



Remerciements

Avant toute chose, je rends grâce à Dieu Tout-Puissant pour la force, la patience et la persévérance qui m'ont permis d'achever ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à mon encadrante, Mme BETATACHE Hayat, pour son encadrement rigoureux, ses orientations scientifiques pertinentes et sa disponibilité constante.

Mes remerciements s'adressent également aux membres du jury, qui ont accepté d'évaluer ce mémoire avec attention et dont les remarques constitueront un apport précieux à l'enrichissement de ce travail.

Je remercie aussi l'ensemble du corps professoral et administratif de l'École Nationale Supérieure d'Hydraulique, dont l'enseignement et l'accompagnement ont marqué mon parcours académique.

J'exprime enfin ma gratitude au personnel de la STEP d'El Rabta à Jijel, ainsi qu'à toutes les personnes et institutions qui ont contribué, directement ou indirectement, à la réalisation de ce mémoire.



Dédicaces

À mes chers parents, pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices silencieux et leur soutien indéfectible, sans lesquels ce parcours n'aurait jamais été possible. Merci aussi de m'avoir offert l'opportunité de découvrir, d'apprendre et de grandir à travers cette expérience.

À moi-même, pour la patience, la persévérance et le courage qui m'ont permis d'aller jusqu'au bout de ce chemin.

À mes frères et sœurs, compagnons de route et gardiens de mon bonheur, merci pour vos encouragements, vos sourires et votre soutien indéfectible.

À mes amis, merci pour les moments partagés, pour vos encouragements dans les épreuves et vos éclats de rire dans les instants de fatigue. Votre présence a donné une couleur particulière à ce parcours.

À toutes celles et ceux qui croient en moi et qui ont contribué, de près ou de loin, à ce modeste travail : je vous dédie une part de cette réussite.

ملخص

تلعب محطات معالجة المياه المستعملة دورًا محوريًا في حماية البيئة والصحة العامة من خلال الحفاظ على الموارد المائية. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم أداء محطة معالجة مياه الصرف الصحي بمنطقة الرابطة بولاية جيجل، اعتمادًا على تحاليل فيزيائية-كيميائية وبيولوجية للمياه المعالجة. كما تمت مقارنة النتائج بالمعايير التنظيمية لتحديد مدى كفاءة المعالجة، ودراسة إمكانية إعادة استخدام المياه المعالجة كخيار مستدام في إدارة الموارد المائية.

الكلمات المفتاحية: محطة معالجة المياه المستعملة، مياه الصرف الصحي، كفاءة المعالجة، إعادة الاستخدام.

Résumé

Les stations d'épuration jouent un rôle essentiel dans la protection de l'environnement et de la santé publique, en contribuant à la préservation des ressources en eau. Cette étude vise à évaluer les performances de la STEP d'El Rabta à Jijel à travers des analyses physico-chimiques et biologiques des eaux traitées. Les résultats ont été comparés aux normes en vigueur afin d'apprécier l'efficacité du traitement et d'examiner les possibilités de réutilisation des eaux épurées comme solution durable de gestion des ressources hydriques.

Mots-clés : station d'épuration, eaux usées, performances du traitement, réutilisation.

Abstract

Wastewater treatment plants play a crucial role in protecting both the environment and public health by preserving water resources. This study aims to evaluate the performance of the El Rabta wastewater treatment plant in Jijel through physio-chemical and biological analyses of the treated effluent. The results were compared with regulatory standards to assess the treatment efficiency and to explore the potential reuse of treated wastewater as a sustainable option for water resource management.

Keywords: wastewater treatment plant, wastewater, treatment efficiency, reuse.

TABLE DES MATIÈRES

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des photos

Liste des planches

Introduction générale 1

CHAPITRE I : LA RÉUTILISATION DES EAUX USÉES ÉPURÉES

I. 1	Introduction	4
I. 2	Définition et objectifs	4
I. 3	Bilan mondial	4
I. 4	La réutilisation des eaux usées en Algérie	5
I. 5	Avantages de la réutilisation des eaux usées	5
I. 6	Risque et limites	6
I. 7	Normes des eaux	7
I. 7.1	Normes de rejet des eaux usées dans le milieu naturel	7
I. 7.2	Normes de réutilisation en irrigation (Algérie)	8
I. 8	Conclusion	8

CHAPITRE II : PRÉSENTATION DU SECTEUR D'ÉTUDE

II. 1	Introduction	10
II. 2	Présentation de la ville de Jijel	10
II. 2.1	Situation géographique	10
II. 2.2	Situation démographique	11
II. 2.3	Situation hydrographique	11
II. 2.4	Situation Topographique	11
II. 2.5	Sismicité de la région	11
II. 2.6	Situation climatique	11
II. 3	Présentation de la STEP.....	13
II. 4	Données principales de la station	13

II. 5	Fonctionnement d la STEP d'El Rabta	14
II. 5.1	Déversoir d'orage	14
II. 5.2	Poste de relevage	15
II. 5.3	Prétraitement	15
II. 5.4	Traitement biologique	17
II. 5.5	Décanteur secondaire	19
II. 5.6	Désinfection	20
II. 5.7	Traitement des boues	20
II. 6	Conclusion	21

CHAPITRE III : RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX ET DISCUSSION

III. 1	Introduction	23
III. 2	Paramètres analysés	27
III. 3	La température (T)	23
III. 3.1	Effets sur les écosystèmes aquatiques	23
III. 3.2	Impact sur la santé humaine	24
III. 3.3	Norme de rejet en milieu naturel	24
III. 4	Le potentiel hydrogène (pH)	25
III. 4.1	Effets sur les écosystèmes aquatiques	25
III. 4.2	Impact sur la santé humaine	25
III. 4.3	Norme de rejet en milieu naturel et la réutilisation en irrigation	25
III. 5	La conductivité (CE)	26
III. 5.1	Effets de la conductivité élevée sur l'environnement	27
III. 5.2	Norme de réutilisation en irrigation	27
III. 6	La demande biologique en oxygène DBO ₅	27
III. 6.1	Impact de DBO ₅ élevée sur l'environnement	28
III. 6.2	L'élimination de la DBO ₅ durant le traitement	28
III. 6.3	Rendement d'élimination de la DBO ₅ durant le traitement	29
III. 6.4	Rejet dans le milieu naturel et réutilisation des eaux épurées en irrigation	29
III. 6.5	Conclusion	30

III. 7	La demande chimique en oxygène DCO	30
III. 7.1	Impact environnemental de la DCO élevée	30
III. 7.2	L'élimination de la DCO durant le traitement	30
III. 7.3	Le rendement d 'élimination de la DCO durant le traitement	31
III. 7.4	Rejet dans le milieu naturel et la réutilisation des eaux épurées en irrigation ..	32
III. 7.5	Conclusion	32
III. 8	Matières en suspensions	32
III. 8.1	Impact de la MES élevée	33
III. 8.2	L'élimination de la MES durant le traitement	33
III. 8.3	Le rendement d 'élimination de la MES durant le traitement	34
III. 8.4	Norme de rejet dans le milieu naturel	34
III. 8.5	Norme de réutilisation pour l'irrigation	35
III. 8.6	Conclusion	36
III. 9	Azote totale	36
III. 9.1	Impact environnemental	36
III. 9.2	Traitement de l'azote	36
III. 9.3	Norme de rejet pour irrigation (norme algérienne)	37
III. 9.4	Conclusion	37
III. 10	Phosphore totale	38
III.10.1	Impact environnemental	38
III.10.2	Traitement de phosphore	38
III.10.3	Norme de rejet en milieu naturel	39
III.10.4	Norme de réutilisation en agriculture	39
III.10.5	Conclusion	40
III. 11	Indicateurs de performance de la STEP	40
III.11.1	Indice de biodégradabilité : Rapport DCO/DBO ₅	40
III.11.2	Évolution du Rapport MES/DBO ₅	41
III.11.3	Le rapport DCO/NT	42
III. 12	Proposition d'amélioration de la STEP d'El Rabta	43

III. 13	Conclusion	43
---------	------------------	----

CHAPITRE IV : ÉTUDE PERSPECTIVE DE L'EXTENSION DE LA STEP À L'HORIZON 2038

IV. 1	Introduction	45
IV. 2	Estimation de la population	45
IV. 3	Calcul des débits et des charges polluantes	45
IV. 3.1	Calcul du débit d'eau usée domestique et d'équipements	45
IV. 3.2	Calcul de débit total	46
IV. 3.3	Débit moyen horaire des eaux usées (m ³ /h)	46
IV. 3.4	Débit diurne	46
IV. 3.5	Débit de pointe au temps sec	46
IV. 3.6	Débit de pointe au temps pluie	47
IV. 3.7	L'équivalent-habitant (EH)	47
IV. 3.8	Calcul de la biodégradabilité	47
IV. 3.9	Calcule des charges polluantes	48
IV. 4	Calcul de dimensionnements de la STEP pour l'horizon 2038	48
IV. 4.1	Prétraitement	49
IV. 4.2	Traitement primaire	49
IV. 4.3	Traitement secondaire	51
IV. 4.4	Traitement tertiaire	59
IV. 4.5	Traitement des boues	61
IV. 5	Conclusion	64

CHAPITRE V: CALCUL HYDRAULIQUE

V .1	Introduction	66
V .2	Dimensionnement du déversoir d'orage	66
V. 2.1	Calcul des débits	66
V .2.2	Détermination des dimensions du déversoir	67
V .3	Conduite de fuite	68
V .4	Dimensionnement de station de relevage	68

V .4.1	Calcul de diamètre économique	68
V .4.2	Calcul de la vitesse d'écoulement	68
V .4.3	La hauteur manométrique de la pompe	69
V .4.4	Choix de la pompe	69
V .4.5	Calcul de volume de poste de relevage	69
V .4.6	Calcul de la surface de poste de relevage	69
V .5	Dimensionnement de profil hydraulique	69
V .5.1	Dimensionnement des conduites reliant les ouvrages	70
V .5.2	Perte de charge, diamètre des conduites reliant les ouvrages de la STEP	70
V .5.3	Calcul des côtes piézométriques des différents ouvrages	71
V .6	Conclusion	72

CHAPITRE VI : DESCRIPTIVE TECHNICO-ÉCONOMIQUE DE LA STEP D'EL RABTA

VI .1	Introduction	74
VI .2	Gestion technique des travaux et équipements de l'extension	74
VI .3	Aspects techniques	75
VI .4	Analyse économique	76
VI .5	Recommandation	77
VI .6	Conclusion	77

Conclusion générale.....	79
---------------------------------	-----------

Références bibliographiques

Annexes

Liste des abréviations

REUT : réutilisation des eaux usées traitées

STEP : stations d'épuration des eaux usées

OMS : organisation mondiale de la santé

J.O Algérie : journal officiel de la république algérienne

CRAAG : centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique.

MES : matières en suspension

DBO : demande biologique en Oxygène

DCO : demande chimique en Oxygène

pH : potentiel d'Hydrogène

CE : conductivité électrique

NT : azote Total

PT : phosphore total

UV : ultra-violet

Liste des tableaux

CHAPITRE I : LA RÉUTILISATION DES EAUX USÉES ÉPURÉES		
Tableau I. 1	les normes internationales selon l'OMS respective pour les eaux usées	7
Tableau I. 2	réglementation physico-chimiques pour La réutilisation des eaux usées épurées en agriculture	8
CHAPITRE II : PRÉSENTATION DU SECTEUR D'ÉTUDE		
Tableau II. 1	températures moyennes (1991-2020)	12
Tableau II. 2	précipitations moyennes (1991-2020)	12
Tableau II. 3	heures d'ensoleillement (1991-2020)	12
Tableau II. 4	caractéristiques de la STEP d'El Rabta	13
Tableau II. 5	caractéristiques de l'eau brute à l'entrée de la station	14
Tableau II. 6	récapitulatif des données de base des eaux rejetée	14
Tableau II. 7	caractéristiques des dégrilleurs	16
Tableau II. 8	caractéristiques des dessableur /déshuileur	17
Tableau II. 9	dimensions du bassin d'aération	19
CHAPITRE IV : ÉTUDE PERSPECTIVE DE L'EXTENSION DE LA STEP À L'HORIZON 2038		
Tableau IV. 1	récapitulatif de calcul des débits pour l'horizon 2038	47
Tableau IV. 2	estimation des charges polluantes à l'horizon 2038	48
Tableau IV. 3	récapitulatif de calcul des charges polluantes éliminée après le prétraitement	49
Tableau IV. 4	données initiale pour calcul de décanteur primaire	49
Tableau IV. 5	quantités éliminée par le décanteur primaire	50
Tableau IV. 6	classes du procédé du traitement biologique à boues activées	51
Tableau IV. 7	donnés de base pour le dimensionnement de traitement biologique	51
Tableau IV. 8	calcul des charges polluantes	53
Tableau IV. 9	résumé des résultats sur le calcul de la quantité des boues en excès	55
Tableau IV. 10	données de dimensionnement du clarificateur	56

Tableau IV. 11	récapitulatif des calculs de traitement secondaire	57
Tableau IV. 12	valeurs typiques des polluants après décantation secondaire	57
Tableau IV. 13	synthèse des extensions proposées au niveau du traitement biologique	58
Tableau IV. 14	donnés de base pour le dimensionnement du poste de coagulation-floculation	59
Tableau IV. 15	donnés de base pour le dimensionnement du poste de filtration	60
Tableau IV. 16	évaluation des charges après traitement tertiaire	61
Tableau IV. 17	rappel des résultats nécessaire pour le dimensionnement de traitement des boues	61
CHAPITRE V : CALCUL HYDRAULIQUE		
Tableau V .1	récapitulatif de résultat des débits	66
Tableau V .2	récapitulatif de résultat de dimensionnement de déversoir	67
Tableau V .3	dimensionnement de la conduite de fuite	68
Tableau V .4	les côtes de terrain naturel des zones d'implantation des ouvrages	70
Tableau V .5	Les longueurs équivalents reliant les ouvrages	70
Tableau V .6	les pertes de charge des conduites reliant les ouvrages	71
Tableau V .7	les cotes piézométriques des ouvrages	72
CHAPITRE VI : DESCRIPTIVE TECHNICO-ÉCONOMIQUE DE LA STEP D'EL RABTA		
Tableau VI. 1	Devis économique estimatif global de l'extension	74

Liste des figures

CHAPITRE II : PRÉSENTATION DU SECTEUR D'ÉTUDE

Figure II. 1	Carte des communes de la wilaya de Jijel	10
Figure II. 2	Situation géographique de STEP d'EL Rabta-Jijel	13
CHAPITRE III : RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX ET DISCUSSION		
Figure III. 1	Variation mensuelle moyenne de la température par rapport aux normes de rejet (2024)	24
Figure III. 2	Variation mensuelle moyenne de pH par rapport aux normes de rejet et à la réutilisation en irrigation (2024)	26
Figure III. 3	Variation mensuelle moyenne de conductivité par rapport aux normes de réutilisation en irrigation (2024)	27
Figure III. 4	Teneur en DBO₅ avant et après traitement	28
Figure III. 5	Rendements d'élimination de la DBO₅ durant le traitement	29
Figure III. 6	Teneur des eaux épurées en DBO₅ par rapport aux normes de rejet et à la réutilisation des eaux épurées en irrigation	30
Figure III. 7	Teneur en DCO avant et après traitement (2024)	31
Figure III. 8	Rendements d'élimination de la DCO durant le traitement	31
Figure III. 9	Teneur des eaux épurées en DCO par rapport aux normes de rejet et à la réutilisation en irrigation (2024)	32
Figure III. 10	Teneur en MES avant et après traitement (2024)	33
Figure III. 11	Rendements d'élimination de MES durant le traitement	34
Figure III. 12	Teneur des eaux épurées en MES par rapport aux normes de rejet	35
Figure III. 13	Teneur des eaux épurées en MES par rapport aux normes de réutilisation en irrigation	35
Figure III. 14	Évolution des concentrations en NT à l'entrée et à la sortie de la STEP d'El Rabta (2024)	36
Figure III. 15	Variation de la teneur en NT par rapport aux normes de rejet	37
Figure III. 16	Teneur en phosphore à l'entrée et à la sortie de la STEP	38
Figure III. 17	Variation de la teneur en phosphore par rapport aux normes de rejet	39
Figure III. 18	Variation de la teneur en phosphore par rapport aux normes de réutilisation en irrigation	40
Figure III. 19	Évolution du rapport DCO /DBO₅ à l'entrée de la STEP (2024)	41
Figure III. 20	Évolution du rapport MES /DBO₅ à l'entrée de la STEP (2024)	41
Figure III. 21	Évolution du rapport DCO /NT à l'entrée de la STEP (2024)	42

Liste des photos

CHAPITRE II : PRÉSENTATION DU SECTEUR D'ÉTUDE

Photo II. 1	Le déversoir d'orage	15
Photo II. 2	La station de relevage	15
Photo II. 3	Les dégrilleurs grossiers automatiques	16
Photo II. 4	Le dessableur-déshuileur	17
Photo II. 5	La conduite des boues de retour	18
Photo II. 6	Le bassin d'aération	18
Photo II. 7	Le décanteur secondaire	20
Photo II. 8	Les lits de séchage naturels	21

Liste des planches

Planche 01 : configuration actuelle de la STEP.

Planche 02 : plan d'extension projeté de la STEP.

Planche 03 : profils en long de la STEP.

Planche 04 : ouvrages proposés pour l'extension de la STEP : décanteur primaire.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

Les villes modernes font face à une double problématique : d'une part, l'augmentation de la population et l'expansion urbaine engendrent une croissance continue de la demande en eau potable ; d'autre part, la production d'eaux usées atteint des niveaux préoccupants. Bien que l'eau soit indispensable, sa gestion reste un enjeu complexe. Ce défi se manifeste particulièrement dans les zones urbaines, où la pression sur les ressources est plus élevée.

Parmi les réponses envisagées, la réutilisation des eaux usées traitées (REUT) occupe une place importante. Cette approche permet non seulement d'atténuer la pression exercée sur les ressources en eau douce, mais aussi de réduire les rejets dans les milieux naturels. Elle s'inscrit dans une démarche de durabilité et de valorisation des eaux usées comme ressource alternative, surtout dans les régions confrontées au stress hydrique.

Le contexte algérien reflète bien ces enjeux : malgré la mise en place de plusieurs stations d'épuration à travers le territoire, leur exploitation optimale demeure un défi. Ce constat souligne l'importance d'évaluer leurs performances réelles, afin d'envisager une réutilisation sécurisée et efficace des eaux traitées.

Ce travail a pour objectif d'évaluer les performances épuratoires de la station d'épuration (STEP) d'El Rabta à Jijel, en se basant sur les paramètres physico-chimiques et biologiques des eaux traitées, en mettant les résultats en parallèle avec les normes établies et en identifiant les éventuels problèmes de fonctionnement. L'étude permet également de proposer des pistes d'amélioration adaptées et d'examiner les possibilités de réutilisation des eaux traitées à des fins d'irrigation. Ainsi, cette étude contribue à une meilleure compréhension et valorisation des eaux traitées dans la région de Jijel.

CHAPITRE I :
LA RÉUTILISATION DES EAUX
USÉES ÉPURÉES

CHAPITRE I : LA RÉUTILISATION DES EAUX USÉES ÉPURÉES

I. 1. Introduction

Avec l'accentuation du stress hydrique, la REUT s'impose comme une alternative essentielle pour alléger la pression sur les ressources conventionnelles et promouvoir une gestion durable de l'eau. Déjà appliquée dans de nombreux pays, cette pratique permet non seulement de préserver les ressources hydriques naturelles, mais aussi de limiter les rejets polluants dans les milieux aquatiques. Ce chapitre expose les principes de la réutilisation des eaux usées traitées, ses objectifs, ses principales applications, ainsi que ses avantages et limites.

I. 2. Définition et objectifs [1]

La réutilisation des eaux usées implique de rassembler les eaux usées urbaines, de les épurer dans une station spécialisée, puis de les revaloriser pour des applications qui ne requièrent pas une qualité d'eau potable. Dans ces applications :

- Dans les zones urbaines : irrigation des espaces verts, nettoyage des véhicules, remplissage des réservoirs de chasse d'eau, et arrosage des terrains de sport.
- Dans le secteur industriel : production d'eau pour le refroidissement et pour certains procédés techniques.
- Dans le domaine de l'agriculture : irrigation des cultures maraîchères, fruitières, industrielles, ainsi que des pâturages et forêts.
- Pour la recharge des nappes souterraines.

Sur le plan environnemental, la REU contribue à minimiser la demande sur les ressources naturelles en eau, à préserver les milieux aquatiques vulnérables et à contrôler les déversements directs des STEP dans les milieux sensibles, tels que les zones côtières ou les cours d'eau menacés d'eutrophisation. Elle s'inscrit dans une approche d'économie circulaire et de gestion raisonnée des ressources.

