



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 de l'industrie
du boisson gazeuse Hamoud Boualem (W.Blida) en vue de leur
réutilisation**

Présenté par :

SOUDANI Nor elhouda

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.A.A	Examinateur
TAFATT Leila	M.A.A	Examinatrice
Mme: BETATACHE Hayat	M.C.B	Promotrice

Session septembre 2023

Dédicace :

Je souhaite dédier humblement ce travail à : Ma très chère mère ma raison de vivre ma moitié ma sœur et mon tout dans ce monde et à mon cher père, en témoignage de ma profonde gratitude pour leur dévouement infaillible, leur soutien constant tout au long de mes années d'études, leurs sacrifices sans limites, et leurs encouragements moraux. Ils ont consenti d'innombrables efforts pour m'offrir une éducation et une instruction solides, et pour me voir atteindre ce but. Leur dévouement va bien au-delà de ce qui peut être exprimé en mots, et je leur voue une affection sans borne.

Mon jumeau Chems Eddine, mon petit poussin Islam , qui ont toujours été présents à mes côtés. À ma chères cousine nihel ; À l'ensemble de ma famille ; Mami, pour son soutien et son amour indéfectibles.

Je dédie ce travail a l'âme de mon amie et défunte {FADHILA }

À mes chers amies, qui ont été des compagnons fidèles tout au long de ce parcours (meriem et halima , mounia et nourehan ,Asma , meriem , douniazed , ghofrane et Wissem , Bahaa Eddine , ahmed , salama

A la famille de RENC

À tous mes enseignants et camarades de promotion, dont la contribution et l'influence ont été inestimables dans ma formation et mon cheminement académique

SOUDANI nor elhouda

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma gratitude envers le Créateur, pour m'avoir accordé la santé, le courage et la persévérance nécessaires pour achever mes études et mener à bien ce humble travail.

Je souhaite adresser mes sincères remerciements en premier lieu à ma promotrice, Mme BETATACHE Hayet, dont l'assistance efficace, les conseils précieux et le souci du détail ont grandement contribué à l'achèvement de ce travail.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance envers tous les enseignants de l'ENSH, dont l'enseignement m'a permis de réussir mes études avec succès.

Mes remerciements s'étendent également aux membres du jury, qui ont eu l'honneur d'évaluer mon travail et d'assister à ma soutenance.

Enfin, je n'oublie pas ma famille et mes frères, mes amis et toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail. Leur soutien et leurs encouragements ont été précieux tout au long de ce parcours

SOUDANI Nor elhouda

الملخص

تركز هذه الرسالة على دراسة معمقة لتصميم محطة معالجة مياه الصرف الصناعية لصناعة المشروبات الغازية الصناعية الملخص تركب هذه الرسالة على دراسة معمقة لتصميم محطة معالجة مياه الصرف الصناعية لصناعة المشروبات الغازية الصناعية حمود بوعلام، بمعدل تدفق 520 متر مكعب في اليوم. كما تفحص التقنيات المناسبة لمعالجة مياه الصرف الصناعية وإزالة الملوثات الموجودة فيها، بما في ذلك العمليات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية، بالإضافة إلى تقنيات إعادة الاستخدام. تستكشف الرسالة فوائد إعادة استخدام مياه الصرف المعالجة داخل الصناعة نفسها، خاصة لأغراض التبريد وأغراض غير صالحة للشرب الأخرى

الكلمات الرئيسية: محطة معالجة مياه الصرف الصناعي، مياه صرف صناعية، قابلة للتحلل بواسطة الكائنات الحية، ملوثات

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 gazeuses Hamoud Boualem, avec le débit 520 m³ par jour, elle examine également les technologies de traitement appropriées pour éliminer les contaminants présents dans les eaux usées de l'industrie, notamment les procédés physico-chimiques, biologiques et les techniques de réutilisation. Il explore les avantages de la réutilisation des eaux usées traitées dans l'industrie elle-même, notamment pour le refroidissement

Les mots clés : STEP, eau usée industrielle, biodégradable, polluant.

Abstract

This dissertation focuses on the in-depth study of the design of the wastewater treatment plant for the industrial carbonated beverage industry Hamoud Boualem, with a flow rate of 520 m³/day. It also examines suitable treatment technologies to remove contaminants present in the industry's wastewater, including physicochemical and biological processes, as well as reuse techniques. The dissertation explores the benefits of reusing treated wastewater within the industry itself, particularly for irrigation, cooling, and other non-potable purposes. **Keywords:** WWTP (Wastewater Treatment Plant), industrial wastewater, biodegradable, pollutants.

Tables des matières

Introduction générale

Partie 01 : recherche bibliographique sur le traitement des effluents industriels

Chapitre 01 : Généralité sur les eaux usées industriels	26
1. Introduction.....	4
2. Les eaux usées d'origine industrielle.....	4
3. Les différents types de rejets industriels.....	4
4. Caractéristiques des eaux usées industrielles	5
4.1. Les caractéristiques physiques	5
4.2. Les caractéristiques chimiques	6
5. La biodégradabilité	8
6. Paramètres microbiologiques	8
7. La nature de pollution causée par l'industrie Agro-alimentaire	9
7.1. Pollution physique	9
7.2. Pollution thermique.....	9
7.3. Pollution radioactive	9
7.4. Pollution chimique	9
7.5. Pollution toxique.....	9
7.6. La pollution par une phase liquide insoluble.....	10
7.7. Pollutions azotées et phosphorées.....	10
7.8. Pollutions organiques	11
8. Caractéristiques des eaux usées de L'industrie de boisson gazeuse.....	11
9.L''impact de rejets des eaux usées agro-alimentaires sur l'environnement	12
10. Conclusion.....	13
Chapitre 02 : Épuration des eaux usées industrielles	14
1.Introduction.....	15
2.Procédés d'épuration des eaux usées industrielles	15
3.Le choix de procédé adéquat.....	15
4.Les techniques d'épuration	15
4.1. Les prétraitements	15
4.2. Dégrillage	16
4.2.1. Tamisage	16
4.2.2. Dessablage.....	16
4.2.3. Dégraissage-déshuilage.....	16
4.2.4. Homogénéisation et égalisation.....	16

Tables des matières

4.3. Le traitement primaire	17
4.3.1. Le traitement physico-chimique	17
4.3.1.1. Coagulation et floculation.....	17
4.3.1.2. Décantation	17
4.3.2. Types de décanteur	18
4.3.2.1. Décanteur à flux vertical.....	18
4.3.2.2. Décantation à flux horizontal.....	18
4.3.3. Les traitements biologiques.....	19
4.3.3.1. Traitement biologique aérobie	19
4.3.3.2. Procédés à cultures libres.....	19
4.3.3.3. Procédé à culture fixée	19
4.3.3.4. La biofiltration	20
4.3.3.5. Lit bactérien	20
4.3.3.6. Les procédés à lit mobiles.....	20
4.3.3.7. Disques biologiques	21
4.3.3.8. Lit bactérien fluidisé (culture mixte).....	21
4.3.3.8.1. Domaine d'application des cultures mixtes.....	21
4.3.3.9. Traitement biologique anaérobie.....	21
4.3.4. Traitement tertiaire	21
4.3.4.1. Filtration avancée	21
4.3.4.2. Désinfection	22
4.3.4.3. Élimination des nutriments avancée.....	22
5. Procédés de traitement de boues	23
6. Conclusion	24

Partie 02 :conception de la step de l'industrie Hamoud Boualem

Chapitre 03 : Présentation de la secteur d'étude.....	27
1. Présentation de la zone industrielle de Boufarik	28
1.1. Situation géographique de Boufarik	27
1.2. Etude topographique	29
1.3. Etude climatologique	29
1.3.1. Température moyenne annuelle	29
1.3.2. Les précipitations	30
1.3.3. Humidité	30
1.3.4. Pluie	31
1.3.5. Le vent	32
1.4. Ressources hydriques :	32
2. Présentation de l'industrie de boisson gazeuse	33
3. Présentation de l'industrie Hamoud Boualem :	33
4. Historique de Hamoud Boualem	34

Tables des matières

5. Procédés de fabrication.....	34
6. Conclusion	35
Chapitre 04 : Dimensionnement de la station d'épuration	36
1. Introduction.....	36
2. Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industrielles.....	36
3. Caractéristique des eaux usées de l'industrie de boisson gazeuse Hamoud Boualem	36
3.1 Résultat physicochimique.....	36
4. La biodégradabilité.....	37
5. Schéma du traitement des ERU de l'industrie de Hamoud Boualem.....	38
6. Les paramètres de dimensionnement	38
7. Dimensionnement des ouvrages de la station.....	39
7.1. Dimensionnement Bassin d'homogénéisation.....	39
8. Prétraitement	40
8.1. Dégrillage	42
8.2. Tamisage fin	43
9. Traitement physico-chimique.....	44
9.1. Traitement chimique	44
9.1.1. coagulation.....	44
9.1.2. Flocculation.....	45
9.2. Traitement physique.....	46
9.2.1. Décanteur primaire	46
9.2.2. Traitement secondaire.....	47
9.2.2.1 Pré-ozonation	47
9.2.2.2.Élimination de phosphore.....	49
9.2.2.3.Traitement biologique	50
9.2.2.4.Calcul de besoin en O2.....	50
9.2.2.5.Dimensionnement du décanteur secondaire	51
9.2.2.6.Bilan des boues	52
9.2.3.Traitement tertiaire (Couplage Charbon Actif-Membranes).....	54
9.2.3.1.Dimensionnement du réacteur CAG-UF	54
9.2.3.2.Filtration	54
9.2.4. Traitement des boues	57
9.2.4.1. Boue primaire.....	57
9.2.4.2. Boue secondaire	57
9.2.5. Dimensionnement de l'épaisseur.....	58
9.2.6. Digesteur aérobie.....	59
9.2.7. Le filtre à bande.....	60
10. Conclusion	61

Tables des matières

Chapitre 05 : Calcul hydraulique	62
1. Introduction.....	63
2. Calcul du diamètre de la conduite de refoulement	63
3. Calcul de la hauteur manométrique de la pompe	63
4. Choix de pompe.....	64
5. Dimensionnement du poste de relevage	65
6. Profil hydraulique.....	66
7. Calcul des longueurs des conduites reliant les ouvrages	67
8. Conclusion	69
Chapitre 06 : Aspect économique	70
1. Introduction.....	77
2. Coût d'investissement.....	71
2.1. Coût de terrassement	71
2.2. Évaluation du Coût du Béton Armé.....	73
2.3. Coût total du génie civil	74
2.4. Coût des VRD	74
2.5. Coût des équipements électromécaniques et électriques et des installations hydromécaniques	75
2.6. Coût total des investissements de la station.....	75
3. Coût de fonctionnement.....	75
3.1. Le coût de main d'œuvre.....	75
3.2. Le coût de renouvellement du matériel électromécanique	75
3.3. Le coût des frais financiers	75
3.4. Le coût de fonctionnement total	75
4. Coût du projet d'une somme égale.....	75
5. Conclusion	76
Chapitre 07 : Exploitation de la station d'épuration.....	77
1. Introduction :.....	78
2. Le système d'intelligence artificielle pour l'optimisation et la gestion du step :.....	78
3. Le fonctionnement de système AI dans la step :.....	78
4. Les capteurs utilisés dans un système d'intelligence artificielle (IA) et les mesures essentielles :	79

Tables des matières

4.1. Entrée d'eau brute :.....	79
4.2. Bassins de prétraitement :.....	79
4.3. Bassins de traitement biologique :.....	80
4.4. Bassins de décantation :.....	80
4.5. Canalisations et tuyauteries :.....	80
4.6. Systèmes de dosage de produits chimiques :.....	80
4.7. Équipements de traitement :.....	80
4.8. Sortie d'eau traitée :.....	80
4.9. Bassins de stockage des boues :.....	80
4.10. Système de gaz et d'odeurs :.....	80
5. Les risques d'exploitation d'un STEP par le système d'AI :.....	80
7. Les avantages et les inconvénients de système AI :.....	82
8. Réutilisation des eaux usées traités :.....	83
9. Conclusion :.....	84
Conclusion générale.....	85
Références bibliographiques	87

Liste des tableaux

Tableau 1: Température moyenne annuelle.....	29
Tableau 2: pluies précipitées	32
Tableau 3: vitesse annuelle du vent	32
Tableau 4: Valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels pour l'industrie gazeuse	36
Tableau 5: Analyses des eaux usées en aval de l'usine	37
Tableau 6: Débit journalier des effluents	39
Tableau 7: Dimensionnement du bassin d'homogénéisation	40
Tableau 8: Valeurs des épaisseurs et des espacement des barreaux	41
Tableau 9: Données de base pour le dimensionnement de dégrilleur fin.....	42
Tableau 10: Valeurs du coefficient de forme des barreaux :	43
Tableau 11: Résultats de dimensionnement de dégrilleur.....	43
Tableau 12: Résultats de dimensionnement de réacteur de coagulation	45
Tableau 13: Résultats de dimensionnement de réacteur de floculation	45
Tableau 14: Résultats de traitement par coagulation-floculation	47
Tableau 15: Résultats de dimensionnement de décanteur primaire.....	46
Tableau 16: Résultats après le processus de la pré-ozonation.....	49
Tableau 17: Résultats de traitement biologique.....	51
Tableau 18: Dimensionnement du décanteur secondaire	52
Tableau 19: Caractéristiques de la membrane d'ultrafiltration	55
Tableau 20: Résultats de dimensionnement du procédé CAG/UF	56
Tableau 21: Résultats de traitement à charbon actif-membrane.....	57
Tableau 22: Les résultats de dimensionnement de l'épaississeur.....	58
Tableau 23: Les résultats de dimensionnement de digesteur aérobie	59
Tableau 24: Les résultats de dimensionnement de filtre a bande	60
Tableau 25: évaluation de la charge après les traitements précédent.....	61
Tableau 26: Valeurs des paramètres de calcul des pertes de charges linéaires.....	63
Tableau 27: Dimensions de la bêche d'aspiration	65
Tableau 28: Les cotes moyennes de terrain naturel	66
Tableau 29: Longueurs des conduites entre les ouvrages de la station.....	67
Tableau 30: Résultats du calcul hydraulique	69
Tableau 31: Le coût de terrassement de chaque ouvrage.....	72
Tableau 32: Le coût du béton armé de chaque ouvrage.....	74

Liste des figures :

Figure I.1: les ingrédients de boisson gazeux blanche de Hamoud Boualem.....	11
FigureII.1: Procédés d'épuration des ERI.....	15
Figure II.2: un dégrilleur grossier	16
Figure II.3: schéma d'un décanteur vertical.....	18
Figure II.4: Décanteur longitudinal à pont racleur	19
Figure II.5: traitement biologique à boues activées	19
Figure II.6: lit bactérien et son garnissage	20
Figure II.7: Lit bactérien à forte charge	20
Figure II.8: étape de dégradation biologique de l'azote.....	23
Figure III.1: Situation géographique de la ville de BOUFARIK	27
Figure III.2: Courbe de température moyenne annuelle	28
Figure III.3: Courbe de précipitation annuelle	29
Figure III.4: courbe annuelle de catégories d'humidité.....	30
Figure III.5: La moyenne des vitesses des vents moyens horaires.....	30

Liste de planche :

1. Plan de masse de la zone d'étude

2. profil en long de la STEP

3. les ouvrages de la STEP

Listes des abréviation :

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

DTO : demande totale en oxygène

COT : carbone organique total

MOX : matières oxydables

NTK : l'azote total kjeldahl

NGL : l'azote global

NO3- : nitrate

NO2- : nitrite

PT : phosphore total

ERI : eau résiduaire industrielle

PTF : pression transmembranaire maximale en filtration

PTR : pression transmembranaire maximale au retro lavage

CAG : charbon actif en grain

UF : ultra-filtration

IA : système d'intelligence artificielle

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est l'une des ressources les plus précieuses de notre planète, une ressource essentielle à la vie et à l'activité humaine. Dans un contexte où les défis liés à la rareté de l'eau et à la pression environnementale sont de plus en plus préoccupants, la gestion responsable et durable de cette ressource est devenue une priorité incontestable. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude, consacrée au dimensionnement d'une Station d'Épuration Industrielle (STEP) au service de l'industrie des boissons gazeuses, avec pour objectif central la réutilisation judicieuse des eaux traitées.

L'industrie des boissons gazeuses est l'un des secteurs où la consommation d'eau est significative. La production de ces boissons nécessite d'importantes quantités d'eau, et la génération d'eaux usées industrielles est inévitable. Dans ce contexte, le dimensionnement et l'optimisation d'une station d'épuration (STEP) industrielle deviennent essentiels, non seulement pour répondre aux réglementations environnementales en vigueur, mais aussi pour explorer les opportunités de réutilisation des eaux traitées, contribuant ainsi à la durabilité du processus de production.

