



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option: Réutilisation Des Eaux Non Conventionnelles

THEME :

**Dimensionnement d'une STEP des eaux usées pour l'industrie
de boissons Rouiba en vue de leur réutilisation**

Présenté par :

TELLACHE Maroua

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
DERNOUNI Youcef	M.A.A	Président
KHALED HOULI Samia	M.A.A	Examinatrice
KHEDIM ALLAH Abderrahmane	M.C.B	Examineur
TAFAT Leila	M.A.A	Examinatrice
KOLIAÏ Djaffar	Associé	Examineur
BETATACHE Hayat	M.C.B	Promotrice

Session octobre 2024

Dédicace

À mon très cher père, ton amour, tes conseils et ton soutien continuent de me guider même en ton absence, tu as quitté ce monde mais tu n'as jamais quitté mon cœur.

À ma très chère mère, ton amour inconditionnel et ton soutien constant m'ont guidé à chaque étape de ce voyage. Chaque réussite est le reflet de tes sacrifices et ta patience.

À mes frères Mohamed et Islem.

À toute ma famille, mes amis et tous ceux qui me sont chers.

À toutes les personnes qui m'ont soutenu de près ou de loin.

Remerciements

Je tiens avant tout à remercier Allah le tout puissant, qui m'a donné la santé, la patience et le courage d'accomplir ce modeste travail.

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma gratitude.

Je souhaite exprimer toute ma gratitude à ma promotrice, Mme Hayat Betatache, pour son soutien efficace et ses conseils avisés qui ont été essentiels à la réalisation de ce projet.

Je tiens également à exprimer ma profonde reconnaissance à l'ensemble des enseignants de l'école nationale supérieure d'hydraulique pour leur soutien, leurs conseils et leur dévouement, qui ont grandement enrichi mon parcours académique.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par leurs propositions, questions et remarques.

Enfin je tiens à remercier chaleureusement ma famille pour leur soutien inconditionnel et leurs encouragements constants tout au long de ce parcours. Je souhaite également remercier mes amis et toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

الملخص

تتناول هذه المذكرة دراسة معمقة حول تصميم محطة معالجة مياه الصرف الصناعي لمصنع روية لصناعة المشروبات، و العصائر المركزة، و عصائر الفاكهة، بمعدل تدفق قدره 1200 متر مكعب يوميا. كما استعرضنا التقنيات المناسبة لمعالجة و إزالة الملوثات الموجودة في هذه المياه بما في ذلك العمليات الفيزيائية الكيميائية و البيولوجية. بالإضافة إلى ذلك، تطرقنا في هذه المذكرة لتحليل مختلف تقنيات إعادة استخدام مياه الصرف المعالجة و تستكشف مزاياها داخل المصنع نفسه.

الكلمات المفتاحية : محطة معالجة مياه الصرف، مياه الصرف الصناعي، قابلة للتحلل، ملوث، إعادة استعمال.

Abstract

This thesis focuses on an in-depth study of the design of the industrial wastewater treatment plant for the beverages, nectars, and fruit juices industry Rouiba, with a flow rate of 1200 m³ per day. It also examines the appropriate treatment technologies for eliminating contaminants present in this industrial wastewater, particularly focusing on physicochemical and biological processes. Additionally, the thesis analyzes various techniques for reusing treated wastewater and explores their advantages within the industry itself.

Keywords: wastewater treatment plant; industrial wastewater; biodegradable; pollutant; reuse.

Résumé

Ce mémoire se concentre sur l'étude approfondie du dimensionnement de la station d'épuration des eaux usées industrielles de l'industrie de boissons, nectars et jus de fruits Rouiba, avec un débit de 1200 m³ par jour. Il examine également les technologies de traitement adéquates pour éliminer les contaminants présents dans ces eaux usées, notamment les procédés physico-chimiques et biologiques. En outre, le mémoire analyse les différentes techniques de réutilisation des eaux usées traitées et explore leurs avantages au sein de l'industrie elle-même.

Les mots clés : station d'épuration, eaux usées industrielles, biodégradable, polluant, réutilisation.

Table des matières

Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur les eaux usées	2
I.1 Introduction.....	3
I.2 Définition	3
I.3 Les types des eaux usées.....	3
I.3.1 Les eaux usées domestiques	3
I.3.2 Les eaux usées industrielles	3
I.3.3 Les eaux usées agricoles	4
I.3.4 Les eaux de ruissellement	4
I.4 Caractéristiques des eaux usées	4
I.4.1 Les paramètres physiques.....	4
I.4.1.1 La température.....	4
I.4.1.2 La conductivité	4
I.4.1.3 La turbidité	4
I.4.1.4 Couleur et odeur	5
I.4.1.5 Les matières en suspension (MES).....	5
I.4.2 Les paramètres chimiques	5
I.4.2.1 La demande biologique en oxygène (DBO ₅)	5
I.4.2.2 La demande chimique en oxygène (DCO).....	5
I.4.2.3 L'oxygène dissous	5
I.4.2.4 La biodégradabilité	6
I.4.2.5 Le potentiel hydrogène (pH)	6
I.4.2.6 L'azote	6
I.4.2.7 Le phosphore	7
I.4.2.8 Métaux lourds.....	7
I.4.3 Les paramètres biologiques	7

I.4.3.1	Les virus	7
I.4.3.2	Les bactéries	7
I.4.3.3	Les protozoaires.....	7
I.4.3.4	Les helminthes.....	8
I.5	Épuration des eaux usées	8
I.5.1	Procédés d'épuration des eaux usées	8
I.5.1.1	Prétraitement	9
I.5.1.2	Traitement primaire	9
I.5.1.3	Traitement secondaire (traitement biologique)	9
I.5.1.4	Traitement tertiaire	9
I.5.1.5	Traitement des boues	9
I.6	Conclusion	10
Chapitre II : La réutilisation des eaux usées		11
II.1	Introduction.....	12
II.2	Définition de la réutilisation des eaux usées.....	12
II.3	La réutilisation des eaux usées dans le monde.....	12
II.3.1	Le secteur agricole	13
II.3.2	Le secteur industriel	14
II.3.3	Le secteur urbain et périurbain	15
II.3.3.1	Réutilisation pour un usage non-alimentaire.....	15
II.3.3.2	Réutilisation pour un usage alimentaire (eau « potable »).....	15
II.4	La réutilisation des eaux usées en Algérie.....	16
II.4.1	Situation actuelle des eaux usées et leur réutilisation	16
II.4.2	Réutilisation pour l'irrigation	17
II.4.3	Réutilisation municipale	18
II.4.4	Réutilisation industrielle.....	18
II.5	Avantages de la réutilisation des eaux usées	18

II.6	Inconvénients de la réutilisation des eaux usées	20
II.7	Conclusion	21
Chapitre III : Présentation de l'industrie		22
III.1	Présentation de la zone industrielle de Rouiba	23
III.1.1	Situation géographique de Rouiba	23
III.1.2	Etude topographique.....	24
III.1.3	Etude climatologique.....	24
III.1.3.1	Température moyenne annuelle	24
III.1.3.2	Précipitation	25
III.1.3.3	Humidité	26
III.1.3.4	Le vent	27
III.2	Présentation de l'industrie	28
III.2.1	Les produits fabriqués	28
III.2.2	Etapes de fabrication du jus	29
III.2.2.1	La réception de la matière première	29
III.2.2.2	Le stockage	29
III.2.2.3	La siroperie	29
III.2.2.4	Le conditionnement aseptique	30
III.2.2.5	Les analyses en ligne.....	30
III.2.2.6	Stockage du produit fini	30
III.3	Conclusion	30
Chapitre IV : Dimensionnement de la station d'épuration.....		31
IV.1	Introduction.....	32
IV.2	Caractéristiques des eaux usées de l'industrie des boissons Rouiba.....	32
IV.2.1	Le résultat physicochimique	32
IV.2.2	Commentaire des analyses.....	32
IV.2.3	La biodégradabilité.....	33

IV.3	Les paramètres de dimensionnement	33
IV.4	Le traitement des ERI de l'industrie de Rouiba	35
IV.5	Dimensionnement des ouvrages de la station	35
IV.5.1	Dimensionnement du bassin d'homogénéisation.....	35
IV.5.2	Le prétraitement	36
IV.5.2.1	Dégrillage	36
IV.5.2.2	Dimensionnement du dégrilleur.....	37
IV.5.3	Le traitement physico-chimique.....	39
IV.5.3.1	Coagulation.....	40
IV.5.3.2	Floculation	41
IV.5.3.3	Décanteur primaire	42
IV.5.3.4	Charges polluantes après la décantation.....	44
IV.5.3.5	Calcul de la biodégradabilité	44
IV.5.4	Le traitement secondaire (traitement biologique)	44
IV.5.4.1	Le bioréacteur	44
IV.5.4.2	Comparaison des variantes	53
IV.5.4.3	Calcul du nombre de modules membranaires.....	54
IV.5.4.4	Les charges polluantes après le traitement secondaire.....	55
IV.5.5	Bilan des boues	56
IV.5.6	Dimensionnement du bassin de stockage des eaux usées épurées.....	57
IV.5.7	Le traitement des boues	58
IV.5.7.1	La production journalière des boues	58
IV.5.7.2	Dimensionnement de l'épaississeur	59
IV.5.7.3	Digesteur aérobie	60
IV.5.7.4	Le filtre à bande	61
IV.6	Evaluation de la charge après les traitements	62
IV.7	Conclusion	63

Chapitre V : Calcul hydraulique 64

V.1	Introduction.....	65
V.2	Relevage	65
V.3	Calcul du diamètre de la conduite de refoulement.....	66
V.4	Calcul de la hauteur manométrique de la pompe	66
V.5	Choix de la pompe.....	68
V.6	Profil hydraulique.....	68
V.7	Dimensionnement des conduites reliant les ouvrages	69
V.7.1	Calcul des longueurs des conduites reliant les ouvrages.....	70
V.7.2	Calcul des diamètres des conduites	70
V.8	Conclusion	72

Chapitre VI : Analyse économique, gestion et entretien de la station d'épuration 73

VI.1	Introduction.....	74
VI.2	Le coût d'investissement	74
VI.2.1	Le coût de terrassement	74
VI.2.2	Evaluation du coût du béton armé.....	75
VI.2.3	Le coût total du génie civil	76
VI.2.4	Le coût des VRD.....	76
VI.2.5	Le coût des équipements électromécaniques et électriques et des installations hydromécaniques.....	76
VI.2.6	Le coût total des investissements de la station.....	77
VI.3	Le coût de fonctionnement	77
VI.3.1	Le coût de la main d'œuvre	77
VI.3.2	Le coût de renouvellement du matériel électromécanique	77
VI.3.3	Le coût des frais financiers	77
VI.3.4	Le coût de fonctionnement total.....	77

VI.4	Le coût du projet	77
VI.5	Mesures et contrôles effectués au niveau de la station.....	78
VI.6	Contrôle de fonctionnement.....	79
VI.6.1	Contrôle journalier	80
VI.6.2	Contrôles périodiques	80
VI.7	Entretien des ouvrages.....	81
VI.7.1	Le dégrilleur.....	81
VI.7.2	Bioréacteur à membrane	81
VI.7.3	Epaississeur.....	81
VI.8	Conclusion	82
	Conclusion générale.....	84
	Références bibliographiques	85

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Coefficient de biodégradabilité.....	6
Tableau II-1 : Répartition de l'eau utilisée par usages	17
Tableau III-1 : Température moyenne annuelle	25
Tableau III-2 : Vitesse annuelle du vent.....	27
Tableau IV-1 : Analyses des eaux usées en aval de l'usine.....	32
Tableau IV-2 : Charges journalières des effluents.....	34
Tableau IV-3 : Dimensions du bassin d'homogénéisation	36
Tableau IV-4 : Valeurs des épaisseurs et des espacements des barreaux	37
Tableau IV-5 : Données de base pour le dimensionnement du dégrilleur fin	38
Tableau IV-6 : Valeurs du coefficient de forme des barreaux	39
Tableau IV-7 : Résultats du dimensionnement du dégrilleur	39
Tableau IV-8 : Résultats du dimensionnement du réacteur de coagulation	41
Tableau IV-9 : Résultats du dimensionnement du réacteur de floculation	42
Tableau IV-10 : Résultats du dimensionnement du décanteur primaire	43
Tableau IV-11 : Résultats du traitement par coagulation-floculation-décantation.....	44
Tableau IV-12 : Dimensions des quatre variantes	53
Tableau IV-13 : Caractéristiques de la membrane Polymen UF100LS2F.....	54
Tableau IV-14 : Les charges polluantes après le traitement secondaire	56
Tableau IV-15 : Les valeurs moyennes des paramètres a_m et b	56
Tableau IV-16 : Résultats du dimensionnement de l'épaisseur	60
Tableau IV-17 : Résultats du dimensionnement du digesteur aérobie	61
Tableau IV-18 : Résultats du dimensionnement du filtre à bande.....	62
Tableau IV-19 : Les charges polluantes après les traitements précédents	63
Tableau V-1 : Dimensions de la bêche d'aspiration	65
Tableau V-2 : Les valeurs des paramètres de calcul des pertes de charge linéaires	67
Tableau V-3 : Les côtes moyennes du terrain naturel.....	69
Tableau V-4 : Les longueurs des conduites entre les ouvrages de la station	70
Tableau V-5 : Résultats du calcul hydraulique	71
Tableau VI-1 : Les coûts de terrassement de chaque ouvrage	75
Tableau VI-2 : Les coûts du béton armé de chaque ouvrage	76

Liste des figures

Figure I-1 : Procédés d'épuration des eaux usées.....	8
Figure II-1 : Répartition par secteur et localisation des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaines	13
Figure III-1 : La zone industrielles de Rouiba	23
Figure III-2 : Situation géographique de la ville de Rouiba.....	24
Figure III-3 : Courbe de température moyenne annuelle.....	25
Figure III-4 : Courbe de précipitation annuelle	26
Figure III-5 : Courbe annuelle de catégories d'humidité	27
Figure III-6 : La moyenne des vitesses des vents moyens horaires.....	27
Figure III-7 : Logo de la marque Rouiba	28

Liste des planches

1. Plan de masse de la station d'épuration.
2. Les ouvrages de la station d'épuration.
3. Profil hydraulique de la station d'épuration.

Liste des abréviations

STEP : station d'épuration industrielle.

CO₂ : dioxyde de carbone.

MES : matières en suspension.

MVS : matière volatile en suspension.

MMS : matière minérale en suspension.

DBO : demande biologique en oxygène.

DCO : demande chimique en oxygène.

PH : potentiel hydrogène.

DTO : demande totale en oxygène.

COT : carbone organique total.

NTK : l'azote total kjeldahl.

NGL : l'azote global.

NO₃⁻ : nitrate.

NO₂⁻ : nitrite.

PT : phosphore total.

ERI : eau résiduaire industrielle.

OMS : organisation mondiale de la santé.

MRE : ministère des ressources en eau.

ONA : office national d'assainissement.

REUE : réutilisation des eaux usées épurées.

BAM : bioréacteur à membrane.

VRD : voiries et réseaux divers.

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est l'une des ressources naturelles les plus cruciales sur terre, elle joue un rôle vital non seulement pour les organismes vivants, mais aussi dans divers secteurs économiques et écologiques. Essentielle dans les processus biologiques, l'agriculture, l'industrie et la gestion des écosystèmes, elle est également au cœur de nos activités quotidiennes. Avec des enjeux qui incluent la sécurité alimentaire, la santé publique et la préservation des habitats naturels, la gestion durable de l'eau est cruciale pour maintenir l'équilibre environnemental et assurer un avenir prospère pour toutes les espèces.

La rareté de l'eau est une préoccupation croissante dans de nombreuses régions du monde, exacerbée par des facteurs tels que le changement climatique, la croissance démographique et les pratiques de gestion des ressources souvent non durables. Bien que 71% de la terre soit recouverte d'eau, seulement 2,5% de cette eau est douce, et une fraction encore plus petite est accessible pour la consommation humaine et les activités économiques. Cette rareté met en évidence la nécessité d'une gestion efficace et de technologies avancées pour assurer une distribution équitable et durable de l'eau.

L'épuration des eaux usées est une réponse technologique et écologique à cette rareté, permettant de réduire l'impact environnemental tout en assurant une gestion durable des ressources en eau. Ce travail vise à dimensionner une station d'épuration industrielle pour l'industrie des boissons, nectars et jus de fruit de l'usine Rouiba, avec pour objectif principal la réutilisation des eaux traitées. Notre approche consiste à étudier les aspects techniques et économiques du projet en intégrant une analyse complète des eaux usées, leur réutilisation potentielle, ainsi que la gestion de la station.

Notre travail est structuré comme suit :

Chapitre I : généralités sur les eaux usées.

Chapitre II : la réutilisation des eaux usées.

Chapitre III : présentation de l'industrie.

Chapitre IV : dimensionnement de la station d'épuration.

Chapitre V : calcul hydraulique.

Chapitre VI : analyse économique, gestion et entretien de la station d'épuration.

Chapitre I :

Généralités sur les eaux usées

I.1 Introduction

Les eaux usées, un sous produit inévitable de nos activités humaines, posent des défis environnementaux et sanitaires significatifs. Leur gestion efficace est cruciale pour préserver la santé publique et l'environnement.

I.2 Définition

Les eaux résiduaires ou eaux usées désignent les eaux qui ont été modifiées de manière à ne pas être adaptées aux usages auxquels elles sont destinées, principalement causées par l'activité humaine. Une eau usée est un mélange de substances polluantes, dispersées ou dissoutes dans l'eau utilisée pour des besoins domestiques ou industriels. [1]

I.3 Les types des eaux usées

I.3.1 Les eaux usées domestiques

En général, les déchets domestiques se composent de matières organiques dégradables ou non, ainsi que de matières minérales comme les graisses, les matières en suspension ou terre. Ces éléments se présentent soit sous forme liquide, soit en suspension.