I. 3. Bilan mondial

À l'échelle mondiale, la valorisation des eaux usées épurées reste encore limitée, même si elle connaît une croissance significative dans certaines zones touchées par le stress de l'eau.

Selon les estimations récentes, environ 11 % des volumes traités sont réutilisés, avec de fortes disparités entre les pays. [2]

En Europe, l'Espagne et l'Italie affichent des taux respectifs d'environ 15 % et 10 %, tandis que la France reste en deçà de 1 %, malgré un objectif fixé à 10 % pour 2030. [2]

En Asie, Singapour s'impose comme un modèle mondial avec son programme NE Water couvrant déjà 40 % des besoins nationaux et vise 55 % d'ici 2060. [3]

Aux États-Unis, la Californie utilise largement les eaux recyclées pour l'irrigation agricole et la recharge des nappes. En Amérique latine, le projet Aqua polo au Brésil alimente l'industrie de São Paulo avec près de 1000 l/s d'eau recyclée. [3]

Ces exemples démontrent que la REUT pourrait représenter un véritable recours pour garantir l'approvisionnement en eau, en particulier dans les pays vulnérables à la sécheresse et aux tensions climatiques. Toutefois, son déploiement à large échelle est toujours entravé par des restrictions économiques, réglementaires et socioculturelles.

I. 4. La réutilisation des eaux usées en Algérie [4]

En Algérie, la REUT est devenue une priorité stratégique face au stress hydrique aux besoins accrus des secteurs agricole et industriel. Le pays dispose actuellement de plus de 200 STEP capables de traiter environ 1,16 milliard m³ /ans, selon l'Office National de l'Assainissement (ONA). Une partie de ces volumes est déjà orientée vers l'irrigation agricole, contribuant ainsi à réduire la pression sur les barrages et les nappes souterraines.

Par ailleurs, des nouveaux projets sont en cours : 16 STEP seront équipées d'unités de traitement tertiaire, permettant de mobiliser environ 140 millions m³ /an supplémentaires. L'objectif fixé pour 2030 est d'atteindre une capacité totale de 2 milliards m³/an, ce qui permettrait d'irriguer près de 160 000 hectares de terres agricoles.

Cette stratégie s'appuie sur un cadre réglementaire encadré par le Journal Officiel de la République Algérienne, qui définit les conditions d'utilisation, les cultures autorisées ainsi que les seuils de qualité à respecter.

I. 5. Avantages de la réutilisation des eaux usées

Le recyclage des eaux usées offre de multiples bénéfices :

Environnementaux :

- Réduction de la pression exercée sur les ressources en eau souterraine, les retenues de barrages et les cours d'eau.
- Préservation des zones humides et côtières contre l'eutrophisation.

Économiques :

- Diminuer les coûts associés à l'approvisionnement en eau en réduisant les frais de pompage, de traitement et d'importation.
- Offrir une ressource alternative qui reste disponible même durant les périodes de sécheresse.

Agricoles :

- Elle permet une irrigation pérenne par le biais de l'apport continu d'eau et de nutriments (azote, phosphore, etc.), réduisant ainsi la dépendance aux engrais chimiques.
- Favorise une hausse des rendements agricoles et une meilleure productivité des cultures.

Urbains et industriels :

- Utilisation pour l'arrosage des espaces verts, le nettoyage des rues et différentes applications dans le domaine de la construction.
- Dans le domaine industriel, pour ce qui est du refroidissement, il existe différentes méthodes de production ainsi que de nettoyage des installations et équipements.

Sociaux et stratégiques :

- Renforcement de la sécurité hydrique afin de réduire les conflits entre les différents usages de l'eau.
- Met en avant l'image écologique des villes et régions, en soutenant une gestion de l'eau circulaire et durable.

I. 6. Risque et limites

- Risque sanitaire lié à la présence possible de micro-organismes nocifs, de virus ou de résidus pharmaceutiques que les procédés de traitement classiques n'éliminent pas totalement.
- Possibilité de développement de résistances antimicrobiennes due au rejet d'antibiotiques et de substances médicales dans l'environnement.

- Risque de contamination des sols par des éléments toxiques comme les métaux lourds, les nitrates.
- Dans certains contextes agricoles ou urbains critiques, l'acceptation sociale peut parfois être faible à cause de l'image négative de l'eau recyclée.
- Les cadres réglementaires sont parfois inadéquats ou inconsistants, ce qui complique leur mise en application uniforme et sécurisée.

I. 7. Normes des eaux

L'utilisation ou le rejet des eaux usées traitées est strictement encadré par des normes internationales (l'organisation mondiale de la santé (OMS)) et nationales (JORA en Algérie). Ces normes visent à protéger la santé publique, à préserver l'environnement et à garantir la qualité des usages envisagés.

I. 7. 1. Normes de rejet dans le milieu naturel

Avant d'être rejetées dans les milieux récepteurs (rivières, mer, lacs), les eaux usées traitées doivent respecter certains seuils.

Tableau I. 1 : les normes internationales selon OMS respective pour les eaux usées [5]

Paramètres	Unité	Normes
pH		6,5-8,5
DBO₅	mg/l	< 30
DCO	mg/l	< 90
MES	mg/l	< 20
NH₄⁺	mg/l	< 0,5
NO₂	mg/l	1
NO₃	mg/l	< 1
P₂O₅	mg/l	< 2
Température	°C	< 30
Couleur		Incolore
Odeur		Inodore

I. 7. 2. Normes de réutilisation en irrigation (Algérie)

En Algérie, la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture est réglementée afin de garantir la qualité, de définir les cultures autorisées et d'assurer une exploitation sûre pour la santé publique et l'environnement.

Tableau I. 2 : réglementation physico-chimiques pour la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture [6]

Paramètres	Unité	Normes		
		FAO *(1985)	OMS**(1989)	JORA(2012)
PH		6.5-8.4		6.5-8.5
CE	ds/m	<0.7 aucune restriction 0.7-3 restriction légère a modérée >3 forte restriction		3
MES	mg/l	<30		30
DCO	mg O ₂ /l	<40		90
DBO ₅	mg O ₂ /l	<10		30
NO ₃ ⁻	mg/l	50		30
NO ₂ ⁻	mg/l	<1		Non disponible
NH ₄ ⁺	mg/l	<2		Non disponible
PO ₄ ³⁻	mg/l	<0.94		Non disponible
SAR	meq/l	<3 aucune restriction 3-9 restriction légère a modérée >9 forte restriction		Non disponible
Coliformes totaux	UFC/100ml	Non disponible		Non disponible
Streptocoque fécaux	UFC/100ml	1000		Non disponible
Salmonelles	UFC/ 1l	Absence		Non disponible

I. 8. Conclusion

La réutilisation des eaux usées épurées constitue une solution incontournable face à la pénurie grandissante des ressources en eau. Elle présente de nombreux bénéfices sur les plans environnemental, économique et social. Toutefois, sa réussite dépend du respect rigoureux des normes, de l'efficacité des traitements mis en place et de l'adhésion des usagers. Pour ce qui est de l'Algérie, l'amélioration du cadre réglementaire et l'élargissement des procédés tertiaires constituent des atouts fondamentaux pour instaurer une réutilisation durable et sûre.

CHAPITRE II :

PRÉSENTATION DU SECTEUR

D'ÉTUDE

CHAPITRE II : PRÉSENTATION DU SECTEUR D'ÉTUDE

II. 1. Introduction

Ce chapitre propose une synthèse claire du contexte géographique et naturel entourant la station d'épuration d'El Rabta. Il met en avant les caractéristiques essentielles de la ville de Jijel en abordant ses dimensions géographiques, démographiques, hydrauliques, topographiques, sismiques et climatiques. Cet aperçu constitue une base indispensable pour comprendre l'environnement dans lequel fonctionne la STEP. Il présente également, de manière détaillée, la station d'épuration d'El Rabta et les éléments qui structurent son organisation et son fonctionnement.

II. 2. Présentation de la ville de Jijel

II. 2.1. Situation géographique

La commune de Jijel est située au bord de la mer Méditerranée, dans le nord-est de l'Algérie. Elle occupe une superficie d'environ 62,38 km², ce qui représente environ 2,6 % de la superficie totale de la wilaya. Ses coordonnées géographiques se situent autour de 36°49' N et une longitude de 5°47' E.

Elle est traversée par la route nationale RN 43 reliant Souk El Ténine à Skikda, et son territoire est limité : au nord par la mer, au sud par Kaous, à l'est par la commune de l'Émir Abdelkader, et à l'ouest par El Aouana.



Figure II. 1 : carte des communes de la wilaya de Jijel

II. 2. 2. Situation démographique

Jijel est la commune la plus peuplée de la wilaya. Sa population atteignait environ 162 055 habitants en 2018, ce qui représente plus d'un cinquième de la population totale de la wilaya. Avec une densité moyenne dépassant 2 500 habitants/km² et un taux d'urbanisation supérieur à 98 %, la ville concentre une part importante des activités économiques, sociales et administratives de la région.

II. 2.3. Situation hydrographique

Jijel est traversé par un réseau hydrographique dense, s'écoulant principalement du sud au nord vers la Méditerranée. Ce réseau est structuré par plusieurs cours d'eau, notamment :

- Oued Kissir
- Oued El Kantara
- Oued Mencha

II. 2.4. Situation Topographique

La commune présente un relief contrasté : au nord, une plaine littorale étroite bordée par la mer ; au sud, des pentes montagneuses atteignant parfois 300 m d'altitude. Cette configuration engendre une dissymétrie marquée entre la « ville basse » (0-10 m) et la « ville haute » (10-120 m). Ce contraste topographique influe sur l'urbanisation, l'écoulement des eaux et la vulnérabilité aux risques naturels.

II. 2.5. Sismicité de la région

Selon le zonage établi par le CRAAG, Jijel se situe en zone de sismicité de niveau 3 ce qui indique une exposition élevée aux risques sismiques.

II. 2.6. Situation climatique

Le climat de Jijel est de type méditerranéen humide, avec des hivers doux et pluvieux et des étés chauds et relativement secs.

II. 2.6.1. Température : sur la base des données enregistrées entre 1991 et 2020, la température moyenne mensuelle à Jijel varie de 11,6 °C en janvier, mois le plus froid, à 26 °C en août, mois le plus chaud. [7]

Tableau II. 1 : températures moyennes (1991-2020)

Mois	janv	fév	mars	avr	mai	juin	juil	aout	sept	oct	nov	déc
T _{min} (°C)	6,9	6,9	8,6	10,5	13,6	17	19,9	20,8	18,9	15,6	11,3	8,3
T _{max} (°C)	16,3	16,5	18,6	20,4	23,4	27,6	30,6	31,3	28,7	25,7	20,7	17,5
T _{moy} (°C)	11,6	11,7	13,6	15,5	18,5	22,3	25,2	26	23,8	20,7	16	12,9

Source : « Climats et voyages - Jijel »

II. 2.6.2. Précipitation : les cumuls annuels se situent entre 800 et 1000 mm. Elles atteignent un minimum de 2 mm en juillet, le mois le plus sec, et culminent à environ 170 mm en décembre, le mois le plus pluvieux. [7]

Tableau II. 2 : précipitations moyennes (1991-2020)

Mois	janv	fév	mar	avr	mai	juin	juil	aou	sept	oct	nov	déc
Quantité (mm)	135	110	95	70	55	15	2	11	70	95	155	170
Jours	12	9	9	11	7	3	1	2	6	9	12	12

Source : « Climats et voyages - Jijel »

II. 2.6.3. Vent : les vents dominants soufflent du nord-ouest en hiver et en automne, et du sud-est en été.

II. 2.6.4. L'humidité : les valeurs moyennes d'humidité relative sont généralement élevées tout au long de l'année, avec de faibles variations saisonnières. Elle varie entre un minimum de 65,5 % et un maximum de 76 %. [7]

II. 2.6.5. Ensoleillement : la commune bénéficie en moyenne de 2 675 heures d'ensoleillement par ans, ce qui reflète un bon niveau de luminosité, typique du climat méditerranéen. [7]

Tableau II. 3 : heures d'ensoleillement (1991-2020)

Mois	janv	fév	mars	avr	mai	juin	juill	aout	sept	oct	nov	dec
Moyenne	4,5	6	6,5	7	8,5	10	11,5	10	8,5	6,5	5	4,5
Total	140	165	200	205	260	300	350	315	250	200	155	135

Source : « Climats et voyages - Jijel »

II. 3. Présentation de la station d'épuration

La station d'épuration d'El Rabta constitue la principale installation de traitement des eaux usées de la ville de Jijel et de ses environs. Elle est située à l'ouest de la ville, dans la région d'El Rabta, à environ 2 km du chef-lieu de la wilaya, et s'étend sur une superficie de près de 5,9 hectares. Mise en service en 2008 et exploitée par l'ONA depuis 2009.

La station traite essentiellement les eaux usées domestiques. Elle a été dimensionnée pour une population de 150 000 habitants.



Figure II. 2 : situation géographique de STEP d'EL Rabta -Jijel

La station d'El Rabta est une installation à boues activées fonctionnant à faible charge (aération prolongée). Elle se compose de deux filières distinctes :

- **Filière traitement des eaux** : dégrillage, déshuilage, dessablage, traitement biologique, clarification, désinfection.
- **Filière boues** : épaissement, déshydratation mécanique/séchage naturel.

II. 4. Données principales de la station

Tableau II. 4 : caractéristiques de la STEP d'El Rabta

Milieu récepteur des eaux sortant de la STEP	Plage Ezzouai
Type de réseau en amont	Unitaire
Nature des eaux brutes	Urbaine

Type de pollution éliminée	Carbone, azote
Capacité nominal actuel	30 000 m ³ /j
Débit de pointe au temps sec	47 040 m ³ /j
Débit maximal réel entrant à la STEP en 2024	26 704 m ³ /j
Communes raccordés à la STEP	JIJEL, Kaous, Texenna et EL Emir
Objectif de la réalisation de la STEP	Protection de la côte méditerranéenne

Tableau II. 5 : caractéristiques de l'eau brute à l'entrée de la station

Paramètre	valeur
Concentration de la DBO₅	300 mg/l
Concentration de la DCO à l'entrée	600 mg/l
Concentration de MES à l'entrée	400 mg/l
Concentration de NTK à l'entrée	55 mg/l

Tableau II. 6 : récapitulatif des données de base des eaux rejetée

Paramètre	valeur	Rendement d'épuration %
DBO₅	30 mg/l	90
DCO	60 mg/l	85
MES	30 mg/l	92,5
pH	Entre 5,5 et 9	/

II. 5. Fonctionnement de la STEP d'El Rabta

Les eaux usées parviennent à la STEP d'El Rabta soit par gravité, soit par pompage. À la station, elles sont ensuite soumises aux différentes étapes de traitement suivantes :

II. 5.1. Déversoir d'orage

Prévu à l'extérieur de la STEP, permet de protéger la station en période de crue en évacuant les excès d'eaux usées vers l'oued Chaâbet Ben Achour, avant leur rejet en mer.



Photo II. 1 : le déversoir d'orage

II. 5.2. Poste de relevage

Le poste de relevage sert à pomper les eaux brutes pour les introduire dans le circuit de traitement. Ce poste est équipé de quatre pompes fonctionnant en alternance selon le débit entrant. Leur fonctionnement est piloté automatiquement par une sonde ultrasonique installée en haut du puits.



Photo II. 2 : la station de relevage

II. 5.3. Prétraitement

II. 5.3.1. Dégrillage

- **Dégrillage grossier** : l'eau usée est reçue dans une bassine qui se termine par deux canaux équipés de dégrilleurs automatiques à barreaux espacés. Ces dégrilleurs permettent la rétention mécanique des déchets volumineux tels que les bouteilles, plastiques, papiers, fibres textiles.

- **Dégrillage fin** : il comporte trois Dégrilleurs, deux fonctionnent automatiquement, tandis que le troisième est réservé à une utilisation manuelle en cas de secours. Ils servent de retenir mécaniquement tous les petites corps étrangères échappés au dégrilleur grossier qui peuvent perturber le fonctionnement des installations

Tableau II. 7 : caractéristiques des dégrilleurs

Caractéristiques	Dégrillage grossier	Dégrillage fin
Espacement des barreaux	50 mm	10 mm
Épaisseur des barreaux	10 mm	
Largeur des dégrilleurs	1,5 m	1,05 m
Angle d'inclinaison	70°	75°
Indice de colmatage	0,2	0,5
$V_{\max}$ de passage au débit de pointe <	1,1 m/s	

**Photo II. 3 : les dégrilleurs grossiers automatiques**

II. 5.3.2. Dessablage/ Déshuilage

La station d'épuration de RABTA est équipée de deux bassins combinés dessableur /déshuileur, installés côte à côte. Chaque unité est dotée :

- D'un système d'air-lift pour l'extraction des sables et graviers après raclage du fond du bassin.

- D'un système de raclage superficiel monté sur un pont à mouvement va-et-vient, permettant de collecter les graisses et huiles flottantes.

Ces dispositifs assurent une séparation efficace des matières lourdes et légères, optimisant ainsi la qualité des eaux avant leur traitement biologique

Tableau II. 8 : caractéristiques des dessableur /déshuileur

Caractéristique	Valeur
Largeur de dessableur	2,9 m
Hauteur d'eau dans le dessableur	3,6 m
Longueur de dessableur /déshuileur	18 m
Largeur du mur de séparation vers le dessableur	0,08 m
Largeur d'ouvrage de déshuilage	1,1 m
Surface de coupe transversale d'un dessableur	9,2 m ²



Photo II. 4 : le dessableur/déshuileur

II. 5.4. Traitement biologique

Le traitement biologique repose sur le procédé des boues activées : les bactéries présentes sous forme de floccs dégradent la matière organique dissoute ou colloïdale, grâce à un apport continu d'oxygène dans les bassins d'aération.

Le traitement s'appuie principalement sur deux ouvrages : un bassin de répartition et deux bassins d'aération :

- **Bassin de répartition** : constituant la première étape du traitement biologique, ce bassin assure un mélange homogène entre les eaux usées issues du prétraitement et les boues de retour. Cette homogénéisation favorise le démarrage optimal du processus biologique et contribue à limiter la prolifération des algues dès le début du traitement.



Photo II. 5 : la conduite des boues de retour

- **Bassin d'aération** : la station dispose de deux grands bassins d'aération, chacun subdivisé en six sections communicantes. Chaque petit bassin est équipé d'un aérateur de surface assurant l'oxygénation de l'eau.



Photo II. 6 : le bassin d'aération

Tableau II. 9 : dimensions du bassin d'aération

Caractéristique	Valeur
Charge massique	0,07 kg DBO /kg MVSj
Charge en DBO ₅	9000 kg/j
Hauteur d'eau	4,5 m
Longueur droit	66 m
Largeur	44 m

- ✓ **Dégradation de la matière organique** : le traitement biologique a pour objectif principal d'éliminer la pollution organique, qu'elle soit dissoute ou de colloïdes fins. Il s'appuie sur l'activité de bactéries aérobies qui, en présence d'oxygène (O₂), décomposent les substances organiques les utilisent comme source d'énergie et de nutriments essentiels à leur métabolisme.
- ✓ **Oxydation de l'ammoniac** : transformation de l'azote organique en azote ammoniacal sous l'action des bactéries hétérotrophes. L'élimination de l'ammoniac ne peut se réaliser qu'en présence d'oxygène dissous. Seul un nombre limité d'espèces bactériennes strictement aérobies, appelées bactéries nitrifiantes.
- ✓ **L'élimination des nitrates** : la dénitrification est une réaction biologique au cours de laquelle les nitrates (NO₃⁻) se transforment en azote gazeux (N₂), ce qui permet leur élimination. Cette réaction se déroule dans des conditions anoxiques, où les bactéries utilisent les nitrates comme accepteurs d'électrons en l'absence d'oxygène libre.

II. 5.5. Décanteur secondaire

La station comporte deux clarificateurs cylindro-coniques équipés de racleurs de fond, assurant la séparation entre la biomasse de l'eau traitée. La décantation secondaire permet la clarification de la liqueur mixte issue du bassin d'aération. Sous l'effet de la gravité, une partie des boues se dépose au fond du clarificateur, tandis que l'excédent est dirigé vers la filière de traitement des boues. L'efficacité de cette séparation dépend de l'indice de boues et de la charge massique appliquée, garantissant une eau clarifiée à moins de 30 mg/l de matières en suspension (MES).



Photo II. 7 : le décanteur secondaire

II. 5.6. Désinfection

Après clarification, l'eau est désinfectée pour réduire la charge microbienne et respecter les normes de rejet ou de réutilisation. À la STEP d'El Rabta, cette étape se faisait par chloration, mais elle a été suspendue depuis 2012 pour limiter les impacts environnementaux.