Le présent mémoire se consacre à l'étude approfondie du dimensionnement d'une Station d'Épuration des Eaux Usées Industrielle (STEP) spécifiquement conçue pour l'industrie des boissons gazeuses, avec un objectif clair : la réutilisation efficace des eaux traitées. Cette démarche s'inscrit dans le cadre d'une vision globale de durabilité, visant à réduire la consommation d'eau douce, à minimiser l'impact environnemental, et à optimiser les ressources au sein de l'industrie.

Au fil des chapitres de ce mémoire, nous explorerons en détail les éléments clés de ce processus, de la caractérisation des eaux usées spécifiques à l'industrie des boissons gazeuses, à la sélection des technologies de traitement appropriées, en passant par la conception des unités de traitement, la gestion et l'exploitation de la STEP, jusqu'à la mise en œuvre efficace de la réutilisation des eaux traitées. Notre objectif ultime est de proposer des recommandations pratiques et innovantes qui contribueront à l'efficacité opérationnelle, à la durabilité environnementale et à la responsabilité sociale de l'industrie des boissons gazeuses.

PARTIE I :
Recherche bibliographique
sur le traitement des
effluents industriels

Chapitre 01 :

Généralité sur les eaux usées Agro-alimentaire

1. Introduction

Les eaux usées industrielles contiennent un large éventail de substances provenant des matières premières, des produits intermédiaires, des sous-produits et des produits finaux utilisés dans l'industrie. Cette diversité est le reflet des différents procédés de fabrication ou de production. En raison des combinaisons variées et des horaires de production spécifiques à chaque secteur industriel, la composition des eaux usées industrielles est extrêmement variable, ce qui les distingue des eaux usées domestiques qui sont plus constantes dans leur composition

2. Les eaux usées d'origine industrielle

Les eaux usées d'origine industrielle désignent les eaux résiduelles produites par diverses activités industrielles. Elles proviennent des processus de fabrication, de refroidissement, de lavage et de nettoyage au sein des installations industrielles.

Ces eaux usées peuvent contenir une variété de substances et de polluants résultant des matières premières utilisées, des produits intermédiaires, des sous-produits et des produits finaux de l'industrie.[1]

Les caractéristiques des eaux usées industrielles peuvent varier considérablement en fonction du type d'industrie concernée. Par exemple, les eaux usées d'une industrie alimentaire peuvent être riches en matières organiques et en nutriments. [1]

Les industries agro-alimentaires doivent se conformer aux réglementations environnementales concernant le rejet d'eaux usées et mettre en place des mesures de gestion appropriées pour minimiser leur impact sur les écosystèmes aquatiques et les ressources en eau. Des pratiques de gestion durable, telles que la réutilisation des eaux usées traitées dans les processus industriels, peuvent contribuer à réduire la pression sur les ressources en eau douce et favoriser une approche plus responsable de la gestion des eaux usées industrielles [1]

3. Les différents types de rejets industriels

➤ Les eaux de refroidissement

En général, les eaux des circuits de refroidissement ne sont pas fortement polluées, car elles n'entrent pas directement en contact avec les produits fabriqués et peuvent être recyclées. Cependant, il y a une exception concernant les rejets des purges des circuits d'eau de réfrigération, qui peuvent contenir une quantité variable de produits chimiques tels que des antitartre, des agents anticorrosion, des agents antibactériens et même de l'eau de javel. Ces substances peuvent être présentes en concentrations plus ou moins élevées dans les purges, ce qui nécessite une attention particulière lors de leur gestion et de leur traitement pour minimiser leur impact sur l'environnement. Lorsque ces eaux de refroidissement sont rejetées, elles peuvent avoir une température légèrement élevée par rapport à la source d'eau où elles sont déversées, ce qui peut affecter les écosystèmes aquatiques et les organismes vivants dans les cours d'eau ou les plans d'eau recevant les rejets. [1]

➤ **Les eaux de lavage des sols et des machines**

sont porteuses d'une variété de produits tels que des matières premières ou des liquides de fabrication, des hydrocarbures et des huiles et graisses provenant des machines, des produits détergents, des particules en suspension et des agents antibactériens utilisés pour la désinfection. La quantité et le niveau de pollution de ces effluents résiduels sont souvent significatifs à la fin des heures de travail, ainsi qu'au cours des nettoyages effectués en fin de semaine et pendant les périodes de congés [1]

➤ **Les eaux de fabrication**

Résultent généralement des processus industriels et sont souvent chargées de contaminants qui proviennent du contact entre l'eau et les solides, les liquides ou les gaz.

Dans les industries alimentaires, chimiques, des pâtes et papiers, ainsi que dans certaines branches de l'industrie textile, on observe principalement une pollution organique dissoute, qui peut présenter différents degrés de biodégradabilité et d'importance en termes de pollution. [1]

➤ **Les rejets des services généraux**

Font référence principalement aux eaux usées domestiques générées par l'usine. Ces eaux présentent des caractéristiques spécifiques et sont principalement biodégradables. [1]

4. Caractéristiques des eaux usées industrielles

Les eaux usées industrielles sont un aspect crucial de la gestion environnementale dans le contexte de l'activité industrielle. [2]

Chaque industrie produit des eaux usées avec des caractéristiques spécifiques en fonction des processus de fabrication et des matériaux utilisés. Comprendre les caractéristiques des eaux usées industrielles est essentiel pour évaluer leur potentiel de pollution et pour développer des solutions de traitement adaptées. Dans cette introduction, nous explorerons les diverses caractéristiques courantes des eaux usées industrielles, notamment les contaminants organiques et inorganiques, les produits chimiques, les particules en suspension et d'autres substances indésirables. [2]

En examinant ces caractéristiques, nous pourrions mieux appréhender les défis environnementaux liés aux eaux usées industrielles et rechercher des approches durables pour préserver la qualité de l'eau et protéger nos écosystèmes aquatiques précieux. [2]

4.1. Les caractéristiques physiques

Les caractéristiques physiques des eaux usées industrielles agro-alimentaires peuvent fournir des informations importantes sur la composition et l'état de ces eaux avant leur traitement ou leur rejet [2]

- **Les matières en suspension (MES) :** Elles représentent, la fraction constituée par l'ensemble des particules, organiques (MVS) ou minérales (MMS), non dissoutes de la pollution. Elles constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel. La teneur en matières en suspension

est obtenue par la pesée après filtration ou centrifugation et séchage à 105°C. Elles sont exprimées en milligramme par litre (mg/l). [2]

- **Température** : La température des eaux usées industrielles peut varier en fonction des processus de production. Certains procédés industriels peuvent générer de la chaleur, ce qui entraîne des eaux usées à température élevée. Elle joue un rôle important dans la nitrification et dénitrification biologique et dans la solubilité des sels et surtout des gaz (en particulier l'O₂) dans l'eau. Cette augmentation de température peut avoir un impact sur les écosystèmes aquatiques dans lesquels les eaux usées sont déversées[2]
- **Turbidité** : La turbidité indique la présence de particules en suspension dans les eaux usées industrielles. Une turbidité élevée peut rendre les eaux troubles et affecter la transparence de l'eau. [2]
- **Couleur** : Certaines industries peuvent produire des eaux usées présentant des couleurs distinctes en raison des produits chimiques ou des colorants utilisés dans leur processus de fabrication. [2]
- **pH** : Le pH mesure l'acidité ou la basicité des eaux usées. Les eaux usées industrielles peuvent avoir des valeurs de pH différentes en fonction des produits chimiques utilisés dans le processus de fabrication. [2]
- **Conductivité** : La conductivité électrique mesure la capacité des eaux usées à conduire l'électricité, ce qui peut être influencé par la présence de sels dissous ou de produits chimiques ionisés. [2]
- **Odeur** : Certaines eaux usées industrielles peuvent dégager des odeurs spécifiques en raison de la présence de substances organiques ou chimiques. [2]

4.2. Les caractéristiques chimiques

Les caractéristiques chimiques des eaux usées industrielles sont diverses et peuvent varier en fonction du type d'industrie et des processus de production spécifiques. [2]

- **Charges polluantes organiques** : Les eaux usées industrielles peuvent contenir des composés organiques complexes tels que les hydrocarbures, les composés aromatiques, les alcools, les acides organiques et les produits chimiques issus des matières premières ou des procédés de fabrication. [2]
- **Nutriments** : Les eaux usées industrielles peuvent contenir des nutriments tels que les nitrates et les phosphates, qui peuvent être issus des produits chimiques utilisés ou des matières premières et qui peuvent entraîner une eutrophisation excessive des cours d'eau récepteurs. [2]
- **pH** : Le pH des eaux usées industrielles peut varier selon les processus de production et les produits chimiques utilisés, pouvant aller de l'acide au basique. Il exprime le niveau d'acidité, de neutralité ou d'alcalinité. Ce paramètre est évalué en fonction de la concentration en ions H₃O⁺. Le pH joue un rôle crucial dans le traitement des effluents et la croissance des bactéries. Une nitrification optimale ne survient que lorsque le pH se situe entre [7 et 9]. [2]

- **Conductivité** : La conductivité électrique mesure la capacité des eaux usées à conduire l'électricité, ce qui peut être influencé par la présence de sels dissous ou de produits chimiques ionisés. [2]
- **La demande biologique en oxygène** : Le test de DBO vise à quantifier la quantité d'oxygène requise pour la biodégradation des substances présentes dans les eaux usées par des processus biologiques. Étant donné que l'activité biologique est influencée par la température et que la dégradation complète peut nécessiter jusqu'à 20 jours, le test de DBO5 a été standardisé pour être réalisé à 20 °C sur une période de cinq jours. Cette analyse offre une évaluation relative de la quantité de matière organique disponible pour les organismes biologiques, du degré de stabilisation des eaux usées et de l'impact potentiel de l'effluent sur les cours d'eau récepteurs. [2]
- **La demande chimique en oxygène (DCO)** : La demande chimique en oxygène (DCO) représente la quantité totale d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement les composés organiques et inorganiques présents dans un échantillon d'eau, Elle est exprimée en mg de O₂/l. Elle est utilisée comme indicateur de la charge polluante ou de la contamination organique d'un échantillon d'eau. La mesure de la DCO permet d'estimer la quantité de matière organique dégradable présente dans l'échantillon, ce qui peut donner des informations sur la pollution et la qualité de l'eau. [2]
- **La DTO ou demande totale en oxygène** (exprimée en mg O₂/L) : Elle représente consommation d'oxygène par une technique instrumentale qui réalise l'oxydation directe des matières organiques par une combustion catalytique à 900 °C. [2]
- **Le COT (ou Carbone Organique Total)** : La quantification du carbone organique total constitue une méthode directe pour évaluer la présence d'une charge organique dans une eau donnée. Les composés organiques englobent d'une part des éléments tels que les protéines, les lipides, les glucides et les substances humiques, et d'autre part, des substances organiques carbonées élaborées ou employées par des secteurs tels que l'industrie chimique, pharmaceutique et pétrolière. [2]
- **Les matières oxydables ou MOX (exprimées en mg O₂ /L)** : correspondent à une moyenne pondérée de la DCO et de la DBO5, mesurées après décantation de 2 h suivant la formule : *MOX*
- **L'Azote total Kjeldahl (NTK)** : ce paramètre sert à évaluer la quantité de pollution azotée présente dans un échantillon de l'azote ammoniacal, généralement issu de composés azotés tels que l'ammoniac. [2]
- **L'Azote global (NGL)** : va au-delà de la mesure NTK en incluant également les formes oxydées de l'azote. Ces formes oxydées comprennent l'azote nitreux (NO₂-) et l'azote nitrique (NO₃-), qui sont souvent associés à des processus de nitrification et de pollution environnementale. [2]
- **Les nitrates (NO₃-)** : sont la phase finale du processus d'oxydation de l'azote. Si leur présence est d'origine organique dans l'eau, cela indique que l'autoépuration naturelle a eu lieu. Ces nitrates sont issus du lessivage des engrais ainsi que des déversements provenant des zones urbaines et industrielles. Ils jouent un rôle significatif en tant que nutriments essentiels pour les plantes. [2]

- **Nitrites (NO₂-)** : Les nitrites, également désignés sous le nom d'azote nitreux (NO₂-), représentent une forme moins oxygénée et plus instable. Ils marquent la transition entre les nitrates et l'ammonium, mais possèdent une nature toxique. Les nitrites sont présents dans le sol, les cours d'eau et les végétaux, bien que leurs quantités demeurent relativement restreintes. [2]
- **Le phosphore total (PT)** : (composés organiques phosphorés et phosphates) déterminés globalement par le phosphore total (PT). Désigne la somme de toutes les formes de phosphore présentes dans un échantillon donné. Cela inclut le phosphore organique et inorganique sous diverses formes chimiques, un excès de phosphore dans les écosystèmes aquatiques peut entraîner une eutrophisation excessive, provoquant des problèmes environnementaux tels que la prolifération d'algues nuisibles. [2]

La connaissance des caractéristiques chimiques des eaux usées industrielles agro-alimentaires est essentielle pour concevoir des systèmes de traitement adaptés afin de réduire leur impact sur l'environnement avant le rejet dans les sources d'eau naturelles ou les systèmes d'assainissement et dans notre cas dans la réutilisation. En contrôlant et en gérant efficacement ces caractéristiques, les industries peuvent contribuer à préserver la qualité de l'eau et à minimiser leur impact sur les écosystèmes environnants

5. La biodégradabilité

La biodégradabilité se réfère à la capacité d'une substance à être décomposée ou oxydée par les microorganismes impliqués dans les processus de purification biologique des eaux. Cette caractéristique est évaluée au moyen d'un coefficient K, qui sert à évaluer le degré de biodégradabilité d'une substance.

$$\text{Avec } K = \frac{DCO}{DBO5}$$

- $K < 2$: effluent facilement biodégradable ;
- $2 < K < 3$: effluent moyennement biodégradable ;
- $K > 3$: effluent difficilement biodégradable.

Le coefficient K très élevé se traduit par la présence des éléments inhibiteurs dans l'eau et de la croissance bactérienne, tels que : les sels métalliques, les détergents, les phénols, les hydrocarbures...etc.

La valeur du coefficient K détermine le choix de la filière de traitement à adopter. Si l'effluent est biodégradable, on applique un traitement biologique, sinon, on applique un traitement physico-chimique.

6. Paramètres microbiologiques

Les eaux usées renferment une variété de microorganismes qui sont éliminés avec les matières fécales. Parmi eux, on trouve la flore intestinale normale ainsi que des agents pathogènes. Ces microorganismes peuvent être regroupés en quatre catégories principales, classées par taille croissante : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes (vers parasites). Ces

catégories englobent une gamme d'organismes, certains étant potentiellement nuisibles pour la santé humaine si l'eau n'est pas traitée correctement avant d'être utilisée ou rejetée dans l'environnement. [3]

7. La nature de pollution causée par les industries agro-alimentaire

7.1.Pollution physique

La pollution physique causée par les industries agro-alimentaire à travers leurs rejets d'eaux usées se réfère à la contamination de l'environnement. Les eaux usées industrielles peuvent contenir des quantités significatives de sédiments, tels que des particules solides en suspension. Lorsque ces eaux usées sont déversées dans des cours d'eau ou des lacs, elles peuvent provoquer une turbidité excessive, ce qui réduit la pénétration de la lumière dans l'eau, nuisant ainsi aux plantes aquatiques et à la vie aquatique. [2]

7.2.Pollution thermique

1. La pollution thermique découle de l'émission d'eaux à des températures excessivement élevées, telles que les eaux de refroidissement. Cette pollution a un double impact : elle altère à la fois la capacité de l'eau à dissoudre l'oxygène et l'équilibre biologique de l'environnement. Les poissons les plus robustes succombent à des températures aussi basses que 35 °C. [2]

7.3.Pollution radioactive

Contamination radioactive Cette forme de pollution découle de la présence éventuelle de radioactivité induite par des rejets. Cette radioactivité provient de diverses utilisations de l'énergie nucléaire, qu'il s'agisse d'installations et de centrales nucléaires, d'activités minières d'uranium ou encore du traitement de déchets radioactifs. [2]

7.4.Pollution chimique

La pollution chimique causée par les industries à travers leurs rejets d'eaux usées se réfère à la contamination de l'environnement aquatique par des produits chimiques indésirables issus des activités industrielles. Cette forme de pollution chimique peut avoir des conséquences néfastes sur la qualité de l'eau, les écosystèmes aquatiques et la santé humaine. Les industries agro-alimentaire peuvent déverser des produits chimiques toxiques dans les eaux usées, tels que des produits chimiques organiques (solvants, pesticides) ou des produits chimiques inorganiques (acides, bases). Ces substances peuvent avoir des effets nocifs sur les organismes aquatiques et contaminer la chaîne alimentaire. [2]

7.5.Pollution toxique

La toxicité peut être induite par de nombreuses substances chimiques présentes dans l'eau, même à des concentrations très faibles (inférieures au milligramme par litre, mg/L).

