vert irrigués par les eaux usées épurées est principalement liée à la présence d'éléments nutritifs favorisant la croissance végétative (Figure V.1 au V.4). L'azote notamment sous forme de nitrates (NO_3^-), stimule la division et l'élongation cellulaires, tandis que le phosphore fournit l'énergie nécessaire au développement des tissus végétaux.

Le potassium améliore l'absorption de l'eau et l'activité enzymatique, alors que le magnésium favorise la photosynthèse grâce à son rôle dans la chlorophylle. Le calcium participe également à la formation des nouvelles cellules. Ainsi, la richesse des eaux usées épurées en nutriments a contribué à une croissance plus rapide et à des longueurs plus élevées des plantes par rapport à celles irriguées avec l'eau potable.



Figure V.1 Haricot vert irrigué par eau usée épurée



Figure V.2 Haricot vert irrigué par eau de source

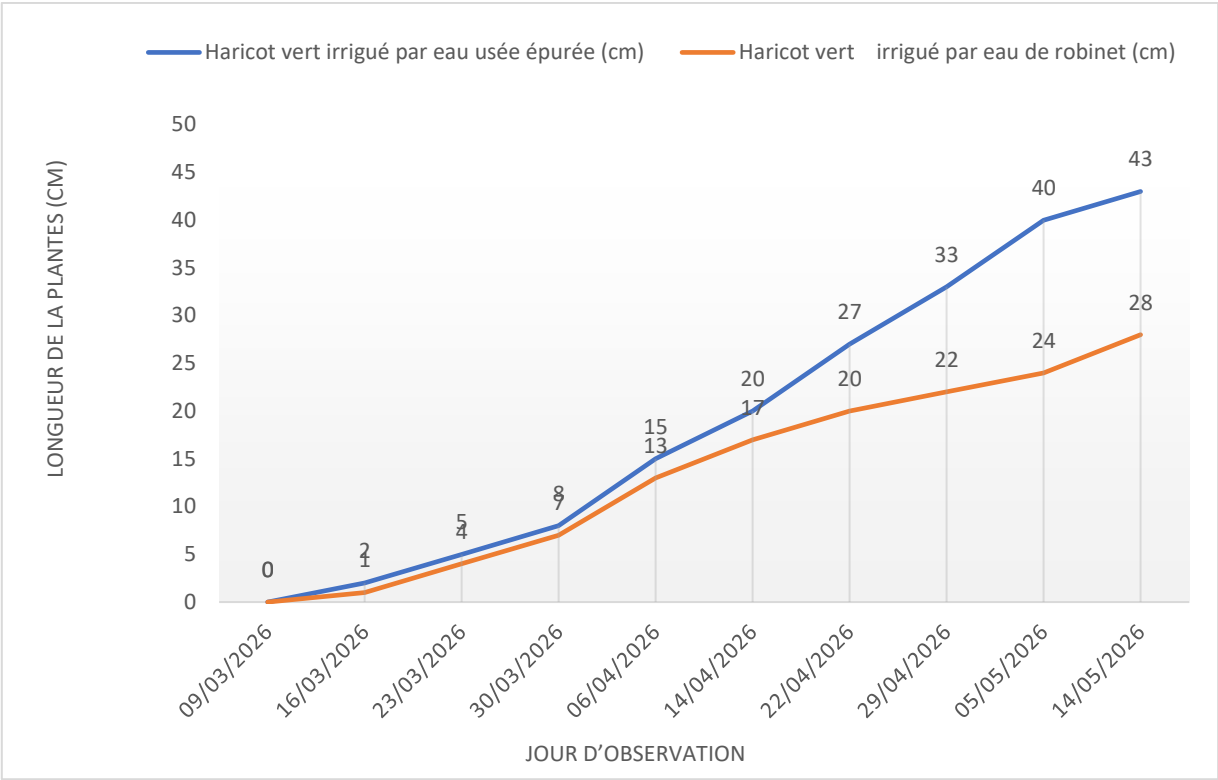


Figure V.3 Évolution de la croissance en longueur du haricot vert (Echantillon N.01)

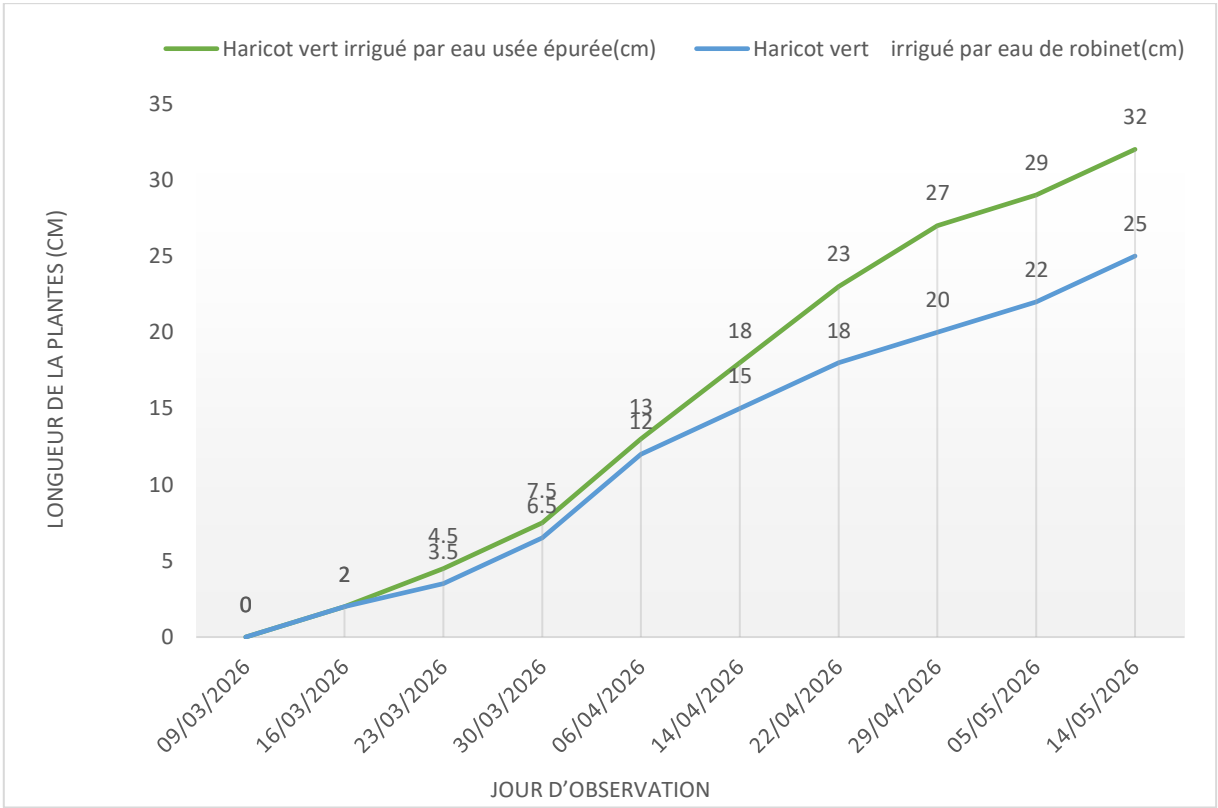


Figure V.4 Évolution de la croissance en longueur du haricot vert (Echantillon N.02)



Figure V.5 Rendement des trois échantillons de haricot vert irrigués par eaux usées épurées



Figure V.6 Rendement des trois échantillons de haricot vert irrigués par l'eau de source

V.2.1.1.2 Croissance en longueur des épinards

Les graphes montrent une augmentation continue de la longueur des épinards durant toute la période d'expérimentation, avec de meilleures performances pour les plantes irriguées par les eaux usées épurées et leur taille atteint environ 23-25 cm contre 13-15 cm pour celles irriguées par l'eau témoin (Figure V.7 et V.8).