Elles sont principalement issues de :

- Les eaux de cuisine renferment des substances minérales en suspension issues du lavage des légumes, des produits alimentaires à base de matières organiques (glucides, lipides, protides) et des produits détergents utilisés pour le lavage de la vaisselle et qui solubilisent les graisses et les huiles ;
- Les eaux de buanderie renferment principalement des détergents ;
- Les eaux de salle de bain renferment des produits utilisés pour l'hygiène corporelle, généralement des matières grasses hydrocarbonées ;
- Les eaux de vannes provenant des sanitaires sont très chargées en composés organiques hydrocarbonés. [1]

I.3.2 Les eaux usées industrielles

Les eaux usées provenant de l'industrie se distinguent par des débits et des compositions extrêmement variables. Leurs caractéristiques diffèrent selon les secteurs d'activité. Outre les composés organiques, azotés ou phosphorés, ils peuvent également renfermer des :

- Matières premières et matières grasses (industrie agro-alimentaire, équarrissage) ;

- Les matériaux métalliques (traitement de surface, métallurgie, galvanoplastie...);
- Les différentes matières minérales (industries chimiques, tannerie, carrières, mines...);
- Les raffineries d'hydrocarbures;
- Le circuit de refroidissement des centrales thermiques utilise de l'eau chaude.
- Produits radioactifs (centrales nucléaires, élimination des déchets radioactifs). [2]

I.3.3 Les eaux usées agricoles

L'agriculture est une cause majeure de pollution des eaux, car elle fournit les engrais et les pesticides. C'est elle qui est responsable des pollutions à grande échelle. [3]

I.3.4 Les eaux de ruissellement

Les eaux de ruissellement comprennent à la fois les eaux de pluie et celles utilisées pour le lavage des espaces publics. Lorsqu'elles se déversent, ces eaux entraînent le transport de polluants et de sables qui se déversent dans les canalisations à chaque diminution de vitesse d'écoulement. [2]

I.4 Caractéristiques des eaux usées

Les eaux usées peuvent être classées en fonction de leurs caractéristiques : chimiques, physiques et biologiques.

I.4.1 Les paramètres physiques

I.4.1.1 La température

Il est fréquent de négliger ce paramètre dans les collecteurs urbains, mais il est recommandé de le mesurer plus fréquemment, en particulier en ce qui concerne les rejets industriels dans le réseau. Certaines installations d'épuration, en particulier les dégraisseurs, sont vulnérables à des températures excessives. Il est donc impératif que tout rejet soit strictement inférieur à 30°C. [4]

I.4.1.2 La conductivité

Il s'agit d'une simple évaluation de la concentration totale en sels dissous. Après avoir comparé la conductivité de l'eau potable, on peut rapidement évaluer si des apports importants, notamment industriels, sont effectués dans le réseau d'assainissement. [4]

I.4.1.3 La turbidité

La présence de particules ou de matières en suspension (MES) d'origine organique, minérale, argile, colloïdes... est associée à la turbidité de l'eau usée. Elle varie au fil du temps

en fonction du mode de rejet et en fonction des saisons. Pendant les premières pluies, la turbidité de l'eau usée est élevée, car les chaussées et les toitures sont nettoyées. [5]

I.4.1.4 Couleur et odeur

En présence de matières organiques dissoutes, colloïdales ou de composés chimiques solubles, les eaux usées brutes peuvent être colorées. L'odeur provient d'une fermentation des substances organiques. La couleur et l'odeur des eaux usées indiquent l'âge des déchets liquides. [5]

I.4.1.5 Les matières en suspension (MES)

Les matières en suspension (MES) désignent les substances solides qui ne sont ni solubles ni colloïdales, donc retenues par un filtre. Les matières organiques et/ou minérales (MES) sont un indicateur essentiel qui permet de déterminer le degré de contamination d'un effluent urbain ou industriel.

La fraction organique des MES est représentée par les matières volatiles en suspension (MVS), tandis que les matières minérales en suspension (MMS) sont la distinction entre les MES et les MVS. Les MVS sont obtenues en calcinant le MES dans un four pendant 2 heures à une température de 525°C, avec une concentration moyenne de 70 à 80 % de MES. [4]

I.4.2 Les paramètres chimiques

I.4.2.1 La demande biologique en oxygène (DBO₅)

La quantité d'oxygène requise pour la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau en présence de microorganismes est connue sous le nom de demande biochimique en oxygène (DBO). La quantité d'oxygène consommée pendant cinq jours à 20°C est généralement appelée DBO₅. Elle est largement employée pour surveiller les déchets urbains. [4] [6]

I.4.2.2 La demande chimique en oxygène (DCO)

Il s'agit de la concentration d'oxygène requise pour oxyder la matière organique (biodégradable ou non) d'une eau en utilisant un oxydant : le bichromate de potassium. Ce paramètre permet de donner une représentation plus ou moins exhaustive des substances oxydables présentes dans l'espèce. [4]

I.4.2.3 L'oxygène dissous

Il est issu de la dissolution de l'oxygène de l'air atmosphérique, de la photosynthèse et varie en fonction de la température, de la pression atmosphérique, de la salinité du milieu et

de la turbulence. La concentration d'oxygène à saturation dans l'eau est rarement supérieure à 10mg/L. [5]

I.4.2.4 La biodégradabilité

La notion de biodégradabilité est la capacité d'une substance pour qu'elle se décompose par les microorganismes, elle est exprimée par : $K = DCO/DBO_5$.

Tableau I-1 : Coefficient de biodégradabilité

Valeur de K	Modes de traitement
$K < 2$	Facilement traitée (traitement biologique)
$2 < K < 3$	Moyennement traitée (traitement biologique avec adaptation de la couche microbienne)
$K > 3$	Difficilement traitée (traitement physico-chimique)

I.4.2.5 Le potentiel hydrogène (pH)

En général, le pH des eaux usées urbaines se situe dans le cadre de la neutralité, avec une valeur comprise entre 7 et 7,5. Un pH variable témoigne d'une contamination industrielle. Il est possible de procéder à l'épuration biologique pour un pH compris entre 6,5 et 8,5. Au-delà de ces valeurs, l'activité biologique diminue brusquement. [4]

I.4.2.6 L'azote

Plusieurs formes d'azote peuvent se retrouver dans les eaux usées :

- Réduite : azote organique (N) et azote ammoniacal NH_4^+ ;
- Moléculaire : azote dissous ;
- Oxydée : azote des nitrites $N NO_2^-$ et azote des nitrates $N NO_3^-$.

La notation NTK de l'azote Kjeldahl correspond à l'azote organique et à l'azote ammoniacal : $NTK = N + NH_4^+$.

L'azote global est composé de l'ensemble des quatre formes azotées : $NGL = NTK + N NO_2^- + N NO_3^-$.

Les eaux résiduaires domestiques contiennent principalement de l'azote sous forme ammoniacale. La présence de formes oxydées dans les effluents urbains est rare ou seulement

en faibles quantités, ce qui s'explique par le fait qu'une eau usée est toujours perçue comme un milieu réducteur. [5] [4]

I.4.2.7 Le phosphore

Dans les eaux résiduaires brutes, on retrouve du phosphore sous deux formes différentes : organique (issu de l'industrie ou de la nature provenant des matières fécales) et minéral (les ortho et poly phosphates issus de la lessive et des engrais phosphatés). [5]

I.4.2.8 Métaux lourds

En règle générale, les métaux lourds sont nocifs et peuvent entraver la prolifération des microbes et perturber ou même interrompre le processus d'épuration biologique. Ainsi, il est essentiel de supprimer cette pollution dès qu'elle se manifeste. Le Chrome (VI), le Plomb (Pb), l'aluminium (AL), le cadmium (Cd), le cuivre (Cu), le nickel (Ni) et le zinc (Zn) sont les métaux les plus nocifs. Ils peuvent être présents sous forme d'ions et/ou de sels et peuvent se former dans les boues. [5]

I.4.3 Les paramètres biologiques

I.4.3.1 Les virus

Les virus sont des organismes infectieux extrêmement petits (10 à 350 nm) qui se reproduisent en pénétrant un organisme hôte. Leur concentration dans les eaux usées est estimée entre 10^3 et 10^4 particules par litre. L'isolement et le dénombrement des virus dans les eaux usées sont complexes, ce qui peut entraîner une sous-évaluation de leur véritable quantité. [7]

I.4.3.2 Les bactéries

Les bactéries se distinguent par leur simplicité et l'absence du noyau. Ils ont une taille allant de 0,1 à 10 μm . Environ 10^6 à 10^7 bactéries sont présentes dans les eaux usées, dont 10^5 bactéries de type proteus et entérobactéries, 10^3 à 10^4 streptocoques et 10^2 à 10^3 clostridiums. Les salmonelles sont parmi les plus courantes, avec plusieurs centaines de sérotypes connus, dont ceux de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux. Les coliformes thermotolérants sont couramment employés pour surveiller la qualité relative d'une eau, car ils sont des germes témoins de contamination fécale. [7]

I.4.3.3 Les protozoaires

Les protozoaires sont des micro-organismes compacts avec un noyau, plus complexes et plus volumineux que les bactéries. Au cours de leur cycle de vie, certains protozoaires

adoptent une forme de résistance, connue sous le nom de Kyste, qui peut généralement résister aux méthodes de traitement des eaux usées. [7]

I.4.3.4 Les helminthes

Les helminthes sont des organismes à cellules multiples. Comme les protozoaires, il s'agit en grande partie d'organismes parasites. La quantité d'œufs d'helminthes dans les eaux usées varie entre 10 et 103 œufs/l. *Ascaris lumbricades*, *Oxyuris vermicularis*, *Trichuris trichuria*, *Taenia saginata* sont parmi les espèces à mentionner. [7]

I.5 Epuration des eaux usées

L'épuration des eaux usées est un processus vital qui vise à traiter les eaux contaminées afin de les rendre propres et sûres pour l'environnement et la consommation humaine. Ce processus joue un rôle essentiel dans la préservation de la qualité de l'eau et la protection de la santé publique.

I.5.1 Procédés d'épuration des eaux usées

Les procédés d'épuration des eaux usées englobent un ensemble de techniques visant à éliminer les polluants physiques, chimiques et biologiques. L'objectif est de rendre les effluents conformes aux normes environnementales et aptes à la réutilisation.

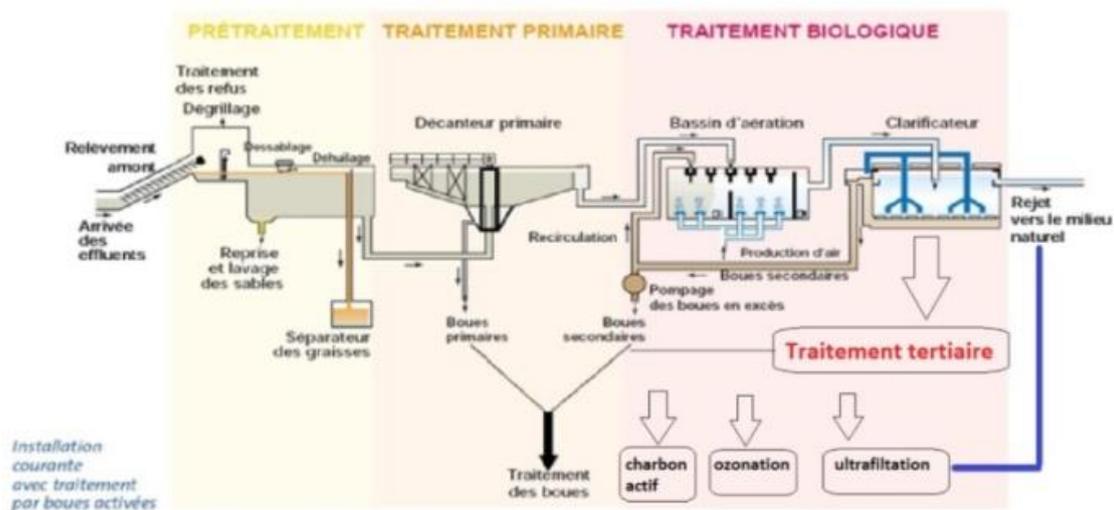


Figure I-1 : Procédés d'épuration des eaux usées.

I.5.1.1 Prétraitement

En cours de traitement, les éléments solides ou particuliers les plus volumineux peuvent entraver les prochains traitements ou causer des dommages aux équipements tels que des déchets volumineux, du sable, des graisses,...

Pour les éradiquer, plusieurs étapes sont mises en place : dégrillage, dessablage, dégraissage-déshuilage. [8]

I.5.1.2 Traitement primaire

Les méthodes principales de traitement sont de nature physique, comme la décantation, qui peut être combinée à un traitement physicochimique. Grâce à ces méthodes, il est possible de retenir les substances en suspension présentes dans l'eau usée (entre 50 et 60 % de MES) et de diminuer la pollution carbonée en aval (entre 30 et 40 % de la DBO₅). [4]

I.5.1.3 Traitement secondaire (traitement biologique)

Le traitement secondaire implique la méthode traditionnelle d'élimination de la pollution organique carbonée et azotée. Peu importe la méthode utilisée, l'épuration biologique repose sur l'assimilation et l'oxydation des polluants par des microorganismes présents dans l'eau usée, comme illustré dans le schéma réactionnel ci-dessous. Ensuite, on extrait cette biomasse de l'eau sous forme de boue.



I.5.1.4 Traitement tertiaire

En cas de réutilisation éventuelle de l'eau épurée, le traitement tertiaire comprend des méthodes physico-chimiques et biologiques visant à éliminer les résidus non extraits lors des traitements précédents, les germes pathogènes et les polluants phosphorés. La déphosphoration chimique, la filtration et la désinfection sont les traitements tertiaires les plus courants. [5]

I.5.1.5 Traitement des boues

Les boues générées par les stations d'épuration, provenant des diverses méthodes de traitement, sont recueillies afin d'être soumises à divers traitements avant d'être acheminées vers le milieu destiné à recevoir. Différentes méthodes sont employées, complémentaires, isolées ou combinées : l'épaississement, la stabilisation et la déshydratation. [6]

I.6 Conclusion

Ce chapitre examine l'impact important des eaux usées sur l'environnement. Provenant de diverses sources, ces eaux sont porteuses de contaminants potentiellement nocifs qui menacent la biodiversité et la santé publique. Toutefois, malgré ces défis, des réglementations environnementales strictes ont été instaurées.

Le choix des méthodes de traitement est influencé par une multitude de facteurs, tels que la composition des effluents, les réglementations environnementales en vigueur et les ressources disponibles. La gestion efficace des eaux usées est essentielle pour réduire leur impact environnemental et préserver la qualité de l'eau.

Chapitre II :

La réutilisation des eaux usées

II.1 Introduction

La gestion durable des ressources en eau figure parmi les défis majeurs de notre siècle, face à une pression croissante sur les ressources naturelles exacerbée par le changement climatique et l'accroissement démographique. Dans ce contexte, la réutilisation des eaux usées apparaît comme une stratégie incontournable pour pallier la raréfaction de l'eau potable dans de nombreuses régions du monde. Cette approche non seulement contribue à la préservation des ressources en eau douce, mais offre également une solution aux problèmes de pollution en traitant les eaux usées avant leur rejet dans l'environnement ou leur réemploi dans diverses applications.

II.2 Définition de la réutilisation des eaux usées

La réutilisation des eaux usées vise principalement à fournir davantage d'eau de qualité en accélérant le processus d'épuration naturelle de l'eau, tout en préservant l'équilibre de ce processus et la préservation de l'environnement. En d'autres termes, cette réutilisation est une initiative volontaire et planifiée qui a pour objectif de générer des quantités supplémentaires d'eau pour divers usages afin de pallier des pénuries d'eau. [9]

Selon les attentes de qualité des consommateurs, on peut distinguer deux grandes catégories de réutilisation :

- Les usages potables qui peuvent être directs, après un traitement approfondi, ou indirects, après avoir été intégrés dans le milieu naturel.
- Les utilisations non potables dans les domaines de l'agriculture (irrigation), de l'industrie et de la ville. [9]

II.3 La réutilisation des eaux usées dans le monde

Au plan mondial, l'utilisation de cette technique par l'agriculture, l'industrie et les usages domestiques couvre respectivement 70 %, 20 %, 10% de leur demande en eau.

On observe principalement une réutilisation pour l'irrigation dans les pays réputés pour leur culture agricole mais avec des ressources hydriques limitées, tels que le bassin méditerranéen et le sud des États-Unis. Dans les régions de l'ouest et de l'est des États-Unis, dans l'espace méditerranéen, en Australie, en Afrique du Sud et dans les zones semi-arides de l'Amérique du Sud et de l'Asie du Sud, les projets de réutilisation les plus importants ont été mis en place. [10]

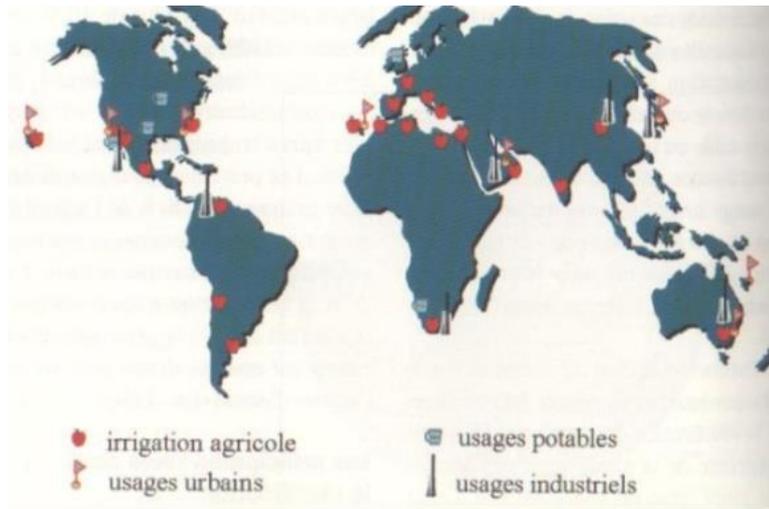


Figure II-1 : Les expériences mondiales les plus significatives en réutilisation des eaux résiduaires urbaines sont réparties par secteur et localisation. [10]

II.3.1 Le secteur agricole

La réutilisation des eaux usées est principalement destinée à des applications agricoles. Pour ce domaine, l'utilisation des eaux traitées peut améliorer les rendements des cultures tout en offrant des avantages économiques.

Pour assurer la protection de la santé publique, il est crucial d'établir des normes et des réglementations rigoureuses adaptées aux différents types de cultures. Deux grands ensembles de normes existent : les recommandations de l'OMS (1989) et la réglementation californienne intitulée « titre 22 » (1978). L'objectif principal de ces normes est de réduire les risques sanitaires associés à l'utilisation des eaux usées en agriculture. [10]

L'utilisation des eaux usées urbaines pour l'irrigation des cultures ou des espaces verts est la méthode la plus courante de réutilisation. A l'échelle mondiale, c'est également la solution qui semble la plus prometteuse à court et moyen terme.