Les produits chimiques toxiques englobent une vaste gamme de composés. Certains ont une origine minérale, tels que les métaux lourds toxiques comme le mercure, le cadmium, le nickel, le cuivre, le zinc, le chrome, ainsi que des substances comme les cyanures, l'arsenic, les sulfures et d'autres présentant une forte acidité ou basicité. [2]

D'autres produits toxiques ont une origine organique, notamment les pesticides, les produits phytosanitaires, les hydrocarbures polycycliques aromatiques, les composés phénolés et les solvants chlorés.

Ces substances chimiques peuvent avoir des effets variés sur les écosystèmes aquatiques et la santé humaine. Les effets de ces produits toxiques peuvent être immédiatement apparents, tels que la mort, l'apparition de malformations ou de tumeurs. Cependant, certains effets sont plus subtils et peuvent inclure des problèmes de reproduction, la disparition de certaines espèces animales ou végétales moins visibles, ainsi que des perturbations dans les capacités de concentration, de réflexion et même l'apparition de stress chez les humains. En somme, la présence de produits chimiques toxiques dans l'eau peut avoir des conséquences graves et variées sur la santé des écosystèmes et des populations humaines qui en dépendent [2]

7.6. La pollution par une phase liquide insoluble

La contamination causée par une phase liquide non soluble (comme les huiles, les graisses) qui flotte à la surface de l'eau aura principalement pour effet de réduire les échanges d'oxygène avec l'air ambiant. Cette situation aura un impact significatif sur la santé des organismes vivant dans l'eau. [2]

Lorsque ces substances non solubles se déposent à la surface de l'eau, elles forment une couche qui peut empêcher l'oxygène de pénétrer dans l'eau à partir de l'atmosphère. Comme l'oxygène est essentiel à la vie aquatique, cette diminution des niveaux d'oxygène peut perturber les écosystèmes aquatiques et la qualité de l'eau. La faible disponibilité en oxygène peut entraîner la mort des organismes aquatiques qui en ont besoin pour respirer et survivre. De plus, cette situation peut perturber les processus biologiques et chimiques normaux dans l'eau, ce qui peut compromettre la santé globale de l'écosystème. [2]

Par conséquent, la gestion appropriée des rejets d'huiles, de graisses et d'hydrocarbures est essentielle pour maintenir la qualité de l'eau et préserver la vie aquatique.

7.7. Pollutions azotées et phosphorées

Les activités industrielles peuvent donner lieu à des rejets variés en éléments nutritifs. L'azote, provenant notamment de la fabrication d'engrais, des cokeries, des industries chimiques et agroalimentaires, ainsi que le phosphore, résultant du traitement de surface des métaux, des laveries industrielles, de la production d'engrais et de l'industrie agroalimentaire (comme les laiteries), sont deux éléments en question. [2]

Ces éléments nutritifs sont responsables de l'eutrophisation, un phénomène qui entraîne la prolifération excessive d'algues et de plantes vertes dans des milieux comme les lacs et les rivières à faible débit. Les formes réduites de l'azote, à savoir l'azote organique et ammoniacal, jouent également un rôle dans l'équilibre d'oxygène. Lorsqu'ils s'oxydent, ils consomment de l'oxygène (4,57 mg O₂/mg d'azote). Il est important de noter que lorsque le pH de l'eau augmente, l'ammoniaque se transforme en gaz ammoniac dissous, qui peut être toxique pour la faune à des concentrations de l'ordre du milligramme par litre (mg/L). [2]

7.8. Pollutions organiques

La pollution organique se réfère à la présence et à la libération de composés organiques dans l'environnement, souvent issus d'activités humaines telles que l'industrie, l'agriculture et les déchets. Ces composés organiques peuvent inclure des hydrocarbures, des solvants, des produits chimiques toxiques et des matières organiques en décomposition. Peut provoquer :

- Dégradation de la qualité de l'eau : Les matières organiques décomposées par les bactéries dans l'eau consomment de l'oxygène dissous, ce qui peut entraîner une diminution de la teneur en oxygène de l'eau (eutrophisation) et la mort de la vie aquatique, y compris les poissons.
- Risques sanitaires : Les eaux usées contiennent souvent des pathogènes, des virus et des bactéries potentiellement dangereux pour la santé humaine. L'exposition à ces contaminants peut provoquer des maladies transmises par l'eau.
- Altération de la biodiversité : Les changements dans la qualité de l'eau et la disponibilité en oxygène peuvent perturber les écosystèmes aquatiques et entraîner la disparition de certaines espèces.
- Production de gaz à effet de serre : La décomposition des matières organiques dans les eaux usées génère du méthane, un puissant gaz à effet de serre, contribuant ainsi au changement climatique. [2]

8. Caractéristiques des eaux usées de L'industrie de boisson gazeux :

Les eaux usées générées par l'industrie des boissons gazeuses peuvent présenter plusieurs caractéristiques spécifiques en fonction des procédés de fabrication, des ingrédients utilisés et des pratiques de gestion. Voici quelques paramètres clés, ainsi que leurs impacts potentiels sur l'environnement :

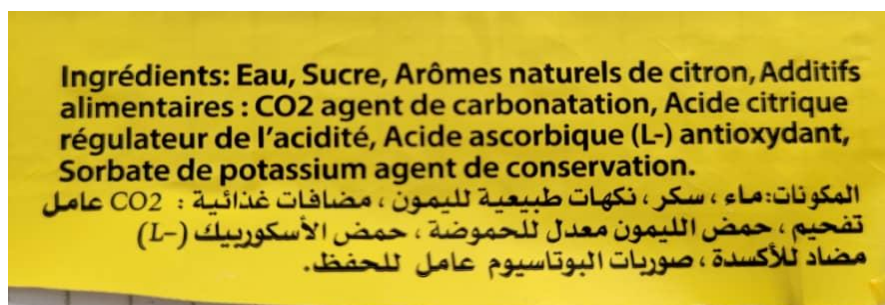


Figure I.1: les ingrédients de boisson gazeuse blanche de Hamoud Boualem [3]

- ✓ **Charge Organique :** Les eaux usées peuvent contenir des composés organiques issus d'ingrédients tels que le sucre, les colorants et les arômes. Ces composés peuvent augmenter la demande biochimique en oxygène (DBO) et la demande chimique en oxygène (DCO) de l'eau traitée, ce qui peut entraîner une diminution de l'oxygène dissous dans les cours d'eau et nuire à la vie aquatique.
- ✓ **Acidité :** Les eaux usées peuvent être acides en raison de l'ajout d'acide citrique ; ascorbique ou d'autres acides dans les boissons. Le rejet d'eaux acides peut diminuer le pH des cours d'eau, perturbant ainsi les écosystèmes aquatiques.

- ✓ **Charges Minérales :** Les eaux usées peuvent contenir des sels minéraux provenant des ingrédients des boissons, ce qui peut augmenter la conductivité électrique de l'eau. Un taux élevé de conductivité peut altérer la qualité de l'eau et avoir un impact sur les organismes aquatiques.
- ✓ **Substances Chimiques :** Les eaux usées peuvent contenir des résidus de colorants, d'arômes, d'édulcorants et d'autres additifs chimiques. Ces substances peuvent avoir des effets indésirables sur les écosystèmes aquatiques et la qualité de l'eau potable.
- ✓ **Dioxyde de Carbone Dissous :** Les eaux usées peuvent contenir du dioxyde de carbone dissous, ce qui peut modifier l'équilibre chimique de l'eau et affecter les niveaux de pH.
- ✓ **Eaux de Lavage et de Nettoyage :** Les opérations de nettoyage dans l'industrie des boissons gazeuses génèrent des eaux usées contenant des détergents et des agents de nettoyage. Ces produits chimiques peuvent contaminer les eaux usées et avoir des effets négatifs sur les écosystèmes aquatiques.

Pour minimiser l'impact environnemental de ces eaux usées, les industries de boissons gazeuses doivent mettre en place des systèmes de traitement adéquats. Les technologies de traitement, pour réduire les niveaux de polluants dans les eaux usées avant leur rejet dans l'environnement ou leur traitement ultérieur dans les stations d'épuration. La conformité aux réglementations environnementales locales et nationales est essentielle pour prévenir la pollution de l'eau et protéger les écosystèmes aquatiques. [4]

9.L''impact de rejets des eaux usées agro-alimentaires sur l'environnement

Les eaux usées agro-alimentaires ont un impact significatif sur l'environnement et peuvent affecter la biodiversité de diverses manières.

- **Pollution de l'eau :** Les eaux usées agro-alimentaires contiennent une variété de contaminants, tels que des matières organiques, des nutriments (comme l'azote et le phosphore), des graisses, des huiles, des produits chimiques et des micro-organismes. Lorsque ces contaminants sont rejetés dans les cours d'eau, ils peuvent provoquer la pollution de l'eau, ce qui peut avoir des effets néfastes sur les écosystèmes aquatiques. La pollution de l'eau peut entraîner la réduction de l'oxygène dissous, la croissance excessive d'algues (eutrophisation), la mort de poissons et d'autres organismes aquatiques, et la perturbation des chaînes alimentaires.
- **Modification de la composition chimique de l'eau :** Les contaminants présents dans les eaux usées agro-alimentaires peuvent altérer la composition chimique de l'eau, ce qui peut avoir un impact sur la qualité de l'habitat pour les organismes aquatiques. Par exemple, des concentrations élevées d'azote et de phosphore peuvent favoriser la croissance d'algues nuisibles, qui peuvent perturber les écosystèmes aquatiques.
- **Contamination de la faune aquatique :** Les contaminants des eaux usées agro-alimentaires peuvent s'accumuler dans les organismes aquatiques, affectant ainsi la santé de la faune aquatique. Cela peut avoir des répercussions sur la biodiversité des cours d'eau et des écosystèmes aquatiques en général.

- Risques pour la santé humaine : Si les eaux usées agro-alimentaires contiennent des pathogènes ou des produits chimiques dangereux, elles peuvent présenter un risque pour la santé humaine si elles contaminent les sources d'eau potable ou les zones de loisirs aquatiques.
- Perturbation des écosystèmes terrestres : Les rejets d'eaux usées dans les cours d'eau peuvent également entraîner la contamination des sols et des zones adjacentes. Cela peut affecter la végétation terrestre et les animaux terrestres qui dépendent de ces zones, contribuant ainsi à la perte de biodiversité. [4]

Pour réduire l'impact des eaux usées agro-alimentaires sur l'environnement et la biodiversité, il est essentiel de mettre en place des systèmes de traitement efficaces pour éliminer ou réduire les contaminants avant le rejet dans l'environnement. De plus, des pratiques agricoles et industrielles durables, ainsi que des réglementations environnementales strictes, peuvent aider à minimiser la pollution par les eaux usées et à préserver la biodiversité des écosystèmes aquatiques et terrestres[4]

10. Conclusion :

Ce chapitre explore l'impact significatif des eaux usées agro-alimentaire sur l'environnement . Issues d'activités variées, ces eaux contiennent des polluants menaçant les ressources en eau et les écosystèmes. Les contaminants comprennent des substances toxiques, métaux lourds et matières organiques, nuisant à la biodiversité et à la santé. Malgré cela, des réglementations environnementales et des technologies d'épuration avancées sont mises en place pour atténuer ces effets.

Gérer efficacement les eaux usées industrielles agro-alimentaire est crucial pour un environnement sain et une qualité de vie durable. Ce chapitre souligne la nécessité de coopérer pour relever ces défis, en intégrant pratiques durables et technologies innovantes pour minimiser l'impact des eaux usées sur l'environnement et l'écosystème

Chapitre 02 :
Epuration des eaux
usées industrielles

1. Introduction

L'épuration des eaux usées vise à éliminer les contaminants présents dans les eaux usées, tels que les matières organiques, les produits chimiques toxiques et les agents pathogènes. Cela permet de réduire les risques de contamination de l'eau potable, de préserver la qualité des milieux aquatiques et de maintenir l'équilibre des écosystèmes. Le processus d'épuration implique une combinaison de techniques physiques, chimiques et biologiques conçues pour décomposer, neutraliser ou éliminer les polluants, rendant ainsi les eaux usées propres et sûres pour le rejet dans l'environnement ou pour un éventuel réemploi . [5]

2. Procédés d'épuration des eaux usées industrielles

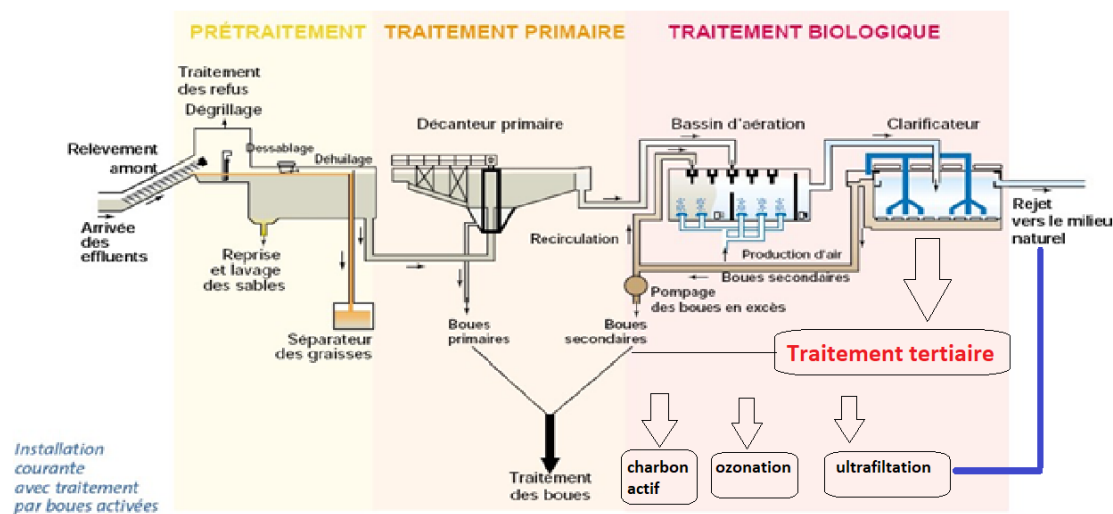


Figure II.1 : Procédés d'épuration des ERI

3. Le choix de procédé adéquat

Avant d'opter pour un procédé de traitement, il est essentiel de posséder une connaissance approfondie de la qualité de l'effluent à traiter. À cet effet, il revêt une grande importance de prendre en considération les éléments suivants :

- Les normes de qualité visées suite au traitement.
- Les niveaux de concentration des agents polluants.
- L'origine spécifique de la pollution.
- La variabilité inhérente à la pollution.

4. Les techniques d'épuration

4.1. Les prétraitements

Le prétraitement d'épuration est la première étape du processus de traitement des eaux usées, visant à éliminer les matières solides, les graisses, les huiles et d'autres déchets grossiers ou flottants avant que les eaux usées n'entrent dans les étapes de traitement plus avancées.

Cette étape est cruciale car elle permet de protéger les équipements et les systèmes de traitement ultérieurs contre les dommages, tout en améliorant l'efficacité globale du processus d'épuration.

[5]

4.2. Dégrillage

Le dégrillage est une étape essentielle dans le traitement des eaux usées, visant à éliminer les éléments solides de grande taille tels que les débris, les branches, les feuilles et les particules volumineuses présents dans l'eau brute. Cette opération a lieu en amont des étapes de traitement avancées pour prévenir les obstructions, protéger les équipements et améliorer l'efficacité globale du processus de purification. [5]



Figure II.2: un dégrilleur grossier

4.2.1. Tamisage

Le tamisage est un processus essentiel utilisé dans le traitement des eaux usées pour éliminer les particules solides et les matières en suspension de petite taille de l'eau brute comme les sables, les débris fins. Il s'agit d'une étape de prétraitement qui vise à améliorer la qualité de l'eau avant qu'elle ne soit soumise à des étapes de traitement ultérieures plus avancées. [6]

4.2.2. Dessablage

Le dessablage est une étape importante du traitement des eaux usées visant à éliminer les particules lourdes telles que le sable et le gravier présentes dans l'eau brute. Son objectif principal est de prévenir les dommages, les obstructions et les perturbations éventuelles des équipements du processus de traitement. Les particules lourdes se déposent au fond du bassin sous l'effet de la gravité, formant une couche de sédiments. [5]

4.2.3. Dégraissage-déshuilage

Il vise à éliminer les matières grasses, les huiles et les graisses et d'autres matières flottantes présentes dans l'eau brute avant qu'elle ne soit soumise aux étapes de traitement avancées. Cette étape est importante pour éviter les obstructions dans les systèmes de traitement et pour préserver l'efficacité des équipements. [6]

4.2.4. Homogénéisation et égalisation

Les différents déversements sont combinés dans un réservoir d'égalisation, qui retient l'intégralité des eaux usées générées sur une journée ou plus. Cela permet d'obtenir un effluent

parfaitement uniforme tout en maintenant un débit constant , pour garantir un mélange homogène et empêcher la sédimentation de substances susceptibles de se déposer

En outre, une légère aération est souvent nécessaire pour prévenir la formation d'odeurs indésirables. [6]

4.3. Le traitement primaire

Le traitement primaire dans le processus d'épuration des eaux usées est la première étape fondamentale visant à éliminer les solides en suspension et une partie des matières organiques présentes dans les eaux usées brutes. [7]

4.3.1. Le traitement physico-chimique

C'est une méthode de traitement des eaux usées qui vise à éliminer les contaminants en utilisant des processus physiques et chimiques. Cette approche combine des techniques qui exploitent les propriétés physiques des substances et les interactions chimiques pour éliminer les polluants présents dans les eaux usées. [8]

4.3.1.1. Coagulation et floculation

La coagulation et la floculation sont des processus chimiques utilisés dans le traitement de l'eau et des eaux usées pour éliminer les particules en suspension et d'autres impuretés.