L'écart devient plus marqué à partir du mois d'avril où la croissance des plantes traitées s'accélère. Cette différence s'explique par la richesse des eaux usées épurées en nutriments essentiels (azote, phosphore et potassium), qui stimulent la croissance végétative favorisent l'élongation cellulaire et améliorent la photosynthèse. Elle est également renforcée par la présence d'oligo-éléments tels que le fer, le zinc et le manganèse, indispensables à l'activité enzymatique et à la synthèse de la chlorophylle, ainsi que par le magnésium qui joue un rôle clé dans la photosynthèse.

De plus, la matière organique et l'activité microbienne du sol améliorent la disponibilité des nutriments et la structure du sol, ce qui favorise le développement racinaire et, par conséquent, une croissance plus importante en longueur.

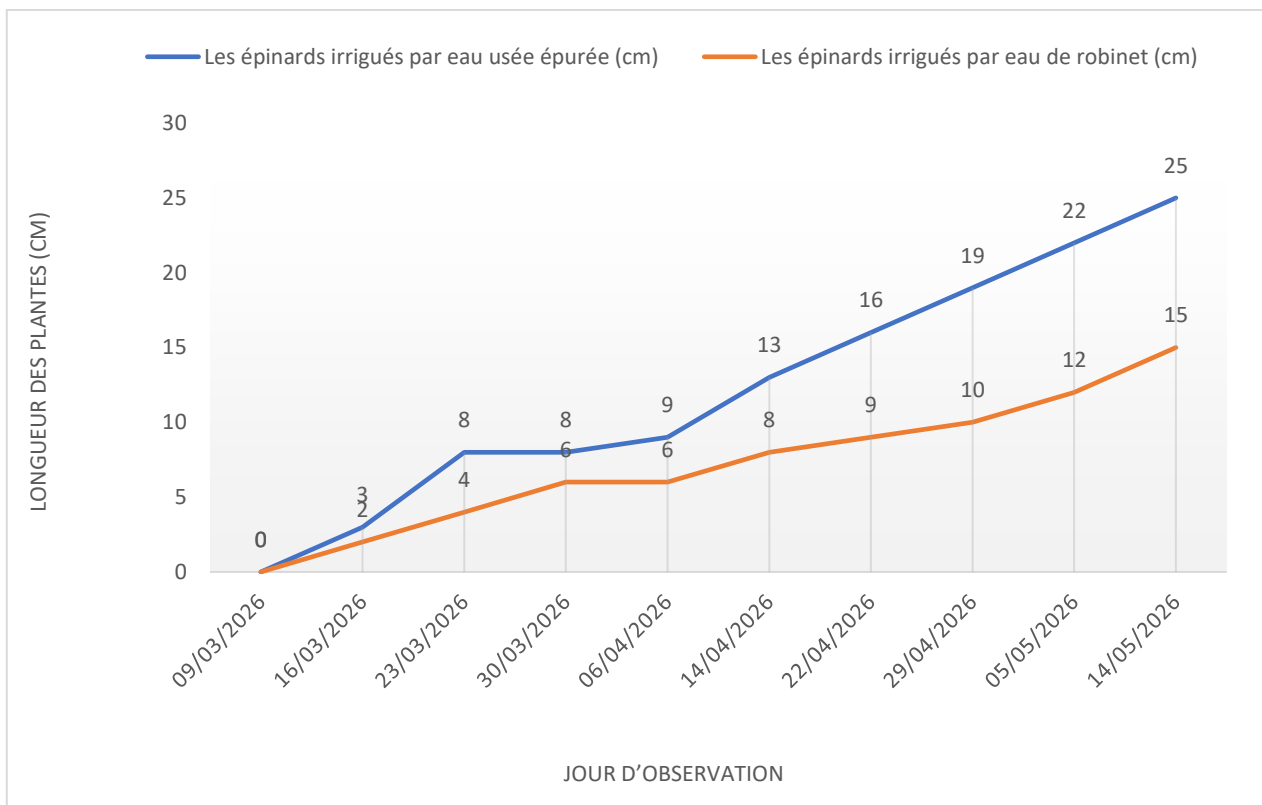


Figure V.7 Évolution de la croissance en longueur des épinards (Echantillon N.02)

