



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique

Option : REUTLISATION DES EAUX NON CONVONTIONELLES

THEME :

**ETUDE DES PERFORMANCES EPURATOIRES DE LA
STATION D'EPURATION DE CHENOUA (W.TIPAZA) EN
VUE DE LEUR REUTILISATION A DES FINS AGRICOLES**

Présenté par :

TALHI ASMA

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
ZEROUAL Ayoub	MCA	Président
KHALED HOULI Samia	MAA	Examinatrice
KHEDIMALLAH Abderrahmane	MAB	Examineur
TAFAT Leila	MAA	Examinatrice
LEULMI MEDJDOUB Sonia	MCB	Promotrice

Session 2022/2023

Dédicace

C'est avec une grande émotion que je dédie mon travail

À la mémoire de mon défunt père.

À la plus belle créature que Dieu a créée sur terre,

*À cette source de tendresse, de patience et de générosité,
À ma mère !*

*À ma sœur Kaouther et mon frère Yassine, Vous êtes mes alliés
inconditionnels et je suis fière de vous avoir à mes côtés et merci pour
Votre soutien, votre complicité et votre amour sont des trésors que je
chérirai toujours.*

*À la mémoire de mes chers grands-parents, je vous
rends hommage et je vous remercie pour tout ce que vous avez été pour
moi.*

*À mes chères tantes, Nacira et Fadhéla, et mon oncle Ali
Vous avez toujours été là pour moi, prêts à m'écouter, à me conseiller et
à me soutenir dans toutes les étapes de ma vie.*

*À mes copines Meriem, Youssra, Houda et Assala Vous
m'apportez joie, rires et réconfort. Vous êtes celles avec qui je peux être
moi-même, sans jugement. Nos moments ensemble sont remplis de
complicité, de partage et de fous rires.*

À tous ceux que j'aime.

REMERCIEMENT

Je remercie le Dieu pour m'avoir donné le courage, la patience, la volonté et la force nécessaires pour surmonter les difficultés et les obstacles que j'ai rencontrés lors de mes études.

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude envers ma famille. Leur soutien inconditionnel, leur amour et leur encouragement ont été des piliers essentiels dans ma vie et dans la réalisation de mes études. Chaque membre de ma famille a joué un rôle précieux en me motivant, en m'encourageant et en me soutenant tout au long de mon parcours académique.

J'exprime ma vive gratitude à madame Leulmi Medjdoub Sonia pour son aide indéfectible, son soutien inestimable ainsi que ses conseils précieux.

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude envers mes professeurs de l'ENSH ,leurs connaissances approfondies et leur capacité à transmettre leur savoir m'ont permis d'acquérir une solide base de connaissances dans le domaine de l'hydraulique.

Je tiens à remercier aussi :

Les membres de jury pour avoir accepté d'évaluer mon travail ;

Mes amies pour leur présence ;

Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration et l'aboutissement de ce mémoire.

ملخص

يهدف هذا العمل لدراسة أداء محطة التطهير بشنوة ولاية تيبازة، بالتحقق من جودة المياه العادمة المعالجة بين مدخل ومخرج المحطة وذلك من خلال مراقبة معايير كل مرحلة من مراحل التصفية، مع معاينة أداء تنقية كل وحدة خلال العامين الماضيين. وقد وجدنا ان بعض الحمولات الملوثة فاقت حدود المعايير مثل الازوت الامونياكي والازوت الكلي خلال فترة الدراسة مع تسجيل وجود بكتيريا في المياه التي لا تتم معالجتها في المحطة وهذا ما يمنع اعادة استعمالها في السقي. وفي الختام، اقترحنا بعض الحلول تهدف لتحسين عملية المعاملة البيولوجية ونوعية المياه العادمة وذلك من اجل اعادة استخدامها في أغراض الزراعة.

الكلمات الدالة: أداء التنقية، المعالجة، محطة التطهير، إعادة الاستخدام.

Résumé :

Ce travail vise à étudier les performances épuratoires de la station d'épuration de Chenoua, dans la wilaya de Tipaza, en vérifiant la qualité des eaux usées traitées entre l'entrée et la sortie de la station. Cela se fait en surveillant les performances de chaque étape du traitement, en vérifiant les paramètres de fonctionnement de chaque ouvrage au cours des deux dernières années. Certaines charges polluantes ont dépassé les limites des normes, telles que l'azote ammoniacal et l'azote total pendant la période d'étude, et en raison de la présence de bactéries dans les eaux épurées de la station, il est impossible de les réutiliser pour l'irrigation.

En conclusion, certaines solutions ont été proposées dans le but d'améliorer le processus de traitement biologique et la qualité des eaux traitées, afin de permettre leur réutilisation à des fins agricoles.

Mots clés : Performances épuratoires, Traitement, Station d'épuration (STEP), Réutilisation.

Abstract:

This work aims to study the purification performance of the Chenoua wastewater treatment plant in the Tipaza province by verifying the quality of the treated wastewater between the inlet and outlet of the plant. This is done by monitoring the performance of each treatment stage and checking the operational parameters of each facility over the past two years. Some pollutant loads have exceeded the standard limits, such as ammoniacal nitrogen and total nitrogen, during the study period, and due to the presence of bacteria in the treated wastewater from the plant, it is impossible to reuse them for irrigation.

In conclusion, some solutions have been proposed to improve the biological treatment process and the quality of the treated water in order to enable their reuse for agricultural purposes.

Key words: Purification performance, Treatment, Wastewater treatment, Reuse.

Introduction générale

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude.

Introduction	02
I.1. Description et Situation géographique	02
I.1.1. Description géographique	02
I.1.2. Milieux physique.....	03
I.2. La géologie	03
I.3. Aspect morpho tectonique du site	05
I.4. Le milieu climatique et pluviométrique	05
I.4.1. La température.....	06
I.4.2. Le vent.....	07
I.4.3. Humidité relative	08
I.4.4. La Précipitation	09
I.4.5. Classification du climat selon indice de Gaussen.	09
I.5. Hydrographie et réseau d'eaux pluviales	10
I.6. Milieux humain	12
I.7. Les ressources hydriques.....	12
I.7.1. Alimentation en eau potable.....	13
I.7.2. Le réseau d'assainissement	13
I.8. Environnement	13
Conclusion	14

Chapitre II : Origines et caractéristiques des eaux usées.

Introduction	16
II.1. Origines des eaux usées.....	16
II.1.1. Les eaux usées domestiqués	16
II.1.2. Les eaux usées industrielles	17
II.1.3. Les eaux usées agricoles	17
II.1.4. Les eaux usées de ruissèlement.....	18
II.2. Evaluation de la pollution	18
II.2.1. Définition de la pollution en général.....	18
II.2.2. Définition de la pollution de l'eau	18
II.2.3. Principaux types de pollutions.....	18
II.2.3.1. La pollution organique.....	18
II.2.3.2. La pollution physique	19
II.2.3.3. La pollution chimique.....	19
II.2.3.4. La pollution microbiologique.....	20
II.3. Les principaux paramètres de pollution.....	20
II.3.1. Les paramètres physiques.....	20
II.3.1.1. La température.....	20
II.3.1.2. Les matières en suspension	20
II.3.2. Les paramètres organoleptiques	20
II.3.2.1. La turbidité	20
II.3.2.2. L'odeur	21
II.3.2.3. La couleur.....	21
II.3.3. Les paramètres chimiques	21
II.3.3.1. Le pH.....	21

II.3.3.2. La conductivité.....	21
II.3.3.3. L'oxygène dissous	21
II.3.3.4. La demande biologique en exogènes (DBO)	22
II.3.3.5. La demande chimique en oxygènes	22
II.3.3.6. Le carbone organique total (COT)	22
II.3.3.7. Notion de biodégradabilité (K)	22
II.3.4. Les nutriments	23
II.3.4.1. Le phosphore.....	23
II.3.4.2. L'azote	23
II.3.4.3. L'azote réduit	23
II.3.5. Equivalent habitant : EH.....	24
II.3.5.1 Valeur de l'équivalent habitant	24
II.4. L'état de l'environnement	24
II.5. Les normes de rejets.....	24
II.5.1. Les normes de rejets pour la STEP de Chenoua.....	24
II.5.2. Les normes de rejets en Algérie.....	25
Conclusion.....	26

Chapitre III : Les différents procédés d'épuration des eaux usées.

Introduction.....	28
III.1. Définition de l'épuration.....	28
III.2. Paramètres essentielles pour le choix d'une technologie de traitement des eaux usées	28
III.3. Rôle des stations d'épuration	28
III.4. Généralité sur les filières de traitement de l'entrée de la station d'épuration	29
III.5. Les filières de traitements d'une station d'épuration	29
III.5.1. Le prétraitement.....	29
III.5.1.1. Le dégrillage.....	30
III.5.1.2. Dessablage.....	31
III.5.1.3. Dégraissage déshuilage	32
III.5.2. Traitement primaire.....	33
III.5.2.1. Coagulation-floculation.....	33
III.5.2.2. Flottation.....	34
III.5.3. Traitement biologique	34
III.5.3.1. Procédés biologiques extensifs ou naturels.....	35
III.5.3.2. Procédés biologiques intensifs	36
III.5.4. Eléments d'une station à boues activées.....	38
III.5.4.1. Avantages de la boue activée.....	38
III.5.4.2. Inconvénients de la boue activée	39
III.5.5. Paramètre de fonctionnements des stations à boues activées.....	39
III.5.5.1. Aération dans les bassins à boues activées.....	40
III.6. Paramètre influençant le fonctionnement des bassins d'aération	41
III.6.1. La décantation secondaire.....	41
III.7. Le traitement tertiaire	42
III.7.1. Réduction des matières en suspensions et de la pollution organique Biodégradable.....	43
III.7.2. Réduction de la pollution organique non biodégradable.....	43
III.7.3. Elimination de l'azote	43
III.7.3.1. Elimination biologique de l'azote.....	44

III.7.4. Elimination du phosphore.....	45
III.8. La désinfection.....	47
III.9. Le traitement des boues	47
III.9.1. Le conditionnement	47
III.9.2. Epaissement des boues	48
III.9.3. La déshydratation	49
III.9.4. Incinération des boues	49
Conclusion.....	50

Chapitre IV : La réutilisation des eaux usées épurées en irrigation.

Introduction.....	52
IV.1. Domaines de réutilisation des eaux épurées.....	53
IV.1.1. Réutilisation des eaux usées dans l'industrie.....	53
IV.1.2. Réutilisation municipales.....	53
IV.1.3. L'aquaculture.	54
IV.1.4. Réutilisation des eaux usées en agriculture.....	54
IV.2. L'irrigation agricole par les eaux usées épurées	55
IV.3. Cadre réglementaire eaux usées traitées réutilisées en irrigation en Algérie... ..	56
IV.3.1. Disposition préliminaires.....	56
IV.4. Critère de qualité des eaux usées pour l'irrigation.....	57
IV.4.1. Paramètres physico-chimiques	57
IV.4.2. Le risque microbiologique.....	64
IV.4.3. Paramètres toxicologiques.....	65
IV.5. Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux épurées.....	67
Conclusion :	68

Chapitre V : Présentation de la station d'épuration de Chenoua.

Introduction.....	70
V.1. localisation.....	70
V.2. Technique d'épuration.....	71
V.3. Description de la station d'épuration de Chenoua.....	72
V.4. Le poste de relevage.....	75
V.5. Dimensionnement des différents ouvrages de la STEP de Chenoua.....	82
V.5.1. Capacité nominale de la station d'épuration de Chenoua.....	82
V.5.2. Charge hydraulique.....	82
V.5.3. Charge polluante.....	82
V.6. Niveau de traitement requis.....	83
V.6.1. Calcul de la biodégradabilité.....	83
Conclusion :	83

Chapitre VI : Etude des performances épuratoires de la STEP de Chenoua.

Introduction :	85
VI.1. Matériel et méthodes.....	85
VI.1.1. Echantillonnage.....	85
VI.1.2. Les principaux paramètres analysés.....	85
VI.1.3. Indicateurs de performances.....	86
VI.2. Résultat et discussion.....	86
VI.2.1. Evolution de la charge hydraulique.....	86

VI.2.2. Evolution des paramètres physico-chimiques.....	86
VI.2.3. Interprétation des indicateurs de performances	95
VI.2.3. Résultat des analyses bactériologiques	99
Conclusion.....	101

Chapitre VII : Solutions et recommandation pour améliorer la qualité d'eau.

Introduction.....	103
VII.1. Solutions et recommandations.....	103
VII.1.1. Pour l'élimination de l'azote.....	103
VII.1.1.1. Augmentation des nombres des aérateurs.....	103
VII.1.2. Pour la désinfection	104
VII.1.2. Désinfection par le rayonnement UV.....	104
VII.2.1. Définition de la désinfection.....	104
VII.2.2. Principe de fonctionnement	104
VII.2.3. Réacteur BIO-UV.....	106
VII.2.3. Dose efficace.....	107
VII.3. Avantages et inconvénients de rayonnement UV.....	107
VII.4. Mécanisme de traitement des eaux usées par le rayonnement UV	108
VII.4.1. Inactivations des virus et des bactéries	109
VII.5. Les étapes de dimensionnement d'un système désinfection par UV.....	110
VII.5.1. Le dimensionnement pour la STEP de Chenoua.....	110
VII.5.2. Calculer le débit d'eau traité par chaque lampe.....	112
VII.5.3. Calcule le nombre de lampes nécessaires.....	112
VII.6. Estimation de la réduction en pourcentage	113
Conclusion.....	114

Chapitre VIII : Calcul les besoins en eau.

Introduction.....	117
VIII.1. Présentation de la station pluviométrique.....	117
VIII.1.1. Répartition de la pluie moyenne annuelle	117
VIII.2. Ajustement des pluies annuelles	118
VIII.2.1. Détermination de la loi de calcul.....	118
VIII.3. Besoins en eau du périmètre.....	119
VIII.3.1. Calcul des besoins en eau d'irrigation	119
VIII.3.3. Définition de l'évapotranspiration	120
VIII.4. Calcul de la pluie efficace	121
VIII.5. Calcul de la réserve en eau du sol.....	122
VIII.6. Choix des cultures	122
VIII.6.1. Occupation des sols.....	122
VIII.6.2. Assolements des cultures	123
VIII.6.3. Date d'implantation des cultures.....	124
VIII.7. Estimation des besoins en eau des cultures choisies.....	124
VIII.7.1. Estimation des besoins en eau pour les arbres fruitiers	124
VIII.7.2. Estimation des besoins en eau pour les agrumes.....	125
VIII.7.3. Estimation des besoins en eau pour les cultures fourragères	125
VIII.7.4. Estimation des besoins en eau pour les cultures de production de semence...	126
VIII.7.5. Estimation des besoins en eau pour les cultures industrielles	126
VIII.8. Calcul les besoins en eau pour l'assolement	127
VIII.8.1. Calcul du débit spécifique.....	128

Sommaire

VIII.8.2. Calcul du débit caractéristique.....	128
VIII.8.3. Estimation des volumes d'eau d'irrigation.....	129
Conclusion	129

Conclusion générale

Titre du tableau	Page
Chapitre I	
Tableau I.1 : températures mensuelles moyennes, minimales et maximales en °C de 1987 à 2022.	06
Tableau I.2 : Vitesses des vents moyennes mensuelles en (km/h) de 1987 à 2022	07
Tableau I.3 : Humidité relative mensuelle en (%) de 1987 à 2022	08
Tableau I.4 : la précipitation mensuelle moyenne et totale mensuelle en (mm) de 1987 à 2022	09
Chapitre II	
Tableau II.1 : Le coefficient de biodégradabilité (K).	22
Tableau II.2 : Norme de rejet en Algérie.	24
Chapitre III	
Tableau III.1 : Classification des procédés à boues activées.	39
Tableau III.2 : Comparatif des avantages et des inconvénients entre les méthodes d'élimination du phosphore par voie biologique et par voie chimique.	46
Tableau III.3 : Les opérations de traitement des boues et leurs objectifs.	47
Chapitre IV	
Tableau IV.1 : Les Paramètres physico-chimiques des eaux usées épurées destinés à l'irrigation.	58
Tableau IV.2 : Classes d'aptitude de l'eau à l'irrigation, modifiées d'après US SALINITY LABORATORY, 1955.	60
Tableau IV.3 : Qualité d'eau d'irrigation selon le SAR.	63
Tableau IV.4 : Recommandations concernant la qualité microbiologique des eaux usées utilisées dans l'agriculture.	64
Tableau IV.5 : Les Paramètres toxicologiques	66
Tableau IV.6 : Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées.	67
Chapitre V	
Tableau V.1 : Caractéristique de l'épaississeur.	80
Chapitre VIII	
Tableau VIII.1 : Caractéristique principales de la station pluviométrique (ANRH Blida).	117
Tableau VIII.2 : Caractéristiques de la série pluviométrique.	117

Liste des tableaux

Tableau VIII.3 : Résultat de l'ajustement	119
Tableau VIII.4 : Calcul des pluies mensuelles pour l'année sèche (freq= 80%).	119
Tableau VIII.5 : Evapotranspiration de référence ET0 calculée par le logiciel COPWAT.	121
Tableau VIII.6 : Calcul des pluies efficaces.	121
Tableau VIII.7 : Les cultures proposées	123
Tableau VIII.8 : Assolement proposé pour le périmètre	123
Tableau VIII.9 : Date d'implantation des cultures	124
Tableau VIII.10 : Calcul des besoins en eau pour la vigne.	124
Tableau VIII.11 : Calcul des besoins en eau pour l'orange.	125
Tableau VIII.12 : Calcul des besoins en eau pour le Maïs	125
Tableau VIII.13 : Calcul des besoins en eau pour le haricot	126
Tableau VIII.14 : Calcul des besoins en eau pour la tomate industrielle	127
Tableau VIII.15 : Récapitulatif des besoins nets (mm) pour l'assolement	127
Tableau VIII.16 : Volume d'eau d'irrigation.	129

Titre de la figure	Page
Chapitre I	
Figure I.1 : Situation géographique de la zone d'étude (vue en 3D)	03
Figure I.2 : Carte géologique du milieu étudié	04
Figure I.3 : Morphologie du sahel (vue 3D)	05
Figure I.4 : la variation mensuelle de la température en (C°) de 1987 à 2022	07
Figure I.5 : Variation mensuelle du vent en (km/h) de 1987 à 2022.	08
Figure I.6 : Variation de l'humidité relative de l'air mensuelle de 1987 à 2022.	09
Figure I.7 : Précipitations mensuelles moyennes de 1987 à 2022.	10
Figure I.8 : Diagramme ombrothermique de Gaussen.	10
Figure I.9 : Chevelu hydrographique et réseau d'évacuation des eaux pluviales	12
Chapitre III	
Figure III.1 : Schéma Filières de traitement des eaux usées.	30
Figure III.2 : Dégrilleur automatique fin.	31
Figure III.3 : Représentation du prétraitement des ERI	33
Figure III.4 : Traitement physico-chimique.	34
Figure III.5 : Lagunage naturel.	35
Figure III.6 : Schéma d'une unité de traitement à lit bactérien	37
Figure III.7 : Traitement biologique à boues activées	38
Figure III.8 : Filière de traitement des eaux usées	42
Figure III.9 : Etape de dégradation biologique de l'azote	45
Figure III.10 : Principales filières de traitement des boues.	48
Chapitre IV	
Figure IV.1 : Représentation graphique de classification des eaux d'irrigation selon leur SAR.	62
Chapitre V	
Figure V.1 : La localisation de site d'implantation de la station (vue aérienne).	71

Figure V.2 : Synoptique de la STEP de Tipaza	72
Figure V.3 : Différents Procédé d'épuration des eaux usées de la STEP	74
Figure V.4 : Photo illustrant le prétraitement.	76
Figure V.5 : Photo illustrant le degriilleur fin	76
Figure V.6 : Etape de dessablage/dégriillage (PP)	77
Figure V.7 : Bassin Biologique ou Bassin d'aération	78
Figure V.8 : Photo illustre l'aérateur	78
Figure V.9 : Bassin de décantation	79
Figure V.10 : Photo illustre l'épaississeur	81
Figure V.11 : Photo illustre l'étape de déshydratation	82
Figure V.12 : Photo illustre la préparation du polymère	83
Chapitre VI	
Figure VI.1 : Évolution moyenne mensuelle des débits des eaux brutes de la STEP en 2021-2022.	86
Figure VI.2 : Évolution moyenne mensuelle de la température à l'entrée et à la sortie de la STEP en 2021-2022	87
Figure VI.3 : Évolution moyenne mensuelle du pH à l'entrée et à la sortie de la STEP en 2021-2022	88
Figure VI.4 : Évolution moyenne mensuelle de la CE à l'entrée et à la sortie de la STEP en 2021-2022.	89
Figure VI.5 : Évolution moyenne mensuelle des MES à l'entrée et à la sortie de la STEP en 2021-2022.	90
Figure VI.6 : Évolution moyenne mensuelle de la DBO ₅ à l'entrée et à la sortie de la STEP en 2021-2022	91
Figure VI.7 : Évolution moyenne mensuelle de la DCO à l'entrée et à la sortie de la STEP en 2021-2022	92
Figure VI.8 : Évolution moyenne mensuelle du phosphore à l'entrée et à la sortie de la STEP en 2021-2022	92
Figure VI.9 : Évolution moyenne mensuelle de l'azote totale à l'entrée et à la sortie de la STEP en 2021-2022.	93
Figure VI.10 : Évolution moyenne mensuelle des nitrates à l'entrée et à la sortie de la STEP en 2021-2022	94
Figure VI.11 : Évolution moyenne mensuelle de NH ₄ ⁺ à l'entrée et à la sortie de la STEP en 2021-2022	95
Figure VI.12 : Variation du rapport DCO/DBO ₅ à l'entrée de la STEP en 2021-2022	96

Liste des figures

Figure VI.13 : Variation du rapport MES/DBO ₅ à l'entrée de la STEP en 2021-2022	96
Figure VI.14 : Variation du rapport NH ₄ ⁺ /NT à l'entrée de la STEP en 2021-2022	97
Figure VI.15 : Variation du rapport DCO/Pt à l'entrée de la STEP en 2021-2022	97
Figure VI.16 : Variation du rapport DCO/NT à l'entrée de la STEP en 2021-2022	98
Figure VI.17 : Représentation de la variation des coliformes fécaux des eaux traitées de la STEP de CHENOUA en 2022	99
Figure VI.18 : Représentation de la variation des Escherichia coli des eaux traitées de la STEP de Chenoua en 2022.	100
Figure VI.19 : Représentation de la variation des Entérocoques intestinaux des eaux traitées de la STEP de CHENOUA en 2022.	100
Chapitre VII	
Figure VII.1 : Spectre d'absorption du rayonnement ultra-violet.	106
Figure VII.2 : Type des réacteurs UV	107
Figure VII.3 : Portion d'efficacité en fonction de la longueur d'onde émise par la lampe UV.	108
Figure VII.4 : Double hélice de l'ADN et les deux paires de ses bases	109
Chapitre VIII	
Figure VIII.1 : Ajustement des pluies annuelles avec la loi Normale.	118
Figure VIII.2 : l'emplacement de la passerelle a irriguer.	123

Liste des planches

Plans N° 01 : Bassin d'aération de la STEP de Chenoua

Plans N° 02 : clarificateur de la STEP de Cheoua

Plans N° 03 : Ouvrage proposé pour la STEP un réacteur ultraviolet

Liste des abréviations

STEP : Station d'épuration

CE : Conductivité Electrique

MVS : matières volatiles en suspension

MES : Matières en Suspensions

MMS : Matières Minérales

pH : Potentiel d'Hydrogène

DBO₅ : demande biologique en oxygène durant 5 jours

DCO : demande chimique en oxygène

SEAAL : Société des Eaux et d'Assainissement d'Alger

EH : Equivalent Habitant

C_v : Charge Volumique

C_m : Charge Massique

μS/cm : Micro siemens par centimètre

NTK : azote Kjeldahl Total

NT : Azote totale

NH₄⁺ : Azote ammoniacal

NO₂⁻ : Azote Nitreux

NO₃⁻ : Azote Nitrique

ONA : Office National d'Assainissement

UV : ultraviolet

ANRH : Agence nationale des ressources hydraulique

SAR : Le taux d'adsorption du sodium

FAO : organisation mondiale de l'alimentation et l'agriculture

Introduction générale

Introduction générale :

L'eau est une ressource précieuse et essentielle à la vie sur Terre. Cependant, la croissance démographique, l'urbanisation rapide et l'industrialisation ont entraîné une pression accrue sur les ressources en eau douce. Dans de nombreuses régions du monde, l'eau devient de plus en plus rare et sa gestion durable est devenue une priorité.

Dans ce contexte, la réutilisation des eaux usées se présente comme une solution prometteuse pour répondre aux besoins croissants en eau. La réutilisation des eaux usées consiste à traiter les eaux usées provenant des ménages, des industries et d'autres sources, afin de les rendre sûres et adaptées à une utilisation ultérieure.

En Algérie, La réutilisation des eaux usées est devenue une priorité pour faire face aux défis de la gestion de l'eau dans le pays. L'Algérie est confrontée à des contraintes importantes en matière de ressources en eau, avec une disponibilité limitée et une pression croissante surtout ce qui concerne le secteur agricole car elle joue un rôle important dans l'irrigation des cultures, contribuant ainsi à l'augmentation de la production alimentaire et à la sécurité alimentaire du pays.

Le traitement des eaux usées dans les stations d'épuration (STEP) est une étape essentielle pour permettre la réutilisation de ces eaux dans différents domaines. Le processus de traitement des eaux usées vise à éliminer les contaminants et à produire une eau de qualité acceptable pour une utilisation ultérieure. Parmi les étapes de traitement on a le Prétraitement, Traitement primaire, Traitement biologique, Traitement tertiaire. Après le traitement, l'eau est généralement stockée dans des réservoirs de stockage avant d'être utilisée à des fins agricoles.

De plus, le traitement des eaux usées joue un rôle clé dans la protection de la chaîne alimentaire. Lorsque les eaux usées sont utilisées pour l'irrigation des cultures, il est essentiel de les traiter afin d'éliminer les contaminants et de prévenir la contamination des cultures. Cela garantit la sécurité des aliments produits et consommés ainsi que le respect des normes de la qualité d'eau est également une raison importante pour laquelle le traitement des eaux usées est nécessaire car il permet de se conformer à ces normes et de s'assurer que l'eau réutilisée répond aux critères de la qualité requis.

Notre étude vise à évaluer les performances épuratoires de la station d'épuration de Chenoua en utilisant les données disponibles pour les deux années (2021-2022).

Pour structurer notre étude, nous avons suivi un plan de travail en trois parties :

La première partie consiste en une synthèse bibliographique, où nous avons examiné les travaux existants et les connaissances actuelles sur le sujet. Cela nous a permis de nous familiariser avec les meilleures pratiques et les recommandations en matière de performance épuratoire des stations d'épuration.

La deuxième partie présente les modalités de conception des différents ouvrages de la station d'épuration de Chenoua. Nous avons également réalisé une étude approfondie sur les performances épuratoires de cette station, en analysant les données disponibles pour la période spécifiée.

La troisième partie concerne les solutions proposées : Notre objectif était de concevoir un système de traitement qui permettrait d'obtenir une qualité d'eau conforme aux normes de réutilisation pour des fins agricoles, donc on a proposé des solutions adaptées pour l'élimination de l'azote et évalué la désinfection par rayonnement ultraviolet.

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

Introduction :

Ce chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude, les informations collectées et les caractéristiques de cette ville nous guide à élaborer une étude générale de ville de Tipasa à travers des données géographique, climatique, topographique et hydraulique.

I.1. Description et Situation géographique :

La wilaya de Tipasa fait partie de la région nord centre fortement urbanisée et polarisante à la fois, Jouissant d'atouts majeurs économiques, touristiques et naturels, la mettant à l'avant-garde du reste Du territoire national.

Elle est limitée géographiquement par : La mer méditerranéenne au Nord

- ✓ La wilaya de Blida au Sud Est
- ✓ La wilaya d'Alger à l'Est
- ✓ La wilaya de Chlef à l'Ouest
- ✓ La wilaya d'Ain Defla au sud-ouest

Le territoire de la wilaya de Tipaza couvre une superficie de 1 707 km², soit 0.072% du territoire national, qui se répartit en : Montagnes : 336 km² ; Collines et piémonts : 577 km² ; Plaines : 611 km² ; Autres : 183 km².

Elle se compose de 28 Communes et 10 Dairates. Sa population est de 630 000 habitants (2013) soit une densité moyenne de 370 habitants au km².

I.1.1 Description géographique :

La ville de Tipaza couvre une superficie de 69km², soit 4,05% elle est le chef-lieu de la wilaya du même nom située à 70km à l'Ouest d'Alger. Au Nord elle est limitée par la mer Méditerranée, à l'Ouest par les communes de Nador, à l'Est par la commune d'Ain Tagourait et au sud par Hadjout et Sidi Rached.

La ville de Tipasa a été construite au piedmont du Chenoua qui culmine à 880m d'altitude, à la périphérie Nord-Ouest de la plaine de la Mitidja, sur le versant nord du bourrelet côtier formant le Sahel, elle est bordée d'Ouest en Est par les méridiens 2,43°E et 2,48°E, et du Sud au Nord par les parallèles 36,58°N et 36,60°N. L'altitude moyenne de la zone d'étude est de 112m.

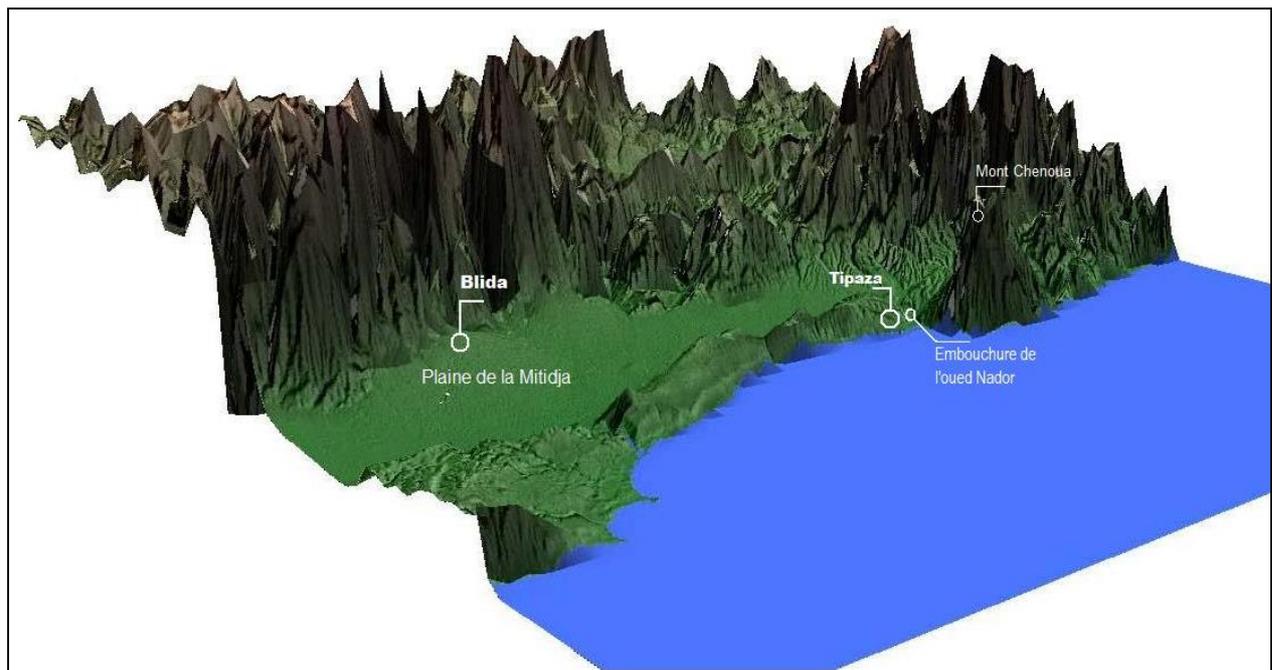


Figure I.1 : Situation géographique de la zone d'étude (vue en 3D)

(Source : la direction des ressources en eau Tipasa.)

I.1.2. Milieu physique :

La carte des levés topographique, reflète clairement la différence qui existe entre la valeur des pentes du flanc Sud des collines qui dépasse largement les 20% et celle de la plaine où elle n'atteint guère le 01% :

- **Pentes de 0 – 05%** : Cette marge de pente couvre la totalité de la plaine et c'est ce qui nous donne une petite superficie par rapport au périmètre communal. elle occupe la vallée d'Oued Nador au Sud-est et bande étroite le long du littoral.
- **Pentes de 05 – 15%** : Ces dernières directement liées aux abords immédiats des premiers contreforts du bourrelet Sahélien et localement, le long de la ligne de crête.
- **Pentes de 15 – 20%** : De grande importance que les autres pentes (en surface), elles forment la transition entre les pentes supérieures à 20 % et celle des pentes de 10 – 15 %, occupent les contreforts du Sahel.
- **Pentes supérieures à 20 %** : Elles présentent le flanc supérieur des collines vers le Nord – Est du site et elle englobe le massif de Chenoua, et une longue bande au Nord-est du site.

I.2. La géologie

Il est intéressant de connaître la nature du sol présent dans la zone d'étude, ce qui permet de comprendre le tracé du cours d'eau, le déplacement ou la déformation du lit et de qualifier les

capacités de saturation des sols, qui est un aspect important pour l'évaluation du ruissèlement. Dans ce qui suit, le pourcentage donné pour différents terrains correspond à la surface d'affleurement des terrains sédimentaires par rapport à la surface totale du milieu étudié.

Le matériau géologique du milieu étudié se compose de roches sédimentaires (fig. 1.2) d'un âge relativement récent. La plus vieille formation date de la période dévonienne, et montre une stratification discordante. Aussi, elle affleure très peu (< de 0,1%, de la surface totale), sous forme de schistes noirs, micro brèches à tentacules, lydiennes grès à plantes.

Le pliocène supérieur affleure sur plus de 56% de la surface du milieu étudié, sous formes d'un faciès argileux ou argileux sableux (20,9%), calcaire et calcaireux-gréseux avec ou sans galets (35,5%). Les terrains pliocènes affleurent essentiellement en bordure des cours d'eau et disparaissent sous les alluvions et dépôts torrentiels (époque actuelle) plus on s'approche des lits de ces derniers.

Ces alluvions et dépôts torrentiels (10%), ainsi que les sables argileux (28,9%) affleurant sur les zones les plus élevées du milieu étudié, constituent majoritairement les terrains de l'époque actuelle.

Le bord de mer et les zones proches du rivage, sont caractérisés par les dunes actuelles (0,8%), ainsi que des dunes consolidées (3,3%) et lapidifiées (0,6%) datant du pléistocène.

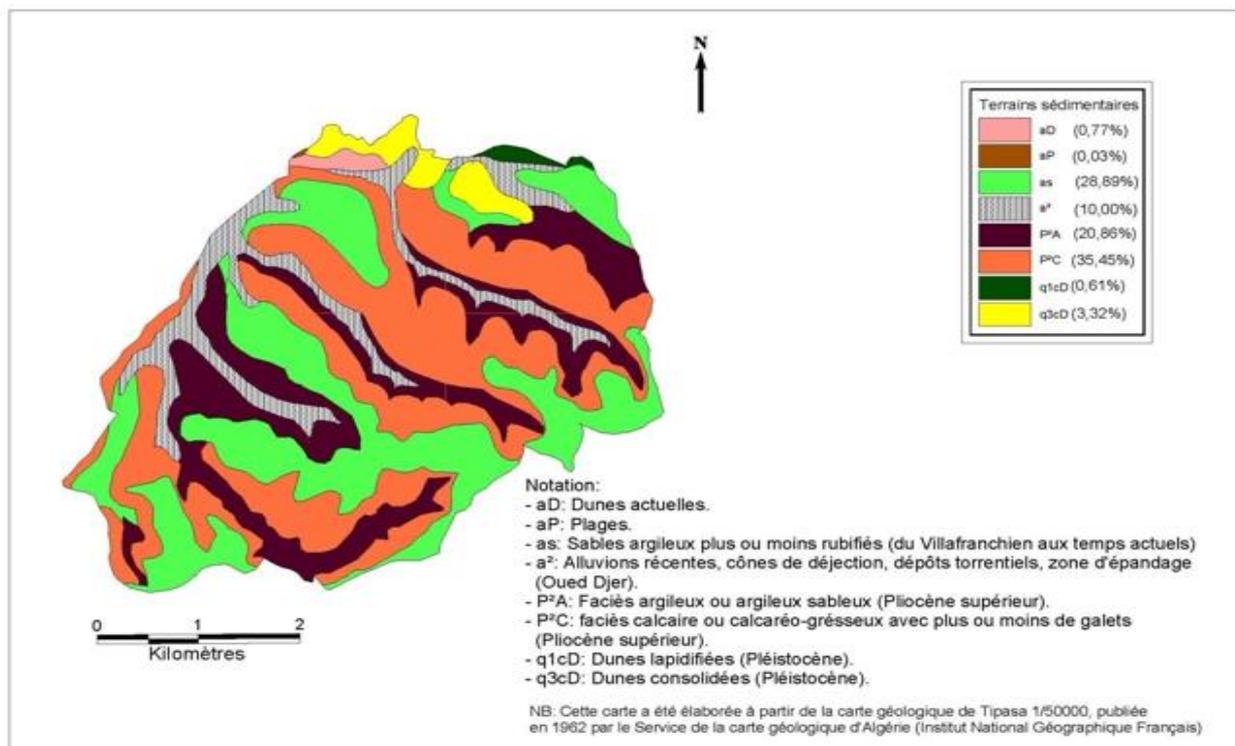


Figure I.2 : Carte géologique du milieu étudié

(Source : Direction des ressources en eau Tipasa)

I.3. Aspect morpho – tectonique du site :

La plaine de Tipaza s'inscrit dans une large cuvette qui continue à se glisser et s'enfoncer sous le massif de Chenoua en le soulevant depuis plus de 200 000 ans. Ces mouvements morpho – tectoniques rendent instable le substrat de Tipaza et se forment des zones de ruptures par flexion sur la roche et provoquent des zones d'effondrement en bloc des promontoires côtiers. La succession des criques et des promontoires est donc conséquence de ces mouvements.

La commune de Tipaza est subdivisée naturellement en trois ensembles géomorphologiques qui sont les suivants :

- ❖ Le massif de Chenoua à l'Ouest.
- ❖ Les contreforts du Sahel à l'Est.
- ❖ La vallée d'Oued Nador.

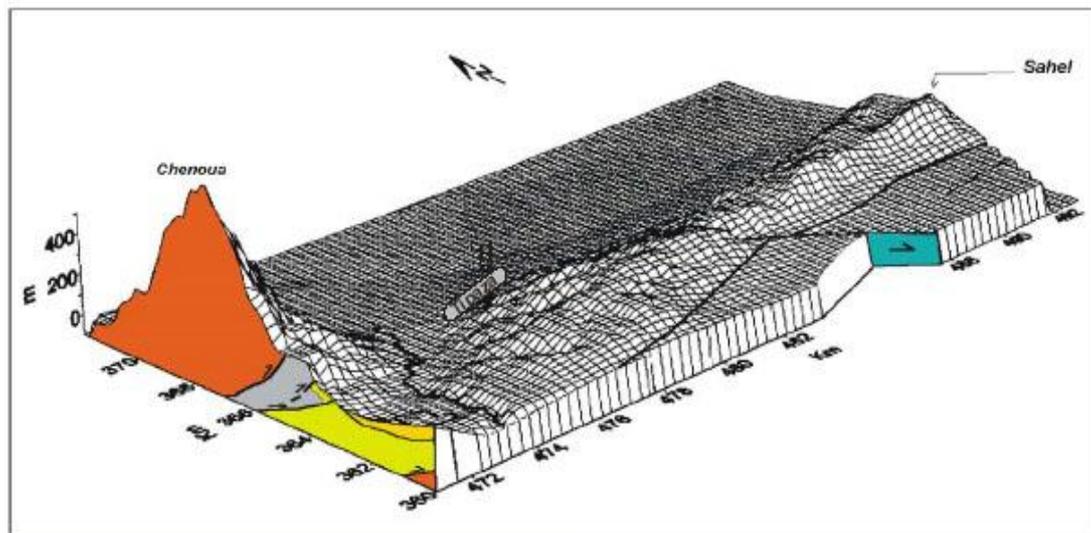


Figure I.3 : Morphologie du Sahel (Vue en 3 D)

(Source : la direction des ressources en eaux)

I.4. Milieu climatique et pluviométrique :

La climatologie et les études hydrologique-hydraulique sont à associer. Il convient d'envisager l'intégration des paramètres, de la température, du vent, de l'humidité, etc., dans les simulations des phénomènes complexes de comportement des sols à l'infiltration, à la saturation et au ruissellement, ainsi que l'évaluation du stock hydrique du sol, du pouvoir humidifiant et de l'évapotranspiration potentielle.

L'idéal serait d'avoir à disposition l'ensemble de ces paramètres pour mener convenablement des études portant sur la génération et le transfert du ruissellement des eaux à

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

l'exutoire. Dans la pratique et dans le contexte Algérien, il est assez rare que tous ces paramètres soient mesurés. Dans ce qui suit, il est donné un aperçu sur les quelques paramètres (mesurés) représentatifs de la climatologie du milieu étudié.