Voici comment ces processus fonctionnent :

- **Coagulation :** La coagulation consiste à ajouter des produits chimiques coagulants à l'eau usée. Ces coagulants, généralement des sels de fer (comme le sulfate de fer) ou des sels d'aluminium (comme le sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3$), ont la capacité de neutraliser les charges électriques des particules en suspension dans l'eau. Les particules portent souvent des charges électriques similaires, ce qui les maintient dispersées et empêche leur agglomération naturelle. L'ajout de coagulants inverse cette charge, favorisant l'attraction mutuelle des particules et créant des agrégats appelés « floes ». [9]
- **Floculation :** Après la coagulation, l'eau contient des particules agglomérées (floes) de taille microscopique. Cependant, ces floes sont encore petits et en suspension dans l'eau. La floculation consiste à agiter doucement l'eau de manière à favoriser la collision et l'agrégation des floes en plus gros agglomérats. Ces floes plus gros sont plus faciles à éliminer par la suite. L'eau est ensuite laissée en repos dans un réservoir de décantation (décanteur) pendant un certain temps, ce qui permet aux floes de se déposer au fond du réservoir. [9]

4.3.1.2. Décantation :

La décantation primaire est une étape cruciale du traitement primaire des eaux usées. Elle implique la séparation des solides en suspension plus lourds et des matières flottantes de l'eau en laissant reposer l'eau usée dans un réservoir de décantation, également appelé décanteur primaire [6]

Voici comment fonctionne la décantation primaire :

- **Sédimentation :** L'eau usée est introduite dans un grand bassin de décantation où elle est laissée tranquille pendant un certain temps. Pendant cette période, les particules

solides plus lourdes et les matières en suspension ont la possibilité de se déposer au fond du bassin sous l'effet de la gravité. Cela forme une couche de boues au fond du bassin, tandis que l'eau clarifiée s'accumule en surface. Cette eau clarifiée, bien que pas encore complètement propre, est en partie débarrassée des solides en suspension. [7]

- **Flottation** : Dans certains cas, surtout lorsque les eaux usées contiennent des graisses et des huiles, une étape de flottation peut être ajoutée. Elle consiste à introduire de l'air dans l'eau usée, créant ainsi des microbulles qui s'attachent aux graisses et aux matières organiques présentes à la surface. Ces particules aérées ont une tendance naturelle à flotter, ce qui permet de les éliminer plus facilement à la surface du bassin. [7]

4.3.2. Types de décanteur

4.3.2.1. Décanteur à flux vertical

Les particules dont la vitesse de sédimentation est supérieure à la vitesse ascendante du liquide sont retenues. [5]

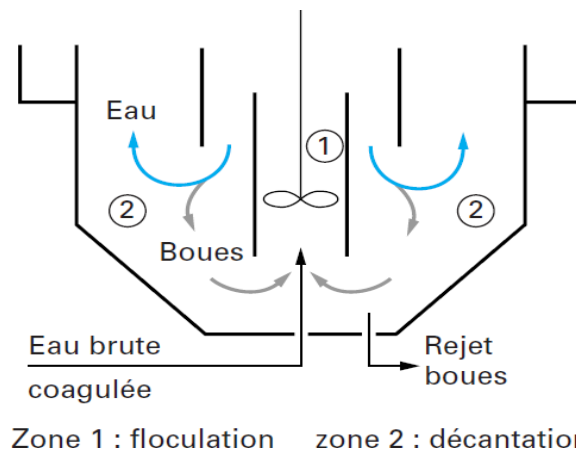


Figure II.3: schéma d'un décanteur vertical

4.3.2.2. Décantation à flux horizontal

L'eau prétraitée traverse le bassin de manière horizontale et la condition pour que les particules soient retenues et qu'elle ait le temps d'atteindre le fond avant la sortie de l'ouvrage. Ces bassins sont caractérisés par : le débit d'eau entrant Q , la surface horizontale SH , la longueur L et la largeur l et la hauteur H . [5]

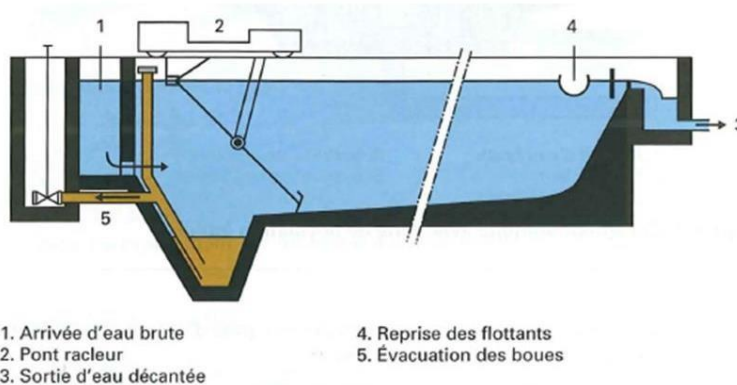


Figure II.4: Décanteur longitudinal à pont racleur

4.3.3. Les traitements biologiques

Le traitement biologique est une méthode de traitement des eaux usées qui utilise des micro-organismes vivants pour décomposer les matières organiques et éliminer les polluants présents dans les eaux usées. Ce processus repose sur les activités métaboliques naturelles des bactéries, des champignons et d'autres micro-organismes pour convertir les substances organiques en produits moins nocifs, tels que de l'eau, du dioxyde de carbone et des sédiments. [10]

Les différents procédés mis en œuvre dans le traitement biologique sont :

- culture fixées (lits bactériens à matériau plastique)
- boues activées,
- traitements anaérobies

4.3.3.1. Traitement biologique aérobie

Dans ce processus, les micro-organismes utilisent l'oxygène dissous dans l'eau pour décomposer les matières organiques présentes dans les eaux usées. Les bactéries aérobies consomment ces matières organiques comme source de nutriments pour leur propre croissance et libèrent du dioxyde de carbone et de l'eau comme produits finaux. Le traitement biologique aérobie est largement utilisé dans les systèmes de lagunage aéré, les boues activées et d'autres technologies similaires. [11]

4.3.3.2. Procédés à cultures libres

Les procédés à cultures libres sont des méthodes de traitement biologique des eaux usées utilisant des micro-organismes en suspension pour éliminer les contaminants. Ils diffèrent des procédés à cultures fixées car les micro-organismes se déplacent librement. Les méthodes courantes incluent le traitement de la pollution carbonée, la nitrification/dénitrification et des systèmes en deux étapes ou en série. [11]

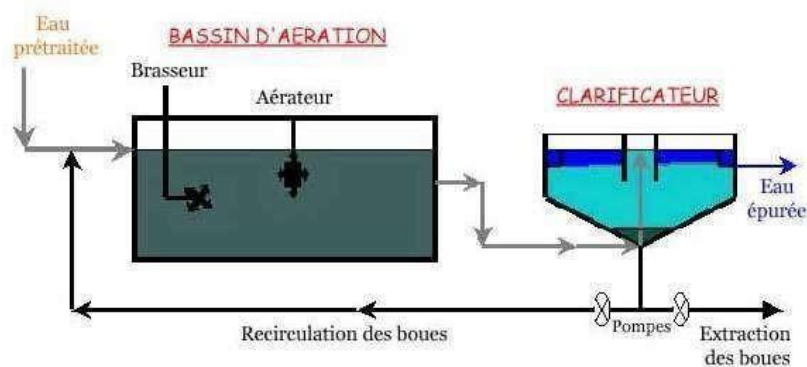


Figure II.5 : traitement biologique à boues activées

4.3.3.3. Procédé à culture fixée

Les procédés biologiques à culture fixée sont utilisés pour le traitement aérobie des eaux usées. Les micro-organismes utilisent l'oxygène dissous pour décomposer les matières organiques, produisant du dioxyde de carbone et de l'eau. Ces procédés incluent les cultures fixes non

immergées, les cultures fixes immergées et les procédés mixtes avec un matériau support fixe ou mobile. [10]

4.3.3.4. La biofiltration

La biofiltration est un processus de traitement des eaux usées qui favorise la fixation de bactéries sur des matériaux granulaires, Cela améliore la diffusion de l'oxygène et des nutriments, permettant de respecter les normes de rejets, idéale pour les petites installations avec des charges élevées. Elle est efficace pour éliminer la pollution carbonée et pour la nitrification-dénitrification. [10]

4.3.3.5. Lit bactérien

Les lits bactériens sont des systèmes de traitement biologique des eaux usées où les micro-organismes décomposent les contaminants sur un support solide, tel que des pierres ou des plastiques. Ils peuvent être statiques ou en mouvement. Ces systèmes sont classés en fonction de leur charge : faible, moyenne ou très élevée. [11]

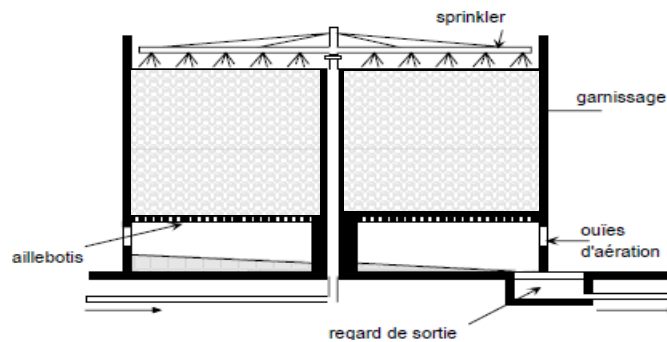


Figure II.6 : lit bactérien et son garnissage

La recirculation de l'effluent traité en tête de réacteur est couramment utilisée, dans les lits à forte charge, pour augmenter le débit de liquide à travers le lit filtrant. Cela permet de maintenir une charge organique élevée, d'éviter le colmatage du lit dû à la prolifération bactérienne, et de donner une nouvelle chance à la matière organique non dégradée de subir le traitement biologique.

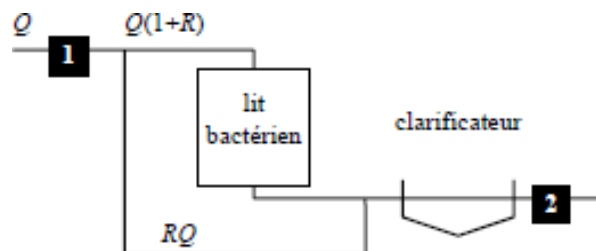


Figure II.7 : Lit bactérien à forte charge

4.3.3.6. Les procédés à lit mobiles

Les procédés à lits mobiles sont des systèmes de traitement des eaux usées utilisant des supports solides en mouvement pour favoriser le contact entre les micro-organismes et les eaux usées. L'oxygène peut être fourni par aération forcée ou naturelle. On distingue deux types principaux de procédés à lits mobiles : les lits fluidisés, avec de l'air préalablement dissous, et les lits

turbulents, où l'air est directement introduit dans le réacteur. Ces systèmes permettent de réduire les matières en suspension et de maîtriser les excès de boues dans un ouvrage en aval. [10]

4.3.3.7. Disques biologiques

Les disques biologiques sont des systèmes de traitement biologique des eaux usées où des micro-organismes se développent en biofilm sur des disques rotatifs semi-immérgés. L'oxygène est fourni par ventilation forcée ou naturelle, et les eaux usées sont pulvérisées ou versées sur les disques en rotation pour permettre le contact entre les micro-organismes et les contaminants. Ils servent à dégrader les contaminants dans les eaux usées, se distinguant des lits bactériens par leur configuration et leur méthode de contact entre micro-organismes et contaminants. [11]

4.3.3.8. Lit bactérien fluidisé (culture mixte)

Ce sont des procédés biologiques pour l'élimination du carbone et de l'azote dans lesquels des bactéries sont fixées sur des supports mobiles. Ces supports sont des anneaux en plastique dont la densité est légèrement inférieure à celle de l'eau. Ils sont mis en mouvement et répartis dans tout le volume du réacteur au moyen de l'air du procédé. [10]

4.3.3.8.1. Domaine d'application des cultures mixtes

Les cultures mixtes sont efficaces pour traiter les eaux résiduaires industrielles, réduisant significativement la DCO et la DBO5. Elles permettent des installations plus compactes que les méthodes traditionnelles. Elles ciblent divers types de polluants, ainsi que la nitrification et la dénitrification, mais ne conviennent pas aux eaux résiduaires sujettes aux dépôts calcaires. [11]

4.3.3.9. Traitement biologique anaérobie

Le traitement biologique anaérobie est réalisé sans oxygène, grâce à des bactéries anaérobies qui décomposent les matières organiques en produisant du biogaz, principalement du méthane et du dioxyde de carbone. Ce processus intervient après les traitements primaires et chimiques pour réduire la DCO, la DBO et d'autres polluants organiques, contribuant ainsi à la réduction de la pollution de l'eau. [11]

4.3.4. Traitement tertiaire

Le traitement tertiaire vise à améliorer la qualité de l'eau déjà traitée pour répondre à des normes plus strictes, avant de la rejeter dans l'environnement ou de l'utiliser industriellement. Il utilise diverses méthodes pour traiter les polluants résistants aux traitements précédents, adaptées à des besoins spécifiques tels que le nettoyage, la lutte contre les incendies et le recyclage industriel. [12]

4.3.4.1. Filtration avancée

L'utilisation de filtres à haute efficacité, tels que les membranes d'ultrafiltration ou d'osmose inverse, pour éliminer les particules fines, les bactéries, les virus et même les ions dissous. [12]

- **Osmose inverse** : L'osmose inverse est une technique de filtration avancée utilisant une membrane semi-perméable sous pression pour éliminer les contaminants de l'eau, produisant ainsi de l'eau pure en rejetant les impuretés. [12]
- **Les membranes d'ultrafiltration** : Les membranes d'ultrafiltration sont des structures poreuses qui purifient l'eau en retenant les particules, bactéries et virus tout en

permettant le passage des substances plus petites. Lorsqu'une pression est appliquée pour forcer l'eau à travers ces membranes, les contaminants sont piégés, produisant ainsi de l'eau purifiée, dépourvue de bactéries, de virus et de particules indésirables. [12]

4.3.4.2. Désinfection

La désinfection avancée est une étape du traitement de l'eau qui vise à éliminer de manière intensive les micro-organismes pathogènes, les bactéries, les virus et d'autres agents contaminants présents dans l'eau déjà traitée. Cette étape va au-delà des méthodes de désinfection conventionnelles pour garantir un niveau élevé de sécurité sanitaire. [12]

➤ L'ozonation

La désinfection par ozonation utilise l'ozone (O₃) pour décomposer la matière organique, éliminer bactéries, virus et pathogènes dans l'eau. Son efficacité dépend de facteurs comme le pH, la température, la concentration de matières en suspension et la matière organique. Les coûts peuvent être élevés en raison d'équipements coûteux. [12]

➤ Ultraviolette avancée (UV avancée)

La désinfection ultraviolette (UV) utilise des rayons UV-C pour endommager l'ADN des microorganismes, les empêchant de se reproduire ou de causer des infections. Cette technique élimine ou inactive les pathogènes, réduisant ainsi le risque de contamination de l'eau et de propagation de maladies. Elle est couramment utilisée pour purifier l'eau et l'air. [12]

➤ Charbon actif

Le charbon actif joue un rôle clé ; en éliminant efficacement divers polluants, notamment les composés organiques, les métaux lourds, les produits chimiques et les odeurs. Il améliore ainsi la qualité de l'eau avant son rejet ou sa réutilisation, avec des applications comprenant l'adsorption, la rétention de métaux lourds, la décoloration et la préparation de l'eau pour l'industrie.

➤ La chloration

La désinfection au chlore dans le traitement tertiaire élimine les microorganismes pathogènes, assure la sécurité sanitaire de l'eau et maintient un temps de contact approprié pour une désinfection efficace. Cela nécessite un dosage précis pour éviter les excès ou les insuffisances de chlore et garantir que l'eau répond aux normes sanitaires avant le rejet ou la réutilisation. [12]

4.3.4.3. Élimination des nutriments avancée

Un processus qui vise à réduire de manière plus significative les niveaux de nutriments, notamment l'azote et le phosphore, dans le but de prévenir la contamination des plans d'eau et des cours d'eau dans lesquels ils se déversent [12].