En France, la richesse des ressources en eau n'encourage pas une telle réutilisation des eaux usées. Actuellement, l'expérience se restreint à des projets de petite taille (irrigation jusqu'à 320 ha), principalement dans les régions côtières de l'Atlantique (Pornic pour l'irrigation de golfs) et de la Méditerranée (Montpellier pour l'irrigation de cultures). [11]

L'expérience de Mexico City est considérée comme le projet de réutilisation des eaux usées le plus important à l'échelle mondiale. La capitale mexicaine réutilise près de 100 % des

eaux usées brutes (de 45 à 300 m³/s en période de pluie) pour l'irrigation de plus de 85 000 hectares de cultures agricoles. [12]

Aux Etats-Unis, la réutilisation agricole est une pratique très répandue. 34 états disposent de réglementations ou de recommandations, souvent très sévères. Ces mesures législatives, et plus de trente ans d'expérience, font des Etats-Unis un pays phare au plan mondial dans le domaine de la réutilisation des eaux usées. En Floride et en Californie, respectivement 34% (340000 m³/j) et 63% (570000 m³/j) du volume total d'eaux usées réutilisée le sont pour l'agriculture. [13]

En Italie, l'enjeu politique majeur est la réutilisation des eaux usées. La plus grande usine de réutilisation des eaux usées en Europe a été mise en service en 2005 à Milan, avec une capacité moyenne de traitement de 345000 m³/j. Grâce à cette usine, les eaux usées traitées et désinfectées peuvent être recyclées afin d'irriguer plus de 22000 hectares de cultures maraîchères à haute valeur ajoutée. [13]

II.3.2 Le secteur industriel

Le recyclage interne des eaux usées et la réutilisation industrielle sont maintenant une réalité technique et économique. Dans certaines nations et secteurs d'activité, l'eau recyclée constitue 85% des besoins mondiaux en eau. Les principales industries qui consomment le plus d'eau sont les centrales thermiques et nucléaires (pour le refroidissement) ainsi que les industries papetières. L'eau réutilisée est soumise à des réglementations et varie en fonction du type d'utilisation ou de production industrielle. Il n'y a pas plus de 15 % des eaux usées urbaines dans le volume des eaux réutilisées en industrie. Par exemple, aux États-Unis, les eaux réutilisées dans l'industrie sont d'environ 790000 m³/j, dont 68% sont destinées au refroidissement. Prenons l'exemple de la centrale nucléaire de PaloVerde pour illustrer cela :

La centrale nucléaire de PaloVerde est la plus importante des États-Unis, avec une capacité de 4 millions de kilowatts. Sa localisation est à Phoenix, en Arizona. Aujourd'hui, elle est la seule centrale nucléaire à utiliser des eaux épurées pour ses tours de refroidissement dans le monde.

L'eau est nécessaire pour une centrale électrique afin de générer de la vapeur (pour faire fonctionner les turbines) et de refroidir ses équipements. Environ 6400 m³ d'eau est consommée par minute par la centrale. Cependant, PaloVerde se trouve dans une zone dépourvue de ressources en eau naturelles (pas de cours d'eau, de lacs ni de mer). Ainsi, il a

été décidé d'utiliser les eaux usées de la ville de Phoenix. Le traitement des eaux usées urbaines est assuré par une station d'épuration qui dispose d'une capacité d'environ 500 000 m³ par jour. L'intervention a commencé en 1974. [10]

II.3.3 Le secteur urbain et périurbain

II.3.3.1 Réutilisation pour un usage non-alimentaire

Les utilisations des eaux usées correctement traitées en milieu urbain et périurbain connaissent un développement rapide et sont devenues un élément essentiel de la politique de gestion intégrée de l'eau dans les grandes villes. [20] De nombreuses communes japonaises (qui sont pionnières dans les pays en développement : 8% du volume total des eaux usées réutilisées, soit environ 8 millions de m³ par an) et des villes américaines ont déjà développé des systèmes de distribution double : eau potable et eaux usées à réutiliser.

Pour ce qui est des usages urbains, l'Afrique du Sud et l'Australie sont les plus rigoureuses, avec une qualité d'eau potable et une élimination complète des virus. Les procédés de traitement sont semblables à ceux employés pour la production d'eau potable à partir d'eau usée dans ces pays. [10]

II.3.3.2 Réutilisation pour un usage alimentaire (eau « potable »)

Grâce aux avancées technologiques dans le domaine de l'eau, il est possible de générer une eau de grande qualité, même à partir des eaux usées. Plusieurs recherches ont démontré qu'il n'y a pas d'objection pertinente à la réutilisation des eaux résiduaires correctement traitées pour la consommation alimentaire. Cependant, les principales limitations de ce genre d'utilisation sont liées à des facteurs psychologiques et culturels liés à la perception de l'eau usée comme dangereuse et malsaine. Ainsi, l'utilisation indirecte est la tendance dominante aujourd'hui, après un séjour temporaire de l'eau usée traitée dans le milieu naturel. [10]

L'usine de Windhoek, en Namibie, est l'unique exemple historique de production directe d'eau potable à partir des eaux usées. [12]

À Denver aux États-Unis, à Capetown en Afrique du Sud, à Sao Paulo au Brésil et à Mexico City, ont été réalisés plusieurs projets de démonstration de la production directe d'eau potable à partir des eaux résiduaires urbaines. [11]

Les eaux usées partiellement traitées peuvent être stockées intermédiairement dans des aquifères, des lacs ou des réservoirs artificiels, avec un taux de dilution des eaux usées réutilisées variant de 16 à 40 % par rapport aux ressources en eau.

En 1977, la société Essex et Suffolk Water a réalisé le premier projet de production indirecte d'eau potable à partir des eaux usées en Europe, dans la région d'Essex (Grande-Bretagne). Tous les jours, plus de 35000 m³/j d'eaux usées traitées sont combinées avec les eaux de surface (avec un taux de dilution maximal de 37%) et sont envoyées dans le réservoir d'eau potable d'Hanninglied. [10]

II.4 La réutilisation des eaux usées en Algérie

La question de l'accès durable aux ressources en eau revêt une importance capitale à l'échelle mondiale. En tant que pays méditerranéen, l'Algérie est particulièrement touchée par la pénurie d'eau. L'Algérie fait partie des pays où l'eau est rare, avec une disponibilité inférieure au seuil de rareté de 1000 m³/hab/an. De plus, de nombreux éléments ont un impact négatif sur les ressources en eau, tels que les variations climatiques, la demande croissante de la population, l'insuffisance des infrastructures de stockage et la pollution des eaux de surface et souterraines causée par différentes activités fondamentales. Il est insuffisant que les précipitations, les barrages et les forages répondent aux besoins de la population et soutiennent le développement rapide des activités industrielles et urbaines. [15]

L'Algérie, dont la superficie est de 2 381 741 km², est constituée de 58 wilayas, dont 80 % du territoire est en zone désertique, où les précipitations sont quasiment absentes et les ressources en eau de surface sont très limitées, majoritairement concentrées dans la partie nord de l'Atlas. Selon MOZAS et ALEXIS (2013), on estime en moyenne que les ressources en eau de l'Algérie sont de 18 milliards de m³ par an, réparties de la manière suivante : dans les régions du Nord, on compte 12,5 milliards de m³ (10 milliards de m³ issus des eaux de surface et 2,5 milliards de m³ issus des nappes souterraines renouvelables), tandis que dans les zones sahariennes, on compte 5,5 milliards de m³ (0,5 milliard de m³ issus des écoulements de surface et 5 milliards de m³ issus des nappes souterraines renouvelables). Le pays dispose de 60 % de ressources en eau renouvelables, dont 15 % d'eaux de surface et 15 % d'eaux souterraines. [15]

II.4.1 Situation actuelle des eaux usées et leur réutilisation

En Algérie, les eaux usées jouent un rôle essentiel dans l'approvisionnement en eau globale, tout comme les eaux superficielles et souterraines. Leur volume annuel est estimé entre 700 et 750 millions de m³ par an, dont plus de 550 millions de m³ sont attribués aux agglomérations de plus de 50 000 habitants. La capacité de traitement totale s'élève à environ

7 millions d'Eq/H, ce qui représente un débit nominal quotidien de plus d'un million de m³/j. [15]

La loi n° 83-03 du 5 février 1983, sur la protection de l'environnement et la loi n° 83-17 du 16 juillet 1983, sur le code des eaux interdisent formellement la réutilisation des eaux usées non traitées. [15]

Une équipe de recherche du centre de recherche en biotechnologies de Constantine en Algérie a mené une enquête sur le terrain et a identifié deux types de réutilisations des eaux usées : les réutilisations domestiques et industrielles (3,1 millions de m³/an) et les réutilisations pour l'irrigation des grands et petits périmètres agricoles (3,4 millions de m³/an). [15]

Tableau II-1 : Répartition de l'eau utilisée par usages. [15]

Usages	Utilisation (2012) (millions de m ³ /an)	2030 (millions de m ³ /an)
Usage domestique et industriel	3,1	4,2-4,6
Irrigation (Grands et petits périmètres)	3,4	7,8-8,2
Total	6,5	12-12,8

II.4.2 Réutilisation pour l'irrigation

La réutilisation des eaux usées dans le domaine agricole est une pratique ancienne. D'après MRE, des initiatives de construction et de modernisation d'infrastructures de traitement visant à réutiliser les eaux usées en irrigation ont été mises en place dès les années 1990. La contribution de la réutilisation des eaux usées en irrigation est évaluée en fonction du rapport entre la réutilisation des eaux usées et l'affectation des ressources. Ce pourcentage s'élève à 13,37% pour la région hydrographique Chelif Zahrez, à 21,4% pour la région hydrographique Constantine-Seybousse-Mellegue et à 34,92% pour la région hydrographique Oranie-Chot-Chergui. La pluviométrie dans cette région est considérablement inférieure à celle des autres régions du Nord algérien (400 mm environ par an). Dans la région de l'Ouest algérien, la réutilisation des eaux usées en irrigation devient même cruciale, atteignant même 45%, voire 100%, dans le cas du périmètre de Mléta. [15]

De plus, il est essentiel de mettre l'accent sur la réutilisation des eaux usées traitées dans les régions qui font face à un manque d'eau traditionnel. Dans 43 wilayas, certaines des stations d'épuration gérées par l'ONA contribuent à la réutilisation des eaux usées traitées pour l'agriculture. En 2011, on estime que le volume réutilisé s'élève à 17 millions de m³ par an, ce qui permet d'irriguer plus de 10 000 hectares de terres cultivables. Cette capacité de réutilisation a connu une augmentation significative, passant de 17 millions de m³ en 2011 à 45 millions de m³ en 2012, puis à 300 millions de m³ en 2024. [15]

II.4.3 Réutilisation municipale

Il y a un grand nombre de réutilisations d'eaux épurées en milieu urbain. En Algérie, la protection civile récupère principalement 18 763 m³/mois d'eau usée épurée de la STEP de Tipaza pour combattre les incendies, tandis que les collectivités locales récupèrent 12 m³/mois d'eau usée épurée pour le nettoyage de la ville à partir de la STEP de Boumerdès. [15]

II.4.4 Réutilisation industrielle

Certaines nations fournissent 85% des besoins globaux en eau à l'industrie grâce à l'eau recyclée. Il est possible de réaliser la REUE industrielle dans le domaine de l'énergie, que ce soit dans les circuits de refroidissement fermés ou ouverts. En plus, il est envisageable de réutiliser cette technologie dans les laveries industrielles, les stations de lavage de voiture, l'industrie du papier, la fabrication d'acier, de textiles, les industries électroniques et semi-conducteurs, etc.

En Algérie, on peut seulement mentionner l'exemple de la STEP de Jijel, qui fournit un volume d'eau usée de 15 000 m³/mois à la tannerie de Jijel. [15]

II.5 Avantages de la réutilisation des eaux usées

L'exploitation des eaux usées présente de multiples bénéfices, à la fois sur le plan environnemental, économique et social.

➤ Ressource supplémentaire

- La croissance de la disponibilité de l'eau et la souplesse d'approvisionnement tout en réduisant la demande globale ;
- La disponibilité des eaux usées épurées qui peuvent être utilisées en tout temps ;
- La réduction du besoin de mobiliser d'autres ressources en eau ;

-L'assurance d'une ressource fiable, disponible et indépendante des sécheresses pour l'irrigation et les usages industriels. [16]

➤ **Protection et conservation des ressources naturelles**

- Préserver l'eau potable afin de la consacrer aux besoins domestiques ;
- Disposer d'une ressource supplémentaire en eau ;
- Réduire l'utilisation des ressources telles que les eaux de surface et les eaux souterraines, afin d'éviter leur surexploitation. [16]

➤ **Impact économique positif**

- Dans certains cas, éviter les dépenses liées à l'élimination des nutriments des eaux usées ;
- Réduire ou supprimer l'usage des engrais chimiques en irrigation ;
- Garantir des revenus supplémentaires grâce à la vente de l'eau recyclée et des produits dérivés ;
- Garantir des avantages économiques pour les usages grâce à la disponibilité de l'eau recyclée en cas de sécheresse. [16]

➤ **Impact sur l'environnement**

- Mettre à jour et préserver les plans d'eau en cas de sécheresse ;
- Éviter les conséquences néfastes de la construction de nouveaux barrages, réservoirs, etc...
- Contribuer à l'amélioration du milieu de vie et de l'environnement (parcs, etc.) ;
- Bénéficier de l'apport de nutriments de l'eau d'irrigation afin d'accroître la productivité des cultures agricoles et la qualité des espaces verts. [16]

➤ **Évolution durable**

- Minimiser les dépenses en termes d'énergie et d'environnement par rapport à celles liées à l'exploitation des aquifères profonds, au transport d'eau à longue distance, au dessalement, etc ;

- Garantir une alternative abordable pour les zones arides, préserver les environnements sensibles et restaurer les zones humides ;
- Améliorer la production alimentaire en cas d'irrigation. [16]

II.6 Inconvénients de la réutilisation des eaux usées

La pratique de réutilisation des eaux usées épurées présente de multiples bénéfices, mais elle présente également ses limites et contraintes.

➤ La disponibilité des eaux usées épurées dans l'espace et dans le temps

Il n'est pas toujours possible de trouver des eaux usées épurées à proximité des zones où l'utilisation est possible. La distance entre la source et l'usage nécessite donc des systèmes de distribution, ainsi que dans certains cas un pompage, ce qui entraîne une augmentation des coûts proportionnelle à cette distance. En outre, la demande fluctue selon les saisons. Effectivement, pendant l'été, les exigences sont plus élevées qu'en hiver en raison de la forte demande pour les activités agricoles, urbaines et de loisirs. [17]

➤ Effets sur l'environnement

Les eaux usées peuvent renfermer divers contaminants, tels que des substances biologiques, organiques et/ou inorganiques, qui peuvent être préjudiciables à la santé et restreindre leur capacité à être réutilisées. En cas de manque de réglementation sur la réutilisation des eaux usées traitées ou de traitement insuffisant de l'eau, les utilisations pour la production d'eau potable et l'irrigation de cultures alimentaires présentent des risques accrus pour la santé humaine. [17]

L'utilisation des eaux usées traitées pour recharger les nappes phréatiques peut être contaminée par des toxines, des pathogènes et des contaminants chimiques, en particulier lorsqu'il s'agit d'une injection directe dans l'aquifère. [18]

➤ Adhésion des audiences

En cas de traitement des eaux usées pour répondre à des critères de qualité très élevés pour la production d'eau potable, les individus ont une préférence pour une eau de source naturelle de moindre qualité plutôt que pour une eau usée traitée répondant aux normes de qualité les plus élevées. Ils s'opposent à cette utilisation directe et soutiennent la réutilisation

des eaux usées traitées pour la lessive, les usages récréatifs, la recharge de la nappe phréatique et l'utilisation dans les industries. [16]

II.7 Conclusion

La réutilisation des eaux usées émerge comme une réponse cruciale aux défis contemporains de gestion de l'eau. Ce chapitre a examiné en profondeur les différentes facettes de cette pratique, mettant en lumière ses avantages potentiels en termes de sécurité hydrique, de durabilité environnementale et de résilience face aux changements climatiques. Cependant, il est crucial de reconnaître les défis associés, tels que la nécessité d'une technologie de traitement avancée, une réglementation solide et une sensibilisation accrue du public pour assurer une mise en œuvre efficace et sûre.

Chapitre III :

Présentation de l'industrie

III.1 Présentation de la zone industrielle de Rouiba

La zone industrielle de Rouiba, située dans la banlieue est d'Alger, est l'une des principales zones industrielles d'Algérie, elle s'étale sur une superficie de 1000 ha. Historiquement cette zone a joué un rôle central dans le développement industriel du pays depuis son établissement dans les années 1960. Rouiba est bien connue pour sa concentration d'entreprises spécialisées dans divers secteurs tels que l'automobile, la mécanique, l'électronique, et l'agroalimentaire. De grandes entreprises nationales et internationales y ont établi des usines, attirées par sa proximité avec la capitale, sa bonne connexion aux réseaux de transport, notamment la route, le rail et la proximité avec l'aéroport international d'Alger. Plusieurs plans de développement ont été mis en place au cours des années pour moderniser les infrastructures et améliorer les services dans la zone industrielle de Rouiba. Elle dispose d'infrastructures modernes, comme des routes, des réseaux électriques et de télécommunications, ainsi que des installations de traitement des eaux usées. Cependant, elle fait face également à des défis, notamment en matière de gestion environnementale et de mise à niveau technologique, pour rester compétitive dans un environnement économique mondial en constante évolution.



Figure III-1 : La zone industrielle de Rouiba.

III.1.1 Situation géographique de Rouiba

Rouiba est une commune de la wilaya d'Alger en Algérie, située dans la banlieue est d'Alger. La ville de Rouiba est située à une latitude de 36,7259091 et une longitude de 3,2885455 à environ 21 km à l'est du centre d'Alger. Elle est située dans un carrefour de routes très importantes, notamment l'autoroute est-ouest et la RN5.

Rouiba, capitale de la Mitidja orientale, était une ville agricole à faible urbanisation jusqu'au début du XXe siècle où elle devient une ville industrielle après la Seconde Guerre mondiale, avec la première et la plus grande zone industrielle du pays, s'étendant sur une superficie de 1000 hectares.