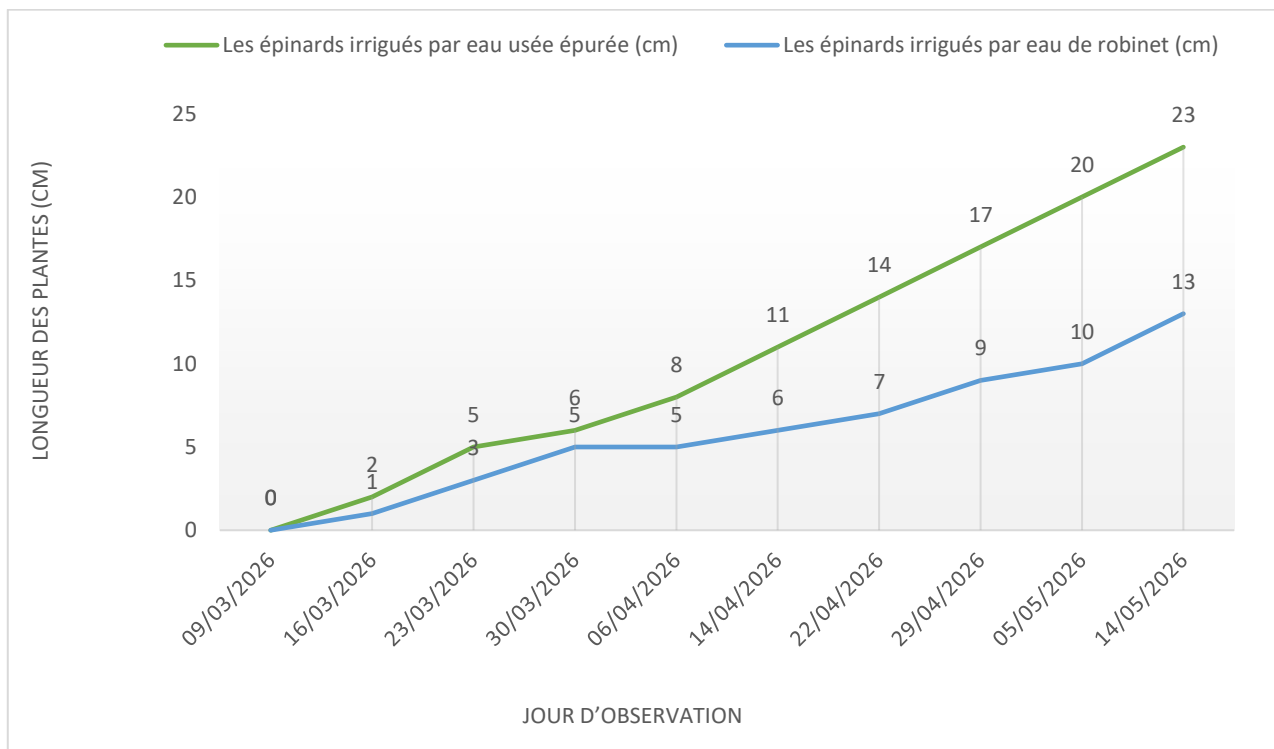


Figure V.8 Évolution de la croissance en longueur des épinards (Echantillon N.03)

V.2.1.1.3 Croissance en longueur du blé

Le graphique met en évidence une progression régulière de la croissance en hauteur du blé tout au long de l'expérimentation, avec des résultats nettement supérieurs pour les plants irrigués par les eaux usées épurées. Ceux-ci atteignent environ 40 cm pour blé traité et 50 cm pour blé non traité, contre près de 30 cm pour blé traité et 38 pour blé non traité arrosés à l'eau témoin.

À partir de la mi-avril, l'écart entre les deux types d'eau devient plus marqué, traduisant une accélération plus importante de la croissance des plantes (Figure V.9 et V.10).

Cette différence peut être expliquée par l'apport nutritif plus riche des eaux usées traitées, qui fournit aux plantes une meilleure disponibilité en éléments indispensables à la croissance. Ces conditions favorisent une activité physiologique plus intense, notamment au niveau de la division cellulaire et du développement des tissus. De plus, l'amélioration de la nutrition minérale permet une meilleure efficacité des processus biologiques liés au développement en hauteur du blé.

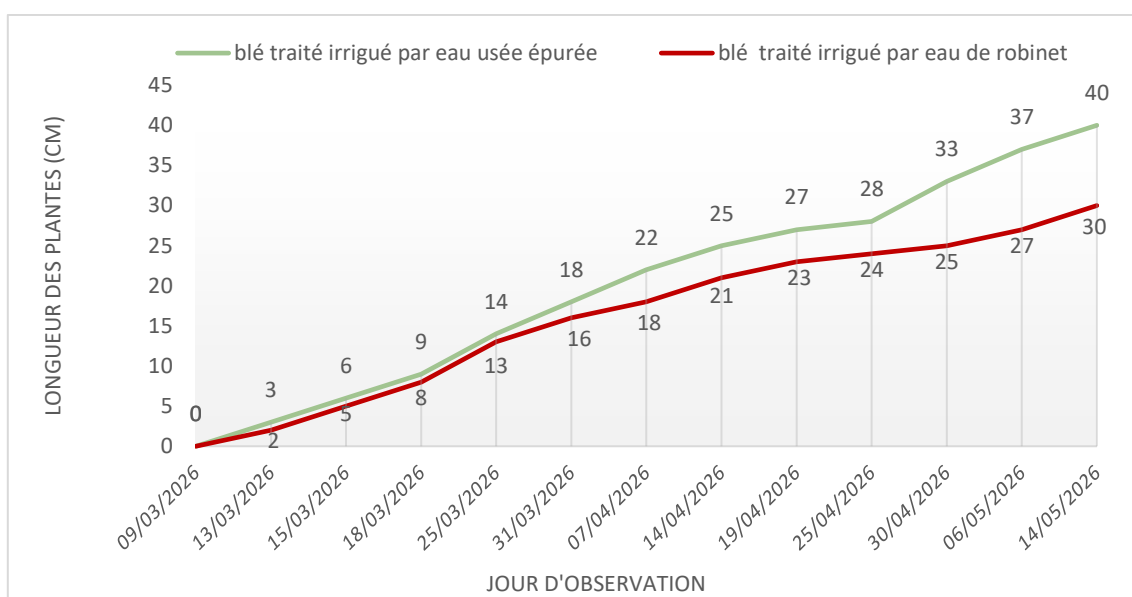


Figure V.9 Évolution de la croissance en longueur du blé traité

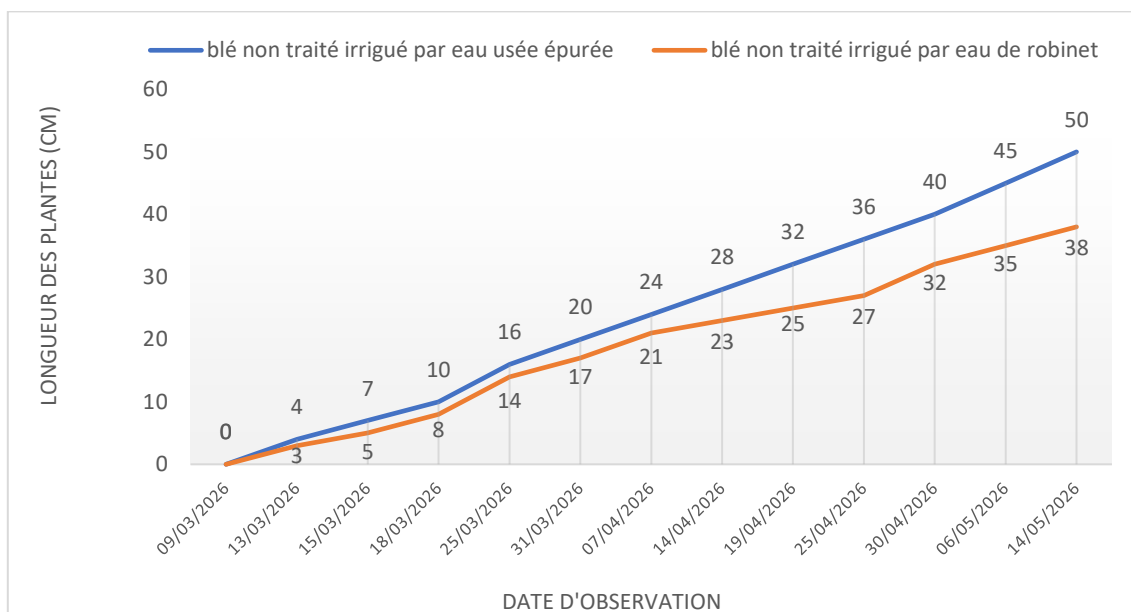


Figure V.10 Évolution de la croissance en longueur du blé non traité

V.2.1.2 Évolution de la croissance en poids

L'évolution de la croissance en poids désigne l'augmentation ou la diminution du poids des plantes au cours du temps, utilisée comme indicateur de leur croissance et de leur développement.