➤ Réduction de la DCO dure

Pour éliminer la DCO persistante, résistante aux traitements primaires et secondaires, on utilise des techniques chimiques d'oxydation, telles que l'ozonation, et des techniques physiques de séparation des composés responsables. L'adsorption sur charbon actif est une méthode courante pour traiter ces composés organiques résistants. [12]

➤ Élimination des colorants

visé à réduire ou éliminer les colorants résiduels. Des méthodes comme l'adsorption sur charbon actif, l'ozonation, la filtration membranaire et la biodégradation par des bactéries sont couramment utilisées. Le choix dépend de la composition des colorants, de leur concentration et des réglementations environnementales. [12]

➤ **Élimination des métaux**

visé à réduire les métaux lourds résiduels. Les méthodes courantes incluent la précipitation chimique, l'adsorption sur des matériaux comme le charbon actif, la filtration membranaire et l'oxydation avancée, telle que l'ozonation. Cela permet de réduire les impacts environnementaux et sanitaires des métaux provenant de diverses industries. [12]

➤ **Traitement du phosphore**

Le traitement du phosphore vise à réduire ou éliminer le phosphore résiduel dans l'eau pour prévenir la pollution environnementale, notamment l'eutrophisation. La précipitation du phosphore, souvent effectuée dans le traitement tertiaire, implique l'ajout de réactifs pour faire précipiter le phosphore, suivi de la séparation liquide-solide par décantation ou filtration membranaire, améliorant ainsi la qualité de l'eau avant son rejet dans l'environnement. [12]

➤ **Traitement de l'azote :**

Le traitement tertiaire des eaux usées vise à réduire ou éliminer les composés azotés résiduels, principalement ammoniac et nitrate, pour prévenir la pollution environnementale. La dénitrification biologique est une méthode impliquant des bactéries qui transforment les nitrates en azote gazeux, qui est libéré dans l'atmosphère. Ce processus a lieu dans des bassins spécialement conçus avec des conditions favorables pour les bactéries dénitrifiantes. [12]

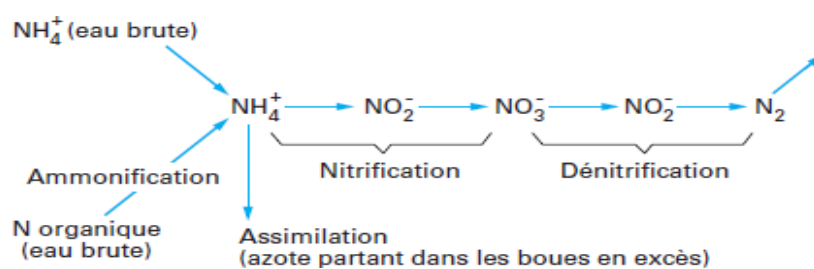


Figure II.8: étape de dégradation biologique de l'azote

La gestion efficace de l'azote dans les eaux usées est cruciale pour minimiser les impacts environnementaux et maintenir la qualité de l'eau des écosystèmes aquatiques.

5. Procédés de traitement de boues

Le traitement des boues dans le processus de traitement des eaux usées vise à gérer, réduire le volume, stabiliser la composition et rendre moins nocives les résidus solides produits lors du traitement, incluant des matières organiques, des micro-organismes, des substances toxiques et des composés inorganiques. [13]

Voici les principales étapes du traitement des boues : [14]

- Épaississement et déshydratation : Augmentation de la concentration en matières solides des boues en éliminant l'eau, facilitant ainsi leur gestion et leur transport.
- Stabilisation : Réduction de la biodégradabilité des matières organiques dans les boues pour réduire les odeurs désagréables.
- Désinfection : Élimination des pathogènes potentiellement dangereux dans les boues par chauffage, traitement aux ultraviolets ou ajout de produits chimiques désinfectants.
- Déshydratation : Réduction de la teneur en eau des boues pour les rendre plus faciles à manipuler.
- Valorisation : Utilisation des boues déshydratées comme amendement pour les sols agricoles, source d'énergie, ou dans d'autres applications.
- Élimination : Si la valorisation n'est pas possible, élimination appropriée des boues, pouvant impliquer leur incinération, mise en décharge spéciale ou utilisation comme matériau de remblayage. [13]

Le traitement des boues est essentiel pour éviter la contamination de l'environnement, réduire les odeurs désagréables, et permettre une gestion plus efficace des résidus issus du traitement des eaux usées. Les méthodes spécifiques de traitement des boues peuvent varier en fonction de la taille de la station d'épuration, de la composition des eaux usées et des réglementations locales. [13]

6. Conclusion

Le chapitre sur l'épuration des eaux usées industrielles et leurs différents traitements met en évidence l'importance de la gestion responsable des eaux usées générées par les activités industrielles.

Les eaux usées industrielles peuvent contenir une variété des effluents, de polluants et de composés indésirables qui s'ils ne sont pas correctement traités, peuvent avoir des conséquences graves sur l'environnement, la santé publique et la durabilité à long terme des opérations industrielles.

Le choix des méthodes de traitement dépend de divers facteurs, notamment la nature des effluents, les réglementations environnementales en vigueur, les ressources disponibles et les objectifs de durabilité de l'entreprise. Il est également crucial de noter que de nombreuses entreprises adoptent des pratiques de réduction à la source pour minimiser la production d'eaux usées industrielles dès le départ.

En conclusion, la gestion efficace des eaux usées industrielles est essentielle pour réduire l'impact environnemental des activités industrielles, préserver la qualité de l'eau et des écosystèmes aquatiques, et répondre aux exigences réglementaires en matière de protection de l'environnement. Elle joue un rôle clé dans la promotion du développement durable

Partie II :
Conception de la STEP de
l'industrie Hamoud Boualem

Chapitre 03 :

Présentation de secteur d'étude

1 Présentation de la zone industrielle de Boufarik

La zone industrielle de Boufarik est un parc industriel situé dans la wilaya de Blida, en Algérie. Elle s'étend sur une superficie de plus de 450 hectares et abrite plusieurs entreprises, notamment dans les secteurs de la production alimentaire, de l'industrie chimique et de la production de matériaux de construction ainsi que des services de sécurité. La zone industrielle de Boufarik est considérée comme l'une des plus importantes zones industrielles d'Algérie. Elle dispose d'infrastructures modernes, telles que des routes, des réseaux électriques et de télécommunications, ainsi que des installations de traitement des eaux usées ; notamment dans les secteurs de la chimie, de la métallurgie. Elle est également un centre économique important pour la région de Blida, créant des emplois et stimulant la croissance économique. Elle offre des opportunités d'emploi pour les travailleurs locaux et contribue à la croissance de l'industrie et de l'exportation algériennes. Elle est située à proximité de plusieurs grandes villes, telles qu'Alger, Blida et Médéa, ce qui facilite le transport des marchandises vers d'autres régions du pays.

1.1 Situation géographique de Boufarik

Boufarik est une ville dans la wilaya de Blida, dans la région de l'Algérois, au nord de l'Algérie. La ville de Boufarik Elle est située à une latitude de 36.584859 et une longitude de 2.907609 à environ 30 km au sud-ouest d'Alger, la capitale de l'Algérie. Elle est bordée à l'est par la ville de Blida, au nord par la ville de Zéralda, à l'ouest par la ville de Douéra et au sud par les montagnes du Sahel. Elle se trouve à proximité de la plaine de la Mitidja, une région agricole importante en Algérie. Boufarik est accessible par la route nationale 5 et la route nationale 11, ainsi que par le chemin de fer algérien qui relie la ville à Alger et à d'autres villes de la région.

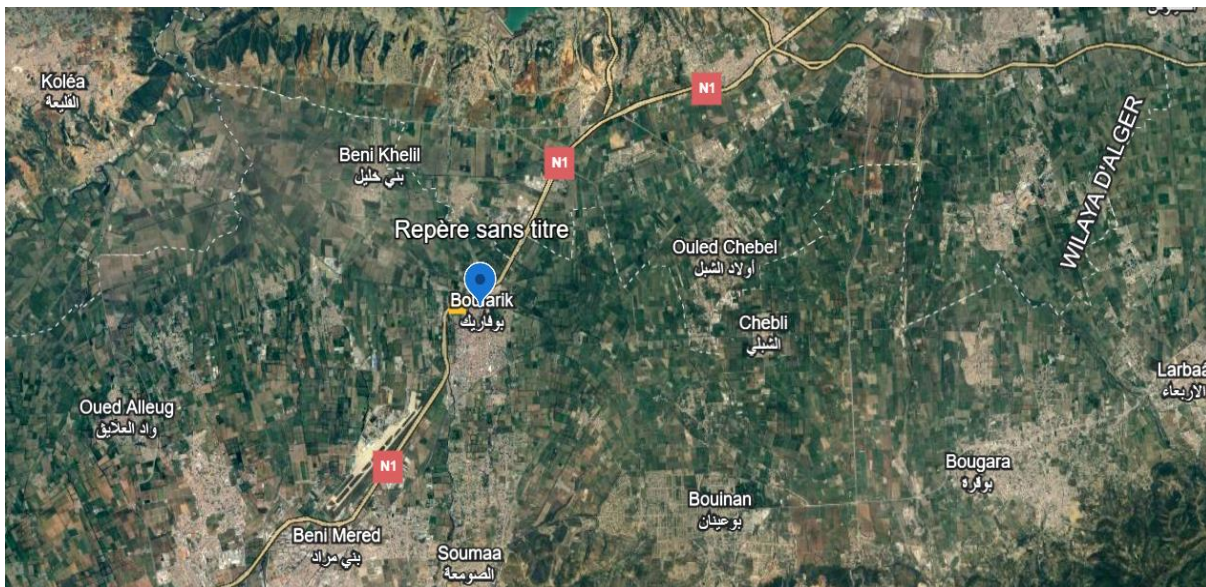


Figure III.1 : Situation géographique de la ville de BOUFARIK [15]

1.2 Etude topographique

Dans ce rapport, les données géographiques pour Boufarik indiquent que ses coordonnées sont de 36,574° de latitude, 2,912° de longitude et une altitude de 49 mètres.

La topographie dans un rayon de 3 kilomètres autour de Boufarik présente principalement de légères variations d'altitude, avec une différence maximale de 72 mètres par rapport à l'altitude moyenne de 49 mètres au-dessus du niveau de la mer. Dans un rayon de 16 kilomètres, seules de légères variations d'altitude sont observées, avec une différence maximale de 1 526 mètres. Dans un rayon de 80 kilomètres, on observe également des variations extrêmes d'altitude, avec une différence maximale de 1 651 mètres. En ce qui concerne la répartition des terres dans la région, dans un rayon de 3 kilomètres autour de Boufarik, environ 56 % de la superficie est occupée par des terres cultivées et 22 % par des surfaces artificielles. Dans un rayon de 16 kilomètres, les terres cultivées représentent environ 58 % de la superficie, tandis que les surfaces artificielles couvrent environ 16 %. Dans un rayon de 80 kilomètres, on trouve principalement de l'eau, qui occupe environ 39 % de la superficie, suivie des terres cultivées, qui représentent environ 33 %.

1.3 Etude climatologique

1.3.1 Température moyenne annuelle

Période très chaude à Boufarik s'étale sur 2,9 mois, allant du 20 juin au 18 septembre, avec une température quotidienne moyenne dépassant les 30 °C. Le pic de chaleur se situe en août, où la température moyenne maximale atteint 33 °C et la minimale reste à 20 °C. D'autre part, la période fraîche couvre 4,0 mois, du 22 novembre au 21 mars, avec une température quotidienne moyenne maximale inférieure à 20 °C. Le mois le plus froid est janvier, où la température moyenne minimale atteint 5 °C et la maximale monte à 17 °C. [16]

Tableau 1: Température moyenne annuelle[16]

Temp	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Haute	30°C	26°C	21°C	17°C	17°C	17°C	19°C	22°C	25°C	29°C	32°C	33°C
Moyenne	24°C	20°C	15°C	12°C	10°C	11°C	13°C	15°C	19°C	23°C	26°C	27°C
Basse	18°C	14°C	10°C	7°C	5°C	6°C	7°C	9°C	13°C	17°C	20°C	20°C

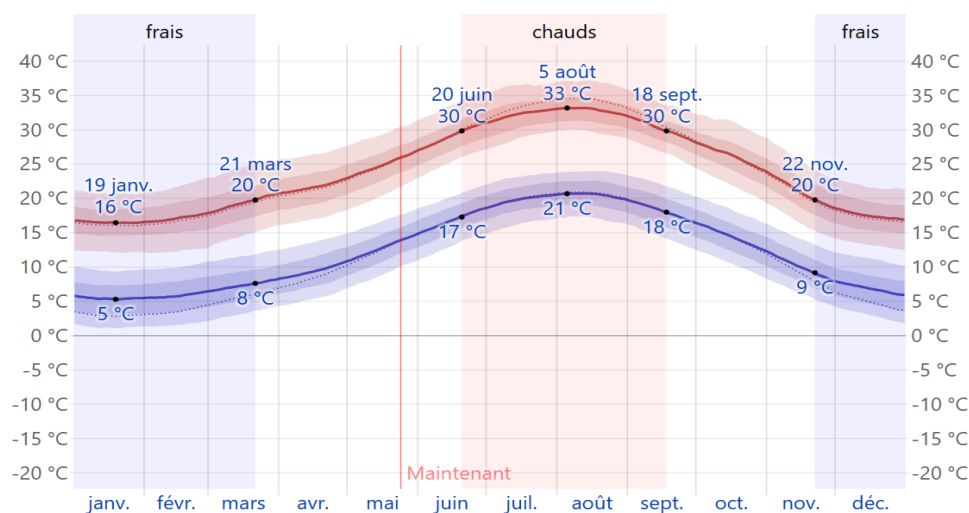


Figure III.2: Courbe de température moyenne annuelle[16]

1.3.2 Les précipitations

Les jours de précipitation sont caractérisés par une accumulation d'eau d'au moins 1 millimètre. À Boufarik, la fréquence de ces jours varie au fil des saisons. La période la plus pluvieuse

couvre 7,9 mois, allant du 21 septembre au 19 mai, avec une probabilité quotidienne de précipitation dépassant 15 %. Novembre est le mois le plus humide, avec en moyenne 7,6 jours ayant au moins 1 millimètre de précipitation. La saison la plus sèche dure 4,1 mois, du 19 mai au 21 septembre. Le mois de juillet enregistre le moins de jours de précipitation, avec en moyenne 0,7 jour dépassant 1 millimètre. On distingue les jours de précipitation en pluie seule, neige seule ou un mélange des deux. Novembre se démarque avec la plus grande moyenne de jours de pluie seule, atteignant 7,6 jours. La forme de précipitation la plus fréquente à Boufarik est la pluie seule, culminant à 28 % de probabilité le 19 novembre. [16]

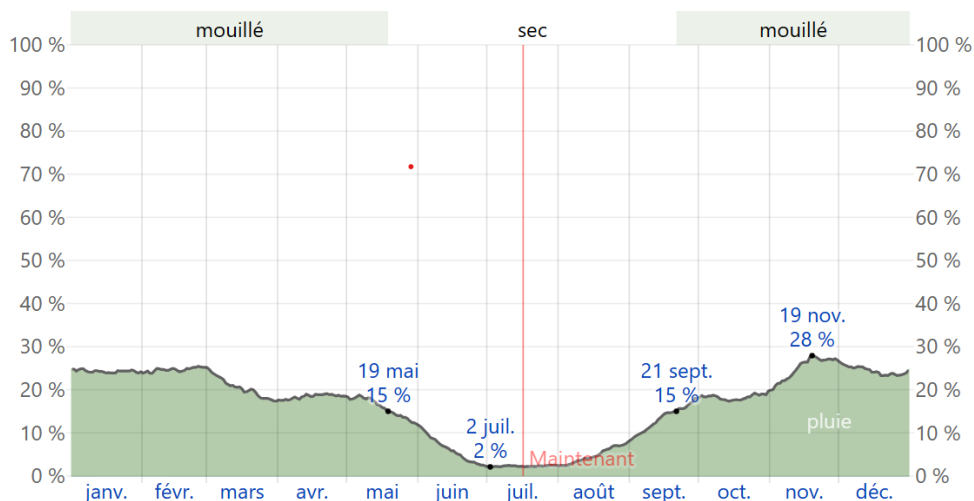


Figure III.3: Courbe de précipitation annuelle[16]

1.3.3 Humidité

Nous utilisons le point de rosée pour évaluer le niveau de confort lié à l'humidité, car il détermine si la sueur s'évaporera de la peau, créant ainsi une sensation de rafraîchissement corporel. Des points de rosée plus bas indiquent une ambiance plus sèche, tandis que des points de rosée plus élevés signalent une humidité plus importante.