Notre étude sur la région et de 1987 à 2022 (35 ans) pour bien déterminer les caractéristiques et les changements climatique sur notre région, citons les paramètres suivants :

I.4.1. La température :

La température est un facteur très important pour le bon fonctionnement d'une station d'épuration à traitement biologique car pour que l'activité bactériologique soit optimale il faut que la température soit optimal.

Tableau I.1 : températures mensuelles moyennes, minimales et maximales
en °C de 1987 à 2022.

mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	moy annuel
Tmoy- min	7.4	7	9	11	14	18.8	21.4	20	18.8	16	11.6	9.2	14.76
Tmoy-max	17	17.8	19	21	24	26	32	30.8	29	25.6	21	18	25.35
Tmoy	12.2	12.4	14	16	19	22.4	26.7	25.4	23.9	20.8	16.3	13.6	18.6

(Source : ANRH BLIDA)

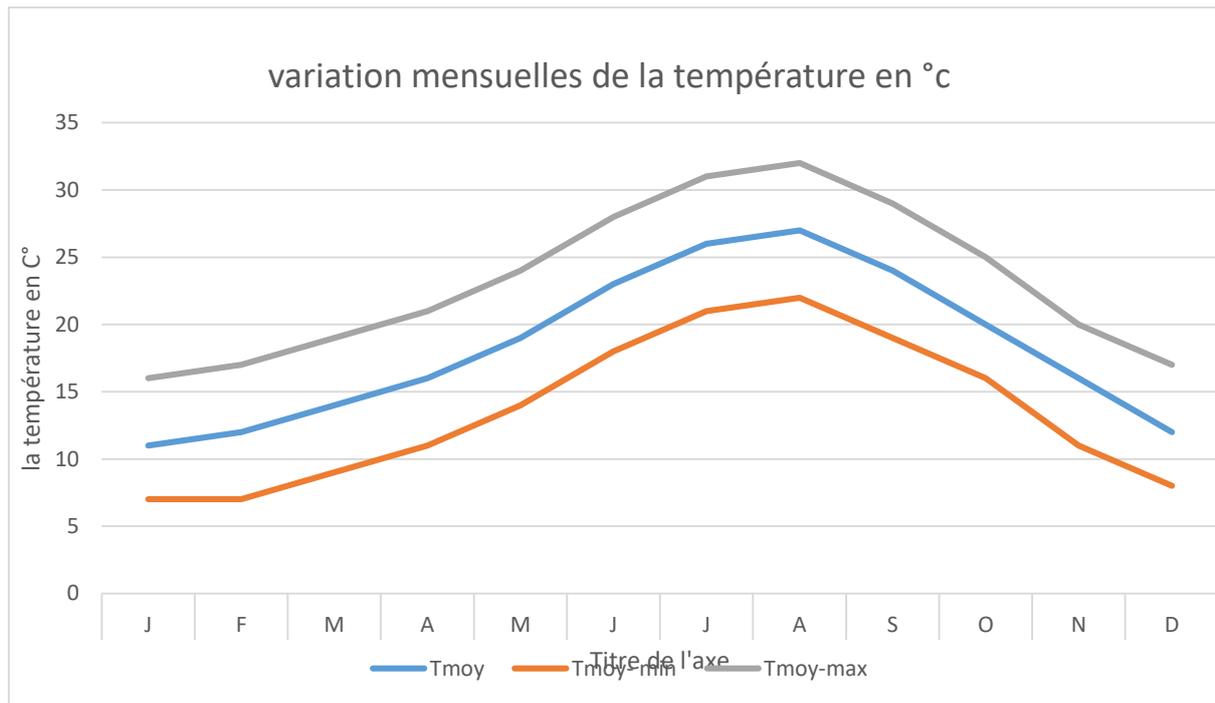


Figure I.4 : Variation mensuelle de la température en °C de 1987 à 2022

Les mois les plus chauds sont Juin, Juillet, Août et Septembre où la température moyenne varie entre 23°C et 27°C, les mois les plus froids sont Décembre, Janvier et Février, où la température moyenne oscille entre 11°C et 12°C.

La température la plus basse a été enregistrée au mois de janvier : $T_{\min}=3^{\circ}\text{C}$

La température la plus élevée a été enregistrée au mois de juillet : $T_{\max}=37^{\circ}\text{C}$.

Donc on peut dire que la température de la région est très douce à été chaud et aride, alors que le reste de l'année est moins chaud.

I.4.2 Le vent : en km/h

Les enregistrements des vents dans le tableau 1.2, donnent les vitesses moyennes mensuelles ces derniers sans préciser quelles sont les directions dominantes et leur occurrence.

Tableau I.2 : Vitesses des vents moyennes mensuelles en (km/h) de 1987 à 2022

mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Vmoy annuelle
Vmoy (km/h)	7.37	7.41	8.33	8.33	8.08	7.5	7.62	6.75	6.54	6.33	7.87	9.20	7.62

(Source : ANRH BLIDA)

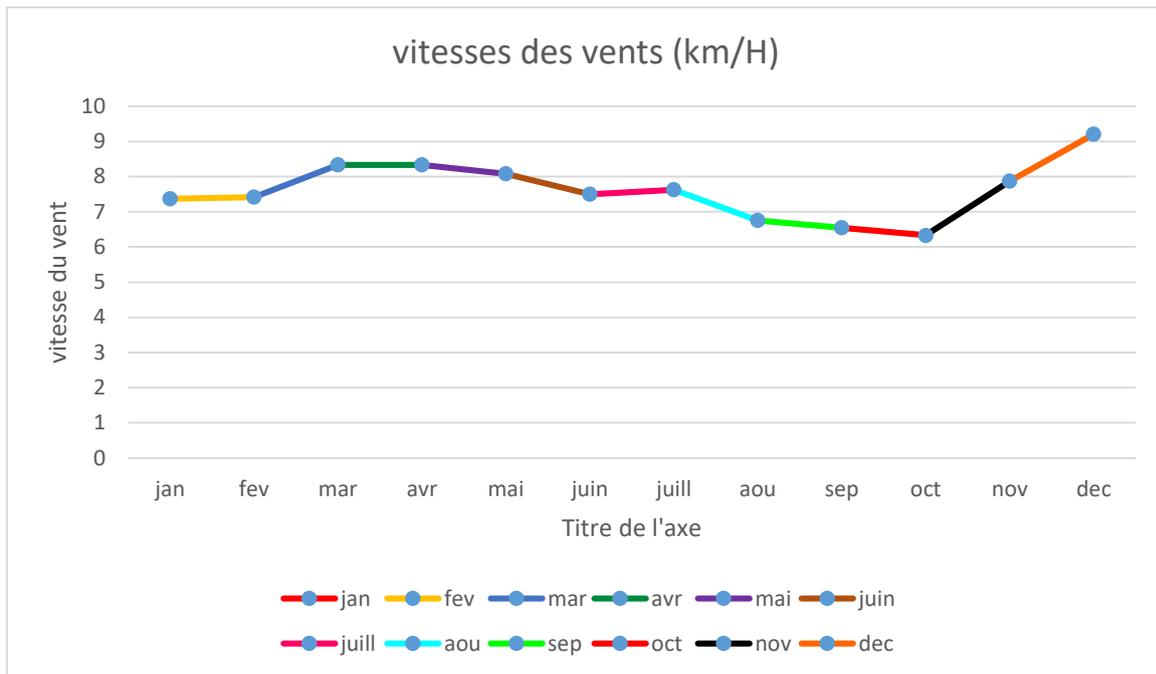


Figure I.5 : Variation mensuelle du vent en km/h de 1987 à 2022.

Au vu du tableau I.2, les vents soufflent à plus ou moins la même vitesse toute l'année, mis à part le mois de décembre qui présente une valeur supérieure à la moyenne.

I.4.3 Humidité relative :

Elle représente un degré de saturation de l'air en vapeur d'eau.

La série des données climatique nous a permis de récapituler les résultats présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau I.3 : Humidité relative mensuelle en (%) de 1987a 2022

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	An
Hr (%)	81	82	82	78	69	61	55	61	72	71	77	80	72

(Source : ANRH BLIDA.)

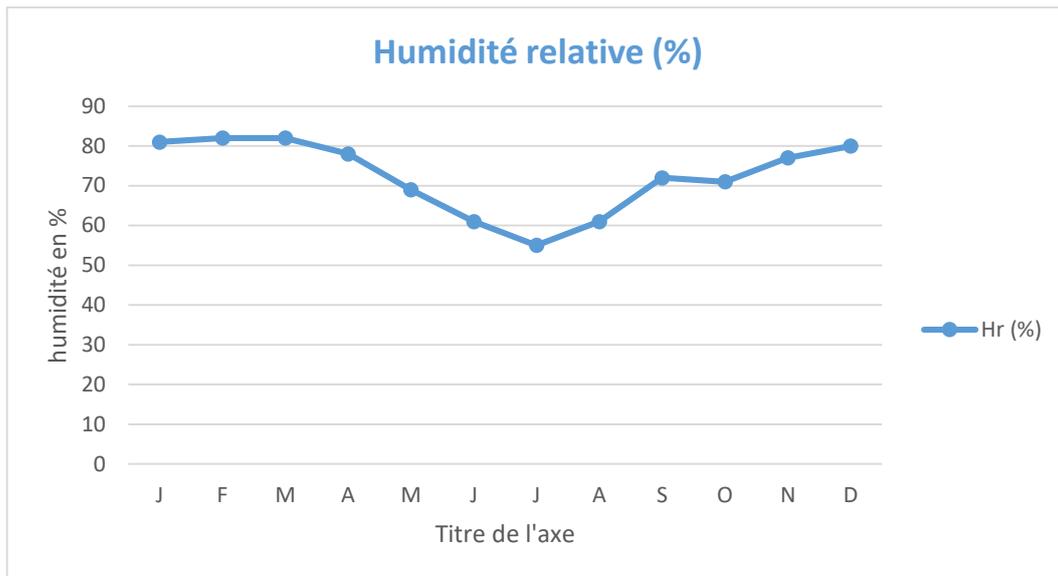


Figure I.6 : Variation de l'humidité relative de l'air mensuelle de 1987 à 2022

I.4.4 Précipitation :

L'étude des précipitations constitue un élément essentiel pour l'analyse des ressources en eau, dont la connaissance des pluies journalières et l'intensité maximales est primordiale pour les aménagistes afin de pouvoir dimensionner certains ouvrages hydrauliques comme les égouts, les drains urbains, les caniveaux d'évacuation des eaux pluviales, ainsi que le coût des réseaux de drainage.

La pluviométrie moyenne annuelle du milieu étudié est de 624mm. Ce dernier reçoit plus de 96% de ses pluies entre septembre et mai. En automne et en hiver, le milieu reçoit une quantité égale de pluie. Néanmoins, la répartition saisonnière est assez irrégulière il pleut moitié moins au printemps qu'en hiver. Et beaucoup moins en été, à peine 4% de la précipitation totale moyenne annuelle.

Tableau I.4 : la précipitation mensuelle moyenne et totale mensuelle en (mm) de 1987 à 2022

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total annuel
Pmoy (mm)	32	40	115	100	78	56	73	75	44	9	0.9	1.4	624.3

(Source : ANRH BLIDA.)

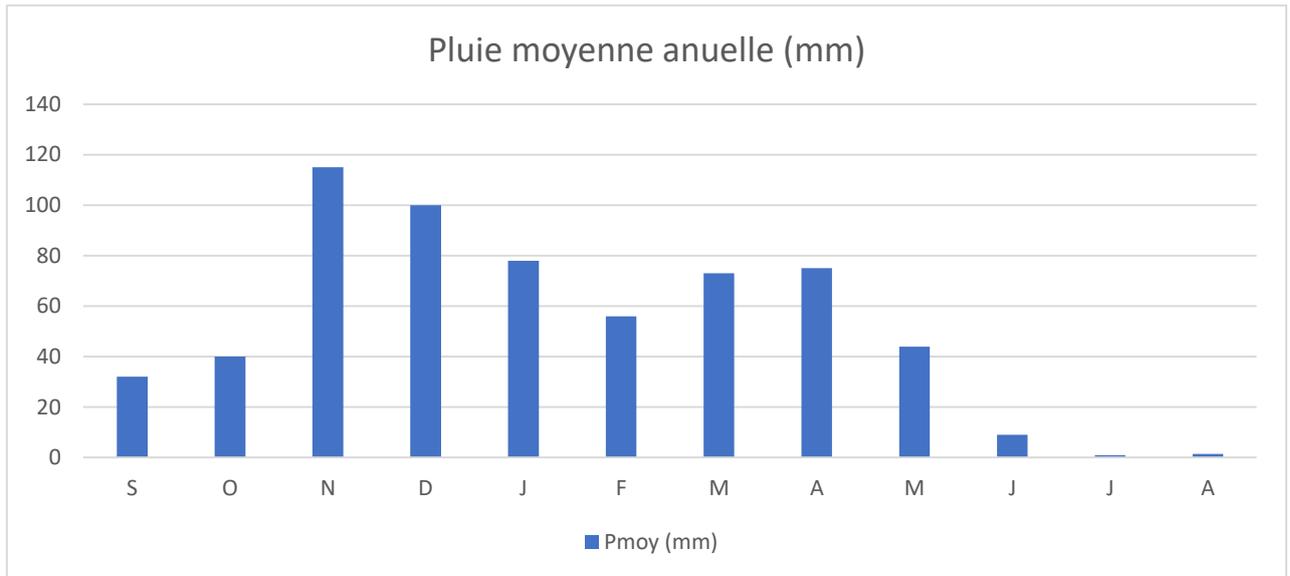


Figure I.7 : Précipitations mensuelles moyennes de 1987 à 2022

I.4.5 Classification du climat selon l'indice de Bagnouls et Gausсен :

Les diagrammes ombrothermiques développés par Bagnouls et Gausсен sont utilisés pour évaluer la durée et l'intensité de la saison sèche au cours de l'année dans une région donnée. Ils se basent sur la comparaison entre les courbes des précipitations et des températures moyennes mensuelles, comme nous avons mentionné dans les tableaux précédents

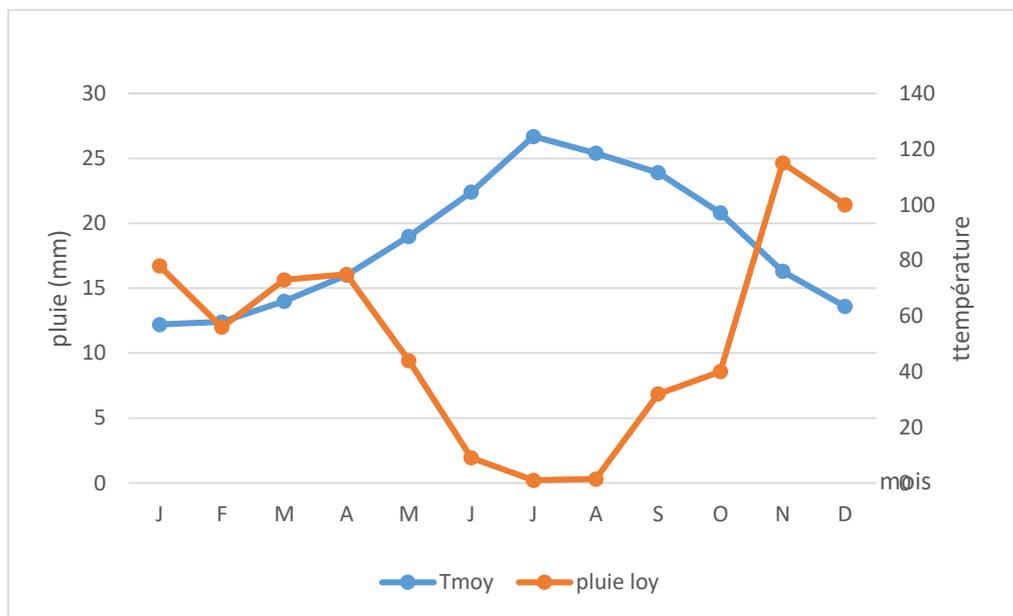


Figure I.8 : Diagramme ombrothermique de Gausсен

I.5. Hydrographie et réseau d'eaux pluviales :

L'ensemble des cours d'eau du milieu hydrographique, sont des cours d'eau temporaires. C'est-à-dire qu'il n'y a écoulement que par temps de pluie. La longueur totale du chevelu hydrographique des bassins versants étudiés est de 44km. Les cours d'eau aboutissant en ville, sont intégrés dans le réseau d'évacuation d'eau pluviale, et continuent leurs parcours vers leurs exutoires via des galeries rectangulaires, des caniveaux, des conduites circulaires ou des canaux en terre profilés, et forment ainsi pour certains le collecteur principal de la zone drainée. Le réseau d'eau pluviale a une longueur de 14km, et certains segments peuvent être considérés comme étant la continuité du chevelu hydrographique (fig.I.8).

- Le BV 1 est actuellement urbanisé sur une partie de son étendue seulement. Dans la zone urbanisée, il ne reste guère plus qu'un petit cours d'eau se déversant dans un ouvrage de réception et les eaux qu'il draine sont ainsi acheminées vers l'exutoire via le réseau d'eau pluviale.
- Le BV 2 est totalement urbanisé en son aval et le long de l'Oued Merzoug (cours principal) en rive droite (21% de la surface totale : 3,75km²). Son cours d'eau principal achemine ses eaux vers l'exutoire en passant à travers la ville. Il a été réaménagé sur 24% de sa longueur.
- Le BV 3, vu sa forme très allongée ne compte qu'un seul cours d'eau d'un linéaire de 1843m, qui se jette en mer. Il est en zone non urbanisée (exploitation agricole expropriée et laissée en friche). Il est traversé sur toute sa longueur par le chemin de wilaya 106 (reliant Tipasa à Sidi Rached).
- Le BV 4 est le plus grand de par sa taille 66%. Cependant il est subdivisé en 5 sous bassins versants. Deux de ses SBV (4.5 et 4.2) se trouvent en zone urbaine, et les trois autres s'apparentent plus à des SBV périurbains. Les eaux qu'il draine se jettent dans un canal aménagé qui les achemine vers l'oued Nador.
- Le BV 5 se trouve en plein milieu du tissu urbain, est considéré comme une seule entité.

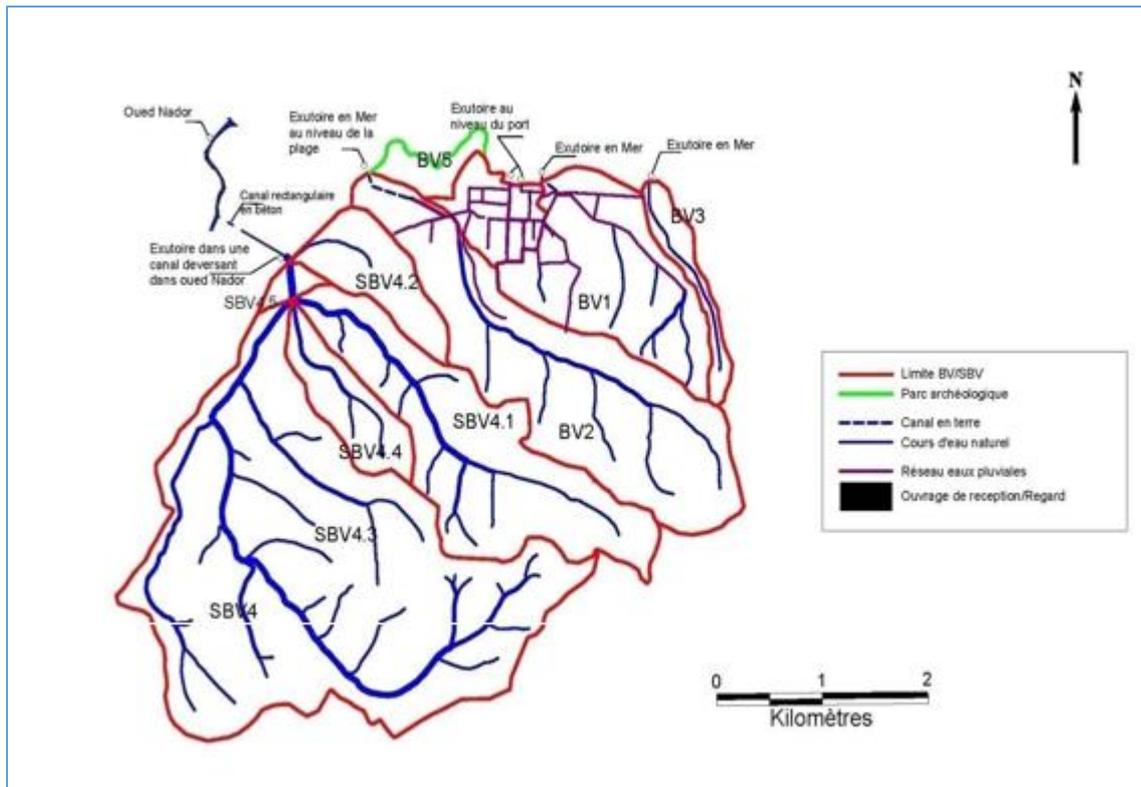


Figure I.9 : Chevelu hydrographique et réseau d'évacuation des eaux pluviales

(Source : La direction des ressources en eaux Tipasa.)

I.6. Milieu humain :

L'évolution de la population dans le temps est un facteur primordial dans l'estimation des futurs besoins en eau potable ainsi que les rejets des eaux usées.

Nous procéderons dans ce qui suit, à l'évaluation de la population actuelle, ainsi que son évolution dans les années à venir, celle-ci nous servira de base pour la détermination de la capacité de l'installation épuratoire à prévoir, pour faire face aux besoins locaux en matière d'assainissement et d'épuration d'eaux jusqu'à l'horizon considéré.

I.7. Les ressources hydriques :

Les différentes réalisations enregistrées au niveau de la wilaya et celles à venir devront permettre une meilleure alimentation en eau. En matière de ressources hydriques, la wilaya de Tipaza s'était engagée, depuis quatre ans déjà, dans la concrétisation d'un ambitieux programme pour booster le secteur.

Plusieurs objectifs étaient inscrits dans ce programme, dont l'augmentation des capacités de production afin de satisfaire les habitants en alimentation en eau potable (AEP), mais aussi pour l'irrigation des terres agricoles et satisfaire les demandes des entreprises économiques. Le

résultat de ces efforts devrait être perceptible, théoriquement, à partir de 2016. Cependant, le seul problème qui reste posé demeure, malheureusement, l'anarchie qui règne dans la gestion de ce précieux liquide vital pour le développement économique et social. Les réseaux d'irrigation des terres agricoles et de l'AEP, s'ils ne sont pas vétustes, font l'objet d'agressions entraînant par conséquent des fuites et des gaspillages. Les citoyens n'hésitent pas à montrer du doigt SEEAL et les APC pour dénoncer les défaillances. La wilaya de Tipaza compte 10 champs de captage qui débitent quotidiennement 65300 m³ d'eau afin d'alimenter les agglomérations. Un barrage d'une capacité de 125 hm³ à 8 km de la localité côtière de Damous, à l'extrémité ouest de la wilaya. Les citoyens de cette région profiteront de l'apport de ce barrage d'un volume annuel de 2,68 hm³ en AEP. Par ailleurs, les habitants de l'extrême est de la wilaya de Chlef (35,36 hm³) et une partie du sud de la wilaya d'Aïn Defla (5,77 hm³) seront également alimentés en eau potable à partir du barrage de Kef-Eddir. Cet ouvrage du secteur de l'hydraulique s'ajoute à celui de Boukourdane (Sidi Amar) d'une capacité de 100 hm³, achevé et opérationnel depuis la fin des années 1990. En plus de ces deux barrages et des dix champs de captage on a trois stations de dessalement à Fouka Bousimail et Gouraya.

I.7.1. Alimentation en eau potable :

L'estimation des besoins en eau potable se réalise au moyen de normes (la dotation) affectées aux deux types de besoins pris en considération :

- Besoins de la population en eau potable.
- Besoins des équipements.

- Taux de raccordement : 91%

- Taux de satisfaction : 90%

- Dotation en AEP de la population de la ville de Tipaza est de 146 l/hab/j

I.7.2. Le réseau d'assainissement :

Le réseau d'assainissement de la ville de Tipaza est unitaire et gravitaire, une conduite de DN1200mm qui véhicule les eaux usées et pluviales de la ville avec un taux de raccordement de 94% à la fin de l'année 2018.

I.8. Environnement :

Avec l'augmentation des activités humaines, notre environnement subit de nombreuses agressions physiques causées par les différents aménagements mais également chimiques causées par la pollution.

L'urbanisation qui a conduit à la concentration de l'habitat humain et de l'industrie et de commerce, a entraîné une augmentation exponentielle des quantités de déchets avec une difficulté croissante dans leur gestion.

Conclusion :

Dans ce chapitre on a attribué un aperçu global sur notre zone d'étude « la ville de Tipasa » ou on a défini les données nécessaires concernant cette zone du point de vue population, géographie, climatologie et hydrologie. Ces données vont nous servir de base pour l'élaboration du notre projet.

Vu l'importance de notre zone d'étude, et l'évolution démographique étonnante, un diagnostic sur l'Etat actuelle des ouvrages hydraulique est très importante.

Chapitre II : Origines et caractéristiques des eaux usées

Introduction :

Les eaux usées quelle que soit leur origine, sont généralement chargées en éléments indésirables, qui selon leur quantité et leur composition, représentent un danger réel pour les milieux récepteurs ou leurs utilisateurs.

L'élimination complète ou partielle, de ces éléments exige de concevoir une chaîne de traitement, après avoir caractérisé l'effluent à traiter qualitativement et quantitativement.

II.1. Origines des eaux usées :

Sont constituées des eaux ménagères (lavage corporel et du linge, lavage des locaux, eaux de cuisine) et des eaux vannes (chargées de fèces et d'urines) provenant des zones urbaines. Ces eaux sont souvent diluées par les eaux de lavage de la voirie et les eaux pluviales. Dans certains cas, les eaux résiduaires urbaines peuvent également comprendre des eaux d'origine industrielle et agricole.

Les eaux résiduaires urbaines collectées dans les réseaux d'égouts sont généralement troubles, de couleur grisâtre et contiennent des matières en suspension d'origine minérale et organique, à des concentrations variables. En plus des eaux de pluie, les eaux résiduaires urbaines sont principalement d'origine domestique, mais peuvent également contenir des eaux résiduaires d'origine industrielle très diverses.

Il est important de traiter les eaux résiduaires urbaines de manière adéquate pour éviter la pollution des cours d'eau, des sols et des nappes phréatiques, ainsi que pour préserver la santé publique et l'environnement.

Donc on les classe par :

- Eaux usées d'origine domestique
- Eaux usées d'origine industrielle
- Eaux usées d'origine agricole
- Des eaux pluviales ou de ruissellement urbain. (RODIER & al, 2009)

II.1 .1 Les eaux usées domestique :

Provenant d'habitations, véhiculée par le réseau d'assainissement jusqu'à la station d'épuration. Ce sont les eaux utilisées par l'homme pour des besoins domestiques) elles constituent essentiellement de la pollution et se composent : (Chocat , 1997)

- Des eaux de cuisine : Cela comprend les minéraux en suspension résultant du nettoyage des légumes, les substances alimentaires à base de substances organiques (glucides, graisses, protéines) et les détergents.
- Des eaux de buanderie : contenant principalement des détergents.

- Des eaux de salle de bains : chargées en produits pour l'hygiène corporelle. Généralement de matières grasses hydrocarbonées.
- Des eaux de vannes : qui proviennent des sanitaires (WC), très chargées en matières organiques hydrocarbonées (Rejsek, 2002)

II.1 .2 Les eaux usées industrielles :

Les eaux usées industrielles sont générées par les activités industrielles et peuvent contenir une grande variété de polluants, en fonction du type d'industrie et des processus de production spécifiques. Ces eaux usées peuvent être hautement contaminées et nécessitent donc un traitement approprié avant d'être rejetées dans l'environnement.

Les sources courantes d'eaux usées industrielles comprennent les activités de fabrication, les usines de traitement chimique, les installations de production alimentaire, les centrales électriques, les raffineries de pétrole, les mines, les usines de papier et de pâte à papier, les usines textiles, les installations de traitement des métaux, entre autres ; on distingue les pollutions spécifiques suivantes :

- Matières radioactives (centres nucléaires ; traitement des déchets radioactifs...)
- Sels métalliques (traitement de surface ; métallurgie...)
- Matières organiques et graisses (industries agroalimentaires....)
- Acides ; bases ; produits chimiques divers (industries chimiques ; tanneries...)
- Eaux chaudes (circuit de refroidissement des centrales thermiques...). (Loumi & Yefsah, 2010)

II.1 .3 Les eaux usées agricoles :

Le secteur agricole reste le plus grand consommateur des ressources en eau. Les

Pollutions dues aux activités agricoles sont de plusieurs natures :

- Engrais (qu'il s'agisse d'engrais minéraux produits commercialement ou de déchets animaux produits à la ferme).
- Des produits phytosanitaires (herbicides, fongicides, insecticides,). Donc ces eaux sont l'issus :
 - ✓ Des apports directs dus aux traitements des milieux aquatiques et semi-aquatiques tels que le désherbage des plans d'eau, des zones inondables (faucardage chimique) et des fossés, ainsi que la démoustication des plans d'eau et des zones inondables (étangs et marais).
 - ✓ Des apports indirects dus en particulier à l'entraînement par ruissellement, aux eaux de rinçage des appareils de traitement, aux résidus présents dans des emballages non

correctement rincés ou détruits, aux eaux résiduaire des usines de fabrication et de conditionnement. ...). (Grosclaude , 1999)

II.1 .4 Les eaux usées de ruissellement :

Les eaux usées de ruissellement sont des eaux qui proviennent du ruissellement des précipitations sur des surfaces imperméables, telles que les routes, les parkings, les toits et les zones industrielles. Ces eaux peuvent être contaminées par divers polluants, tels que les hydrocarbures, les métaux lourds, les produits chimiques, les pesticides et les sédiments.

Les eaux usées de ruissellement sont un problème environnemental majeur car elles peuvent entraîner la pollution des cours d'eau, des lacs et des nappes phréatiques et aussi sont la cause des principales restrictions imposées à la réutilisation des eaux usées.

II.2. Evaluation de la pollution :

II.2.1 Définition de la pollution en général :

La pollution peut être définie comme l'introduction de substances, d'énergies ou de facteurs physiques dans l'environnement qui entraînent des altérations nuisibles pour les organismes vivants, les écosystèmes ou les ressources naturelles. Ces substances, énergies ou facteurs physiques peuvent provenir de diverses sources, telles que les activités industrielles, agricoles, domestiques ou de transport.

La pollution peut prendre différentes formes, notamment la pollution de l'air, de l'eau, des sols, du bruit, de la lumière et des déchets. Elle peut être causée par des émissions de gaz, de particules ou de substances chimiques, des déversements d'effluents liquides ou solides, des déchets mal gérés, des activités industrielles non réglementées, etc.

II.2.2. Définition de la pollution de l'eau

de. Ces substances peuvent provenir de diverses sources, notamment les activités industrielles, agricoles, domestiques et de transport.

La pollution de l'eau peut prendre différentes formes. Elle peut être causée par des déversements d'effluents industriels contenant des produits chimiques toxiques, des rejets agricoles tels que les engrais et les pesticides, des déchets domestiques non traités, des déchets plastiques et même des polluants atmosphériques qui se déposent dans l'eau.

II.2.3. principaux types de pollutions

II.2.3.1. La pollution organique

Provenant principalement des déchets et des activités humaines. Les matières organiques peuvent être d'origine naturelle, comme les feuilles, les branches et les plantes en décomposition, ou d'origine anthropique, comme les eaux usées domestiques, les déchets agricoles et industriels.

On distingue pour les eaux usées urbaines les matières organiques banales (protides, lipides, glucides), les détergents (anioniques, cationiques, non ioniques), les huiles et goudrons.

II.2.3.2 La pollution physique :

La pollution physique fait référence à la contamination de l'environnement par des substances ou des objets solides, liquides ou gazeux, qui altèrent la qualité et l'intégrité du milieu. Elle peut inclure des déchets solides tels que le plastique, le verre, le métal, les débris de construction, etc. Elle peut également inclure des substances liquides telles que les hydrocarbures, les produits chimiques toxiques, les métaux lourds, etc. De plus, la pollution physique peut également être causée par des émissions de gaz nocifs dans l'air, tels que les gaz d'échappement des véhicules, les émissions industrielles, etc.

La pollution physique a de nombreux effets néfastes sur les écosystèmes, la santé humaine et la biodiversité. Il est donc essentiel de mettre en place des mesures de prévention et de gestion pour réduire cette forme de pollution.

II.2.3.3 La pollution chimique :

La pollution chimique fait référence à la présence de substances chimiques nocives dans l'environnement, que ce soit dans l'air, l'eau, le sol ou les organismes vivants. Ces substances chimiques peuvent provenir de diverses sources, telles que les industries, les véhicules, les pesticides agricoles, les déchets chimiques, etc... .

La pollution chimique peut avoir de graves conséquences sur la santé humaine et l'environnement. Elle peut causer des problèmes respiratoires, des maladies chroniques, des troubles hormonaux, des cancers et d'autres problèmes de santé. Elle peut également affecter les écosystèmes en perturbant les chaînes alimentaires, en contaminant les sols, les cours d'eau et les nappes phréatiques, et en réduisant la biodiversité.

. Les polluants chimiques sont classés en cinq catégories.

- 1- Les polluants chimiques dits indésirables (nitrate, les composés phosphorés et les sels ammoniacaux).
- 2 -Les polluants chimiques toxiques.
- 3 -Les pesticides et produits apparentés.
- 4 -Les hydrocarbures.
- 5 -Les détergents.

II.2.3.4 La pollution microbiologique :

La pollution par les micro-organismes est une forme de pollution qui se produit lorsque des bactéries, des virus, des parasites, des champignons, des efflorescences planctoniques, etc., contaminent l'eau. La gravité de cette pollution dépend des conditions d'hygiène des populations, ainsi que des caractéristiques écologiques et épidémiologiques.

Les micro-organismes pathogènes peuvent se multiplier ou être transportés dans l'eau, ce qui peut entraîner des maladies infectieuses chez les individus qui la consomment ou qui y sont exposés.

Les principales sources de contamination sont les eaux usées, les déchets animaux, les activités agricoles, les rejets industriels, etc. (Boucheml , 2020/2021)

II.3.1 Les principaux paramètres de pollution

II.3.2 Les paramètres physiques

II.3.2.1 LA Température

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle - ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels,...etc.. (RODIER & al, 2009)

II.3.2.2 Les matières en suspension (MES) :

La pollution particulaire est due à la présence de particules de grande taille, supérieure à 10 μ m, en suspension dans l'eau, et que l'on peut assimiler aux matières en suspension (MES). En fait, les matières en suspension ne sont des particules solides véritablement en suspension que dans des conditions moyenne d'écoulement des effluents correspondant à une vitesse minimale de 0,5 m/s. En fonction de la taille des particules, on distingue les matières grossières ou décantables (diamètre supérieur à 100 μ m) et les matières en suspension. On peut également prendre en compte une partie des matières colloïdales, de dimension inférieure, qui constitue la limite entre la phase solide et la phase dissoute (entre 1 et 10-2 μ m). (Metahri, 2012)

II.3.3 Paramètres Organoleptiques

II.3.3.1 La turbidité :

Le caractère trouble d'une eau est dû à la présence de matières en suspension colloïdales de nature minérale ou organique qui ne peuvent pas sédimenter facilement à cause de leur faible taille et masse volumique, elles ont également la propriété d'être chargées négativement, ce qui leur confère un pouvoir de répulsion électrostatique qui empêche leur décantation naturelle.

L'effet le plus important de la turbidité est sa capacité de protection des bactéries et des virus contre la désinfection.

II.3.3.2 L'Odeur :

L'eau d'égout fraîche a une odeur fade qui n'est pas désagréable, par contre en état de fermentation, elle dégage une odeur nauséabonde.

II.3.3.3 La couleur :

Dans les eaux usées brutes la couleur est due à la présence de matières organique dissoute colloïdale ou par des composés chimique solubles qui sont colorés.

La couleur grisâtre de l'eau d'égout est d'origine domestique, une couleur noire indique une décomposition partielle ; les autres teintes indiquent un apport d'eau résiduaire industrielle.

II.3.4 Les paramètres chimiques :

II.3.4.1 Le pH :

Le PH d'une eau donne une indication sur son acidité ou sont alcalinité, il est déterminé à partir de la quantité d'ions hydrogène libre (H^+).

L'eau est considérée comme un solvant universel, et le PH permet de comparer les ions les plus solubles dans l'eau.

Pour une eau usée urbaine le PH varie généralement entre : 6,5 et 8,5

Le PH joue un rôle important dans :

- Les propriétés physicochimiques : agressivité, entartage, etc.
- Les processus biologiques, dont certains exigent des limites très étroites du PH.
- L'efficacité de certains traitements exemple : la coagulation-floculation.

II.3.4.2 La conductivité : μ

Elle Indique l'aptitude d'une eau à conduire le courant électrique. Celle-ci dépend de la teneur En sels dissous dans l'eau. Si les sels dissous augmentent, la conductivité augmente. Des variations de cette dernière peuvent influencer le traitement biologique et la décantation.

La conductivité électrique est d'autant plus grande que la concentration des ions dans la solution est plus élevée.

II.3.4.3 L'oxygène dissous :

L'oxygène, toujours présent dans l'eau, n'en est pas un élément constitutif, sa solubilité est fonction de la température, de la pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité.

L'oxygène dissous conserve ses propriétés oxydantes, soit par une réaction purement chimique, soit par des phénomènes électrochimiques, d'où son importance dans le phénomène de corrosion.

La teneur de l'oxygène dans l'eau dépasse rarement 10 mg/l, et l'eau saturée d'air à 20°C et sous la pression normale contient 9,1 mg/l d'oxygène.

Remarque : l'eau usée domestique peut contenir de **2mg/l à 8mg/l**.

II.3.4.4 La demande biologique en oxygène : (DBO)

La demande biologique en oxygène «DBO» correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour dégrader (décomposer) les matières organiques seulement biodégradables contenues dans une eau usée (par oxydation, et avec intervention de micro-organismes), exprimée en mg/l.

Pour mesurer ce paramètre, la quantité d'oxygène consommée après (05) 5 jours est prise comme référence. Il devient donc « DBO5 ».

II.3.4.5 La demande chimique en oxygène : (DCO)

La demande chimique en oxygène «DCO» représente la quantité d'oxygène nécessaire pour obtenir une bonne oxydation des matières organiques et minérales non biodégradables présentes dans l'eau.

II.3.4.6 Le carbone organique total : (COT)

Il représente la teneur en carbone liée à la matière organique, et repose sur première mesure de CO₂ après oxydation complète, cette mesure est rapide et ne nécessitant qu'un volume réduit d'échantillon, est par contre difficilement corrélable avec les mesures précédentes.

D'autre part, dans la majorité des cas, l'élimination des matières en suspension est nécessaire avant le dosage.

II.3.4.7 Notion de biodégradabilité : (K)

La notion de la biodégradabilité représente la capacité d'une substance ou son aptitude à être décomposée par les micro-organismes (bactéries, champignons...).

La biodégradabilité est exprimée par un coefficient K donné par la relation suivante :

$$K = DCO / DBO_5$$

Tableau II.1 : Le coefficient de biodégradabilité (K).

1 < K < 1,5	L'effluent est biodégradable
1,5 < K < 2,5	L'effluent est moyennement biodégradable
K > 2,5	L'effluent n'est pas biodégradable

Un coefficient K élevé peut traduire la présence dans l'eau d'éléments inhibiteurs de la croissance bactérienne, tel que les détergents, les phénols, les hydrocarbures etc.

La valeur du coefficient K détermine le choix de la filière de traitement à adopter :

- Si l'effluent est biodégradable on applique un traitement **biologique**.
- Si l'effluent n'est pas biodégradable se sera un traitement **physicochimique**.
- La possibilité d'un traitement mixte peut être envisagée.

II.3.4 Les nutriments :

II.3.4.1 Le phosphore :

Le phosphore « P » se trouve dans les eaux usées domestiques, sous forme minérale « adjuvants actifs ajoutés aux détergents », ainsi que organique « la décomposition de la matière organique ».

➤ **Le phosphore organique :**

Il est présent dans les cellules des organismes vivants.

➤ **Le phosphore minéral :**

Il représente les sels minéraux : les ortho phosphates « PO_4^{3-} » et les poly phosphates, d'origine urbaine « composant des détergents » et agricole « lessivage d'engrais ».

Les phosphates perturbent la coagulation dans la STEP.

II.3.4.2 L'Azote :

L'azote est l'un des éléments qui favorisent la croissance des algues, il faut donc réduire la teneur en azote avant d'introduire de l'eau.

Il est mesuré sous différentes formes, les types d'analyses dépendant des formes chimiques recherchées ; on peut le diviser en deux grandes familles pour ce qui concerne l'épuration : l'azote réduit et l'azote oxydé.

II.3.4.3 L'azote réduit :

Ou l'azote ammoniacal NH_4^+ ; traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique que l'on trouve dans les eaux usées provenant notamment des déchets métaboliques « protéines, urée » d'origine humaine, cette forme de l'azote est analysée suivant une méthode dite de KJELDHAL, d'où l'azote total KJELDHAL « **NTK** » exprimé en mg/l :

$$\text{NTK} = \text{N}_{\text{NH}_4^+} + \text{N}_{\text{org}} + \text{N}_{\text{NO}_2^-} + \text{N}_{\text{NO}_3^-} = \text{azote réduit} + \text{azote oxydé}$$

Dans NTK on a une forte quantité de sels ammoniacaux « NH_4^+ ».