Tableau VI.5 Évolution de la croissance en poids des Haricot vert et Les épinards

Date	Numéro d'échantillon	Poids (g)			
		Haricot vert irrigué par eau usée épurée	Haricot vert irrigué par eau de source	Les épinards irrigués par eau usée épurée	Les épinards irrigués par eau de source
09/03/2026	1	4	4	2	2
	2	4	4	2	2
	3	4	4	2	2
25/03/2026	1	34	25	20	20
	2	30	28	22	18
	3	28	22	20	19
08/04/2026	1	63	45	35	30
	2	54	38	33	27
	3	49	36	30	29
20/04/2026	1	135	98	67	45
	2	110	77	54	42
	3	105	65	50	35
14/05/2026	1	250	130	110	75
	2	190	110	98	65
	3	185	99	95	62
23/05/2026	1	320	180	126	103
	2	280	150	115	90
	3	270	140	108	87

Tableau V.6 Évolution de la croissance en poids de blé traité et de blé non traité

Date	Blé traité irrigué par eau usée épurée	Blé traité irrigué par eau de source	Blé non traité irrigué par eau usée épurée	Blé non traité irrigué par eau de source
09/03/2026	30	30	30	30
25/03/2026	70	55	80	60
08/04/2026	180	150	200	170
20/04/2026	360	290	390	300
14/05/2026	450	390	520	422

V.2.1.2.1 Évolution de la croissance en poids des haricots vert

Depuis le 23/03/2026, on constate une tendance différentielle de la croissance : les haricots vert irrigués par l'eau usée épurée (EUE) connaissent une croissance plus avantageuse que ceux irrigués par l'eau de source, avec un progrès progressif de la différence entre les deux modes d'irrigations (de 09 - 140 g). Ce phénomène se distingue particulièrement au cours de la moitié de la durée de l'expérience, qui se situe au alentour du 20/04/2026, moment au cours duquel les haricots verts irrigués par l'EUE démontrent une croissance plus forte que ceux irrigués par l'ER. Ainsi, à la date précitée, le poids total de biomasse obtenue pour les haricots verts irrigués par l'EUE s'élève à 320g, contre 180g pour ceux irrigués par l'eau témoin, ce qui signifie que la différence est de (+140 g). Ces observations attestent la réaction positive de l'usage des eaux usées épurées sur le développement du haricot vert. Il semble que l'utilisation de l'eau usée épurée (EUE) a contribué plus efficacement à augmenter le poids des haricots verts qu'avec l'utilisation de l'eau de source.

Bien qu'une grande partie des contaminants soit retirée au cours de d'épuration, ces eaux présentent en général un taux élevé de nutriments nécessaires au développement des plantes, comme l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K). Ces éléments servent de nutrition pour le développement physiologique des plantes en aidant dans leur croissance, leur développement de tissus et accumulation de biomasse. Cette présence élevée de minéraux pourrait donc justifier la meilleure performance enregistrée chez les plants de haricot vert utilisant l'EUE.

Ces éléments peuvent être considérés comme un engrais naturel pour la plante, favorisant son développement, tout en permettant à la plante d'accumuler plus de biomasse par rapport à l'eau témoin, qui est moins riche en nutriments.

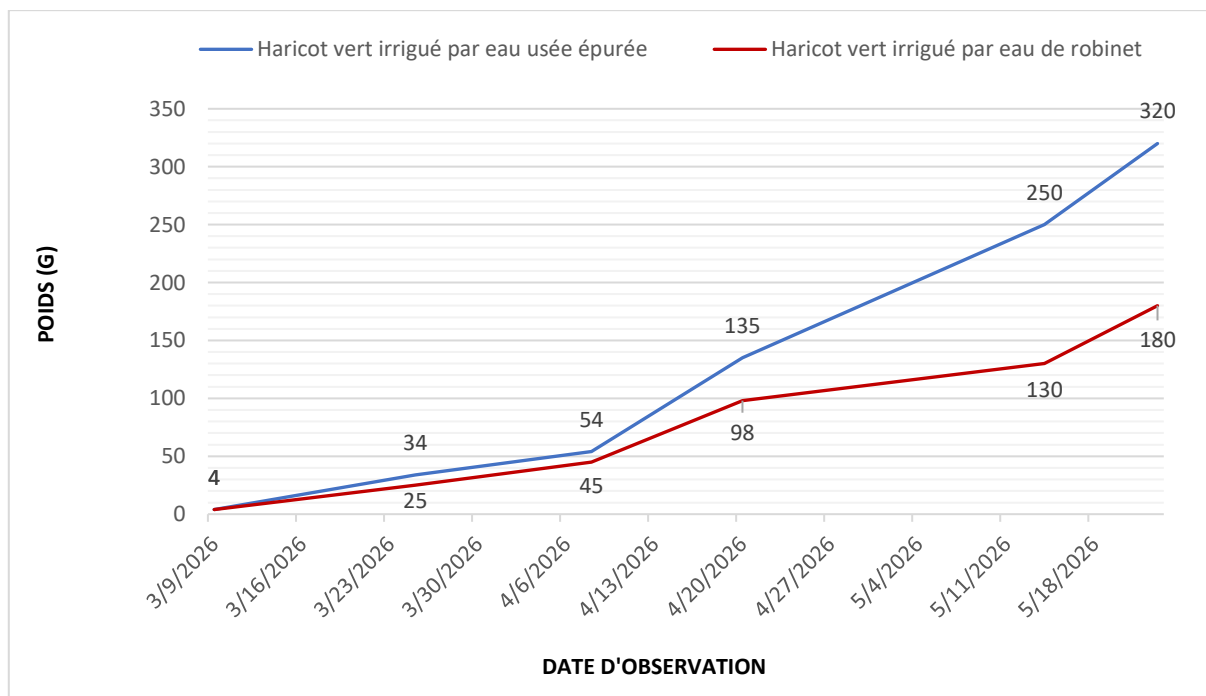


Figure V.11 Évolution de la croissance en poids du Haricot vert (Echantillon 01)

V.2.1.2.2 Évolution de la croissance en poids des épinards

Le graphe V.12 montre l'évolution du poids des épinards en fonction du type d'eau utilisée pour l'irrigation, au cours de la période allant du 09/03/2026 au 18/05/2026. Les deux cultures se développent de façon régulière, mais ceux qui sont irrigués par des eaux usées nettoyées (la courbe en bleu) développent un poids beaucoup plus élevé de 126 g par rapport aux autres (la courbe en orange) qui pèsent 103 g. Cela est dû au fait que les eaux usées contiennent davantage de nutriments essentiels et permettent un développement accru de la biomasse.