II. 5.7. Traitement des boues

II. 5.7.1. Recirculation et d'excès

Pour garantir un traitement biologique optimal, il est essentiel de maintenir une concentration de boues d'environ 5 g/l dans le bassin d'aération. Cela se fait en recerclant une partie des boues issues du décanteur secondaire vers l'entrée du bassin. La recirculation est assurée par trois pompes centrifuges immergées (dont une de secours), chacune d'une capacité de 1000 m³/h et d'une hauteur manométrique totale de 10 mce, installées près du décanteur.

II. 5.7.2. Évacuation des boues en excès

Les boues excédentaires sont régulièrement évacuées pour maintenir l'équilibre biologique. Elles passent par un épaissement, puis sont déshydratées soit naturellement sur lits de séchage, soit mécaniquement par ajout de polymères et filtration.

II. 5.7.3. Épaississement des boues L'objectif principal de l'épaississement des boues est de réduire leur volume en augmentant leur concentration. Cette étape concerne les boues en excès, extraites du décanteur secondaire à une concentration d'environ 10 g/l. Elles sont ensuite dirigées vers l'épaississeur, où elles subissent un épaissement gravitaire avec un rendement de 40 kg MS/m² j. Une fois épaissies, les boues sont pompées vers les unités de déshydratation.

II. 5.7.4. Déshydratation des boues

On distingue deux types des déshydratations des boues :

- **Lits de séchage:** la station dispose de dix-huit lits de séchage naturel de forme rectangulaire utilisés en dehors période pluvieuse, ils fonctionnent par filtration gravitaire à travers une couche de sable, combinée à une évaporation naturelle.



Photo II. 8 : les lits de séchage naturels

- **Déshydratation mécanique :** utilisée en période pluvieuse ou en cas d'insuffisance des lits. Elle repose sur l'ajout d'un polymère pour faciliter la floculation, suivi d'un essorage dans un filtre à bandes, permettant d'atteindre une siccité de 18 à 40 %.

II. 6. Conclusion

En résumé, Jijel bénéficie d'une position stratégique et de conditions naturelles favorables, mais reste confrontée à des défis tels que l'urbanisation, la croissance démographique et le risque sismique. Ces facteurs influencent directement le fonctionnement de la STEP d'El Rabta, qui doit s'adapter pour garantir un traitement efficace.

La station assure l'épuration des eaux usées à travers plusieurs étapes essentielles et joue un rôle majeur dans la protection de l'environnement et la préservation des ressources en eau.

CHAPITRE III :

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

ET DISCUSSION

CHAPITRE III : RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX ET DISCUSSION

III. 1. Introduction

Ce chapitre présente l'analyse des résultats expérimentaux recueillis au laboratoire de la STEP d'El Rabta durant l'année 2024. Le but est d'examiner l'efficacité de traitement de la station en se basant sur les paramètres physico-chimiques et biologiques des eaux usées traitées. Il s'agit également de contrôler leur conformité aux normes en vigueur et d'évoquer les perspectives de réutilisation des eaux après traitement.

III. 2. Paramètres analysés

L'évaluation des performances de la STEP repose sur l'analyse de plusieurs paramètres représentatifs de la qualité de l'eau : la température (T), le potentiel hydrogène (pH), la conductivité électrique (CE), la demande biochimique en oxygène (DBO₅), la demande chimique en oxygène (DCO), les matières en suspension (MES), et les nutriments.

III. 3. La température

La température constitue un facteur clé influençant l'oxygénation de l'eau, l'activité métabolique des micro-organismes et la vitesse des réactions biologiques.

III. 3.1. Effets sur les écosystèmes aquatiques

➤ **Lorsque la température est élevée :**

- Modifient le rythme métabolique et la croissance des microorganismes aquatiques.
- Une élévation importante peut entraîner la disparition progressive d'espèces sensibles à la chaleur.
- Encouragent la multiplication des algues et des cyanobactéries, ce qui accroît le danger d'eutrophisation et perturbe l'équilibre écologique.

➤ **Lorsque la température est basse :**

- Ralentissent les réactions biologiques ce qui diminue la rapidité de décomposition des substances organiques.
- Des espèces qui ne sont pas résistantes au froid peuvent subir une mortalité élevée.
- Les cycles naturels de traitement de l'azote, tels que la nitrification et la dénitrification, deviennent moins efficaces.

III. 3.2. Impact sur la santé humaine

- L'augmentation de certaines cyanobactéries peut provoquer la création de toxines dangereuses pour l'homme.
- Risques sanitaires, surtout si l'eau est destinée à des usages tels que la baignade, l'irrigation ou la consommation.

III. 3. Norme de rejet en milieu naturel

La température des eaux usées déversées ne doit pas dépasser 30 °C afin de garantir un rejet conforme aux normes environnementales. [5]

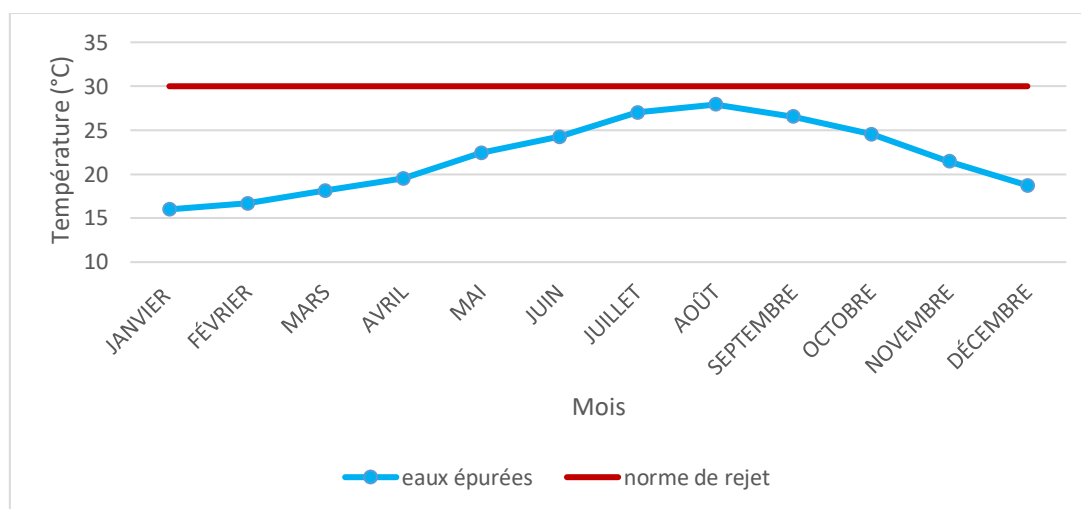


Figure III. 1 : variation mensuelle moyenne de la température par rapport aux normes de rejet (2024)

- **Observation :** la température des eaux usées épurées présente une variation significative au cours de l'année. Les valeurs moyennes les plus basses sont observées durant l'hiver, atteignant un minimum de 16 °C en janvier, tandis que la température maximale de 27,92 °C est enregistrée en août.
- **Interprétation :** cette évolution reflète l'influence directe des conditions climatiques sur la température des eaux usées traitées. En période chaude, bien que la température augmente naturellement, elle reste maîtrisée à la sortie du système d'épuration. Cela laisse penser que le procédé de traitement appliqué par la station contribue au maintien de conditions thermiques acceptables, évitant tout dépassement.
- **Conclusion :** les résultats obtenus montrent que la STEP d'El Rabta respecte les exigences réglementaires en matière de température des rejets. Tout au long de l'année,

la température des eaux épurées demeure inférieure à la limite fixée, garantissant ainsi une protection adéquate du milieu naturel.

III. 4. Le potentiel hydrogène (pH)

Le pH représente le cologarithme décimal de l'activité des ions hydronium (H_3O^+), défini par la relation : $\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$. Ce paramètre permet de déterminer si une eau est acide, neutre ou basique. Il est exprimé sur une échelle allant de 0 à 14, la neutralité correspondant à $\text{pH} = 7$.

III. 4.1. Effets sur les écosystèmes aquatiques

➤ **Lorsque le ph élevé :**

- Rend le milieu toxique pour plusieurs espèces aquatiques sensibles, perturbant ainsi les équilibres naturels.
- À pH alcalin, l'ammonium se transforme en ammoniac (NH_3), substance dangereuse pour les poissons pouvant entraîner des difficultés respiratoires et une mortalité accrue.
- Entraîne la précipitation de métaux lourds, risquant de polluer les sédiments et la chaîne alimentaire.

➤ **Lorsque le ph bas :**

- L'acidité détériore les canalisations, les réservoirs et les équipements de traitement, augmentant les risques de fuites et de contamination.
- L'infiltration d'eaux acides dans le sol modifie sa structure chimique, réduit sa capacité à nourrir les plantes et compromet durablement la productivité agricole.

III. 4.2. Impact sur la santé humaine

- Favorise la présence de bactéries, virus et parasites. Cette situation augmente le risque de maladies diarrhéiques, d'infections cutanées ainsi que d'autres troubles de santé, notamment chez les personnes vulnérables.
- L'infiltration des eaux usées dans les sols peut contaminer les cultures ainsi que les nappes souterraines. Cette pollution constitue une menace sérieuse pour la santé publique, que ce soit par ingestion de produits contaminés ou par contact direct.

III. 4.3. Norme de rejet en milieu naturel et la réutilisation en irrigation

La norme de pH des eaux usées épurées rejetées en milieu naturel doit être comprise entre 6,5 et 8,5 selon l'OMS.

Cette exigence correspond également aux normes en vigueur en Algérie concernant la réutilisation des eaux en irrigation.

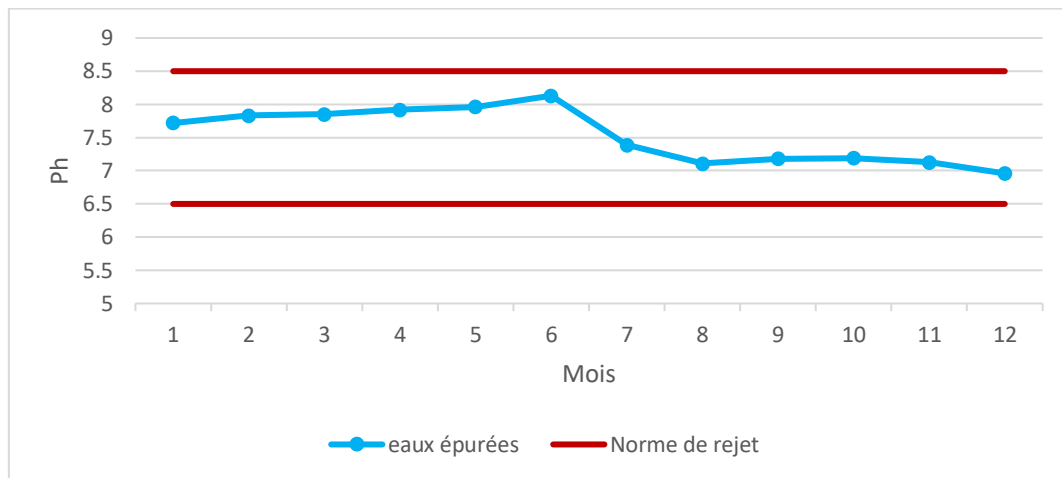


Figure III. 2 : variation mensuelle moyenne du pH par rapport aux normes de rejet et à la réutilisation en irrigation (2024)

- **Observation** : le pH des eaux épurées fluctue au cours de l'année, se situant en moyenne entre 6,96 en décembre et 8,13 en juin. On observe une assez constante au début de l'année, suivie d'une petite baisse à partir de juillet.
- **Interprétation** : cette évolution peut s'expliquer par plusieurs facteurs, tels que les changements dans la composition des eaux usées selon les saisons, les effets des conditions climatiques, ainsi que les variations possibles dans l'efficacité du traitement biologique.
- **Conclusion** : les eaux épurées respectent les normes en vigueur relatives au pH pour les rejets dans le milieu naturel ainsi que pour la réutilisation en irrigation. Les valeurs mesurées restent systématiquement comprises dans la plage réglementaire fixée par la législation algérienne.

III. 5. La conductivité (CE)

La conductivité de l'eau désigne sa capacité à conduire le courant électrique, grâce à la présence d'ions dissous dans la solution.

III. 5.1. Effets de la conductivité élevée sur l'environnement

- Une conductivité électrique élevée, généralement liée à une concentration importante en sels dissous, peut avoir des effets néfastes sur l'environnement.

L'usage d'eaux usées salines pour l'irrigation ou leur rejet dans les cours d'eau provoque une hausse de la salinité, tant dans les sols que dans les eaux douces. Cette salinisation compromet la croissance des cultures et déséquilibre les milieux aquatiques sensibles au sel. De plus, une modification de la composition ionique de l'eau peut affecter les fonctions essentielles d'un grand nombre d'espèces aquatiques. À long terme, l'excès de sels dans les sols change leur structure, limite leur fertilité et affecte de manière durable leur capacité de production.

III. 5.2. Norme de réutilisation en irrigation

Selon la réglementation algérienne en vigueur, la conductivité maximale autorisée pour les eaux usées traitées destinées à l'irrigation ne doit pas dépasser 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. [6]

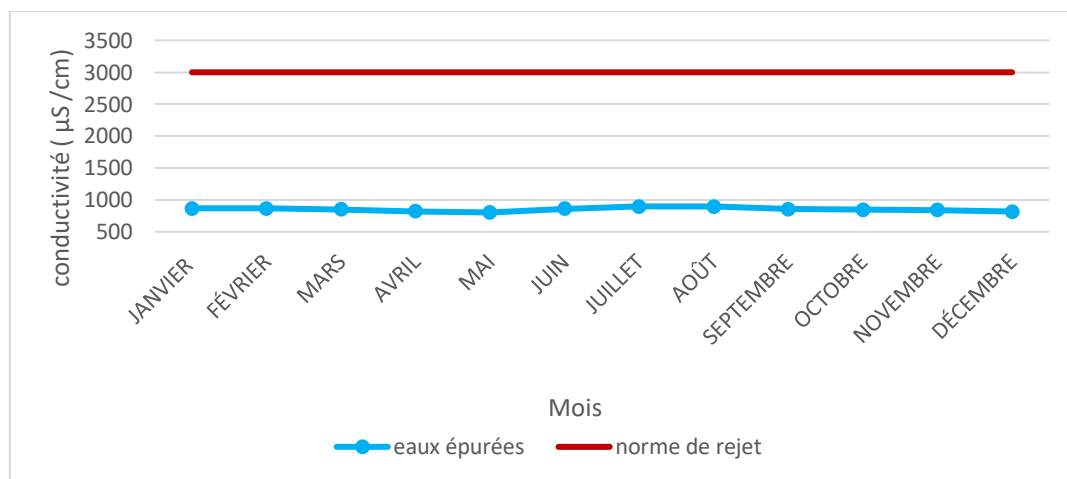


Figure III. 3 : variation mensuelle moyenne de conductivité par rapport aux normes de réutilisation en irrigation (2024)

- **Observation** : la conductivité des eaux épurées se maintient, tout au long de l'année, dans une plage stable, généralement comprise entre 800 et 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- **Interprétation** : la stabilité des valeurs mensuelles traduit une composition relativement constante des eaux traitées en sels dissous. L'absence de fluctuations marquées reflète le bon fonctionnement du système d'épuration.
- **Conclusion** : avec des niveaux de conductivité bien en dessous du seuil réglementaire, les eaux épurées présentent une qualité satisfaisante. Elles peuvent être réutilisées en irrigation sans provoquer de risques de salinisation des sols.

III. 6. La demande biologique en oxygène DBO₅

La DBO₅ correspond à l'oxygène nécessaire, sur 5 jours à 20 °C, pour la décomposition

biologique de la matière organique biodégradable contenue dans l'eau. Elle constitue un indicateur clé de la pollution organique.

III. 6.1. Impact de DBO₅ élevée sur l'environnement

- **Appauvrissement en oxygène dissous** : une valeur élevée de la DBO₅ traduit une forte concentration de matières organiques biodégradables dans l'eau. Leur décomposition par les micro-organismes entraîne une consommation excessive d'oxygène dissous. Cette baisse d'oxygène peut provoquer l'asphyxie des poissons et de nombreux organismes aquatiques, ce qui perturbe l'équilibre de l'écosystème.
- **Eutrophisation des milieux aquatiques** : la forte charge organique favorise la prolifération des algues.
- **Production de composés toxiques** : lorsque l'oxygène vient à manquer, des processus de dégradation sans oxygène (anaérobies) prennent le relais. Ils génèrent des substances nuisibles telles que l'ammoniac (NH₃) ou encore divers acides organiques volatils. Ces composés peuvent rendre l'eau impropre à la vie aquatique et accentuer les déséquilibres environnementaux.

III. 6.2. L'élimination de la DBO₅ durant le traitement

La figure suivante illustre l'évolution de la DBO₅ mesurée avant et après le traitement au cours de l'année 2024 :

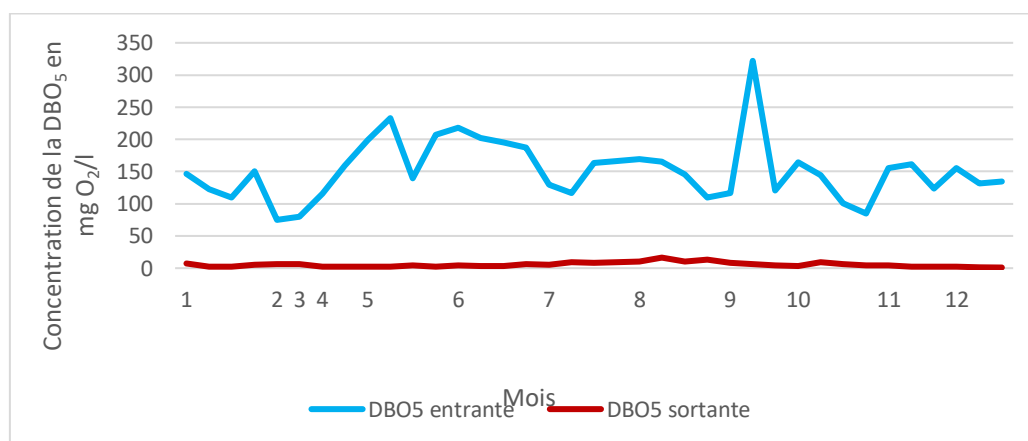


Figure III. 4 : teneur en DBO₅ avant et après traitement

- **Observation** : les concentrations de DBO₅ des eaux épurées sont toujours inférieures à celles des eaux brutes, ce qui indique que le traitement appliqué par la STEP d'El Rabta a permis de réduire de manière importante la charge organique des eaux usées. Des pics notables sont observés en mai et surtout en septembre pour les eaux brutes.

- **Interprétation :** malgré les variations importantes de la pollution en entrée, la faible teneur en DBO_5 dans les eaux épurées démontre que le traitement de la STEP est efficace pour réduire la charge organique, même face à une charge organique élevée.

III. 6.3. Rendement d'élimination de la DBO_5 durant le traitement

La Figure présente les performances d'élimination de la DBO_5 lors du traitement pour l'année 2024 :

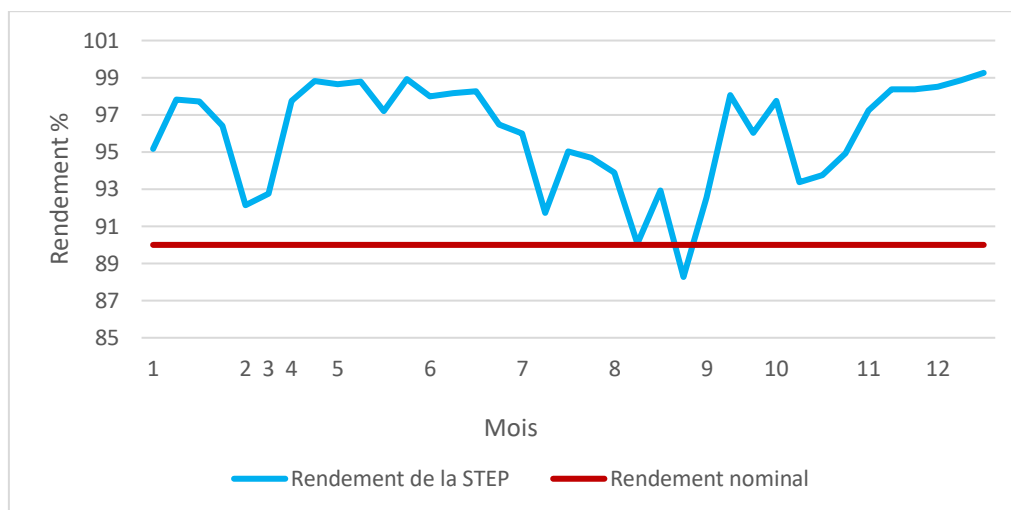


Figure III. 5 : rendements d'élimination de la DBO_5 durant le traitement

- **Observation :** le rendement d'élimination de la DBO_5 à la STEP reste généralement supérieur à 90 %, avec une stabilité marquée observée de janvier à juin. Une diminution est enregistrée vers la fin du mois de juillet, atteignant environ 88,2 %, ce qui constitue la valeur la plus faible de l'année. À partir d'octobre, le rendement progresse de manière continue pour atteindre 99,2 % en décembre.
- **Interprétation :** la diminution observée entre juillet et septembre peut s'expliquer par l'élévation des températures, susceptibles de réduire l'efficacité biologique du traitement, ainsi que par certaines perturbations d'exploitation. L'amélioration constatée en automne et en hiver reflète un retour à un fonctionnement normal, grâce à des conditions plus favorables et à une meilleure efficacité du traitement biologique.