Figure III-2 : Situation géographique de la ville de Rouiba. [19]

III.1.2 Etude topographique

Les coordonnées géographiques de Rouiba sont : $36,738^\circ$ de latitude, $3,281^\circ$ de longitude et une altitude 16 m.

Au-delà de Rouiba, la topographie est essentiellement plate, avec une altitude maximale de 23 mètres et une altitude moyenne de 17 mètres au-dessus du niveau de la mer. Le terrain est principalement plat sur 16 kilomètres, avec une altitude moyenne de 526 mètres. D'autre part, dans un rayon de 80 kilomètres, l'altitude est très variable, avec des altitudes allant jusqu'à 2146 mètres.

A proximité de Rouiba, dans un rayon de 3 kilomètres, 80 % de la surface est artificielle et 19 % est cultivée. Dans un rayon de 16 kilomètres, la répartition est de 36 % d'eau et 27 % de terres cultivées, tandis que dans un rayon de 80 kilomètres, 48 % de la surface est occupée par de l'eau et 30 % par des terres cultivées. [20]

III.1.3 Etude climatologique

III.1.3.1 Température moyenne annuelle

La période de chaleur intense s'étend sur 3 mois, du 21 juin au 21 septembre, avec une température moyenne quotidienne maximale dépassant 28°C . Août est le mois le plus chaud de l'année à Rouiba, avec des températures moyennes maximales atteignant 31°C et minimales de 20°C .

L'hiver dure 4 mois, du 23 novembre au 23 mars, avec une température moyenne quotidienne maximale inférieure à 19°C. Le mois le plus froid de l'année à Rouiba est janvier, avec des températures moyennes de 6°C et 16°C. [20]



Figure III-3 : Courbe de température moyenne annuelle. [20]

Tableau III-1 : Température moyenne annuelle. [20]

Temps	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Haute	16°C	17°C	19°C	21°C	24°C	28°C	30°C	31°C	29°C	25°C	21°C	17°C
Moyenne	11°C	11°C	13°C	15°C	18°C	22°C	25°C	26°C	24°C	20°C	15°C	12°C
Basse	6°C	6°C	8°C	10°C	13°C	17°C	20°C	20°C	18°C	15°C	11°C	7°C

III.1.3.2 Précipitation

Un jour de précipitation est défini comme un jour où l'accumulation d'eau mesurée atteint au moins 1 millimètre. La fréquence des jours de précipitation à Rouiba fluctue au cours de l'année.

Le maximum d'humidité dure 7,8 mois, du 20 septembre au 15 mai, avec une probabilité de pluie quotidienne supérieure à 15 %. Le mois le plus pluvieux à Rouiba est novembre, avec une moyenne de 7,8 jours avec au moins 1 millimètre de pluie.

La saison la plus sèche, quant à elle, s'étend sur 4,2 mois, du 15 mai au 20 septembre. Le mois de juillet est celui où les précipitations sont les plus faibles, avec une moyenne de 0,7 jours avec au moins 1 millimètre de pluie.

En ce qui concerne les types de pluie, on distingue les jours avec une seule pluie, une seule neige ou un mélange des deux. Le mois de novembre est également celui où le nombre de jours de pluie est le plus élevé, avec une moyenne de 7,8 jours. La pluie est la forme de

précipitation la plus courante tout au long de l'année, avec une probabilité maximale de 29 % le 18 novembre. [20]



Figure III-4 : Courbe de précipitation annuelle. [20]

III.1.3.3 Humidité

Nous évaluons le confort en fonction de l'humidité relative, mesurée par le point de rosée, car il indique si la transpiration peut s'évaporer efficacement, ce qui contribue au rafraîchissement corporel. Les points de rosée bas sont perçus comme plus secs, tandis que les points de rosée élevés sont ressentis comme plus humides.

Contrairement à la température, qui peut varier fortement entre le jour et la nuit, les points de rosée changent plus lentement. Par conséquent, une journée étouffante est généralement suivie d'une nuit également lourde, même si la température baisse la nuit. Rouiba présente des variations saisonnières marquées en termes de confort lié à l'humidité.

La période de l'année la plus lourde dure 4,1 mois, du 6 juin au 10 octobre, avec une sensation de lourdeur, d'oppression ou d'étouffement au moins 18 % du temps. Août est le mois plus difficile à Rouiba, avec une moyenne de 21,7 jours considérés comme particulièrement étouffants.

À l'inverse, janvier est le mois avec le moins de jours lourds à Rouiba, avec une moyenne de 0,0 jour perçu comme lourd ou oppressant. [20]

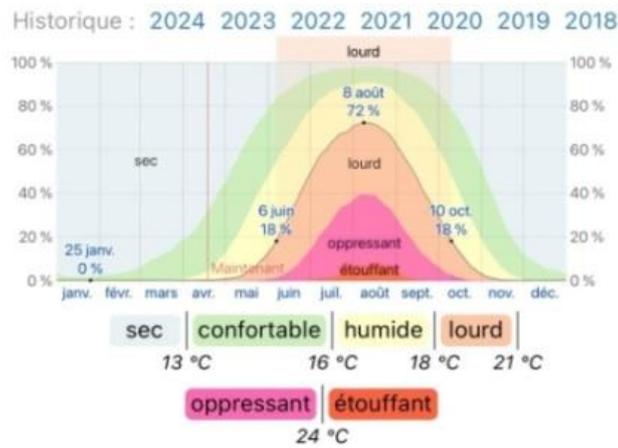


Figure III-5 : Courbe annuelle de catégories d'humidité. [20]

III.1.3.4 Le vent

La vitesse moyenne du vent à Rouiba varie légèrement selon les saisons tout au long de l'année. La plus forte température de l'année s'étend sur 5,5 mois, du 29 octobre au 14 avril, avec des vents moyens dépassant 14,5 kilomètres par heure. À Rouiba, décembre est le mois le plus venteux de l'année, avec une vitesse moyenne du vent de 16,4 kilomètres par heure. Pendant 6,5 mois, la période la plus paisible de l'année s'étend du 14 avril au 29 octobre.

À Rouiba, août est le mois le plus calme de l'année, avec une vitesse moyenne du vent de 12,6 kilomètres par heure.

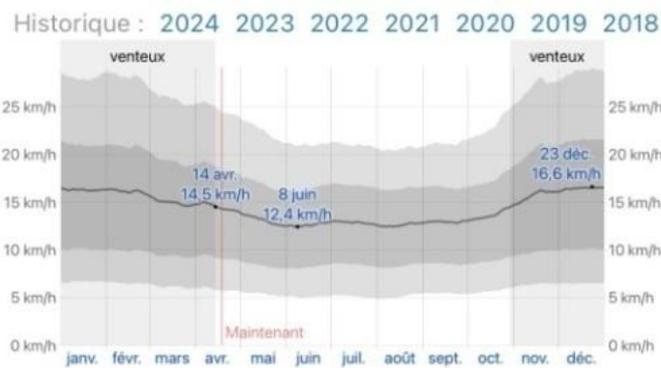


Figure III-6 : La moyenne des vitesses des vents moyens horaires. [20]

Tableau III-2 : Vitesse annuelle du vent. [20]

	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Vitesse du vent	16,3	16,1	15,0	14,5	13,1	12,6	12,9	12,6	12,9	13,7	15,7	16,4

III.2 Présentation de l'industrie de boissons Rouiba

Salah Othmani a fondé la nouvelle conserverie algérienne de Rouiba (NCA Rouiba) en 1966 sous la forme d'une société à responsabilité limitée (SARL). Elle travaille dans le domaine de l'agro-alimentaire et son siège social se situe dans la zone industrielle de Rouiba.

La marque Rouiba a produit le concentré de tomates, d'Harissa et de confitures. En 1984, l'entreprise a commencé à produire des boissons à base de fruits (Rouiba), en référence à la ville où elle est basée.

Pour la première fois en Algérie, Rouiba offre un jus de fruits pasteurisé conditionné dans un emballage aseptique en carton en 1989.

La société adopte en 2003 une forme juridique de société à responsabilité limitée.

En 2008, la société a changé de nom, devenant « NCA-Rouiba SPA », à la place de « la nouvelle conserverie algérienne ».

La société est rachetée en avril 2020 par le groupe Castel, une entreprise spécialisée dans les boissons.



Figure III-7 : Logo de la marque Rouiba.

III.2.1 Les produits fabriqués

On peut classer les produits fabriqués de NCA Rouiba comme suit :

- Selon leur teneur de fruit :
 - **Boisson** : se sont des liquides qui contiennent des quantités majoritaires de l'eau et du sucre et une faible quantité de fruit, on peut distinguer deux types :
 - Boisson fraîche : si sa teneur de fruit est inférieur à 12%.
 - Boisson limpide : si sa teneur de fruit est entre 12 et 20%.
 - **Nectar** : fabriqué à partir de la déshydratation de la purée ou de la pulpe de fruits et on ajoute de l'eau et du sucre, sa teneur de fruit est entre 25 et 50%.

- **Pur jus** : il est directement issu des produits pressés, sa teneur de fruit est entre 95 et 100%.

- Selon leur capacité volumique :

Le produit final est mis soit en bouteille soit en cartonne tétra pack :

- Bouteille de : 2l, 1l, 75cl, 33cl, 25cl.
- Cartonne de : 1l, 20cl, 10cl.

III.2.2 Etapes de fabrication du jus

III.2.2.1 La réception de la matière première

Les matières premières sont soit importées de l'étranger comme les concentrés de fruits, quelques types de purée, la pectine, les différents arômes et l'acide citrique, ou bien locales comme les sucres liquides (Cevital).

Pour le packaging on importe les bobines tétra pack, la colle, les pailles, les bouchons, les étiquettes, les préformes pour les PET, carton et film pour suremballage.

III.2.2.2 Le stockage

Le stockage est une étape cruciale dans la fabrication des jus, permettant de conserver les matières premières dans des conditions optimales, les zones de stockage sont :

- Khmis el khechna : où s'effectue le premier stockage de la matière première après l'importation.
- La chambre froide : le stockage se fait dans cette chambre pendant une semaine avant la production, la température est de 4°C.
- Zone tampon : dans cette zone le stockage de la matière première se fait à température ambiante au cours des 48 heures avant la production.

III.2.2.3 La siroperie

C'est la préparation du produit semi-fini à partir du tableau de commande à une température de 22°C, la préparation passe par les étapes suivantes :

- Aspiration de la matière première dans des cuves de dépotage.
- Préparation de l'acide citrique sous la forme liquide.
- Préparation de la pectine sous forme de gel.

- Aspiration des différents ingrédients à partir des cuves de dépotage vers les cuves de préparation où se passe le mélange.

Pour obtenir un produit sain il faut le passer par l'étape de pasteurisation suivie par un choc thermique.

III.2.2.4 Le conditionnement aseptique

Le conditionnement du produit total a une capacité de 28000 litres/heure, réparti entre le conditionnement de carton et de PET qui a une capacité de 10000 bouteilles/heure soit environ 12500 litres/heure.

III.2.2.5 Les analyses en ligne

Le contrôle en ligne de tous les caractères organoleptiques et physicochimiques s'assure chaque heure dont :

- Le goût, la couleur, le parfum et le taux de pulpe.
- pH, compris entre 3 et 3,6.
- Brix, compris entre 11 et 11,6.
- Le taux de vitamine C.

III.2.2.6 Stockage du produit fini

Le stockage se fait dans des magasins spéciaux à l'usine ou dans des dépôts externes à une température ambiante.

III.3 Conclusion

En conclusion, l'industrie des jus et des nectars de Rouïba incarne un secteur dynamique et en pleine expansion, offrant une diversité de produits répondant aux besoins variés des consommateurs. Enracinée dans une tradition séculaire et bénéficiant des avancées technologiques modernes, cette industrie joue un rôle crucial dans l'économie locale et nationale.

La production engendre une utilisation intensive d'eau, il est impératif que les acteurs de cette industrie adoptent des pratiques de gestion de l'eau plus responsables et mettent en œuvre des stratégies innovantes pour minimiser leur empreinte environnementale.

Chapitre IV :

Dimensionnement de la station d'épuration

IV.1 Introduction

La gestion efficace des eaux usées est très importante lors de la conception et la planification des installations industrielles. Le dimensionnement d'une station d'épuration revêt donc une importance cruciale pour garantir la conformité réglementaire, minimiser l'impact environnemental et assurer la durabilité des opérations industrielles.

Dans ce chapitre, nous allons aborder le dimensionnement de la STEP des eaux usées de l'industrie Rouiba. Nous explorerons les différentes étapes nécessaires pour dimensionner efficacement la STEP, en analysant les débits d'effluents, les charges polluantes, les caractéristiques des contaminants.

IV.2 Caractéristiques des eaux usées de l'industrie des boissons Rouiba

IV.2.1 Le résultat physicochimique

Le tableau ci-dessous présente les résultats des analyses effectués au niveau du laboratoire sur les eaux usées de l'industrie de boissons Rouiba.

Tableau IIV-1 : Analyses des eaux usées en aval de l'usine. [26]

Paramètre	Résultat	Unités	Normes selon le décret exécutif de 2006
Température	21,5	°C	30
pH	6,7	-	6,5-8,5
DBO ₅	537,6	mg/l	35
DCO	830	mg/l	120
MES	350	mg/l	35
Phosphore	0,97	mg/l	10
Azote kjeldahl	11	mg/l	30
Huiles et graisses	20	mg/l	20

IV.2.2 Commentaire des analyses

On examine les résultats des analyses physicochimiques des eaux usées de l'industrie Rouiba pour déterminer les traitements appropriés :

- DCO élevée : une DCO élevée reflète une forte concentration de matières organiques dans les eaux usées. La présence de cette charge organique peut compliquer le processus de traitement biologique et diminuer l'efficacité de la dégradation biologique.

- DBO₅ élevée : une DBO₅ élevée témoigne d'une grande quantité de matières organiques biodégradables présentes dans les eaux usées. Malgré leur capacité à fournir des nutriments aux microorganismes, une concentration excessive de DBO₅ peut augmenter la demande en oxygène dans les récepteurs d'eau. Il peut être nécessaire d'effectuer un traitement biologique plus approfondi afin de diminuer la DBO₅ avant le rejet.
- Forte concentration en MES : La présence de nombreuses particules solides en suspension dans les eaux usées est attestée par une forte concentration de matières en suspension dans les eaux usées. Ces particules sont susceptibles de créer des blocages dans les équipements de traitement et de compromettre l'efficacité des procédés. Il est essentiel de procéder à des étapes de prétraitement, telles que le tamisage ou la décantation, afin d'éliminer ces solides.

IV.2.3 La biodégradabilité

La biodégradabilité désigne la capacité d'une substance à être dégradée ou à être transformée par des microorganismes participant aux processus biologiques de purification de l'eau. On utilise un coefficient K qui permet de mesurer le niveau de biodégradabilité d'une substance :

$$K = \frac{DCO}{DBO_5} = \frac{830}{537,6} = 1,54 \dots \dots \dots (IV.1)$$

Tel que :

K : indice de biodégradabilité.

[DBO₅] : la concentration totale de la DBO₅ à l'entrée de la STEP en g/m³.

[DCO] : la concentration totale de la DCO à l'entrée de la STEP en g/m³.

On a : $1 < k < 2$: ce qui représente une eau de bonne biodégradabilité.

IV.3 Les paramètres de dimensionnement

Le débit Q_{rej} : $1200 \text{ m}^3/\text{j} = 0,0138 \text{ m}^3/\text{s}$

La charge polluante C (kg/j) = concentration (kg/l) x Q_{rej} (l/j) (IV.2)

- Calcul de la charge polluante de la DCO :

$$C_{DCO} = (830 \times 1200) / 1000$$

$$C_{\text{DCO}} = 996 \text{ kg/j}$$

- Calcul de la charge polluante de la DBO₅ :

$$C_{\text{DBO}_5} = (537,6 \times 1200) / 1000$$

$$C_{\text{DBO}_5} = 645,12 \text{ kg/j}$$

- Calcul de la charge polluante de MES :

$$C_{\text{MES}} = (350 \times 1200) / 1000$$

$$C_{\text{MES}} = 420 \text{ kg/j}$$

- Calcul de la charge polluante de l'azote kjeldahl :

$$C_{\text{N}} = (11 \times 1200) / 1000$$

$$C_{\text{N}} = 13,2 \text{ kg/j}$$

- Calcul de la charge polluante du phosphore :

$$C_{\text{P}} = (0,97 \times 1200) / 1000$$

$$C_{\text{P}} = 1,164 \text{ kg/j}$$

- Calcul de la charge polluante des huiles et graisses :

$$C_{\text{huiles}} = (20 \times 1200) / 1000$$

$$C_{\text{huiles}} = 24 \text{ kg/j}$$

Tableau IV-2 : Charges journalières des effluents avant le traitement.

Débit (m ³ /j)	1200
DCO (kg/j)	996
DBO ₅ (kg/j)	645.12
MES (kg/j)	420
Phosphore (kg/j)	1.164
Azote kjeldahl (kg/j)	13.2
Huiles et graisses (kg/j)	24

IV.4 Le traitement des ERI de l'industrie de Rouiba

À partir de ces données, nous allons dimensionner une station d'épuration des eaux usées industrielles avec une capacité nominale de 1200 m³/j. Cette station permettra de réutiliser l'eau traitée pour diverses utilisations telles que le lavage des sols et des camions, le refroidissement, la lutte contre les incendies et l'arrosage des espaces verts. Il convient de noter que le réseau de collecte de l'usine est séparatif.

IV.5 Dimensionnement des ouvrages de la station

IV.5.1 Dimensionnement du bassin d'homogénéisation

La variabilité dans la composition et le débit des rejets industriels est souvent importante en raison du caractère discontinu de nombreuses étapes du processus de production. Pour faciliter les étapes de traitement suivantes et améliorer le dimensionnement des équipements, il est courant de chercher à stabiliser le débit hydraulique ainsi que la charge polluante.

Cela est réalisé à l'aide de bassins d'homogénéisation, qui jouent le rôle de réservoirs tampons placés en amont des installations. Ces bassins permettent de stocker les effluents d'une unité ou de l'ensemble de l'usine pendant plusieurs heures, voire plusieurs jours. [22]

On a dimensionné la capacité du bassin de manière à pouvoir contenir 150% du volume total d'effluents générés en une journée, par souci de sécurité.