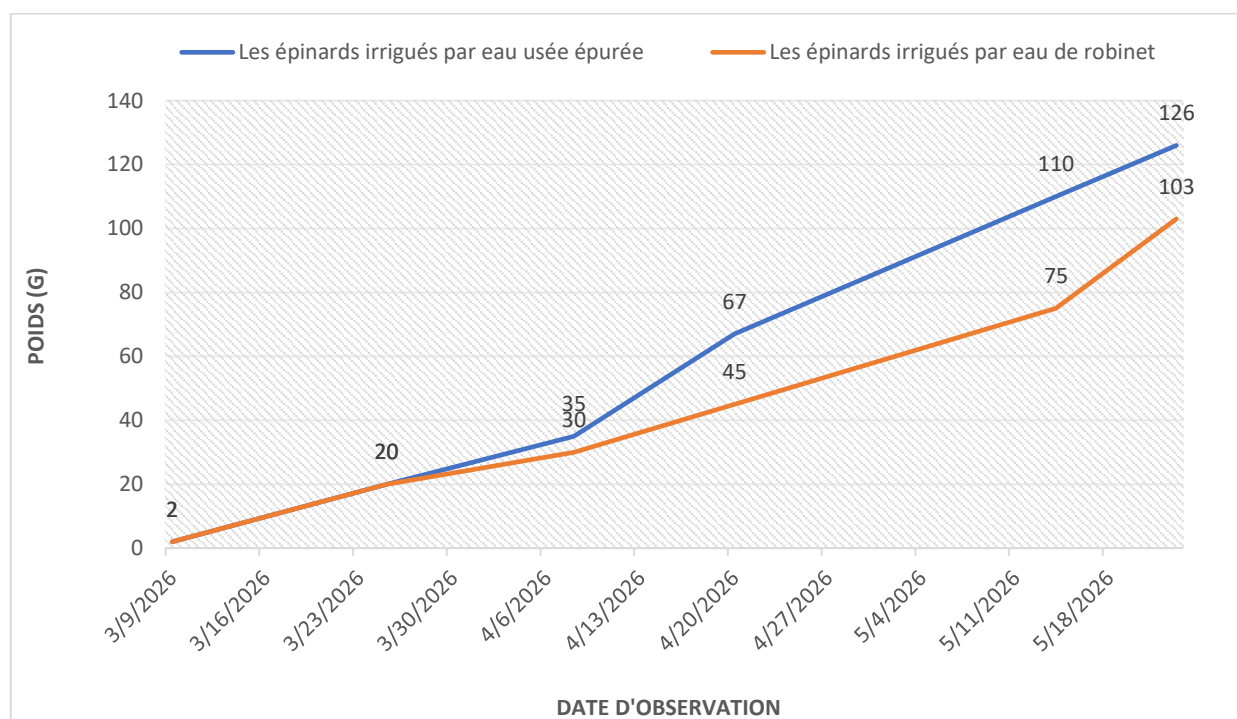


Figure V.12 Évolution de la croissance en poids du les épinards (Echantillon 01)

V.2.1.2.3 Évolution de la croissance en poids des blés traité et non traité

Les graphes ci-dessous (Figures V.13-V.14) montrent l'évolution du poids du blé cultivé dans deux types d'irrigations durant la période du 09/03/2026 au 11/05/2026. Les deux cas présentent une évolution de poids identique en début de période avec une croissance progressive. Toutefois, l'évolution diverge de plus en plus entre les deux cas avec un gain en poids plus important du blé irrigué avec l'eau usée épurée que celui irrigué avec l'eau de source.

A la fin des deux mois de cette expérimentation, la masse du blé irrigué avec l'EUE se monte à environ 450 g alors que celle du blé irrigué avec l'eau témoin est d'environ 390 g soit un gain en poids supplémentaire d'environ +60 g pour l'EUE. Cette différence révèle une plus grande accumulation de biomasse dans le cas de l'eau usée épurée. Le croisement est dû aux nutriments qui se trouvent dans les eaux usées.

Le blé étant une plante nécessitant beaucoup de nutriments en raison de sa nature céréalière, surtout l'azote et le phosphore, l'abondance de ces nutriments peut avoir un impact sur sa croissance.

L'azote est important dans la croissance végétative, la production de protéines et le stockage de biomasse. Une concentration totale d'azote qui se situe entre 15 et 50 mg/L, avec une concentration nitrée de 10 à 30 mg/L peut être bénéfique pour la croissance des plantes et l'embellissement des graines. L'élément phosphore total (entre 5 et 20 mg/L) est nécessaire dans la production du système racinaire et améliore l'absorption des oligo-éléments.

De fait, la présence de nutriments minéraux résiduels dans le liquide usé traité pourrait justifier la croissance supérieure du blé irrigué par EUE que le blé irrigué par l'eau témoin.