III. 6.4. Rejet dans le milieu naturel et réutilisation des eaux épurées en irrigation

L'OMS fixe la concentration maximale en DBO_5 des eaux usées traitées avant leur rejet dans le milieu naturel à 30 mg/L. Cette valeur est également retenue comme seuil réglementaire pour l'utilisation des eaux traitées en irrigation dans la réglementation algérienne en vigueur.

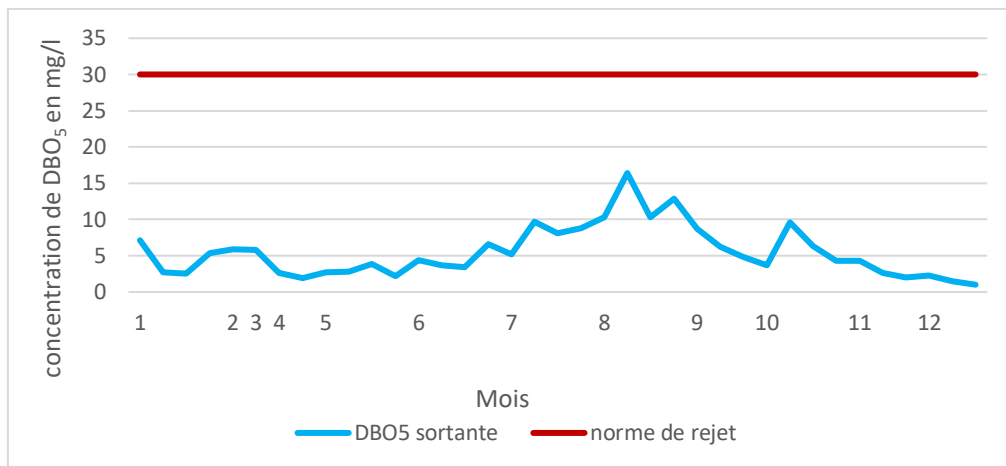


Figure III. 6 : teneur des eaux épurées en DBO₅ par rapport aux normes de rejet et à la réutilisation en irrigation

III. 6.5. Conclusion

Les résultats montrent que la STEP d'El Rabta assure un traitement efficace de la DBO₅, l'ensemble des rejets de l'année 2024 étant conformes aux normes de rejet en milieu naturel et répondant également aux critères de réutilisation des eaux traitées en irrigation.

III. 7. La demande chimique en oxygène DCO

La DCO offre la possibilité d'évaluer la quantité de matière organique dans l'eau. Une valeur élevée traduit une forte pollution organique, généralement liée à la présence de produits chimiques industriels, d'effluents agricoles ou d'eaux résiduelles domestiques.

III. 7.1. Impact environnemental de la DCO élevée

- Appauvrissement en oxygène dissous : la présence importante de matière organique entraîne une consommation accrue d'oxygène par les micro-organismes chargés de sa dégradation. Cette réduction de l'oxygène disponible peut entraîner l'asphyxie d'espèces aquatiques vulnérables.
- L'accroissement de la DCO dégrade la qualité physique de l'eau, en modifiant sa couleur, son odeur et son goût.

III. 7.2. L'élimination de la DCO durant le traitement

La figure suivante illustre l'évolution de la DCO mesurée avant et après le traitement au cours de l'année 2024 :

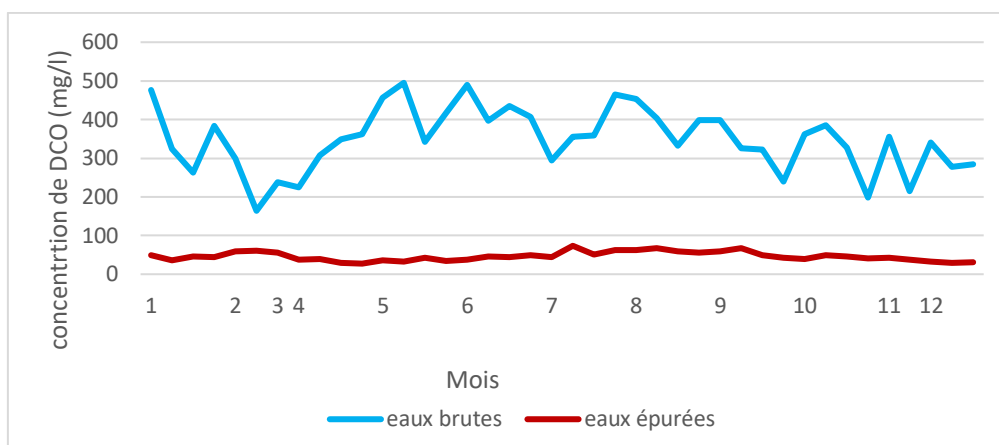


Figure III. 7 : teneur en DCO avant et après traitement (2024)

- **Observation :** les concentrations de DCO entrantes sont toujours supérieures aux concentrations après traitement, oscillant approximativement entre 150 et plus de 500 mg/L tout au long de l'année pour les eaux brutes. Plusieurs pics importants sont observés, notamment en janvier, mai et juin, mais ils n'influencent pas l'efficacité du traitement.
- **Interprétation :** le traitement appliqué à la STEP assure une réduction significative de la DCO, faisant passer les valeurs très élevées en entrée à des concentrations nettement plus faibles en sortie. La stabilité des valeurs après traitement témoigne de l'efficacité et de la régularité du procédé, malgré les variations importantes des charges polluantes à l'entrée.

III. 7.3. Le rendement d'élimination de la DCO durant le traitement

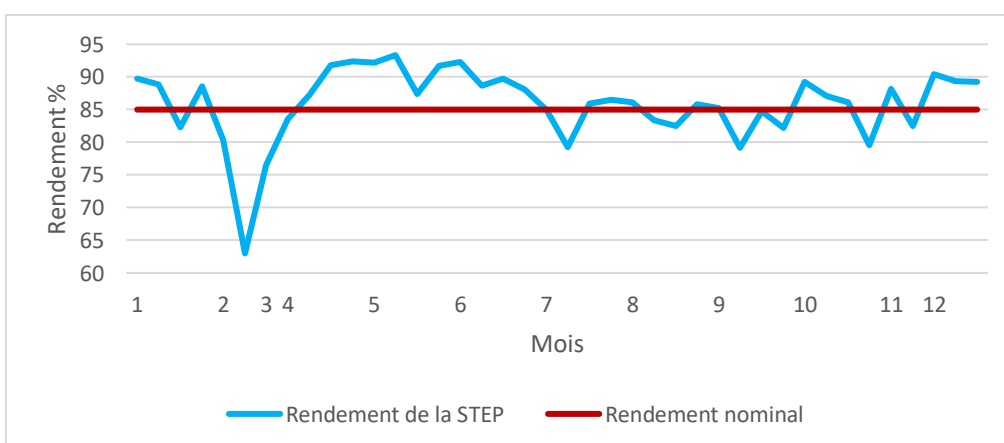


Figure III. 8 : rendements d'élimination de la DCO durant le traitement

- **Observation :** le rendement d'élimination de la DCO est globalement satisfaisant durant l'année 2024, avec des valeurs le plus souvent proches ou supérieures au seuil

nominal de 85 %. On enregistre cependant une chute marquée en février et une légère diminution en été.

- **Interprétation** : ces variations s'expliquent par les surcharges hydrauliques ou organiques et par l'impact des conditions saisonnières, notamment la pluviométrie et la température. Malgré cela, la STEP conserve dans l'ensemble un rendement de traitement satisfaisant et conforme.

III. 7.4. Rejet dans le milieu naturel et la réutilisation des eaux épurées en irrigation

Selon l'OMS, la concentration maximale en DCO des eaux usées traitées avant leur rejet dans le milieu naturel est fixée à 90 mg O₂/l. Cette même valeur est également adoptée par la réglementation algérienne comme norme pour la réutilisation des eaux épurées en irrigation.

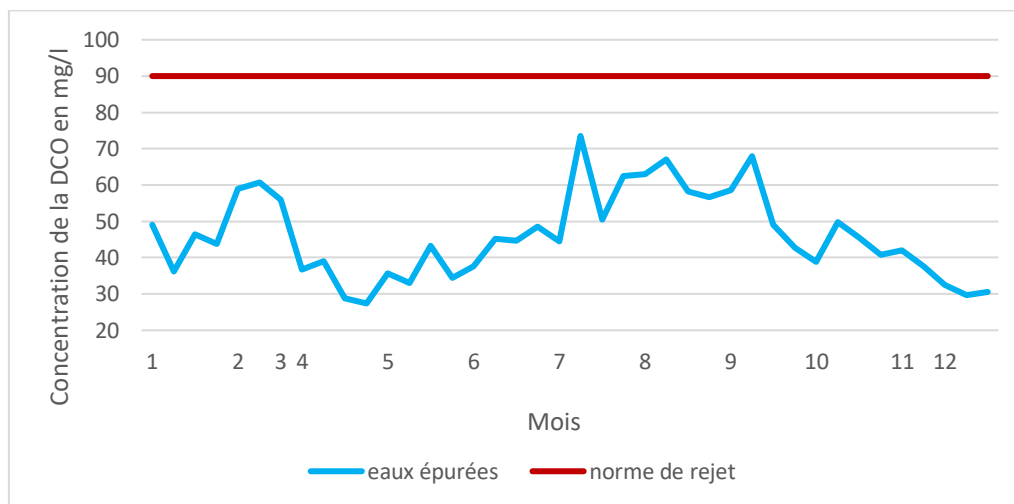


Figure III. 9 : teneur des eaux épurées en DCO par rapport aux normes de rejet et à la réutilisation en irrigation (2024)

La DCO des eaux épurées respecte est conforme à la norme de rejet en milieu naturel. Bien que quelques pics aient été notés durant l'été, les valeurs demeurent en dessous du seuil réglementaire.

III. 7.5. Conclusion

L'efficacité de l'élimination de la DCO par la station d'épuration d'El Rabta se démontre globalement. L'effluent traité, déversé dans le milieu naturel, respecte les normes établies par l'OMS ainsi que celles régissant sa réutilisation pour l'irrigation.

III. 8. Matières en suspensions (MES)

Les MES sont de fines particules solides dispersées dans l'eau. Elles peuvent avoir une origine naturelle, comme le sol, les sédiments ou les algues, ou résulter d'activités humaines, notamment les eaux usées, le ruissellement en milieu urbain ou les rejets industriels.

III. 8.1. Impact de la MES élevée

- L'augmentation de la turbidité rend l'eau moins attrayante visuellement et moins adaptée aux usages domestiques et récréatifs. De plus, les MES peuvent transporter des polluants tels que les métaux lourds ou les pesticides, représentant un risque pour la santé humaine et les écosystèmes aquatiques.
- Les MES peuvent bloquer les branchies des poissons et d'autres espèces aquatiques, ce qui gêne leur respiration et rend leur alimentation plus difficile. Elles réduisent aussi la lumière disponible, ce qui freine la photosynthèse des plantes aquatiques.
- Les MES peuvent se déposer au fond des cours d'eau, réduisant ainsi leur profondeur, ce qui nuit à la navigation et perturbe la vie aquatique. Ce phénomène peut également modifier le tracé des rivières, favorisant l'érosion des berges et augmentant le risque d'inondations.

III. 8.2. L'élimination de la MES durant le traitement

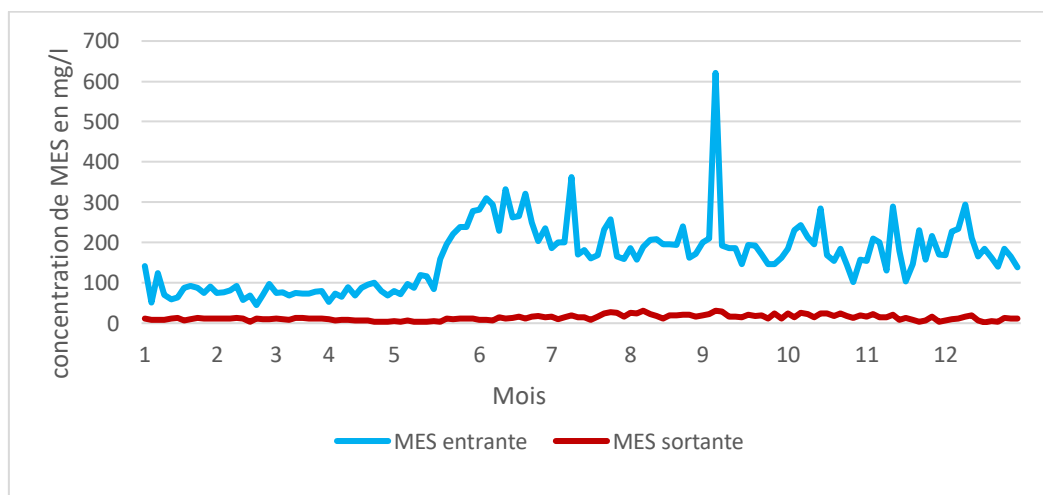


Figure III. 10 : teneur en MES avant et après traitement (2024)

- **Observation :** les MES entrantes présentent une variabilité marquée au cours de l'année 2024, avec des concentrations oscillant en moyenne entre 100 et 300 mg/l, et un pic observé en septembre atteignant environ 600 mg/l. À l'inverse, les MES sortantes demeurent stables durant toute l'année, avec des teneurs faibles ne dépassant généralement pas 30 mg/l.

- **Interprétation :** les variations enregistrées au niveau de MES entrantes reflètent une fluctuation de la charge polluante brute, probablement influencée par des facteurs saisonniers. Le pic relevé en septembre pourrait être lié à une surcharge hydraulique ponctuelle ou à un apport exceptionnel.

III. 8.3. Le rendement d'élimination de la MES durant le traitement

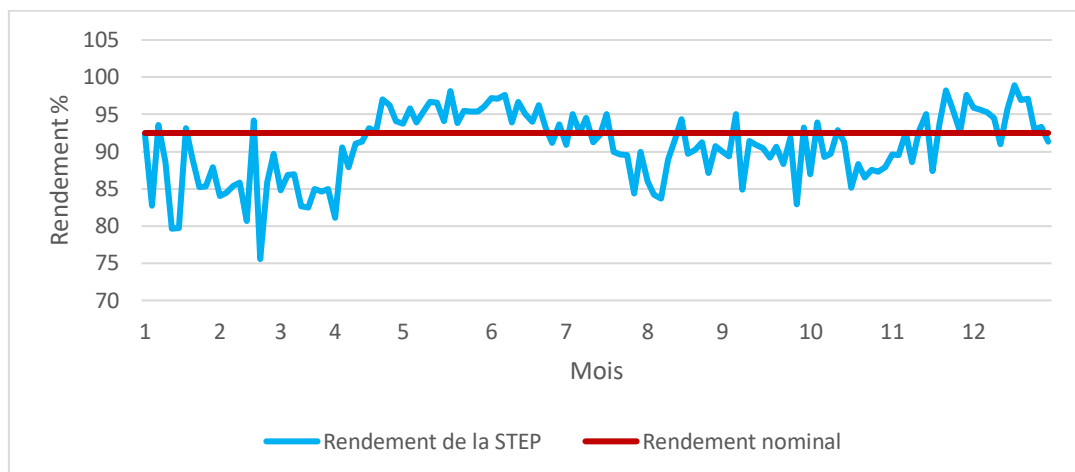


Figure III. 11 : rendements d'élimination de MES durant le traitement

- **Observation :** le rendement d'élimination de MES présente une variabilité notable au cours de l'année, oscillant entre 75 % et 98 %. Plusieurs journées se distinguent toutefois par des performances inférieures à 92,5 %.
- **Interprétation :** l'élimination de MES reste globalement efficace. Le rendement mesuré se situe la plupart du temps en dessous du rendement nominal de 92,5 %, ce qui peut révéler un dysfonctionnement ponctuel du traitement. En revanche, certaines journées présentent des valeurs supérieures à ce seuil.

III. 8.4. Norme de rejet dans le milieu naturel

Selon les recommandations de l'OMS, la concentration maximale en MES des eaux usées épurées, avant leur rejet dans le milieu naturel, est fixée à 20 mg/l.

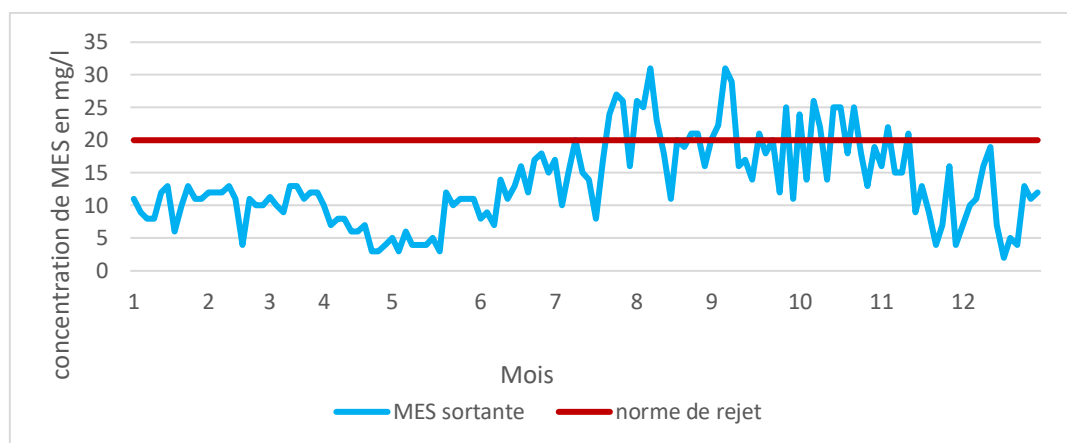


Figure III. 12 : teneur des eaux épurées en MES par rapport aux normes de rejet

Les résultats montrent que les concentrations en MES ont dépassé la limite de rejet fixée à 20 mg/l à plusieurs reprises au cours de la période étudiée, notamment durant les mois de juillet, août, septembre et octobre.

III. 8.5. Norme de réutilisation pour l'irrigation

Selon la réglementation algérienne en vigueur, la teneur maximale en MES des eaux usées épurées destinées à la réutilisation en irrigation ne doit pas dépasser 30 mg/l. [6]

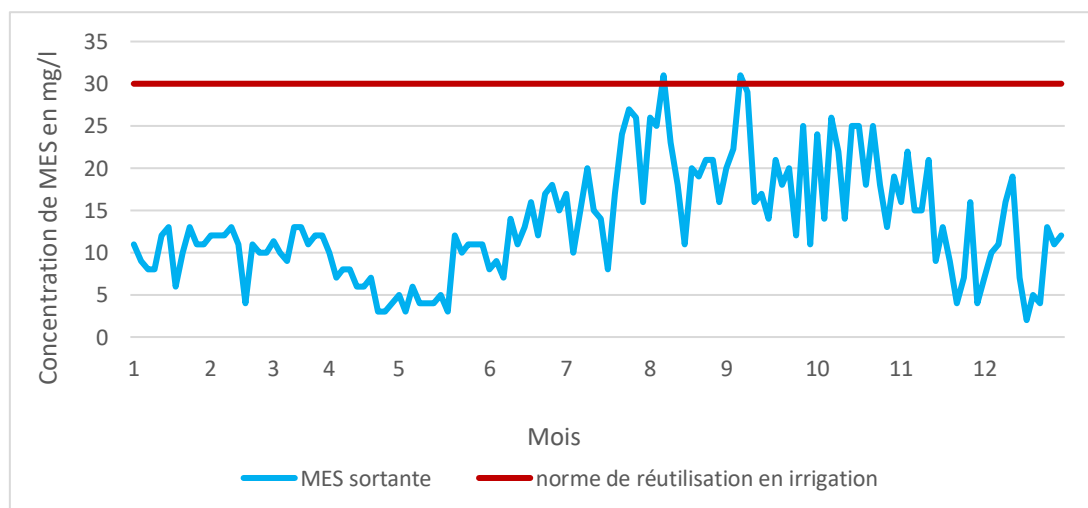


Figure III. 13 : teneur des eaux épurées en MES par rapport aux normes de réutilisation en irrigation

On observe que les concentrations en MES dépassent la norme fixée pour la réutilisation des eaux épurées en irrigation (30 mg/l) à deux reprises au cours de l'année 2024.