Calcul du volume

$$V = 150\% \times Q \dots\dots\dots (IV.3)$$

$$V = 1.5 \times 1200 = 1800 \text{ m}^3$$

$$V = 1800 \text{ m}^3$$

Calcul de la surface

Pour une hauteur H=5m

$$S = V/H \dots\dots\dots (IV.4)$$

$$S = 1800/5$$

$$S = 360 \text{ m}^2$$

Calcul du diamètre

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} \dots\dots\dots (IV.5)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 360}{\pi}}$$

D = 21.41 m

Calcul du temps de séjour T_s

$$T_s = \frac{V}{Q} \dots\dots\dots (IV.6)$$

$$T_s = \frac{1800}{1200}$$

$T_s = 36h$

Tableau IV-3 : Dimensions du bassin d'homogénéisation.

Paramètre	Unité	Valeur
Volume	m ³	1800
Surface	m ²	360
Diamètre	m	21.41
Temps de séjour	h	36

IV.5.2 Le prétraitement

IV.5.2.1 Dégrillage

Largeur de la grille

Pour le calcul du dégrilleur, on utilise la méthode de KIRSCHMER.

La largeur de la grille est calculée par l'expression suivante :

$$L = \frac{S \cdot \sin a}{h_{max} \cdot (1 - \beta) \cdot c} \dots\dots\dots (IV.7)$$

tel que :

L : largeur de la grille (m).

S : surface de passage de l'eau.

α : l'angle d'inclinaison de la grille par rapport l'horizontal = (60° à 80°).

h_{max} : la hauteur maximale de l'eau sur une grille (m), $h_{max} = (0,15 \text{ à } 1,5 \text{ m})$.

β : fraction de surface occupée par les barreaux.

$$\beta = \frac{d}{d+e} \dots\dots\dots (IV.8)$$

tel que : d : épaisseur des barreaux (cm).

e : espacement entre les barreaux (cm).

Tableau IV-4 : Valeurs des épaisseurs et des espacements des barreaux.

Paramètres	Grilles grossières	Grilles fines
d (cm)	2	1
e (cm)	5 à 10	0.3 à 1

C : coefficient de colmatage de la grille.

- La grille manuelle : $C = (0.1 \text{ à } 0.3)$.
- La grille mécanique : $C = (0.4 \text{ à } 0.5)$.

Surface de passage de l'eau :

$$S = \frac{Q}{\beta V C} \dots\dots\dots (IV.9)$$

Tel que :

Q : débit de la station en (m³/s).

V : vitesse de l'eau à travers la grille (m/s).

- Pour un réseau séparatif, $V = (0.1 \text{ à } 1 \text{ m/s})$.
- Pour un réseau unitaire, $V = (0.3 \text{ à } 1.2 \text{ m/s})$.

IV.5.2.2 Dimensionnement du dégrilleur

Nous allons procéder au dimensionnement d'un seul dégrilleur fin.

Les données de base nécessaires pour le dimensionnement du dégrilleur fin sont présentées dans le tableau IV-5 :

Tableau IV-5 : Données de base pour le dimensionnement du dégrilleur fin.

Paramètres	Q (m ³ /s)	V (m/s)	α	h _{max}	d (cm)	e (cm)	C
Valeur	0.0138	1	60	1	1	1	0.45

$$\beta = \frac{1}{1+0.6} = 0.625$$

donc : $S = \frac{0.0138}{0.625 \times 1 \times 0.45} = 0.049 \text{ m}^2$

$$L = \frac{0.049 \times \sin 60}{1 \times (1 - 0.625) \times 0.45} = 0.2514 \text{ m}$$

Calcul du nombre des barreaux

On a : $L = N_e \cdot e + N_b \cdot b$ (IV.10)

Avec : N_e : nombre d'espacements. ($N_e = N_b + 1$)

N_b : nombre des barreaux.

b : diamètre des barreaux.

e : espacement entre les barreaux.

Alors : $N_b = \frac{L - e}{e + b} = \frac{0.25 - 0.006}{0.006 + 0.01} = 15.25 = 16$ barreaux.

Calcul des pertes de charges

D'après KIRSCHMER les pertes de charge sont calculées par l'équation :

$$\Delta H = \beta \cdot \left(\frac{d}{e}\right)^{4/3} \cdot \sin \alpha \cdot \left(\frac{V^2}{2g}\right)$$
 (IV.11)

d : diamètre des barreaux (cm).

e : espacement entre les barreaux (cm).

α : angle d'inclinaison de la grille par rapport à l'horizontal = 60°.

β : coefficient qui tient compte de la forme des barreaux ; (forme circulaire $\beta = 1.79$).

V : vitesse d'écoulement dans la grille (m/s).

g : accélération de pesanteur (9.81 m/s^2).

Les valeurs de β sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau IV-6 : Valeurs du coefficient de forme des barreaux.

Type de barreaux	β
Section rectangulaire	2.42
Section rectangulaire avec arrondi semi-circulaire à l'amont	1.83
Section rectangulaire avec arrondis semi-circulaire à l'amont et à l'aval	1.67
Section circulaire	1.79
Section ovoïde avec une grande largeur à l'amont	0.76

$$\Delta H = \beta \cdot \left(\frac{d}{e}\right)^{4/3} \cdot \sin a \cdot \left(\frac{V^2}{2g}\right) = 1.79 \left(\frac{1}{0.6}\right)^{4/3} \cdot \sin(60) \cdot \frac{1^2}{2 \times 9.81} = 0.156 \text{ m}$$

$$\Delta H = 0.156 \text{ m}$$

Tableau IV-7 : Résultats du dimensionnement du dégrilleur.

Paramètre	Unité	Grilles fines
Débit de rejet (Q)	m^3/s	0.0138
La hauteur de l'eau	m	1
Epaisseur des barreaux (d)	cm	1
Espacement des barreaux (e)	cm	0.6
Largeur de la grille (L)	m	0.25
Surface (S)	m	0.049
Nombre des barreaux (N_b)	/	16
Pertes de charge (ΔH)	mm	156

On remarque que les dimensions du dégrilleur sont trop petites alors on propose d'utiliser un dégrilleur commercial de 1 m^2 .

IV.5.3 Le traitement physico-chimique

Ce traitement primaire est réalisé à l'aide d'un décanteur primaire, basé sur le principe de coagulation-floculation, afin d'améliorer l'élimination des MES, DCO et DBO_5 . Un traitement spécifique du phosphore, appelé déphosphatation, permet de précipiter les ions PO_4^{3-} après l'ajout de réactifs. [22]

Le phosphore se retrouve alors principalement dans les matières en suspension (MES), nécessitant ainsi une séparation solide-liquide.

IV.5.3.1 Coagulation

La coagulation est un procédé chimique visant à améliorer l'efficacité de la décantation physique. Cette phase est réalisée à l'aide de composés tels que les hydroxydes métalliques ou les polymères synthétiques, qui facilitent l'agrégation et la séparation des particules colloïdales présentes dans l'eau. Le processus nécessite une première phase d'agitation rapide à 100 tr/min, suivie d'une agitation lente à 40 tr/min. Il est essentiel que le bassin soit équipé d'un agitateur ainsi que d'un régulateur de pH pour assurer un fonctionnement optimal. [22]

Le volume du bassin de coagulation

$$V_c = Q_r \times T_c \dots\dots\dots (IV.12)$$

Tel que :

V_c : le volume du bassin de coagulation.

Q_r : le débit de rejet.

T_c : le temps de contact par application numérique.

On prend $T_c = 3 \text{ min}$

$$V_c = 0.018 \times 3 \times 60 = 2.484 \text{ m}^3$$

$$V_c = 2.484 \text{ m}^3$$

La surface du bassin

On fixe la hauteur du bassin H à 2m

$$S_h = \frac{V}{H} \dots\dots\dots (IV.13)$$

$$S_h = \frac{2.484}{2}$$

$$S_h = 1.242 \text{ m}^2$$

Le diamètre du bassin

$$D_c = \sqrt{\frac{4Sh}{\pi}} \dots\dots\dots (IV.14)$$

$$D_c = \sqrt{\frac{4 \times 1.242}{\pi}}$$

$D_c = 1.257 \text{ m}$

Tableau IV-8 : Résultats du dimensionnement du réacteur de coagulation.

Paramètres	Unités	Valeurs
Le débit	m ³ /s	0.0138
Le temps T _p	min	3
Le volume V _c	m ³	2.484
La surface S _c	m ²	1.242
Le diamètre D _c	m	1.257

IV.5.3.2 Flocculation

La flocculation vise à encourager l'agglomération des colloïdes en une structure de type floc. Ce procédé nécessite une agitation qui varie généralement entre 10 et 50 tr/min.

Les réacteurs sont généralement conçus pour avoir des temps de passage allant de 10 à 20 minutes.

On prend T_p = 20 minutes.

Le volume du bassin de flocculation

$$V_f = Q_r \times T_p \dots\dots\dots (IV.15)$$

$$V_f = 0.0138 \times 20 \times 60$$

$V_f = 16.56 \text{ m}^3$

La surface du bassin

On fixe la hauteur du bassin H à 2m

$$S_h = \frac{V}{H} \dots\dots\dots (IV.16)$$

$$S_h = \frac{16.56}{2}$$

$$S_h = 8.28 \text{ m}^2$$

Le diamètre du bassin

$$D_f = \sqrt{\frac{4S_h}{\pi}} \dots\dots\dots (IV.17)$$

$$D_f = \sqrt{\frac{4 \cdot 8.28}{\pi}}$$

$$D_f = 3.24 \text{ m}$$

Tableau IV-9 : Résultats de dimensionnement du réacteur de floculation

Paramètres	Unités	Valeurs
Le débit	m ³ /s	0.0138
Le temps T _p	min	20
Le volume V _f	m ³	16.56
La surface S _f	m ²	8.28
Le diamètre D _f	m	3.24

IV.5.3.3 Décanteur primaire

Les principaux paramètres de calcul du décanteur sont les suivant :

- La charge superficielle (vitesse de chute) V_c varie entre 1 et 2,5 m/h.
- Le temps de séjour T_s est compris entre 1 et 3 heures.
- La hauteur d'eau dans l'ouvrage H varie entre 2 et 6 m.

Le volume du décanteur

$$V = Q_r \times T_s \dots\dots\dots (IV.18)$$

tel que :

Q_r : le débit de rejet.

T_s : le temps de séjour, on prend T_s = 2h.

$$V = Q_r \times T_s = 0.0138 \times 2 \times 60 \times 60 = 99.36 \text{ m}^3$$

$V = 99.36 \text{ m}^3$

La surface horizontale du décanteur

$S_h = \frac{Q}{v} \dots\dots\dots (IV.19)$

$S_h = \frac{50}{1.7} = 29.41 \text{ m}^2$

$S_h = 29.41 \text{ m}^2$

La hauteur du décanteur

$H = \frac{Vd}{S_h} \dots\dots\dots (IV.20)$

$H = \frac{99.36}{29.41} = 3.37 \text{ m}$

Il faut ajouter une hauteur de revanche pour éviter le débordement. La hauteur totale sera :

$H_t = 4 \text{ m}$

Le diamètre du décanteur

$D = \sqrt{\frac{4S_h}{\pi}} \dots\dots\dots (IV.21)$

$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 29.41}{\pi}}$

$D = 6.11 \text{ m}$

Tableau IV-10 : Résultats du dimensionnement du décanteur primaire.

Paramètres	Unités	Valeurs
Débit (Q)	m ³ /h	50
Vitesse de chute (V _c)	m/h	1.7
Temps de séjour (T _s)	h	2
Volume (V _d)	m ³	99.36
Surface horizontale (S _h)	m ²	29.41
Hauteur totale (H _t)	m	4
Diamètre (D)	m	6.11

IV.5.3.4 Charges polluantes après la décantation

Le processus coagulation floculation décantation permet d'éliminer 75% de la DCO et DBO₅, 90% des MES, 80% des huiles et des graisses, 70% du phosphore et 20% de l'azote kjeldahl.

Tableau IV-11 : Résultats du traitement par coagulation-floculation-décantation.

Effluent	Unité	Concentration à l'entrée	Concentration éliminée	Concentration à la sortie	Valeur limite
DCO	mg/l	830	622.5	207.5	120
DBO ₅	mg/l	537.6	403.2	134.4	35
MES	mg/l	350	315	35	35
Huiles et graisses	mg/l	20	16	4	20
Phosphore	mg/l	0.97	0.679	0.273	10
Azote kjeldahl	mg/l	11	2.2	8.8	30

IV.5.3.5 Calcul de la biodégradabilité

On calcule la biodégradabilité à la sortie du décanteur :

$$K' = \frac{DCO}{DBO_5} = \frac{207.5}{134.4} = 1.54 \dots \dots \dots (IV.22)$$

$1 < k' < 2$: on a une eau de bonne biodégradabilité qui nécessite un traitement biologique.

IV.5.4 Le traitement secondaire (traitement biologique)

IV.5.4.1 Le bioréacteur

L'épuration ne portant que sur l'élimination de la fraction organique et de la fraction particulaire, un seul réacteur biologique aérobie est nécessaire, associé à une étape de séparation membranaire.

Nous allons proposer quatre variantes de traitement dont une est le traitement par boue activée conventionnelle et les trois autres sont trois types de BAM qui ont déjà prouvé leur efficacité dans le traitement des eaux usées puis nous allons comparer les résultats obtenus. [23]

Variante 1 : un BAC conventionnel (boues activées associées à une clarification aval par décantation gravitaire) présentant un âge de boues de 10 jours et une concentration en MES en régime stabilisé de 5g/l.

Variante 2 : un bioréacteur à membrane fonctionnant à forte âge des boues. En régime permanent, le temps de séjour des boues est de 40 jours et la concentration en biomasse de 20 gMES/L.

Variante 3 : un bioréacteur à membrane fonctionnant à faible âge des boues. En régime permanent, le temps de séjour des boues est de 10 jours et la concentration en biomasse de 20 gMES/L.

Variante 4 : un bioréacteur à membrane fonctionnant avec un âge des boues de 15 jours et une concentration en biomasse moyenne de 10 gMES/L.

On va procéder à une étude comparative entre ces quatre variantes :

A. Etude de la variante 1

T_b : 10 j X : 5 gMES/l

Tel que :

T_b : temps de séjour des boues.

X : concentration de la biomasse.

1. Rendement de production de boues (Y)

$$Y = \frac{Y_H}{1 + T_b \cdot K_d} \dots\dots\dots (IV.23)$$

Y_H : concept de décès = 0,44 gMVS/gDCO. [23]

K_d : concept de maintenance = 0,04 j⁻¹ [23]

$$Y = \frac{Y_H}{1 + T_b \cdot K_d} = \frac{0,44}{1 + 10 \cdot 0,04} = 0,31 \text{ kgMVS/kgDCO}$$

$$Y = 0,31 \text{ kgMVS/kgDCO}$$

2. La production des boues

$$m_{\text{boue}} = Y \times Q \times (\text{DCO}_{\text{entrée}} - \text{DCO}_{\text{sortie}}) \dots\dots\dots (IV.24)$$

tel que :

Q : débit à l'entrée du réacteur des eaux usées.

Y : rendement de production de boues.

$$m_{\text{boue}} = Y \times Q \times (\text{DCO}_{\text{entrée}} - \text{DCO}_{\text{sortie}}) = 0.31 \times 1200 \times (207.5 - 90) \times 10^{-3} = 43.71 \text{ kg/j}$$

$$m_{\text{boue}} = 43.71 \text{ kg/j}$$

3. Débit de purge des boues

On a : $\frac{Q_p}{Q} = \frac{Y \cdot (S_e - S)}{X} \dots\dots\dots (IV.25)$

Donc : $Q_p = \frac{Q \cdot Y \cdot (S_e - S)}{X} = \frac{m_{\text{boue}}}{X} = \frac{43.41}{5} = 8.68 \text{ m}^3/\text{j}$

$$Q_p = 8.68 \text{ m}^3/\text{j}$$

Tel que :

Q : débit de purge des boues.

m_{boue} : la production des boues.

X : concentration de la biomasse.

S_e : concentration de la DCO entrée (mg/l).

S : concentration de la DCO dans le perméat (mg/l).

4. Le volume du bassin d'aération

- Pour moyenne charge

$V = \frac{L_0}{C_v} \dots\dots\dots (IV.26)$

$V = \frac{L_0}{C_v} = \frac{161.28}{1.5} = 107.52 \text{ m}^3$

$$V = 107.52 \text{ m}^3$$

V : le volume.

L_0 : charge polluante (kgDBO₅/j).

C_v : charge volumique (kgDBO₅/m³.j). $C_v = [0.6-1.5] \text{ kgDBO}_5/\text{m}^3/\text{j}$

- Pour forte charge

$$V = \frac{L_0}{C_v} = \frac{161.28}{3} = 53.76 \text{ m}^3$$

$$V = 53.76 \text{ m}^3$$

V : le volume.

L_0 : charge polluante (kgDBO₅/j).

C_v : charge volumique (kgDBO₅/m³.j). $C_v = [1.5-3]$ kgDBO₅/m³/j

5. Temps de séjour hydraulique (T_H)

- Pour moyenne charge

$$T_H = \frac{V}{Q} \dots\dots\dots (IV.27)$$

$$T_H = \frac{107.52}{1200} = 0.0896 \text{ j}$$

$$T_H = 2.15 \text{ h}$$

- Pour forte charge

$$T_H = \frac{V}{Q} = \frac{53.76}{1200} = 0.0448 \text{ j} = 1.07 \text{ h}$$

$$T_H = 1.07 \text{ h}$$

6. La quantité d'oxygène nécessaire (Q_{O_2})

$$Q_{O_2} = Q \times (S_e - S) - Q_p \times X \times 0.8 \times 1.44 \dots\dots\dots (IV.28)$$

$$Q_{O_2} = 1200 \times (207.5 - 90) \times 10^{-3} - 8.68 \times 5 \times 0.8 \times 1.44 = 91 \text{ kg/j}$$

$$Q_{O_2} = 91 \text{ kg/j}$$

B. Etude de la variante 2

$$T_b : 40 \text{ j} \quad X = 20 \text{ gMES/l}$$

T_b : temps de séjour de boue.

X : concentration de la biomasse.

1. Rendement de production de boues (Y)

$$Y = \frac{Y_H}{1 + T_b * K_d}$$

Y_H : concept de décès = 0,44 gMVS/gDCO.