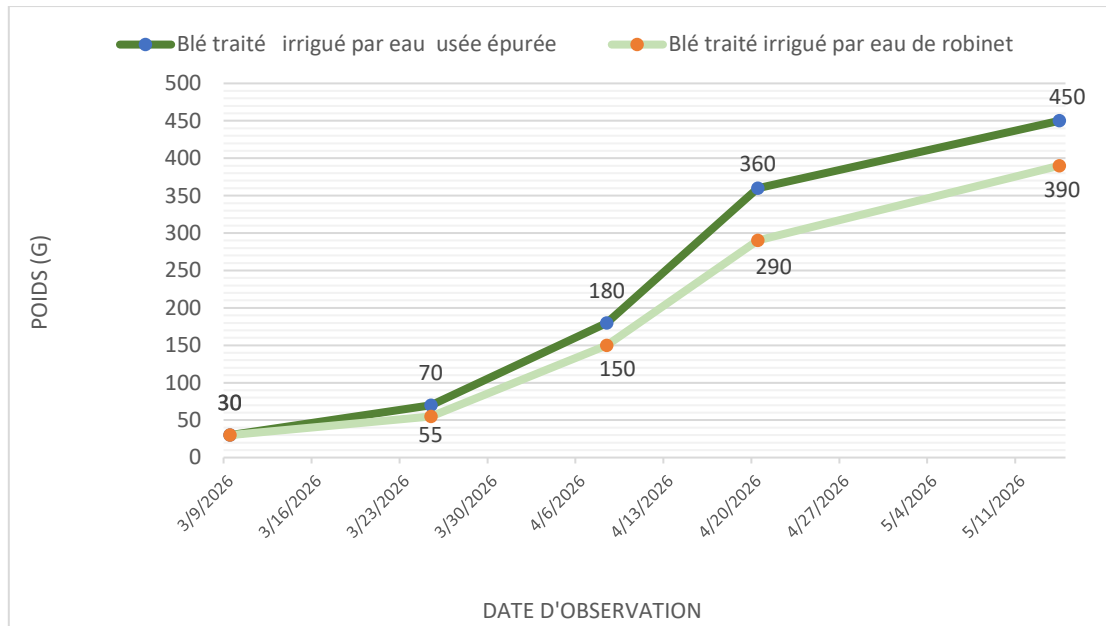


Figure V.13 Évolution de la croissance en poids du Blé traité

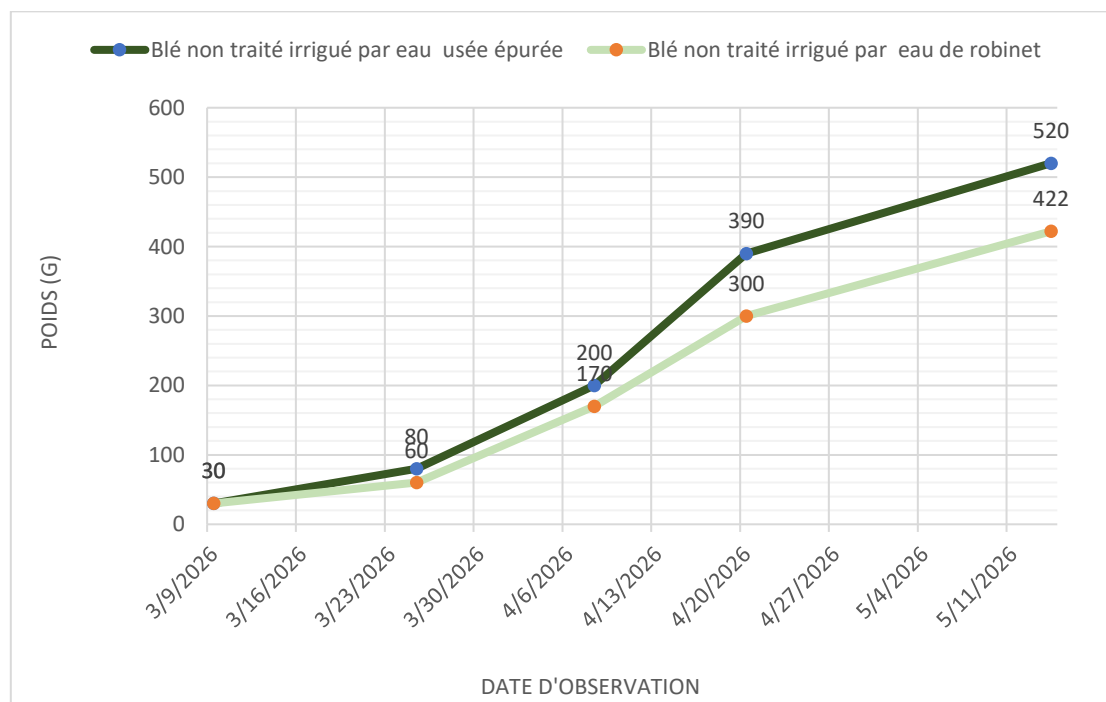


Figure V.14 Évolution de la croissance en poids du Blé non traité

V.3 Conclusion

Les résultats obtenus via les graphiques d'évolution de la longueur et du poids des plantes de haricot vert, de blé et d'épinard indiquent de manière claire qu'il existe des différences significatives entre les plantes arrosées par les eaux usées épurées et celles arrosées par de l'eau de source.

Les plantes arrosées par les eaux usées démontrent une croissance plus importante à la fois en terme d'hauteur mais aussi de biomasse. Cela s'explique par le fait que ces eaux contiennent des éléments nutritifs qui sont importants pour la croissance des plantes – l'azote (nitrates), le phosphore, le potassium et certains minéraux. Cela favorise l'activité physiologique des plantes en stimulant la division cellulaire, le développement des racines et le développement des tissus végétaux.

Donc, l'on peut dire que la culture de plantes en utilisant les eaux usées traitées apporte des effets positifs à la croissance des plantes. De plus, cela permet de réduire le coût de l'utilisation des engrais chimiques puisque les eaux usées traitées offrent déjà les éléments fertilisants nécessaires pour la croissance des plantes.

CONCLUSION GENERALE

La réutilisation des eaux usées épurées en agriculture représente aujourd'hui une alternative prometteuse pour faire face à la raréfaction des ressources hydriques et aux effets croissants du changement climatique. Dans les régions soumises à un stress hydrique important, cette pratique constitue une solution durable permettant de préserver les ressources conventionnelles tout en assurant la continuité de l'activité agricole.

La présente étude avait pour objectif d'évaluer la qualité des eaux usées épurées destinées à l'irrigation ainsi que leurs effets potentiels sur certaines cultures agricoles d'intérêt économique. Les analyses physico-chimiques réalisées ont permis de caractériser la qualité de ces eaux et de vérifier leur conformité aux normes et recommandations relatives à leur réutilisation en agriculture.

Les résultats obtenus montrent que les eaux usées épurées présentent des caractéristiques physico-chimiques globalement satisfaisantes pour une utilisation en irrigation. Les concentrations des différents paramètres étudiés demeurent dans les limites admissibles, témoignant de l'efficacité du traitement appliqué au niveau de la station d'épuration. Cette qualité contribue à réduire les risques environnementaux et sanitaires liés à l'utilisation d'eaux insuffisamment traitées.

L'évaluation de l'impact de ces eaux sur les cultures étudiées a révélé des effets favorables sur plusieurs paramètres de croissance. Les observations effectuées sur les cultures de haricot vert, d'épinard et de blé ont montré une bonne adaptation à l'irrigation par les eaux usées épurées, avec une amélioration de certains critères agronomiques par rapport aux conditions d'irrigation conventionnelles.

Par ailleurs, l'étude de l'effet de l'irrigation par les eaux usées épurées sur les échantillons végétaux étudiés a permis de mettre en évidence des résultats encourageants. Les observations réalisées sur le haricot vert, l'épinard et les blés ont montré une bonne réponse à l'irrigation par les eaux usées épurées. Les paramètres morphologiques suivis ont révélé une amélioration de la croissance des plantes par rapport aux témoins irrigués à l'eau de source.

Ces résultats peuvent être liés à la présence de certains éléments nutritifs dans les eaux usées épurées, notamment l'azote, le phosphore et le potassium, ainsi que d'autres éléments minéraux tels que le calcium, le magnésium et le fer. Ces éléments sont indispensables au développement des plantes et peuvent favoriser leur croissance lorsqu'ils sont présents à des concentrations appropriées.

En conclusion, les résultats obtenus montrent que les eaux usées traitées de la station d'épuration de Saïda présentent un potentiel intéressant pour la réutilisation agricole à condition que cette pratique soit réalisée dans un cadre contrôlé et conforme aux recommandations en vigueur. Malgré l'absence d'un traitement tertiaire complet et le recours principalement à la chloration la qualité des eaux épurées demeure globalement acceptable pour l'irrigation de certaines cultures. De plus, la présence résiduelle de nutriments constitue un avantage agronomique en contribuant à la fertilité des sols et en réduisant les besoins en fertilisants chimiques ce qui représente un avantage à la fois agronomique et économique.