III. 8.6. Conclusion

Il convient toutefois de souligner que les eaux usées traitées rejetées dans le milieu naturel présentent des dépassements par rapport aux normes établies par l'OMS. Cette situation requiert une analyse approfondie du procédé d'épuration afin d'assurer, de manière durable, la conformité aux exigences réglementaires

III. 9. Azote totale (NT)

L'azote total désigne l'ensemble des formes d'azote présentes dans l'eau, incluant l'azote organique, l'ammoniac (NH_4^+), les nitrites (NO_2^-) et les nitrates (NO_3^-). Ces éléments proviennent principalement des rejets domestiques, agricoles et industriels.

III. 9.1. Impact environnemental

L'eutrophisation, caractérisée par une croissance démesurée d'algues et de plantes, est provoquée par une surcharge d'azote dans les écosystèmes aquatiques. Cela déséquilibre l'équilibre naturel, diminue l'oxygène dissous et peut entraîner la mort des êtres aquatiques. Certaines formes d'azote, telles que l'ammonium et les nitrites, sont directement toxiques. À long terme, cette surcharge diminue la biodiversité, dégrade la qualité de l'eau et peut menacer la santé humaine si l'eau est polluée.

III. 9.2. Traitement de l'azote

Dans la STEP d'El Rabta, les analyses de l'azote sont réalisées une fois par mois.

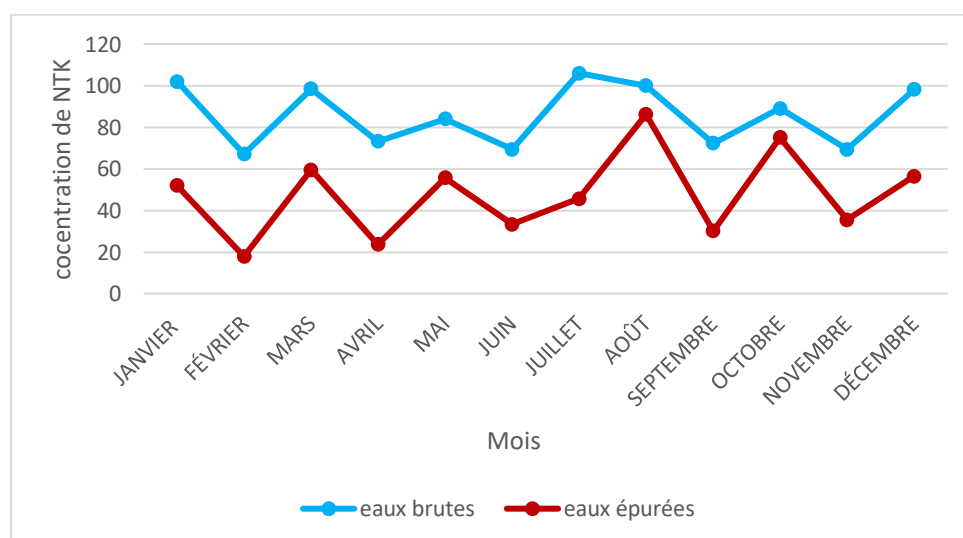


Figure III. 14 : évolution des concentrations en NT à l'entrée et à la sortie de la STEP d'El Rabta (2024)

- **Observation** : les concentrations en NT mesurées à l'entrée de la station au cours de l'année 2024 oscillent entre 67,1 mg/l et 106 mg/l. En sortie, elles sont nettement plus faibles, variant entre 17,9 mg/l et 86,2 mg/l.
- **Interprétation** : la STEP d'El Rabta parvient à réduire efficacement la charge azotée tout au long de l'année, malgré l'influence des variations saisonnières sur les résultats. Globalement, le rendement épuratoire reste satisfaisant, bien que des baisses ponctuelles de performance soient observées en août et en octobre.

III. 9.3. Norme de rejet pour irrigation (norme algérienne)

Pour l'azote total, la concentration dans l'eau traitée doit être inférieure à 50 mg/l. [8]

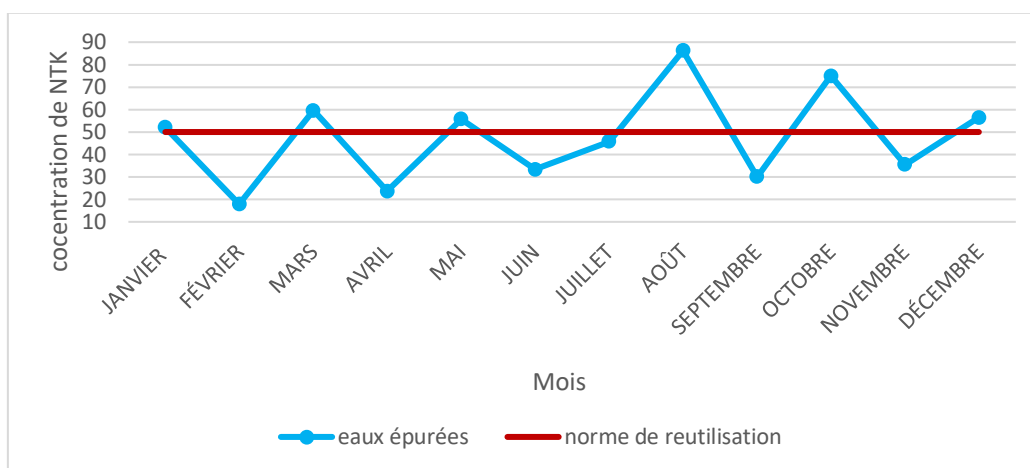


Figure III. 15 : variation de la teneur en NT par rapport aux normes de rejet

- **Observation** : les concentrations en NT mesurées à la sortie de la station au cours de l'année 2024 ont dépassé le seuil de 50 mg/l à plusieurs reprises.
- **Interprétation** : les valeurs d'azote total dépassant à plusieurs reprises le seuil réglementaire de 50 mg/l en sortie de la station indiquent que le traitement n'a pas toujours été efficace sur l'ensemble de l'année. Cette situation peut être attribuée à des contraintes d'exploitation, à des variations saisonnières influençant la qualité des eaux entrantes ou à une capacité de traitement insuffisante face aux charges reçues.

III. 9.4. Conclusion

Le fonctionnement de la STEP de d'El Rabta au cours de l'année 2024 n'a pas été satisfaisant, comme le montrent les dépassements répétés du seuil de 50 mg/l en azote total. Ces résultats révèlent des faiblesses dans le traitement et mettent en évidence la nécessité d'améliorer l'exploitation de la station et de renforcer le contrôle des paramètres de qualité.

Des mesures correctives doivent être engagées afin d'assurer un traitement efficace et de garantir que l'eau produite respecte les normes en vigueur et puisse être réutilisée en toute sécurité.

III. 10. Phosphore totale

Regroupe toutes les formes de phosphore contenues dans l'eau, qu'elles soient dissoutes ou liées à des particules, d'origine organique ou minérale.

III. 10.1. Impact environnemental

- Un surplus de phosphore dans l'eau cause l'eutrophisation, entraînant une surcroissance d'algues et de végétation aquatique. Cela consomme beaucoup d'oxygène, menaçant les poissons et autres organismes, et certaines algues produisent des toxines nocives. Cette multiplication peut aussi altérer la biodiversité en faisant concurrence à d'autres espèces.

III. 10.2. Traitement de phosphore

Dans la STEP d'El Rabta, les analyses du phosphore sont réalisées une fois par mois.

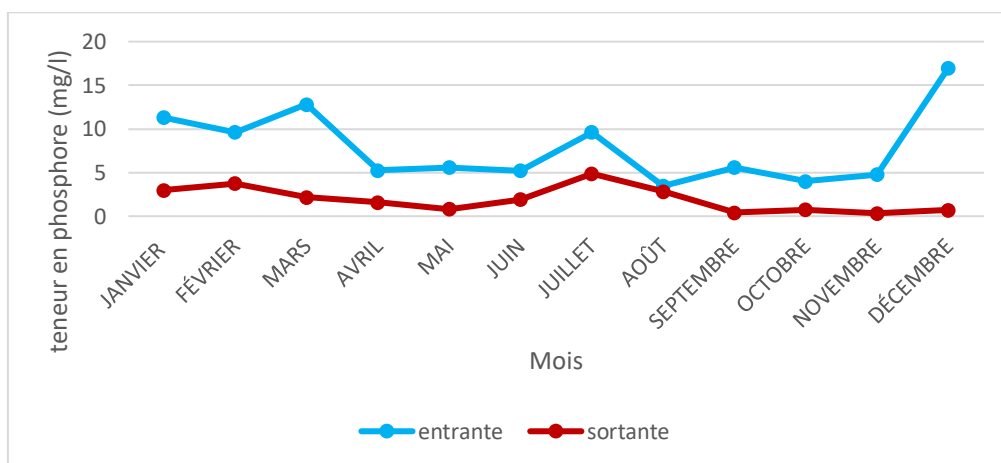


Figure III. 16 : teneur en phosphore à l'entrée et à la sortie de la STEP

- **Observation :** les concentrations de phosphore à l'entrée de la STEP fluctuent entre 3,47 mg/l et 17 mg/l, avec des pics notables en mars, juillet et décembre. À la sortie, les concentrations sont nettement plus faibles, comprises entre 0,34 mg/l et 4,87 mg/l, avec quelques hausses ponctuelles relevées en février, juillet et août.
- **Interprétation :** ces résultats indiquent que la STEP d'El Rabta assure une réduction significative du phosphore tout au long de l'année. Les variations saisonnières influencent les fluctuations enregistrées.

Globalement, l'efficacité du traitement demeure satisfaisante, malgré quelques périodes de rendement légèrement réduit, tel que le mois d'août.

III. 10.3. Norme de rejet en milieu naturel

La norme de rejet de phosphore en milieu naturel fixé à 2 mg/l. [5]

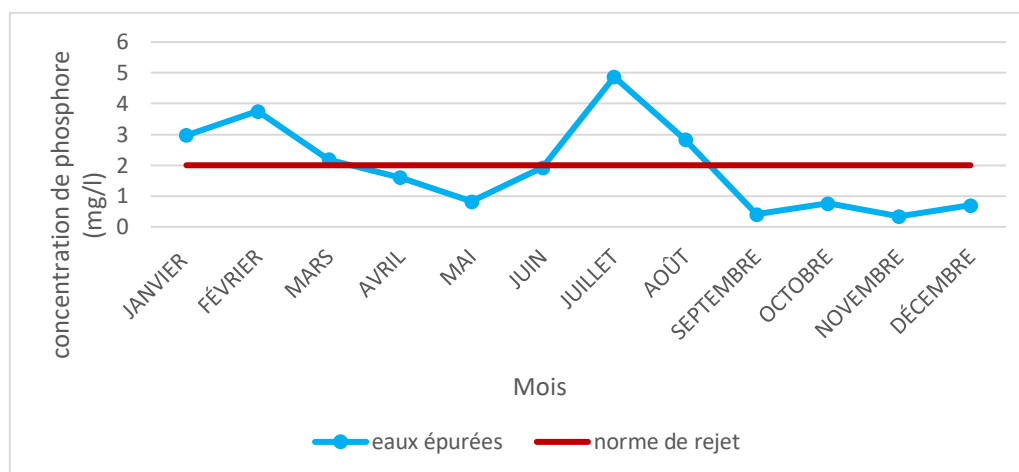


Figure III. 17 : variation de la teneur en phosphore par rapport aux normes de rejet

- **Observation :** les concentrations de phosphore à la sortie varient de manière importante au cours de l'année 2024. Les valeurs les plus faibles sont enregistrées en septembre (0,41 mg/l) et en novembre (0,34 mg/l), tandis que les plus élevées apparaissent en février (3,76 mg/l) et en juillet (4,87 mg/l). La norme de rejet fixée à 2 mg/l pour le phosphore a été dépassée durant plusieurs mois de l'année 2024.
- **Interprétation :** en raison des dépassements répétés de la norme de rejet, les eaux épurées par la STEP d'El Rabta n'étaient pas conformes aux exigences réglementaires pour le phosphore en 2024. Un traitement supplémentaire était donc nécessaire avant leur rejet dans le milieu naturel.

III. 10.4. Norme de réutilisation en agriculture

La concentration maximale en phosphore des eaux usées épurées destinées à l'irrigation est fixée à 0,94 mg/l selon la réglementation algérienne en vigueur. [6]

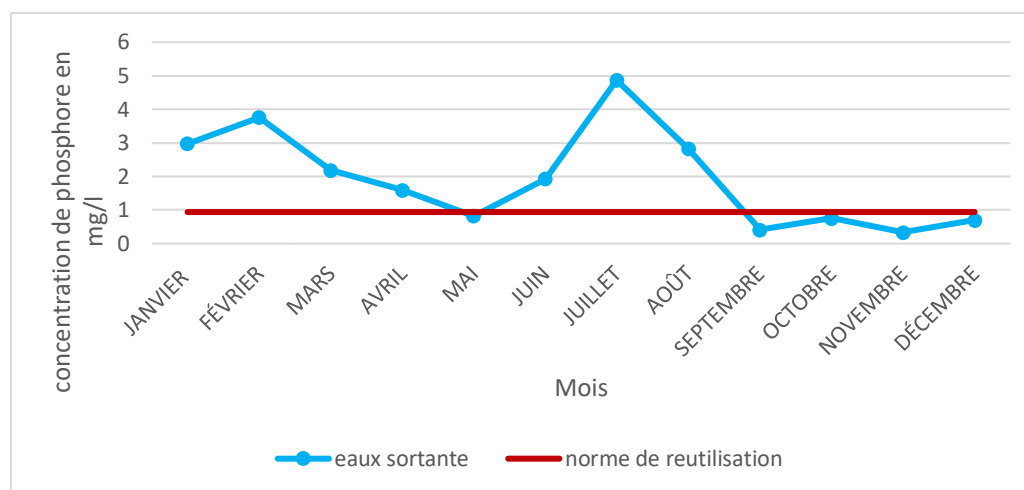


Figure III. 18 : variation de la teneur en phosphore par rapport aux normes de réutilisation en irrigation

- **Observation :** la concentration de phosphore à la sortie est restée supérieure à la norme de réutilisation en irrigation fixée à 0,94 mg/l durant la majorité des mois de l'année.
- **Interprétation :** les dépassements de la concentration en phosphore total par rapport à la norme de réutilisation en irrigation indiquent que les eaux usées traitées par la STEP d'El Rabta ne respectent pas les exigences réglementaires relatives à leur réutilisation à des fins agricoles.

III. 10.5. Conclusion

En conclusion, la STEP d'El Rabta s'est révélée incapable de réduire les concentrations de phosphore sortant durant toute l'année 2024. Afin de respecter la réglementation et de garantir la protection de l'environnement, La mise en œuvre de mesures correctives adaptées à l'usage prévu s'avère indispensable.

III. 11. Indicateurs de performance de la STEP

L'analyse de ces paramètres est un élément clé pour évaluer le degré de pollution des eaux brutes. Elle permet également la possibilité d'optimiser les paramètres physico-chimiques afin de déterminer l'efficacité réelle du traitement.

III. 11.1. Indice de biodégradabilité : rapport DCO /DBO₅

L'analyse du rapport DCO /DBO₅ offre une indication sur la source et la composition de la pollution organique. Plus ce rapport est important, plus les composés organiques sont résistants à la dégradation biologique.

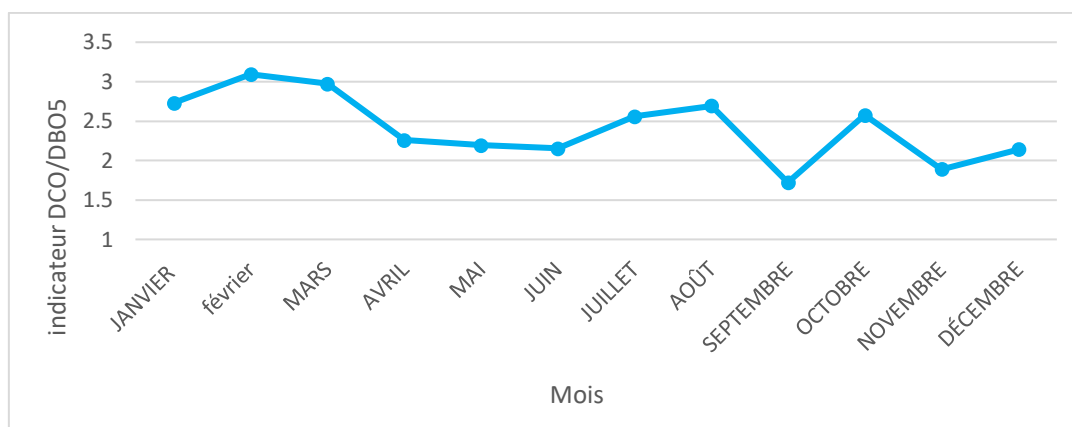


Figure III. 19 : évolution du rapport DCO /DBO₅ à l'entrée de la STEP

- **Observation :** le rapport de biodégradabilité DCO /DBO₅ varie entre 1,7 et 3,1 pour les valeurs moyennes mensuelles des eaux entrantes à la STEP durant l'année 2024.
- **Interprétation :** les résultats obtenus suggèrent que l'effluent présente une biodégradabilité intermédiaire, avec un rapport DCO /DBO₅ généralement compris entre 2 et 3 la plupart des mois de 2024 (Yapo et al., 2009). Ce niveau de biodégradabilité nécessite la présence ou l'adaptation de souches microbiennes spécifiques afin d'assurer une dégradation optimale. De plus, les variations observées traduisent une composition hétérogène des eaux usées tout au long de l'année. [9]

III. 11.2. Évolution du Rapport MES/DBO₅

Exprime la proportion de matières solides en suspension par rapport à la pollution organique biodégradable.

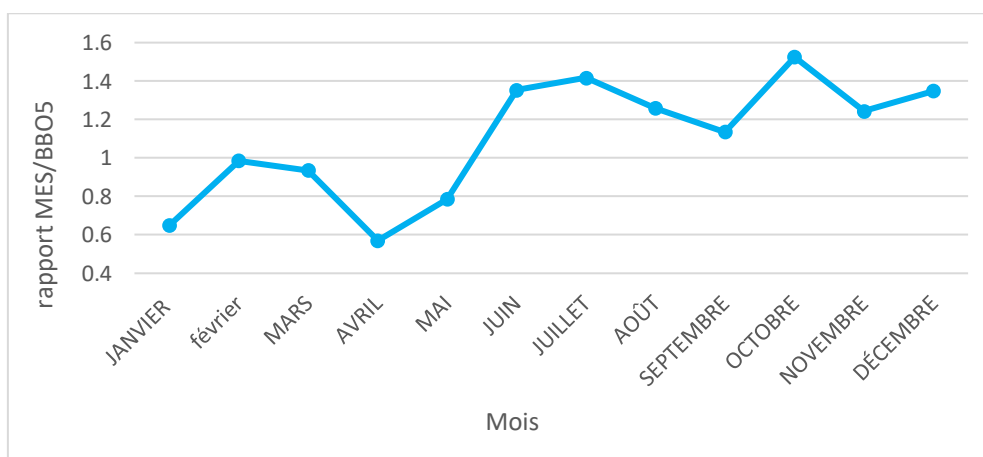


Figure III. 20 : évolution du rapport MES /DBO₅ à l'entrée de la STEP

- **Observation :** le rapport MES / DBO_5 présente des fluctuations significatives au cours de l'année 2024, avec un minimum de 0,57 enregistré en avril et un maximum de 1,5 en octobre. Après la chute observée en avril, une hausse progressive s'établit jusqu'en juin-juillet, suivie de valeurs relativement élevées et d'un pic marqué en octobre.
- **Interprétation :** ces variations traduisent une évolution de la charge polluante des eaux usées à l'entrée de la STEP. Le faible rapport enregistré en avril indique une proportion plus importante de pollution organique biodégradable par rapport aux MES. À l'inverse, les valeurs élevées relevées en juin et en octobre mettent en évidence une charge accrue en MES par rapport à la fraction biodégradable, probablement liées à des apports saisonniers ou à des changements dans la composition des effluents collectés.

III. 11.3. Le rapport DCO/NT

Le rapport DCO /NT influence directement l'efficacité de la dénitrification. Un rapport faible limite l'élimination de l'azote par manque de carbone biodégradable, tandis qu'un rapport élevé favorise cette élimination mais laisse une pollution organique résiduelle qui complique le traitement.