Contrairement à la température, qui peut varier considérablement entre le jour et la nuit, les points de rosée changent plus lentement. Ainsi, malgré une chute de température la nuit, une journée humide est généralement suivie d'une nuit humide

Les variations saisonnières de l'humidité perçue à Boufarik sont très prononcées. [16]

La période la plus humide de l'année s'étend sur 3,8 mois, du 13 juin au 7 octobre, avec une sensation d'oppression ou de lourdeur pendant au moins 14 % du temps. Le mois le plus chargé en journées humides à Boufarik est août, avec 16,6 jours où l'atmosphère est particulièrement accablante. En revanche, janvier est le mois le moins chargé en jours humides à Boufarik, avec aucune journée présentant une sensation d'oppression ou de lourdeur. [16]

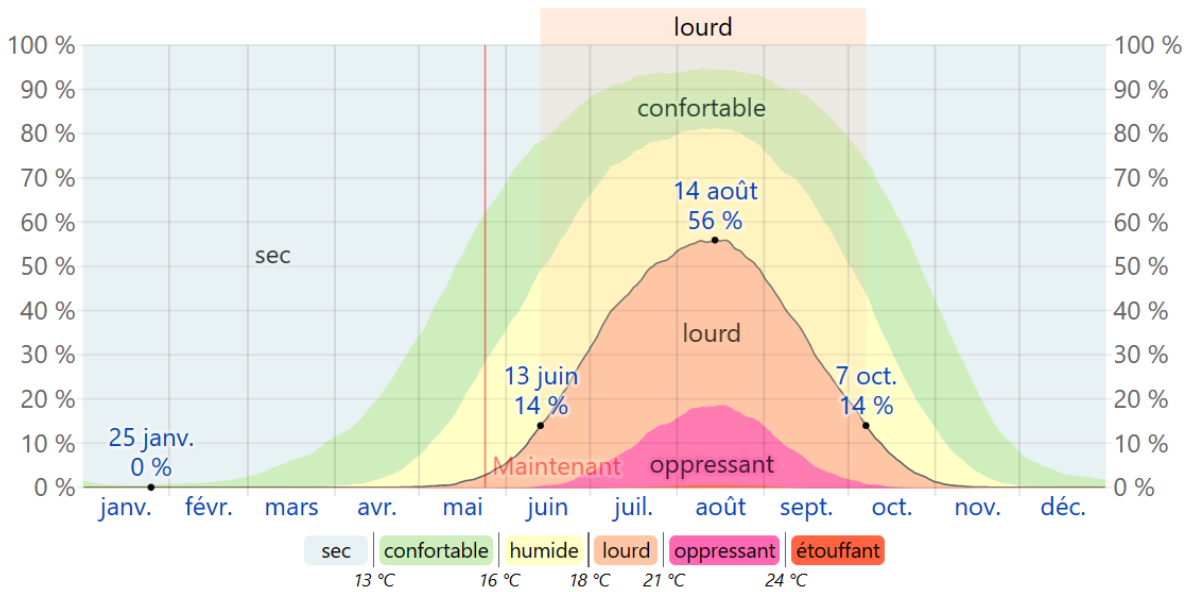


Figure III.4: courbe annuelle de catégories d'humidité[16]

1.3.4 Le vent

Le vent observé dans une zone spécifique est influencé par des facteurs locaux tels que la topographie, ce qui fait que la vitesse et la direction du vent varient davantage que les moyennes horaires.

La vitesse moyenne du vent à Boufarik présente des changements saisonniers modérés au fil de l'année. La période la plus venteuse couvre 5,9 mois, du 29 octobre au 24 avril, avec des vitesses moyennes du vent excédant 13,3 kilomètres par heure. Décembre se distingue comme le mois le plus venteux à Boufarik, enregistrant une vitesse moyenne du vent horaire de 15,0 kilomètres par heure.

Le mois le plus paisible à Boufarik est août, avec une vitesse moyenne du vent horaire de 11,6 kilomètres par heure. [16]

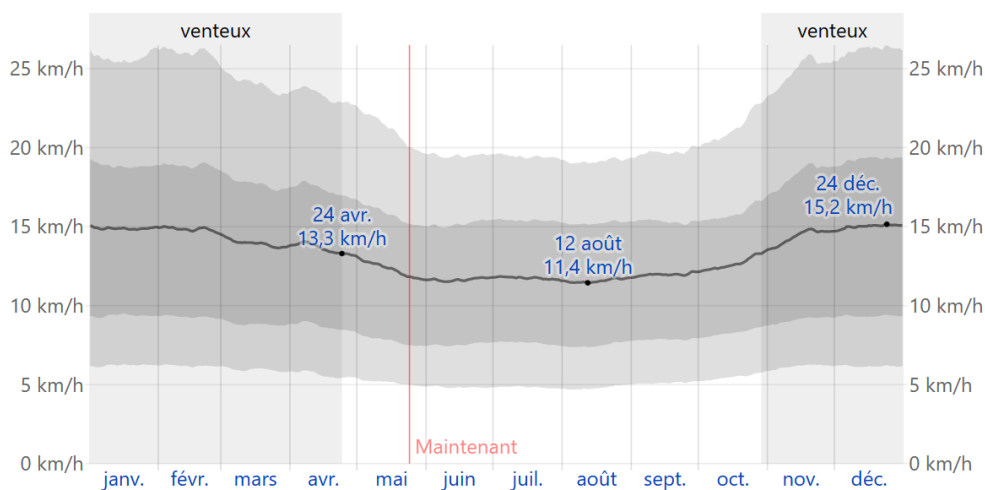


Figure III.5: La moyenne des vitesses des vents moyens horaires[16]

Tableau 2: vitesse annuelle du vent[16]

	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	fév.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
--	------	-----	-----	-----	-----	------	------	-----	-----	------	------	------

Vitesse du vent	12	12.7	14.4	15	14.9	14.8	13.9	13.6	12.2	11.7	11.7	11.6
-----------------	----	------	------	----	------	------	------	------	------	------	------	------

1.4 Ressources hydriques

En ce qui concerne les ressources en eau de Boufarik, la ville est alimentée en eau potable par le barrage de Boughezoul, situé à environ 60 km au sud-est de la ville. Ce barrage a une capacité de stockage de 272 millions de mètres cubes et fournit de l'eau à plusieurs villes et régions de la wilaya de Blida. La région de Boufarik dispose également de ressources en eau souterraine. Cependant, la surexploitation de ces ressources a entraîné une baisse du niveau de la nappe phréatique, ce qui pose des défis pour la gestion de l'eau dans la région.

Les ressources hydriques de Boufarik sont menacées par la pollution, la surexploitation et le changement climatique. La gestion durable de ces ressources est donc essentielle pour garantir leur disponibilité à long terme. Enfin, il convient de noter que la région de Boufarik est sujette à des périodes de sécheresse, ce qui peut affecter les ressources en eau de la région. Pour faire face à cette situation, des mesures ont été prises pour améliorer la gestion de l'eau, notamment en encourageant l'utilisation de techniques d'irrigation plus efficaces et en sensibilisant les agriculteurs à l'importance de la préservation de l'eau. L'industrie est alimentée par un réseau d'ape (barrage Boughezoul) et 2 forages.

2. Présentation de l'industrie de boissons gazeuses

L'industrie alimentaire comprend un secteur important appelé L'industrie des boissons gazeuses est un secteur de l'industrie alimentaire qui produit des boissons contenant des gaz, généralement du dioxyde de carbone, qui crée une effervescence. Les boissons gazeuses sont populaires dans le monde entier et se présentent sous différentes formes, notamment les sodas, les boissons énergisantes, les boissons pour sportifs, les boissons gazeuses à base de fruits et les eaux gazeuses. Les boissons gazeuses sont généralement produites dans des usines de production à grande échelle, qui sont souvent situées à proximité des marchés de consommation pour réduire les coûts de transport. [17]

Les boissons sont conditionnées dans des bouteilles en plastique, des canettes en aluminium ou des bouteilles en verre, et sont distribuées dans des supermarchés, des magasins d'alimentation, des restaurants et des distributeurs automatiques. a été critiquée pour ses effets sur la santé, en particulier pour ses niveaux élevés de sucre, de caféine et d'additifs artificiels. En réponse à ces critiques, certaines entreprises ont commencé à produire des boissons gazeuses à faible teneur en sucre et en calories, ainsi que des boissons naturelles et biologiques. L'industrie des boissons gazeuses est confrontée à plusieurs défis, notamment la concurrence croissante des boissons alternatives telles que l'eau plate, l'eau aromatisée et les jus de fruits, ainsi que les préoccupations croissantes concernant la santé et l'impact environnemental des boissons sucrées. De plus, les taxes sur les boissons sucrées et les restrictions sur les tailles de portions peuvent également affecter l'industrie. [18]

Malgré ces défis, l'industrie des boissons gazeuses continue de croître grâce à l'expansion dans les marchés émergents et à la diversification de leurs offres de produits, y compris les boissons sans sucre et les boissons énergisantes à base d'ingrédients naturels. [18]

3. Présentation de l'industrie Hamoud Boualem

L'industrie Hamoud Boualem est une entreprise algérienne spécialisée dans la production de boissons. Fondée en 1936 par Hamoud Boualem, elle est aujourd'hui l'un des leaders du marché des boissons en Algérie.

L'entreprise produit une large gamme de boissons, y compris des sodas, des jus de fruits, des boissons gazeuses, des eaux minérales et des boissons énergisantes. La marque la plus connue de l'entreprise est le soda "Hamoud Boualem", qui est une boisson gazeuse à la saveur d'orange et de citron. La société possède plusieurs usines de production situées à Alger, Blida, et Bejaia, ainsi qu'un réseau de distribution à travers l'ensemble du territoire algérien. Elle emploie également plusieurs milliers de personnes, faisant d'elle l'un des plus importants employeurs privés en Algérie. En plus de sa production de boissons, l'industrie Hamoud Boualem s'engage également dans des initiatives sociales et environnementales.

Elle a mis en place des programmes de recyclage des bouteilles en plastique et participe à des projets de développement durable. En somme, l'industrie Hamoud Boualem est une entreprise importante en Algérie qui continue de se développer et d'innover dans le domaine des boissons tout en étant engagée dans des actions sociales et environnementales[3]

4. Historique de Hamoud Boualem

En 1848, Youssef Hamoud commence à travailler comme ouvrier dans une usine de boissons gazeuses en Algérie. Trois ans plus tard, il ouvre son propre petit atelier de fabrication où il commence à produire artisanalement sa propre limonade, utilisant des extraits de citron, d'orange ou de mandarine. Il se rend à Marseille pour apprendre les techniques de fabrication et de mise en bouteille, qui étaient alors inconnues en Afrique. Il obtient la nationalité française en 1860. À son retour à Alger en 1878, Hamoud fait construire la première usine de production d'eau gazeuse, et en 1863, il s'associe à Revest pour la production de liqueurs, ajoutant une distillerie à son premier établissement. Il ouvre plusieurs usines auxiliaires en Algérie, au Maroc à Tanger, en Tunisie à Tunis, et en Égypte à Alexandrie. Le 19 juin 1884, la société J.

Hamoud devient la Société Hamoud fils, Revest & Cie, spécialisée dans la production de liqueurs, vins, spiritueux, limonade et eaux gazeuses. Hamoud reçoit plusieurs récompenses lors des expositions auxquelles il participe, notamment une médaille d'or à Londres en 1862, deux médailles d'or et deux médailles d'argent à Alger en 1876 et 1881, ainsi que des distinctions à la grande exposition de Paris en 1878 et de Caen. Le 9 août 1889, le nom Hamoud est déposé en tant que marque pour la limonade. Dans les années 1920, Boualem Hamoud et Hadj Moussa ben Mustapha, petits-fils de Youssef, ont donné le nom de Hamoud Boualem et Cie à leur entreprise, qu'ils ont ensuite enregistrée. En 1927, la société est devenue une société à responsabilité limitée, avec son siège social situé à Alger. Boualem Hamoud a joué un rôle important dans la construction de la Grande Mosquée de Paris, ainsi que dans le financement d'une mosquée à Belcourt (Alger) et d'un cimetière au Ruisseau, Belcourt.

Pendant la Seconde Guerre mondiale, l'arrivée des forces Alliées en Algérie a entraîné une concurrence accrue pour la marque Hamoud Boualem, qui a dû partager le marché avec des marques américaines telles que Coca-Cola. Les boissons gazeuses les plus emblématiques de la marque Hamoud Boualem sont Hamoud la Gazouz Blanche (limonade), qui a été présentée lors de l'Exposition universelle de 1889 et était anciennement connue sous le nom de La Royale,

le Selecto (soda à l'essence de pomme), anciennement appelé Victoria, et Slim. Grâce à ses acquisitions, Hamoud Boualem est devenu rapidement un acteur majeur sur le marché des eaux embouteillées, notamment avec Dhaya, une eau de source originaire de Sidi bel Abbès, et Alma, une eau minérale dont la source se trouve à Akbou.

Les jus de fruits, principalement produits par deux sociétés partenaires situées à Sétif et à Alger Eucalyptus, sont également commercialisés sous la marque Hamoud Boualem[3]

5. Procédés de fabrication

Le procédé de fabrication de boisson gazeuse implique généralement la carbonatation d'une solution sucrée, suivie de l'ajout de saveurs et d'arômes. [18]

Voici les étapes de base :

- ❖ Traiter l'eau issues de forages par plusieurs traitements par exemple :
 - Désinfection par le chlore
 - Filtration a sable pour éliminer les sables et les petits grumeaux
 - Filtration a cartouche et le filtre a charbon
 - Osmose inverse
 - Ultra-violet
- ❖ Mélange des ingrédients : Les ingrédients de base, tels que l'eau, le sucre et les additifs, sont mélangés ensemble pour former une solution de base.

Carbonatation : L'étape de carbonatation consiste à dissoudre du dioxyde de carbone (CO₂) dans l'eau pour créer la fizz caractéristique des boissons gazeuses. Cela peut être fait en utilisant des gaz sous pression et en les mélangeant avec le liquide ou en utilisant des systèmes de carbonatation spécifiques.

- ❖ Ajout de saveurs et d'arômes : Des saveurs et des arômes sont ajoutés à la boisson gazeuse pour lui donner son goût caractéristique. En ajoutant les additifs par exemple : potassium – acide citrique – acide ascorbique
- ❖ Filtration : la solution est filtrée pour éliminer tout résidu ou impureté.
- ❖ Embouteillage : Les boissons sont ensuite transférées dans des bouteilles en plastique ou en verre, des canettes en aluminium ou d'autres contenants appropriés. Les contenants sont scellés pour maintenir la pression et préserver la carbonatation.
- ❖ Étiquetage : l'étiquette de la bouteille est apposée avec les informations nécessaires telles que les ingrédients, les valeurs nutritionnelles, le nom de la marque, etc. Ensuite, les produits finis sont emballés dans des cartons pour le stockage et la distribution.
- ❖ Contrôle qualité : Tout au long du processus de fabrication, des échantillons sont prélevés et testés pour s'assurer que les boissons répondent aux normes de qualité, de goût et de sécurité.

6. Conclusion

En conclusion, la production de boissons gazeuses intègre la science, la technologie et l'expertise pour créer des produits populaires à l'échelle mondiale. Chaque étape, de la formulation à la carbonatation, est cruciale pour l'attrait des boissons auprès des consommateurs. Cependant, cette popularité a un impact environnemental.

La production engendre une utilisation intensive d'eau, et des émissions de gaz à effet de serre. Les fabricants doivent agir pour réduire leur empreinte écologique en adoptant des pratiques durables, des emballages respectueux de l'environnement et en économisant eau et énergie. Alors que les boissons gazeuses continuent de plaire, il est crucial de considérer leur impact sur l'écosystème. Une conscience croissante de ces enjeux pousse l'industrie vers des pratiques plus responsables pour équilibrer la satisfaction des consommateurs avec la préservation de la planète.

Chapitre 4 :

Dimensionnement de la station d'épuration

1. Introduction

Le dimensionnement d'une station d'épuration est une étape importante dans la gestion efficace des eaux usées, qu'elles proviennent d'installations industrielles, municipales ou agricoles. C'est un processus délicat qui nécessite une compréhension approfondie des caractéristiques des eaux usées, des réglementations environnementales en vigueur et des objectifs de traitement.

Dans ce chapitre, nous plongerons dans l'art du dimensionnement des stations d'épuration. Nous explorerons les principaux éléments à considérer, des débits et de la composition des eaux usées aux équipements et aux technologies de traitement.

2. Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industrielles

Du Décret exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels pour l'industrie de boisson gazeux : [19]

Tableau 3: Valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels pour l'industrie gazeux[19]

Paramètre	Unités	Valeur limite	Tolérance aux valeurs limites anciennes installations
Température	°C	30	30
PH	-	6.5-8.5	6.5-8.5
DBO5	mg/l	35	40
DCO	mg/l	120	130
MES	mg/l	35	40
Phosphore	mg/l	10	15
Azote global	mg/l	30	35

3. Caractéristique des eaux usées de l'industrie de boisson gazeux Hamoud Boualem :

3.1 Résultat physicochimique

Les analyses étaient réalisées par laboratoire de l'organisation algérienne de protection de consommateur de Rezguilab pour les l'année 2022 - 2023 au niveau de point de rejet de l'usine voici les analyse des eaux usées de l'usine Hamoud Boualem :

Tableau 4: Analyses des eaux usées en aval de l'usine

Paramètre	Résultat	Unités	Normes selon 2006
Température	23,5	°C	≤30
pH	3,98	/	6.5-8.5
DBO5	500	mg/l O2	35
DCO Total	6830	mg/l O2	120
MES	300	mg/l	40
Phosphore	15,00	mg/l	10
Azote global	50.00	mg/l	30

➤ Commentaire des analyses

On examine les paramètres tels que le pH, la DCO, la DBO5, les MES et le phosphore, qui sont essentiels pour garantir la qualité du produit final :

- PH Acide : Un pH acide peut indiquer une acidité excessive dans les eaux usées, ce qui peut être causé par la présence de composés acides ou d'une absence de tampons alcalins. Un pH acide peut endommager les infrastructures de traitement et entraver les réactions chimiques et biologiques. Il est impératif de corriger le pH pour garantir des conditions de traitement optimales.
- DCO Élevée : Une DCO élevée révèle une quantité importante de matières organiques dans les eaux usées. Cette charge organique peut compliquer le traitement biologique, nécessitant potentiellement des ajustements dans les processus biologiques ou l'introduction de traitements chimiques pour réduire la DCO à des niveaux acceptables.
- DBO5 Élevée : Une DBO5 élevée indique une grande quantité de matières organiques biodégradables dans les eaux usées. Bien que cela puisse être une source de nutriments pour les micro-organismes, une DBO5 excessive peut entraîner une demande en oxygène élevée dans les cours d'eau récepteurs. Un traitement biologique plus intensif peut être nécessaire pour réduire la DBO5 avant le rejet.
- Concentration élevée de MES : Une concentration élevée de matières en suspension dans les eaux usées indique la présence de particules solides en suspension. Ces particules ont le potentiel de provoquer des obstructions dans les équipements de traitement et de compromettre l'efficacité des procédés. Il peut être nécessaire de mettre en place des étapes de prétraitement, telles que le tamisage ou la décantation, afin d'éliminer ces solides
- Phosphore En Excès : Un excès de phosphore peut contribuer à la pollution des eaux et à la prolifération d'algues nuisibles. Une stratégie de déphosphatation devrait être envisagée pour réduire les niveaux de phosphore à des seuils acceptables.

4. La biodégradabilité

La biodégradabilité fait référence à la capacité d'une substance à être décomposée ou à être transformée par les microorganismes impliqués dans les processus de purification

biologique de l'eau. Pour évaluer cette caractéristique, on utilise un coefficient K qui mesure le niveau de biodégradabilité d'une substance

$$K = \frac{DCO}{DBO5} = \frac{6830}{500} = 13.66; K > 3$$

Tel que :

K: indice de biodégradabilité

[DBO5]0 : la concentration totale de DBO5 à l'entrée de la STEP en g/m³

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

Eau difficilement biodégradable signifie que cette eau est très chargée en matières chimiques et organique. Le traitement biologique n'est pas suffisant donc il est nécessaire de faire un traitement tertiaire

5. Schéma du traitement des ERU de l'industrie de Hamoud Boualem

En se basant sur ces données, nous allons dimensionner une STEP des eaux usées industrielles de charge nominale de 520 m³/J en vue de réutiliser l'eau traitée comme eau de lavage des sols et camions, arrosage des espaces verts, refroidissement et en lutte contre les incendies.

La STEP comprendra les ouvrages de traitement suivant :

- Un poste de relevage des eaux brutes
- Un bassin d'homogénéisation
- Un prétraitement (dégrillage – tamisage)
- Traitement primaire (Coagulation-Floculation-Décantation primaire)
- Un traitement biologique (boue activée)
- Traitement tertiaire (désinfection)
- Traitement de boues (Epaississement, digesteur ; filtre à bonde)

6. Les paramètres de dimensionnement

Le débit Q_{rej} : 520 m³/j = 0.0062 m³/s

Charge polluante C (kg/j) = Concentration (mg/l) x Q_{rej} (l/j)

- Calcul de la charge polluante de la DCO :

$$C_{DCO} = (6830 \times 520) / 1000$$

$$C_{DCO} = 3551.6 \text{ kg/j}$$

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

$$C_{NT} = (50 \times 520) / 1000$$

$$C_{NT} = 26 \text{ kg/j}$$

- Calcul de la charge polluante de la DBO₅ :

$$C_{DBO_5} = (500 \times 520) / 1000$$

$$C_{DBO_5} = 260 \text{ kg/j}$$

- Calcul de la charge polluante du phosphore total :

$$C_p = (15 \times 520) / 1000$$

$$C_p = 7.8 \text{ kg/j}$$

- Calcul de la charge polluante de MES :

$$C_{MES} = (300 \times 520) / 1000$$

$$C_{MES} = 156 \text{ kg/j}$$

- **Les paramètres de dimensionnement sont :**

Tableau 5: Charges journalière des effluents

Débit en (m ³ /j)	520
DCO en (kg/j)	3551.6
DBO ₅ en (kg/j)	260
MES en (kg/j)	156
NT en (kg/j)	26
P en (kg/j)	7.8

7. Dimensionnement des ouvrages de la station

7.1. Dimensionnement Bassin d'homogénéisation

L'ensemble des effluents est combiné dans un bassin d'égalisation qui retient l'intégralité des eaux usées générées en une journée. Cette approche garantit une uniformité totale du mélange des effluents et maintient un débit constant, indépendant des variations du flux d'entrée. [5]

Pour obtenir un mélange homogène et éviter toute sédimentation de matières décantables, il est généralement nécessaire de procéder à un brassage vigoureux du liquide, ainsi qu'à une légère aération pour prévenir la formation d'odeurs, en raison du débit élevé d'eaux usées traitées, nous avons jugé que l'écoulement naturel des eaux suffirait à obtenir un mélange adéquat des différents effluents. [5]

Pratiquement, le bassin d'égalisation permet également de réguler le pH en ajoutant de la chaux dans notre cas et des besoins du processus de coagulation/floculation qui suit. Le débit en sortie du bassin d'égalisation restera constant et sera ajusté en fonction du débit journalier des effluents de l'industrie, qui est de $Q = 520 \text{ m}^3/\text{jour}$.

En ce qui concerne la capacité du bassin, nous l'avons dimensionné de manière à pouvoir contenir 150 % du volume total d'effluents générés en une journée, par souci de sécurité.

- **Calcul du volume :**

$$V = 150 \% \times Q$$

$$V = 1.5 \times 520 = 780 \text{ m}^3$$

$$V = 780 \text{ m}^3$$

- **Calcul de la surface :**

Pour une hauteur $H = 3\text{m}$

$$S = V/H = 780/3$$

$$S = 260 \text{ m}^2$$

- **Calcul du diamètre**

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} \quad D = 18.19 \text{ m}$$

- **Calcul du temps de séjour T_s :**

$$T_s = \frac{V}{Q} = 36 \text{ h} \quad T_s = 36\text{h}$$

Tableau 6: Dimensionnement du bassin d'homogénéisation

Paramètre	Unité	Valeur
Volume	m^3	780
Surface	m^2	260
Diamètre	M	18.19
Temps de séjours	H	36

8. Prétraitement

8.1. Dégrillage

➤ **Largeur de la grille**

Pour le calcul de dégrilleur, en utilise la méthode de KIRSCHMER. La largeur de la grille estcalculée par l'expression suivante :

$$L = \frac{S \cdot \sin \alpha}{h_{\max} \cdot (1 - \beta) \cdot C}$$

L : Largeur de la grille (m)

S : Surface de passage de l'eau

α : Angle d'inclinaison de la grille avec l'horizontal = (60° à 80°)

h_{\max} : Hauteur maximum 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.

$$\beta = \frac{d}{d+e}$$

Avec :

d : épaisseur des barreaux (cm)

e : espacement des barreaux(cm)

Tableau 7: Valeurs des épaisseurs et des espacement 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 grille

- La grille manuelle : C = (0.1 à 0.3).
- La grille mécanique : C = (0.4 à 0.5)
- **Surface de passage de l'eau :**

$$S = \frac{Q}{\beta V C}$$

Q : Débit de la station (m³/s)

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

- Pour un réseau séparatif, V = (0.1 à 1 m/s)
- Pour un réseau unitaire, V = (0.3 à 1.2 m/s)

➤ **Dimensionnement du dégrilleur :**

Dans une station d'épuration des eaux d'une industrie de boisson gazeux généralement

en a pas besoin d'un dégrilleur grossier alors on va dimensionner un seul dégrilleur fin.

Données de base pour le dimensionnement de dégrilleur fin :

Tableau 8: Données de base pour le dimensionnement de dégrilleur fin

Paramètres	Q (m ³ /s)	V (m/s)	α	h_{max} (m)	d (cm)	e (cm)	C
Valeur	0.02315	1	60	1	1	1	0.45

$$\beta = 0.5$$

$$\text{Alors : } S = 0.03 \text{ m}^2 \quad ; \quad L = 0.1287$$

- **Calcul de nombre de barreaux :**

$$\text{On a : } L = N_e * e + N_b * b$$

Avec :

N_e : Nombre d'espacement

N_b : Nombre des barreaux.

b : Diamètre des barreaux

e : Espacement entre les barreaux

$$\text{Et : } N_e = N_b + 1$$

Alors :

$$N_b = \frac{L - e}{e + b} \quad ; \quad N_b = 5.93 = 6 \text{ barreaux}$$

- **Calcul des pertes de charges :**

D'après KIRSCHMER les pertes de charges sont calculés par l'équation :

$$\Delta H = \beta \cdot \sin \alpha$$

Avec :

ΔH : la perte de charge (m)

g : Accélération de pesanteur (9.81 m/s²)

β : le coefficient de forme des barreaux

α : Angle d'inclinaison de la grille avec l'horizontal ($\alpha = 60^\circ$)

d/e : Épaisseur des barreaux/espacement entre les barreaux

V : vitesse de l'écoulement dans la grille (1 m/s)

On prend la valeur de β selon le tableau suivant :

Tableau 9: Valeurs du coefficient de forme des barreaux :

Type de barreau	β
Section rectangulaire	2.42
Section rectangulaire en semi-circulaire à l'amont	1.83
Section rectangulaire avec arrondi 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

On prend la valeur des barreaux de section circulaire : $\beta = 1.79$

Donc : $\Delta H = 7.9$ cm

➤ **Résultats de dimensionnement de dégrilleur**

Tableau 10: Résultats de dimensionnement de dégrilleur

Paramètre	Unité	Grilles fins
Débit de rejet (Q)	m ³ /s	0.02315
La hauteur de l'eau	m	1
Epaisseur des barreaux (d)	cm	1
Espacement des barreaux (e)	cm	1
Largeur de la grille (L)	m	0.4
Surface (S)	m	0.103
Nombre des barreaux (Nb)	/	20
Pertes de charges (ΔH)	mm	79

Tant que les dimensions de dégrilleur sont trop petit alors on propose d'utiliser un dégrilleur commercial de 1 m²

8.2. Tamisage fin

Le tamisage fin est un processus de filtration qui consiste à passer un mélange à travers un tamis ou une grille avec de très petites ouvertures pour séparer les particules fines ou solides du liquide. Ce processus est utilisé pour éliminer les impuretés, les particules indésirables ou les matières en suspension de petite taille dans un liquide a un intervalle de tailles spécifiques (par exemple, 0-10 μm , 10-20 μm , etc.). [6]

9. Traitement physico-chimique

Le processus de traitement primaire implique l'utilisation d'un décanteur primaire, basé sur le principe de la coagulation-floculation, afin d'optimiser le traitement des matières en suspension (MES), de la demande chimique en oxygène (DCO), de la demande biochimique en oxygène (DBO5) et de réaliser également un traitement du phosphore, appelé déphosphatation. Ce dernier consiste à précipiter les ions orthophosphate (PO_3^{-4}). [8]

Après l'ajout des réactifs nécessaires, le phosphore se retrouve principalement associé aux matières en suspension (MES). Par conséquent, une étape de séparation liquide/solide est indispensable. Dans notre cas, cette séparation sera effectuée au moyen d'un processus de décantation. [8]

9.1. Traitement chimique

9.1.1. Coagulation

La coagulation est un processus chimique visant à améliorer l'efficacité de la décantation physique. Cette étape est réalisée en utilisant divers composés tels que des hydroxydes métalliques, des polymères synthétiques, etc., qui favorisent l'agrégation et la séparation des particules colloïdales présentes dans l'eau.

Le fonctionnement de ce processus nécessite une première phase d'agitation rapide à une vitesse de 100 tr/min, suivie d'une phase d'agitation lente à 40 tr/min. Pour faciliter ces étapes, le bassin est équipé d'un agitateur et d'un régulateur de pH.

- **Le volume de bassin de coagulation :**

$$V_c = Q_r * t_c$$

Tel que :

V_c : le volume de bassin de coagulation

Q_r : le débit de rejet, t_c : le temps de contact par application numérique :

On prend le temps de contact.

$$t_c = 3 \text{ min} \quad V_c = 0,0062 * 3 * 60 = 1.08 \text{ m}^3$$

$$V_c = 1.08 \text{ m}^3$$

- **La surface du bassin :**

On fixe la hauteur de bassin (H) à 2m

$$S_h = \frac{V}{H} = 0.54 \text{ m}^2 \quad S_h = 0.54 \text{ m}^2$$

- **Le diamètre de bassin est de:**

$$D_c = \sqrt{\frac{4S_h}{\pi}} = 0.83 \text{ m} \quad D = 0.83 \text{ m} = 1 \text{ m}$$

➤ Résultats de dimensionnement de réacteur de coagulation :

Tableau 11: Résultats de dimensionnement de réacteur de coagulation

Paramètres	Unités	Valeurs
Débit	m ³ /s	0.0062
T _p	min	3
V _c	m ³	1.08
S _c	m ²	0.54
D _c	m	0.83

9.1.2. Flocculation

La flocculation vise à encourager l'agglomération des colloïdes en une structure de type floc.

Ce processus implique une agitation qui varie généralement entre 10 et 50 tr/min.

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

Dans notre cas, nous choisissons un temps de passage de $T_p = 20$ minutes.

- **Le volume de bassin de flocculation :**

$$V_f = Q * t_c = 0,0062 * 20 * 60 = 7.22 \text{ m}^3$$

$$V_f = 7.22 \text{ m}^3$$

- **La surface du bassin :**

On fixe la hauteur de bassin (H) à 2 m

$$S_h = \frac{V}{H} = 3.612 \text{ m}^2$$

$$S_h = 3.612 \text{ m}^2$$

- **Le diamètre du bassin :**

$$D_f = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = 2.15 \text{ m}$$

$$D_f = 2.15 \text{ m}$$

- **Résultats de dimensionnement de réacteur de flocculation :**

Tableau 12: Résultats de dimensionnement de réacteur de flocculation

Paramètres	Unités	Valeurs
Débit	m ³ /s	0.0062
Temps de passage (T _p)	min	15
Le volume de réacteur de flocculation (V _{r,f})	m ³	7.22

Surface de réacteur de floculation ($S_{r,f}$)	m ²	3.612
Diamètre de réacteur de floculation	m	2.15

9.2. Traitement physique

9.2.1 Décanteur primaire

Les principaux paramètres de calcul du décanteur sont :

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

- **Calcul du volume du décanteur :**

$$V = Q_{rej} \times T_s$$

$$V = 43.34 \text{ m}^3$$

Q_r : le débit de rejet,

t_c : le temps de séjours On prend $t_c = 2h$

- **La surface horizontale du décanteur**

$$Sh = \frac{Q}{v} = 21.67 \quad Sh = 21.672 \text{ m}^2$$

- **La hauteur de décanteur :**

$$H = V_d / Sh \quad H = 2m$$

Il faut ajouter une hauteur de revanche (pour éviter le débordement) C'est-à-dire la hauteur totale sera : $H_t = 2.75 \text{ m}$

- **Diamètre de décanteur :**

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = 5.25 \text{ m} \quad D = 5.25 \text{ m}$$

Résultats de dimensionnement de décanteur primaire :

Tableau 13: Résultats de dimensionnement de décanteur primaire

Paramètre	Unités	Valeur
Débit (Q)	m ³ /s	0.0062
Vitesse de chute (Vs)	m/h	1
Temps de séjour(Ts)	h	2

Volume (Vd)	m ³	43.34
Surface horizontale (S_h)	m ²	21.672
Hauteur totale (H_t)	m	2.75
Diamètre (D)	m	5.25

➤ **Charges polluantes après la décantation :**

Le processus coagulation-floculation permet d'éliminer 75 % de la DBO5 et DCO, 90% deMES :

Tableau 14:Résultats de traitement par coagulation-floculation

Effluent	Unité	Charge à l'entrée	Charge éliminée	Charge à la sortie
DBO₅	Mg/l	500	375	125
DCO	Mg/l	6830	5122.5	1707.5
MES	Mg/l	300	270	30