Toutefois, afin de garantir une utilisation durable et sécurisée de cette ressource un suivi régulier de la qualité de l'eau ainsi qu'une gestion rigoureuse des risques sanitaires et environnementaux demeurent indispensables pour protéger les cultures, les sols et la santé humaine.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- Adegoke, A. Amoah, I. (2020). Epidemiological evidence and health risks associated with agricultural reuse of partially treated and untreated wastewater: A review. *Science of the Total Environmen.*
- Afrive. (2024). Réutilisation des eaux usées : le Maroc vise 100 millions de m³ par an d'ici 2027.
- Ahmad, T., Guria, C. (2020). A review of oily wastewater treatment using ultrafiltration membrane: A parametric study to enhance membrane performance. *Journal of Water Process Engineering.*
- Ammam, K., & Mokhtari, A. (2020). Impact de la réutilisation des eaux usées épurées de la station d'épuration de Saïda en agriculture (Mémoire de Master non publié, Université de Saïda Dr. Moulay Tahar.
- Angelakis, A. N., Asano, T., Bahri, A., Jimenez, B. E., & Tchobanoglous, G. (2018). Water reuse: From ancient to modern times and the future. *Frontiers in Environmental Science*, 6, 26.
- ANRH, Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH). (2025). Rapport des données hydrologiques annuelles : Station de Saïda.
- Bekkari, N. (2020). Étude et suivi du procédé d'épuration des eaux usées sous climat aride (simulation par l'application des méthodes d'intelligence artificielle) : Cas de la station d'épuration de Touggourt [Thèse de doctorat].
- Belgacem & Selmani, O. (2021). Étude des paramètres physico-chimiques des eaux usées épurées (Tizi-Ouzou). Mémoire de Master.
- Belhadji, H. &. (2016). & Moumeni, O. (2016). Étude des performances épuratoires d'une station d'épuration (Sebdou) Mémoire de master – Université de Tlemcen .
- Benaissa, A. (2021). Étude et dimensionnement d'une station d'épuration des eaux usées urbaines (Mémoire de Master). Université de Tlemcen, Algérie.

- Benchirrat, A. (2024); Impact de la réutilisation des eaux usées épurées en irrigation des terres agricoles en Algérie [Mémoire de master/Thèse, Ressources Hydrauliques].
- Bouaroudj, S. (2012). Impact de la réutilisation des eaux usées épurées sur les sols agricoles. Mémoire de Magister .
- 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 [Mémoire de master/Thèse, Sciences agronomiques].
- Bousnina, m. (2013). Mémoire de fin d'étude « etude d'impact de la reutilisation des eaux epurees pour l'irrigation le long de la vallee de l'oued saida sur l'environnement, 2013.
- Climat. (2025). Climat et moyennes météorologiques tout au long de l'année pour Saïda (Algérie). Disponible en ligne.
- Condom, N. (2015). Réutilisation des eaux usées pour l'irrigation agricole en zone péri- urbaine de pays en développement : Égypte – Agriculture dans le delta du Nil [Rapport].
- Data, C. (s.d.). Climate Data.org, 2025 “Climate of Saïda, Algeria: Köppen Geiger classification and climate data.
- Deloitte. (2015). Optimising water reuse in the EU: Public consultation analysis report.
- DRE. (2024). Direction des Ressources en Eau de Saïda. Rapport annuel sur la gestion des ressources en eau dans la wilaya de Saïda. Saïda.
- Eddy, M. &. (s.d.). Metcalf & Eddy — Wastewater Engineering, McGraw Hill — discussions sur les clarificateurs secondaires et la séparation solide/liquide dans les STEP.
- Etchebarne, F., Aveni, P.. (2019). Reuse of treated wastewater in viticulture: Can it be an alternative source of nutrient-rich water? BIO Web of Conferences, 12, 01009.
- FAO. (2003). Food and Agriculture Organization. (2003). Water quality for agriculture (Rev. 1). Rome, Italy : FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29.
- FAO. (2018). Food and Agriculture Organizations. (2003). Utilisation des eaux usées pour l'irrigation : Manuel d'utilisation.
- FAO. (1985). Ayers, R.S. & Westcot, D.W. (1985). Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29 Rev.1. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2024). Guidelines to Control Water Pollution from Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (1990). Food and Agriculture Organization (FAO). Water Quality for Agriculture – Irrigation and Drainage Paper 29 Rev.1.
- Guerroudj, H. (2017).Mémoire de fin d'étude « Etude physico-chimique des eaux usées de la STEP De Saïda.
- Helmecke, M. F. (2020), E., & Schulte, C. (2020). Regulating water reuse for agricultural irrigation: Risks related to organic micro-contaminants. Environmental Sciences Europe, 32(4).

- Idrisi, A. (2017). Modélisation et simulation numérique des écoulements à surface libre : Cas de l'oued Saïda (Mémoire de master). Université de Université Dr Moulay Tahar de Saïda, Saïda, Algérie.
- Belaidi Ismail ,2020 , Réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation : Cas de la STEP d'Aïn El Houtz (Wilaya de Tlemcen) [Mémoire de master, Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed].
- Jiménez-Cisneros, B. (2024). Water reuse and recycling. In *Comprehensive water quality and purification* (pp. 296–323). Elsevier.
- JORAD. (2012). Journal Officiel de la République Algérienne (JORAD), Annexe, Spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation. N° 41, 18 -21p.
- Kherici, N. (2019). Réutilisation des eaux usées traitées et risques de salinisation des sols agricoles. Mémoire de Master, Université de Mostaganem, Algérie .
- Kouamé. (2018). Kouamé, K. Y. (2018). Impacts de la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture sur les sols et la santé humaine (Mémoire de master, Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire).
- l'Industrie, D. R. (2006). Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE) Nord–Pas-de-Calais. Pollution organique. DREAL Hauts-de-France.
- Maki, A., & Chenini, F. (2023). Les eaux non conventionnelles pour le développement agricole dans les pays de l'Afrique du Nord [Rapport/chapitre].
- Meriem, B. (2020). Mémoire de fin d'étude Master 2, Contribution à l'étude hydrogéologique de la Source Ain Bent Soltane Wilaya de Saïda (Nord-Ouest De l'Algérie).
- Metahri, M. S. (2012). Élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée... : Cas de la STEP Est de Tizi Ouzou [Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri].
- Météorologie, O. N. (2025). Office National de météorologie, 2025, Rapport des données annuelles de l'office national de météorologie, station de Saïda.
- météorologiques. (2025). météorologiques, Info Climat. (2025). Rapport climatologique annuel 2025 de Saïda : Analyse des paramètres.
- Mezerai, F. (2023). Étude des performances épuratoires d'une station d'épuration des eaux usées par la méthode d'analyse des composantes principales (ACP), cas de la station d'épuration du complexe de Sebdu (Mémoire de master, University of Tlemcen).
- Meziane, K. (2020). Contribution à l'étude et à l'exploitation d'une station d'épuration des eaux usées – Cas de la STEP de Saïda (Mémoire de Master, Université Dr Moulay Tahar de Saïda).
- Milad, R. A. (2014). Evaluation of wastewater treatment plant efficiency and suitability of treated wastewater for irrigation purposes at Sirte City, Libya. *Journal of Advances in Agricultural Researches*.
- Moussa, B. (2025). Contribution à l'étude de la valorisation des eaux usées épurées dans l'irrigation (Cas région de Ouargla) [Thèse de doctorat, Université Kasdi Merbah Ouargla].
- N'Diaye, A. D., & Ould Kankou, (2014). Characterization of treated wastewater reused for agriculture in the vegetable farming area of Sebkha in Nouakchott, Mauritania. *Larhyss Journal*, 17, 91-100.