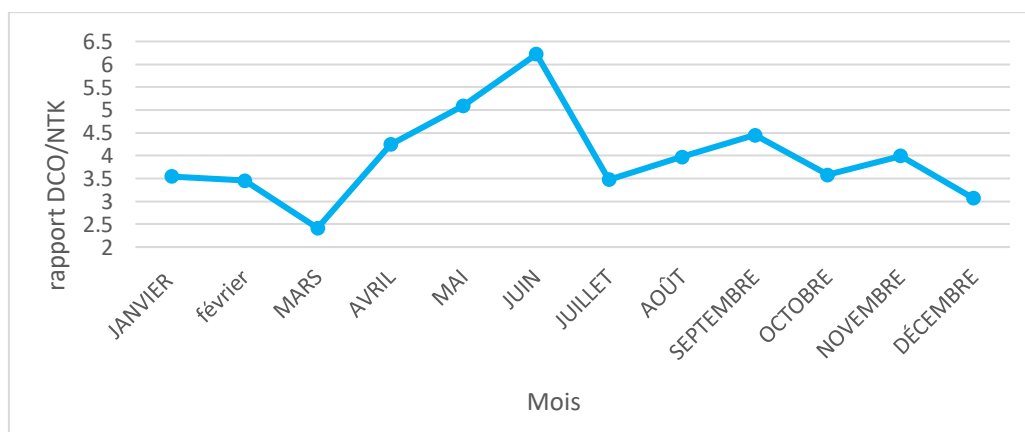


Figure III. 21 : évolution du rapport DCO /NT à l'entrée de la STEP

- **Observation :** le rapport DCO /NT présente une variation notable au cours de l'année 2024. Il atteint son minimum en mars, avec une valeur d'environ 2,4 mg/l, puis montre une hausse progressive à partir d'avril, culminant en juin avec un maximum avoisinant 6,2 mg/l.
- **Interprétation :** ces fluctuations sont principalement dues aux variations des charges polluantes, elles-mêmes liées aux rejets ponctuels d'effluents fortement chargés ainsi qu'aux changements de concentration en NT des eaux entrantes.

III. 12. Proposition d'amélioration de la STEP d'El Rabta

- Amélioration du traitement biologique pour une nitrification et dénitrification plus efficaces.
- Traitement tertiaire : précipitation chimique, microfiltration et désinfection UV pour assurer la réduction du phosphore et la qualité microbiologique des eaux réutilisées.

III. 13. Conclusion

L'étude des résultats expérimentaux en 2024 sur les eaux brutes et traitées de la STEP d'El Rabta mettent en évidence une bonne efficacité pour plusieurs paramètres, notamment la température, le pH, la conductivité, la DBO₅ et la DCO, qui respectent globalement les normes de rejet.

Cependant, des dépassements ont été relevés pour les MES, l'azote total et le phosphore total. De plus, l'absence de désinfection avancée limite les possibilités de réutilisation agricole et compromet la sécurité sanitaire.

Pour atteindre les standards requis, une modernisation de la STEP d'El Rabta s'avère indispensable, incluant une amélioration significative du traitement biologique et l'adoption d'un traitement tertiaire approprié.

CHAPITRE IV :

ÉTUDE PERSPECTIVE DE

L'EXTENSION DE LA STEP À

L'HORIZON 2038

CHAPITRE IV : ÉTUDE PERSPECTIVE DE L'EXTENSION DE LA STEP À L'HORIZON 2038

IV. 1. Introduction

L'efficacité d'une station d'épuration repose sur une conception précise et un dimensionnement rigoureux de ses installations de traitement. Ce processus implique l'évaluation des dimensions, des capacités et des performances des différentes unités en tenant compte des caractéristiques des eaux usées et des normes réglementaires. Ce chapitre propose une analyse approfondie du dimensionnement des infrastructures liées aux systèmes d'eau et de boues de la station d'épuration d'El Rabta, dans le but de garantir la réutilisation des eaux traitées.

IV. 2. Estimation de la population

$$P_N = P_0 (1 + T)^N \dots\dots\dots (IV .1)$$

Avec :

P_N : population à l'horizon de calcul.

P_0 : population de l'année de référence est égal à 181 367 habitants (Horizon 2024)

N : l'écart d'années entre les deux horizons.

T : taux de croissance de la population $T=1.87 \%$.

$$P_{2038} = 181\,367 * (1 + 0,0187)^{14} = 235\,075 \text{ habitants}$$

IV. 3. Calcul des débits et des charges polluantes

Pour le dimensionnement de la station d'épuration à l'horizon 2038, il est nécessaire d'estimer avec précision les débits d'eaux usées ainsi que les charges polluantes.

IV. 3.1. Calcul du débit d'eau usée domestique et d'équipements

➤ **Domestiques :**

$$Q_{\text{moy.j dom}} = \frac{D * N * Cr}{1000} \dots\dots\dots (IV .2)$$

Avec :

Q : débit moyen journalier des eaux usées en (m^3/j) ;

D : dotation = 160 l/hab/j ;

N : nombre d'habitant l'horizon considéré est égal à 235 075 habitants ;

Cr : coefficient de rejet = 80 %.

$$Q_{\text{moy.j.dom}} = (160 * 235\,075 * 0,8) / 1000 = 30\,086,6 \text{ m}^3/\text{j}$$

- **Les équipements** : le débit des eaux usées provenant des équipements est estimé à 20% du débit des eaux usées domestiques.

$$Q_{\text{moy.j.eq}} = 0,2 * Q_{\text{moy.j.dom}} \dots\dots\dots (\text{IV .3})$$

$$Q_{\text{moy.j.eq}} = 6\,017,92 \text{ m}^3/\text{j}$$

IV. 3.2. Calcul de débit total

$$Q_{\text{moy.j,tot}} = Q_{\text{moy.j.dom}} + Q_{\text{moy.j.eq}} \dots\dots\dots (\text{IV .4})$$

$$Q_{\text{moy.j,tot}} = 36\,104,52 \text{ m}^3/\text{j}$$

IV. 3.3. Débit moyen horaire des eaux usées (m³/h)

$$Q_{\text{moyh}} = \frac{Q_{\text{moy.j,tot}}}{24} \dots\dots\dots (\text{IV .5})$$

$$Q_{\text{moyh}} = 1\,504,36 \text{ m}^3/\text{h}$$

IV. 3.4. Débit diurne

Le débit moyen diurne se réfère à une période de 16 heures consécutives pendant laquelle la station traite le volume maximal d'eaux usées, soit :

$$Q_d = \frac{Q_{\text{moy.j.tot}}}{16} \dots\dots\dots (\text{IV .6})$$

$$Q_d = 2\,256,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

IV. 3.5. Débit de pointe au temps sec

Débit de pointe par temps sec est donné par la formule suivante :

$$Q_{\text{pts}} = Q_{\text{moy.j.tot}} * C_p \dots\dots\dots (\text{IV .7})$$

Avec :

$Q_{\text{moy.j.tot}}$: débit moyen journalier total (m³/j)

C_p : coefficient de l'heure de pointe défini par :

$$\blacksquare \quad C_p = 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{Q_{\text{moy.j}}}} \quad \text{Si } Q_{\text{moy.j}} \geq 2.8 \text{ l/s}$$

$$\blacksquare \quad C_p=3 \quad \text{Si } Q_{\text{moy},j} < 2.8 \text{ l/s}$$

On a : $Q_{\text{moy},j \text{ tot}} = 418 \text{ l/s} > 2.8 \text{ l/s}$; alors nous calculons le C_p :

$$C_p = 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{418}} = 1,62$$

$$Q_{\text{pts}} = 1,62 * 36\,104,52 = 58\,489 \text{ m}^3/\text{j}$$

IV. 3.6. Débit de pointe au temps pluie

La formule de débit de pointe en temps de pluie est donnée dans la formule suivante :

$$Q_{\text{tp}} = \alpha \times Q_{\text{moy},j \text{ tot}} \dots\dots\dots (\text{IV}.8)$$

Avec :

α : Coefficient de dilution applicable de (2 à 5), on prend $\alpha = 3$.

$$Q_{\text{tp}} = 3 * 36\,104,52 = 108\,313,56 \text{ m}^3/\text{j}$$

IV. 3.7. L'équivalent-habitant (EH)

L'équivalent-habitant représente la quantité moyenne de pollution produite quotidiennement par un habitant et se définit par :

$$EH = \frac{Q_{\text{moy},j \text{ tot}} * 1000}{Cr * D} \dots\dots\dots (\text{IV}.9)$$

Donc la capacité de la STEP d'El Rabta projetée est de :

$$EH = \frac{36\,104,52 * 1000}{0,8 * 160} = 282\,066 \text{ EH}$$

IV. 3.8. Calcul de la biodégradabilité

Le coefficient de biodégradabilité est donné par la formule suivante :

$$\frac{DCO}{DBO_5} = \frac{495}{322} = 1,54$$

La valeur indique que notre eau usée urbaine est facilement biodégradable.

Les résultats des calculs précédents sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV. 1: récapitulatif de calcul des débits pour l'horizon 2038

Paramètre	Résultat
-----------	----------

Habitants	235 075
Équivalent habitant (EH)	282 066
Dotation (l/hab/j)	160
Coefficient de rejet (%)	80
Débit moyen journalier total des eaux usées (m ³ /j)	36 104,52
Coefficient de pointe Cp	1,62
Débit de pointe par temps sec (m ³ /j)	58 489
Débit de pointe par temps de pluie (m ³ /j)	175 468

IV. 3.9. Calcul des charges polluantes

La charge des différentes substances polluantes est exprimée par la relation suivante :

$$\text{La charge polluante} = (C * Q_{\text{moy j tot}}) / 1000 \dots\dots\dots (\text{IV .10})$$

C : concentration de la matière polluante (mg/l).

Tableau IV. 2 : estimation des charges polluantes à l'horizon 2038

Paramètre	Concentration en mg/l	Charge polluante en 2038 (kg/j)
DBO₅	322	11 625
DCO	495	17 871
MES	621	22 421
Azote N	105	3 791
Phosphore	17	614

IV. 4. Calcul de dimensionnements de la STEP pour l'horizon 2038

La STEP sera dimensionnée pour un débit de pointe en temps sec de **58 000 m³/j** à l'horizon 2038, correspond à une population de 282 066 EH. Pour optimiser son fonctionnement et réduire la charge polluante, l'intégration d'un décanteur primaire est proposée, permettant d'éliminer une partie de MES, de la DBO₅ et de la DCO.

IV. 4.1. Prétraitement

Pour le prétraitement, on conserve les mêmes ouvrages existants, puisqu'ils assurent efficacement les étapes de dégrillage, de dessablage et de déshuilage nécessaires au bon fonctionnement de la station.

➤ Calcul des charges polluantes éliminées par le dessableur /déshuileur :

Le dessableur permet d'éliminer environ 80 % des matières minérales (MM), qui représentent environ 20 % de MES totales. Les matières volatiles en suspension (MVS), constituant environ 80 % de MES, restent majoritairement en suspension.

On a : $MES = 80 \% MVS + 20 \% MM$

- **Les MM totales :** $MM = 0,2 * 22\ 421 = 4\ 484,2\text{ kg/j}$
- **Les MVS :** $MVS = 0,80 * 22\ 421 = 17\ 936,8\text{ kg/j}$
- **Les MM éliminées par le dessableur :** $MMe = 0,80 * 3\ 811,26 = 3\ 578,36\text{ kg/j}$
- **Les MM à la sortie de dessableur :** $MMs = 4\ 484,2 - 3\ 578,36 = 905,84\text{ kg/j}$
- **MES sortant du dessableur :** $MESs = 17\ 936,8 + 905,84 = 18\ 842,64\text{ kg/j}$

Tableau IV. 3 : récapitulatif de calcul des charges polluantes éliminée après le prétraitement

Paramètre	Unité	Valeur
MM totales	kg/j	4 484,2
MVS	kg/j	17 936,8
MMe	kg/j	3 578,36
MESs	kg/j	18 842,64
MESs	mg/l	522

IV. 4.2. Traitement primaire

➤ Dimensionnement de décanteur primaire :

Dans le cadre de ce projet, une décantation physique a été retenue, celle-ci étant jugée suffisante pour le traitement de notre type d'effluent. Le dimensionnement du décanteur primaire sera donc établi à partir des données de base suivantes :

Tableau IV. 4 : données initiale pour calcul de décanteur primaire

Paramètres	Qpts (m ³ /h)	H (m)	v _c (m/h)	ts (h)
Valeur	2 417	3	2	1,5

Avec :

V_c : la vitesse de chute (charge superficielle) ;

T_s : temps de séjour (h) ;

H : la hauteur d'eau (m) ;

➤ **Calcul de volume de décanteur :**

$$V_{dp} = Q_{pts} * t_s \dots\dots\dots (IV .11)$$

$$V_{dp} = 3\,625 \text{ m}^3$$

➤ **Calcul de la surface de décanteur :**

$$Sh = Q_{pts} / v_c \dots\dots\dots (IV .12)$$

$$Sh = 2\,417 / 2 = 1208,5 \text{ m}^2$$

➤ **Calcul de diamètre :**

$$D = \sqrt{\frac{4 * S}{\pi}} \dots\dots\dots (IV .13)$$

$$D = 39 \text{ m}$$

➤ **Évaluation des charges éliminées par le décanteur :**

La décantation physique permet de réduire environ 35 % de la DBO_5 et de la DCO, ainsi que 75 % de MES. Les quantités correspondantes éliminées sont récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau IV. 5 : quantités éliminée par le décanteur primaire

polluants	entrée (mg/l)	entrée (kg/j)	sortie (mg/l)	sortie (kg/j)
DBO_5	322	11 625	209,3	7 556,7
DCO	495	17 871	321,75	11 616,6
MES	522	18 842,64	130,5	4 710,66

- Les boues du décanteur primaire, issues d'une décantation physique, sont principalement composées de particules minérales lourdes et de matières organiques grossières. Elles sont évacuées périodiquement vers une décharge contrôlée, conformément à la réglementation, afin d'éviter toute accumulation ou nuisance.

Ce choix permet d'alléger l'exploitation de la station et de réduire les coûts, sans compromettre la performance globale du traitement des eaux usées.

IV. 4.3. Traitement secondaire

La station d'épuration d'El Rabta adopte un procédé à boues activées. Avant le dimensionnement du traitement biologique, il est indispensable d'évaluer les taux d'abattement, afin de confirmer le choix du procédé et de déterminer les valeurs adéquates des charges massiques et volumiques.

Tableau IV. 6 : classes du procédé du traitement biologique à boues activées

Type	Cv (kg DBO ₅ /m ³ .j)	Cm (kg DBO ₅ /kgMVS.j)	Temps de séjour (h)	Rendement DBO ₅ (%)
Très faible charge	< 0,3	< 0,1	> 20	> 90
Faible charge	0,3 – 0,7	0,1- 0,25	8 – 10	> 90
Moyenne charge	0,7 – 1,5	0,25 - 0,50	4 – 6	85
Forte charge	1,5 – 3	0,5 – 1,5	2 – 4	70 – 80
Très forte charge	> 3	> 1,5	1	70

IV. 4.3.1. Calcul de taux d'abattement

$$R = \frac{\text{Concentration de DBO}_5 \text{ entrée du bassin} - \text{Concentration de DBO}_5 \text{ sortie du bassin}}{\text{Concentration de DBO}_5 \text{ entrée}} * 100$$

$$R = \frac{209,3-30}{209,3} = 85,6 \%$$

Puisque le taux d'abattement est de 85,6 %, donc le traitement par boues activées sera à moyenne charge.

Tableau IV. 7 : données de base pour le dimensionnement de traitement biologique

Paramètres	Unités	Valeur
Q_{moy j}	m ³ /j	36 104,52
DBO₅ à l'entrée du bassin	mg/l	209,3
DBO₅ à l'entrée du bassin	Kg/j	7 556,7
MES à l'entrée du bassin	Kg/j	4 710,66
Azote (NT)	mg/l	105
Cm	kg DBO ₅ /kg MVS.j	0,25
Cv	kg DBO ₅ /m ³ .j	0,7

IV. 4.3.2. Dimensionnement du bassin d'aération**➤ Calcul de volume total de bassin :**

$$V_{ba \text{ total}} = \frac{\text{Charge organique en entrée du bassin (kg DBO}_5\text{/j)}}{\text{charge volumique}} \dots\dots\dots (IV .14)$$

$$V_{ba \text{ total}} = \frac{(209,3 * 36\ 104,52)}{0,7} / 1000 = 10\ 795,25 \text{ m}^3$$

➤ La surface horizontale :

$$Sh_{\text{unitaire}} = 2\ 904 \text{ m}^2 ; \text{ avec : } l = 44 \text{ m et } L = 66 \text{ m}$$

➤ La hauteur :

$$\text{Donc :} \quad H = \frac{10\ 795,25}{2\ 904} = 3,7 \text{ m}$$

➤ Temps de séjour :

$$ts = \frac{V_{ba}}{Q_{\text{moy j}}} \dots\dots\dots (IV .15)$$

$$ts = \frac{10\ 795,25}{36\ 104,52} = 7,2 \text{ h}$$

$$ts = \frac{V_{ba}}{Q_{\text{pts}}} = \frac{10\ 795,25}{58\ 000} = 4,5 \text{ h}$$

IV .4.3.3. Calcul de la masse des boues dans le bassin

$$C_m = \frac{L_0}{X_a} \dots\dots\dots (IV .16)$$

$$X_a = \frac{L_0}{C_m} = \frac{7\ 556,7}{0,25} = 30\ 226,8 \text{ Kg}$$

L_0 : la charge en DBO_5 à l'entrée de bassin d'aération en $(\text{kg DBO}_5\text{/j})$

IV. 4.3.4. Concentration des boues dans le bassin

$$[X_a] = \frac{X_a}{V_{ba}} \dots\dots\dots (IV .17)$$

$$[X_a] = \frac{30\ 226,8}{10\ 795,25} = 2,8 \text{ Kg/m}^3$$

IV. 4.3.5. Calcul des besoins en oxygène

Dans le bassin d'aération, l'oxygène est utilisé par la biomasse pour assurer plusieurs réactions essentielles : l'oxydation de la pollution organique, la respiration endogène des micro-organismes, ainsi que la nitrification de l'azote ammoniacal présent dans les eaux usées. Une fraction de l'oxygène consommé au cours de la nitrification est par la suite récupérée pendant la dénitrification, ce qui permet de réduire partiellement la demande globale en oxygène du système.

$$B_{O_2} = a' * Le + b' * S_v + (4,3) * N - (2,85) * c' * N \dots \dots \dots (IV .18)$$

Avec :

B_{O_2} : besoin en oxygène en (kg_{O₂}/j) ;

a' : coefficient de consommation de l'oxygène lors de l'oxydation de la DBO₅ donné en (KgO₂/Kg MVS), il est donné par la formule suivante :

$$a' = 0,5 * C_m^{-0,12} \dots \dots \dots (IV .19)$$

$$a' = 0,5 * 0,25^{-0,12} = 0,59$$

Le : la charge en DBO₅ éliminé en (kg DBO₅/j) ; tel que :

Tableau IV. 8 : calcul des charges polluantes

Charge polluante de DBO₅ éliminé (kg DBO₅/j)	6 468,5
Charge polluante de DBO₅ à la sortie (kg DBO₅/j)	1 088,2

b' : coefficient cinétique de la respiration endogène. (KgO₂ /Kg MVS), il est donné par la formule suivante :

$$b' = 0,13 * C_m^{0,16} \dots \dots \dots (IV .20)$$

$$b' = 0,13 * 0,25^{0,16} = 0,1$$

S_v : masse de MVS dans le bassin d'aération ([MVS]* V_{ba}) ;

(4,3) : consommation en oxygène pour la conversion de l'azote ammoniacal en azote nitrite ;

N : quantité d'azote à nitrifier ;

c' : fraction de l'oxygène des nitrates récupéré par dénitrification, $c' = 0,7$;

(2,85) : taux de conversion de l'azote nitrique en oxygène.

➤ **Besoins en oxygène pour l'oxydation de la matière organique :**

$$B_1 = a' * Le = 0,59 * 6\,468,5 = 3\,816,41 \text{ kgO}_2/\text{j}$$

➤ **Besoins en oxygène pour la respiration endogène :**

$$B_2 = b' * S_v = 0,1 * 30\,226,8 = 3\,022,68 \text{ kgO}_2/\text{j}$$

➤ **Besoins en oxygène pour la nitrification :**

$$B_3 = (4,3) * N = 4,3 * 3\,791 = 16\,301,3 \text{ kgO}_2/\text{j}$$

➤ **Récupération par dénitrification :**

$$B_4 = (2,85) * c' * N = 2,85 * 0,7 * 3\,791 = 7\,563,05 \text{ kgO}_2/\text{j}$$

➤ **Bilan des besoins en oxygène :**

$$B_{O_2} = B_1 + B_2 + B_3 - B_4 = 15\,577,34 \text{ kgO}_2/\text{j}$$

▪ La dénitrification est assurée dans le même bassin biologique par l'alternance de phases d'aération et de non-aération, correspondant à un temps total d'anoxie d'environ 8 heures.