➤ **L'azote oxydé :**

Se trouve d'une façon marginale dans les eaux usées, il s'agit des nitrites « NO_2^- » et des nitrates « NO_3^- », produits de la transformation chimique ou oxydation de l'azote réduit.

Les nitrites et surtout les nitrates sont présents dans les eaux épurées, et en sorties des stations d'épuration n'assurant que la nitrification.

Pour les nitrates, les résultats sont exprimés en « mg de NO_2^-/l » et pour les nitrates en « mg NO_3^-/l ».

II.3.5 Equivalent habitant : EH

L'équivalent habitant (EH) est une unité de mesure utilisée en assainissement pour estimer la charge polluante d'un système d'épuration des eaux usées. Il représente la quantité de pollution générée par une personne en une journée. Cette unité permet de dimensionner les installations de traitement des eaux usées en fonction du nombre d'habitants ou d'utilisateurs d'un site donné. Par exemple, un logement individuel est généralement estimé à 1 EH, tandis qu'un restaurant peut être évalué à plusieurs EH en fonction de sa capacité d'accueil.

II.3.5.1 Valeur de l'équivalent habitant :

En Europe, l'équivalent habitant correspond à une pollution de « 54g de DBO_5 / j » pour une eau brute et « 35g de DBO_5 / j » pour une eau décantée.

Pour l'Algérie, la valeur de l'équivalent habitant n'est pas encore déterminée, de ce fait pour concevoir une station d'épuration d'eaux usées, on se base sur les normes européennes.

II.4. l'état de l'environnement :

Dépend de :

- Potentialités matérielles et humaines, techniques, scientifiques, etc.
- Flux de la pollution déversée.
- Nature de la pollution.
- Niveau de conscience écologique des autorités concernées par la mise en œuvre de la législation, promulgation des lois et de leur application.

II.5.les normes de rejets :

II.5.1 les normes de rejets adaptées pour la STEP de Tipasa :

Pour la station de Tipasa, l'épuration sera faite avec une qualité de rejet conforme aux normes ci-après :

- MES < 30 mg/l au bout de 24 heures.
- DBO < 30 mg/l au bout de 24 heures.

< 40 mg/l au bout de 02 heures.

- DCO < 90 mg/l au bout de 24 heures.
< 120 mg/l au bout de 24 heures.

II.5.2 les normes de rejets en Algérie :

Dans le cadre de la protection de l'environnement et la santé publique, l'organisation mondiale de la santé (OMS) fixe des niveaux de rejet selon la destination de l'eau épurée.

En Algérie, les normes de rejets en rivière des effluents urbains à atteindre après une bonne épuration appliquées, sont celles de l'OMS :

Tableau II.2 : Norme de rejet en Algérie

Paramètres	Normes	Unités
T ⁰	30	C ⁰
PH	6,9-8,5	/
MES	30	mg/l
DBO ⁵	30	mg/l
DCO	80-120	mg/l
[O ₂]	05	mg/l
Azote Kjeldhal	50	mg/l
Phosphates	02	mg/l
Phosphore totale	10	mg/l
Aluminium	05	mg/l
Cyanures	0,1	mg/l
Cadmium	0,2	mg/l
Chrome 3 ⁺	3,0	mg/l
Chrome 6 ⁺	0,1	mg/l
Fer	05	mg/l
Manganèse	01	mg/l
Mercur	0,1	mg/l
Nickel	05	mg/l
Plomb	01	mg/l
Zinc	05	mg/l
Cuivre	03	mg/l
Huiles et Graisses	20	mg/l
Hydrocarbures	20	mg/l
Phénol	0,5	mg/l
Solvants organiques	20	mg/l
Chlore actif	01	mg/l

Détergents	01	mg/l
Tensioactifs anioniques	10	mg/l

(Source : journal officiel de la république Algérienne, N026 du 23/04/2006)

Une bonne connaissance de la nature et des proportions des différents polluants cités auparavant est indispensable pour un choix adéquat du procédé d'épuration des eaux usées et par conséquent un respect des normes de rejets.

Conclusion :

La croissance démographique, économique et urbaine entraîne une augmentation de la consommation d'eau et, par conséquent, la production de quantités considérables d'eaux usées. Ces eaux usées contiennent divers polluants tels que l'azote, les phosphates, les métaux lourds, les produits chimiques, etc.

Il est essentiel de comprendre la nature et les proportions de ces polluants afin de choisir les méthodes de traitement des eaux usées les plus appropriées. Différents procédés d'épuration, tels que la filtration, la décantation, la désinfection chimique ou biologique, sont utilisés pour éliminer ces polluants des eaux usées.

Une connaissance précise des polluants présents dans les eaux usées permet de sélectionner les technologies de traitement les plus efficaces pour éliminer ces polluants spécifiques. Cela garantit que les normes de rejets établies par les autorités environnementales sont respectées, minimisant ainsi l'impact des eaux usées sur le milieu récepteur.

Chapitre III : Les différents procédés d'épuration des eaux usées

Introduction

Aujourd'hui, il est essentiel que nous préservions notre environnement et nos ressources en eau en veillant à ce que les eaux usées soient correctement traitées avant d'être rejetées dans la nature.

L'épuration des eaux usées est devenue de plus en plus importante au début des années soixante-dix, car le problème croissant de la pollution de l'environnement humain était une préoccupation mondiale. Les eaux usées sont recueillies par un réseau complexe d'assainissement et traitées dans une station d'épuration avant d'être relâchées dans l'environnement naturel. Les traitements effectués en station varient selon la nature des eaux usées et la vulnérabilité du milieu récepteur à la pollution.

III.1.Définition de l'épuration :

En assainissement, l'épuration désigne le procédé qui vise à rendre les eaux usées rejetées conformes aux normes environnementales du milieu récepteur. L'objectif est donc de prévenir toute pollution de l'environnement plutôt que de produire de l'eau potable. (Bekkouche & Zidane , 2004).

III.2.Paramètres essentiels pour le choix d'une technologie de traitement des eaux usées :

- Il est important de prendre en compte plusieurs facteurs essentiels lors du choix d'une technologie de traitement appropriée :
- Les exigences spécifiques du lieu où le traitement sera effectué.
- Les caractéristiques des eaux usées, telles que la demande biochimique en oxygène, la demande chimique en oxygène et les matières en suspension.
- Les conditions climatiques, comme la température, l'évaporation et le vent.
- La disponibilité du site où le traitement sera installé.
- Les considérations économiques, y compris les coûts de mise en œuvre et d'exploitation.
- Les facilités nécessaires pour l'exploitation, la gestion et l'entretien (Banzaoui & Elbouz , 2009).

III.3.Rôle des stations d'épuration :

Ce rôle peut être résumé dans les points suivants :

- Traiter les eaux.
- Protéger l'environnement.
- Protéger la santé publique.

- Valoriser éventuellement les eaux épurées et les boues issues du traitement (FAIZA, 2009).

III.4. Généralités sur les filières de traitement De l'entrée de la station d'épuration :

Le traitement complet des eaux usées peut être grossièrement divisé en deux domaines.

- Filière de l'eau : où tous les contaminants sont éliminés avant que l'eau ne pénètre dans le milieu naturel.
- Filières des boues. Les résidus produits dans le service des eaux sont traités et déshydratés avant rejet.

La filière eau comprend généralement :

1. Prétraitement pour éliminer les objets de taille allant de 0,1 à 50 mm (tamis, tamis), les graisses et le sable.
2. Prétraitement pour éliminer les substances en suspension qui se déposent facilement.
3. Le traitement secondaire comprend des réacteurs biologiques pour éliminer les polluants organiques (DBO5) ou minéraux (NH₃, NO₃⁻, P).

Certaines stations sont également équipées de système de traitement tertiaire pour éliminer les micro-organismes ou le phosphore résiduel.

Les boues issues du bassin de décantation primaire (boues primaires) et du procédé de traitement biologique (boues biologiques) seront ensuite traitées et conditionnées dans la zone de traitement des boues. (Grosclaude , 1999).

III.5. Les filières de traitement d'une station d'épuration :

III.5.1. Le prétraitement :

Des installations de prétraitement sont disponibles dans toutes les usines de traitement des eaux usées, quel que soit le traitement en aval (Claude , 1996).

Le prétraitement des eaux usées fait partie du processus global de traitement des eaux usées et consiste à éliminer les matières solides et les gros débris présents dans les eaux usées avant de les soumettre à un traitement plus approfondi.

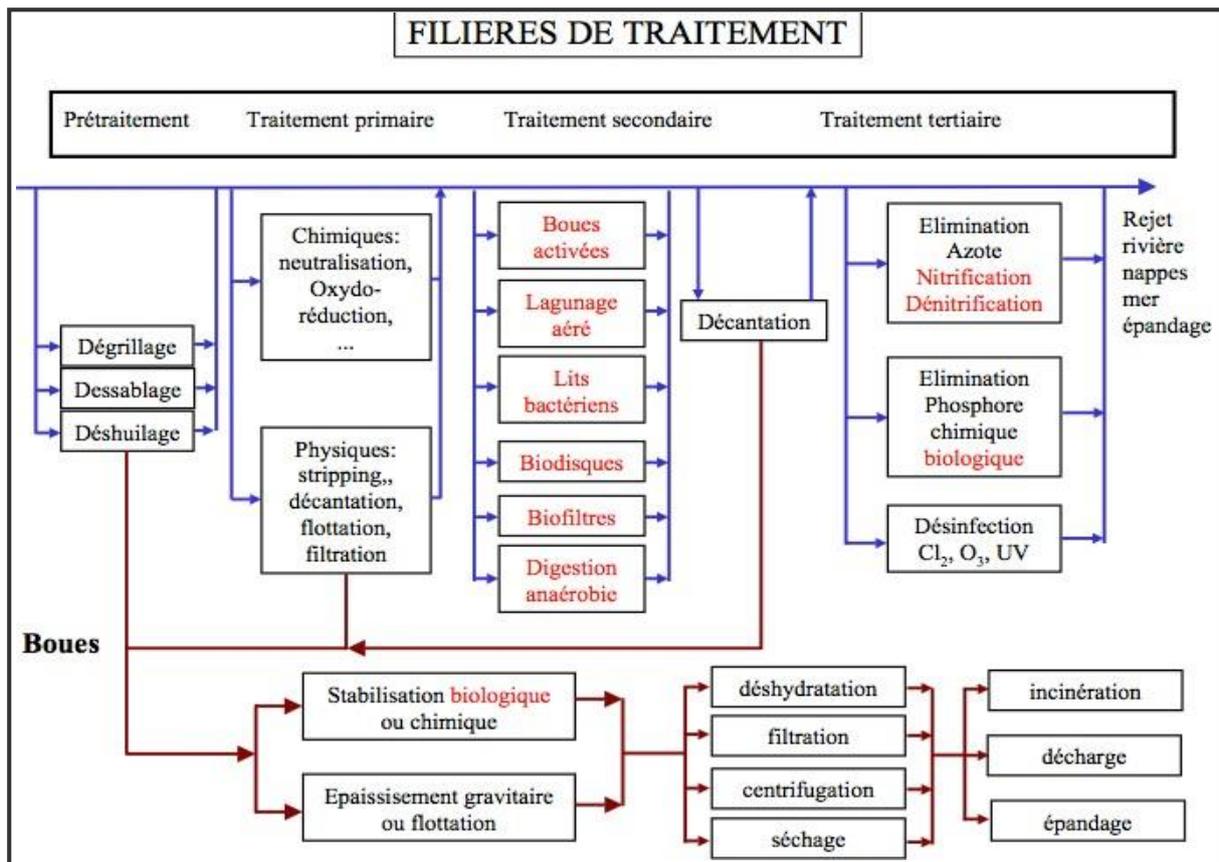


Figure III.1 : Schéma Filières de traitement des eaux usées

(Source : Mourad zarrouk 2020.)

III.5.1.1. Dégrillage :

Les eaux usées dans la station d'épuration passent à travers des grilles pour éliminer les gros débris tels que les branches, les feuilles, les papiers, les plastiques, etc.

Le dégrillage permet de :

- Protège les structures en aval de l'arrivée d'objets volumineux pouvant provoquer des blocages dans diverses unités de l'usine.
- Sépare et évacue facilement les substances volumineuses contenues dans l'eau brute qui nuisent à l'efficacité ou rendent le traitement difficile.

L'efficacité de ce processus dépendra plus ou moins de la distance entre les barres. Voici ce que vous pouvez différencier :

- Dépistage de précision pour des distances inférieures à 10 mm
- Blindage moyen, pour des distances de 10 à 40 mm
- Pré-dégrillage, pour écartement supérieur à 40 mm (RODIER & al, 2009).

Lors du dimensionnement du système hydraulique, prendre comme base la vitesse à travers la grille. Cela doit être suffisamment rapide pour appliquer le matériau sur la grille sans provoquer de perte de pression excessive, de colmatage profond des tiges ou de rupture du matériau. Eaux usées. Généralement, la vitesse de débit moyenne autorisée au débit de pointe est de l'ordre de 0,6 m/s à 1,40 m/s.



Figure III.2 : Dégrilleur automatique fin

III.5.1.2. Dessablage :

Le dessablage est une étape spécifique du prétraitement des eaux usées qui vise à éliminer le sable, le gravier et autres particules minérales d'un diamètre de 0,2 mm ou plus contenus dans les eaux usées, d'empêcher la sédimentation dans les cours d'eau et les canalisations et de protéger les pompes et autres équipements de l'usure. Ils se déposent au fond de l'ouvrage par un écoulement d'eau ralenti dans un bassin appelé « dessableur ». Ces particules sont aspirées par la pompe. Pour limiter la quantité de matière organique, le sable extrait peut être lavé avant sa mise en décharge. La détérioration de la matière organique entraîne une odeur et une instabilité mécanique du matériau. (Degremont, 1972).

La vitesse de sédimentation est calculée selon la loi de Stokes (chute libre). La section transversale de l'équipement de dessalement est conçue de telle sorte que la vitesse de l'eau ne descende pas en dessous de 0,20-0,30 m/s, ce qui empêche le dépôt de sable et en même temps de matière organique.

Les opérations prévues pour atteindre une vitesse d'écoulement de 0,30 m/s sont les suivantes, par ordre d'importance :

- ✓ Les Dessableurs de couloir à vitesse d'écoulement variable ou constante (écoulement en ligne droite).
- ✓ Le Dessableur circulaire à alimentation tangentielle, mélange mécanique ou injection d'air (faibles débits en heures creuses pour éviter les dépôts organiques).
- ✓ Le Dessableur rectangulaire à jet d'air. L'air est injectée et le liquide tourne, créant une vitesse de balayage constante du sol perpendiculaire à la vitesse de passage, mais cette vitesse est beaucoup plus faible et peut être modifiée sans inconvénient. Le sable est acheminé mécaniquement jusqu'à la station de collecte par un racleur puis récupéré par une pompe ou directement collecté par une pompe aspirante montée sur un pont roulant. (Taradat, 1992).

III.5.1.3. Dégraissage déshuilage :

Il s'agit d'un procédé visant à éliminer tous les produits insolubles de faible densité (huiles, graisses hydrocarbonées) présents dans les eaux usées. Le levage se produit généralement des huiles et des graisses qui remontent à la surface de la piscine lors de la vidange, ils sont éliminés par soufflage et aération (à l'aide de bulles d'air). Le dégraissage de base consiste à souffler l'air à travers un diffuseur à bulles de taille moyenne pour créer des turbulences et séparer les particules lourdes et agglomérées de la graisse. (Tahinarisata, 2017).

Il existe de différents dispositifs de déshuilage-dégraissage conçus suivant la nature de l'eau à traiter (Abdelkader, 1984).

- **Dégraisseur-déshuileur aéré** : Ce type d'ouvrage comprend une zone aérée (avec insufflation par le bas) suivi d'un compartiment de sédimentation latéral calculé pour une vitesse ascensionnelle de 15 à 20m/h.
- **Déshuileur longitudinal** : C'est un bassin de forme rectangulaire équipé de racleur de surface de fond.

Les travaux sont calculés comme suit :

- Vitesse d'écoulement horizontale 20 à 50 m/h
- La longueur est de 2 à 6 m
- Hauteur d'eau 1-3m (Aamy & Maet, 1990).

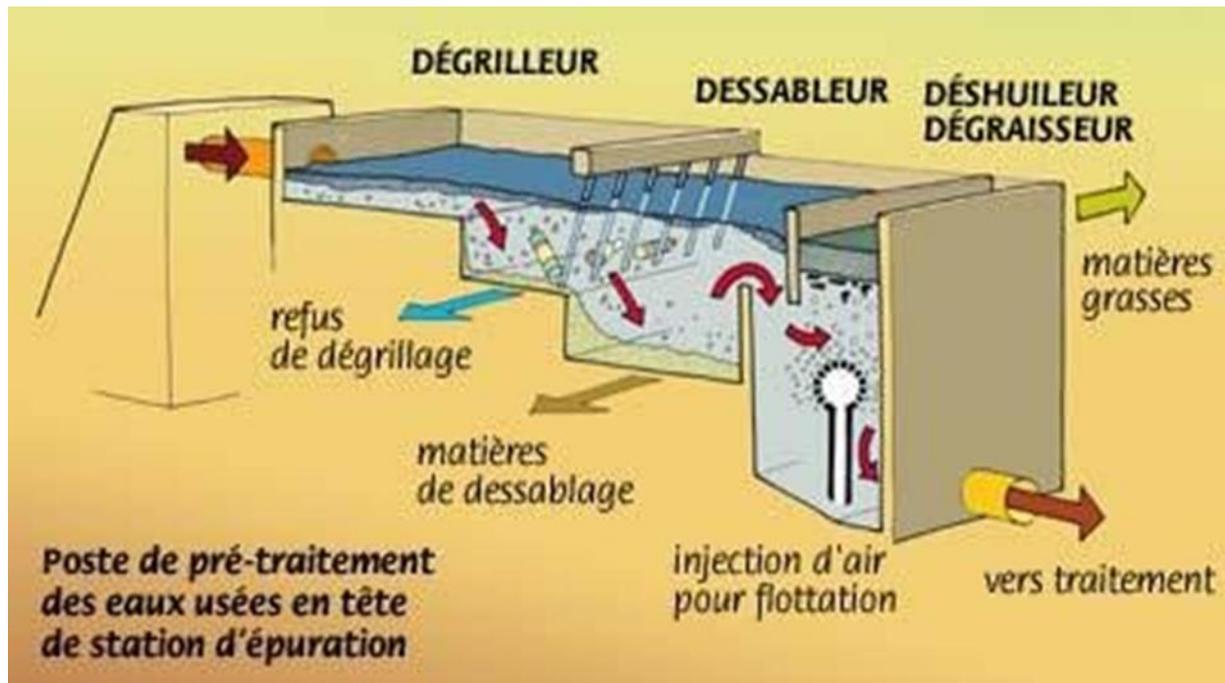


Figure III.3 : Représentation du prétraitement des ERI

(Source : ADEME)

III.5.2. Traitement primaire (traitement physicochimique)

Le traitement primaire des eaux usées est une étape essentielle du processus global de traitement des eaux usées, il vise à éliminer les matières solides en suspension et les matières organiques grossières présentes dans les eaux usées.

Cela implique généralement une décantation qui peut éliminer les matières en suspension décantables en 2 heures. L'utilisation de réactifs chimiques pour éliminer les particules les plus fines implique un traitement physico-chimique, et ce traitement permet donc essentiellement d'éliminer la pollution particulaire et une partie de la pollution organique sous forme particulaire (environ 65-80% de DCO par traitement physico-chimique).

Les matières en suspension ont souvent une teneur élevée en matières organiques (70 à 90 %) et une densité légèrement supérieure à celle de l'eau. Il se déposera naturellement en 1 à 2 heures dans la carafe principale.

L'eau épurée déborde et les MES (boues primaires) qui se déposent au fond de la cuve sont aspirées et envoyées vers une station d'épuration des boues (Rejsek, 2002).

III.5.2.1. Coagulation-floculation

Le but du processus de coagulation/floculation est de déstabiliser et de faire croître des particules (de nature colloïdale) pour former des flocons par absorption et agglomération.

Les flocons ainsi formés sont décantés et filtrés. (Cardot, 1999).

a) La coagulation

La coagulation s'effectue dans une structure dotée d'un agitateur central à grande vitesse qui permet un mélange vigoureux des eaux usées avant l'étape de coagulation. Dans le réservoir d'homogénéisation, de l'acide sulfurique a été injecté pour pré-neutraliser (correction du pH) les eaux usées (GALAF & GHANNAM, 2005).

b) La floculation

La floculation est le processus d'expansion et de consolidation des petits flocons qui se forment lorsqu'un coagulant est introduit. L'objectif est d'augmenter la probabilité de contact entre les particules colloïdales déstabilisées et leurs agrégats, augmentant ainsi leur volume, leur masse et leur force de cohésion (Beadry & et al, 1984).

III.5.2.2. La flottation

La flottation est un processus qui sépare les matières en suspension dans l'eau et les collecter sur une surface libre, profitant de la faible densité apparente de ces matières (KLIMPEL & Isherwood , 1991).

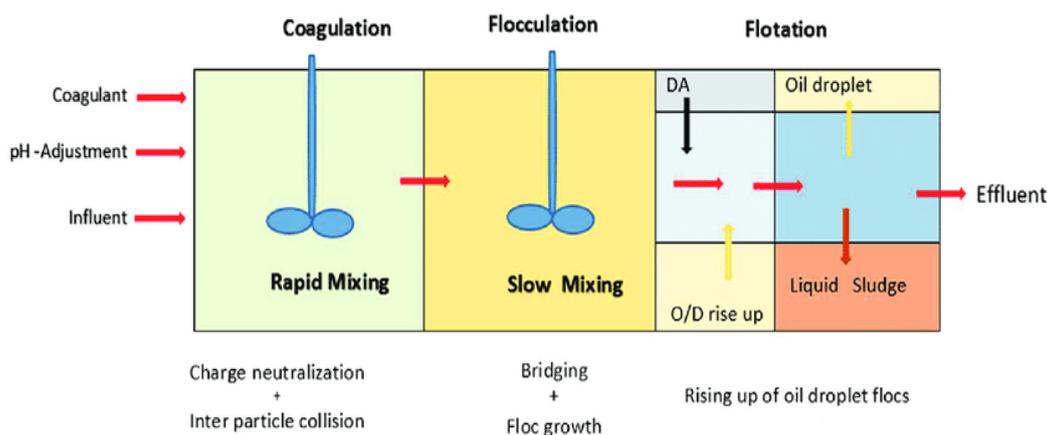


Figure III.4 : Traitement physico-chimique

(Source : (Mmanuel & Sudesh , 2018))

III.5.3. Le traitement biologique

Le traitement biologique des eaux usées est un processus qui décompose les polluants grâce à l'action de micro-organismes. Ce processus se produit naturellement dans des environnements naturels tels que les eaux de surface bien aérées. Un grand nombre d'organismes ont été impliqués dans cette dégradation après différents cycles de transformation. Ces organismes comprennent généralement des bactéries, des algues, des champignons et des protozoaires. Les micro-organismes chargés de l'épuration s'agglutinent sous forme de flocons et se développent en utilisant les polluants comme substrat nécessaire à la production d'énergie vitale et à la

synthèse de nouvelles cellules vivantes. Les différents procédés biologiques de traitement des eaux usées sont :

III.5.3.1. Procédés biologiques extensifs ou naturels :

Ils reposent sur les phénomènes de l'autoépuration naturelle et ils demandent une faible énergie mais nécessitent en revanche de grandes superficies et de longs séjours des eaux usées. Du point de vue économique, ils sont moins coûteux.

- a. **Le lagunage (culture libre)** Les lagunes sont des systèmes d'épuration biologique basés sur la présence équilibrée des bactéries aérobies dans des cultures libres et d'algues. L'oxygène nécessaire à la respiration bactérienne est produit exclusivement par la machinerie photosynthétique des plantes en présence de rayonnement lumineux (Claude , 1996) .
- b. **Lagunage naturel** : Le lagunage naturel est une méthode de traitement des eaux usées qui utilise des bassins ou des étangs peu profonds pour traiter les eaux usées de manière naturelle. Il fait partie du traitement primaire des eaux usées et est souvent utilisé dans les zones rurales ou les petites communautés où d'autres méthodes de traitement plus avancées peuvent ne pas être disponibles ou abordables. Le lagunage naturel permet de réduire la charge polluante des eaux usées en éliminant une partie des matières organiques et des nutriments. Cependant, il n'est pas aussi efficace que les méthodes de traitement plus avancées, comme le traitement biologique aérobie ou l'osmose inverse, pour éliminer les polluants spécifiques tels que les métaux lourds ou les produits chimiques toxiques.

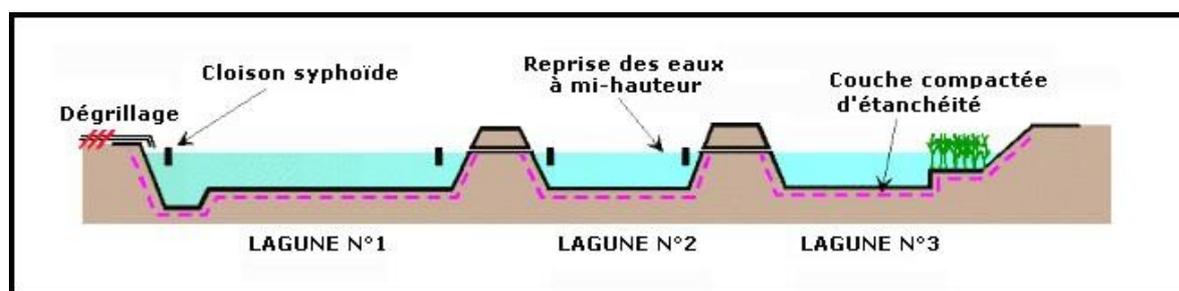


Figure III.5 : Lagunage naturel

- c. **Lagunage aéré** : Le lagunage aéré est un système de traitement des eaux usées qui utilise un ou plusieurs bassins d'une profondeur de 2 à 4 mètres et qui sont équipés d'un système d'apport d'oxygène artificiel, comme des aérateurs de surface ou des diffuseurs d'air.

Ce processus permet d'éliminer environ 80 % à 90 % de la demande biochimique en oxygène (DBO), 20 % à 30 % de l'azote et contribue également à une réduction significative des germes présents dans les eaux usées. Cependant, le lagunage aéré nécessite une surface importante et ses performances peuvent varier au cours de l'année (Hadjou Belaid , 2013).

III.5.3.2. Procédés biologiques intensifs :

Dans les stations d'épuration urbaines, les techniques les plus avancées sont basées sur des procédés biologiques intensifs. Ces procédés visent à concentrer et à accélérer les processus de transformation et de dégradation des matières organiques, similaires à ceux observés dans la nature, mais sur des surfaces plus petites. En d'autres termes, ils cherchent à reproduire et à optimiser les mécanismes naturels de transformation et de destruction des matières organiques dans un environnement contrôlé (Thomas, 1955).

a. Disques biologiques (cultures fixées)

Les disques biologiques, également appelés bio disques, sont des disques qui sont placés de manière parallèle sur un axe horizontal en rotation. Ces disques sont immergés dans une cuve contenant de l'eau à épurer qui a subi une décantation. Pendant une partie de leur rotation, les disques se chargent en substrat, puis ils émergent dans l'air le reste du temps pour absorber de l'oxygène. Les deux faces des disques sont recouvertes d'un biofilm. Ils ont un diamètre compris entre 1 et 3 mètres, sont espacés de 20 mm et tournent à une vitesse de 1 à 2 tours par minute. Les boues en excès se détachent des disques et sont récupérées dans un clarificateur secondaire avant d'être rejetées dans le milieu naturel (Aoulmi , 2007).

b. Les lits bactériens :

Les lits bactériens, également connus sous le nom de lits ou filtres à ruissellement, sont utilisés depuis près de 100 ans pour le traitement biologique des eaux usées. Leur principe de fonctionnement consiste à faire ruisseler l'eau à traiter sur une masse de matériau (naturel ou plastique) qui sert de support aux micro-organismes. Ces micro-organismes, fixés sur le support, éliminent les matières organiques en absorbant les constituants solubles et en suspension. Les lits bactériens sont des réacteurs biologiques à cultures fixées, qui ne sont pas immergés, et utilisent généralement un matériau de contact traditionnel tel que la pouzzolane ou les cailloux (Abdelkader, 1984).

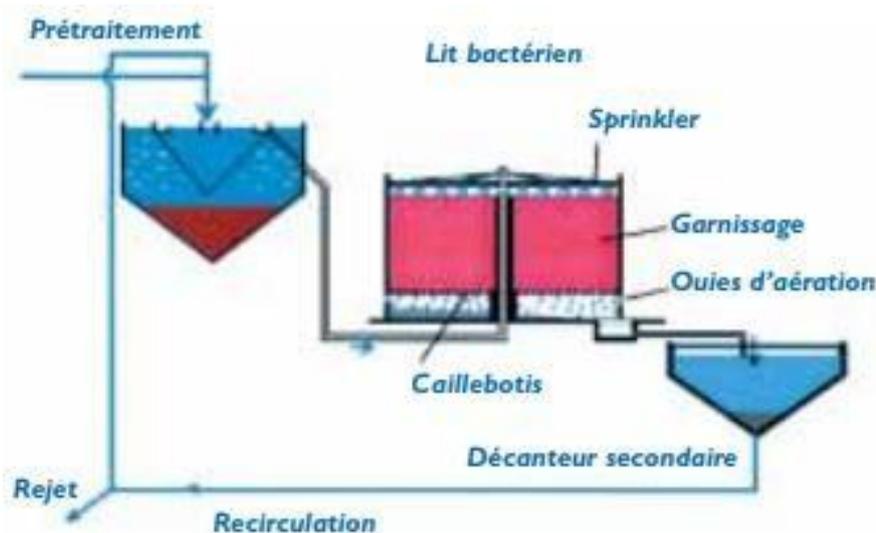


Figure III.6 : Schéma d'une unité de traitement à lit bactérien

c. Bio filtres et filtres bactériens

Une autre méthode consiste à faire percoler l'eau à travers un matériau où se développent des bactéries. Ce matériau peut être constitué de galets ou de supports tels que les lits bactériens, mais aussi d'argiles cuites, de schistes, de sables, etc. Ces procédés, appelés biofiltres, sont utilisés en complément des processus de boues activées, ce qui permet d'éliminer une plus grande diversité de polluants (ADEM, 2010).

d. Les boues activées :

Découvert en 1914 à Manchester, le procédé à boues activées est utilisé dans le traitement biologique des eaux usées. Il s'agit d'un mode d'épuration par cultures libres. Dans une filière de traitement des eaux, le procédé à boues activées est généralement classé comme traitement secondaire.

Le traitement par boues activées implique de mettre les eaux usées en contact avec un mélange contenant une concentration élevée de bactéries, en les brassant pour dégrader la matière organique en suspension et dissoute. Une aération importante est nécessaire pour favoriser l'activité des bactéries et la dégradation de ces matières. Ensuite, les eaux usées passent par un processus de décantation, où les boues riches en bactéries sont renvoyées vers le bassin d'aération.

Le procédé à boues activées présente quatre principales utilisations spécifiques :

- Élimination de la pollution carbonée (matières organiques) ;
- Élimination de la pollution azotée ;
- Élimination biologique du Phosphore ;
- Stabilisation des boues : procédé dit d'aération prolongée ou digestion aérobie.

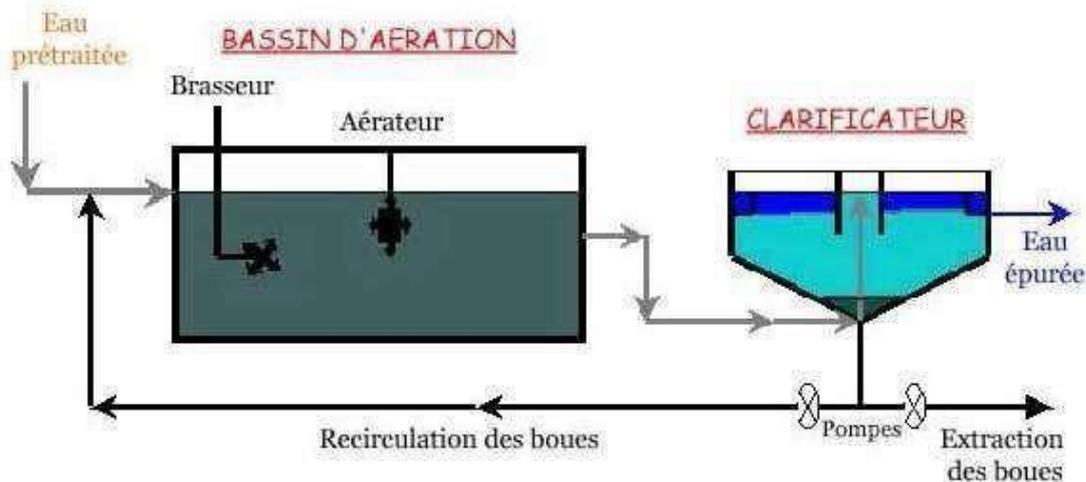


Figure III.7 : Traitement biologique à boues activées.

Source :

III.5.4. Éléments d'une station à boues activées :

Dans une station d'épuration à boues activées, on retrouve généralement les éléments suivants :

- Un bassin d'aération où l'eau à traiter est mise en contact avec la masse bactérienne chargée de l'épuration.
- Un clarificateur où se produit la séparation entre l'eau épurée et la culture bactérienne.
- Un système de recirculation qui renvoie les boues biologiques récupérées dans le clarificateur vers le bassin d'aération.
- Un dispositif d'extraction et d'évacuation des boues en excès, qui correspond au surplus de culture bactérienne produite en permanence à partir du substrat.
- Un système d'apport d'oxygène pour les bactéries présentes dans le bassin d'aération.
- Un dispositif de brassage du bassin d'aération, qui permet d'optimiser le contact entre les cellules bactériennes et la nourriture, d'éviter les dépôts et de favoriser la diffusion de l'oxygène là où il est nécessaire. Il est fréquent que le même dispositif soit utilisé à la fois pour l'aération et le brassage.

III.5.4.1. Avantages de la boue activée

Le procédé par boues activées a pour effet d'éliminer les molécules de phosphore, d'azote et de carbone présentes dans les eaux usées. Il présente également l'avantage d'être relativement sécuritaire grâce à la facilité de contrôler les différents facteurs nécessaires à son fonctionnement. Par rapport à la technique du lit bactérien, elle est plus efficace et plus rapide. De plus, il ne crée pas de nuisances comme des odeurs ou des mouches, et son installation nécessite peu de place. Le dispositif peut être utilisé avec un minimum de 400 équivalents habitants et peut être dimensionné pour traiter 100 000 à 200 000 équivalents habitants.

III.5.4.2. Inconvénients de la boue activée :

L'épuration biologique à boues activées est un dispositif qui requiert un entretien rigoureux pour éviter tout dysfonctionnement ou panne. Bien que l'investissement initial soit élevé, une comparaison avec d'autres modes d'épuration permet de relativiser cette dépense. L'implantation d'un tel système dans un espace vert peut engendrer certaines nuisances en termes de bruit et de matériaux utilisés.

Enfin, il est à noter que la production de boues reste significative.

III.5. Paramètre de fonctionnement des stations à boues activées :

Les paramètres qui définissent le procédé à boues activées sont les suivants : la charge massique (C_m) et la charge volumique (C_v).

- ✓ **La charge massique** : Cela correspond à la quantité de charge qui entre chaque jour dans le bassin d'aération pour la masse de boues présente dans le réacteur. exprimée en kg DB05 .kg/MS/j.
- ✓ **La charge volumique** : quant à elle est la quantité de nourriture arrivant quotidiennement dans le bassin d'aération ramenée au volume du bassin d'activation, exprimée en kg DB05 m³/j.

Différents procédés à boues activées sont souvent classés en fonction des valeurs de charge massique ou volumétrique utilisées dans leurs opérations.

Tableau III.1 : Classification des procédés à boues activées

Type	Charge massique (Kg DBO5.Kg-1MV.j-1)	Charge volumique (Kg DBO5.m-3.j-1)
Très fort charge	1.5	1.0
Forte charge	[0.50 , 1.5]	2.4
Moyenne charge	[0.25 ,0.50]	4
Faible charge	[0.1 , 0.25]	8

Très faible charge	0.1	20
--------------------	-----	----

(Source : Guide Technique de l'assainissement 2eme édition.)

• **L'âge des boues** : Elle correspond au rapport entre la masse de boues présente dans le réacteur et la masse de boues produites quotidiennement par la centrale.

• **La décantabilité des boues** : est un élément crucial pour le bon fonctionnement d'une station de boues activées, qui dépend à la fois du bassin d'aération et du clarificateur. Afin de permettre une séparation efficace de la biomasse de l'eau traitée, la biomasse doit être correctement floculée. Si l'indice de Mohlman (I_m) est supérieur à 200, cela indique que les boues ne sont pas en bonne santé. Un phénomène de "bulking" peut se produire, empêchant la décantation normale des floes.

Plusieurs raisons peuvent être à l'origine de ce problème :

- ✓ la croissance excessive de bactéries filamenteuses en raison d'une trop grande richesse de l'effluent en substrat facilement dégradable, l'arrivée de substances toxiques qui réduisent l'activité biologique et détruisent le floc
- ✓ un excès ou une insuffisance d'oxygène dans le bassin d'aération, ou une vitesse de décantation inadéquate dans le clarificateur secondaire (Telli , 2013).

III.5.5.1. Aération dans les bassins à boues activées :

L'aération est un processus utilisé pour dégrader les matières organiques et maintenir les bactéries en vie à l'aide d'appareils appelés aérateurs. Cependant, il est admis que les microorganismes aérobies en suspension dans l'eau n'utilisent pas directement l'oxygène gazeux, et que l'oxygène que l'on souhaite leur fournir doit d'abord être dissous dans l'eau (Boeling, 1999).

- **Les systèmes d'aération :**

Les systèmes d'aération comprennent :

- ✓ **L'aération mécanique de surface** : elle utilise des aérateurs de surface qui peuvent être classés en trois groupes : les aérateurs à axe vertical à faible vitesse, qui aspirent l'eau par le fond et la rejettent horizontalement ;
- ✓ **les aérateurs à axe vertical à grande vitesse** : (1000 à 1800 tr mn⁻¹) ;
- ✓ **les aérateurs à axe horizontal** : qui oxygènent l'eau par pulvérisation.
- ✓ **L'aération par air sous pression** : elle utilise des dispositifs d'injection d'air sous pression avec des bulles fines (diffuseurs poreux à haut rendement d'oxygénation : 12 %), des bulles moyennes (diffuseurs à clapets) ou des bulles grosses (diffuseurs à larges orifices) avec un rendement d'oxygénation plus faible (5%) (Telli , 2013).

III.6. Paramètres influençant le fonctionnement des bassins d'aération :

Le processus aux boues activées peut être influencé par plusieurs facteurs, et il est essentiel de créer des conditions de fonctionnement optimales pour obtenir un traitement des eaux usées performant. Parmi les paramètres les plus importants et critiques, on retrouve :

- Inhibitions liées aux paramètres caractéristiques de l'eau brute
- Débit d'alimentation
- pH
- Température
- Nutriments
- Composés toxiques
- Problèmes biologiques
- Inhibition par les bactéries filamenteuses
- Inhibition par les mousses
- Problèmes mécaniques
- Problèmes d'aération
- Dysfonctionnement lié aux agitateurs

III.6.1. La décantation secondaire :

Après les traitements, une dernière étape de décantation est réalisée pour séparer l'eau épurée des boues ou des résidus secondaires résultant de la dégradation des matières organiques. Cette décantation se déroule dans des bassins spéciaux appelés clarificateurs. Une fois l'eau épurée séparée, elle peut être rejetée dans l'environnement naturel. Les boues récupérées au fond de ces bassins sont partiellement renvoyées vers le bassin d'aération afin de maintenir la concentration souhaitée en microorganismes épurateurs. Une autre partie des boues est extraite et dirigée vers la ligne de traitement des boues, où elles peuvent être séchées dans des lits de séchage ou stockées dans des silos (Amy & Maet, 1990).