- ONA. (2018). Rapport sur la réutilisation des eaux usées traitées en Tunisie. Office National de l'Assainissement, Tunis.
- ONA. (2025). Office National de l'Assainissement, Fiche Technique D'exploitation de la Station D'épuration de la ville Saida ,2025.
- ONA. (2026). Office National de l'Assainissement (ONA), (2026). Compte rendu d'analyses de la station d'épuration de Saïda.
- ONM. (2022). Office National de la Météorologie (ONM). (2022). Données climatologiques de la station de saida.
- ONM. (2025). Office National de météorologie(ONM),2025, Rapport des données annuelles de l'office national de météorologie, station de Saida., 2025).
- OSS. (2024). OSS (2024). Stress hydrique et valorisation des eaux non conventionnelles en Afrique du Nord.
- Rodier J., Broutin J. P., Champsaur H. Rodi L., (2005). L'analyse De L'eau Eaux Naturelles, Eaux Résiduelles, Eaux De Mer. 8ème Ed. Dunod.1383 p.
- Sabbahi, S., Rouissi, A . (2026). From wastewater treatment plants to Oued Souhil agricultural experimentation unit: A study of treated wastewater quality reused for irrigation, Tunisia. Desalination and Water Treatm.
- Saeed, M. S., & Ahmad, I. (2020). Accumulation of heavy metals in soil and vegetables irrigated with treated wastewater. Environmental Monitoring and Assessmen.
- Suez. (2026). Réutilisation des eaux usées. Dans SUEZ Water Handbook. Consulté le 22 mai 2026.
- Tchobanoglous, G. Leverenz, H., Nellor, M., & Crook, J. (2011). Direct potable reuse: A path forward. WaterReuse Research Foundation / WaterReuse California.
- Tchobanoglous, G., Leverenz, H., Nellor, M., & Crook, J. (2011). Direct potable reuse: A path forward. WaterReuse Research Foundation / WaterReuse California.
- Thebo, A. L., Lambin, E. (2017). A global, spatially explicit assessment of irrigated croplands influenced by urban wastewater flows. Environmental Research Letters, 12(7), 074008.
- Wen, Y., Van De Giesen, N. (2017). Organic pollution of rivers: Combined threats of urbanization, livestock farming and global climate change. Scientific Reports, 7, 43289.
- Yakoub, B. (2022). Mémoire de Master La possibilité de la réutilisation des eaux usées épurées de la station d'épuration de la wilaya de Batna pour l'irrigation de la plaine d'El Madher .
- Yazid, B. (2014). Évaluation de la toxicité des eaux usées traitées par la station d'épuration de Guelma et son impact sur l'oignon « Allium cepa » [Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar].
- Youssef, B. (2020). Réutilisation des Eaux Usées Epurées en Algérie [Mémoire de master/Thèse, Hydraulique et technique des eaux].
- Zerrouki. (2023). Contribution à l'évaluation de la pollution organique des eaux usées par la DCO et la DBO5, Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla.

Résumé

L'Algérie fait face à un stress hydrique croissant lié à la rareté des ressources en eau et à l'augmentation des besoins agricoles. Dans ce contexte, la réutilisation des eaux usées épurées constitue une alternative prometteuse pour préserver les ressources conventionnelles et soutenir le développement agricole durable. Le présent travail a pour objectif d'évaluer la qualité des eaux usées traitées issues de la STEP SAIDA et d'étudier leur aptitude à l'irrigation de certaines cultures agricoles, notamment l'épinard, le haricot vert et les céréales (blé).

Des analyses physico-chimiques ont été réalisées afin de déterminer les principaux paramètres de qualité de l'eau et de vérifier leur conformité aux normes recommandées pour la réutilisation agricole. Les résultats obtenus montrent que les eaux usées traitées contiennent des éléments nutritifs susceptibles de contribuer au développement des cultures. L'étude met également en évidence que l'utilisation de ces eaux peut représenter une ressource complémentaire pour l'irrigation tout en réduisant la pression exercée sur les ressources hydriques conventionnelles.

La réutilisation des eaux usées épurées en agriculture constitue une solution durable permettant à la fois de valoriser les ressources en eau non conventionnelles et de répondre aux besoins croissants du secteur agricole.

Mots-clés: réutilisation des eaux usées épurées, qualité des eaux usées traitées, irrigation agricole, STEP de Saïda, épinard, haricot vert, blé.

Abstract

Algeria faces increasing water stress due to scarce water resources and rising agricultural needs. In this context, the reuse of treated wastewater represents a promising alternative for preserving conventional resources and supporting sustainable agricultural development. This study aims to evaluate the quality of treated wastewater from the SAIDA wastewater treatment plant and to investigate its suitability for irrigating certain agricultural crops, including spinach, green beans, and wheat.

Physiochemical analyses were conducted to determine the main water quality parameters and verify their compliance with recommended standards for agricultural reuse. The results show that the treated wastewater contains nutrients that can contribute to crop development. The study also highlights that the use of this water can represent a supplementary resource for irrigation while reducing pressure on conventional water resources.

In conclusion, the reuse of treated wastewater in agriculture is a sustainable solution that allows both the valorisation of unconventional water resources and the meeting of the growing needs of the agricultural sector.

Keywords: Treated wastewater reuse, treated wastewater quality, agricultural irrigation, Saida wastewater treatment plant, spinach, green beans, wheat.

ملخص

تواجه الجزائر ضغوطًا مائية متزايدة نتيجة ندرة مواردها المائية وتزايد احتياجاتها الزراعية. في هذا السياق، يُمثل إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة بديلاً واعداً للحفاظ على الموارد التقليدية ودعم التنمية الزراعية المستدامة. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم جودة مياه الصرف الصحي المعالجة من محطة معالجة مياه الصرف الصحي سعيدة ودراسة مدى ملاءمتها لري محاصيل زراعية محددة، كالسبانخ والفاصوليا الخضراء والحبوب. أُجريت تحليلات فيزيائية وكيميائية لتحديد أهم معايير جودة المياه والتحقق من مطابقتها للمعايير الموصى بها لإعادة استخدامها في الزراعة. تُظهر النتائج أن مياه الصرف الصحي المعالجة تحتوي على عناصر غذائية تُساهم في نمو المحاصيل. كما تُشير الدراسة إلى أن استخدام هذه المياه يمكن أن يُشكل مصدرًا إضافيًا للري، مع تخفيف الضغط على موارد المياه التقليدية وختامًا، تُعد إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في الزراعة حلاً مستدامًا يُتيح الاستفادة من موارد المياه غير التقليدية، وتلبية الاحتياجات المتزايدة للقطاع الزراعي.

الكلمات المفتاحية: إعادة استخدام المياه العادمة المعالجة، جودة المياه العادمة المعالجة، الري الزراعي، محطة معالجة المياه المستعملة بـ سعيدة، السبانخ، الفاصولياء الخضراء، القمح.