K_d : concept de maintenance = 0,04 j⁻¹

$$Y = \frac{Y_H}{1 + T_b * K_d} = \frac{0,44}{1 + 40 * 0,04} = 0,17 \text{ kgMVS/kgDCO}$$

$$Y = 0,17 \text{ kgMVS/kgDCO}$$

2. La production des boues

$$m_{\text{boue}} = Y \times Q \times (\text{DCO}_{\text{entrée}} - \text{DCO}_{\text{sortie}})$$

tel que :

Q : débit à l'entrée du réacteur des eaux usées.

Y : rendement de production de boues.

$$m_{\text{boue}} = Y \times Q \times (\text{DCO}_{\text{entrée}} - \text{DCO}_{\text{sortie}}) = 0,17 \times 1200 \times (207,5 - 90) \times 10^{-3} = 23,97 \text{ kg/j}$$

$$m_{\text{boue}} = 23,97 \text{ kg/j}$$

3. Le débit de purge

$$\text{On a : } \frac{Q_p}{Q} = \frac{Y * (S_e - S)}{X}$$

$$\text{Donc : } Q_p = \frac{Q * Y * (S_e - S)}{X} = \frac{m_{\text{boue}}}{20} = \frac{23,97}{20} = 1,19 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$Q_p = 1,19 \text{ m}^3/\text{j}$$

Tel que :

Q : débit de purge des boues.

m_{boue} : la production des boues.

X : concentration de la biomasse.

S_e : concentration de la DCO entrée (mg/l).

S : concentration de la DCO dans le perméat (mg/l).

4. Le volume du réacteur

$$V = Q_p \times T_b = 1.19 \times 40 = 47.6 \text{ m}^3$$

$$V = 47.6 \text{ m}^3$$

Q_p : débit de purge.

T_b : temps de séjour des boues.

5. Temps de séjour hydraulique (T_H)

$$T_H = \frac{V}{Q} = \frac{47.6}{1200} = 57 \text{ min}$$

$$T_H = 57 \text{ min}$$

6. La quantité d'oxygène nécessaire (Q_{O_2})

$$Q_{O_2} = Q \times (S_e - S) - Q_p \times X \times 0.8 \times 1.44$$

$$Q_{O_2} = 1200 \times (207.5 - 90) \times 10^{-3} - 1.19 \times 20 \times 0.8 \times 1.44 = 113.58 \text{ kg/j}$$

$$Q_{O_2} = 113.58 \text{ kg/j}$$

C. Etude de la variante 3

$$T_b : 10 \text{ j} \quad X = 20 \text{ gMES/l}$$

T_b : temps de séjour de boue.

X : concentration de la biomasse.

1. Rendement de production de boues (Y)

$$Y = \frac{Y_H}{1 + T_b \cdot K_d}$$

Y_H : concept de décès = 0,44 gMVS/gDCO.

K_d : concept de maintenance = 0,04 j⁻¹

$$Y = \frac{Y_H}{1 + T_b \cdot K_d} = \frac{0.44}{1 + 10 \cdot 0.04} = 0.31 \text{ kgMVS/kgDCO}$$

$$Y = 0.31 \text{ kgMVS/kgDCO}$$

2. La production des boues

$$m_{\text{boue}} = Y \times Q \times (\text{DCO}_{\text{entrée}} - \text{DCO}_{\text{sortie}})$$

tel que :

Q : débit à l'entrée du réacteur des eaux usées.

Y : rendement de production de boues.

$$m_{\text{boue}} = Y \times Q \times (\text{DCO}_{\text{entrée}} - \text{DCO}_{\text{sortie}}) = 0.31 \times 1200 \times (207.5 - 90) \times 10^{-3} = 43.71 \text{ kg/j}$$

$$m_{\text{boue}} = 43.71 \text{ kg/j}$$

3. Le débit de purge

$$\text{On a : } \frac{Q_p}{Q} = \frac{Y \cdot (S_e - S)}{X}$$

$$\text{Donc : } Q_p = \frac{Q \cdot Y \cdot (S_e - S)}{X} = \frac{m_{\text{boue}}}{20} = \frac{43.41}{20} = 2.17 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$Q_p = 2.17 \text{ m}^3/\text{j}$$

Tel que :

Q : débit de purge des boues.

m_{boue} : la production des boues.

X : concentration de la biomasse.

S_e : concentration de la DCO entrée (mg/l).

S : concentration de la DCO dans le perméat (mg/l).

4. Le volume du réacteur

$$V = Q_p \times T_b = 2.17 \times 10 = 21.7 \text{ m}^3$$

$$V = 21.7 \text{ m}^3$$

Q_p : débit de purge.

T_b : temps de séjour des boues.

5. Temps de séjour hydraulique (T_H)

$$T_H = \frac{V}{Q} = \frac{21.7}{1200} = 26 \text{ min}$$

$$T_H = 26 \text{ min}$$

6. La quantité d'oxygène nécessaire (Q_{O_2})

$$Q_{O_2} = Q \times (S_e - S) - Q_p \times X \times 0.8 \times 1.44$$

$$Q_{O_2} = 1200 \times (207.5 - 90) \times 10^{-3} - 2.17 \times 20 \times 0.8 \times 1.44 = 91 \text{ kg/j}$$

$$Q_{O_2} = 91 \text{ kg/j}$$

D. Etude de la variante 4

$$T_b : 15 \text{ j} \quad X = 10 \text{ gMES/l}$$

T_b : temps de séjour de boue.

X : concentration de la biomasse.

1. Rendement de production de boues (Y)

$$Y = \frac{Y_H}{1 + T_b * K_d}$$

Y_H : concept de décès = 0,44 gMVS/gDCO.

K_d : concept de maintenance = 0,04 j⁻¹

$$Y = \frac{Y_H}{1 + T_b * K_d} = \frac{0.44}{1 + 15 * 0.04} = 0.28 \text{ kgMVS/kgDCO}$$

$$Y = 0.28 \text{ kgMVS/kgDCO}$$

2. La production des boues

$$m_{\text{boue}} = Y \times Q \times (DCO_{\text{entrée}} - DCO_{\text{sortie}})$$

tel que :

Q : débit à l'entrée du réacteur des eaux usées.

Y : rendement de production de boues.

$$m_{\text{boue}} = Y \times Q \times (\text{DCO}_{\text{entrée}} - \text{DCO}_{\text{sortie}}) = 0.28 \times 1200 \times (207.5 - 90) \times 10^{-3} = 39.48 \text{ kg/j}$$

$$m_{\text{boue}} = 39.48 \text{ kg/j}$$

3. Le débit de purge

$$\text{On a : } \frac{Q_p}{Q} = \frac{Y \cdot (S_e - S)}{X}$$

$$\text{Donc : } Q_p = \frac{Q \cdot Y \cdot (S_e - S)}{X} = \frac{m_{\text{boue}}}{10} = \frac{39.48}{10} = 3.948 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$Q_p = 3.948 \text{ m}^3/\text{j}$$

Tel que :

Q : débit de purge des boues.

m_{boue} : la production des boues.

X : concentration de la biomasse.

S_e : concentration de la DCO entrée (mg/l).

S : concentration de la DCO dans le perméat (mg/l).

4. Le volume du réacteur

$$V = Q_p \times T_b = 3.948 \times 15 = 59.22 \text{ m}^3$$

$$V = 59.22 \text{ m}^3$$

Q_p : débit de purge.

T_b : temps de séjour des boues.

5. Temps de séjour hydraulique (T_H)

$$T_H = \frac{V}{Q} = \frac{59.22}{1200} = 1.18 \text{ h}$$

$$T_H = 1.18 \text{ h}$$

6. La quantité d'oxygène nécessaire (Q_{O_2})

$$Q_{O_2} = Q \times (S_e - S) - Q_p \times X \times 0.8 \times 1.44$$

$$Q_{O_2} = 1200 \times (207.5 - 90) \times 10^{-3} - 3.948 \times 10 \times 0.8 \times 1.44 = 95.51 \text{ kg/j}$$

$$Q_{O_2} = 95.51 \text{ kg/j}$$

Tableau IV-12 : Dimensions des quatre variantes.

		Y (kgMVS/kgDCO)	Q _p (m ³ /j)	V (m ³)	Q _{O₂} (kg/j)	T _H
Variante 1	Moyenne Charge	0.31	8.68	107.52	91	2.15 h
	Forte charge	0.31	8.68	53.76	91	1.07h
Variante 2		0.17	1.19	47.6	113.58	57 min
Variante 3		0.31	2.17	21.7	91	26 min
Variante 4		0.28	3.94	59.22	95.51	1.18 h

IV.5.4.2 Comparaison des variantes

- On remarque que les volumes des bassins des trois types de bioréacteur à membrane étudiés sont inférieurs au volume du bassin du procédé biologique à boues activées conventionnel, ce qui conduit à des réacteurs plus petits donc un gain d'espace pour l'industrie.
- Le débit de purge des bioréacteurs à membrane ainsi que le temps de séjour hydraulique est moins important que pour le bassin biologique.
- Les variantes 2 et 4 produisent une quantité de boue inférieure à celle de boues activées.
- On remarque que le bioréacteur à membrane nécessite une quantité d'oxygène plus élevée par rapport au procédé biologique par boues activées donc l'activité des micro-organismes épurateurs augmente et la production des boues est moins importante.
- Après avoir analysé les résultats obtenus (dimensionnement des quatre variantes) il est clairement montré que le bioréacteur à membrane avec ses trois types est un très bon alternatif au procédé biologique à boue activée. Les bioréacteurs à membranes permettent d'avoir une eau de très bonne qualité et conforme aux normes de réutilisation en industrie avec une quantité de boue moins importante et un gain d'espace pour l'industrie.

IV.5.4.3 Calcul du nombre de modules membranaires

La détermination des caractéristiques du compartiment membranaire à installer sera basée sur l'exemple des membranes commerciales d'ultrafiltration Polymen UF 100LS2F. Les principales caractéristiques de cette membrane sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV-13 : Caractéristiques de la membrane Polymen UF100LS2F.

Paramètres	Unités	Valeurs
Perméabilité de la membrane (L_p)	L/h/m ² /bars	600
Surface utile par module (S)	m ²	7,5
Diamètre moyen des pores (d_p)	m	0,015
Diamètre du module (d_m)	mm	75
Hauteur du module (L_m)	mm	840

Débit brut du perméat produit par module

$$Q_{p \text{ brut}} = J(T) * A \dots\dots\dots (IV.29)$$

Tel que :

$J(T)$: flux de production du perméat par module (10-40 l/h.m²) [23]

A : surface de la membrane (m²)

$$Q_{p \text{ brut}} = J(T) \times A = 25 \times 7.5 = 187.5 \text{ l/h}$$

$$Q_{p \text{ brut}} = 187.5 \text{ l/h}$$

Calcul du débit net produit par module

Le débit net produit par module dépend du débit brut et de plusieurs autres paramètres, selon que le module subi des rétro-lavages ou des relaxations. Dans notre cas, et en absence d'essais laboratoire nous choisissons le système de relaxation pour amorcer le phénomène de colmatage des membranes du bioréacteur.

$$Q_{p \text{ net}} = \frac{t_f}{t_f + t_{relax}} \times Q_{p \text{ brut}} \dots\dots\dots (IV.30)$$

avec :

t_f : temps de filtration (9 -16 min). [23]

t_{relax} : temps de relaxation (30s – 2 min). [23]

$Q_{p\ net}$: le débit net produit par chaque module sur un cycle de retrolavage-relaxation-filtration.

$$Q_{p\ net} = \frac{tf}{tf+trelax} \times Q_{p\ brut} = Q_{p\ net} = \frac{15}{15+1} \times 3.125 = 2.93 \text{ l/min} = 175.8 \text{ l/h}$$

$$Q_{p\ net} = 175.8 \text{ l/h}$$

Le nombre de modules

$$N = E \left(\frac{J_s}{J_{pnet}} + 1 \right) \dots\dots\dots (IV.31)$$

avec :

E : fraction entière.

J_s : flux du perméat (10-40 l/h.m²)

$J_{p\ net}$: flux net produit par module (l/h.m²) il correspond au flux du perméat global produit sur un cycle (filtration-rétrolavage-relaxation).

$$J_{p\ net} = \frac{Q_{pnet}}{A} = \frac{175.8}{7.5} = 24 \text{ l/h.m}^2$$

$$N = E \left(\frac{25}{24} + 1 \right) = 2$$

$$N = 2 \text{ modules}$$

IV.5.4.4 Les charges polluantes après le traitement secondaire

Le bioréacteur à membrane permet d'éliminer 96% de la DBO₅, 99% des MES, 86% de la DCO, 99% des huiles et des graisses, 90% du phosphore et 90% de l'azote kjeldahl. La matière décantable se dépose au fond du bassin et elle est récupérée sous forme de boue secondaire dans les épaisseurs pour être traitée.

Tableau IV-14 : Les charges polluantes après le traitement secondaire.

Effluent	Unités	Concentration à l'entrée	Concentration éliminée	Concentration à la sortie
DCO	mg/l	207.5	178.45	29.05
DBO ₅	mg/l	134.4	129.024	5.376
MES	mg/l	35	34.65	0.35
Huiles et graisses	mg/l	4	3.96	0.04
Phosphore	mg.l	0.273	0.246	0.027
Azote kjeldahl	mg/l	8.8	7.92	0.88

IV.5.5 Bilan des boues

La quantité de boues en excès est calculée à l'aide de la formule d'Eckenfelder :

$$\Delta X = X_{\min} + X_{\text{dur}} + a_m L_e - b X_a - X_{\text{eff}} \dots \dots \dots \text{(IV.32)}$$

X_{\min} : les boues minérales (40% de MES) en (kg/j).

X_{dur} : les boues difficilement biodégradables (60% de MVS) en (kg/j).

L_e : la quantité de DBO₅ éliminée en (kg/j).

X_a : la masse totale journalière de MVS dans le bassin (kg).

X_{eff} : les boues sortantes avec l'effluent de DBO₅ = 30 mg/l.

a_m : coefficient de rendement cellulaire (g cellulaires formées/ g DBO₅ éliminées).

b : fraction de la masse cellulaire éliminer par jour en respiration endogène.

Tableau IV-15 : Les valeurs moyennes des paramètres a_m et b .

Paramètre	Forte charge	Moyenne charge	Faible charge	Aération prolongée
a_m	0.5	0.53	0.55	0.6
b	0.06	0.055	0.05	0.07

On prend : $a_m = 0.5$ $b = 0.06$

$$X_{\min} = 0.4 \times \text{MES} = 0.4 \times 42 = 16.8 \text{ kg/j}$$

$$X_{\text{dur}} = 0.6 \times \text{MVS} = 0.6 \times (0.7 \times 42) = 17.64 \text{ kg/j}$$

$$X_a = \frac{L_0}{C_m} = \frac{161.28}{1.5} = 107.52 \text{ kg}$$

$$b \times X_a = 0.06 \times 107.52 = 6.45 \text{ kg/j}$$

$$a_m \times L_e = 0.5 \times 154.82 = 77.41 \text{ kg/j}$$

$$X_{\text{eff}} = 30 \times 10^{-3} \times Q_{\text{rej}} = 30 \times 10^{-3} \times 1200 = 36 \text{ kg/j}$$

$$\Delta X = 16.8 + 17.64 + 77.41 - 6.45 - 36 = 69.4 \text{ kg/j}$$

$$\Delta X = 69.4 \text{ kg/j}$$

IV.5.6 Dimensionnement du bassin de stockage des eaux usées épurées

Volume du bassin

On prend un temps de séjour des eaux épurées dans le bassin de stockage de 1 jour ($T_s = 1j$).

$$V = Q_r \times T_s \dots\dots\dots (IV.33)$$

$$V = 1200 \times 1 = 1200 \text{ m}^3$$

$$V = 1200 \text{ m}^3$$

La surface horizontale du bassin

On prend la hauteur du bassin $H = 3\text{m}$

$$S = \frac{V}{H} \dots\dots\dots (IV.34)$$

$$S = \frac{1200}{3} = 400 \text{ m}^2$$

$$S = 400 \text{ m}^2$$

Le diamètre du bassin

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} \dots\dots\dots (IV.35)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 400}{\pi}} = 22.56 \text{ m}$$

$$D = 22.56 \text{ m}$$

IV.5.7 Le traitement des boues

Le traitement des boues vise à réduire leur teneur en eau ainsi qu'à diminuer efficacement leur charge polluante et leur caractère fermentescible. Les boues sont des particules solides qui ne sont pas retenues par les procédés de traitement de l'eau (séparation et dégradation des polluants).

La filière de traitement des boues comprend généralement plusieurs étapes : un épaissement, une stabilisation, une filtration, suivie d'un séchage et d'une élimination (par incinération ou réutilisation). Le choix des méthodes de traitement des boues issues des eaux industrielles résiduaires dépend fortement de leur origine et de leurs caractéristiques (teneur en matières sèche, teneur en MO et MVS, concentration en ETM...etc). [3]

IV.5.7.1 La production journalière des boues

Boue primaire

La boue primaire représente les quantités des DBO₅, DCO et MES éliminées par le décanteur primaire.

$$DX_p = DBO_{5\text{éliminée}} + DCO_{\text{éliminée}} + MES_{\text{éliminée}} \dots\dots\dots (IV.36)$$

$$DX_p = 403.2 + 622.5 + 315 = 1340.7 \text{ mg/l} = 1608.84 \text{ kg/j}$$

Avec une concentration de 20 à 30 g/l

$$Q_p = 1608.84/25 = 64.35 \text{ m}^3/\text{j}$$

Boue secondaire

La boue secondaire représente les quantités des DBO₅ et DCO éliminées par le traitement biologique.

$$D_{XS} = DBO_{5\text{éliminée}} + DCO_{\text{éliminée}} + MES_{\text{éliminée}} \dots\dots\dots (IV.37)$$

$$D_{XS} = 129.024 + 207.5 + 34.65 = 371.174 \text{ mg/l} = 445.4 \text{ kg/j}$$

Avec une concentration de 10 à 30 g/l

$$Q_s = 445.4 / 20 = 22.27 \text{ m}^3/\text{j}$$

Production totale des boues

$$DX_t = DX_p + DX_s = 1608.84 + 445.4 = 2054.24 \text{ kg/j}$$

IV.5.7.2 Dimensionnement de l'épaisseur**Le volume de l'épaisseur**

$$V = Q_p \times T_s \dots\dots\dots (IV.38)$$

$$V = 64.35 \times 2$$

$$V = 128.70 \text{ m}^3$$

Tel que :

Q_p : débit de boue primaire.