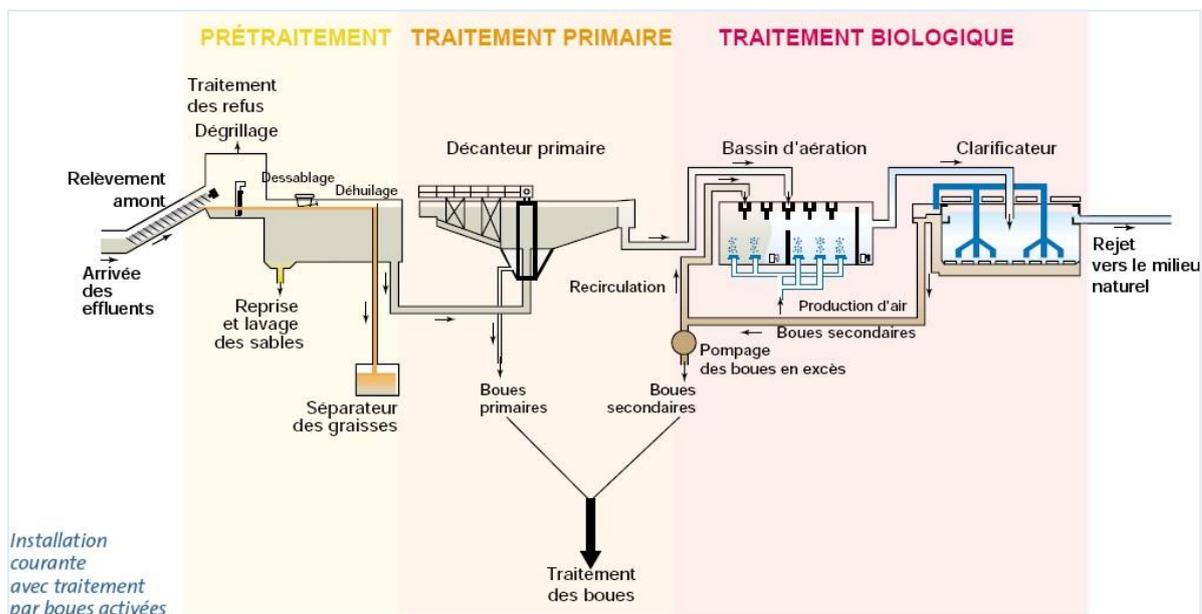


Figure III.8 : Filière de traitement des eaux usées

III.7. Le traitement tertiaire :

Les eaux usées traitées sont généralement rejetées dans le milieu naturel dans le cadre de la réutilisation des eaux usées traitées (REUE). Cependant, avant d'être réutilisées, les eaux usées nécessitent un traitement supplémentaire, principalement pour éliminer les micro-organismes pouvant causer des problèmes de santé. Ces traitements, à l'exception des traitements par lagunage, ne sont pas des traitements d'épuration classiques, mais sont souvent utilisés dans les installations de production d'eau potable. Le traitement tertiaire vise à améliorer la qualité globale de l'eau. Le traitement de finition peut être choisi pour différentes raisons et applications :

- Améliorer les critères de rejet afin de maintenir l'équilibre biotique du milieu récepteur (rivière, lac, etc.).
- Installer de nouvelles prises d'eau sur la rivière pour la consommation humaine.
- Réutiliser les eaux usées à des fins industrielles (refroidissement, fabrication, etc.).
- Répondre aux besoins agricoles en matière d'irrigation.
- Recycler les eaux usées dans les nappes aquifères, etc.

En fonction de l'utilisation prévue, différents traitements peuvent être mis en œuvre, avec des objectifs tels que :

- Réduire les matières en suspension et la pollution organique biodégradable.
- Réduire la pollution azotée ou phosphorée.
- Réduire la pollution organique non biodégradable.

- Éliminer plus ou moins complètement certains germes pathogènes ou parasites (Metahri, 2012).

III.7.1. Réduction des matières en suspension et de la pollution organique biodégradable :

La filtration tertiaire : Ils sont couramment utilisés pour atteindre ces objectifs et peuvent principalement assurer une épuration physique ou biologique, selon les matériaux utilisés. Par exemple, la filtration sur sable est une méthode couramment utilisée. Il élimine près de 80 % des matières en suspension et réduit la pollution par le carbone organique de 60 à 75 %.

III.7.2. Réduction de la pollution organique non biodégradable :

L'adsorption sur charbon actif est la méthode la plus efficace pour immobiliser les substances carbonées dissoutes non biodégradables telles que les produits de nettoyage. L'adsorption est un processus par lequel des molécules organiques en phase liquide ou gazeuse adhèrent à la surface de certains matériaux. Le charbon actif est utilisé sous forme de poudre fine ou de granulés. Dans la plupart des cas, l'eau est filtrée à travers un lit de charbon granulaire qui peut être disposé de diverses manières (lit mobile ou lit fixe). Pour obtenir des performances optimales, il est important d'éliminer presque toutes les matières en suspension et les contaminants biodégradables avant l'adsorption et d'éviter la croissance bactérienne dans le lit de charbon actif.

III.7.3. Elimination de l'azote :

L'azote présent dans l'eau se présente sous deux formes principales :

- ✓ **Azote minéral :** il se trouve principalement sous forme d'azote moléculaire (N_2), d'ion ammonium (NH_4^+), d'ion nitrite (NO_2^-) et d'ion nitrate (NO_3^-).
- ✓ **Azote organique :** il est présent sous forme de protéines qui, par hydrolyse des acides aminés, conduisent à la formation de peptides et de polypeptides. On le retrouve également dans diverses autres combinaisons organiques telles que l'urée, l'acide urique, la créatinine, etc.

Les stations d'épuration ne parviennent à éliminer qu'environ 20 % de l'azote présent dans les eaux usées grâce aux traitements de nitrification-dénitrification.

Pour respecter les normes de rejet dans les zones sensibles, d'autres procédés physiques et physico-chimiques complémentaires peuvent être utilisés pour éliminer l'azote, tels que l'électrodialyse, les résines échangeuses d'ions ou le "stripage" de l'ammoniac. Cependant, ces traitements ne sont généralement pas utilisés dans le traitement des eaux

usées urbaines en raison de leur faible rendement et de leur coût élevé (Aamy & Maet, 1990).

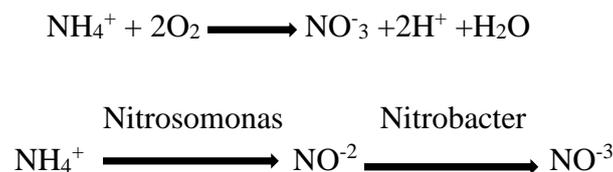
II.7.3.1.Élimination biologique de l'azote

La dégradation biologique de l'azote implique quatre réactions principales :

1. **L'ammonification** : il s'agit de la conversion d'une partie de l'azote organique en azote ammoniacal. La vitesse de l'ammonification dépend principalement de la concentration d'azote ammoniacal présente.
2. **L'assimilation** : cette réaction utilise une partie de l'azote ammoniacal, et éventuellement de l'azote organique, pour la synthèse bactérienne.
3. **La nitrification** : c'est le processus d'oxydation de l'azote ammoniacal en nitrite, puis en nitrate. Cette transformation se déroule en deux étapes, réalisées par des micro-organismes autotrophes. La nitrification se produit en présence d'oxygène, dans un environnement aérobie.

- Oxydation de (NH_4^+) en (NO_2) : c'est l'œuvre essentiellement des germes Nitrosomonas,
- Oxydation de (NO_2) en (NO_3) : Les bactéries responsables de cette deuxième réaction, appartiennent aux germes Nitrobacter.

La réaction globale simplifiée de la nitrification peut s'écrire :



4. **La dénitrification** : la dénitrification est un processus anaérobie (en l'absence d'oxygène) au cours duquel les nitrates sont réduits en azote et en oxydes d'azote. Les micro-organismes utilisent les nitrates comme source d'oxydant à la place de l'oxygène, en présence d'une source de carbone organique qui doit être fournie dans le milieu.

Avant d'atteindre le stade final de consommation complète de l'oxygène du nitrate pour produire de l'azote gazeux (N_2), une série de réactions complexes se produisent. Cependant, ces réactions peuvent être résumées de la manière suivante :

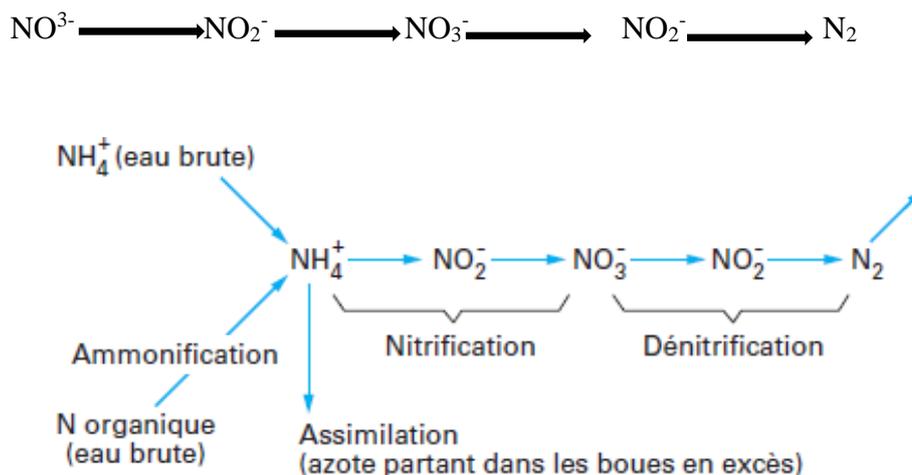


Figure III.9 : Etape de dégradation biologique de l'azote

III.7.4.Élimination du phosphore :

Le phosphore se présente également sous deux formes principales :

- **Le phosphore minéral** : il est principalement présent sous forme d'ortho-phosphate, ainsi que sous forme de phosphures dans diverses combinaisons minérales telles que le triphosphate de sodium, le pyrophosphate tétrasodique et l'hexamétophosphate de sodium.
- **Le phosphore organique** : il se trouve dans les combinaisons cellulaires organiques, soit en tant qu'élément constitutif de substances spécifiques, soit en tant qu'élément mobile du métabolisme cellulaire.

L'élimination du phosphore, également appelée "déphosphoration", peut être réalisée par des méthodes physico-chimiques ou biologiques. En ce qui concerne les traitements physico-chimiques, l'ajout de réactifs tels que les sels de fer ou d'aluminium permet d'induire la précipitation de phosphates insolubles, qui peuvent ensuite être éliminés par décantation. Cette technique est actuellement la plus couramment utilisée et permet d'éliminer entre 80% et 90% du phosphore, mais elle entraîne une production importante de boues (Amy & Maet, 1990).

Tableau III.2 : Comparatif des avantages et des inconvénients entre les méthodes d'élimination du phosphore par voie biologique et par voie chimique.

Méthode d'élimination	Voie biologique	Voie physico-chimique
Elimination du Phosphore	Rendement instable : 50-70%	Potentiellement très poussé
Equipement nécessaire	Bassin d'anaérobiose équipé	Système d'injection et de stockage des réactifs
Coût de fonctionnement	Faible	Plus élevé
Production supplémentaire des boues	Négligeable	20% environ
Qualité de la boue	Inchangée	Meilleure décantabilité
Impact sur le traitement des Boues	Epaississement par voie mécanique obligatoire	Aucun
Impact de la composition de l'eau sur le rendement	Fort	Faible

(SOURCE: (cabanes, Dephosphatation of Effluents: Precipitation and Valorization of Phosphorus, 2006))

III.8.La désinfection :

Pour réduire la présence de germes, parfois nécessaire pour les rejets dans des zones spécifiques telles que les zones de baignade ou les zones conchylicoles, ou dans le cadre d'une réutilisation, des traitements de désinfection chimique sont utilisés. Ces traitements comprennent :

- **Le chlore** : il s'agit d'un puissant oxydant qui réagit à la fois avec les molécules réduites, les substances organiques et les micro-organismes. Les composés couramment utilisés dans le traitement des eaux usées comprennent le chlore gazeux (Cl_2), l'hypochlorite de sodium ($NaClO$) également connu sous le nom d'"eau de Javel", l'hypochlorite de calcium ($Ca(ClO)_2$), le chlore de chaux ($CaCl_2OCl_2$) et le chlorite de sodium ($NaClO_2$).

Il existe également d'autres traitements tels que :

- **L'ozone** : il est très performant et efficace pour éliminer les virus. Il permet également de réduire de 90% la couleur de l'eau, d'abaisser la demande chimique en oxygène (DCO) de 20% et de réoxygéner le milieu.
- **Les rayons ultraviolets (UV)** : Les systèmes UV désinfectent en inactivant les micro-organismes tels que les bactéries, les virus et les parasites qui peuvent provoquer des épidémies. Parmi le large spectre de rayonnement électromagnétique, les longueurs d'onde UV-C (200-280 nm) se sont révélées efficaces pour inactiver ces micro-

organismes. Ils endommagent les acides nucléiques (ADN ou ARN) et empêchent ces organismes de se reproduire.

III.5.5. Le traitement des boues :

Les boues sont le principal résidu des stations d'épuration. Le traitement des boues représente environ 30% de l'investissement total dans la construction d'une station d'épuration. Les objectifs du traitement des boues sont les suivants :

- Réduire la fraction organique des boues afin de diminuer leur potentiel de fermentation et les risques de contamination (stabilisation).
- Diminuer le volume total des boues pour réduire les coûts liés à leur évacuation (déshydratation).
- Stabilise les matières organiques pour éviter une fermentation incontrôlée pouvant causer des problèmes d'odeurs.

Après une étape préliminaire d'épaississement visant à concentrer les boues, la stabilisation de la matière organique est réalisée à l'aide de procédés biologiques ou physico-chimiques. Enfin, l'étape finale de déshydratation permet d'extraire le maximum d'eau des boues (Grosclaude , 1999).

Tableau III.3 : Les opérations de traitement des boues et leurs objectifs

Opération	But
Stabilisation	Réduire la fermentescibilité des boues pour atténuer ou supprimer les mauvaises odeurs
Concentration	Éliminer une partie de l'eau interstitielle afin d'éviter son transport
Stockage	Assurer une capacité tampon harmonisant les besoins d'extraction et les possibilités d'évacuation à l'extérieur
Homogénéisation	Donner au destinataire finale un produit connu et relativement Constant
Conditionnement	Modifier les caractéristiques de la boue afin de faciliter la séparation des phases solides et liquides
Déshydratation	Augmenter la siccité afin de rendre le produit solide ou pâteux

(Source : (duchene, 1990))

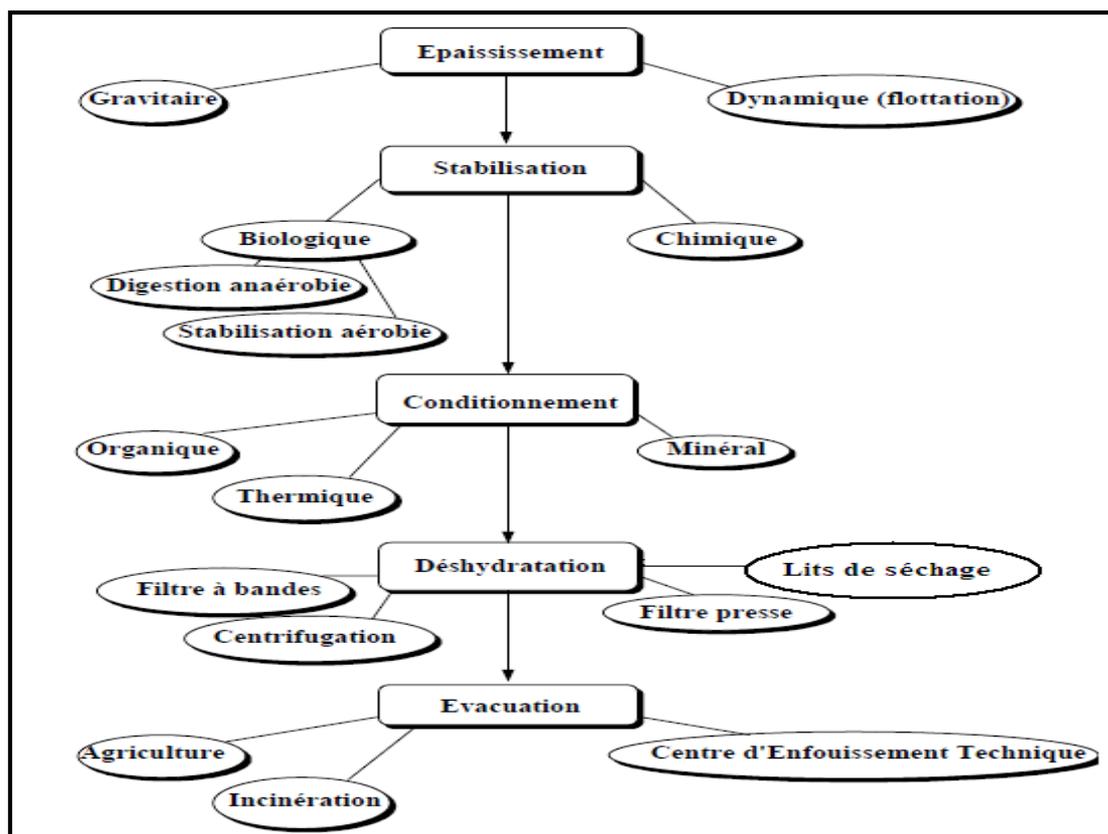


Figure III.10 : Principales filières de traitement des boues

(Source : P. Grulois, 2002)

III.9. Le traitement des boues

III.9.1 Le conditionnement :

Le conditionnement des boues est souvent utilisé pour faciliter la séparation entre le liquide et le solide. Il implique l'utilisation des flocculant, qui peuvent être des poly-électrolytes organiques de synthèse ou des sels minéraux tels que la chaux, les sels de fer ou d'aluminium.

Une autre méthode de conditionnement des boues est le traitement thermique, connu sous le nom d'autoclavage. Ce processus consiste à cuire les boues à une température comprise entre 180 et 220 °C pendant une période allant de 30 minutes à deux heures, afin de rompre les liaisons colloïdales responsables de la rétention d'eau. Cependant, cette technique est rarement utilisée en raison de sa complexité d'utilisation et de son coût élevé.

III.9.2. Epaissement des boues

Avant que les boues soient éliminées ils font l'objet d'un traitement adapté à leur composition et à leur destination, dans le but de Réduire leur volume en éliminant l'eau. En effet, les boues sont initialement extraites sous forme liquide du système de traitement des eaux. Cette réduction

de volume est réalisée par un processus d'épaississement, qui consiste à concentrer les boues par décantation, suivi d'un processus de déshydratation permettant d'éliminer une quantité plus importante d'eau liée aux matières en suspension (MES). Cela peut être réalisé par des méthodes telles que la filtration sur presse ou la centrifugation (Rejsek, 2002)

La présence de matières organiques dans les boues les rend susceptibles de fermentation, ce qui se traduit par l'émission de nombreuses molécules odorantes (telles que H₂S, mercaptans) lors de leur stockage. Cette activité biologique indésirable peut être maîtrisée de deux manières : soit en la contrôlant dans un réacteur approprié, soit en augmentant le pH par l'ajout de chaux. Il existe deux principales familles de procédés biologiques utilisés pour traiter les boues : la digestion anaérobie et la stabilisation aérobie thermophile.

III.9.3. La déshydratation

Une fois les boues épaissies pour éliminer entre 60% et 85% de l'eau et stabilisées, leur traitement est complété par une étape de déshydratation visant à éliminer le maximum d'eau résiduelle. Deux catégories de procédés sont généralement utilisées : les procédés mécaniques et les procédés thermiques. Pendant la phase de séchage, les boues présentent un comportement plastique et collant lorsque leur teneur en matière sèche est d'environ 50%. Cela nécessite des ajustements techniques et matériels spécifiques.

Les boues, qui contiennent une grande quantité de vapeur d'eau, comprennent également une fraction d'incondensables malodorants qui doivent être éliminés par combustion à une température de 850 °C. Cela peut être réalisé directement dans le générateur thermique ou dans un incinérateur spécifique (Grosclaude , 1999).

III.9.4. Incinération des boues

Le problème de l'élimination des boues se pose, et trois solutions sont envisageables :

1. La mise en décharge des boues stabilisées et déshydratées, mais cette option n'est plus réalisable depuis 2002.
2. La valorisation agricole par épandage sur des sols agricoles, où les boues jouent un rôle d'engrais. Elles peuvent être utilisées sous forme liquide, solide ou sous forme de compost, mais toujours après stabilisation.
3. L'incinération, qui présente un intérêt pour les boues auto-combustibles, c'est-à-dire les boues fraîches et déshydratées (Rejsek, 2002).

Indépendamment de la technique d'incinération utilisée, il est nécessaire de traiter les fumées avant de les rejeter dans l'atmosphère. Ce traitement devient d'autant plus complexe lorsque la charge de poussière dans les fumées est élevée. Il se déroule en plusieurs étapes et peut nécessiter un pré-cyclonage, un dépoussiérage électrostatique, un lavage, voire éventuellement une oxydation catalytique (Grosclaude , 1999).

Conclusion :

Les eaux usées, quel que soit leur différence de compositions et origines, posent un problème pour l'environnement lorsqu'elles sont rejetées sans être préalablement traitées. Afin de démontrer l'importance de leur épuration, ce chapitre présente, d'une part, les origines et caractéristiques des eaux usées, et d'autre part, les différentes méthodes utilisées pour les traiter. L'objectif est de trouver la méthode la moins coûteuse et celle qui présente une faible nuisance sonore et olfactive, ce qui est le cas des méthodes quasi-naturelles comme la phytoépuration.

Chapitre IV : la réutilisation
des eaux usées épurées en
irrigation

Introduction :

La réutilisation des eaux usées épurées, également connue sous le nom de REUE, est une démarche volontaire et planifiée visant à produire des quantités supplémentaires d'eau pour divers usages. En Algérie, cette pratique s'inscrit dans la stratégie nationale de développement durable qui intègre les dimensions sociale, économique et environnementale.

L'intérêt de l'Algérie pour la réutilisation des eaux usées en agriculture découle de besoins en eau en constante augmentation, en raison de la forte croissance démographique du pays ces dernières années. Comme de nombreux pays du bassin méditerranéen, l'Algérie fait face à un déficit hydrique important. La demande en eau ne cesse d'augmenter tandis que les ressources hydriques se raréfient, notamment pour l'irrigation. Dans ce contexte, la réutilisation des eaux usées apparaît comme une première réponse à la pénurie d'eau pour l'irrigation.

La stratégie du ministère des ressources en eau en matière d'épuration repose sur la protection de la ressource hydrique et la réutilisation des eaux usées épurées, notamment à des fins agricoles. Les stations d'épuration fonctionnelles (STEP et lagunes) en Algérie ont une capacité de production d'environ 130 000 m³/an d'eau usée épurée, grâce à des traitements primaires, secondaires et tertiaires.

La réutilisation des eaux usées épurées, en particulier à des fins agricoles, est devenue l'un des principaux axes de la stratégie du secteur des ressources en eau en Algérie. Étant donné que presque toutes les ressources d'eau douce accessibles du pays sont déjà mobilisées, il est logique de se tourner vers des ressources en eau non conventionnelles pour répondre à la demande croissante, comme l'utilisation des eaux usées traitées. Le projet de réutilisation des eaux usées traitées en Algérie a été lancé au début des années 2000. Et en 2001, l'Office National de l'Assainissement (ONA) a été créé pour assurer la protection de l'environnement sur tout le territoire national.

IV.1. Domaines de réutilisation des eaux épurées :

De nos jours, il y a une augmentation significative de la planification de projets de traitement des eaux usées et de réutilisation des effluents dans de nombreux pays. Les utilisations principales des eaux usées traitées sont :

IV.1.1. Réutilisation des eaux usées traitées dans l'industrie :

La récupération de l'eau pour les industries est largement motivée par la rareté de l'eau locale, que ce soit en raison de sources d'eau limitées ou d'une forte concurrence pour son approvisionnement. (Jiménez-Cisneros, 2014). Face à la diminution des ressources en eau, de nombreuses entreprises sont à la recherche d'alternatives pour répondre à leurs besoins en eau.

La réutilisation industrielle des eaux usées et le recyclage interne sont désormais des pratiques courantes, à la fois techniquement réalisables et économiquement avantageuses. Dans certains pays et secteurs industriels, jusqu'à 85% des besoins en eau sont satisfaits grâce à l'utilisation d'eau recyclée. Il est important de souligner que la qualité de l'eau réutilisée est réglementée et varie en fonction de l'application ou de la production industrielle spécifique. (Lazarova & et al, 2000) .

De nombreuses industries ont déjà adopté des systèmes en boucle fermée pour réutiliser leurs eaux usées, ce qui leur permet de préserver les ressources en eau et de réduire leurs rejets. Les principaux secteurs utilisant ces systèmes sont les centrales électriques, les raffineries de pétrole et les manufactures. Les utilisations de l'eau recyclée sont très variées, allant de la fabrication de béton au lavage des équipements, en passant par l'utilisation dans les tours de refroidissement, l'alimentation des bouilloires et l'utilisation comme eau de procédé (à l'exception de l'industrie agroalimentaire) (Asano & et al, Characteristics of municipal wastewater and related health and environmental issues, Water reuse : issues, technologies and applications, 2007).

En Algérie, il convient de mentionner l'exemple de la station d'épuration des eaux usées (STEP) de Jijel, qui fournit mensuellement 15 000 m³ d'eau usée à la tannerie de Jijel dans le cadre d'un partenariat de réutilisation de l'eau.

IV.1.2. Réutilisation municipales :

La réutilisation des eaux usées municipales peut être divisée en trois catégories :

- **Réutilisation directe de l'eau potable :**

Les eaux usées sont traitées pour atteindre un niveau de qualité acceptable pour la consommation humaine. Lorsqu'elles sont destinées à une utilisation directe comme eau potable, elles passent généralement par des processus de traitement conventionnels et avancés. Bien que la technologie de traitement permette de produire une eau potable de qualité acceptable à partir des eaux usées, il est peu probable qu'elle soit largement adoptée en raison de son coût élevé et de la faible acceptation du public (Azuara & et al, 2015).

- **Réutilisation potable indirecte :**

La réutilisation potable indirecte fait référence au processus par lequel les eaux usées sont traitées pour atteindre un niveau de qualité acceptable, puis utilisées pour des usages non potables tels que l'irrigation des espaces verts, le remplissage des plans d'eau, ou l'industrie. Après ces utilisations, les eaux usées traitées sont ensuite retraitées pour être purifiées à un niveau suffisant pour être utilisées comme eau potable. Cela permet de maximiser l'utilisation des ressources en eau et de réduire la dépendance sur les sources d'eau naturelles. La réutilisation potable indirecte est considérée comme une solution viable pour répondre aux besoins croissants en eau dans de nombreuses régions. (Al-Hamdi, 2000).

- **Réutilisation non potable :**

Cela englobe la réutilisation des eaux usées récupérées pour l'irrigation des parcs publics, des espaces paysagers, des terrains de sport, des terrains de golf, ainsi que pour des usages tels que la lutte contre les incendies et le rinçage des toilettes (Asano & et al, Characteristics of municipal wastewater and related health and environmental issues, Water reuse : issues, technologies and applications, 2007).

En Algérie, les eaux usées traitées sont principalement réutilisées par la protection civile, qui récupère un volume de 18 763 m³ d'eau usée épurée par mois de la station d'épuration de Tipaza, par exemple, pour lutter contre les incendies. De plus, les collectivités locales récupèrent 12 m³ d'eaux usées épurées par mois de la station d'épuration de Boumerdès pour le nettoyage de la ville (BOUCHAALA & et al, 2017).

IV.1.3.L'aquaculture :

Cette forme de valorisation est encore peu répandue à l'échelle mondiale, mais elle est déjà pratiquée en Inde et dans d'autres pays asiatiques à la fois comme méthode de traitement des eaux usées et pour l'élevage de poissons qui en découle (AFD, 2011).

IV.1.4.Réutilisation des eaux usées traitées en agriculture :

La croissance de la population, le développement économique et l'expansion de l'agriculture ont conduit à une augmentation des besoins en eau et à une demande croissante

pour les ressources en eau traditionnelles. De plus, la fréquence des périodes de sécheresse a également contribué à cette demande accrue (Djemli & Hannouch, 2018).

Malgré l'exploitation largement répandue du potentiel des barrages, l'agriculture reste le plus grand consommateur de ressources en eau et l'offre ne parvient pas à satisfaire la demande.

La réutilisation des eaux usées dans l'agriculture est une solution non conventionnelle qui peut partiellement remédier au problème de pénurie d'eau d'irrigation. Cette approche réussie présente deux avantages majeurs : elle permet de développer une nouvelle source d'eau non conventionnelle et d'utiliser un engrais naturel à faible coût. (Mehaiguene & et al, 2018).

Selon l'Agence nationale de la santé (ATA), en 2019 l'Algérie a utilisé 12 325 269 m³ d'eaux usées traitées pour irriguer 11 045 hectares de terres agricoles. Cela correspond à un taux de réutilisation agricole (REU) des eaux usées traitées de 31 % de la quantité traitée. En 2020, le potentiel de réutilisation des eaux usées traitées à des fins agricoles devrait augmenter considérablement. Sur les 154 stations d'épuration gérées par l'ONA dans 44 Wilayas, 16 sont déjà engagées dans la réutilisation agricole des eaux usées traitées. L'ONA prévoit également de porter ce nombre à 20 stations.

Par exemple, la station d'épuration à boues activées de Boumerdès a une capacité de 75 000 Eq/H. Elle est utilisée pour la culture de pépinières d'oliviers, d'orangers et de vignes. De même, la station de lagunage aéré d'Ouargla a une capacité de 260 102 Eq/H et est utilisée pour la culture de 4 000 palmiers dattiers et 100 oliviers. Quant à la station d'épuration à boues activées de Guelma, elle a une capacité de 200 000 Eq/H et est utilisée pour la culture de cultures maraîchères et de vergers (Amine , 2008).

IV.2. L'irrigation agricole par les eaux usées épurées :

Irrigation est définie comme l'apport d'eau supplémentaire à celle fournie par les précipitations naturelles pour la production agricole. Les eaux usées sont utilisées pour irriguer les terres en raison de la forte demande en eau, de la disponibilité des eaux usées, des avantages nutritionnels et de l'apport de matière organique qui améliorent la productivité, ainsi que de la possibilité de semer toute l'année. Les eaux usées peuvent être utilisées pour l'irrigation de différentes manières, qu'elles soient traitées (eau récupérée) ou non traitées (eaux usées brutes) (Jiminez, 2001).

Les eaux usées traitées peuvent être appliquées directement sur les cultures ou indirectement comme se suit :

- **En réutilisation directe :** Les effluents traités sont acheminés des stations d'épuration (STEP) vers le site d'irrigation.

- **En réutilisation indirecte :** L'effluent traité est déversé dans les eaux de surface ou les nappes phréatiques, ce qui entraîne intentionnellement le mélange des eaux usées avec l'eau douce disponible dans les oueds, les barrages, les rivières et les aquifères. Les agriculteurs en aval utilisent ces eaux, que ce soit de manière volontaire ou involontaire. Dans la plupart des cas, ces eaux sont utilisées pour l'irrigation sans restriction, ce qui signifie qu'elles peuvent être utilisées pour toutes les cultures, y compris celles qui sont consommées crues ou non cuites (Jiménez, 2006).

IV.3. Cadre réglementaire des eaux usées traitées réutilisées en irrigation en Algérie :

IV.3.1. Dispositions préliminaires :

Art. 2 : Eau usée épurée destinée à l'irrigation, toute eau usée dont la qualité, après un traitement approprié dans une station d'épuration ou de lagunage est conforme aux spécifications fixées par arrêté conjoint des ministres chargés des ressources en eau, de la santé et de l'agriculture.

Art. 3 L'utilisation des eaux usées traitées à des fins d'irrigation est soumise à la réglementation des concessions. Cette concession est accordée aux personnes morales ou physiques qui souhaitent distribuer des eaux usées traitées aux utilisateurs à des fins d'irrigation au sens de l'article 2, conformément au droit public ou privé.

Art. 4 Lors de l'utilisation des eaux usées traitées à des fins d'irrigation, les dispositions du cahier des charges type annexé au présent décret doivent être respectées et tous les concessionnaires doivent se conformer à ces dispositions.

- La législation algérienne relative à la réutilisation des eaux purifiées à des fins agricoles est réglementée dans le texte suivant :
- **Joumada Ethania 1426 Loi n°05-12 du 4 août 2005** relative à l'eau ;
- **Décret n°07-149 du 20 mai 2007.** Établit les conditions de concession pour l'utilisation de l'eau purifiée à des fins agricoles.
- Décision ministérielle fixant les normes pour l'eau purifiée du 1er février 2012
Décret précisant la liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées traitées ;
- Il est nécessaire d'établir une ordonnance qui établisse une liste de laboratoires autorisés à analyser la qualité des eaux usées traitées destinées à l'irrigation. La réutilisation de ces eaux requiert une coordination étroite entre les différentes parties impliquées à tous les niveaux.

(JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE, 2022).

IV.4. Critères de qualité des eaux usées traitées pour l'irrigation :

La qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation est un élément clé qui influence le rendement des cultures, la santé du sol et la préservation de l'environnement. Les caractéristiques physiques et chimiques du sol, notamment sa structure (stabilité des agrégats) et sa perméabilité, sont particulièrement sensibles aux ions potentiellement échangeables présents dans l'eau d'irrigation (**Keltoum et Abdelkader, 2013**).

La réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation nécessite une gestion rigoureuse des paramètres liés à la qualité physico-chimique et microbiologique des effluents, tels que les microorganismes pathogènes, les éléments toxiques et la salinité, entre autres.

Les problèmes potentiels liés à l'utilisation d'une eau de qualité médiocre varient en termes de nature et de gravité, mais les plus courants sont la salinité et la toxicité. Ainsi, les trois critères principaux pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation sont les suivants :

- ✓ Paramètres physico-chimiques ;
- ✓ Paramètres microbiologiques ;
- ✓ Paramètres toxiques : éléments traces métalliques.

IV.4.1. Paramètres physico-chimiques :

- **Les MES** : Elles contribuent à la fertilisation des sols en raison de leur richesse en matière organique. Cependant, si les matières en suspension (MES) sont présentes à des concentrations élevées dans les eaux traitées, elles présentent certains risques :
 - ✓ **Un risque sanitaire** : les MES peuvent protéger les micro-organismes contre certains traitements tels que le chlore ou les ultraviolets.
 - ✓ **Un risque technique** : les MES peuvent entraîner le colmatage des canalisations et les systèmes d'irrigation.
- **Le pH de l'eau d'irrigation** : Le pH de l'eau d'irrigation joue un rôle important dans la forme et la disponibilité des éléments nutritifs. Il est recommandé que le pH de l'eau d'irrigation se situe entre 6,5 et 8,5. Dans cette plage de valeurs, la solubilité de la plupart des micro-éléments est optimale.
- **L'azote** : Un excès de ces éléments peut entraîner les conséquences suivantes :
 - ✓ Perturber certaines productions agricoles.
 - ✓ Retarder la maturation de certaines cultures, notamment les abricots et les agrumes.
 - ✓ Altérer la qualité des cultures, par exemple en réduisant la teneur en sucres des fruits.

- ✓ Accroître la sensibilité des cultures aux maladies et favoriser la verse chez les céréales, ainsi que limiter le développement des jeunes racines.
- **Les nitrates** : La principale source de nitrates dans les eaux souterraines provient principalement des engrais et des eaux usées traitées. L'azote, sous forme de nitrate, n'est pas absorbé par les plantes, n'est pas volatilisé et n'est pas emporté par le nettoyage des surfaces, ce qui entraîne sa présence dans les eaux souterraines. Cela rend l'azote indisponible pour les plantes et peut également augmenter la concentration de nitrate dans les eaux souterraines au-delà des niveaux acceptables pour la qualité de l'eau potable. Les systèmes septiques ne parviennent à éliminer que la moitié de l'azote présent dans les eaux usées, laissant l'autre moitié se retrouver dans les eaux souterraines, ce qui contribue à une augmentation des concentrations de nitrate.
 - **Le potassium** : La concentration de potassium dans les eaux usées traitées varie de 10 à 30 mg/l. Un excès de fertilisation potassique peut entraîner une fixation du potassium dans le sol et une augmentation des pertes par drainage, en particulier dans les sols légers.
 - **Le phosphore** : L'eutrophisation des milieux aquatiques, tels que les lacs, les retenues d'eau, les étangs, etc., est le principal problème causé par le phosphore. L'eutrophisation se réfère à la "suffocation" des eaux d'un lac ou d'une rivière due à un apport excessif de substances nutritives, notamment le phosphore, qui favorise la croissance excessive d'algues et de plantes aquatiques. Lorsque ces algues meurent, leur décomposition et leur minéralisation consomment l'oxygène dissous dans l'eau. En d'autres termes, plus il y a d'algues, moins il y a d'oxygène, en particulier dans les eaux situées en profondeur. Lorsque le niveau d'oxygène dissous descend en dessous d'un certain seuil, généralement autour de 4 mg par litre, les conditions de vie deviennent difficiles pour la faune et la flore aquatiques.

Le tableau ci-dessous présente les paramètres physico-chimiques des eaux épurées réutilisées à des fins agricoles :

Tableau IV.1 : Les Paramètres physico-chimiques des eaux usées épurées destinés à l'irrigation

paramètres		Unités	Valeurs limitées maximales
Physique	Température	°C	30
	Ph	-	6.5-8.5
	MES	Mg/l	30
	CE	ds/m	3
	Infiltration le SAR=0- 3CE		0.2
	3-6	ds/m	0.3
	6-12	ds/m	0.5
	12-20	ds/m	1.3
	20-40	ds/m	3
	DBO5	Mg/l	30
	DCO	Mg/l	90
Chimiques	Chlorure	Meq/l	10
	Azote (NO3-N)	Mg/l	30
	Bicarbonate (HCO3)	Meq/l	8.5

(Source : (JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 41, 2012))

Salinité :

La salinité est l'un des aspects chimiques les plus importants à prendre en compte dans les eaux usées utilisées pour l'irrigation. En général, l'irrigation avec des eaux contenant une forte Concentration de sels, en particulier les eaux usées, peut entraîner une accumulation de ces sels dans le sol, ce qui peut ralentir la croissance des plantes et entraîner une baisse des rendements, voire leur dépérissement. Les eaux usées peuvent contenir des concentrations élevées de chlorure (Cl) et de sodium (Na) en raison de leur présence relativement élevée dans les eaux domestiques d'origine. Parallèlement, l'irrigation excessive avec des eaux riches en sodium peut entraîner la dégradation de la structure du sol. En général, les ions les plus toxiques présents dans les eaux usées sont le sodium (Na), le chlore (Cl) et le bore (B), qui peuvent causer une toxicité dans la plupart des cas.

- **Le sodium :**

Le sodium est considéré comme l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Il peut provenir de l'altération des roches et des sols, des intrusions d'eau de mer, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation. La teneur en sodium est un facteur important pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation, et une concentration excessive de sodium peut entraîner le développement d'un sol alcalin, ce qui peut causer des problèmes physiques et réduire la

perméabilité du sol. La limite admissible de la concentration de sodium dans les eaux usées traitées pour l'irrigation est d'environ 10,87 meq/L (250 mg/L). Les concentrations de sodium dans les échantillons variaient de 215 à 285 mg/L (valeur moyenne = 261,75 mg/L), ce qui indique une restriction légère à modérée à l'utilisation de ces eaux usées dans l'irrigation. La limite admissible du taux d'adsorption du sodium (DAS) dans les eaux usées traitées pour l'irrigation est d'environ 6 à 7 mg/L.

- **Le chlore :**

Les cultures sensibles au chlore peuvent être affectées même par de faibles concentrations de chlore dans la solution du sol, à partir de 1 mg/l. Les effets toxiques sont plus susceptibles de se produire lorsque les sels de chlore sont directement appliqués sur les feuilles lors des irrigations par aspersion. Par conséquent, les cultures peuvent souffrir si elles sont irriguées par cette méthode. Pour remédier à ce problème, il est recommandé de stocker l'eau dans un réservoir ouvert pendant quelques heures afin d'éliminer le chlore résiduel. Une teneur en chlore résiduelle inférieure à 1 mg/l n'est pas dangereuse pour le feuillage, mais une concentration supérieure à 5 mg/l peut causer des dommages importants. Les signes de toxicité comprennent la brûlure des feuilles et le dessèchement des tissus foliaires.

- **Conductivité électrique « CE » exprimée en (mms/cm) :**

La classification USSSL (United States Salinity Laboratory) est largement utilisée dans le domaine de l'irrigation. Cette classification, proposée par le laboratoire de Riverside, repose principalement sur deux paramètres essentiels : la salinité de l'eau et le risque d'alcalinisation associé à l'irrigation. La salinité de l'eau est évaluée en fonction de sa conductivité électrique (CE) à 25 °C, et elle est divisée en quatre classes distinctes.

Tableau IV.2 : Classes d'aptitude de l'eau à l'irrigation, modifiées d'après US SALINITY LABORATORY, 1955.

Classe	conductivité μS/cm à 25°C	Remarques
C1	0 < C < 250	- faible minéralisation de l'eau - utilisation sur la plupart des cultures et des sols.
C2	250 < C < 750	- minéralisation moyenne - utilisation sur sol modérément lessivé et plantes moyennement tolérantes au sel

C3	$750 < C < 2250$	- eau salée - utilisation sur sol bien drainé et plantes tolérantes au sel - contrôle de l'évolution de la salinité obligatoire
C4	$2250 < C < 5000$	- minéralisation forte - utilisation non souhaitable en agriculture

(Source: (the great salinity anomaly, 1955-1975))

- **LA SAR :**

L'indice utilisé pour évaluer l'activité relative des ions sodium dans les réactions d'échange dans les sols est le rapport d'adsorption du sodium (SAR). Cet indice mesure la concentration relative de sodium par rapport au calcium et au magnésium. Une concentration élevée d'ions sodium dans l'eau peut affecter la perméabilité des sols et entraîner des problèmes d'infiltration. Cela est dû au remplacement du calcium et du lorsque le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les argiles du sol, cela entraîne la dispersion des particules dans le sol.

En d'autres termes, si le calcium et le magnésium sont les cations prédominants adsorbés sur le complexe d'échange du sol, le sol aura une structure perméable et granulaire, propice à la culture.

Cependant, lorsque le sodium prend le dessus, cela entraîne la dispersion des agrégats du sol, ce qui le rend dur et compact lorsqu'il est sec. Cela réduit la vitesse d'infiltration de l'eau et de l'air, ce qui affecte la structure du sol (jiminéze, 2011).