IV. 4.3.6. Calcul de besoin en énergie de l'aération

- ☛ **La puissance nécessaire à l'apport d'oxygène :** les aérateurs de surface ont un rendement généralement compris entre 1 et 2 kg O₂/kWh. On adopte donc E_a = 2 kg O₂/kWh pour ce cas.

On a :
$$E = \frac{q'O_2h}{E_a} \dots\dots\dots (IV. 21)$$

E : la puissance nécessaire à l'apport d'oxygène (KW) ;

q'O₂ horaire : quantité horaire d'oxygène nécessaire (KgO₂ /h) ;

E_a : quantité d'oxygène par unité de puissance (kgO₂ /KWh);

$$E = \frac{649,05}{2} = 324,5 \text{ KW}$$

- ☛ **Puissance d'agitation :** la puissance mécanique de brassage pour maintenir les boues en suspension et éviter le dépôt de solides. Peut être déterminée à l'aide de la relation suivante :

$$E_b = Sh_u * Pa \dots\dots\dots (IV .22)$$

Avec :

E_b : Puissance d'agitation en (w)

Sh : surface horizontale du bassin en (m²)

Pa : puissance par m² du bassin. Elle varie entre 70 et 80 w/m². On prend Pa = 75 w/m².

$$E_b = (2\,904 * 75) / 1000 = 217,8 \text{ KW}$$

- Les aérateurs de surface assurent à la fois l'apport d'oxygène et le brassage du bassin. Ainsi, la puissance totale installée correspond à la somme de celles nécessaires à l'aération et à l'agitation :

$$E_{\text{total}} = E + E_b = 324,5 + 217,8 = 542,3 \text{ kw}$$

- Le nombre d'aérateurs de surface a été conservé à six aérateur par bassin, avec une puissance unitaire de 70 kW chacun, garantissant une aération homogène et une couverture optimale des besoins en oxygène.

IV. 4.3.7. Bilan des boues

- ☛ **Calcul de la quantité des boues en excès :**

$$\Delta x = X_{\text{min}} + X_{\text{dur}} + a_m * L_e - b * X_a - X_{\text{eff}} \dots\dots\dots (IV .23)$$

Avec :

$X_{\min}$: boues minérales (20% de MES) en (kg/j) ;

X_{dur} : boues difficilement biodégradable (20% de MVS) en (kg/j) ;

a_m : coefficient de rendement cellulaire ;

L_e : quantité de DBO_5 éliminée en (kg/j) ;

b : fraction de la masse cellulaire éliminé par jour en respiration endogène ;

X_a : masse totale journalier de MVS dans le bassin (kg) ;

X_{eff} : fuite de MES avec l'effluent (dépend des normes de rejet, généralement 30 mg/l).

Tableau IV. 9 : résumé des résultats sur le calcul de la quantité des boues en excès

$X_{\min}$ (kg/j)	X_{dur} (kg/j)	a_m	L_e (kg/j)	b	X_a (kg)	X_{eff} (kg/j)	Δx (kg/j)
942,1	753,7	0,65	6 468,5	0,045	30 226,8	1 083,1	4 681,2

➤ **Concentration des boues en excès :**

$$X_m = \frac{1\,200}{I_m} \dots\dots\dots (\text{IV .24})$$

Avec :

X_m : concentration des boues en excès en (kg/m^3) ;

I_m : indice de Mohlman. C'est le volume occupé par un gramme de boue après une demi-heure de décantation.

- Si $80 < I_m < 150$: les boues bien décantables ;
- Si $I_m > 150$: risque d'une mauvaise décantation et les boues recyclées seront claires ;
- Si $I_m < 80$: boues sont très minérale et peu actives ;

On prend : $I_m = 130$

Donc : $X_m = 1200 / 120 = 10 \text{ kg/m}^3$

➤ **Débit des boues en excès :**

$$Q_{\text{boues-excès}} = \frac{\Delta B}{X_m} = \frac{4\,681,2}{10} = 468,12 \text{ m}^3/\text{j} \dots\dots\dots (\text{IV .25})$$

➤ **Taux de recyclage :**

$$R = \frac{[X_a]}{X_m - [X_a]} * 100 = 39 \% \dots\dots\dots (\text{IV .26})$$

➤ **Débit des boues recyclées :**

$$Q_r = R * Q_{\text{moy j}} \dots \dots \dots (IV .27)$$

$$Q_r = 0,39 * 36\,104,52 = 14\,080,76 \text{ m}^3/\text{j}$$

➤ **Age des boues :**

$$A_b = \frac{X_a}{\Delta B} = \frac{30\,226,8}{4\,681,2} = 6,46 \text{ j} \dots \dots \dots (IV .28)$$

IV. 4.3.8. Dimensionnement du clarificateur

On a les données suivantes :

Tableau IV. 10 : données de dimensionnement du clarificateur

Paramètre	unité	Horizon 2038
Q _{pts unitaire}	m ³ /h	1 208,5
Hauteur (H)	m	3
Diamètre (D)	m	45

➤ **Calcul de la surface horizontale unitaire:**

$$Sh_{\text{unitaire}} = \frac{\pi * D^2}{4} = 1\,590 \text{ m}^2$$

➤ **Calcul de la vitesse ascensionnelle (V_{as}) :**

$$V_{as} = Q_{\text{pts unitaire}} / Sh_{\text{unitaire}} \dots \dots \dots (IV .29)$$

$$V_{as} = 0,76 \text{ m/h}$$

➤ **Calcul de volume unitaire :**

$$V_u = Sh * H = 1\,590 * 3 = 4\,770 \text{ m}^3$$

➤ **Calcul de temps de séjour :**

$$t_s = V_u / Q_{\text{pts}} = 4 \text{ h}$$

Le calcul de traitement secondaire est récapitulé dans le tableau suivant :

Tableau IV. 11 : récapitulatif des calculs de traitement secondaire

Paramètres	Unité	Horizon 2038
Bassin d'aération		
Volume du bassin (V)	m ³	10 795,25
Hauteur (H)	m	3,7
Concentration de boues dans le bassin ([Xa])	kg / m ³	2,8
Besoin en oxygène		
Besoin en oxygène (B _{o2})	kg o ₂ /j	15 577,34
Bilan de boues		
La quantité de boues en excès (ΔB)	kg/j	4 681,2
Concentration des boues en excès (X _m)	kg/m ³	10
Débit de boues en excès (Q excès)	m ³ /j	468,12
Le taux de recyclage en (R)	%	39
Débit de boues recyclées (Q _r)	m ³ /j	14 080,76
Age des boues (A _b)	jr	6,46

Tableau IV. 12 : valeurs typiques des polluants après décantation secondaire

polluant	charge à l'entrées en kg/J	R élimination	charge résiduelle en kg/J	Concentration en mg/l
DBO₅	7 556,7	85,6 %	1088,2	30,1
DCO	11 616,6	75 %	2 904,2	80,4
MES	4 710,66	90 %	471,1	13,0
NT	3 791	65 %	1 326,85	36,8
PT	614	20 %	491,2	13,6

Tableau IV. 13 : synthèse des extensions proposées au niveau du traitement biologique

Paramètre	Situation actuelle	Extension prévue
BASSIN D'AÉRATION		
Volume total	26 136 m ³	10 795,25 m ³
Volume d'extension = 26 136 - 10 795,25 = 15 340,75 m³ → À l'horizon 2038, et avec l'adoption du nouveau procédé fonctionnant en moyenne charge, un seul bassin biologique d'une hauteur de 3,7 m sera suffisant pour assurer le traitement requis.		
Charge en DBO₅ à l'entrée du bassin	9 000 Kg/j	7 556,7
Ts en Qmoy j	21 h	7,2 h
Ts en Qpts	13,3 h	4,5 h
BESOIN EN OXYGÈNE		
Bo2	16 386,3 kgO ₂ /j	15 577,34 kgO ₂ /j
CLARIFICATEUR		
Volume unitaire	5 548,65 m ³	4 770 m ³
Temps de séjour	4,4 h	4 h
<u>SOLUTION PROPOSÉE POUR L'EXTENSION DU TRAITEMENT BIOLOGIQUE</u>		
BASSIN D'AÉRATION		
Cm	0,07	0,25
Hauteur	4,5 m	3,7 m
CLARIFICATEUR		
Hauteur	3,55 m	3 m
Vitesse ascensionnelle	0,8 m/h	0,76 m/h

IV. 4.4. Traitement tertiaire

Un traitement tertiaire a pour objectif d'améliorer la qualité de l'eau lorsque les étapes primaires et secondaires ne permettent pas d'atteindre les normes de rejet ou de réutilisation.

Dans notre situation, quelques valeurs mesurées dépassent toujours les limites permises pour le recyclage en irrigation. Il est donc proposé de mettre en place un traitement tertiaire combiné qui comprend :

- Précipitation chimique du phosphore par le sulfates d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$).
- Une filtration sur sable pour réduire les MES.
- Une désinfection par rayonnement UV pour éliminer les micro-organismes pathogènes.

Cette méthode permettra de produire une eau de qualité adéquate, conforme aux normes de réutilisation agricole en toute sécurité.

IV. 4.4.1. Poste de coagulation-floculation

Tableau IV. 14 : données de base pour le dimensionnement du poste de coagulation-floculation

Paramètre	unité	valeur
Q pts unitaire	m ³ /h	2 417
Hauteur	m	3
ts en coagulation	min	2
ts en floculation	min	15

➡ **Le volume unitaire :**

$$V = Q \text{ pts} * t_s$$

$$V_{\text{coag}} = 80,6 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{floc}} = 604,25 \text{ m}^3$$

➡ **La surface :**

$$S = \frac{V}{H}$$

$$S_{u \text{ coag}} = 26,8 \text{ m}^2$$

$$S_{u \text{ floc}} = 202 \text{ m}^2$$

➡ **La longueur et la largeur:**

- Coagulation : 20 m * 1,4 m
- Floculation : 20 m * 10,1 m

IV. 4.4.2. Filtration sur sable**Tableau V. 15 : données de base pour le dimensionnement du poste de filtration**

Paramètre	unité	valeur
Q pts	m ³ /h	2 417
Hauteur	m	3
ts	min	5

➤ **Le volume unitaire :**

$$V = Q \text{ pts} * ts$$

$$V = 201,4 \text{ m}^3$$

➤ **La surface :**

$$S = \frac{V_u}{H}$$

$$S = 67 \text{ m}^2$$

➤ **La longueur et la largeur:**

Pour une longueur de L=20 m, on aura une largeur de l = 3,5 m.

IV. 4.4.3. Désinfection par rayonnement UV

L'eau filtrée est ensuite soumise à une désinfection par rayonnement ultraviolet grâce à des modules équipés de lampes disposées en parallèle. L'intensité du rayonnement est ajustée automatiquement en fonction du flux d'eau, garantissant ainsi une désinfection stable et efficace. Ce processus assure une qualité bactériologique acceptable, ne dépassant pas le seuil de 100 UFC pour 100 ml d'eau traitée. Le procédé UV est considéré comme l'un des plus sûrs et des plus simples à exploiter, car il élimine efficacement les micro-organismes pathogènes sans produire de sous-produits chimiques.

Remarque : Afin d'optimiser l'espace disponible et de simplifier le cheminement hydraulique, les étapes de coagulation-floculation, de filtration sur sable et de désinfection par rayonnement ultraviolet ont été intégrées dans un même ouvrage compartimenté. Cette configuration permet d'assurer la continuité du traitement tertiaire tout en limitant les pertes de charge, les coûts d'aménagement et les besoins en surface.

Tableau IV. 16 : évaluation des charges après traitement tertiaire

polluants	Concentration avant mg/l	R_{élimination}	Concentration après mg/l	Norme de réutilisation
DBO₅	30,1 mg/l	10%	< 30 mg/l	30 mg/l
DCO	80,4 mg/l	-	< 90 mg/l	90 mg/l
MES	13,0 mg/l	90%	< 30 mg/l	30 mg/l
NT	36,8 mg/l	-	< 50 mg/l	50 mg/l
PT	13,6 mg/l	90%	< 0,94 mg/l	0,94 mg/l
Micro-organismes pathogènes	-	99%	-	-

IV. 4.5. Traitement des boues

Les boues issues du traitement biologique se caractérisent par leur texture fortement liquide et leur nature fermentescible. Elles contiennent également divers micro-organismes pathogènes, ce qui rend leur traitement indispensable. Le but principal de cette technique est de supprimer l'excès d'humidité et de stabiliser la matière organique, à travers l'épaississement et la déshydratation sur lits de séchage, ou par déshydratation mécanique sur filtre à bande, particulièrement privilégiée durant les périodes pluvieuses.

Tableau IV. 17 : rappel des résultats nécessaire pour le dimensionnement de traitement des boues

Paramètre	Valeur
Boue issue du clarificateur ΔX	4 681,2 Kg/j
Concentration des boues X_m	2,8 Kg /m ³
Concentration des boues	25 g/l
Q boues excès	468,12 m ³ /j
Temps de séjour	2,5 j

IV. 4.5.1. Dimensionnement de l'épaississeur

➡ **La surface :**

Avec : D= 16 m, on trouve : S = 201 m²

➤ Le volume:

$$V_{ep} = Q_{excès} * T_s \dots\dots\dots (IV .30)$$

$$V_{ep} = 1\,170,3 \text{ m}^3$$

➤ La hauteur :

$$H = V_{ep} / S = 5,8 \text{ m}$$

➤ Le débit de boues à la sortie de l'épaississeur :

Après l'épaississement, la concentration maximale des boues sera $C_{be} = 25 \text{ g/l}$

$$Q_{bs} = \frac{\Delta X}{C_{be}} \dots\dots\dots (IV .31)$$

$$Q_{bs} = 187,24 \text{ m}^3/\text{j}$$

➤ Le débit épuré :

Donné par la formule suivante :

$$Q_{épurée} = Q_{moy,j} - Q_{bs} \dots\dots\dots (IV .32)$$

$$Q_{épurée} = 36\,104,52 - 187,24 = 35\,817,28 \text{ m}^3/\text{j}$$

IV. 4.5.2. Dimensionnement de la déshydratation mécanique par filtre à bande**➤ Quantité de boue à traiter par heure :**

La durée de fonctionnement donnée est de $T=8 \text{ h/j}$

$$\Delta X_{t/h} = \frac{\Delta X_t}{T} \dots\dots\dots (IV .33)$$

Avec :

ΔX_t : quantité de boue à traiter par jour (kg/j)

$$\Delta X_{t/h} = \frac{4\,681,2}{8} = 585,15 \text{ Kg/h}$$

➤ La quantité de boues extraites de déshydratation :

$$Q_b = \frac{\Delta X_t}{1000 * S_f} \dots\dots\dots (IV .34)$$

Avec :

S_f : siccité des boues (%) ; On prend $S_f = 18\%$.

$$Q_b = 26 \text{ m}^3/\text{j}$$

➤ **La longueur de la bande :**

Pour une capacité de filtration de 150 kg MS/h, la longueur de la bande est déterminée comme suit :

$$Q_b = \frac{\Delta X_t/h}{150} \dots\dots\dots (\text{IV .35})$$

$$Q_b = 3,9 \text{ m}$$

On utilise 2 filtres à bande avec une largeur de 2 m.

➤ **La matière sèche :**

Polymère nécessaires à raison de 5 kg/tonne de MS à quantifier :

$$MS = \frac{\Delta X_t * 5}{1000} \dots\dots\dots (\text{IV .36})$$

$$MS = 23,4 \text{ kg}$$

IV. 4.5.3. Dimensionnement de la déshydratation sur lits de séchage

➤ **La surface totale des lits de séchage :**

$$St = \frac{Ch}{q_a} \dots\dots\dots (\text{IV .37})$$

Avec :

St : surface totale des lits de séchage ;

Ch : charge en matière sèche ;

q_a : charge superficielle maximale : 200 kg MS/ (m²/an).

$$St = \frac{4\,681,2}{200} * 365 = 8\,542,8 \text{ m}^2$$

➤ **La surface d'un lit :**

Pour des dimensions de 30 m × 15 m, la surface est égale à 450 m².

➤ **Le volume d'un lit :**

$$V = S * e$$

On prend une épaisseur de boues égale à e = 30 cm.

$$V = 135 \text{ m}^3$$

➤ **Le nombre de lits nécessaires :**

$$N = St/S \dots\dots\dots (IV .38)$$

$$N = 8\,542,8 / 450 = 19$$

IV. 5. Conclusion

En conclusion, le dimensionnement de la STEP d'El Rabta à l'horizon 2038 constitue une étape essentielle dans la planification durable de son fonctionnement. Le procédé retenu, combinant les traitements préliminaire, primaire, secondaire et tertiaire, assure une épuration efficace des eaux usées. L'ajout d'un décanteur primaire s'avère suffisant pour optimiser les performances épuratoires. De plus, l'intégration d'un traitement tertiaire incluant la précipitation chimique du phosphore, la filtration sur sable et la désinfection par rayonnement ultraviolet garantira une qualité d'eau adaptée à la réutilisation en irrigation, assurant ainsi la pérennité de la station et la préservation de l'environnement.

CHAPITRE V :

CALCUL HYDRAULIQUE

CHAPITRE V : CALCUL HYDRAULIQUE

V .1. Introduction

L'évaluation hydraulique représente une étape essentielle dans la conception d'une station d'épuration. Son but est de garantir un flux constant et harmonieux des eaux entre les diverses infrastructures, tout en préservant une fonction stable et équilibrée du système. Elle englobe le calcul des dimensions des tuyaux et collecteurs, l'évaluation des pertes de charge et la détermination du profil hydraulique, qui sont essentiels pour établir les niveaux d'eau et la ligne piézométrique requis pour le fonctionnement optimal de toute la station.

V. 2. Dimensionnement du déversoir d'orage

VI. 2.1. Calcul des débits

➡ À l'amont du déversoir véhiculera un débit de :

$$Q_{\text{amont}} = Q_{\text{pts}} + Q_{\text{p}} \dots\dots\dots (V .1)$$

Avec :

Q_{pts} : le débit de pointe par temps sec ;

Q_{p} : le débit pluvial, tel que :

$$Q_{\text{p}} = 1,5 * Q_{\text{moy.j}} \dots\dots\dots (V .2)$$

➡ À l'aval du déversoir (vers la station):

$$Q_{\text{aval}} = Q_{\text{pts}} \dots\dots\dots (V .3)$$

➡ Le débit déversé par le déversoir d'orage est :

$$Q_{\text{d}} = Q_{\text{amont}} - Q_{\text{aval}} \dots\dots\dots (V .4)$$

Tableau V .1 : récapitulatif de résultat des débits

Débit (m ³ /s)	Q_{p}	Q_{amont}	Q_{aval}	Q_{d}
Valeur	0,63	1,3	0,67	0,63

V. 2.2. Détermination des dimensions du déversoir

En se basant sur l'abaque de Bazin (Annexe I), on obtient :

- De : diamètre à l'entrée du déversoir.
- Qps : débit à pleine section.
- Vps : vitesse à pleine section.

Selon l'abaque de Bazin (Annexe II), on obtient :

- $r_q = Q_v / Q_{ps}$ (rapport des débits).
- $r_h = H_e / D_e$ (hauteur de remplissage).
- $r_v = V / V_{ps}$ (rapport de vitesse).

Tableau V .2 : récapitulatif de résultat de dimensionnement de déversoir

Paramètre	À l'amont	À l'aval
Débit (m ³ /s)	1,3	0,67
Pente	0,009	0,005
De (mm)	1000	800
Qps (m ³ /s)	1,6	0,9
Vps (m/s)	2,04	1,7
r _q	0,81	0,7
r _h	0,66	0,6
r _v	1,1	1,07
Hs (mm)	660	480
V (m/s)	2,24	1,82

☞ **La hauteur de lame d'eau déversée :**

$$H_d = \frac{H_e - H_s}{2} \dots\dots\dots (V .5)$$

$$H_d = (660 - 480)/2 = 90 \text{ mm}$$

☞ **La longueur de seuil du déversoir :**

On utilise la formule de BAZIN :

$$Q_d = m * L * H_d * \sqrt{2g * H_d} \dots\dots\dots (V .6)$$

Avec :

m : facteur de débit selon le type de déversoir. Pour déversoir latéral, $m = 0,37$.

L : longueur de seuil ;

H_d : la hauteur d'eau déversée ;

Donc :

$$L = \frac{Q_d}{m \cdot \sqrt{2g} \cdot H_d} = \frac{0,63}{0,37 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,09}} = 15 \text{ m}$$

V. 3. Conduite de fuite

Cette conduite en béton est destinée à diriger les eaux pluviales issues du trop-plein vers l'oued. On se sert de l'abaque de Bazin (annexe I et II) pour déterminer la taille de ce conduit.