T_s : temps de séjour de 1 à 15j, on prend 2j.

La surface horizontale

Pour une profondeur de $H = 3\text{m}$

$$S_h = \frac{V}{H} \dots\dots\dots (IV.39)$$

$$S = \frac{128.70}{3}$$

$$S_h = 42.90 \text{ m}^2$$

Le diamètre

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} \dots\dots\dots (IV.40)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 42.90}{\pi}}$$

$$D = 7.39 \text{ m}$$

La hauteur du cône

$$H_c = D \times 0.15 \dots\dots\dots (IV.41)$$

$$H_c = 7.39 \times 0.15$$

$H_c = 1.10 \text{ m}$

Le volume du cône

$V_c = \frac{S_h * H_c}{3} \dots\dots\dots (IV.42)$

$V_c = \frac{42.90 * 1.10}{3}$

$V_c = 14.66 \text{ m}^3$

Tableau IV-16 : Résultats du dimensionnement de l'épaississeur.

Paramètre	Unité	Valeur
Volume de l'épaississeur (V _e)	m ³	128.70
Surface de l'épaississeur (S _h)	m ²	42.90
Diamètre de l'épaississeur (D)	m	7.39
La hauteur du cône (H _c)	m	1.10
Le volume du cône (V _c)	m ³	14.66

IV.5.7.3 Digesteur aérobic

L'objectif du digesteur aérobic est de réduire le volume des boues tout en augmentant leur concentration. Les boues épaissies atteignent le digesteur avec une concentration de 80 g/l.

Le débit des boues arrivant au digesteur

$Q_b = \frac{DXt}{80} \dots\dots\dots (IV.43)$

$Q_b = \frac{2054.24}{80} = 25.67 \text{ m}^3/\text{j}$

$Q_b = 25.67 \text{ m}^3/\text{j}$

Le temps de séjour

$T_s = 175 \times 10^{(-0.03 \times T)} \dots\dots\dots (IV.44)$

avec : t = 25°C

$T_s = 32 \text{ jours}$

Le volume du digesteur

$$V = Q_b \times T_s \dots\dots\dots (IV.45)$$

$$V = 25.67 \times 32$$

$$V = 821.44 \text{ m}^3$$

La surface du digesteur

$$S = \frac{V}{H} \dots\dots\dots (IV.46)$$

$$S = \frac{821.44}{6}$$

$$S = 136.9 \text{ m}^2$$

Le diamètre du digesteur

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} \dots\dots\dots (IV.47)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 136.9}{\pi}}$$

$$D = 13.2 \text{ m}$$

Tableau IV-17 : Résultats du dimensionnement du digesteur aérobie.

Paramètre	unité	Valeur
Le débit des boues entrant dans le digesteur (Q _b)	m ³ /j	25.67
Le temps de séjour (T _s)	jours	32
La hauteur du digesteur (H)	m	6
Le volume du digesteur (V)	m ³	821.44
La surface horizontale du digesteur (S _h)	m ²	136.9
Le diamètre du digesteur (D)	m	13.2

IV.5.7.4 Le filtre à bande

Le filtre à bande est un ouvrage conçu spécialement pour la déshydratation continue des boues.

Quantité des boues extraites

Avec une durée de fonctionnement retenue de $T = 8$ h/j, la quantité de boues à traiter par heure est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$\Delta X_{t,h} = \frac{DXt}{T} \dots\dots\dots (IV.48)$$

$$\Delta X_{t,h} = \frac{2054.24}{8} = 256.78 \text{ kg/h}$$

Pour une suscité finale $S_f = 18\%$

$$Q_b = \frac{DXt}{S_f \times 1000} \dots\dots\dots (IV.49)$$

$$Q_b = \frac{256.78}{0.18 \times 1000} = 1.42 \text{ m}^3/\text{j}$$

Largeur de la bande

La largeur de la bande, avec une capacité de filtration de 150 kg MS/h/m, est calculée selon la formule suivante :

$$L = \frac{\Delta X_{t,h}}{150} \dots\dots\dots (IV.50)$$

$$L = \frac{256.78}{150} = 1.71 \text{ m}$$

Tableau IV-18 : Résultats du dimensionnement du filtre à bande.

Paramètre	Unité	Valeur
Le temps de fonctionnement	H	8
La quantité de boues à traiter par heure ($\Delta X_{t,h}$)	Kg/h	256.78
La suscité finale	%	18
La quantité de boue extraite	m ³ /j	1.42
La capacité de filtration	Kg MS/h/m	150
La largeur de la bande	M	1.71

IV.6 Evaluation de la charge après les traitements

Afin de satisfaire les normes de rejet, les traitements effectués ont permis de réduire les charges polluantes. Voici un tableau récapitulatif comparant les charges polluantes aux normes de rejet.

Tableau IV-19 : Les charges polluantes après les traitements précédents.

Paramètre	Concentration (mg/l)	Norme (mg/l)
DCO	29.05	120
DBO ₅	5.376	35
MES	0.35	35
Phosphore	0.027	10
Azote kjeldahl	0.88	30
Huiles et graisses	0.04	20

Le tableau démontre que les valeurs des concentrations sont en dessous des normes de rejet, assurant ainsi l'absence de tout impact néfaste sur l'environnement lors du rejet dans le milieu naturel.

IV.7 Conclusion

Ce chapitre a détaillé le processus de dimensionnement de la station d'épuration industrielle, en identifiant les paramètres essentiels pour une conception et une optimisation efficaces. En analysant les caractéristiques propres à l'industrie, nous avons établi les capacités de traitement des eaux usées nécessaires et sélectionné les méthodes appropriées pour chaque étape du processus, y compris le prétraitement, le traitement primaire, le traitement biologique et le traitement tertiaire (la désinfection), afin de respecter les normes de rejet en vigueur.

Il est crucial de prendre en compte non seulement l'efficacité des traitements, mais aussi les aspects économiques et environnementaux lors de la conception d'une station d'épuration industrielle.

Chapitre V :

Calcul hydraulique

V.1 Introduction

La conception et la gestion d'une station d'épuration des eaux usées (STEP) exigent une attention particulière à deux éléments clés : les coûts initiaux et d'exploitation, ainsi que le dimensionnement hydraulique. Les coûts initiaux concernent les dépenses liées à la construction et à l'installation de la STEP, tandis que les coûts d'exploitation couvrent les frais courants de son fonctionnement. Le dimensionnement hydraulique permet d'évaluer les débits et flux d'eaux usées indispensables pour concevoir la station. Nous examinerons ainsi ces deux aspects essentiels pour garantir une gestion efficace et économique des stations d'épuration.

V.2 Relevage

Pour le dimensionnement de la bache d'aspiration de forme rectangulaire on utilise le débit maximal rejeté par l'usine.

$$V = \frac{ts \cdot Q_{rej}}{4 \cdot (N-1)} \dots\dots\dots (V.1)$$

Tel que :

Q_{rej} : le débit de pointe par temps sec (m^3/s).

t_s : l'intervalle entre deux démarrages successifs de la pompe (6-20min).

N : nombre des pompes.

$$V = \frac{0.0138 \cdot 20 \cdot 60}{4(2-1)} = 4.14 \text{ m}^3$$

$$S = \frac{V}{H} = \frac{4.14}{1.5} = 2.76 \text{ m}^3$$

$L = 2\text{m}$ et $b = 1.38\text{m}$, on prend : $L = 2\text{m}$ $b = 1.5\text{m}$

Tableau V-1 : Dimensions de la bache d'aspiration.

	Volume (V)	Hauteur (H)	Largeur (b)	Longueur (L)	Surface (S)
Unités	m^3	m	m	m	m^2
Valeur	4.14	1.5	1.5	2	2.76

V.3 Calcul du diamètre de la conduite de refoulement

La formule de Bonin sera utilisée pour calculer le diamètre de la conduite de refoulement vers l'ouvrage d'entrée, qui est le dégrilleur.

$$D_{\text{éco}} = \sqrt{Qrej} \dots\dots\dots (V.2)$$

$$D_{\text{éco}} = \sqrt{0.0138} = 0.117 \text{ m} = 117 \text{ mm}$$

Le diamètre normalisé est : **D = 125 mm**

Le matériau choisi pour la conduite de refoulement est le PVC en raison de sa légèreté, de sa résistance à la corrosion et de son coût abordable.

La vitesse d'écoulement est :

$$v = \frac{4*Q}{\pi*D^2} \dots\dots\dots (V.3)$$

$$v = \frac{4*0.0138}{\pi*0.125^2} = 1.12 \text{ m/s}$$

V.4 Calcul de la hauteur manométrique de la pompe

$$H = H_g + \Sigma h_{\text{plin}} + \Sigma h_{\text{psin}} + P_{\text{exh}} \dots\dots\dots (V.4)$$

Où :

H : pertes de charge totales dans la conduite sous pression (m).

H_g : différence des niveaux d'eau entre le puisard et le dégrilleur (m).

$\Delta H = \Sigma h_{\text{plin}} + \Sigma h_{\text{psin}}$: pertes de charge linéaire et singulière;

P_{ext} : pression à l'exaure P_{exh} (1 : 1.5m).

Le refoulement se fait avec une conduite de $D = 125 \text{ mm}$ et d'une longueur de $L = 12 \text{ m}$ vers le dégrilleur.

$$H_g = h_2 - h_1$$

$$H_g = 3 \text{ m}$$

H_g : hauteur géométrique.

h_2 : côte au niveau de la bache de réception.

h_1 : côte au niveau de l'ouvrage d'entrée (dégrilleur).

Nous avons opté pour l'acier comme matériau pour notre conduite en raison de sa dureté notable. L'acier présente un intérêt majeur notamment grâce à ses propriétés mécaniques fondamentales élevées : résistance aux chocs, résistance à la déformation permanente et rigidité, ainsi qu'une bonne résistance à la déformation élastique.

Tableau V-2 : Les valeurs des paramètres de calcul des pertes de charge linéaires.

Tuyau	K	m	β
Acier	0.00179 à 0.001735	5.1 à 5.3	1.9 à 2
Fonte	0.00179 à 0.001735	5.1 à 5.3	1.9 à 2
Amiante ciment	0.00118	4.89	1.85
Plastique	0.001052	4.774	1.77

Pour l'acier, on a : $K = 0.00179$ $m = 5.2$ $\beta = 1.9$

L'expression de perte de charge linéaire s'écrit :

$$\Delta H_{\text{lin}} = \frac{K \cdot L \cdot (Q^\beta)}{(D^m)} \dots\dots\dots (V.5)$$

Tel que :

K : coefficient de perte de charge (K= 0.00179).

Q_{tp} : débit total pompé.

L : longueur de la conduite.

D : diamètre de la conduite.

β : coefficient dépendant du régime d'écoulement.

m : coefficient dépendant du type du matériau de la conduite.

$$\Delta H_{\text{lin}} = \frac{0.00179 \cdot 12 \cdot (0.0138^{1.9})}{(0.125^{5.2})} = 0.31 \text{ m}$$

$$\Delta H_{\text{sin}} = 0.1 \cdot \Delta H_{\text{lin}} = 0.1 \cdot 0.31 = 0.031 \text{ m}$$

$$\Delta H = \Delta H_{\text{lin}} + \Delta H_{\text{sin}} = 0.31 + 0.031 = 0.341 \text{ m}$$

$$\text{HMT} = 3 + 0.341 + 1.5 = 4.841 \text{ m}$$

$$\text{HMT} = 4.841 \text{ m}$$

V.5 Choix de la pompe

Des pompes d'assainissement sont utilisées pour le relevage des eaux usées du puisard vers le dégrilleur. Pour sélectionner le type de la pompe, le logiciel Caprari est utilisé. On choisit une pompe de Série K+ DN 40 ÷ DN 350.

La gamme K+ energy inclut désormais la pompe KCA, dotée d'une roue ouverte à deux aubes. Ce modèle offre des performances optimales en termes d'efficacité et permet des économies d'énergie maximales.

- Rendements supérieurs à 80 % ;
- FIXING SYSTEM, un nouveau système de réglage de la roue, simplifie le montage et l'entretien en moins d'une minute ;
- Equipée de la technologie DRYWET SYSTEM, du système anti-colmatage K+ NON STOP et de la classe de rendement IE3.

V.6 Profil hydraulique

Le profil hydraulique consiste à établir les différents niveaux d'eau le long de la chaîne de traitement, ce qui permet de déterminer la position de la ligne de charge. Les élévations moyennes du terrain naturel dans les zones d'implantation des ouvrages sont précisées dans le tableau ci-dessous :

Tableau V-3 : Les côtes moyennes du terrain naturel.

Désignation des ouvrages	Côte du terrain naturel (m)	Hauteur de l'ouvrage (m)	Côte du radier (m)	Côte piézométrique (m)
Poste de relevage	95.8	1.5	95	96.5
Dégrilleur	94.3	1	93.8	94.8
Bassin d'homogénéisation	93.8	3	92.9	95.9
Bassin de coagulation	94	2	93.2	95.2
Bassin de floculation	93.4	2	92.6	94.6
Décanteur primaire	93.2	2	92.3	94.3
Bioréacteur à membrane	92.5	2.5	91.5	94
Bassin de désinfection	92.4	2.5	91.4	93.9

V.7 Dimensionnement des conduites reliant les ouvrages

$$\Delta H = \frac{K * L * (Q^\beta)}{(D^m)} = C_{p1} - C_{p2} \dots\dots\dots (V.6)$$

Tel que :

K : coefficient de perte de charge.

Q : débit entrant.

L : longueur de la conduite.

β : coefficient dépendant du régime d'écoulement.

m : coefficient dépendant du type du matériau de la conduite.

D : diamètre de la conduite.

C_{p1} : côte du plan d'eau au point 1.

C_{p2} : côte du plan d'eau au point 2.

V.7.1 Calcul des longueurs des conduites reliant les ouvrages

Les longueurs des conduites sont calculées en fonction du plan de masse de la station d'épuration. Dans les calculs, les pertes de charge singulières seront prises en compte en utilisant les longueurs équivalentes.

$$L_{eq} = 1.05 * L_{réelle} \dots\dots\dots (V.7)$$

Tableau V-4 : Les longueurs des conduites entre les ouvrages de la station.

Conduite	L _{réelle} (m)	L _{eq} (m)
Poste de relevage-dégrilleur	8	8.4
Dégrilleur –bassin d’homogénéisation	8	8.4
Bassin d’homogénéisation-bassin de coagulation	9	9.45
Bassin de coagulation-bassin de floculation	8	8.4
Bassin de floculation-décanteur primaire	10	10.5
Décanteur primaire-bioréacteur à membrane	9	9.45
Bioréacteur à membrane-bassin de désinfection	8	8.4

V.7.2 Calcul des diamètres des conduites

$$D = \sqrt[m]{\frac{K * L * (Q^\beta)}{Cp1 - Cp2}} \dots\dots\dots (V.8)$$

Calcul des côtes piézométriques des ouvrages :

D’après l’équation de Bernoulli on a :

$$\frac{P1}{W} + \frac{(V^2)}{2g} + Z1 = \frac{P2}{W} + \frac{(V^2)}{2g} + Z2 + H_{1-2} \dots\dots\dots (V.9)$$

Tel que :

$\frac{P1}{W}$ et $\frac{P2}{W}$: énergies de pression dans la section 1 et 2.

$\frac{(V^2)}{2g}$ et $\frac{(V^2)}{2g}$: énergies cinétiques en 1 et 2.

Z₁ et Z₂ : côtes des points 1 et 2.

H₁₋₂ : pertes de charge dans le tronçon (1-2).

Les variations de pression étant très faibles, on aura :

$$\frac{P_1}{W} + Z_1 = \frac{P_2}{W} + Z_2 + H_{1-2}$$

On pose :

$$\frac{P_1}{W} = H_1 \quad \text{et} \quad \frac{P_2}{W} = H_2$$

Donc on aura :

$$H_1 + Z_1 = H_2 + Z_2 + H_{1-2}$$

$$Cp_1 = H_1 + Z_1$$

$$Cp_2 = H_2 + Z_2$$

$$\text{Donc : } Cp_1 = Cp_2 + H_1$$

Tableau V-5 : Résultats du calcul hydraulique.

Conduite	L _{réelle}	Cp ₁ -Cp ₂	D _{cal}	D _{nor}
Poste de relevage-dégrilleur	8	1.7	85	100
Dégrilleur-bassin d'homogénéisation	8	1.1	92	100
Bassin d'homogénéisation-bassin de coagulation	9	0.7	102	125
Bassin de coagulation-bassin de floculation	8	0.6	103	125
Bassin de floculation-décanteur primaire	10	0.3	123	150
Décanteur primaire-bioréacteur à membrane	9	0.3	121	150
Bioréacteur à membrane-bassin de désinfection	8	0.1	145	150

L : la longueur entre les ouvrages.

Cp₁-Cp₂ : la différence entre les côtes piézométriques.

V.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons suivi le parcours de l'effluent en ERI de l'industrie de Rouiba tout au long de son traitement, en tenant compte de la longueur, le diamètre des conduites reliant les ouvrages assurant ainsi son écoulement d'une étape de traitement à une autre jusqu'à sa sortie de la station d'épuration.

Pour une exploitation rationnelle de notre station, il est nécessaire de faire un bon choix des conduites qui la constituent et ceci selon la forme et le matériau par lequel elles sont fabriquées.

Chapitre VI :

Analyse économique, gestion et entretien de
la station d'épuration

VI.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous examinerons les aspects économiques ainsi que la gestion et l'entretien de la station d'épuration. Nous débuterons par une analyse des coûts liés à la construction et à la mise en place de la station, incluant les investissements initiaux et les dépenses récurrentes. Ensuite, nous détaillerons les pratiques de gestion et d'entretien nécessaires pour assurer un fonctionnement optimal de la station d'épuration. Cette approche nous permettra de comprendre les enjeux financiers et opérationnels, ainsi que les stratégies pour maintenir l'efficacité et la durabilité de la station.

Le coût d'investissement :

- Coût des travaux de génie civil, englobant les terrassements et la construction des ouvrages en béton.
- Acquisitions des équipements tels que les racleurs, turbines, pompes, aérateurs, et tuyauteries.

$$CT_i = C_{gc} + C_{eq} + C_{vrd}$$

Le coût de fonctionnement :

- Dépenses opérationnelles courantes.
- Renouvellement du matériel électromécanique.
- Frais liés aux ressources humaines et à la gestion financière.