Le risque d'alcalinisation des sols provoqué par les eaux d'irrigation est évalué en fonction du sodium pouvant être adsorbé par le sol. Par conséquent, sur la base du taux d'absorption du sodium (DAS) de l'irrigation, il existe quatre catégories :

S1 : SAR<10 : L'eau contenant une petite quantité de sodium peut être utilisée pour l'irrigation de presque tous les sols sans se soucier des difficultés causées par l'angle d'alcalinisation.

S2 : 10<SAR<18 : L'eau contenant des quantités moyennes de sodium peut causer certaines difficultés dans les sols à texture fine, à moins que le sol ne contienne du gypse. Cette eau peut être utilisée dans un sol à texture grossière ou dans un sol organique qui absorbe bien l'eau.

- ✓ **S3 : 18<SAR<26** : Une eau contenant de grandes quantités de sel entraînera des difficultés sur la plupart des sols et ne doit être utilisée qu'avec des précautions particulières : bon drainage, lessivage important et ajout de matière organique. S'il y a beaucoup de gypse dans le sol, il se peut qu'il n'y ait pas de problème pendant un certain temps.
- ✓ **S4 : SAR>26** : L'eau contenant de grandes quantités de sodium ne convient généralement pas à l'irrigation, sauf si la salinité est très faible et que du gypse ou une autre source de calcium soluble est ajouté pour améliorer l'équilibre ionique. Evaluation du SAR :

Le SAR exprime le pourcentage de sodium absorbé, par la relation suivante :

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

La STEP de Chenoua a un SAR de 6.32 meq/l avec une conductivité de 1570 us/cm, ce qui nous permet de la classer d'après le diagramme de Riverside (figure IV.1), on classe cette eau dans la classe C3-S2 (eau de faible risque d'alcanité et une forte salinité)

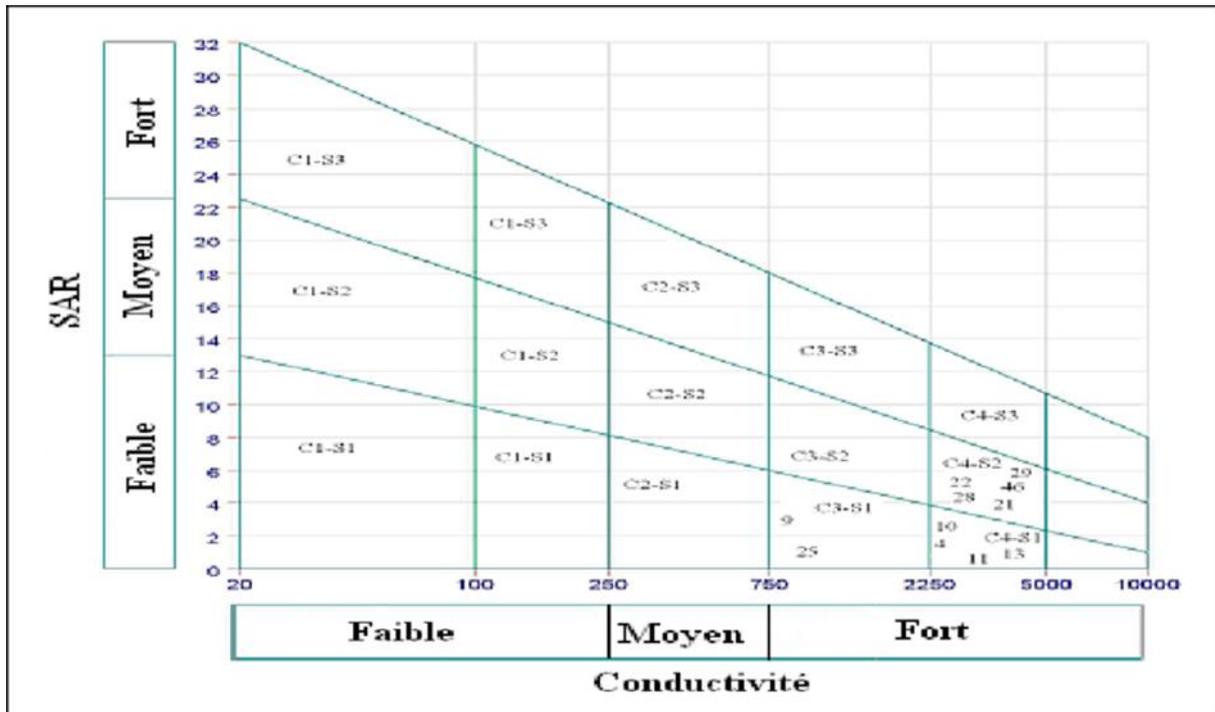


Figure IV.1 : Représentation graphique de classification des eaux d'irrigation selon leur SAR

(Source : (lenntech.fr, s.d.))

- **Sodium et Récoltes**

Les concentrations élevées de sodium posent problème lorsque la vitesse d'infiltration est réduite de manière significative, ce qui entraîne une disponibilité insuffisante en eau pour les cultures, ou lorsque la conductivité hydraulique du profil du sol est trop faible pour permettre un drainage adéquat. Un excès de sodium peut également causer d'autres problèmes pour les cultures, tels que la formation de croûtes de graines, une saturation temporaire en surface du sol, un pH élevé, une augmentation du risque de maladies, la prolifération de mauvaises herbes, l'érosion des sols et une disponibilité nutritionnelle insatisfaisante. L'eau peut être une source d'excès en Na donc elle devrait être convenablement contrôlée (lenntech.fr, s.d.).

Tableau IV.3 : Qualité d'eau d'irrigation selon le SAR

Tolérance	SAR de l'eau d'irrigation	Récolte
Très sensible	2-8	Fruits, noix, citron, avocat
Sensible	8-18	Haricot
Résistance modérée	18-46	Trèfle, avoine, riz
Résistant	46-102	Blé, orge, tomates, betteraves

(Source : (Aznecc, 2005, p. 32))

IV.4.2. Le risque microbiologique :

En agriculture, il est important de noter que les micro-organismes pathogènes des animaux ne peuvent pas pénétrer ni survivre à l'intérieur des plantes. Par conséquent, ces micro-organismes se trouvent principalement à la surface des plantes et dans le sol. Les feuilles et les plantes fournissent un environnement frais, humide (en raison de l'évaporation) et à l'abri du soleil, ce qui crée des conditions propices à la contamination pendant la croissance des plantes ou lors de la récolte. Il est également important de souligner que les pathogènes ont tendance à survivre plus longtemps dans le sol que sur les plantes elles-mêmes (Asano, WATER RECLAMATION AND REUSE, 1998).

Les principales mesures de contrôle des risques sanitaires pour l'irrigation à l'eau recyclée comprennent les considérations de bonnes pratiques suivantes :

1. Avant la récolte, il est recommandé d'arrêter l'irrigation pendant deux semaines. Il est également important de ne pas ramasser les fruits tombés et d'éviter l'irrigation par aspersion.
2. Le pâturage direct est interdit. Il est préférable d'arrêter les arrosages au moins une semaine avant de faucher.

3. Des normes plus souples peuvent s'appliquer aux cultures commerciales et aux arbres forestiers.
4. Pour l'irrigation des parcs et espaces verts où le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses des hôtels, il est recommandé de respecter des normes plus strictes (<200 coliformes fécaux par 100 ml).
5. Il est important d'utiliser des techniques d'irrigation qui limitent la teneur en humidité des fruits et légumes.
6. Cependant, les ouvriers agricoles et les riverains doivent maîtriser la gestion de l'irrigation locale et respecter les règles d'hygiène requises. Les populations environnantes ne doivent pas être ignorées (JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE, 2022).

Tableau IV.4 : Recommandations concernant la qualité microbiologique des eaux usées utilisées dans l'agriculture

Niveau sanitaire	Type de culture	Normes	Type d'irrigation
A	<ul style="list-style-type: none"> • Irrigation des Produits pouvant être consommés crus • Arrosage de terrains de sport et d'espaces verts ouverts au public 	Oeufs d'helminthes \leq 1/litre Coliformes thermotolérants \leq 10000/1L	Irrigation gravitaire, irrigation sous frondaison, Irrigation par aspersion sous certaines conditions
B	<ul style="list-style-type: none"> • Vergers, céréales et fourrages, pépinières et produits végétaux consommable après cuisson (pommes de terre, betteraves, choux) • Espaces verts inaccessibles au public • Zones de sport ou de loisir utilisées 	Oeufs d'helminthes \leq 1/litre	Irrigation gravitaire ou à la raie Irrigation par aspersion sous réserve
C	<ul style="list-style-type: none"> • Cultures céréalières, industrielles et fourragères, vergers, zones forestières et espaces verts non ouverts au public 	Sans contrainte	Irrigation souterraine ou localisée (micro-irrigation)

(Source : (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, 2022))

IV.4.3. Paramètres toxicologiques :

- **Éléments traces :** Une concentration élevée de certains éléments, tels que les métaux lourds, peut entraîner une toxicité. Les éléments traces ont tendance à s'accumuler dans les couches supérieures du sol par adsorption et échange d'ions. Cette accumulation peut présenter des risques à long terme pour le développement des plantes, la santé humaine et

animale. Tous les éléments traces ne sont pas toxiques, certains sont essentiels à la croissance des plantes en petites quantités (comme le fer, le manganèse, le molybdène et le zinc). Cependant, des quantités excessives de ces éléments peuvent entraîner des accumulations indésirables dans les tissus des plantes et réduire leur croissance. La plupart des éléments traces sont facilement fixés et accumulés dans les sols. Des applications répétées avec des taux élevés peuvent contaminer le sol et le rendre improductif. Il est donc important de contrôler le prélèvement des éléments traces contenus dans les eaux usées épurées en fonction des besoins des plantes.

Les métaux lourds peuvent être divisés en quatre catégories en fonction de leur importance pour le développement des plantes et de leurs effets sur la santé.

Le manganèse (Mn) et le fer (Fe) sont essentiels à la croissance des plantes et leur utilisation en agriculture ne présente aucun risque pour la santé. Ces éléments sont naturellement présents dans le sol en grande quantité.

Les métaux suivants ne sont pas essentiels pour les plantes, mais ils ne présentent pas non plus de risque pour une utilisation agricole sûr ; en effet :

- ✓ **le plomb (Pb)** reste attaché au sol et ne pénètre pas dans les plantes ;
- ✓ **Le sélénium (Se), l'étain (Sn) et le mercure (Hg)** sont trop faibles dans l'eau purifiée pour causer des problèmes de santé ;
- ✓ **le chrome (Cr) est sous forme ionique (Cr 3)**, peu toxique et ne pénètre pas dans les plantes ;
- ✓ **l'aluminium (Al)** est déjà naturellement présent dans le sol, en grande quantité
Il existe des métaux lourds essentiels aux plantes, mais dont l'utilisation en agriculture peut poser problème. C'est le suivant :
- ✓ **le cuivre (Cu)**, qui présente une certaine toxicité pour le bétail ; cependant, le seuil de phytotoxicité est atteint avant le seuil de toxicité animale, autrement dit, on peut détecter d'abord une contamination dans les plantes et ainsi éviter de les donner aux animaux ;
- ✓ **le molybdène (Mo)**, qui n'est pas phytotoxique, mais peut entraîner des problèmes de santé pour le bétail ; (Ministère de la santé, de la famille et des personnes handicapées, 2001-2002)
- ✓ **Zinc (Zn)** : Le zinc est un élément essentiel à la santé humaine, mais il peut être toxique à fortes doses. Une exposition à des concentrations élevées de zinc peut entraîner des nausées, des vomissements, des diarrhées et des maux de tête.

La réutilisation des eaux traitées doit respecter des normes qui définissent les concentrations acceptables en termes d'éléments toxiques et microbiologiques. Ces normes sont établies par la législation algérienne à travers le décret N° 07-149 du 20 mai 2007, qui fixe les modalités de concession pour l'utilisation des eaux traitées à des fins agricoles, ainsi que l'arrêté interministériel 58 du 02/01/2012, qui établit les spécifications des eaux traitées utilisées pour l'irrigation. Ces textes stipulent :

Tableau IV.5 : Les Paramètres toxicologiques

Paramètres		Unités	Valeurs Limitées maximales
Toxicologiques	Aluminium	mg/l	20,0
	Cyanures	mg/l	0,5
	Fluore	mg/l	15,0
	phénols	mg/l	0,002
	Cadmium	mg/l	0,05
	Cuivre	mg/l	5,0
	Plomb	mg/l	10,0
	Chrome	mg/l	1,0
	Manganèse	mg/l	10,0
	Zinc	mg/l	10,0
	Nickel	mg/l	2,0
	Fer	mg/l	20,0
	Arsenic	mg/l	0,2
	Béryllium	mg/l	0,5
	Bore	mg/l	2,0
	Cobalt	mg/l	5,0
	Lithium	mg/l	2,5
	Mercure	mg/l	0,01
	Molybdène	mg/l	0,05
Sélénium	mg/l	0,02	
Vanadium	mg/l	1,0	

(Source : arrêté interministériel 2012).

IV.5 Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées :

La sélection des cultures appropriées est une condition essentielle pour assurer le succès de la réutilisation des eaux usées traitées. Il est important de choisir les cultures en fonction de leur adéquation avec l'espace (assolement) et le temps (rotation), en prenant en compte les besoins de la population locale et les techniques d'amélioration du sol. Le système de culture en 25

cultures permet de sélectionner les cultures les mieux adaptées à la qualité de l'eau et aux particularités régionales. Il facilite également la planification des dates de semis et de récolte, ainsi que le calendrier d'irrigation. Il est crucial que le système de culture valorise les connaissances locales et évite l'introduction de cultures étrangères à la localité ou à la région, même si elles sont économiquement rentables. (BENZARIA, 2008).

Tableau IV.6 : Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées.

Groupes de cultures pouvant être irriguées par les eaux usées épurées.	Liste des Cultures
Les arbres fruitiers	dattiers, vigne, pomme, pêche, poire, abricot, nêfle, cerise, prune, nectarine, grenade, figue, Rhubarbe, Arachides, Noix, Olive.
Les agrumes	Pamplemousse, citron, orange, mandarine, tangerine, lime, clémentine.
Les cultures fourragères	Bersim, maïs, sorgho fourragers, vesce, et luzerne.
Culture industrielle	Tomate industrielle, haricot à rames, petit pois à rames, betterave sucrière, Coton, le tabac, le lin.
Les cultures céréalières	Blé, orge, triticale et avoine.
Les cultures de production de semences	Pomme de terre, Haricot et Petit pois.
Les arbustes fourragers	l'Acacia et l'Atriplex.
Les plantes florales à sécher ou à usage industriel	le rosier, l'iris, le jasmin, la marjolaine et le romarin.

(Source : (JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 41, 2012))

Préventions requises :

L'utilisation d'eaux usées traitées provenant de cultures maraîchères dont les produits sont consommés crus est formellement interdite pour l'irrigation.

Cependant, l'irrigation avec des eaux usées traitées est autorisée à condition que l'irrigation soit arrêtée au moins deux (2) semaines avant la récolte. Les fruits tombés au sol ne doivent pas être récoltés et doivent être éliminés.

Le pâturage direct dans les parcelles irriguées avec des eaux usées traitées est strictement interdit afin de prévenir toute contamination du bétail et, par conséquent, des consommateurs.

Les parcelles destinées à être irriguées avec des eaux usées traitées ne doivent accueillir aucune autre culture en dehors de celles figurant sur une liste spécifique.

Les parcelles irriguées avec des eaux usées traitées doivent être situées à une distance minimale de 100 mètres des routes, des habitations, des puits de surface et autres structures utilisées pour

l'approvisionnement en eau potable. Tout raccordement à une canalisation transportant de l'eau potable est strictement interdit. (JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE, 2022).

Conclusion :

La réutilisation est une démarche volontaire et planifiée visant à produire des quantités supplémentaires d'eau pour compenser les pénuries. La réutilisation des eaux usées est une technologie en plein essor, principalement utilisée dans le domaine de l'agriculture. Il existe de nombreuses solutions techniques qui répondent aux critères de réutilisation existants, comme les directives de l'OMS sur l'irrigation.

Dans les pays où les réserves d'eau douce sont déjà limitées ou atteindront bientôt leurs limites, le recyclage des eaux usées apparaît comme une alternative technologique abordable, tant sur le plan financier (un traitement approfondi est souvent nécessaire) que sur le plan des technologies de réutilisation pour l'agriculture, l'industrie et les zones urbaines, qui ne nécessitent pas une qualité d'eau potable.

Chapitre V : présentation de la
station d'épuration de
Chenoua

Introduction :

La station d'épuration de Tipaza est située dans la région de Chenoua, à environ 70 kilomètres à l'ouest de la wilaya d'Alger. Cette localisation stratégique permet de répondre aux besoins de collecte et de traitement des eaux usées des communes avoisinantes grâce à un réseau unitaire.

Mise en service en janvier 2008, la station d'épuration de Tipaza a pour objectif de collecter et de traiter les eaux usées industrielles et domestiques des communes de Tipaza et de Nador. Elle joue un rôle crucial dans le processus de purification des eaux usées, contribuant ainsi à la préservation de la qualité de l'eau et à la prévention de la pollution après leur déversement dans l'oued El Nador.

La réalisation de la station d'épuration de Tipaza s'inscrit dans un contexte plus large comprenant d'autres projets de traitement des eaux usées. Par exemple, la mise en service de la station d'épuration des eaux usées de Hadjout et la réhabilitation de la STEP de Koléa ont également renforcé les capacités de traitement des eaux usées dans la région.

La station d'épuration des eaux usées de Tipaza a obtenu la certification ISO 14001/2004 en 2008, ce qui témoigne de l'engagement de la ville en faveur du développement durable et de la protection de l'environnement.

V.1.Localisation :

La station d'épuration de Tipaza est stratégiquement située dans la région de Chenoua, à environ 70 kilomètres à l'ouest de la wilaya d'Alger. Cette position permet de répondre efficacement aux besoins de collecte et de traitement des eaux usées des communes environnantes grâce à un réseau unitaire.

Opérationnelle depuis janvier 2008, la station d'épuration de Tipaza a pour objectif de collecter et de traiter les eaux usées industrielles et domestiques des communes de Chenoua, Tipaza et Nador. Son rôle essentiel dans le processus de purification des eaux usées contribue à préserver la qualité de l'eau et à prévenir la pollution après leur déversement dans l'oued El Nador.



Figure V.1 : La localisation de site d'implantation de la station (vue aérienne).

Source : (Manuel environnemental par l'ONA (2012))

V.2. Technique d'épuration :

La STEP utilise le procédé d'épuration à boues activées à faible charge qui a une capacité de traité un débit de 11200 m³/avec aération prolongée.

Les différents compartiments constituant la STEP :

- ✓ Dégrilleur : dessableur et dégraisseur
- ✓ Bassin biologique (2)
- ✓ Clarificateur(2)
- ✓ Épaississeur
- ✓ Salle de déshydratation

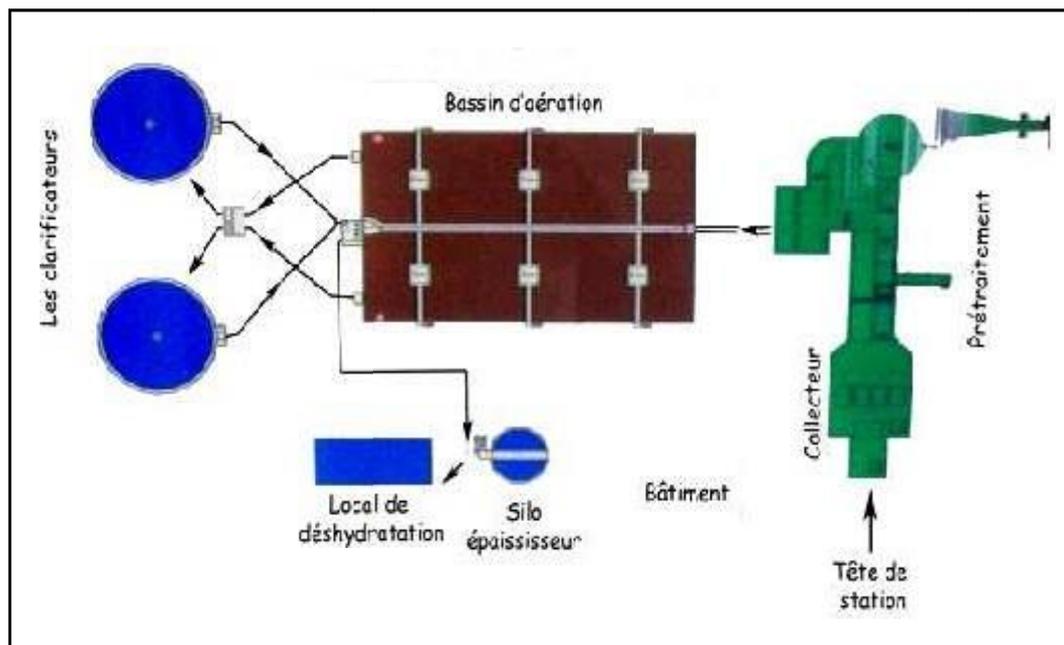


Figure V.2 : Synoptique de la STEP de Tipaza

V.3. Description de la station d'épuration :

L'épuration d'une eau usée peut être complexe, en particulier lorsque l'eau est fortement chargée en contaminants. La station d'épuration de Chenoua est chargée de contrôler et de vérifier la conformité ou la non-conformité de trois communes : Koléa, Hadjout et Chenoua. Cette vérification est effectuée par le service de laboratoire, puis les résultats sont transmis au service d'exploitation qui peut formuler des remarques ou mener une enquête pour déterminer la cause de la non-conformité de certains paramètres. Il est important de connaître les procédures nécessaires pour transformer une eau polluée, contaminée et remplie d'impuretés toxiques en une eau épurée.

• Traitement de l'eau :

Le traitement au fil de l'eau comporte les étapes suivantes :

- ✓ Arrive des eaux by-pass en cas d'orage vers l'oued à partir du regard amont au poste de relevage de station
- ✓ Dégrilleur grossier, poste de relevage, dégrillage fin.
- ✓ Dessablage, dégraissage, déshuilage.
- ✓ Traitement biologique.
- ✓ Décantation et clarification
- ✓ Epaisseur des boues.

✓ Déshydratation mécanique.

• **Traitement des boues :**

Le traitement des boues issues de la décantation /clarification comporte les étapes

Suivantes :

✓ Un épaisseur statique

✓ Une déshydratation mécanique

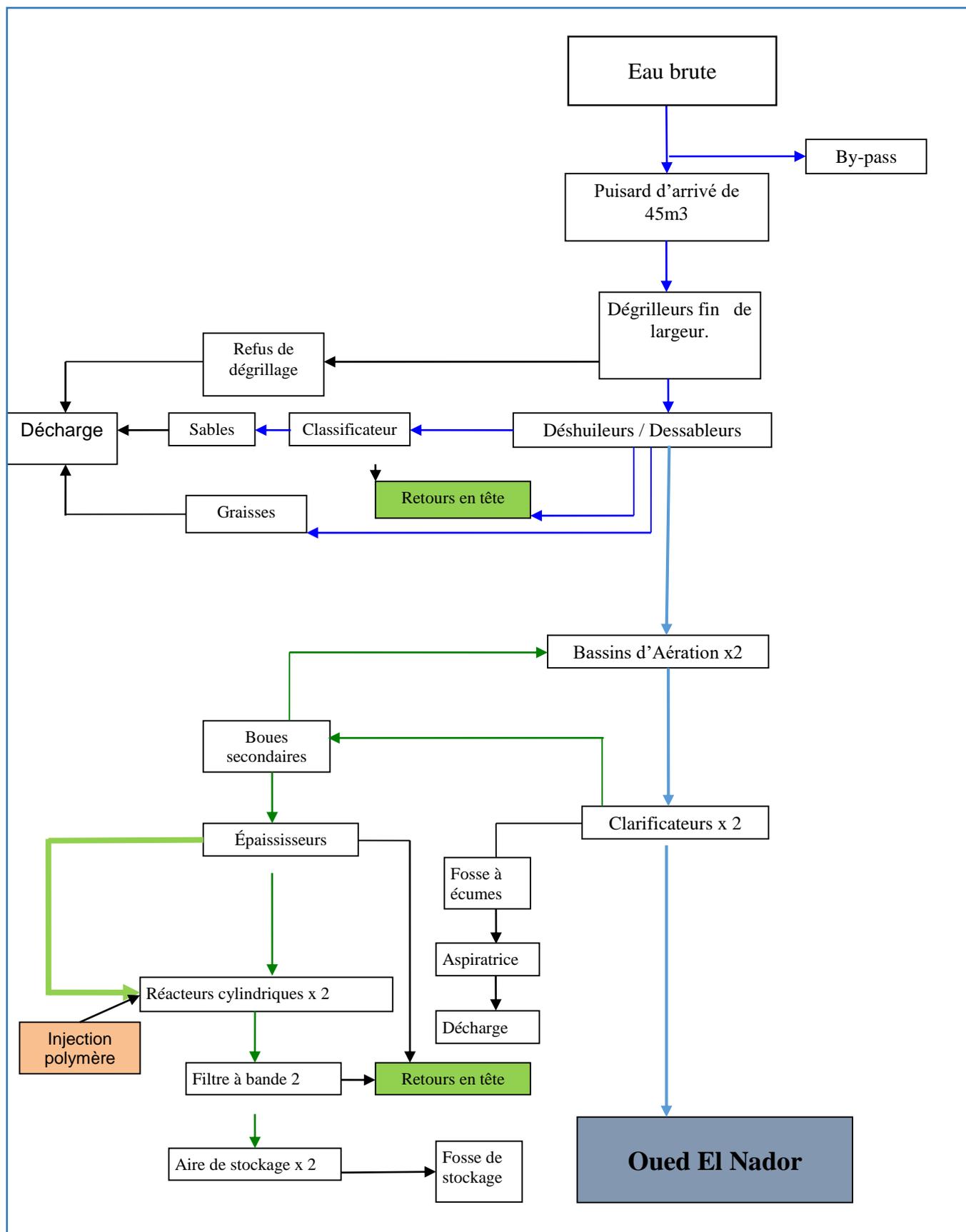


Figure V.3 : Différents Procédé d'épuration des eaux usées de la STEP

V.4. Le poste de relevage :

Les eaux brutes à traiter sont acheminées vers la tête de station où se trouve un poste de relevage comprenant un puisard de 45 m³ :

- ✓ Ce puisard est divisé en deux compartiments. Le premier compartiment est équipé d'un piège à cailloux et d'une grille grossière avec des barreaux plats inclinés à 70° et espacés de 5 cm. Cette grille est nettoyée manuellement et a une largeur de 150 cm.
- ✓ Le deuxième compartiment est un compartiment d'aspiration de 30 m³ équipé de 4 pompes : 3 pompes en service et 1 pompe de réserve.

En réalité, le parcours des eaux usées commence lorsqu'elles rejoignent les égouts. Les eaux usées s'écoulent gravitairement à travers les égouts jusqu'à atteindre le poste de relevage. La STEP de Chenoua est reliée à 6 postes de relevage en raison de la topographie du terrain qui ne permet pas un acheminement direct des eaux usées vers la station d'épuration en raison de la faible inclinaison du terrain. Ainsi, au moins deux pompes sont installées à chaque poste de relevage. Parmi ces postes, on trouve notamment :

- Pr CRF, port Tipaza
- Pr chenoua1, chenoua2, chenoua3
- Pr Sidi moussa

Tous les postes de relevage mentionnés précédemment nécessitent un système de refoulement pour transporter les eaux usées contaminées vers la STEP. Cependant, il existe également un réseau d'assainissement qui permet aux eaux usées de rejoindre directement la station par gravité, sans nécessiter de pompage supplémentaire.

a. Ouvrages de prétraitement :

Cette étape vise à éliminer les impuretés grossières de l'eau brute. Elle peut inclure des processus tels que la filtration pour éliminer les débris et les particules en suspension, ainsi que la décantation pour séparer les matières solides plus lourde.



Figure V.4 : Photo illustrant le prétraitement.

1. Dégrilleur fin :

Une fois les eaux acheminées, elles passent à travers un dégrilleur fin avec un espacement de 20 mm. Les déchets retenus par le dégrilleur fin sont automatiquement déversés sur un tapis convoyeur qui les transporte vers une benne pour évacuation ultérieure dans des bacs. Cependant, au niveau de cette benne, il y a deux sondes qui mesurent le niveau en amont et en aval afin de détecter toute différence de niveau causée par l'accumulation de déchets. Lorsqu'une différence de niveau est détectée, une commande est donnée pour évacuer et éliminer automatiquement ces éléments du dégrilleur fin.

Les déchets solides collectés dans le conteneur sont stockés au centre d'enfouissement technique (C.E.T) de Sidi Rached.



Figure V.5 : Photo illustrant le dégrilleur fin

2. Dessableur-Déshuileur :

Dans la partie de dessablage/déshuilage, on trouve des impuretés dans l'eau. Cette étape est équipée d'un supprimeur d'air et d'une pompe. Notre installation est en forme de cône, avec le supprimeur d'air attaché à un tuyau qui descend jusqu'au fond, créant ainsi des bulles d'air. Les huiles, étant plus légères, remontent à la surface tandis que le sable se dépose au fond.

Ensuite, le rôle de la pompe entre en jeu. Elle aspire tout le sable à travers une conduite d'alimentation de type air lift. Quant aux huiles, elles sont raclées vers un puisard de stockage spécifique par le supprimeur d'air pour l'entraînement des flottants. Les deux matières, sable et huiles, sont acheminées séparément vers des bacs en vue de leur élimination. Le sable est stocké dans une benne de stockage avant d'être évacué vers le centre d'enfouissement technique (C.E.T).



Figure V.6 : Etape de dessablage/dégrillage (PP)

3. La chambre de distribution :

Située en aval du dessableur-déshuileur, une chambre de répartition est installée pour assurer une répartition équitable des débits. Cette chambre est spécifiquement dimensionnée pour un débit de 1176 m³/h. Elle divise ce débit en trois parties égales à l'aide de déversoirs identiques.

Deux de ces déversoirs alimentent les deux couloirs du bassin biologique, tandis que le troisième déversoir est prévu pour une future extension de la station. Cela permet d'assurer une répartition adéquate des débits entre les différentes parties du système.

b. Traitement biologique :

Pour éliminer les matières organiques (MO) qui restent dans les eaux usées sous forme de particules en suspension, on utilise des bassins biologiques. La station d'épuration (STEP) dispose de deux bassins biologiques, chacun avec deux filières. Chaque filière est composée de trois aérateurs de surface. Les dimensions de chaque bassin sont de 77m de longueur, 21.55m de largeur et une hauteur d'eau de 5.50m, avec un volume de 6000m³.

L'objectif principal est d'éliminer les dernières pollutions en utilisant des bactéries épuratrices qui dégradent les matières organiques par une oxydation directe. Ces bactéries utilisent l'oxygène dissous dans l'eau pour cette digestion aérobie. Pour optimiser l'apport en oxygène, six aérateurs de surface sont utilisés. Cette aération, combinée au maintien d'une concentration constante de boues fraîches, active l'action de digestion, d'où le terme "boues activées".

Après un séjour suffisamment long d'environ deux jours, la liqueur mixte résultante est envoyée vers les deux clarificateurs. Ces clarificateurs assurent la séparation solide-liquide par décantation, permettant ainsi de séparer les particules solides des eaux épurées.

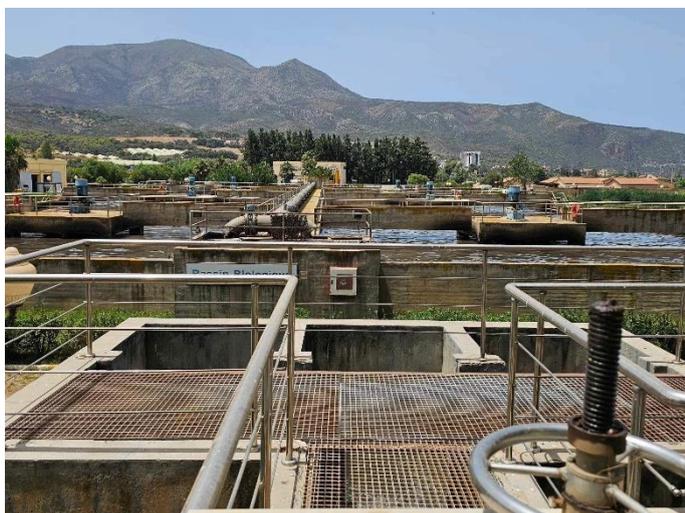


Figure V.7 : Bassin Biologique ou Bassin d'aération



Figure V.8 : Photo illustre l'aérateur

❖ Clarificateur :

Après le bassin biologique, la boue et l'eau traitée sont dirigées vers les clarificateurs, également appelés bassins de décantation. La STEP dispose de deux clarificateurs, qui sont des ouvrages circulaires de base cylindro-conique. Chaque clarificateur a un volume de 2961 m³, une hauteur d'eau moyenne de 3.68m et un diamètre de 30m.

Les clarificateurs sont conçus comme des salons où la liqueur mixte peut tranquillement se reposer pour permettre la décantation, c'est-à-dire la séparation de l'eau traitée et de la boue. À la sortie du bassin de décantation, on trouve deux tuyaux : l'un conduit directement au canal pour rejeter l'eau épurée dans l'environnement naturel, tandis que l'autre contient la boue et la transporte vers l'épaississeur.

Le processus de décantation vise à séparer et traiter les matières dont la densité est supérieure à un. Les boues qui se déposent au fond du clarificateur sont évacuées à l'aide d'un pont racleur. Les clarificateurs ne retiennent exclusivement que les boues floculeuses, constituées des matières organiques présentes dans l'effluent. Simultanément, les eaux clarifiées s'écoulent vers l'extérieur par des lames déversantes en forme de dents de scie.



Figure V.9 : Bassin de décantation

❖ **pompes de recirculation des boues :**

Le poste de reprise des boues en aval des décanteurs dans la filière (boue) permet la recirculation des boues activées et le pompage des boues en excès vers l'épaississeur.

c. Traitement de la boue :**1. Epaississeur :**

L'épaississeur statique gravitaire se distingue principalement par son temps de séjour de 3 jours, son diamètre de 11m et son volume de 380m³. L'épaississement statique repose uniquement sur l'action de la force de gravité. Cette force permet de stabiliser la boue, qui est composée de sable et de bactéries. Après un certain temps de séjour, la boue se sépare en deux parties distinctes.

La partie supérieure de la boue, appelée boue de recirculation (BR), est transportée vers le bassin biologique par une pompe de recirculation. Cette boue est réintroduite dans le processus pour maintenir l'activité biologique dans le bassin biologique.

La partie inférieure de la boue, située au fond de l'épaississeur, est extraite par une pompe d'extraction simple. Cette boue est ensuite refoulée vers la salle de déshydratation, où elle sera traitée ultérieurement pour réduire sa teneur en eau.

On résumé les Caractéristiques de l'ouvrage dans ce tableau :

Tableau V.1 Caractéristique de l'épaississeur.

Paramètre	Dimension
Diamètre	11m
Hauteur	4m
Volume	380 m ³
Production des boues	130 m ³ /jour
Siccité des boues épaissies :	3,5% (35Kg/m ³)
Temps de séjours des boues	3 jours



Figure V.10 : Photo illustre l'épaississeur

2. Déshydratation :

Afin de faciliter la déshydratation des boues, l'ajout d'un polymère est essentiel pour favoriser leur floculation à l'intérieur d'un réacteur cylindrique. Le polymère est mélangé avec les boues pour améliorer leurs caractéristiques de déshydratation. Il permet d'augmenter les concentrations en matière sèche. Le dosage moyen du polymère est généralement de 4 à 6 kg par tonne de boue sèche.

Une fois le mélange effectué, les boues sont transférées vers des filtres à bande pour être déshydratées. Le principe du filtre à bandes consiste à faire passer les boues, préalablement égouttées par gravité dans une zone de drainage, entre deux toiles filtrantes. La pression est exercée par le serrage de ces deux toiles lors de leur passage sur un ou plusieurs rouleaux ou tambours, sur lesquels elles s'enroulent.

À la STEP de Chenoua, un filtre à bandes est utilisé. Il a une capacité de stockage de 378 kg de boues à traiter et un débit horaire de 10.8 m³/h. Ce filtre à bandes permet d'effectuer efficacement le traitement des boues en vue de leur déshydratation.



Figure V.11 : Photo illustre l'étape de déshydratation

3. Préparation du polymère :

Le polymère utilisé sous forme de poudre doit être dissous dans une concentration de 0,1%. Pour faciliter cette préparation, une unité de préparation automatique est prévue au niveau de la station. Cette unité est équipée de bacs de préparation qui sont alimentés en eau (pour la dilution) par l'intermédiaire d'une pompe spécifiquement conçue pour cela, appelée pompe de lavage. Un doseur sera utilisé pour injecter la quantité appropriée de polymère dans la solution d'eau, afin d'obtenir la concentration de 0,1% requise.



Figure V.12 : Photo illustre la préparation du polymère.

Conclusion :

Ce chapitre nous a permis d'acquérir une compréhension approfondie des différents ouvrages qui composent la STEP de Chenoua, ainsi les caractéristiques de fonctionnement de chaque ouvrage.

Malgré le coût élevé d'investissement et d'entretien d'une station d'épuration à boues activées, il est essentiel de souligner que ce procédé offre de bons résultats en termes d'épuration et est largement utilisé dans le pays. C'est pourquoi nous avons choisi d'étudier les performances de la STEP à boues activées de Chenoua et d'évaluer la possibilité de réutiliser les eaux épurées de cette dernière. L'objectif est de déterminer si ces eaux peuvent être utilisées dans d'autres domaines tels que l'irrigation agricole ou l'industrie

**Chapitre VI : Etude des
performances épuratoires de la
STEP de Chenoua**

Introduction :

L'évaluation de fonctionnement des STEP est basée sur des résultats et des autocontrôles, un suivi rigoureux des STEP est indispensable pour assurer la bonne gestion de l'infrastructure existante.

Ce chapitre est consacré à l'étude des performances épuratoires de la STEP de Chenoua. Cela consiste à identifier les indicateurs de suivi et d'optimisation en traitant les données disponibles pour les deux dernières années à savoir 2021 et 2022.

Ces indicateurs permettant de mettre en évidence les optimisations nécessaires et servirons une fois mis en place. Ces indicateur (pH, MES, DBO5, azote, phosphore...), sont des paramètres permettant d'évaluer les performances et la qualité du traitement mis en place.

a. VI.1. Matériels et méthodes**VI.1.1. Echantillonnage :**

Le travail a été réalisé au niveau de la station d'épuration de Chenoua (Tipaza).durant un stage d'un mois. Le but de cette étude est de vérifier les performances de la STEP

Pour étudier les caractéristiques des eaux usées épurées de la STEP de Chnoua, deux points de prélèvement ont été choisis par la station :

- Premier point : prélèvement d'eau brute (EB) à l'entrée de la STEP, après le dégrilleur fin ;
- Deuxième point : prélèvement d'eau épurée ou traitée (ET) à la sortie de la STEP, après la décantation secondaire.

Le prélèvement d'eau usée a été effectué à partir de Préleveurs automatiques .En cas de présence de préleveurs non asservi au débit le réglage se fait par rapport au temps avec la reconstitution du prélèvement proportionnel au débit et Le temps de remplissage de chaque flacon est de 24h divisé par le nombre de flacons du préleveur (12 flacons), donc Chaque 12min on prélèvera 100ml pendant 2h.

VI.1.2. Les principaux paramètres analysés :

Une fois récupérés les échantillons, ils seront conservés jusqu'à l'analyse dans un lieu frigorifique au laboratoire. Les principaux paramètres a analysés à l'entrée et à la sortie de la STEP sont : La température, le pH, la conductivité électrique (CE), MES, DBO5, DCO, le

phosphore totale, les composés azotés (nitrates, azote totale, l'azote ammoniacale) et les résultats bactériologiques. Notant que les analyses sont faites chaque jour (journalières).

VI.1.3. Indicateurs de performances :

Les indicateurs de performances sont des paramètres qui nous aident à évaluer la performance d'un système ou d'un processus, la qualité d'un service... et de suivre dans le temps les résultats concernant la qualité de l'eau.

VI.2. Résultats et discussions :

Dans ce chapitre et d'après les résultats d'analyses donnés par la STEP de Chenoua, on va les représentés sous formes des graphes.