Tableau V .3 : dimensionnement de la conduite de fuite

Paramètre	Valeur
Dd (m³/s)	0,63
Pente	0,005
De (mm)	800
Qps (m³/s)	0,64
Vps (m/s)	1,25
r_q	0,98
r_h	0,8
r_v	1,13
Hs (mm)	640
V (m/s)	1,41

V. 4. Dimensionnement de station de relevage

Elle est conçue pour élever le niveau d'eau afin de suivre l'ensemble du processus gravitaire.

V. 4.1. Calcul de diamètre économique

La formule de Bonin en donne l'expression :

$$D = \sqrt[3]{Q} = \sqrt[3]{0,67} = 818,5 \text{ mm}$$

Donc le diamètre normalisé est $D_N = 1000 \text{ mm}$.

V. 4.2. Calcul de la vitesse d'écoulement

$$V = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * D}} = 0,85 \text{ m/s}$$

V. 4.3. La hauteur manométrique de la pompe

$$HMT = H_g + \Delta H + P_{\text{exh}} \dots\dots\dots (V .7)$$

Tel que :

H_g : différence des cotes de plan d'eau entre le puisard et le dégrilleur ; $H_g = 3 \text{ m}$;

ΔH : les pertes de charges totales, tel que $\Delta H = 0.005 \text{ m}$

P_{exh} : pression à l'exhaure, tel que $P_{\text{exh}} (1 : 1.5) \text{ m}$, on prend $P_{\text{exh}} = 1 \text{ m}$

$$HMT = 3 + 0,005 + 1 = 4,005 \text{ m}$$

V. 4.4. Choix de la pompe

La STEP d'El Rabta dispose déjà de quatre pompes fonctionnant en alternance selon le débit entrant.

V. 4.5. Calcul de volume de poste de relevage

$$V = \frac{Q * T}{4 * (N - 1)} \dots\dots\dots (V .8)$$

Q : Débit à pomper ;

T : Durée du cycle de la pompe, on prend $T = 30 \text{ min}$;

N : Nombre de pompes ;

Donc : $V = 100 \text{ m}^3$

V. 4.6. Calcul de la surface de poste de relevage

On prend: $H = 3 \text{ m}$:

$$S = \frac{V}{H} = 33 \text{ m}^2$$

V. 5. Dimensionnement de profil hydraulique

Le profil hydraulique vise à déterminer les niveaux d'eau à différents emplacements du système de traitement afin de fixer la localisation de la ligne de charge. Ces niveaux sont par la suite connectés par une ligne piézométrique.

Tableau V .4 : les côtes de terrain naturel des zones d'implantation des ouvrages

Désignation	Cote de terrain
Ouvrage combiné de prétraitement	4,65 m
Décanteur primaire	4,5 m
Bassin de répartition	4,42 m
Bassin d'aération	4,40 m
Clarificateur	4,37 m
Désinfection	4,25 m

V. 5.1. Dimensionnement des conduites reliant les ouvrages

Pour l'ensemble de nos calculs, nous utiliserons les longueurs équivalentes afin de prendre en compte les pertes de charge singulières.

$$L_{eq} = L_{réelle} * 1,15 \dots\dots\dots (V .9)$$

Tableau V .5 : les longueurs équivalentes reliant les ouvrages

De (Sortie)	Vers (Entrée)	L réelle	L eq
Ouvrage combiné de prétraitement	Décanteur primaire	130	149,5
Décanteur primaire	Bassin de répartition	90	103,5
Bassin de répartition	Bassin d'aération	12	13,8
Bassin d'aération	Clarificateur	10	11,5
Clarificateur	Poste de désinfection	54	62,1

V. 5.2. Perte de charge, diamètre des conduites reliant les ouvrages de la STEP

L'expression de la perte de charge est donnée par la formule de DARCY WEISBACH.

$$\Delta H_T = \frac{K * L * Q^\beta}{D^m} = C_{P1} - C_{P2} \dots\dots\dots (V .10)$$

Avec :

K : coefficient de perte de charge, pour le PEHD on a K = 0,001052 ;

Q : débit en m³/s ;

L : longueur de la conduite en (m) ;

β : coefficient qui dépend du mode d'écoulement, $\beta = 1,77$ pour le PEHD ;

m : coefficient qui varie selon le type de matériau du tuyau, $m = 4,77$ pour le PEHD ;

D : diamètre de la conduite en mm ;

C_{PA} : Cote du plan d'eau au point A (m) ;

C_{PB} : Cote du plan d'eau au point B (m) ;

▪ Les conduites seront élaborées de manière à maintenir une inclinaison de 0,3%, ce qui assurera un drainage efficace de l'eau. La vitesse sera maintenue au minimum à 0,6 m/s pour prévenir les dépôts, tout en évitant des vitesses supérieures à 5 m/s afin d'empêcher l'érosion.

En se basant sur l'abaque de Bazin (annexe I), on arrive à ce résultat :

$$D_N = 1000 \text{ mm}$$

Tableau V .6 : les pertes de charge des conduites reliant les ouvrages

De (Sortie)	Vers (Entrée)	Perte de charge
Ouvrage combiné de prétraitement	Décanteur primaire	0,077
Décanteur primaire	Bassin de répartition	0,053
Bassin de répartition	Bassin d'aération	0,007
Bassin d'aération	Clarificateur	0,005
Clarificateur	Poste de désinfection	0,032

V. 5.3. Calcul des côtes piézométriques des différents ouvrages

Pour calculer les côtes piézométriques, nous utiliserons l'équation de Bernoulli, qui se présente de la manière suivante :

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2}{2g} + Z_2 + \Delta H_{1-2} \dots \dots \dots (V .11)$$

Avec :

$\frac{P_1}{\rho g}$ et $\frac{P_2}{\rho g}$: énergies de pression dans les sections 1 et 2 ;

$\frac{V_1}{2g}$ et $\frac{V_2}{2g}$: énergies cinétiques entre 1 et 2 ;

Z_1 et Z_2 : côtes des points 1 et 2 ;

ΔH_{1-2} : pertes de charges dans le tronçon (1-2) ;

On a les vitesses très faibles et on met :

On a les vitesses très faibles et on met :

$$\frac{P_1}{\rho g} = H_1 \text{ et } \frac{P_2}{\rho g} = H_2$$

Donc : $H_1 + Z_1 = H_2 + Z_2 + \Delta H_{1-2}$, avec :

- $C_{P1} = H_1 + Z_1$: côte piézométrique au point (1).
- $C_{P2} = H_2 + Z_2$: côte piézométrique au point (2).
- $C_{P1} = C_{P2} + \Delta H_{1-2}$.

Tableau V .7 : les côtes piézométriques des ouvrages

Désignation	Cote piézométrique
Ouvrage combiné de prétraitement	6,81
Décanteur primaire	6,16
Bassin de répartition	6,05
Bassin d'aération	5,32
Clarificateur	4,61
Désinfection	4,43

V. 6. Conclusion :

Le calcul hydraulique détaillé dans ce chapitre a contribué à réaliser plusieurs, buts, y compris :

- Identifier les altitudes du terrain naturel liées aux divers ouvrages de la station.
- Évaluer les dimensions (longueur, diamètre) et les vitesses dans les canalisations qui connectent ces installations.
- Effectuer le calcul des pertes de charge et des valeurs piézométriques aux emplacements stratégiques du système.

En ce qui concerne la station de relèvement (SR) et sa conduite de refoulement, leur dimensionnement a été effectué pour garantir le transport des débits domestiques à leur maximum, avec une hauteur manométrique totale (HMT) de 4,005 m.

CHAPITRE VI :

DESCRIPTIVE TECHNICO-

ÉCONOMIQUE DE LA STEP D'EL

RABTA

CHAPITRE VI: DESCRIPTIVE TECHNICO-ÉCONOMIQUE DE LA STEP D'EL RABTA

VI. 1. Introduction

L'évaluation technico-économique est une phase essentielle dans la planification et l'optimisation d'une station d'épuration. Elle permet d'examiner le fonctionnement technique de l'équipement tout en évaluant ses impacts économiques et sa durabilité, en intégrant les contraintes financières et écologiques.

La station d'épuration d'El Rabta occupe une position stratégique dans la gestion des eaux usées domestiques de la région de Jijel. Suite à son extension prévue d'ici 2038, la station devra faire face à des débits accrus tout en respectant les normes environnementales les plus strictes. Cette étude descriptive vise à offrir une analyse technique détaillée du fonctionnement de la station et à évaluer qualitativement ses aspects économiques, afin de mieux comprendre son efficacité et sa rentabilité au niveau local.

VI. 2. Devis économique estimatif de l'extension de la STEP d'El Rabta

Le tableau ci-dessous présente l'estimation économique globale des travaux et équipements nécessaires pour l'extension de la STEP. Les montants indiqués sont estimatifs et basés sur les coûts moyens observés dans des projets similaires.

Tableau VI. 1 : devis économique estimatif global de l'extension

Lot	Travaux	Équipements	Cout estimatif
Décanteur primaire (D = 39 m ; H= 3m)	Décapage-terrassement-fondation - radier BA - paroi en BA - coffrages/ferrailage - étanchéité - conduites entrée/sortie - remblaiement - plateforme – essais.	Racleurs de fond et de surface - pont tournant - moteurs et réducteurs - pompes de recirculation.	29 500 000
Précipitation du phosphore	Réalisation de réservoir $Al_2(SO_4)_3$ - construction du bassin de passage.	Système de dosage - agitateurs.	12 500 000

Filtration sur sable	Installation du filtre - conduites - vannes.	Filtres à sable - pompes de passage.	22 000 000
Désinfection UV	Installation du réacteur UV - raccordements électriques.	Lampes UV - panneaux de commande - pompes.	15 700 000
Canalisation de liaison	Pose des canalisations PEHD - étanchéité - raccordements - contrôle des niveaux.	Tuyaux PEHD - vannes - brides - joints - supports et accessoires.	27 000 000
Main-d'œuvre et montage	Montage mécanique - montage électrique - essais - réglages - mise en service.	-	11 000 000
Imprévus (6%)	Aléas techniques - variation de prix.	-	6 000 000
Total estimatif : 123 700 000 DA = 1,237 milliards de centimes			

VI. 3. Aspects techniques

L'agrandissement de la STEP se fonde sur des méthodes sûres, performantes et ajustées au milieu local. Le processus de traitement des eaux résiduaires urbaines comme suit :

☞ **Prétraitement :**

- Dégrillage grossier et fin pour retenir les déchets volumineux.
- Dessablage et déshuilage pour éliminer le sable et les graisses.

☞ **Traitement primaire :**

- Décantation physique dans un décanteur cylindro-conique, réduisant les MES.

☞ **Traitement biologique :**

- A boues activées à faible charge, assurant l'élimination de la DBO₅, DCO et azote.
- Clarificateurs secondaires pour séparer la biomasse des eaux traitées, avec recyclage partiel des boues.

☞ **Traitement tertiaire et désinfection :**

- Précipitation chimique du phosphore, microfiltration et désinfection par UV.
- Garantit une eau de qualité conforme aux normes pour réutilisation (irrigation ou usages non potables).

➤ **Gestion des boues :**

- Épaississement, déshydratation et stockage temporaire avant évacuation ou valorisation agricole.
- Permet de limiter les nuisances olfactives et sanitaires.

VI. 4. Analyse économique

➤ **Investissement initial :**

- **Travaux de génie civil** : construction des bassins, fondations, bâtiments et infrastructures annexes.
- **Équipements électromécaniques** : pompes, aérateurs, racleurs, filtres, systèmes d'aération.
- **Instrumentation et automatisation** : sondes, capteurs et systèmes de contrôle.
- **Aménagements extérieurs et frais d'études** : voiries, clôtures, zones de séchage des boues, supervision et formation du personnel.

➤ **Coût d'exploitation et maintenance**

- **Énergie** : pompage, aération, brassage et désinfection UV.
- **Produits chimiques** : pour la précipitation du phosphore et la désinfection.
- **Maintenance** : équipements mécaniques, électriques et instrumentation.
- **Personnel** : opérateurs, techniciens et ingénieurs pour l'exploitation et le suivi analytique.
- **Optimisation** : réduction de la consommation énergétique, maintenance préventive, automatisation partielle, optimisation des produits chimiques.

➤ **Durabilité et valorisation**

- Réduction de l'impact environnemental grâce à l'optimisation des procédés et la réutilisation possible des eaux traitées (irrigation).
- Gestion responsable des boues et valorisation éventuelle (compostage ou usage agricole).
- Le rapport coût/bénéfice est favorable à long terme, combinant rentabilité économique et bénéfices environnementaux et sociaux.

➔ **Analyse économique :**

- **Revenus indirects** : économies sur l'eau potable, réduction des coûts de pollution, valorisation des eaux et boues traitées.

VI. 5. Recommandations

Le dimensionnement des ouvrages est réalisé pour assurer :

- Une circulation gravitaire maximale des eaux afin de limiter l'usage des pompes.
- Une pente adéquate dans les canalisations pour éviter les dépôts.
- Une résistance structurelle suffisante des ouvrages face à la corrosion et à l'humidité.
- Une ventilation correcte des zones confinées.

VI. 6. Conclusion

Pour conclure, l'analyse du côté technique et économique montre que, malgré un coût initial élevé pour le projet d'extension, la station conserve sa viabilité et sa durabilité, tout en offrant des perspectives d'optimisation énergétique et de réutilisation des eaux traitées.

Le plan d'extension à l'horizon 2038 apparaît techniquement cohérent, économiquement maîtrisé et écologiquement bénéfique. Il contribue à la préservation des ressources hydriques, à la réduction de la pollution et à l'amélioration de l'environnement local, offrant ainsi une réponse pérenne et adaptée aux exigences futures de la région.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

L'étude de la station d'épuration des eaux usées d'El Rabta a permis d'évaluer son efficacité ainsi que son potentiel de réutilisation des eaux traitées en agriculture. Les résultats ont mis en évidence certaines insuffisances, notamment l'élimination partielle des nutriments et l'absence de désinfection, ce qui explique que les eaux épurées ne répondent pas toujours aux normes de rejet ni aux exigences de la réutilisation agricole.

Pour remédier à ces lacunes, plusieurs mesures d'amélioration sont envisagées dans le cadre de l'extension prévue à l'horizon 2038 : l'implantation d'un décanteur primaire, l'optimisation du bassin biologique, ainsi que l'introduction d'un traitement complémentaire comprenant la précipitation chimique du phosphore par le sulfate d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), une filtration sur sable pour réduire les matières en suspension (MES), et une désinfection par rayonnement ultraviolet (UV). Ces actions visent à garantir la conformité des eaux traitées aux standards requis pour l'irrigation tout en minimisant leur impact environnemental lors du rejet.

En conclusion, bien que la STEP actuelle nécessite des ajustements importants pour atteindre les standards de qualité, les recommandations proposées constituent une base solide pour optimiser son fonctionnement, sécuriser la réutilisation des eaux épurées, protéger les écosystèmes locaux et promouvoir une gestion durable des ressources en eau à long terme. La mise en œuvre de ces mesures pourrait également servir de référence pour d'autres projets similaires en Algérie ou dans des contextes comparables, renforçant ainsi la durabilité et la résilience des infrastructures de traitement des eaux.

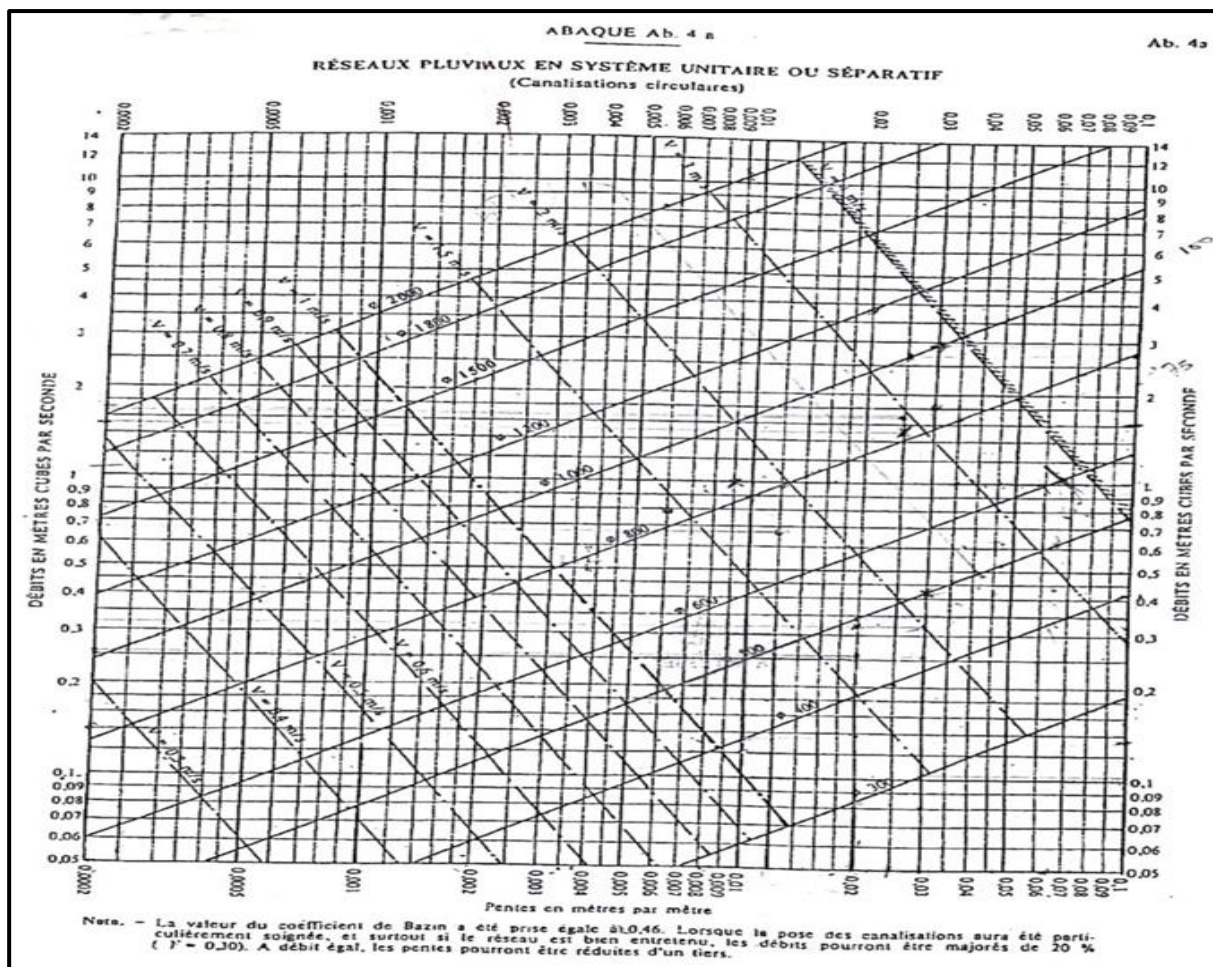
BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Sénat. *Qualité de l'eau et assainissement en France (annexes)*. 2023. Sénat. <https://www.senat.fr/rap/102-215-2/102-215-2.html>
- [2] Xerfi. *La France en retard dans la réutilisation des eaux usées traitées*. 2025. Xerfi. https://www.xerfi.com/blog/La-France-en-retard-dans-la-reutilisation-des-eaux-usees-traitees_2147
- [3] World Bank. *Closing the Loop: "Water We Doing on Reuse?"* 2025. World Bank Blogs. <https://blogs.worldbank.org/en/water/closing-the-loop---water-we-doing-on-reuse-->
- [4] Algérie Presse Service. *Augmentation du potentiel hydrique de réutilisation : dotation de 16 stations d'épuration de dispositif de traitement tertiaire*. 2023. APS. <https://www.aps.dz/economie/149913-augmentation-du-potentiel-hydrique-de-reutilisation-dotation-de-16-stations-d-epuration-de-dispositif-de-traitement-tertiaire>
- [5] Rejsek, F. *Analyse des eaux : Aspect réglementaire et technique*. 2002. CRDP Aquitaine.
- [6] Organisation mondiale de la Santé (OMS). *Global Water Supply and Sanitation Assessment*. 2000. OMS.
- [7] Climats et Voyages. *Climat de Jijel*. 2025. <https://www.climatsetvoyages.com/climat/algerie/jijel>
- [8] PROJET PNR – ENSH Blida. *Étude et valorisation des eaux usées épurées en irrigation*. 2013. <https://fr.scribd.com/document/441627880/Messahel-BILAN-PNR-2013>
- [9] Yapo, et al. *Caractérisation par fractionnement gravimétrique de la matière organique contenue dans les eaux usées : application à l'étude de la biodégradabilité*. 2009.

ANNEXES

Annexe [I] : abaque de Bazin (réseaux pluviaux en système unitaire ou séparatif)



Annexe [II] : variations des débits et des vitesses en fonction du remplissage