VI.2 Le coût d'investissement

VI.2.1 Le coût de terrassement

L'épaisseur de la couche végétale est estimée à 20 cm.

Un mètre cube de terrassement a un coût estimé de 300 DA.

Le volume de la couche végétale sera calculé en utilisant la formule suivante : $V = 0.2 \times S_{hi}$

Où :

V : représente le volume de terrassement.

S_{hi} : est la surface de l'ouvrage.

Le coût de terrassement d'un ouvrage est donc : $C = 300 \times V$

Tableau VI-1 : Les coûts de terrassement de chaque ouvrage.

Ouvrages	Surface (m ²)	Volume de terrassement (m ³)	Coût (DA)
Bassin d'homogénéisation	600	120	36000
Bassin de coagulation	1.24	0.248	74.4
Bassin de floculation	8.28	1.656	496.8
Décanteur primaire	50	10	3000
Réacteur	7.23	1.446	433.8
Epaississeur	42.9	8.58	2574
Digesteur	66.74	13.348	4004.4
		Total	46583.4

Le coût total de terrassement est estimé à 46583.4 DA

VI.2.2 Evaluation du coût du béton armé

Le coût du béton armé est estimé à $P_u = 50000 \text{ DA/m}^3$.

$$C_b = P_u \times V_{tb}$$

C_b : coût du béton.

V_{tb} : volume total du béton.

- L'épaisseur des murs de l'ouvrage e_m : (0.15 à 0.5) m.

- L'épaisseur en radier de l'ouvrage e_r : (0.3 à 0.4) m.

Calcul du volume du béton armé

L'ensemble du volume de béton requis pour chaque ouvrage sera la somme des deux volumes : $V_r + V_m = V_{tb}$, où :

$$V_r = S_h \times e_r$$

$$V_m = P \times H \times e_m$$

Avec :

V_r : volume du radier.

V_m : volume du mur.

P : périmètre de l'ouvrage.

H : hauteur de l'ouvrage.

Pour nos calculs, on prend :

L'épaisseur du mur $e_m = 0.15$ m

L'épaisseur du radier $e_r = 0.3$ m

Tableau VI-2 : Les coûts du béton armé de chaque ouvrage.

Ouvrages	Volume (m ³)		V _{tb} (m ³)	Coût (DA)
	V _m	V _r		
Bassin d'homogénéisation	39.07	180	219.07	10953500
Bassin de coagulation	1.17	0.372	1.542	77100
Bassin de floculation	3.05	2.484	5.534	276700
Décanteur primaire	10.32	15	25.32	1266000
Réacteur	5.01	2.17	7.18	359000
Epaississeur	14.27	12.87	27.14	1357000
Digesteur	26.04	20.022	46.06	2303000
			Total	16592300

Le coût total du béton armé est estimé à $C_{ba} = 16592300$ DA

VI.2.3 Le coût total du génie civil

Le coût total du génie civil égale la somme des coûts de terrassement et de béton armé.

$$C_{gc} = C_{terr} + C_{ba} = 46583.4 + 16592300 = 16638883.4 \text{ DA}$$

VI.2.4 Le coût des VRD

Le coût des VRD est évalué à un quart du coût du génie civil.

$$C_{VRD} = 0.25 \times 16638883.4 = 4159720.85 \text{ DA}$$

VI.2.5 Le coût des équipements électromécaniques et électriques et des installations hydromécaniques

Il est estimé à 40% de la somme du coût du génie civil et VRD.

$$C_{eq} = 0.4 \times (C_{gc} + C_{VRD}) = 0.4 \times (16638883.4 + 4159720.85) = 8319441.7 \text{ DA}$$

VI.2.6 Le coût total des investissements de la station

$$C_{Ti} = C_{gc} + C_{VRD} + C_{\acute{e}q} = 16638883.4 + 4159720.85 + 8319441.7 = 29118045.95 \text{ DA}$$

$$C_{Ti} = 29118045.95 \text{ DA}$$

VI.3 Le coût de fonctionnement**VI.3.1 Le coût de la main d'œuvre**

Le coût de main d'œuvre est estimé à 5% du coût d'investissement.

$$C_{mo} = 0.05 \times C_{Ti} = 0.05 \times 29118045.95 = 1455902.298 \text{ DA}$$

VI.3.2 Le coût de renouvellement du matériel électromécanique

Il est estimé à 5% du coût d'investissement total.

$$C_{rm} = 0.05 \times C_{Ti} = 0.05 \times 29118045.95 = 1455902.298 \text{ DA}$$

VI.3.3 Le coût des frais financiers

Il est estimé à 2% du coût d'investissement total.

$$C_{ff} = 0.02 \times C_{Ti} = 0.02 \times 29118045.95 = 582360.919 \text{ DA}$$

VI.3.4 Le coût de fonctionnement total

$$C_{ft} = C_{mo} + C_{rm} + C_{ff} = 1455902.298 + 1455902.298 + 582360.919 = 3494165.515 \text{ DA}$$

$$C_{ft} = 3494165.515 \text{ DA}$$

VI.4 Le coût du projet

$$C_{pr} = C_{Ti} + C_{ft} = 29118045.95 + 3494165.515 = 32612212 \text{ DA}$$

$$C_{pr} = 32612211.47 \text{ DA}$$

Le coût total du projet est de 32612212 DA, soit trente-deux millions six cent douze mille deux cent douze dinars algériens.

Calcul du prix du m³ d'eau traitée :

Le coût d'amortissement annuel

$$C_{aa} = C_{Ti} / T$$

Avec :

T : durée d'amortissement $t = 30$ ans.

$$C_{aa} = 29118045.95 / 30 = 970601.5317 \text{ DA}$$

Coût annuel de la station :

$$C_{TS} = C_{aa} + C_{ft} = 970601.5317 + 3494165.515 = 4464768 \text{ DA}$$

Calcul du prix du m³ d'eau épurée

Le volume total annuel d'eau épurée en 2054 est :

$$V_{an} = 1200 \times 365 = 438000 \text{ m}^3$$

Le coût du m³ d'eau épurée est donc :

$$C_e = C_{TS} / V_{an} = 4464767.047 / 438000 = 10.19 \text{ DA}$$

Après avoir détaillé les coûts initiaux de construction et d'acquisition des équipements essentiels pour la station d'épuration, il est crucial de se tourner vers les aspects de gestion et d'entretien. Une compréhension approfondie des dépenses financières ne serait pas complète sans une analyse des pratiques de gestion nécessaires pour maintenir l'efficacité et la durabilité de la station. Ainsi, nous examinerons maintenant les méthodes de gestion et les procédures d'entretien qui garantissent le bon fonctionnement continu de la station d'épuration.

VI.5 Mesures et contrôles effectués au niveau de la station

L'opérateur doit réaliser diverses actions de mesure et de contrôle dans le cadre de l'exploitation et de la gestion de la station. Les principales incluent :

- Mesure du débit.
- Mesure du pH et de la température.

Il est nécessaire d'effectuer la mesure du pH à l'entrée de la station pour prendre toutes les mesures nécessaires pour assurer le bon déroulement des traitements qui sont sensibles à ce paramètre.

Il est vivement conseillé de mesurer la température afin de maintenir une température optimale pour assurer le bon fonctionnement de certains équipements de traitement (dégraisseur, bassin d'aération).

- Mesure de la demande en oxygène chimique (DCO).
- Mesure de la demande biologique d'oxygène (DBO₅).
- Mesure de la quantité d'oxygène dissous.
- Recherche de matières toxiques.
- Mesures liées aux boues

Pour obtenir un réglage adéquat de la station d'épuration, il faut principalement ajuster les éléments suivants :

- Taux de mortalité de la biomasse.
- Concentration de biomasse dans le réacteur.
- Taux de conversion apparent de la biomasse.

Pour régler ces paramètres, il est nécessaire de connaître :

- La teneur en oxygène dans le bioréacteur.
- Le pourcentage de boues dans le bioréacteur.
- La teneur en MVS (Matières Volatiles en Suspension).

Le débit de recirculation, la durée d'aération et le débit de boues en excès sont ajustés en fonction des résultats de ces mesures jusqu'à atteindre une valeur optimale de 4 g MVS/L.

Si :

MVS > 4 g/L, on augmente le temps de recirculation et la durée d'aération. [6]

MVS < 4 g/L, on diminue le temps de recirculation et la durée d'aération. [6]

-temps de fonctionnement quotidien des principales machines rotatives (pompes, aérateurs, filtres ou centrifugeuses...)

Chaque contrôle quotidien doit être effectué à la même heure pour être représentatif.

VI.6 Contrôle de fonctionnement

Le bon fonctionnement et la durabilité d'une station d'épuration dépendent largement de l'entretien rigoureux de ses installations. Il est essentiel de maintenir toutes les parties de la station propre en nettoyant régulièrement les rigoles, caniveaux, et murs, entre autres.

Les ouvrages métalliques doivent être repeints environ tous les cinq ans pour les protéger contre la corrosion. Quant aux ouvrages en béton, ils doivent faire l'objet d'inspections régulières pour vérifier l'étanchéité, détecter les fissures et surveiller les joints de dilatation.

Il est également crucial de lubrifier et graisser régulièrement tous les équipements mécaniques et électromécaniques pour assurer leur bon fonctionnement. Pour les équipements immergés, une vidange annuelle est nécessaire pour leur entretien. De même, les équipements d'aération doivent être inspectés régulièrement, en nettoyant les orifices de diffusion de l'air.

Il est impératif de maintenir une vigilance constante à plusieurs niveaux pour garantir en permanence le traitement adéquat des effluents.

VI.6.1 Contrôle journalier

L'exploitant peut réaliser ces vérifications. Plusieurs tests ou observations sont utilisés pour évaluer la gestion rationnelle de la station d'épuration :

- Évaluation de la décantation et de la turbidité.
- Analyse des odeurs.
- Analyse des couleurs des boues.

L'absence d'oxygène se traduit par un parfum désagréable et une teinte de boue gris-noir.

Pour faciliter des contrôles périodiques plus précis, l'exploitant doit tenir un journal de bord où il consignera les résultats des tests et les observations effectuées. [24]

VI.6.2 Contrôles périodiques

L'objectif principal de ces contrôles est de fournir des solutions fiables aux résultats détenus précédemment et de fournir au maître de l'ouvrage les conseils indispensables pour une exploitation optimale, en proposant toutes les améliorations ou rectifications nécessaires. Les recherches supplémentaires que l'on souhaite effectuer lors de ces visites sont :

- une mesure de l'oxygène dans le réacteur.
- une analyse des boues prélevées dans le réacteur après un fonctionnement de 15 à 20 mn des aérateurs, ayant pour objet de déterminer (la teneur en MES, la teneur en MVS).
- une analyse de l'effluent épuré sur un prélèvement instantané, considérant que la quantité de l'effluent épuré varie généralement très peu dans une journée sur une station d'épuration.

- une visite bilan au moins une fois par an qui consistera à effectuer un diagnostic complet du fonctionnement de la station, en effectuant notamment des analyses sur l'effluent reçu par la station en 24h à partir de prélèvements, visant à déterminer les mêmes paramètres en fonction du débit. [6]

VI.7 Entretien des ouvrages

VI.7.1 Le dégrilleur

Les déchets seront évacués quotidiennement. Le nettoyage des parois des grilles sera effectué à l'aide d'un jet d'eau, et les matières adhérentes putrescibles seront enlevées à l'aide de râpeaux.

Il est important de :

- noter les quantités de rejets quotidiennes.
- évaluer la quantité d'huile et de graisse présente sur les chaînes d'entraînement.
- garantir le bon fonctionnement électromécanique de l'installation chaque jour.

VI.7.2 Bioréacteur à membrane

- Contrôler et s'assurer chaque jour que tous les équipements fonctionnent correctement.
- Prendre note des paramètres de fonctionnement tels que le débit de concentration en oxygène.
- Évaluer et enregistrer quotidiennement la quantité de DBO qui entre dans le bassin ainsi que la concentration des boues.
- Vérifier chaque jour le fonctionnement des membranes et veiller à leur propreté (procédure de rétro-lavage) afin de prévenir le colmatage.

VI.7.3 Epaisseur

- Assurer la propreté du poste chaque jour.
- Vérifier régulièrement la taille du voile de boue ; il est important que le niveau ne soit pas inférieur à 2 mètres.
- Vérifier et enregistrer quotidiennement le pH des eaux rejetées et des boues épaissies.
- Garder les quantités de boues soutirées des épaisseur en file.

- Il est recommandé de vérifier l'état des structures immergées tous les 5 ans.

VI.8 Conclusion

Ce chapitre a souligné l'importance cruciale de l'analyse économique pour comprendre les coûts associés à la construction et à l'exploitation d'une station d'épuration. Parallèlement, la gestion et l'entretien ont été présentés comme des piliers essentiels pour assurer le bon fonctionnement et la durabilité de l'installation.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce mémoire a minutieusement examiné le processus de dimensionnement d'une station d'épuration des eaux usées pour l'industrie des boissons Rouiba, avec l'objectif central de permettre la réutilisation efficace des eaux traitées. L'étude a couvert divers aspects essentiels, de la caractérisation des effluents spécifiques à cette industrie à la sélection et à la conception des unités de traitement nécessaires pour atteindre les standards de qualité requis.

Nous avons souligné l'importance d'une gestion et d'une exploitation optimales de la station d'épuration, englobant la maintenance régulière, le suivi des paramètres clés et la mise en œuvre de protocoles de contrôle rigoureux. Un point crucial de ce travail a été l'accent mis sur la réutilisation des eaux traitées. Les nombreux avantages de cette approche ont été mis en avant, notamment la préservation des ressources en eau potable, la réduction des coûts liés au traitement des eaux usées et la promotion de la durabilité environnementale.

Il est toutefois essentiel de souligner que la réussite de la réutilisation des eaux traitées repose sur le respect des normes de qualité de l'eau et des réglementations locales. La sécurité sanitaire doit être assurée à chaque étape du processus.

Finalement, cette étude apporte une contribution significative à l'amélioration des pratiques industrielles en matière de gestion des eaux usées et met en évidence la nécessité de l'innovation et de la recherche continue pour développer des solutions toujours plus efficaces et respectueuses de l'environnement.

En somme, le dimensionnement de la station d'épuration des eaux usées de l'industrie des boissons Rouiba en vue de leur réutilisation représente une avancée majeure vers une gestion durable des ressources hydriques. Il démontre que la croissance industrielle et la protection de l'environnement peuvent aller de pair, ouvrant ainsi la voie à un avenir où l'économie circulaire devient une réalité tangible.

Références bibliographiques

- [1] REJSEK, F. Analyse des eaux : Aspect réglementaire et technique. Bordeaux : centre régionale de documentation pédagogique d'aquitain CRDP, 2002.
- [2] KOLLER, E. Traitement des pollutions industrielles : eau, air, déchets, sols, boues. Paris : Dunod, 2004. 576 p. Techniques et ingénierie.
- [3] BONTOUX J., 1993. Introduction à l'étude des eaux douces, eaux naturelles, eaux usées, eaux de boisson; qualité et santé. 2^{ème} Edition la VOISIER Technique et documentation. Paris.
- [4] Satin, M. Selmi, B & Regis, B. Guide technique de l'assainissement. Paris : Moniteur, 1999. 724 p
- [5] Gaid, A. Epuration biologique des eaux usées urbaines. Alger : OPU , 1984 Office des publications universitaires.
- [6] Eckenfelder, W. Gestion des eaux usées urbaines et industrielles. Paris : Lavoisier, 1982. Technique et documentation.
- [7] Chris Binnie, Martin Kimber, Hugh Thomas - Source: Basic Water Treatment, 1Ja 2017
- [8] Grosclaude, G. L'eau : usages et polluants. Paris : INRA, 1999. 210p. Un point sur. ISBN 9-7827-3800-8640
- [9] ECOSSE D. (2001)- Techniques alternatives en vue de subvenir à la pénurie d'eau dans le monde. Mém. D.E.S.S. « Qualité et Gestion de l'Eau », Fac Sciences, Amiens, 62p.
- [10] V. Lazarova (CIRSEE – Lyonnaise des Eaux) et al., «La réutilisation des eaux usées : un enjeu de l'an 2000 » ; « L'eau, L'industrie, les nuisances » , n°212, pp.39-46, mai 1998.
- [11] P.Renaud et al., « Wastewater reuse » ; « International Report – 21st World Congress », Madrid, Espagne, sept.1997
- [12] J. Haarhoff et B.V. Van der Merwe, « twenty-five years of wastewater reclamation in Windhoek », Namibia, Wat. Sci. Tech., 1996
- [13] R.R. Wright et T.M. Missimer, “Reuse : the experience 1 trend direction.” Int. Desalination et Water Reuse, 1995

[14] B.Jiménez-Cisneros et A. Chavez-Mejia, « treatment of Mexico City wastewater for irrigation purposes », Env. Techn., 1997

[15] BOUCHAALA LAID, CHARCHAR NABIL, GHERIB ABDE EIFETTAH. Ressources hydriques : traitement et réutilisation des eaux usées en Algérie. Algerian journal of arid environment.

[16] Asano, T. Waste water reclamation and reuse : Water quality management library. Les Etats unis : CRC Press Inc, 1998. 1528p.

[17] Rotbard, A. Réutilisation des eaux uses traitées : Perspectives opérationnelles et recommandations pour l'action. France : AFD, 2011. 85p.

[18] Exall, k. A review a water reuse and recycling with reference to Canadian practice and potential : Applications. 2004. Water Quality Research Journal, vol 39, n° 1, pp.13-28.

[19] <https://earth.google.com>

[20] <https://weatherspark.com>

[21] Sarina J. Ergas, M.ASCE; Brian M. Therriault; and David A. Reckhow, M.ASCE, Journal of Environmental Engineering Volume 132 Issue 3 - March 2006.

[22] Traitement physicochimique de la pollution insoluble. Technique de l'ingénieur. Volume G1270.

[23] Bioréacteurs à membranes et traitement des eaux usées. Technique de l'ingénieur, 2007

[24] Bechac. P, Pierre. Boutin, B. Mercier, P. Nuer. Traitement des eaux usées. EYROLLES Paris 1987.

[25] MRE, 2012.-Document interne. Ministère des Ressources en Eau, Algérie, 15p.

[26] Rouiba industries. (2024). Rapport d'analyses des eaux usées de l'industrie des boissons et jus de fruits Rouiba. (Données internes non publiées). Date (19/01/2024).

Google scholar.

Research gate.