VI.2.1. Evolution de la charge hydraulique :

Le graphe ci-après représente la variation mensuelle de la charge hydraulique qui entre à la STEP pendant les deux dernières années à savoir 2022 et 2023 :

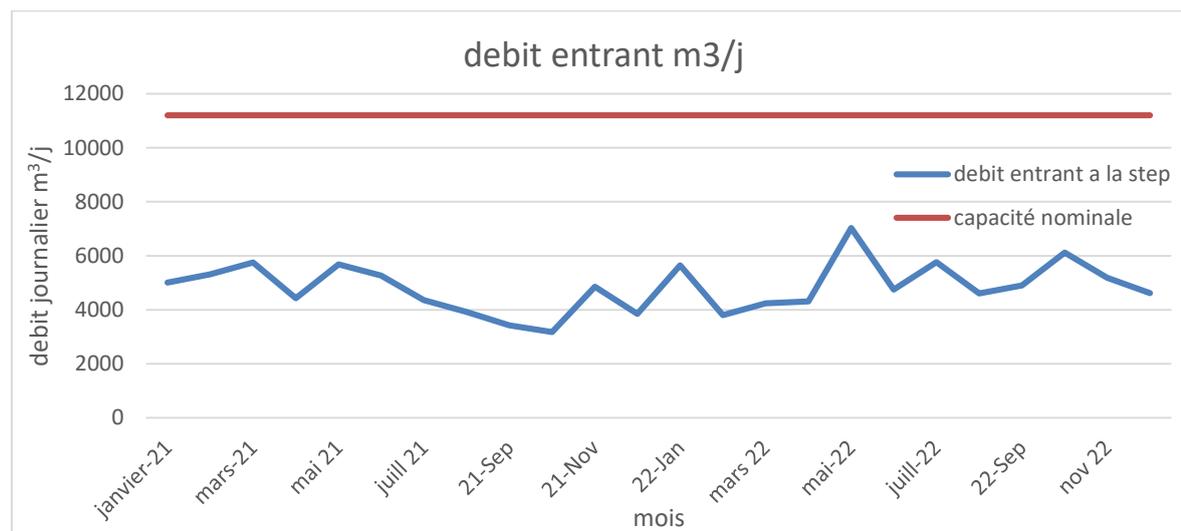


Figure VI.1 : Évolution moyenne mensuelle des débits des eaux brutes de la STEP en 2021-2022.

A l'entrée de la station d'épuration, les débits sont variables, allant à 3175.19 m³/j mesuré en octobre 2021 à 7024.36 m³/j en mai 2022 avec une valeur moyenne qui est de l'ordre de 4832.91 m³/J, représentant respectivement 28.31 %, 62.71% et 43.15% de la capacité nominale de la STEP, qui est de 11200 m³/j.

VI.2.2. Évolution des paramètres physico-chimiques :

a. La température :

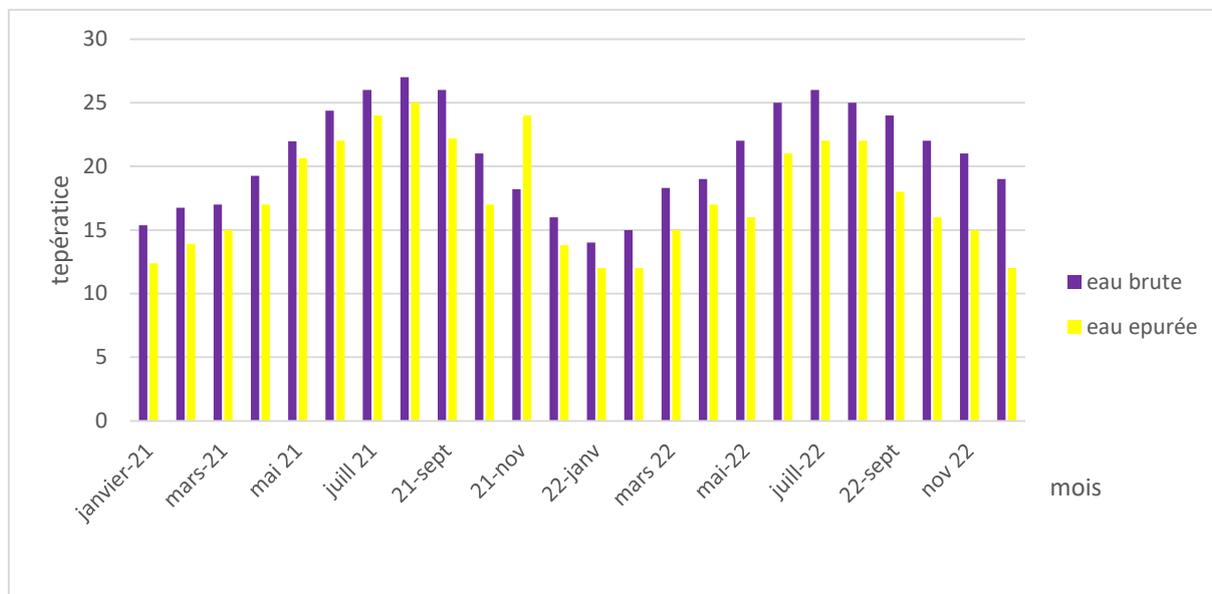


Figure VI.2 : Évolution moyenne mensuelle de la température à l’entrée et à la sortie de la STEP en 2021-2022

A l’entrée de la station, les valeurs de la température varient entre 14 °C et 27 °C avec une moyenne de 20,79 °C).

Pour les eaux épurées les valeurs de la température oscillent entre 8 °C et 12 °C avec une moyenne de 25. Les températures obtenues à la sortie sont inférieures aux normes d’irrigation (30 °C).

b. Le potentiel hydrogène (pH) :

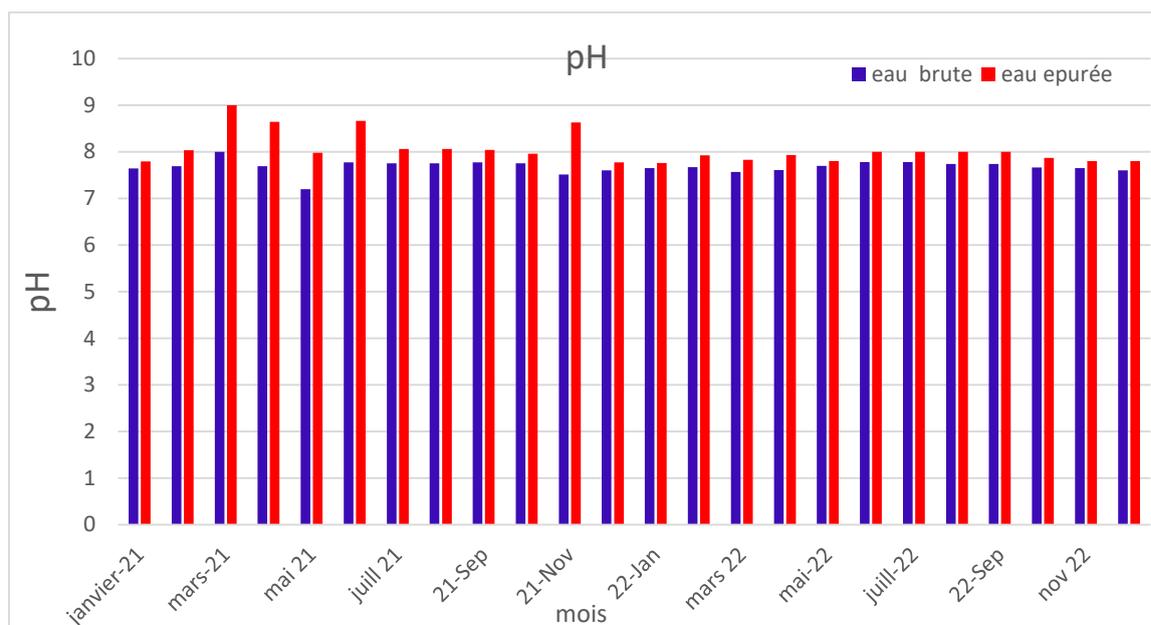


Figure VI.3 : Évolution moyenne mensuelle du pH à l’entrée et à la sortie de la STEP de Chenoua en 2021-2022

A l’entrée de la station, les valeurs du pH varient entre 7,2 et 8 avec une moyenne de 7,67. Ces valeurs sont voisine de la neutralité et sont conformes à celles obtenues dans les eaux résiduaires urbaines et rentrent dans de l’intervalle favorisant le développement des bactéries épuratrices (6,5-8,5).

Pour les eaux épurées les valeurs du pH oscillent entre 7,76 et 9 avec une moyenne de 8. Une telle amplitude de Ph n’aura aucun impact sur l’environnement en générale, sur la flore et la faune en particulier vu que ces valeurs obtenues sont conformes à la norme d’irrigation. ($6,5 \leq \text{pH} \leq 8,5$)

c. La conductivité électrique (CE) :

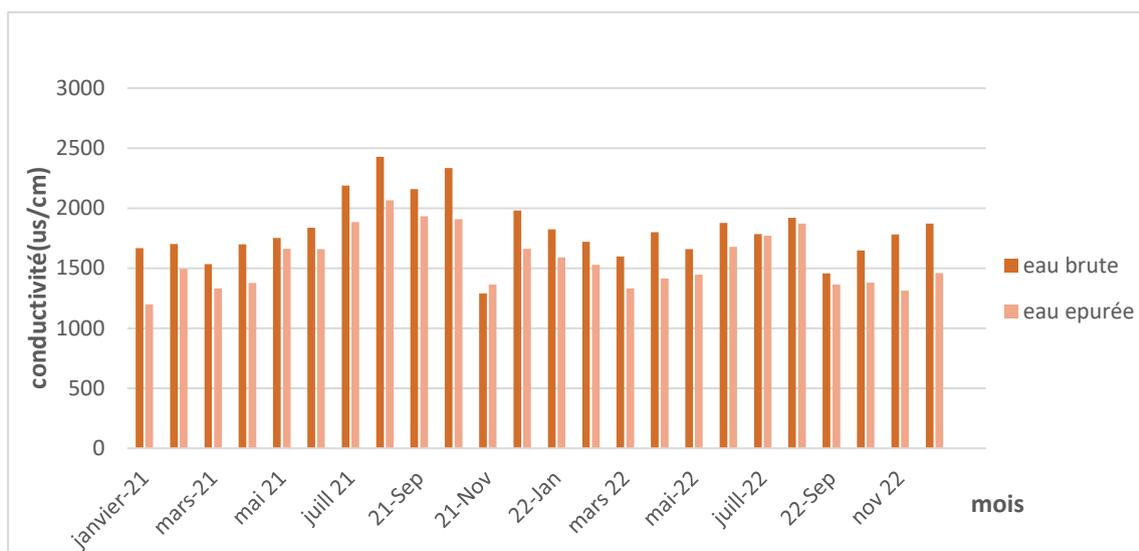


Figure VI.4 : Évolution moyenne mensuelle de la CE à l’entrée et à la sortie de la STEP en 2021-2022.

La conductivité électrique à l’entrée de la STEP présente des variations plus au moins importantes d’une période à une autre. Avec des valeurs qui varient de 1289 µS/cm (novembre 2021) à 2428 µS/cm (août 2021) et une moyenne de 1812.70 µS/cm.

A la sortie de la STEP on a une légère différence dans les valeurs (les valeurs à la sortie sont inférieure à celle d’entrée pendant 22 mois), les valeurs sont comprises entre 1200 µS/cm janvier 2021) et 2067 µS/cm (août 2021) avec une moyenne de 1570.38 µS/cm.

Les valeurs des eaux épurées ne dépassent pas les normes d’irrigation qui est 3ds/m(3000 µS/cm) , permet de classer la STEP dans la catégorie 3 (750 µS/cm-2250 µS/cm), donc des eaux à une à haute salinité donc on doit éviter à irriguer les plantes sensibles aux sels même sur des sols ayant un bon drainage.

d. Les matières en suspensions MES :

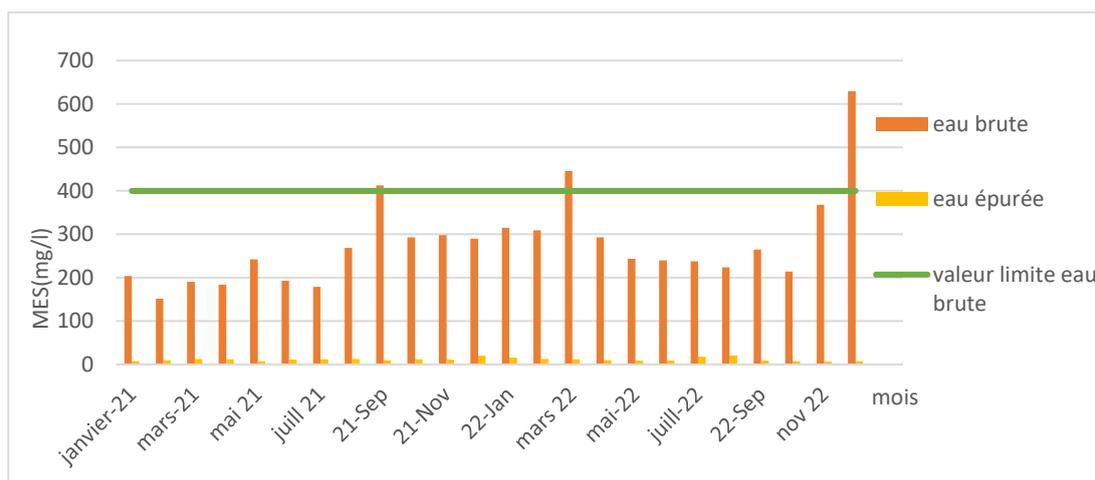


Figure VI.5 : Évolution moyenne mensuelle des MES à l’entrée et à la sortie de la STEP en 2021-2022.

Les eaux usées brutes arrivant à la STEP de Chenoua sont caractérisées par une concentration moyenne de 278.91 mg/l en MES, avec une concentration maximale de 630 mg/l et une concentration minimale de l’ordre de 152 mg/l qui représente respectivement 53.67%, 143.83% et 34.70% de la capacité nominale de la STEP estimé à 438 mg/l,

Sachant que cette valeur a été dépassée 3 fois, une fois en septembre 2021 (410 mg/l) et une fois en mars 2022 (446 mg/l) et l’autre en décembre 2022 (630 mg/l) cette augmentation est due à l’apport solide dans les canalisations par temps de pluie (réseau unitaire).

A la sortie de la station, les valeurs de MES oscillent entre 7 mg/l et 21 mg/l comme valeurs extrêmes minimales et maximales, respectivement, avec une moyenne de 11.67 mg/l. Notant que les valeurs moyennes manuelles de MES à la sortie sont conformes à la norme des rejets prescrite dans le journal officiel de la république algérienne (MES=30 mg/l) et conformes aussi à la norme de la réutilisation en irrigation (120mg/l).

Le rendement d’élimination varie entre 86,18% et 98,88% avec une moyenne de 92,53%.

e. La demande biologique en oxygène DBO₅

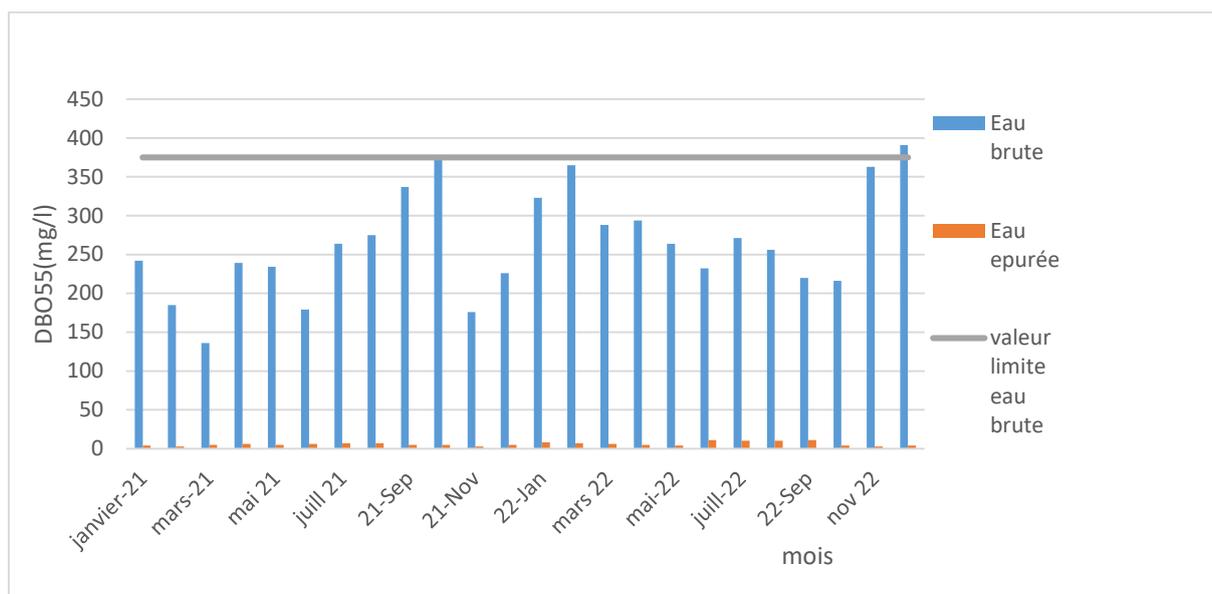


Figure VI.6 : Évolution moyenne mensuelle de la DBO₅ à l’entrée et à la sortie de la STEP en 2021-2022

L’analyse des concentrations de la DBO₅ de l’eau brute à l’entrée de la station aboutit à une moyenne de 264.54 mg/l avec des valeurs minimale et maximale de l’ordre de 136 mg/l et 391 mg/l respectivement, alors qu’elle est conçue pour une capacité nominale de 375 mg/l.

Les valeurs moyennes mensuelles de la DBO₅ ont dépassé la capacité nominale pendant 1 mois (décembre 2022). Sachant qu’en Algérie la norme de rejet et la norme de la réutilisation en irrigation de la DBO₅ est estimée à 30 mg/l, la valeur moyenne de la DBO₅ des eaux épurées au niveau de la STEP de Chenoua est de 6 mg/l avec des valeurs extrêmes de 3 mg/l et 11 mg/l, donc les résultats réponds a ses normes.

Même si des valeurs de la DBO₅ supérieures à la capacité nominale de la STEP ont été enregistrées pendant le mois de décembre à l’entrée de cette dernière, les rendements d’abattements de la DBO₅ obtenus sont élevés allant de 99.17% (novembre 2022).

Ce rendement est conforme au procédé par boues activée à faible charge.

f. La demande chimique en oxygène DCO

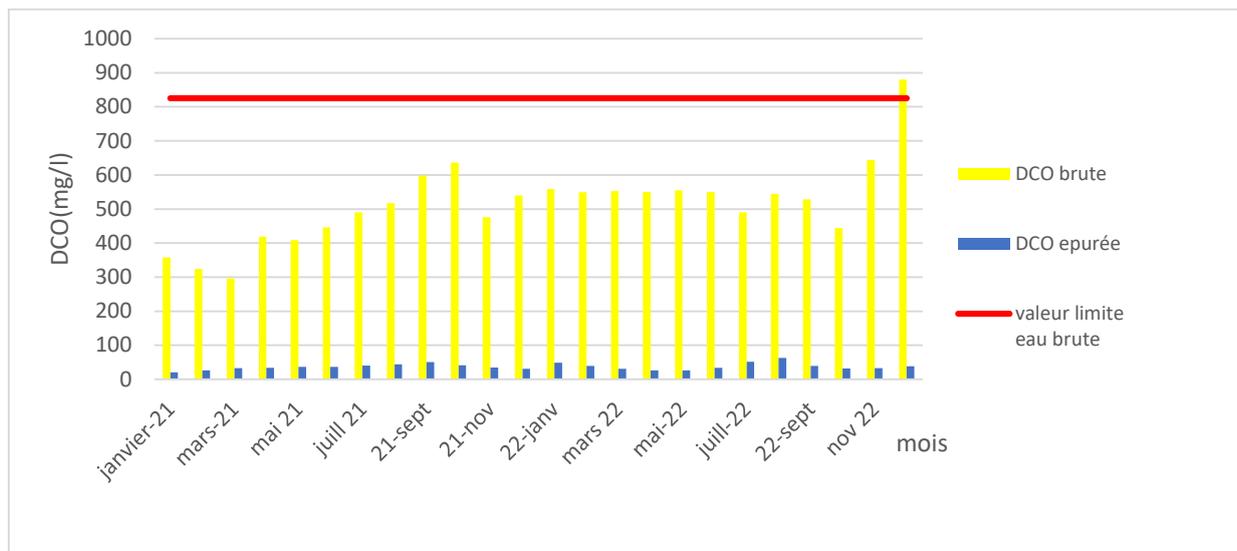


Figure VI.7 : Évolution moyenne mensuelle de la DCO à l’entrée et à la sortie de la STEP en 2021-2022

Les teneurs en DCO enregistrées à l’entrée de la STEP sont comprises entre 296mg/l et 880 mg/l, avec une moyenne de 514.87 mg/l. La capacité nominal de la STEP qui est de 825 mg /l a été dépassé pendant un mois on décembre 2022 (880 mg/l) .Ceci est relié à la mauvaise estimation de la DCO lors du dimensionnement.

A la sortie, les valeurs oscillent entre 21 mg/l et 63 mg/l avec une moyenne de 37.16 mg/l, ces valeurs sont conformes à la norme algérienne pour l’irrigation (entre 90 mg/l et 120 mg/l).

Les rendements d’abattements de la DCO sont compris entre 85,20% et 94.5% avec une moyenne de 89.85%.

g. Phosphore totale Pt :

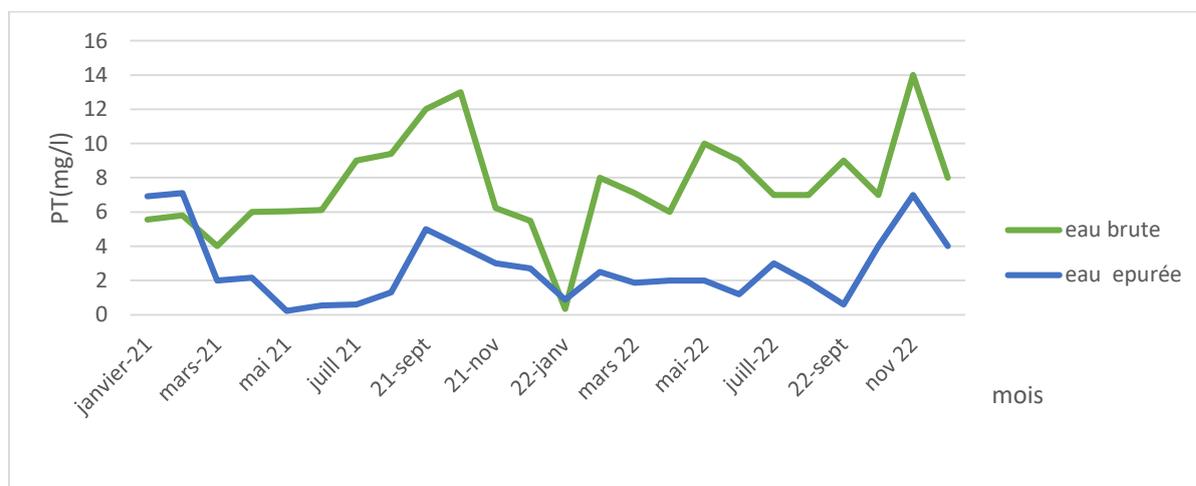


Figure VI.8 : Évolution moyenne mensuelle du phosphore à l’entrée et à la sortie de la STEP en 2021-2022

Les concentrations du phosphore total à l'entrée de la STEP varient entre 0.33 mg/l et 14 mg/l avec une valeur moyenne de 7.54 mg/l. A l'exception de la valeur enregistrée en septembre, octobre 2021 et novembre 2022 toutes les autres valeurs sont inférieures à la capacité nominale de la STEP en termes de phosphore total, sachant que cette dernière est de l'ordre de 10 mg/l.

Les concentrations en phosphore total à la sortie de la station varient entre 0,20 mg/l et 7.1 mg/l avec une valeur moyenne de 2.77 mg/l. ces valeurs obtenues ne dépassent pas la norme fixée par la norme algérienne qui est de 10 mg/l.

Les rendements d'abattements du phosphore total oscillent entre 51,5% et 60 % avec une moyenne de 70,6%. on constate une performance d'élimination très variable durant les deux années observées.

h. Azote total :

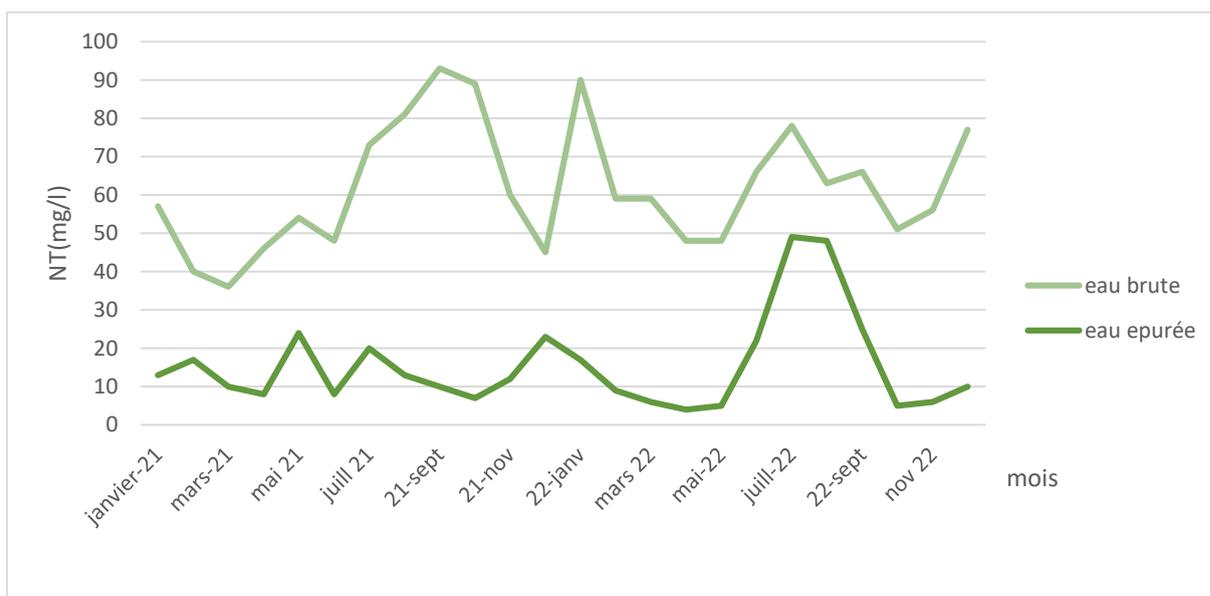


Figure VI.9 : Évolution moyenne mensuelle de l'azote totale à l'entrée et à la sortie de la STEP en 2021-2022.

L'analyse des eaux usées à l'entrée de la STEP montre que les valeurs en azote total varient entre 36 mg/l et 93 mg/l avec une moyenne de 61.79 mg/l. Ces teneurs décrivent des effluents d'origine urbaine puisque leurs Concentrations sont inférieures à 100 mg/L.

A la sortie, les concentrations en azote total oscillent entre 4 mg/l et 49 mg/l avec une moyenne de 15.45 mg/l. ces valeurs dépassent la norme fixée par l'OMS et par le journal officiel de la république algérienne qui est de 30 mg/l pour l'irrigation pendant 3mois successive juillet aout

septembre et dépasse dans la plupart des cas les normes de rejets fixée par l’OMS et par le journal officiel de la république algérienne qui est de 10 mg/l. Le mauvais abattement en azote est dû principalement aux fortes charges qui arrivent à la station (des concentrations en azote qui dépassent largement la capacité nominale). On peut donc conclure que l’élimination de cette pollution azotée au sein de cette station reste Insuffisante pour un rejet au milieu naturel des eaux épurées et pour la réutilisation.

En effet, les rendements épuratoires moyens d’élimination de l’azote sont estimés à 80%

i. Les nitrates :

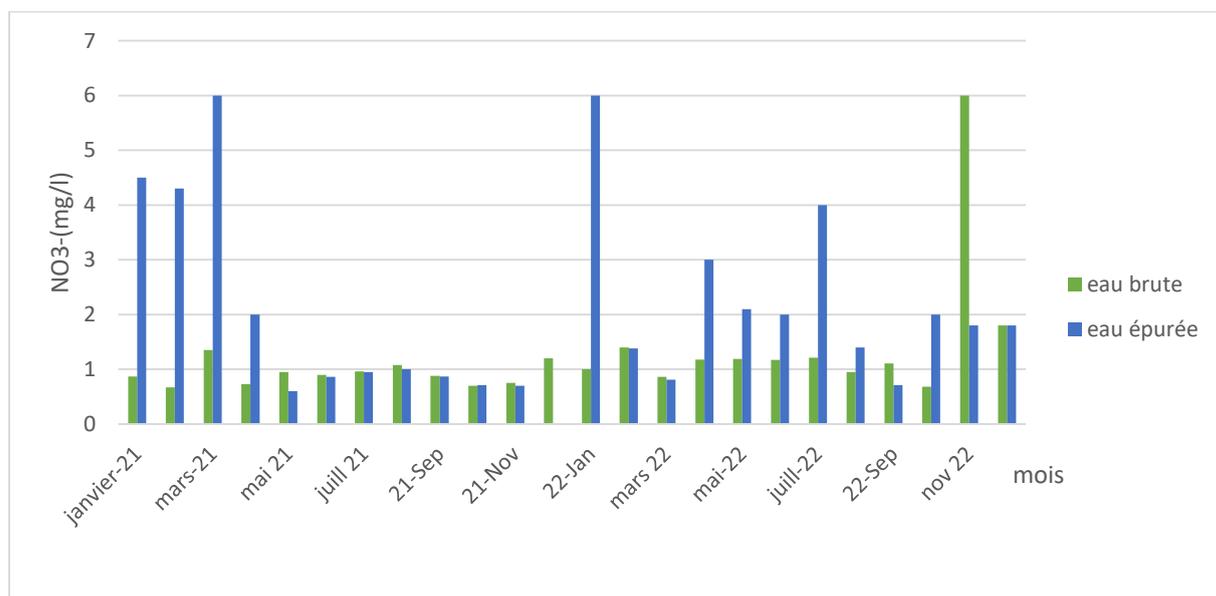


Figure VI.10 : Évolution moyenne mensuelle des nitrates à l’entrée et à la sortie de la STEP en 2021-2022

Les nitrates représentent la forme d’azote au degré d’oxydation le plus élevé présent dans l’eau. L’histogramme des teneurs en nitrates dans la STEP de Chenoua montre qu’à l’entrée les valeurs sont comprises entre 0,67 mg/l et 6 mg/l avec une moyenne de 1.23 mg/l.

A la sortie, les valeurs varient de 0,6 mg/ à 6 mg/l avec une moyenne de 2.15 mg/l, nous constatons que la plupart des concentrations des nitrates après traitement biologique sont conformes au normes ,sauf quelques faibles concentrations observées à partir du mois de mai 2021 jusqu’au mois de décembre 2021 traduisent une mauvaise nitrification dans le bassin d’aération qu’est confirmée par l’augmentation des concentrations en azote ammoniacal .Les résultats obtenus des eaux épurés ne dépassent ni les normes des rejets qui est de 10 mg/l , ni les normes des eaux destiné à l’irrigation qui et de 30mg/l recommandées par l’OMS .

j. L'azote ammoniacal :

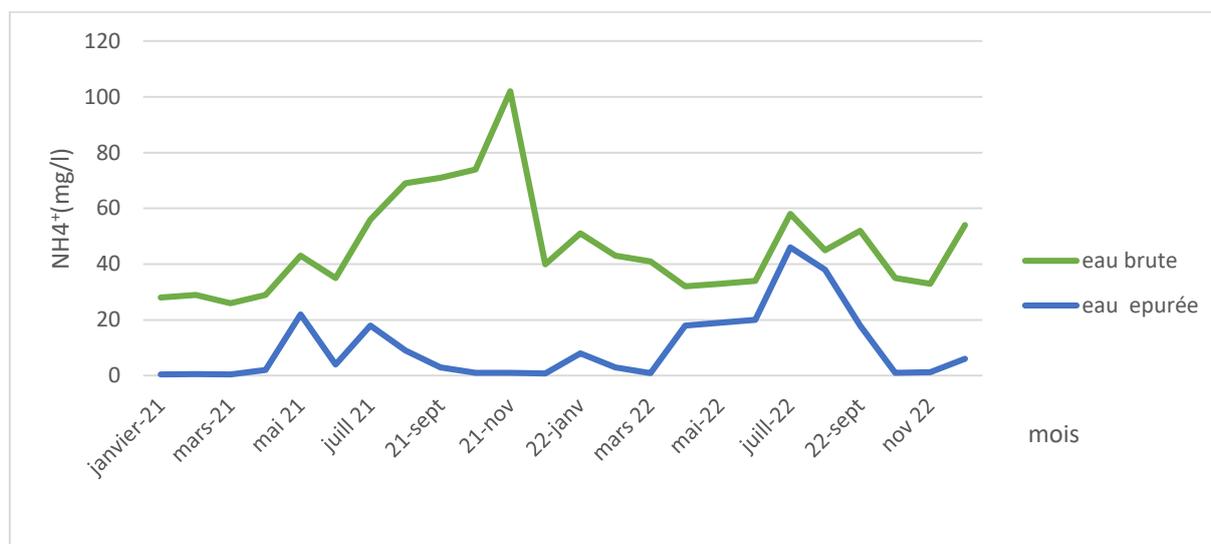


Figure VI.11 : Évolution moyenne mensuelle de NH_4^+ à l'entrée et à la sortie de la STEP en 2021-2022

A l'entrée de la station les concentrations d'ammonium varient entre 26 mg/l et 102 mg/l avec une moyenne de 46,37mg/l. Ces variations sont en fonction de la température et du temps de séjour dans le réseau de collecte.

A la sortie de la STEP, une oscillation importante des concentrations en ammonium a été observée. Allant de 0,48 mg/l à 46 mg/l avec une moyenne de 10,06 mg/l. malgré que le taux de l'ammonium ont diminué considérablement par rapport aux eaux brutes qui est liée à la présence des bactéries nitrifiantes et dénitrifiantes qui sont cultivées en culture libre (boues activées) et permettant l'oxydation de l'ammonium en nitrate (la nitrification) et la réduction de nitrate en diazote gazeux (N_2) émis dans l'atmosphère (la dénitrification) mais dans la moitié des cas ces valeurs dépassent la norme fixée par l'OMS qui est de 5 mg/l. Ces fortes concentrations peuvent être justifiées par une faible nitrification suite à une aération insuffisante, des fortes charges organiques entrantes ou bien à des toxiques (des métaux tel que Cu, Ag, Pb...) inhibant l'activité des bactéries nitrifiantes.

VI.2.3. Interprétation des indicateurs de performances (ratio) :

a. Indice de biodégradabilité : rapport DCO/DBO₅

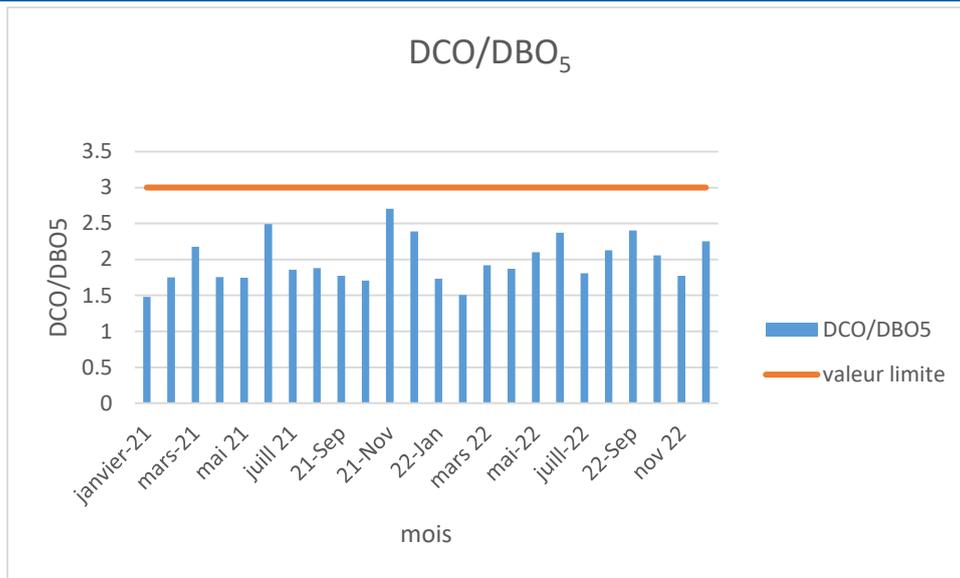


Figure VI.12 : Variation du rapport DCO/DBO₅ à l’entrée de la STEP en 2021-2022

Ce rapport représente la biodégradabilité de l’effluent. Pour notre station, il est compris entre 1.47 et 2,70 avec une moyenne de 1.98 à l’entrée de la station. La valeur moyenne nous permet de déduire que la matière organique de l’effluent est biodégradable, donc un traitement biologique est suffisant.

b. MES/DBO₅ :

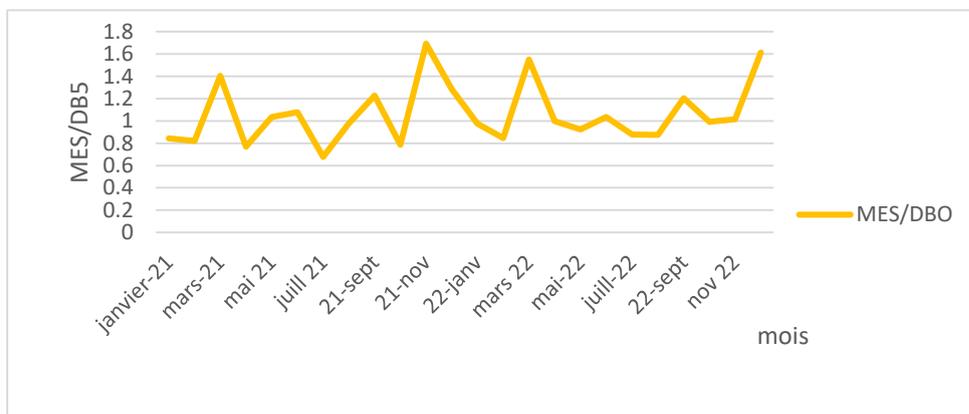


Figure VI.13 : Variation du rapport MES/DBO₅ à l’entrée de la STEP en 2021-2022

Le rapport MES/DBO₅ est un indicateur qui permet d’évaluer la répartition de la pollution particulaire (MES) par rapport à la pollution dissoute (DBO₅) dans les eaux usées. Les valeurs enregistrées varient entre 0,60 et 1.69 avec une moyenne de 1,06. Un rapport MES/DBO₅ faible indique une prédominance de la pollution dissoute, ce qui signifie que la pollution est principalement sous forme de matières organiques dissoutes dans l’eau.

c. Ratio NH_4^+/NT :



Figure VI.14 : Variation du rapport NH_4^+/NT à l'entrée de la STEP en 2021-2022

Le rapport NH_4^+/NT est un indicateur qui permet d'évaluer la pollution azotée dans les eaux usées et indique le degré d'ammonification durant le transfert de l'eau dans le réseau. Les résultats obtenus varient entre 0,49 et 1.7 avec une moyenne de 0.75.

Les résultats obtenus montrent que l'azote organique est transformé en azote ammoniacal qui est la forme d'azote la plus soluble utilisée par les bactéries épuratrices.

Il est important de surveiller le rapport NH_4^+/NT dans les eaux usées afin de comprendre la pollution azotée et d'ajuster le processus de traitement en conséquence pour assurer une élimination efficace de l'ammonium et minimiser l'impact sur l'environnement récepteur.

d. Ratio DCO/Pt :

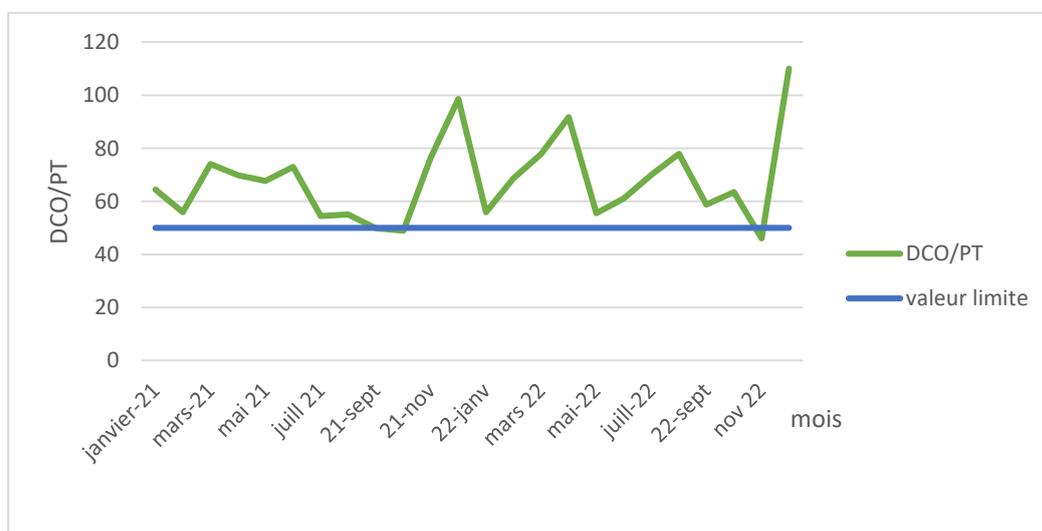


Figure VI.15 : Variation du rapport DCO/Pt à l'entrée de la STEP en 2021-2022

Le rapport DCO/Pt est un indicateur qui permet d'évaluer la concentration de matières organiques dans les eaux usées par rapport à la concentration de phosphore total. Concernant notre station, les valeurs oscillent entre 46 et 1693.93 avec une valeur moyenne de 135.94. Les valeurs obtenues sont largement supérieures à la valeur limite qui est de 50 mg/l, cela confirme le bon rendement d'élimination du phosphore (une moyenne de 85,30%). En effet, la déphosphatation biologique est efficace en présence d'une quantité suffisante de la DCO facilement biodégradable ce qui permettrait de réduire efficacement la concentration en phosphore dans l'eau traitée.

Il est important de noter que la mise en place d'un traitement biologique du phosphore nécessite une conception appropriée du système et une gestion adéquate des conditions de traitement, telles que la gestion de l'oxygène, la rétention des boues et le contrôle des nutriments. Cependant, si le rapport DCO/Pt est élevé, cela indique une aptitude favorable au traitement biologique du phosphore, ce qui peut éviter l'installation d'un poste de traitement physicochimique supplémentaire.

e. Ratio DCO/NT :

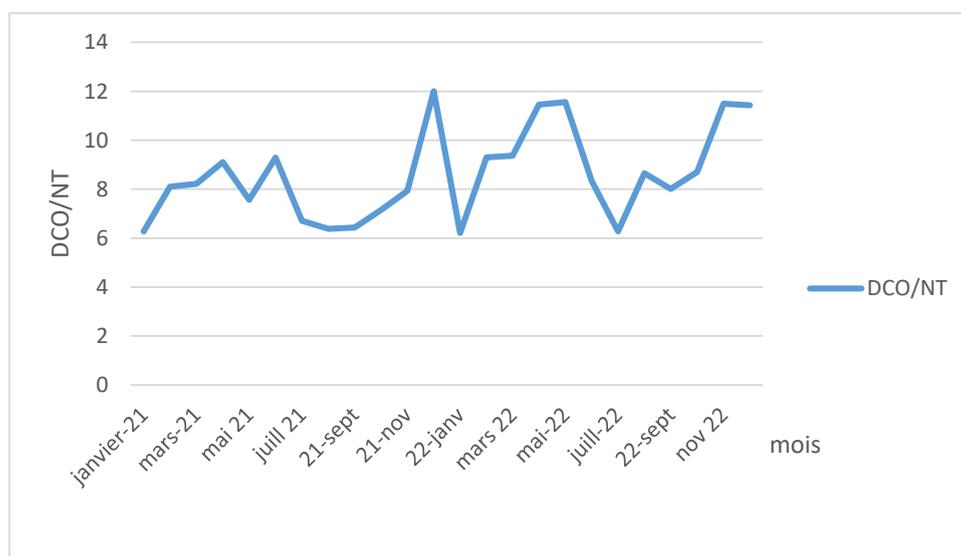


Figure VI.16 : Variation du rapport DCO/NT à l'entrée de la STEP en 2021-2022

Le rapport DCO/NT est un indicateur qui permet d'évaluer la concentration de matières organiques dans les eaux usées par rapport à la concentration d'azote total (Nt). Le rapport DCO/NT est d'environ 4 à 5 pour un effluent urbain.

Les valeurs obtenues du ratio DCO/NT sont comprises entre 6.21 et 12 avec une moyenne de 8.58. En effet, cette valeur est supérieure à la norme qui est de 4mg/ à 5mg/l pour les effluents urbaines , Cela indique une charge organique importante dans les eaux usées qui rentrent à la STEP comme les événements pluvieux importants peuvent entraîner une augmentation de la charge hydraulique dans les systèmes de traitement des eaux usées, ce qui peut perturber les processus de traitement, y compris la réaction de nitrification.

Il est donc essentiel de surveiller et de maintenir un rapport approprié de DCO/NT dans les systèmes de traitement des eaux usées afin d'optimiser les performances de dénitrification. Cela peut nécessiter des ajustements dans la gestion des charges organiques, la régulation des apports en matière organique ou l'utilisation de méthodes de traitement complémentaires pour optimiser l'élimination de l'azote dans les eaux usées.

VI.2.3.Résultats des analyses bactériologiques

a. Coliformes fécaux

Les bactéries *Escherichia coli* et les entérocoques intestinaux sont couramment utilisés comme indicateurs de contamination fécale dans les directives concernant l'eau. Ces bactéries sont présentes dans les intestins des humains et des animaux homéothermes, et leur présence dans l'eau peut indiquer une contamination par des matières fécales. Les entérocoques intestinaux, quant à eux, sont également des bactéries présentes dans les intestins humains et animaux. Comme l'E. Coli, leur présence dans l'eau peut indiquer une contamination fécale et servir d'indicateur de la qualité microbiologique de l'eau.

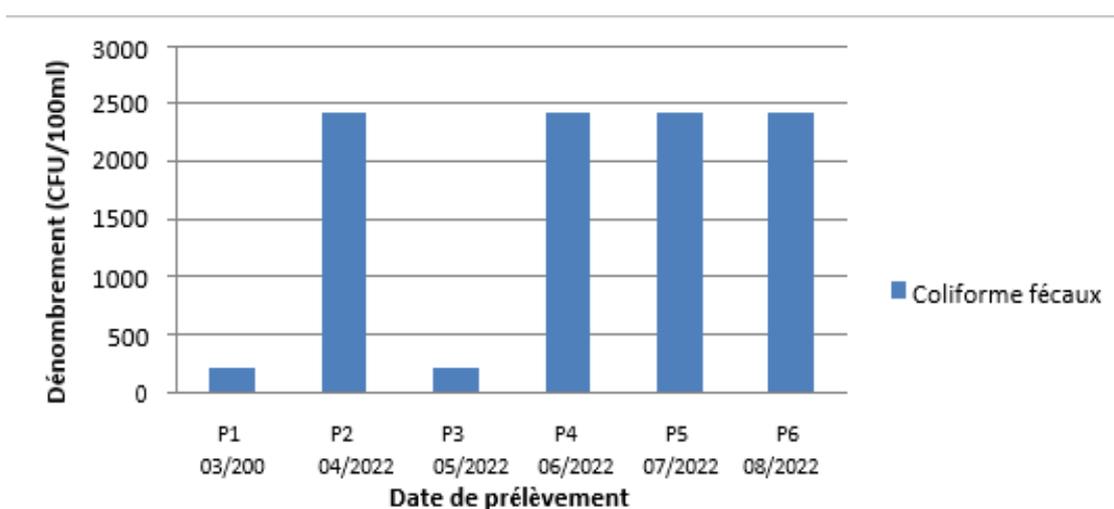


Figure VI.17 : Représentation de la variation des coliformes fécaux des eaux traitées de la STEP de CHENOUA en 2022

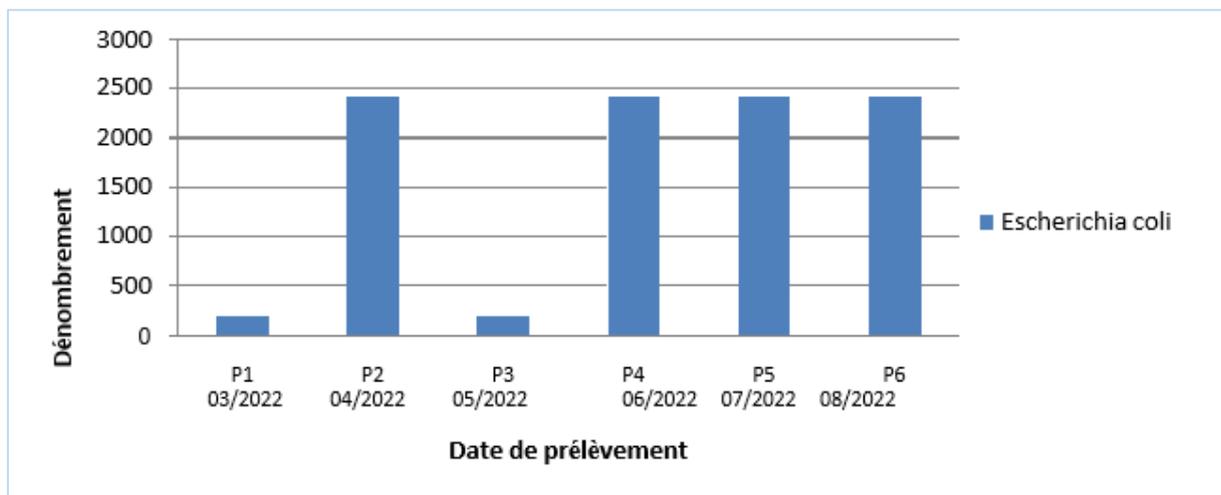


Figure VI.18 : Représentation de la variation des Escherichia coli des eaux traitées de la STEP de Chenoua en 2022.

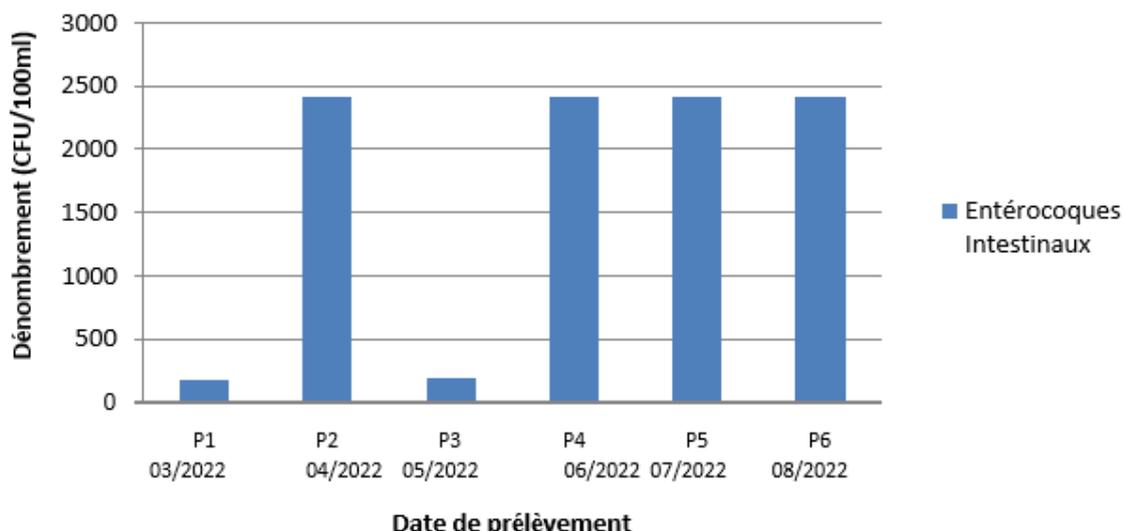


Figure VI.19 : Représentation de la variation des Entérocoques intestinaux des eaux traitées de la STEP de CHENOUA en 2022.

Nous remarquons la présence d’une charge bactérienne importante dans l’eau usée traitée de la STEP de Chenoua. Cette charge oscille entre une valeur minimale de 170CFU/100ml et une teneur maximale de 2420 CFU/100ml. On note aussi que le nombre des germes fécaux est largement supérieur aux normes de <1000CFU/100ml recommandées par l’OMS (1989), et le J.O.R.A (2012). Nous constatons donc, que les eaux usées épurées de la STEP sont de mauvaise qualité bactériologique et ne peuvent pas être réutilisé en irrigation (J.O.R.A, 2012). D’après le FAO (2003), l’eau usée qui répond aux directives de qualité de l’OMS pour un usage sans restriction (<1000 coliformes fécaux par 100 ml et < 1 œuf de nématode par litre) peut être

employée pour irriguer toutes les cultures, sans autres mesures sanitaires de protection supplémentaires. Il est important de noter que la réutilisation des eaux usées en irrigation nécessite une gestion et des protocoles appropriés pour minimiser les risques pour la santé humaine. Des mesures de traitement, de contrôle et de surveillances appropriées doivent être mises en place pour garantir la sécurité de l'eau utilisée en irrigation et la sécurité des produits agricoles destinés à la consommation humaine.

Conclusion :

D'après les résultats physico-chimiques et bactériologiques obtenus sur les eaux brutes et les eaux traitées pendant les deux années d'étude 2021 et 2022, on remarque que :

- ✓ Les résultats obtenus montrent que la majorité des paramètres physico- chimiques ne dépassent pas le seuil autorisé,

Et on note les problèmes suivants :

- ✓ Problèmes de nitrification : La nitrification est un processus clé pour éliminer l'azote total des eaux usées. Des conditions environnementales défavorables, telles qu'un manque d'oxygène dissous pour la nitrification, peuvent entraîner une inefficacité dans ces processus et une augmentation des niveaux d'azote dans l'eau traitée.
- ✓ Exception des valeurs de l'azote ammoniacal qui sont nettement supérieures à la norme et contribue dans la pollution organique des eaux traitées. La nitrification dans le bassin biologique en présence d'oxygène est le traitement le plus efficace pour la transformation et l'élimination de l'azote ammoniacal ;
- ✓ les résultats bactériologiques ont montré la présence de germes pathogènes pouvant causer des risques pour les cultures et pour l'homme.

Pour conclure, la réutilisation des eaux traitées de la station d'épuration de Chenoua ne peuvent pas être utilisés en irrigation à condition d'améliorer la qualité d'eau avec la proposition des solutions comme la proposition d'autres traitements qu'on va les citer dans le chapitre suivant.

**Chapitre VII : Solutions et
recommandations pour
améliorer la qualité d'eau**

Introduction :

Dans ce chapitre, nous nous pencherons sur les solutions visant à améliorer la qualité de l'eau de la Station d'Épuration des Eaux Usées de Chenoua, en prenant en compte les anomalies qui ont été identifiées lors de l'étude précédente. Ces anomalies ont eu un impact négatif sur la qualité de l'eau destinée à l'irrigation, ce qui a limité les performances épuratoires de la station. Afin de remédier à ces problèmes, nous proposerons des solutions spécifiques pour chaque anomalie détectée.

VII.1. Solutions et recommandations :

VII.1.1 Pour l'élimination de l'azote :

VII.1.1.1 Augmentation des nombres des aérateurs :

Dans notre STEP de Chenoua, on a des niveaux élevés de NH_4^+ (ammonium) et d'azote total, mais les niveaux de NO_3^- (azote nitrique) sont dans les normes, donc pour réduire le NH_4^+ et l'azote total il faut **l'optimisation de la nitrification** pour Assurez que notre STEP dispose des conditions optimales pour la nitrification, qui est le processus de conversion du NH_4^+ en NO_3^- . Cela peut inclure l'ajustement des débits d'air ou de l'oxygène dissous dans les bassins d'aération pour favoriser l'activité des bactéries nitrifiantes et pour cela il faut augmenter le nombre des aérateurs donc augmenter les débits d'air et favoriser la nitrification. Cela permettra d'augmenter la surface d'interface entre l'air et l'eau, ce qui facilitera le transfert d'oxygène.

Pour Augmenter le nombre d'aérateurs dans les bassins d'aération dans notre STEP voici quelques points à considérer lorsque nous envisageons d'augmenter le nombre d'aérateurs :

1. Évaluation de la capacité du système : il faut assurez que notre système de traitement des eaux usées est conçu pour accueillir un nombre supplémentaire d'aérateurs. Et on doit vérifier les capacités électriques, les dimensions des bassins d'aération et la capacité de l'alimentation en air pour déterminer si notre système peut supporter l'ajout d'aérateurs supplémentaires.

2. le Calcule des besoins en oxygène : on doit déterminer la quantité d'oxygène supplémentaire nécessaire pour atteindre les niveaux d'oxygène dissous souhaités mais puisque on n'a pas le donnés nécessaire comme la puissance de chaque aérateur on ne peut pas faire ce calcule.

3. le choix des aérateurs appropriés : il faut Sélectionner des aérateurs qui répondent aux besoins spécifiques de notre STEP. Différents types d'aérateurs peuvent avoir des performances différentes en termes de transfert d'oxygène. On doit Assurer un choix des aérateurs efficaces et adaptés à notre système.

4. la Répartition des aérateurs de manière appropriée : Une fois qu'on a décidé d'ajouter des aérateurs supplémentaires, on va répartir de manière équilibrée dans les bassins d'aération pour assurer une distribution uniforme de l'oxygène et favoriser la nitrification dans tout le système.

5. la Surveillance des niveaux d'oxygène dissous : on utilise des sondes d'oxygène dissous pour surveiller régulièrement les niveaux d'oxygène dans les bassins d'aération. Cela nous permettra de vérifier l'efficacité des nouveaux aérateurs et d'ajuster si nécessaire.

En optimisant les niveaux d'oxygène dans la station d'épuration des eaux usées, non seulement la qualité du traitement des eaux s'améliore, mais cela permet également de se conformer aux réglementations environnementales

VII.1.2 Pour la désinfection :

VII.1.2.1 Désinfection par le rayonnement UV :

VII.2.1. Définition de La désinfection :

La désinfection est la dernière étape du traitement de l'eau potable avant sa distribution. Son objectif est d'éliminer tous les micro-organismes pathogènes présents dans l'eau, bien qu'il puisse rester quelques germes non pathogènes.

La désinfection par UV est une technologie éprouvée, et son utilisation s'étend au-delà du traitement tertiaire des eaux usées. Elle est également utilisée dans des domaines tels que la stérilisation des produits agro-alimentaires et l'industrie pharmaceutique et cela démontre l'adaptabilité et l'efficacité de cette méthode dans diverses applications. (Ben Messaoud, 2009)

VII.2.2. Principe de fonctionnement :

La lumière ultraviolette (UV) est un type de rayonnement électromagnétique qui se propage sous forme d'ondes dans toutes les directions à partir de sa source émettrice, généralement une lampe. Le spectre lumineux des UV se situe entre celui des rayons X et celui de la lumière

visible, avec une gamme de longueurs d'onde allant de 200 à 390 nanomètres (nm). Ce spectre UV peut être divisé en trois bandes distinctes :

- spectre UV-A : de 315 à 400 nm
- spectre UV-B : de 280 à 315 nm
- spectre UV-C : de 180 à 280 nm

Les rayonnements UV ont une action photochimique sur les substances, ce qui se traduit par une variété de réactions, telles que :

1. Pigmentation de la peau : Les UV peuvent provoquer une augmentation de la production de mélanine dans la peau, ce qui entraîne une pigmentation, comme le bronzage.
2. Vitamination des produits alimentaires : Les UV peuvent être utilisés pour augmenter la teneur en vitamines de certains aliments, en particulier la vitamine D.
3. Destruction des micro-organismes : Les UV ont une capacité de destruction des micro-organismes, tels que les bactéries, les virus et les parasites, ce qui les rend efficaces pour la désinfection de l'eau et d'autres surfaces.
4. Formation d'ozone : Les UV peuvent également participer à la formation d'ozone dans l'atmosphère, en déclenchant des réactions chimiques avec les molécules d'oxygène.

Ces réactions variées démontrent l'impact des rayonnements UV sur différents processus chimiques et biologiques.

L'action stérilisante des rayonnements ultraviolets (UV) est due à leur capacité à perturber la structure chimique des composants des cellules vivantes. Selon la quantité d'énergie UV absorbée, la cellule vivante peut être stérilisée (effet bactériostatique) ou détruite (effet bactéricide).

L'effet bactériostatique se produit lorsque la cellule absorbe une quantité modérée d'énergie UV.

Dans ce cas, la cellule peut continuer à survivre, mais elle perd la capacité de se reproduire. Cela conduit finalement à la disparition de la cellule.

L'effet bactéricide se produit lorsque la cellule absorbe une dose d'énergie UV supérieure à un certain seuil. Cela entraîne la destruction de la cellule.

La dose d'énergie UV recommandée par les autorités sanitaires pour obtenir un effet bactéricide est généralement de 2500 micro watt-seconde par cm³.

Cette dose permet d'assurer une désinfection efficace selon les normes de santé.

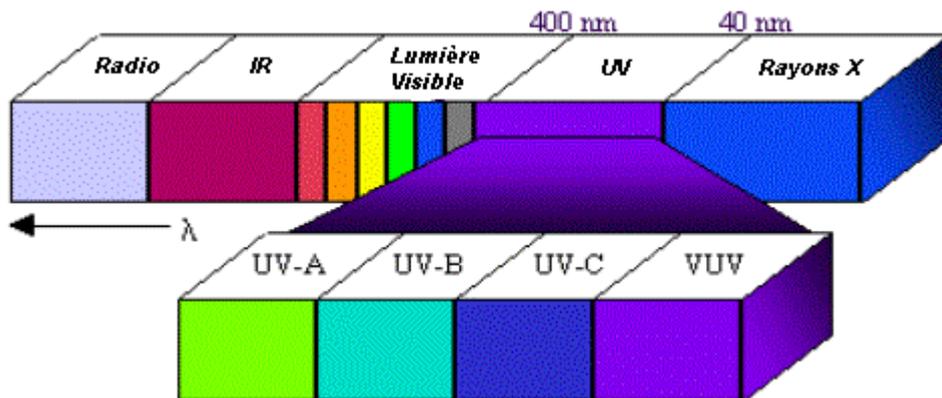


Figure VII.1 : Spectre d'absorption du rayonnement ultra-violet.

(Source : lenntech.fr)

VII.2.3. Réacteurs BIO-UV :

Il existe deux types de réacteurs couramment utilisés :

- Les réacteurs fermés sous pression : Ces réacteurs sont principalement utilisés pour la potabilisation de l'eau. Ils sont conçus pour maintenir l'eau sous pression pendant le traitement.
- Les réacteurs ouverts, également appelés canaux ouverts : Ces réacteurs sont utilisés pour la désinfection des eaux usées. Les lampes UV sont regroupées en modules et alignées verticalement dans ces réacteurs.

Dans les processus de désinfection, les lampes à vapeur de mercure sont utilisées comme source d'émission UV.

Ces lampes fonctionnent en utilisant un arc électrique pour exciter les atomes de mercure, qui émettent ensuite des radiations lorsqu'ils reviennent à leur état fondamental.

Le spectre d'émission des lampes dépend de la pression de mercure à l'intérieur de celles-ci.

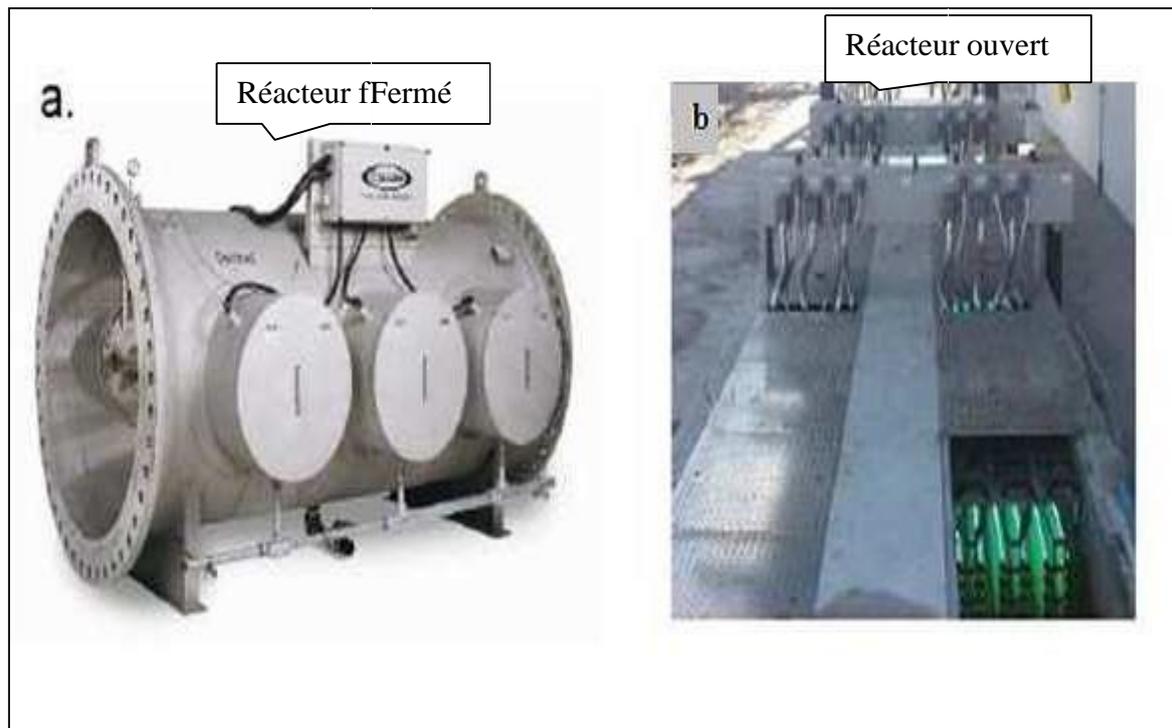


Figure VII.2 : Types des réacteurs UV.

VII.2.4. Dose efficace :

La quantité d'énergie requise pour la désinfection varie en fonction de l'absorption du rayonnement par l'eau à traiter, qui peut être influencée par des facteurs tels que la turbidité, la présence de métaux et de matières organiques. En général, la consommation d'énergie pour la désinfection par UV se situe entre 15 et 40 Wh par mètre cube d'eau traitée.

Les réacteurs à ultraviolets sont dimensionnés en fonction du débit des pompes, car la combinaison du temps de contact dans le réacteur et de la puissance de la (ou des) lampe(s) permet d'assurer une dose suffisante de rayonnement exprimée en mJ/cm^2 . Cette dose est nécessaire pour éradiquer 90 à 99,9% des micro-organismes tels que les bactéries, les virus et les algues en suspension.

$$\text{Dose UV} = I \cdot t_{\text{exp}}$$

I : intensité du rayonnement UV, W/m^2 .

t_{exp} : temps d'exposition à l'intensité I, en secondes.

VII.3. Avantages et inconvénients de rayonnement UV :

Ils présentent à la fois des avantages et des inconvénients. Voici une reformulation des points clés :

a. Avantage des UV :

1. Efficacité de désinfection élevée contre les micro-organismes pathogènes tels que les bactéries, les virus et les parasites, sans l'utilisation de produits chimiques ;
2. Temps de traitement court, les UV agissent rapidement et n'ont pas besoin d'un temps de contact prolongé pour être efficaces ;
3. Absence de formation de sous-produits nocifs pour la santé humaine ou l'environnement, contrairement à certaines méthodes de désinfection chimique ;
4. Facilité d'utilisation et d'entretien, avec seulement un remplacement périodique des lampes UV.

b. Inconvénients des UV :

1. Dépendance à la transparence de l'eau, les UV sont moins efficaces dans les eaux turbides ou contenant des matières en suspension.
2. Absence d'effet résiduel, ce qui signifie que les micro-organismes peuvent se rétablir après la désinfection si les conditions le permettent.
3. Coût initial élevé en raison de l'installation et de la mise en place des équipements spécifiques et des lampes UV de qualité.
4. Consommation d'énergie supplémentaire pour alimenter les lampes UV.

VII.4. Mécanismes de traitement des eaux usées par le rayonnement UV :

En ce qui concerne la désinfection microbienne, la longueur d'onde la plus efficace est de 254 nm. C'est à cette longueur d'onde que l'intensité énergétique est optimale. L'efficacité de la désinfection microbiologique varie en fonction de la longueur d'onde du rayonnement UV, comme le montre l'illustration présentée à la figure 3.

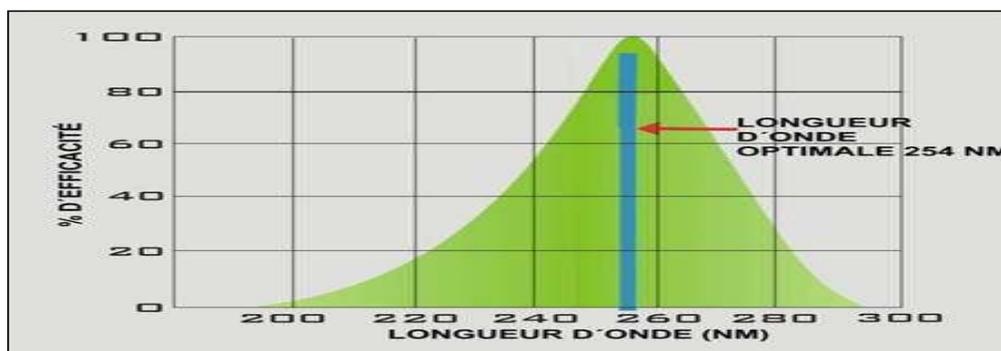


Figure VII.3 : Portion d'efficacité en fonction de la longueur d'onde émise par la lampe UV.

L'action stérilisante provient de la perturbation causée par les rayons ultraviolets (UV) dans la structure chimique des composants d'une cellule vivante, ce qui affecte son fonctionnement. Selon la quantité d'énergie UV reçue, la cellule vivante peut être stérilisée (effet bactériostatique) ou détruite (effet bactéricide).

L'effet bactériostatique se produit lorsque la cellule absorbe une quantité modérée d'énergie UV, permettant à la cellule de se reproduire et de muter. Cependant, cette cellule est destinée à disparaître.

L'effet bactéricide se produit lorsque la cellule absorbe une dose d'énergie UV supérieure à un certain seuil, entraînant la destruction de la cellule. Les UV-C, qui ont une longueur d'onde comprise entre 200 et 280 nm, sont les plus germicides. Des études ont montré que l'effet maximal a été obtenu avec des ondes de 260 nm.

Afin d'assurer une désinfection efficace, les lampes utilisées doivent émettre une radiation lumineuse dont le spectre d'émission se situe dans la région de l'UV-C. Cette région est connue pour être la plus efficace pour produire un effet germicide.

Lorsque l'énergie de la radiation est absorbée par le matériel génétique, qui comprend l'ARN et l'ADN, cela affecte les informations transmises d'une génération à l'autre et permet de perpétuer les caractères propres à chaque espèce. Plus précisément, ce sont les nucléotides, qui sont les éléments constitutifs des acides nucléiques, qui absorbent le rayonnement. Ces nucléotides comprennent les bases puriques (adénosine (A) et guanine (G)) ainsi que les bases pyrimidiques (thymine (T) et cytosine (C)). Voir la Figure 04 pour plus de détails.

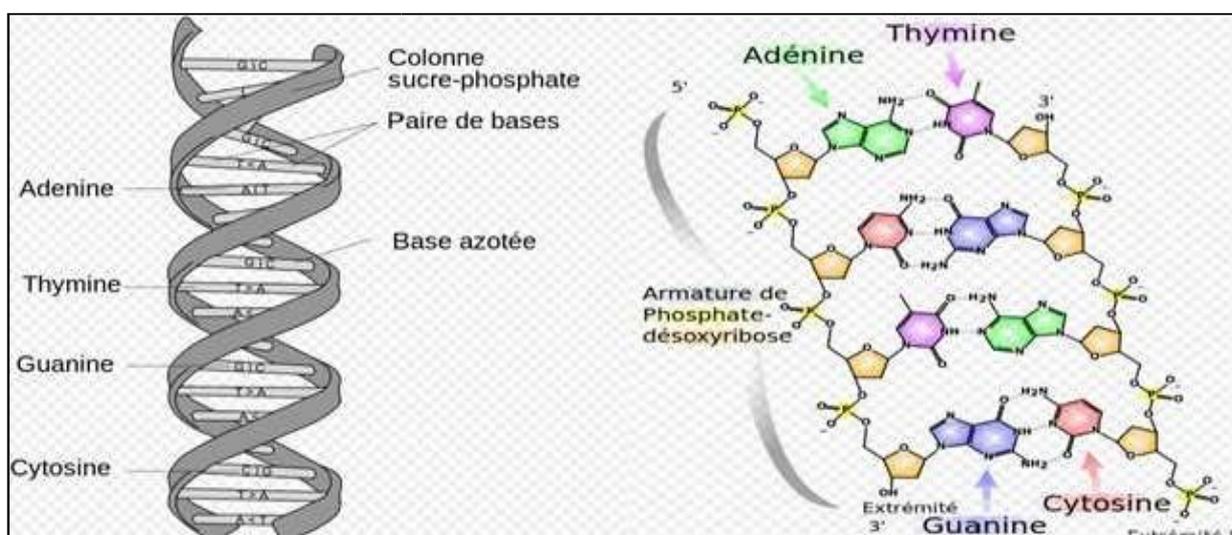


Figure VII.4 : Double hélice de l'ADN et les deux paires de ses bases

VII.4.1 Inactivation des Virus et des bactéries :

Dans l'ARN des virus, les bases pyrimidiques sont constituées de cytosine et d'uracile, tandis que dans l'ADN des bactéries, elles sont constituées de thymine et de cytosine. Il est plus facile d'induire la dimérisation de la thymine par les rayons UV que celle de l'uracile, ce qui peut expliquer la plus grande résistance des virus.

Les réovirus ont un brin d'ARN double, ce qui signifie qu'ils nécessitent davantage de dommages pour être inactivés ou qu'ils bénéficient de la redondance des informations. Cela n'est pas possible avec un ARN monocaténaire comme celui du poliovirus. De plus, les réovirus sont trois fois plus grands que les poliovirus et possèdent une double membrane protéique, ce qui pourrait favoriser une meilleure absorption des rayons UV (ABANNAIM , 2014).

VII.5. Les étapes de dimensionnement d'un système de désinfection par UV :

Le dimensionnement d'un système de désinfection par UV dépend de plusieurs facteurs, tels que la qualité de l'eau à traiter, le débit d'eau, les micro-organismes cibles, les normes de désinfection applicables et les caractéristiques techniques du système de désinfection par UV lui-même.

VII.5.1. Le dimensionnement pour la STEP de Chenoua :

Pour garantir une désinfection adéquate, il est crucial de dimensionner correctement le système de désinfection par UV en fonction des caractéristiques spécifiques de notre STEP de Chenoua

1. Débit d'eau usée : Supposons que le débit d'eau usée à traiter soit de 20 m³/h (ou 20 000 litres par heure).

$$Q_{\text{traitée}} = 4584.10 \text{ m}^3/\text{j} = 191 \text{ m}^3/\text{h} = 3181.68 \text{ l}/\text{min}$$

2. Évaluer la qualité de l'eau usée : Supposons que l'eau usée contienne des bactéries pathogènes qui nécessitent une dose de désinfection qu'on va la calculée :

Dose UV (en mJ/cm²) = Débit d'eau traitée (en L/min ou m³/h) x Temps d'exposition (en minutes) x 10 / Transmittance (%)

$$\text{Dose UV} = 3181.68 \text{ l}/\text{min} * 1 \text{ min} * 10 / 80\% = \mathbf{397.71 \text{ mJ}/\text{cm}^2}$$

3. Calculer l'intensité UV nécessaire : Pour calculer l'intensité UV nécessaire, utilisant la formule suivante :

$$\text{Intensité UV (mW}/\text{cm}^2) = \text{Dose de désinfection (mJ}/\text{cm}^2) / \text{Temps de contact (secondes)}$$

$$\text{Intensité UV} = 397.71/60 = \mathbf{6.62 \text{ mW/cm}^2}$$

➤ **Dimensionnement de réacteur :**

Le dimensionnement du réacteur UV dépend de l'intensité UV nécessaire et de la transmission UV de l'eau usée. Supposons une transmission UV de l'eau usée de 80%.

$$\text{UV (cm}^2\text{)} = \text{Débit d'eau usée (L/h)} / (\text{Intensité UV nécessaire (mW/cm}^2\text{)} * \text{Transmission UV de l'eau usée})$$

$$\text{Dimensionnement du réacteur UV} = 191\,000 \text{ l/h} / (6.62 \text{ W/cm}^2 * 0,8) \approx \mathbf{36065 \text{ cm}^2}$$

Dans notre calcul, le réacteur UV devrait avoir une surface d'environ 36065 cm² pour traiter un débit d'eau usée de 191 m³/h, avec une dose de désinfection de 397.71 mJ/cm² et une transmission UV de l'eau usée de 80%.

Pour choisir la longueur du réacteur UV, vous pouvez utiliser les informations suivantes :

Voici les étapes pour choisir la longueur du réacteur :

1. Calculez le volume du réacteur en utilisant la formule : Volume = Surface du réacteur x Hauteur du réacteur. Cependant, nous n'avons pas d'information sur la hauteur du réacteur. Par conséquent, nous devons estimer la hauteur du réacteur. Une valeur typique pour la hauteur du réacteur UV est d'environ 1.5 mètre.

$$\text{Volume} = 36065 \text{ cm}^2 \times 150 \text{ cm} = \mathbf{5409750 \text{ cm}^3}$$

2. Convertissez le volume en mètres cubes en divisant par 1, 000,000 (1 m³ = 1, 000,000 cm³)

$$\text{Volume} = 5409750 \text{ cm}^3 \div 1,000,000 = 5.40 \text{ m}^3$$

3. Calculez le temps de rétention en utilisant le débit d'eau usée et le volume du réacteur :

$$\text{Temps de rétention} = \text{Volume du réacteur} \div \text{Débit d'eau usée}$$

$$\text{Temps de rétention} = 5.40 \text{ m}^3 \div 191 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Temps de rétention} = 0.028 \text{ heures ou } \mathbf{1.69 \text{ minutes}}$$

4. Vérifiez si le temps de rétention est suffisant pour atteindre la dose de désinfection souhaitée.

Pour cela, multipliez la transmission UV de l'eau usée par la dose de désinfection :

$$\text{Dose effective} = \text{Transmission UV} \times \text{Dose de désinfection}$$

$$\text{Dose effective} = 0.80 \times 397.71 \text{ mJ/cm}^2 = \mathbf{318.168 \text{ mJ/cm}^2}$$

5. Vérifiez si le temps de rétention est suffisant pour atteindre la dose de désinfection souhaitée. Pour cela, multipliez la dose effective par le temps de rétention :

$$\text{Dose cumulée} = \text{Dose effective} \times \text{Temps de rétention}$$

$$\text{Dose cumulée} = 318.168 \text{ mJ/cm}^2 \times 1.69 \text{ minutes}$$

$$\text{Dose cumulée} = \mathbf{5.37.70 \text{ mJ/cm}^2}$$

Si la dose cumulée est supérieure ou égale à la dose de désinfection souhaitée qui est nos cas (397.71 mJ/cm² dans ce cas), alors le temps de rétention est suffisant. Sinon, nous devons augmenter la longueur du réacteur pour atteindre la dose de désinfection souhaitée avec 300 cm de longueur et 120,2167 cm de largeur.

VII.5.2. Calculez le débit d'eau traité par chaque lampe :

Pour calculer le débit d'eau traité par chaque lampe, nous devons prendre en compte la puissance des lampes UV et la dose de désinfection requise, ainsi que la transmission UV de l'eau usée.

Voici comment procéder :

1. Convertissez la puissance des lampes UV en mJ/s : La puissance est donnée en kW, donc nous devons la convertir en mJ/s. Comme 1 kW équivaut à 1, 000,000 mJ/s, la puissance des lampes UV serait de 48, 000,000 mJ/s.

2. Calculez la capacité de désinfection par lampe : Multipliez la puissance des lampes UV par la transmission UV de l'eau usée pour obtenir la capacité de désinfection par lampe.

Capacité de désinfection par lampe = Puissance des lampes UV x Transmission UV de l'eau usée

$$\text{Capacité de désinfection par lampe} = 48, 000,000 \text{ mJ/s} \times 0.80 = \mathbf{38, 400,000 \text{ mJ/s}}$$

3. Calculez le débit d'eau traité par chaque lampe : Divisez la capacité de désinfection par lampe par la dose de désinfection requise pour obtenir le débit d'eau traité par chaque lampe.

Débit d'eau traité par lampe = Capacité de désinfection par lampe / Dose de désinfection requise

$$\text{Débit d'eau traité par lampe} = 38, 400,000 \text{ mJ/s} / 397.71 \text{ mJ/cm}^2 = \mathbf{96.64 \text{ cm}^2/\text{s}}$$

VII.5.3. Calcule le nombre de lampes nécessaires :

Pour calculer le nombre de lampes nécessaires, nous devons prendre en compte le débit d'eau à traiter et le débit d'eau traité par chaque lampe. Voici comment procéder :

1. Déterminez le débit d'eau à traiter : Si vous connaissez le débit d'eau usée total, vous pouvez l'utiliser comme débit d'eau à traiter. Dans notre cas, le débit d'eau usée total est de 191 m³/h.
2. Divisez le débit d'eau à traiter par le débit d'eau traité par chaque lampe : Utilisons cette formule pour obtenir le nombre de lampes nécessaires.

$$\text{Nombre de lampes} = \text{Débit d'eau à traiter} / \text{Débit d'eau traité par lampe}$$

Dans le calcul précédent, le débit d'eau traité par lampe était de 96.64 cm²/s. Nous devons convertir cette valeur en m³/h pour être cohérent avec le débit d'eau à traiter.

$$\text{Donc, } 96.64 \text{ cm}^2/\text{s} * 0.036 = 3.48 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Maintenant, nous pouvons calculer le nombre de lampes nécessaires :

$$\text{Nombre de lampes} = 191 \text{ m}^3/\text{h} / 3.48 \text{ m}^3/\text{h} = 54.89 = \mathbf{55}$$

Le nombre de lampes nécessaires pour traiter un débit d'eau usée de 191 m³/h avec un débit d'eau traité par lampe de 96.64 cm²/s serait d'environ 55 lampes.

D'après ces résultats, on a doit trouver un réacteur UV disponible sur le marché qui a les mêmes caractéristiques mentionnées.

VII.6. Estimation de la réduction en pourcentage :

Pour estimer la réduction en pourcentage avec les paramètres donnés, vous pouvez utiliser l'équation de dosage UV :

$$\text{Réduction en pourcentage} = (1 - (10^{(-\text{dose UV} / (\text{intensité} \times \text{temps d'exposition})))) \times 100$$

Dans notre cas :

$$\text{Intensité UV} = 6.62 \text{ mW/cm}^2$$

$$\text{Dose UV} = 397.71 \text{ mJ/cm}^2$$

$$\text{Débit} = 4584.10 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$\text{Temps d'exposition} = 1 \text{ minute}$$

Convertissons les unités pour avoir des valeurs cohérentes :

$$\text{Intensité UV} = 6.62 \text{ mW/cm}^2 = 0.662 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Dose UV} = 397.71 \text{ mJ/cm}^2 = 39.771 \text{ J/m}^2$$

$$\text{Débit} = 4584.10 \text{ m}^3/\text{j} = (4584.10 \text{ m}^3/\text{j}) / (24 \text{ h/j}) / (3600 \text{ s/h}) = 0.053 \text{ m}^3/\text{s}$$

Calculons maintenant la réduction en pourcentage :

$$\text{Réduction en pourcentage} = (1 - (10^{(-39.771 / (0.662 \times 60))})) \times 100$$

$$\text{Réduction en pourcentage} \approx 99.999999998\%$$

➤ **les bactéries restantes :**

Si nous supposons que la réduction en pourcentage est de 99.99%, nous pouvons utiliser la formule suivante pour calculer le nombre de bactéries restantes :

$$\text{Bactéries restantes} = \text{Concentration initiale} \times (1 - \text{Réduction en pourcentage})$$

Dans votre cas, la concentration initiale est de 2400 cfu/100 mL.

$$\text{Réduction en pourcentage} = 99.99\% = 0.9999$$

$$\text{Bactéries restantes} = 2400 \text{ cfu/100 mL} \times (1 - 0.9999)$$

$$\text{Bactéries restantes} = 2400 \text{ cfu/100 mL} \times 0.0001$$

$$\text{Bactéries restantes} = 0.24 \text{ cfu/100 mL}$$

Donc, si la réduction des bactéries est de 99.99%, il resterait environ 0.24 cfu/100 mL de bactéries après le traitement par UV.

Conclusion :

En conclusion, l'ajout d'aérateurs supplémentaires dans la Station d'Épuration des Eaux Usées (STEP) de Chenoua peut être une solution efficace pour réduire la concentration d'azote dans l'eau traitée. Les aérateurs favorisent l'oxygénation de l'eau, ce qui stimule la croissance des bactéries nitrifiantes responsables de la conversion de l'ammoniac en nitrate. Cela permet de réduire la présence d'azote dans l'eau épurée, améliorant ainsi sa qualité pour une utilisation ultérieure.

Parallèlement, la désinfection de l'eau épurée est essentielle pour éliminer les micro-organismes pathogènes avant son utilisation pour l'irrigation. L'utilisation de la technologie

Chapitre VII : Solutions et recommandations pour améliorer la qualité d'eau

UV peut être une option efficace pour la désinfection, car les rayons UV détruisent les micro-organismes présents dans l'eau sans nécessiter l'ajout de produits chimiques.

Chapitre VIII : Calcul des besoins en eau

Introduction :

Dans ce chapitre, on va calculer le volume total des besoins en eau des cultures à irriguer à partir des eaux usées épurées de la STEP de Chenoua en tenant compte des conditions climatiques, pédologiques, de la qualité de l'eau d'irrigation, ces informations ont été définies dans le premier chapitre.

La connaissance des besoins en eau d'un périmètre est indispensable dans toute planification d'un aménagement hydro-agricole.

VIII.1. présentation de la station pluviométrique :

Nous avons pris la station de Boukourdane SCM comme station de référence vue :

1. Sa situation par rapport à la région d'étude (Chenoua) qui est très proche ;
2. Ils ont les mêmes conditions climatologiques ;
3. Son altitude moyenne qui est proche de celle de la région d'étude ;
4. De plus La carte pluviométrique de l'Algérie du Nord qui a été établie par l'A.N.R.H sur la période (1987-2022), donne une valeur comprise entre (600 – 650 mm) pour la région d'étude qui est avoisinante de celle obtenue pour la station de Boukourdane c'est ce qui conforte notre résultat.

Les caractéristiques de la station pluviométrie de Boukourdane sont :

Tableau VIII.1 : caractéristique principales de la station pluviométrique (ANRH Blida).

Nom de la station	Code	Coordonnées		Altitude	Période d'observation	Nombre d'observation
		X(m)	Y(m)			
Boukourdane	020329	464,3	359,9	110	1987-2022	35

VIII.1.1. Répartition de la pluie moyenne annuelle :

Nous disposons d'un échantillon de pluies mensuelles qui vas de 1987 jusqu'à 2022. Ces pluies sont représentées dans le tableau suivant :

Cette série des pluies annuelles présente des caractéristiques statistiques suivantes :

Tableau VIII.2 : Caractéristiques de la série pluviométrique.

Moyenne	578 mm
Ecart type	144
Cv	0.25
P _{min}	294 mm

P_{\max}	890 mm
------------	--------

VIII.2. Ajustement des pluies annuelles :

Après avoir vérifié l'homogénéité de la série on va faire l'ajustement et les lois d'ajustement les plus communément employées dans le cas de pluies annuelles sont les suivantes :

- Loi de Gauss ou loi normale
- Loi de Galton ou loi log normale

Pour les calculs nous avons utilisé le logiciel **HYFRAN**. Et la loi normale c'est été est la plus adéquate pour le cas de notre série :

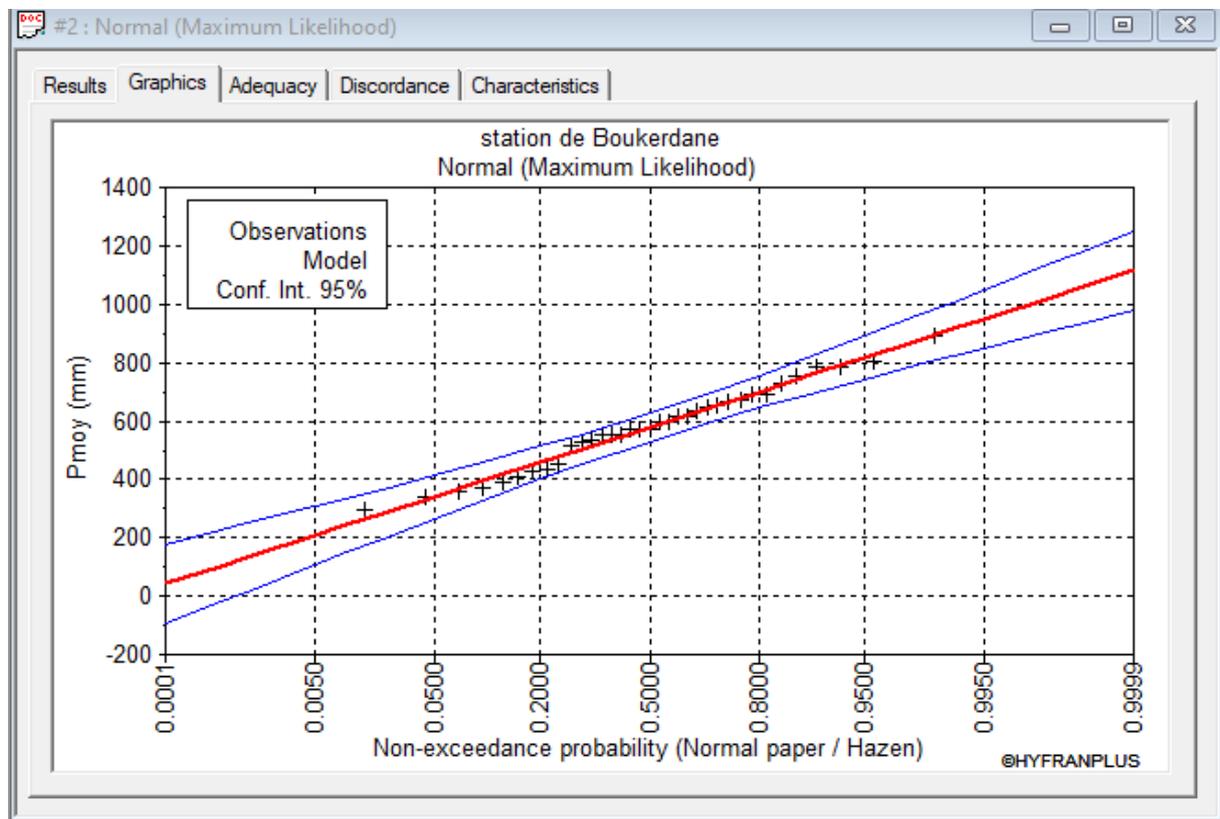


Figure VIII.1 : Ajustement des pluies annuelles avec la loi Normale.

VIII.2.1. Détermination de la loi de calcul :

Puisque la loi normale est la plus adéquate, alors nous la retenons pour l'estimation de la pluviométrie moyenne mensuelle représentative de la région.

Tableau VIII.3 : Résultat de l'ajustement

T	q	Xt	Intervalle de confiance
2	0.5	578	531-626
1.25	0.2	457	401-513

Les pluies mensuelles de projet, sont calculées comme suit :

Tableau VIII.4 : Calcul des pluies mensuelles pour l'année sèche (freq= 80%).

Mois	Sep	oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Pmoy (mm/mois)	32	40	115	100	78	56	73	75	44	9	0.9	1.4
Pmoy80% (mm/mois)	22.7	30.1	71.0	68.4	60	50	45.5	46.0	26.0	3.9	1.1	2.0

VIII.3. Besoin en eau du périmètre :

Pour déterminer les besoins en eau des cultures, plusieurs paramètres doivent être pris en compte.

Tout d'abord, il est important de connaître les caractéristiques des plantes elles-mêmes, telles que leur type, leur stade de croissance et leur système racinaire. Certaines plantes ont des besoins en eau plus élevés que d'autres, et ces besoins peuvent également varier en fonction de leur stade de développement.

Ensuite, il est nécessaire de collecter des données climatiques de la région, telles que la température, l'humidité de l'air, l'ensoleillement et la vitesse du vent. Ces informations permettent de comprendre l'évapotranspiration des plantes, c'est-à-dire la quantité d'eau perdue par évaporation du sol et par transpiration des plantes.

Enfin, il est également important de prendre en compte les caractéristiques du sol, comme sa capacité de rétention d'eau et son drainage. Ces facteurs influencent la disponibilité de l'eau pour les plantes et peuvent nécessiter des ajustements dans l'irrigation.

En utilisant ces données, des calculs et des modèles spécifiques peuvent être utilisés pour estimer les besoins en eau des cultures. Cela permet de déterminer la quantité d'eau supplémentaire qui doit être apportée par irrigation pour compléter la pluviométrie et assurer une croissance optimale des plantes.

VIII.3.1. Calcul des besoins en eau d'irrigation :

Le calcul des besoins en d'irrigation à apporter pour la culture est réalisé en effectuant le bilan hydrique suivant :

$$B_i = ETM - (P_{eff} + RU).$$

Où :

ETM : est l'évapotranspiration maximale ou besoins des cultures en mm
($ETM = ET_0 * k_c$).

K_c : le coefficient culturel de la culture considérée.

P_{eff} : est la pluie efficace.

RU : La réserve utile.

VIII.3.2. Calcul de l'évapotranspiration référence (ET₀) :

VIII.3.3. Définition de l'évapotranspiration :

L'ET₀ représente l'évapotranspiration qui se produirait si une surface végétalisée de référence, généralement de l'herbe bien irriguée, était présente dans des conditions climatiques idéales. Elle est exprimée en millimètres par jour (mm/jour) ou en litres par mètre carré par jour (L/m²/jour).

Nous avons fait le calcul de l'évapotranspiration de référence à l'aide de logiciel CROPWAT (FAO, 2008), fondé sur la méthode de Mr Penman et Monteith, où nous avons introduit les données mensuelles :

- Température : la température moyenne.
- Humidité de l'air : l'humidité relative de l'air exprimée en pourcentage (%).
- Vitesse de vent : La vitesse du vent peut être introduite en km/j.
- Insolation journalière : donnée en heures d'insolation.

Les résultats de l'évapotranspiration de référence ET₀ calculés par logiciel CROPWAT 8.0 selon la formule de Penman & Monteith, modifiée sont récapitulés dans le tableau ci-après

Tableau VIII.5 : Evapotranspiration de référence ET0 calculée par le logiciel CROPWAT.

Mois	Température moyenne	Humidité	Vitesse du vent	Insolation	Rayonnement	ET0
Unité	C°	%	km/j	Heures	MJ /m2 /jour	Mm/jour
Janvier	12.2	74	177	5.4	9.1	1.39
Février	12.4	69	178	6.2	12.1	1.88
Mars	14	68	200	7.4	16.4	2.64
Avril	16	69	200	8.1	20	3.35
Mai	19	68	194	8.6	22.3	4.08
Juin	22.4	75	180	10	24.8	4.59
Juillet	26.7	78	183	10.6	25.3	5.21
Aout	25.4	77	162	09.8	22.8	4.65
Septembre	23.9	78	157	8.4	18.5	3.65
Octobre	20.8	80	152	7.2	13.9	2.51
Novembre	16.3	75	189	5.5	9.6	1.80
Décembre	13.6	74	221	5.0	8.1	1.50
Moyenne	18.6	74	183	7.7	16.9	3.10

VIII.4. Calcul de la pluie efficace :

La pluie efficace fait référence à la quantité d'eau de pluie qui est réellement disponible pour les plantes et qui est utilisée par le système racinaire. Pour calculer la pluie efficace, plusieurs méthodes permettent d'estimer les pluies, dans notre étude nous avons utilisé la méthode du pourcentage fixe, détaillée comme suit :

$$\text{Pluies efficaces (mm/mois)} = A \cdot \text{Pluies totales (mm/mois)}$$

Avec :

A : coefficient de pertes généralement égal à 0.92

Le résultat de calcul par cette méthode est donné dans le tableau VIII.6

Tableau VIII.6 : Calcul des pluies efficaces.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
Pmoy 80% (mm)	22.7	30.1	71.0	68.4	60	50	45.5	46.0	26.0	3.9	1.1	2.0
Peff	21.9	28.7	62.9	60.9	54.2	46	42.2	42.6	24.9	0.00	0.00	0.00

Dans le cas où les pluies efficaces sont inférieures à 2 mm, elles sont considérées comme nulles.

VIII.5. Calcul de la réserve en eau du sol :

La réserve en eau du sol fait référence à la quantité d'eau disponible dans le sol pour les plantes. Elle représente l'eau retenue dans les pores du sol après l'infiltration de la pluie ou de l'irrigation, et qui est accessible aux racines des plantes.

La réserve facilement utilisable (RFU) se calcul par la formule suivante.

$$\text{RFU} = (\text{hcc}-\text{hpf}) \text{ Y.Da.Z}$$

- ✓ **hcc** : humidité à la capacité au champ
- ✓ **hpf** : humidité au point de flétrissement
- ✓ **Z** : profondeur racinaire,
- ✓ **Y** : coefficient qui dépend de la nature du sol (on prend $Y=2/3$)
- ✓ **Da** : densité apparente du sol.

VIII.6. Choix des cultures :

Pour le choix des cultures plusieurs paramètres ont été pris en considération ces paramètres sont :

- L'emplacement naturel de l'exploitation.
- L'emplacement économique de l'exploitation.
- Choisir les productions en fonction de la situation économique.

VIII.6.1. Occupation des sols :

L'occupation et la répartition culturale font référence à la manière dont les terres sont utilisées et réparties pour différentes activités agricoles. Cette répartition peut avoir un impact sur la réserve en eau du sol, c'est-à-dire la quantité d'eau disponible dans le sol pour les plantes.

Dans notre cas, on a pris une passerelle adjacente à la STEP, couvrant une surface de 180 hectares comme illustre la photo suivante



Figure VIII.2 : l’emplacement de la passerelle a irriguer.

(Source : google earth)

On a proposé quelques cultures dans notre passerelle qui convient à les caractéristique de notre sol .Les Cultures proposées sont résumées dans le tableau VIII.7

Tableau VIII.7 : Les cultures proposées

Arbres fruitiers	Agrumes	Cultures fourragères	Cultures de production de semences	Cultures industrielles
La vigne	L’Orange	Le Maïs	Le haricot	La Tomate

VIII.6.2. Assolements des cultures :

L’assolement désigne la succession de plusieurs cultures dans le temps sur le même champ.Cette technique agricole permet de maintenir et améliorer la fertilité des sols au fil des saisons. On le défini aussi comme étant la diversité géographique des cultures à un moment donné.

Tableau VIII.8 : Assolement proposé pour le périmètre

Assolement
La vigne
L’orange
Le Maïs

Le haricot
La Tomate

VIII.6.3. Date d'implantation des cultures :

La date d'implantation des cultures est un élément crucial dans la planification agricole. Elle fait référence au moment précis où les semences ou les plants sont introduits dans le sol pour démarrer la croissance des cultures. La date d'implantation est déterminée par différents facteurs, tels que le climat, le type de sol, les variétés de cultures et les pratiques agricoles spécifiques dans la région.

Tableau VIII.9 : Date d'implantation des cultures

Culture	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
La vigne	→							→				
L'orange	→											
Le Maïs								←				
Le haricot								→				
La tomate indus	→							→				

VIII.7. Estimation des besoins en eau des cultures choisies :

Pour chaque culture on calcule les besoins suivant son stade végétatif :

VIII.7.1. Estimation des besoins en eau pour les Arbres fruitiers :

Tableau VIII.10 : Calcul des besoins en eau pour la vigne.

Mois	Pmoy (mm)	Peff (mm)	ET0 (mm/mois)	Z(m)	RFU (mm)	Kc	ETM (mm)	Bnet (mm)
Sep	22.7	21.9	109.5	1.5	176	0.4	43.8	21.9
Oct	30.1	28.7	77.81	1.5	176	0.4	31.12	2.42
Nov	71	62.9	54	1.5	176	0.00	0.00	0.00
Dec	68.4	60.9	46.5	1.5	176	0.00	0.00	0.00
Jan	60	54.2	43.09	1.5	176	0.00	0.00	0.00
Fev	50	46	54.52	1.5	176	0.00	0.00	0.00

Mars	45.5	42.2	81.84	1.5	176	0.15	8.17	0.00
Avr	46	42.6	100.5	1.5	176	0.45	45.22	2.62
Mai	26	24.9	126.48	1.5	176	0.60	75.88	50.98
Juin	2.3	0.00	137.7	1.5	176	0.70	96.39	92.49
Juill	0.7	0.00	161.51	1.5	176	0.70	113.05	112.05
Aout	1.1	0.00	144.15	1.5	176	0.45	64.86	62.86

VIII.7.2. Estimation des besoins en eau pour Agrumes :

Tableau VIII.11 : Calcul des besoins en eau pour l'orange.

Mois	Pmoy (mm)	Peff (mm)	ET0 (mm/mois)	Z(m)	RFU (mm)	Kc	ETM (mm)	Bnet (mm)
Sep	22.7	21.9	109.5	1.5	176	0.75	82.15	60.25
Oct	30.1	28.7	77.81	1.5	176	0.75	58.35	29.65
Nov	71	62.9	54	1.5	176	0.75	40.5	0.00
Dec	68.4	60.9	46.5	1.5	176	0.65	30.22	0.00
Jan	60	54.2	43.09	1.5	176	0.65	28	0.00
Fev	50	46	54.52	1.5	176	0.65	35.43	0.00
Mars	45.5	42.2	81.84	1.5	176	0.65	53.19	10.99
Avr	46	42.6	100.5	1.5	176	0.65	65.32	22.72
Mai	26	24.9	126.48	1.5	176	0.65	82.21	57.31
Juin	2.3	0.00	137.7	1.5	176	0.65	89.50	85.6
Juill	0.7	0.00	161.51	1.5	176	0.75	121.13	120.13
Aout	1.1	0.00	144.15	1.5	176	0.75	108.11	106.11

VIII.7.3. Estimation des besoins en eau pour les cultures fourragères

Tableau VIII.12 : Calcul des besoins en eau pour le Maïs

Mois	Pmoy (mm)	Peff (mm)	ET0 (mm/mois)	Z(m)	RFU (mm)	Kc	ETM (mm)	Bnet (mm)
Sep	22.7	21.9	109.5	1.5	176	0.00	0.00	0.00
Oct	30.1	28.7	77.81	1.5	176	0.00	0.00	0.00
Nov	71	62.9	54	1.5	176	0.00	0.00	0.00

Dec	68.4	60.9	46.5	1.5	176	0.00	0.00	0.00
Jan	60	54.2	43.09	1.5	176	0.00	0.00	0.00
Fev	50	46	54.52	1.5	176	0.00	0.00	0.00
Mars	45.5	42.2	81.84	1.5	176	0.00	0.00	0.00
Avr	46	42.6	100.5	1.5	176	0.6	60.3	17.7
Mai	26	24.9	126.48	1.5	176	0.7	88.53	63.73
Juin	2.3	0.00	137.7	1.5	176	0.95	130.81	126.91
Juill	0.7	0.00	161.51	1.5	176	1.2	193.81	192.81
Aout	1.1	0.00	144.15	1.5	176	0.9	129.73	127.73

VIII.7.4. Estimation des besoins en eau pour les cultures de production de semences :

Tableau VIII.13 : Calcul des besoins en eau pour le haricot

Mois	Pmoy (mm)	Peff (mm)	ET0 (mm/mois)	Z(m)	RFU (mm)	Kc	ETM (mm)	Bnet (mm)
Sep	22.7	21.9	109.5	0.7	82.13	0.81	88.7	80.3
Oct	30.1	28.7	77.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nov	71	62.9	54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dec	68.4	60.9	46.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Jan	60	54.2	43.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fev	50	46	54.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mars	45.5	42.2	81.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Avr	46	42.6	100.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mai	26	24.9	126.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Juin	2.3	0.00	137.7	0.5	58.66	0.5	68.85	70.4
Juill	0.7	0.00	161.51	0.5	58.66	0.65	104.98	90.1
Aout	1.1	0.00	144.15	0.5	58.66	0.93	134.05	95.8

VIII.7.5. Estimation des besoins en eau pour les cultures industrielles

Tableau VIII.14 : Calcul des besoins en eau pour la tomate industrielle

Mois	Pmoy (mm)	Peff (mm)	ET0 (mm/mois)	Z(m)	RFU (mm)	Kc	ETM (mm)	Bnet (mm)
Sep	22.7	21.9	109.5	1.5	176	0	0	0.00
Oct	30.1	28.7	77.81	1.5	176	0	0	0.00
Nov	71	62.9	54	1.5	176	0	0	0.00
Dec	68.4	60.9	46.5	1.5	176	0	0	0.00
Jan	60	54.2	43.09	1.5	176	0	0	0.00
Fev	50	46	54.52	1.5	176	0	0	0.00
Mars	45.5	42.2	81.84	1.5	176	0	0	0
Avr	46	42.6	100.5	1.5	176	0.50	85.42	42.82
Mai	26	24.9	126.48	1.5	176	0.85	145.45	120.55
Juin	2.3	0.00	137.7	1.5	176	1.15	117.04	113.14
Juill	0.7	0.00	161.51	1.5	176	0.85	137.28	136.28
Aout	1.1	0.00	144.15	1.5	176	0	0	0.00

VIII.8. Calcul des besoins en eau pour l'assolement :

Tableau VIII.15 : Récapitulatif des besoins nets (mm) pour l'assolement

Mois	La vigne	Orange	Maïs	haricot	Tomate indus	Totales
Sept	21.9	60.25	0.00	0.00	0.00	82.15
Oct	2.42	29.65	0.00	0.00	0.00	32.07
Nov	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Déc	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Jan	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fév	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mar	0.00	0.00	0.00	0.00	125.41	125.41
Avr	2.62	22.72	17.7	0.00	42.82	85.86
Mai	50.98	57.31	63.73	0.00	120.55	292.57
Jui	92.49	85.6	126.91	70.4	113.14	488.54

Juill	112.05	120.13	192.81	90.1	136.28	651.37
Août	62.86	106.11	127.73	95.8	0.00	392.5

VIII.8.1. Calcul du débit spécifique :

Le débit spécifique se calcul par la formule suivantes :

$$Q_s = (B_{net}) / (N_j * N_i * 3600 * E_i)$$

Avec :

- ✓ B_{net} : besoin net du mois de pointe en mm/mois ;
- ✓ N_i : nombre des heures d'irrigation=24h ;
- ✓ N_j : nombre de jours du mois de pointe =30 jours ;
- ✓ E_i : Efficience d'irrigation que nous avons estimée à 75%.

On calcule les besoins en eau pour l'assolement d'où les besoins de pointe correspondent au mois de juillet :

$$B_{net} = 651.37 \text{ mm/mois.}$$

$$q_s = 3.35 \text{ l/s/ha} > 1.5 \text{ l/s/ha}$$

Le débit spécifique obtenu est supérieur à 1.5, il y'a un risque de surdimensionnement des conduites de refoulement ou gravitaire.

Pour y remédier, nous avons prendre le débit spécifique de la culture **la plus exigeante** : Maïs en mois de juillet.

$$B_{net} = 192.81 \text{ mm} \text{ donc le débit spécifique corrigé est de } Q_s = 0.99 \text{ l/s/ha.}$$

VIII.8.2 Evaluation du débit caractéristique :

Le calcul du débit caractéristique permet de définir $Q_{car} = q_s * S$

q_s : débit spécifique de mois de pointe en (l/s/ha)

S : la superficie nette à irriguer = 180 ha

$$Q_{car} = q_s * S = 0.99 \times 180 = 178.2 \text{ l/s.} = 0.17 \text{ m}^3 / \text{s}$$

VIII.8.3. Estimation des volumes d'eau d'irrigation :

L'estimation des volumes d'eau d'irrigation permet de prévoir les volumes d'eau stockés dans la retenue et d'effectuer un meilleur calendrier d'arrosage.

Le volume des besoins en eau = Besoins bruts de la culture (m³) * la surface

Le volume des besoins en eau pour notre périmètre est présenté dans le Tableau VIII.16.

Tableau VIII.16 : Volume d'eau d'irrigation.

Type de culture	Surface (ha)	Besoins nets (mm)	Besoins bruts (m ³ /ha)	Besoins totaux (m ³)
vigne	65	345.32	4604.26	299277.33
orange	20	481.77	6432.6	128472
Maïs	20	528.88	7051.73	141032.66
Haricot	25	256.3	3417.33	85433.33
Tomate indus	50	538.2	7176	358800
	180 ha		Total	1 013 017.33

D'après le tableau VIII.16, les besoins en eau totaux du périmètre est de : **1 100 000 m³**.

Donc un débit de **3013.7 m³/j** qui est inférieure au débit sortant de la STEP **4584.10m³/j**

Conclusion :

Dans notre station d'épuration, le volume d'eau traitée des eaux usées actuellement pourrait être utilisé pour irriguer une superficie agricole de 100 à 200 hectares située à proximité de la STEP. Les volumes d'eau d'irrigation nécessaires à notre périmètre sont de l'ordre de 1 100 000m³.

Avec la croissance de la population, il est prévu que les débits d'eau traitée augmentent, ce qui permettrait d'irriguer des superficies encore plus grandes avec ces eaux. Cette utilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation agricole offre une alternative durable pour répondre aux besoins en eau, contribuant ainsi à une gestion plus efficace des ressources en eau. Toutefois, il est essentiel de mettre en place des systèmes de traitement adéquats pour garantir la qualité de l'eau utilisée et de respecter les réglementations et les normes en vigueur pour assurer la sécurité sanitaire des cultures et de l'environnement. En suivant les bonnes pratiques agricoles et en bénéficiant des conseils des experts en gestion de l'eau, il est possible de maximiser les avantages de cette ressource tout en minimisant les risques potentiels.

Conclusion générale

Conclusion générale

Cette étude est concentrée sur la caractérisation des eaux usées traitées de la station d'épuration de CHENOUA à faible charge, dans le but de les réutiliser à des fins agricoles. Nous avons évalué les performances de la station en termes de dépollution de l'azote et du phosphore en analysant les données provenant de la station sur une période de deux ans (2021-2022). Nous avons ensuite identifié les paramètres physico-chimiques les plus significatifs, calculé les ratios indicateurs de pollution et évalué les rendements de la station d'épuration. À partir de l'analyse des données, nous avons pu tirer les conclusions suivantes :

- Les paramètres physico-chimiques ne constituent pas un obstacle pour le traitement biologique
- L'élimination insuffisante de l'azote
- Des rendements épuratoires répondant aux attentes du constructeur, à l'exception de l'abattement de la pollution azotée qui pose souvent problème.
- La présence des Microorganismes pathogènes : elles contiennent des bactéries, des virus et d'autres microorganismes pathogènes qui peuvent présenter des risques pour la santé humaine pour les réutilisés pour l'irrigation des cultures.

Notre étude a également porté sur les indicateurs de performances que nous avons choisis en fonction des données disponibles.

De ce fait, pour améliorer la qualité d'eau destinée à l'irrigation on a proposé les solutions, suivante :

- ✓ Améliorer les nombres des aérateurs ;
- ✓ Appliquer une désinfection par UV

Une fois que le problème de l'azote ammoniacal a été résolu grâce à la nitrification dans le bassin biologique et que la désinfection par rayonnement ultraviolet (UV) a été effectuée, les eaux traitées peuvent être utilisées en toute sécurité pour l'irrigation. Donc on a proposé un assolement qui est en fonction des caractéristiques spécifiques du sol, et on a irrigué une surface de 180ha avec un volume de **1 100 000 m³**.

Conclusion générale

À la fin de cette étude, il est essentiel de souligner l'importance du bon fonctionnement de la station d'épuration de Chenoua. Cela est essentiel pour préserver l'environnement de la région et permettre la réutilisation des eaux épurées dans le domaine de l'irrigation.

Bibliographie

- Aamy , Z., & Maet, B. (1990). *les eaux usées urbaines règlementation des rejets urbaines traitement de définition par géo-épuration*. France: livre d'entreprise au service de la terre.
- Azuara, J., & et al. (2015). Hydro-economic analysis of groundwater pumping for irrigated. *Hydrogeology Journal*, 23(6).
- ABANNAIM , F. (2014). MEMOIRE DU PROJET DE FIN D'ETUDES Licence Sciences et Techniques . *Etude du Rendement de traitement tertiaire par le rayonnement ultraviolet Exemple de la station d'épuration M'zar* . Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech , Maroc.
- Abdelkader, G. (1984). *Epuration biologique des eaux usées urbaines*. alger: Office des publications universitaires ,tom 1.
- ADEM, E. (2010). synthèse. *Analyses de Cycle de Vie appliquées aux biocarburants de première génération consommés en France*. p 429. France.
- AFD. (2011). *Réutilisation des eaux usées traitées - Perspectives opérationnelles être*. Nîmes: BRL Ingénierie.
- Al-Hamdi, M. (2000). thèse de doctorat. *Competition for Scarce Groundwater inthe Sana'a Plain, Yemen: A Study on the Incentive Systems*. yemen, Delft University of Technology,.
- Amine , S. (2008). Algérie: sur les 300 stations d'épuration, seules 36 sont fonctionnelles . *Mon journal (DZ)*, 2.
- Aoulmi , S. (2007). thèse de ENSH. *Conception de la station d'épuration dans la ville d'Eddine* . ain defla, école nationale supérieure de l'hydraulique.
- Asano, T. (1998). WATER RECLAMATION AND REUSE. *WATER HEALTH*, 2, p. 11.
- Asano, T., & et al. (2007). *Characteristics of municipal wastewater and related health and environmental issues,Water reuse : issues, technologies and applications*. New york: New york (US) : metcalf& Eddy.
- Aznecc. (2005). *Extrait à partir des directives australiennes de qualité de l'eau pour les eaux*.
- Banzaoui , N., & Elbouz , F. (2009). Mem.Ing. *Epuration des eaux usées par les procédés des boues activées au niveau de la commune de Touggourt*. chimie.Univ. de Annaba., Annaba.
- Beadry , J., & et al. (1984). *Traitement des eaux*. canada: éd, le griffon d'argile.
- Bekkouche , M., & Zidane , F. (2004). Mem. Ing. Hydraulique saharienne. . *Conception d'une station d'épuration des eaux usées de la ville de Ouargla par lagunage*. Univ. de Ouargla, Ourgla.
- Ben Messaoud, A. (2009). thèse de master. *Etude expérimentale et modélisation d'un procédé de désinfection par rayonnement UV*. toulouse, Génie des procédés et de l'environnementGénie hydraulique.
- BENZARIA, M. (2008). Mémoire de maste. *APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE POUR LES PROJETS DE RÉUTILISATION DES EAUX USÉES EN IRRIGATION*. MONTRÉAL, UNIVERSITÉ DU QUÉBEC.
- Boeling, J. C. (1999, 07 1). lutter contre la pollution de l'eau -inventaire des traitements. *Techniques de l'ingénieur*, 8.
- BOUCHAALA , L., & et al. (2017). RESSOURCES HYDRIQUES: TRAITEMENT ET REUTILISATION. *Algerian Journal of Arid Environment "AJAE"*, p. 12.
- Boucheml , F. (2020/2021). *Cours : pollution des eaux* . El Oued: Département d'Hydraulique et de Génie Civil.

- cabanes, F. (2006). Dephosphatation of Effluents: Precipitation and Valorization of Phosphorus. *Thesis of the Institut National Polytechnique of Toulouse*, p. 219.
- cabanes, F. (2006). Dephosphatation of Effluents: Precipitation and Valorization of Phosphorus. *Thesis of the Institut National Polytechnique of Toulouse*, p. 219.
- Cardot, C. (1999). *Génie de l'environnement, les traitements de l'eau*. Paris, France : Ed Ellipses.
- Chocat, B. (1997). *Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement*. Edition Lavoisier Tec & Doc.
- Claude, R. (1996). *les eaux, les bactéries, les hommes et les animaux*. Ed. Scientifiques et médicale Elsevier.
- Degremont, S. (1972). *Memento technique de l'eau*. France: Degremont-Suez. Rueil-Malmaison.
- Djemli, W., & Hannouch, M. (2018). Reuse of treated wastewater in agriculture: physicochemical quality and environmental risks., Case of wastewater treatment plant of Baraki and Beni Messous, Algeria. *Conference: TECHNOLOGIES AND MATERIALS FOR RENEWABLE ENERGY, ENVIRONMENT AND SUSTAINABILITY: TMREES18*. Athens .
- duchene, P. (1990). *Les systèmes de traitement des boues de station d'épuration des petites*. Paris: collectivités .TEC et DOC.éd. CEMAGREF.
- FAIZA, M. (2009). Mémoire de Magister. *Réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement*. Skikda, Chimie.
- GALAF, F., & GHANNAM, S. (2005). Mémoire d'ingénieur d'état. *Traitements des eaux usées "effluents" de la raffinerie de SKIKDA*. Constantine: université de Constantine.
- Grosclaude, G. (1999). *l'eau tome 1 : Usages et polluants*. Versailles: Institut National de la recherche.
- Hadjou Belaid, Z. (2013). Mémoire de master en hydraulique. *Contribution à l'étude des dysfonctionnements relevés dans une station d'épuration, étude du cas : STEP d'Ain El Houtz*. Tlemcen, Université Abou- Bakr Belkaid.
- Jiménez, B. (2006, mars). Irrigation in Developing Countries Using Wastewater. *IREs*, 6(2), p. 22.
- Jiménez-Cisneros, B. (2014). *Water Reuse and Recycling*. Satinder Elsevier, Amsterdam : Comprehensive Water Quality and Purification.
- Jimenez, B. (2001). *Navigating Rough Waters: Ethical Issues in the Water Industry*. Mexico: AWWA.
- Jiménez, B. (2011, janvier). Social, Political and Scientific Dilemmas for Massive Wastewater Reuse in the World. *Navigating Rough Waters: Ethical Issues in the Water Industry*.
- JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 41. (2012, janvier 2). *Arrêté interministériel du 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012 fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation*. Alger.
- JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE. (2022). CONVENTIONS ET ACCORDS INTERNATIONAUX - LOIS ET DECRETS. (35), 25.
- KLIMPEL, R., & Isherwood, S. (1991). Some industrial implications of changing frother chemical structure. *International Journal of Mineral Processing*, 33.
- Lazarova, V., & et al. (2000). *La réutilisation des eaux usées : un enjeu de l'an 2000*. (Vol. 212). France: l'eau, l'industrie, les nuisances.
- lenntech.fr. (s.d.). Récupéré sur <https://www.lenntech.fr/applications/irrigation/sar/irrigation/sar-risque-pour-eau-irrigation.htm#ixzz82Z1p3DN7>

- Loumi, F., & Yefsah, K. (2010). Mémoire d'ingénieur d'hydraulique. *Valorisation des eaux usées traitées en irrigation ; cas de la station d'épuration Est de Tizi-Ouzou*. UMMTO.
- Mehaiguene, M., & et al. (2018). Réutilisation des eaux usées épurées de la STEP d'Ain Defla à des fins agricoles. *SAGREN Systèmes Agricoles et Environnement*.
- Metahri, M. (2012). Thèse doctorat. *Elimination simultannée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixte. Cas de la STEP Est de la ville de Tizi Ouzou*. Tizi Ouzou., Université: Université Mouloud Mammeri.
- Ministère de la santé, de la famille et des personnes handicapées. (2001-2002). *CONSEIL SUPERIEUR D'HYGIENE PUBLIQUE*. France.
- Mmanuel, T., & Sudesh, R. (2018, avril). Effects of a polymeric organic coagulant for industrial mineral oil wastewater treatment using response surface methodology (RSM). *Water SA*.
- Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture. (2022). *L'IRRIGATION AVEC DES EAUX USEES TRAITÉES*. Afrique du Nord .
- Rejsek, F. (2002). *Analyse des eaux ; aspect réglementaire et techniques, Tome I*. Bordeaux: Edition Scréren CRDPA quitaine.
- RODIER, J., & al. (2009). *analyse de l'eau* (Vol. 9ème édition). Paris: Dunod.
- SEAAL. (2023, 03 15). *Donné*. tipasa.
- Tahinarisata, S. (2017). mémoire de master. *Étude de l'automatisation d'une unité de traitement d'eaux usées industrielles, Université d'Antananarivo*. Antananarivo, Université .
- Taradat, M. (1992). *Chimie des eaux*. Canada: Première, le griffon d'argile inc.
- Telli, S. (2013). mémoire. *Etude sur la valorisation par séchage solaire Des boues d'épuration des Eaux urbaines – cas de la station d'Office Nationale d'Assainissement (ONA)-*. Tlemcen.
- the great salinity anomaly. (1955-1975). A simulation of the Arctic ice-ocean system for 1955–1975. *journal of geophysical reserch*.
- Thomas, O. (1955). *Météorologie des eaux résiduaires*. France : Ed Lavoisier Tec et Doc.

Annexe

Normes Algériennes REUE- (Arrêtés Interministériels)

Rappel des différentes catégories de STEP proposées dans le projet de normes algériennes pour l'utilisation des eaux usées épurées en irrigation agricole

CATÉGORIE I : Stations de traitement avec traitements primaires sommaires et avec peu (ou pas) de possibilités de gestion de processus épuratoire.

•Modes de traitement :

☞ Traitement primaire : dégrillage au minimum ;

☞ Traitement secondaire : lagunages naturels ou aérés ; boues activées à faible charge.

☞ Stockage des eaux épurées destinées à l'irrigation : durée de stockage 1/2 jour minimum.

•Qualité des eaux épurées

DBO5 < 20 à 30 mg/l - DCO < 90 à 120 mg/l

MES < 20 à 30 mg/l - pH : 6,5 à 8

CATÉGORIE II : Stations de traitement avec traitements primaires complets et avec moyens de gestion de processus épuratoire comportant les équipements de contrôle adaptés.

•Modes de traitement :

☞ Traitement primaire : dégrillage ; dessablage/déshuilage aéré

☞ Traitement secondaire : boues activées à faible charge avec décantation secondaire ou lagunage aéré avec lagune de finition.

☞ Si nécessaire désinfection par chloration.

☞ Stockage des eaux épurées destinées à l'irrigation : durée de stockage 1 jour minimum

•Qualité des eaux épurées

DBO5 < 25 mg/l

-DCO < 90 à 120 mg/l

MES < 25 mg/l

-pH : 6,5 à 8

CATÉGORIE III : Stations d'épuration avec traitement primaire complet, avec moyens de gestion de processus épuratoire comportant les équipements de contrôle, d'exploitation et de pilotage adaptés ;

Le traitement secondaire biologique permet de pouvoir éventuellement assurer l'abattement de l'azote et du phosphore ;

Un traitement tertiaire de filtration – désinfection est opérationnel.

•Modes de traitement :

☞ Traitement primaire : dégrillage; dessablage/déshuilage aéré ;

☞ Traitement secondaire : boues activées à faible charge avec décantation secondaire ou lagunage aéré avec temps de séjour de 20 jours minimum. Lagune de finition avec temps de séjour de 2 jours minimum ;

☞ Stockage des eaux épurées destinées à l'irrigation : durée de stockage 1 jour minimum ;

☞ Traitement tertiaire : filtration sur sable + stérilisation (UV par ex.) + post- chloration.

•Qualité des eaux épurées

DBO5 < 15 mg/l ;

-DCO < 90 mg/l ;

-MES < 5 mg/l.

Tableau 1. Tolérance à la salinité de quelques plantes cultivées

Conductivité électrique de l'eau d'irrigation (dS/m)					
<2	2-3	3-4	4-5	5-7	>7
Citrus	Figues	Sorgho	Soja	Carthame	Coton
Pommes	Olives	Arachide	Palmier dattier	Blé	Orge
Pêche	Brocoli	Riz	Phalaris aquatique	Betterave sucrière	Agropyre
Raisins	Tomates	Betteraves	Trèfle	Rye Grass	
Fraise	Concombre	Fétuque	Artichauts	Orge des rats	
Pommes de terre	Cantaloup			Chiendent pied de poule	
Poivrons	Pastèques			Sudax (sorgho hybride)	
Carottes	Epinards				
Oignons	Vesce commune				
Haricot	Sorgho du soudan				
	Luzerne				

(FAO, 1985)