On calcule la biodégradabilité à la sortie du décanteur (après le traitement primaire) :

$$K' = \frac{DCO}{DBO} = \frac{1707.5}{125} = 13.66$$

Cette eau est encore difficilement biodégradable donc il faut passer par un traitement tertiaire où oxydation pour réduire la teneur en DCO utilise une pré-ozonation pour obtenir un rapport qui signifie que l'eau est facilement biodégradable

9.2.2. Traitement secondaire

9.2.2.1 Pré-ozonation

Afin d'améliorer la biodégradabilité de l'eau, nous mettons en œuvre un processus de peroxydation à l'ozone. Pour cela, nous utilisons un système d'oxydation chimique basé sur l'ozonation. L'objectif est de soumettre la demande chimique en oxygène (DCO) dure à une oxydation afin de la transformer en matière organique plus facilement biodégradable.

$$O_3/DCO = 1 \text{ mg/mg}$$

Avec un temps de séjours de : $T_s = 1 \text{ min/mg de DCO}$

- **Calcul de la DCO :**

Pour avoir une bonne biodégradabilité il faut que le rapport : $\frac{DCO'}{DBO5'} = 1.5$

Ça implique que :

$$[DCO]_2 = 1.5 * [DBO5]_2$$

D'autre part :

$$[\text{DBO5}]_2 = [\text{DCO}]_{e.2} + [\text{DBO5}]_1 = [\text{DCO}]_1 - [\text{DCO}]_2 + [\text{DBO5}]_1$$

Avec :

$[\text{DCO}]_{e.2}$: C'est la DCO éliminée par pré-ozonation, transformée en DBO

En remplaçant :

$$[\text{DBO5}]_2 = [\text{DCO}]_1 - 1.5[\text{DBO5}]_2 + [\text{DBO5}]_1$$

$$2.5[\text{DBO5}]_2 = [\text{DCO}]_1 + [\text{DBO5}]_1$$

On aura : $[\text{DBO5}]_2 = 733 \text{ mg/l}$

Avec : $[\text{DBO5}]_2 = [\text{DBO5}]_1 + [\text{DCO}]_{e.2}$

Donc :

$$[\text{DCO}]_{e.2} = [\text{DBO5}]_2 - [\text{DBO5}]_1 \quad [\text{DCO}]_{e.2} = 733 - 125$$

$$[\text{DCO}]_{e.2} = 608 \text{ mg/l}$$

$$[\text{DCO}]_2 = [\text{DCO}]_1 - [\text{DCO}]_{e.2}$$

$$[\text{DCO}]_2 = 1707.5 - 608$$

$$[\text{DCO}]_2 = 1099.5 \text{ mg/l}$$

Les charges à la sortie du bassin de pré-ozonation :

$$(\text{DCO})_2 = 1099.5 \text{ mg/l}$$

$$(\text{DBO5})_2 = 733 \text{ mg/l}$$

Le rapport devient :

Ce qui représente une bonne dégradation nous permettant de traiter biologiquement

➤ Dimensionnement du bassin pré-ozonation :

Un temps de séjours de : $T_s = 1 \text{ min/mg de DCO}$

- La quantité d'O₃ journalier : On a besoin d'un mg de O₃ pour éliminer un mg de la DCO : C'est-à-dire :

$$\text{DO3.j} = [\text{DCO}]_{e.2} * (\text{DO3/DCO}) * Q \quad \text{DO3.j}$$

$$\text{DO3.j} = 1099.5 \text{ mg/l} = 571.74 \text{ Kg/j}$$

• Le volume de bassin :

$$\text{VB.O3} = Q * T_s$$

$$T_s = (\text{DCO})_{e.2} * 1$$

$$T_s = ([\text{DCO}]_{e.2} * Q * 10^{-3}) / (24 * 60) * 1$$

$$T_s = 0.39 \text{ min}$$

$$\text{VB.O3} = 520 / (24 * 60) * 0.39$$

$$\text{VB.O3} = 0.93 = 1 \text{ m}^3$$

Résultats après le processus de la pré-ozonation :**Tableau 15:** Résultats après le processus de la pré-ozonation

		Unité	Valeur
La quantité d'O₃ journalier (D_{O3,j})		kg/j	571.74
Le volume du bassin (V_{B.O3})		m ³	0.93
Les charges à la sortie	(DCO) ₂	Mg/l	1099.5
	(DBO ₅) ₂	Mg/l	733
Indice de la biodégradabilité (I')		-	1.5

9.2.2.2.Élimination de phosphore

Le principe fondamental de ce traitement implique la précipitation du phosphore soluble en ajoutant un sel métallique, tel que le sel de fer, d'aluminium ou de calcium. Cette réaction conduit à la formation de précipités de phosphates métalliques qui deviennent insolubles et peuvent être séparés de l'eau par décantation. L'addition des réactifs se fait au niveau du décanteur primaire, ce qui est généralement appelé pré-précipitation.

La quantité de phosphore à éliminer par précipitation est donnée par la formule suivante :

$$P_{\text{à-précipiter}} = P_{\text{entrée-soluble}} - P_{\text{assimiler}} - P_{\text{sortie-soluble}}$$

$P_{\text{entrée-soluble}}$: représente la part de phosphore précipitable par les réactifs (entre 60% et 85%)

- On Prend la valeur de 85%

$$P_{\text{entrée-soluble}} = 0.85 * P_T = 12.75 \text{ mg/l}$$

$P_{\text{assimiler}}$: correspond à la quantité de phosphore assimilée par les bactéries pour leur activité métabolique. est de 2 % par gramme de biomasse (MVS) .

$$P_{\text{assimiler}} = 0.02 * MVS = 0.02 * 0.7 * MES = 4.2 \text{ mg/l}$$

$P_{\text{sortie-soluble}}$: C'est la quantité de phosphore dans le courant d'eau de sortie est choisi à 0,5 mgP/L .

$$P_{\text{sortie-soluble}} = 0.5 * Q_{\text{rej}} / 1000 = 0.5 \text{ mg/l}$$

Donc :

$$P_{\text{à-précipiter}} = 8.05 \text{ mg/l}$$

Alors : La quantité de phosphore restante .

$$P_{\text{res}} = P_T - P_{\text{à-précipiter}}$$

$$P_{\text{res}} = 15 - 8.05 = 6.95 \text{ mg/l}$$

9.2.2.3. Traitement biologique

Traitement biologique, est étroitement lié à la biodégradabilité des eaux résiduaires industrielles (ERI) à traiter, ainsi qu'aux objectifs spécifiques en termes de charges de demande biochimique en oxygène (DBO5) et de demande chimique en oxygène (DCO). Plusieurs méthodes de traitement biologique sont disponibles, mais dans notre cas, nous avons choisi d'opter pour le traitement par boue activée à cultures libres.

Le processus de traitement par boues activées comprend les étapes de base suivantes :

Un réacteur où les micro-organismes responsables de l'épuration sont maintenus en suspension et aérés. Une séparation entre les solides et le liquide effectuée à l'aide d'un décanteur secondaire (ou clarificateur) ou d'une membrane. Un système de recirculation des boues vers le réacteur.

➤ Dimensionnement des ouvrages du traitement biologique :

Nous souhaitons rabattre les charges de 80% afin de répondre aux normes de rejet comme cité auparavant. Pour cela nous procédons à un traitement à moyenne charge avec les caractéristiques suivantes :

- Temps de séjour : $T = 4$ à 6 heures
- Rendement : $\eta = 85\%$
- $C_v = 1.3$ kg DBO5 / m³.j
- $C_m = 0.3$ kg DBO5 / kg MES.j

Dimensionnement du bassin de boue activée :

Le bassin de boue activée permet l'activation des boues via l'injection d'air qui permet le contrôle des microorganismes et se dimensionne comme suit :

- **Volume De Bassin :**

$$V = Q_{rej} \times T_s$$

V : volume du bassin de boue activée

Q_{rej} : Débit des eaux à traiter

T_s : temps de séjour (On prend $T_s = 5$ heures)

On obtient :

$$V = 0.0062 \times 5 \times 3600 = 108.36 \text{ m}^3 \quad \boxed{V=108.36 \text{ m}^3}$$

- **Surface de bassin :**

Pour une hauteur $H = 5$ m

On obtient:

$$S = \frac{V}{H} = \frac{108.36}{5} = 21.67 \text{ m}^2 \quad \boxed{S=21.67 \text{ m}^2}$$

Une forme rectangulaire nous donne les dimensions suivantes :

On pose $l = 3$ m ; alors $L = 7.22$ m

9.2.2.4. Calcul de besoin en O₂

Lorsque la matière organique biodégradable est consommée par une masse de micro-organismes en milieu aérobie, il y a :

D'une part, consommation d'oxygène par ces micro-organismes pour leurs besoins énergétiques, leur reproduction par division cellulaire (synthèse de la matière vivante) et leur respiration endogène d'autre part,

Production d'un excédent de matière vivante et de matière inerte appelé boues en excès, l'augmentation de l'aération n'améliore pas l'abattement de la pollution carbonée mais induit une intensification du processus de nitrification.

La consommation d'oxygène est donnée par la formule suivante :

$$\text{q O}_2 = \text{a}' \cdot \text{Le} + \text{b}' \cdot \text{Xt} + 4.3 \text{ Nn} - 2.85 \text{ Ndn} \cdot \text{c}'$$

Tel que :

qo2: Besoin en oxygène (kgO2/j)

a': Coefficient déterminant la fraction d'oxygène consommée pour fournir l'énergie de synthèse.

il dépend de la charge massique .

$$\text{a}' = 0.5(\text{Cm}) - 0.12 = 0.6$$

Le: La Charge en DBO5 à éliminer = 733-35=698 mg/l = 362.96 kg/j

b': coefficient cinétique de respiration endogène = 0.13(Cm)0.16=0.1

Xt: quantité de boue (MVS) présente dans un jour dans un le bassin d'aération

$$\text{Xt} = \frac{\text{Le}}{\text{Cm}} = 1209.8 \text{ kg}$$

Nn : Flux d'azote à nitrifier (kg/J) = 50 – 30 = 20 mg/l= 10.4 kg/j

Ndn : Flux d'azote à dénitrifier (kg/J) = Nn x 0.8 = 10.4*0.8=8.32 kg/j

c' : Fraction de l'oxygène des nitrates récupérée par dénitrification (entre 60-70%). En moyenne 70%. Coefficient cinétique de respiration par application numérique :

$$\text{qO}_2 = 0.6 \times 362.96 + 0.1 \times 1209.8 + 4.3 \times 10.4 \times 2.85 \times 8.32 \times 0.7 = 366.87 \text{ kg/j} = 705.53 \text{ mg/l}$$

➤ Résultats de traitement biologique :

Le traitement biologique permet d'éliminer 90% de la DBO5 ; 80% de l'azote

Tableau 16: Résultats de traitement biologique

Charges polluantes :	Unités	Charges à l'entrée	Charges éliminée	Charges à la sortie
DBO5	mg/l	733	659.7	73.3
NT	mg/l	50	40	10

9.2.2.5. Dimensionnement du décanteur secondaire

On opte pour un clarificateur d'une forme circulaire, les éléments de conception du décanteur secondaire sont :

- Temps de séjour (Ts) compris entre 1 à 2.5 heures, On prend Ts = 2h

- Hauteur d'eau dans l'ouvrage est entre 3 à 5 m, on prend $H = 3\text{ m}$

- **Volume du décanteur :**

$$V = Q_{\text{rej}} \times T_s$$

Q_{rej} : Débit des eaux à traiter

T_s : Temps de séjour On a : $T_s = 2$ heures

$$Q_{\text{rej}} = 0.0062 \text{ m}^3/\text{s} ;$$

$$V = 0.0062 \times 2 \times 3600 = 43.34 \text{ m}^3$$

$$V=43.34\text{m}^3$$

- **Surface de décanteur:**

$$S = \frac{V}{H} = 14.45 \text{ m}^2$$

$$S=14.45\text{m}^2$$

- **Diamètre de décanteur :**

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = 4.29 \text{ m}$$

$$D=4.29\text{m}$$

Tableau 17: Dimensionnement du décanteur secondaire

Paramètre	Unité	Valeur
Volume	m^3	43.34
Surface	m^2	14.45
Hauteur	M	3
Diamètre	M	4.29
Temps de séjours	H	2

9.2.2.6. Bilan des boues

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

Les boues en excès sont proportionnelles à la quantité de la DBO5 éliminée et dépend de la charge massique dans le bassin d'aération :

La quantité de boues en excès est déterminée par la formule d'Eckenfelder :

$$\Delta X = X_{\text{min}} + X_{\text{dur}} + a_m L_e - b X_a - X_{\text{eff}}$$

X_{min} : Boues minérales (40% de MES) en (kg/j)

X_{dur} : Boues difficilement biodégradable (60% de MVS) en (kg/j)

a_m : Coefficient de rendement cellulaire (augmentation de la biomasse par l'élimination de DBO5), $a_m = 0,6$.

L_e : Quantité de DBO5 éliminée en (kg/j)

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

$$b = \frac{b'}{1.44} = \frac{0.1}{1.44} = 0.069$$

b' : Coefficient cinétique de respiration endogène ; $b'=0.065$ (faible charge).

Donc $b=0.045$

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

X_{eff} : Fuite de MES avec l'effluent (dépend des normes de rejet, égale à 30 mg/L) alors :

$$X_{eff} = 30 * Q_j = (30 * 10^{-6} * 10^3) * Q_j$$

- **Concentration de boues en excès :**

$$X_m = \frac{1200}{L_m}$$

Avec : X_m : Concentration de boues en excès

L_m : L'indice de MOHLMAN.

Puisque on a $C_m=0.3$ par interpolation dans la courbe d'évaluation de (L_m) en fonctions de (C_m)

$C_m = f(L_m)$; on prend $L_m=200$

- **Débit de boues en excès :**

Le débit de boues en excès est donné par la formule :

$$Q_{excés} = \frac{\Delta x}{X_m} = 69 \quad ; \quad \Delta x = 414.01 \quad ; \quad X_m = 6$$

- **Débit spécifique :**

Est donné par la formule suivante :

$$q_{sp} = \frac{\Delta x}{V} = 3.83$$

- **Débit des boues recyclées :**

Le débit des boues recyclées dans le bassin est donné par la relation :

$$Q_r = R * \frac{Q_j}{100}$$

Q_j : débit journalier.

R : taux de recyclage (%) est donné par l'expression suivante :

$$R = \frac{100 * (X_a)}{\frac{1200}{L_m} - (X_a)} = 47.02$$

Age des boues :

Est donné par la formule suivante : $\theta_b = \frac{X_a}{\Delta x} = 0.76 = 18h$

9.2.3. Traitement tertiaire (Couplage Charbon Actif-Membranes)

Le processus de traitement combine l'adsorption avec du Charbon Actif en grain (CAG) suivi de l'ultrafiltration (UF), une technique de filtration membranaire. Cette méthode offre une grande efficacité dans l'élimination des micropolluants grâce à la capacité d'adsorption du CAG. Elle est adaptable en termes d'emprise au sol selon la configuration choisie (modules externes ou immergés). Pour augmenter la capacité, on peut simplement ajouter davantage de modules membranaires. De plus, ce système peut gérer des variations de débit en ajustant le nombre de modules utilisés. Enfin, la membrane assure une désinfection complète de l'effluent, garantissant ainsi la qualité sanitaire de l'eau traitée. [12]

9.2.3.1. Dimensionnement du réacteur CAG-UF

Le charbon actif granulé CAG :

- Calcul de la dose journalière du CAG :

Pour l'adsorption des micropolluants la dose du grain de charbon actif nécessaire est de 10mgCAG/L avec un temps de contact de 30 minutes.

Alors :

- **Le besoin journalier du CAG :**

$$D_j = Q * [CAG]$$

$$D_j = 520 \text{ (m}^3 \text{ /j)} * 10 * 10^{-3} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$D_j = 5.2 \text{ kg/j}$$

- **Volume de réacteur de CAG :**

On calcule le volume de réacteur par la relation suivante :

$$V_r = Q_h * T_s \quad \text{avec : } T_s = 30 \text{ min}$$

$$\text{Alors : } V_r = (520/24) * (30/60) \quad V_r = 10.83 \text{ m}^3$$

- **La surface de réacteur du CAG :** On pose H=3m

$$S_r = \quad S_r = 3.61 \text{ m}^2$$

$$D = 2.14 \text{ m}$$

9.2.3.2. Filtration

Le processus de traitement décrit consiste à pomper le mélange CAG-Eau vers un système d'ultrafiltration utilisant des membranes tubulaires pour retenir les bactéries, les virus, les matières en suspension, y compris le CAG. La filtration se fait de l'intérieur vers l'extérieur des membranes, avec la plupart de l'eau retournant au réacteur CAG pour éviter le colmatage. Des cycles de rétro-lavage réguliers et une injection d'air maintiennent la performance en éliminant les matières accumulées sur les membranes. Les rétro-lavages sont programmés toutes les 8 à 10 minutes, durent environ 10 secondes, avec un débit de 250 à 300 litres par heure par mètre carré et une pression transmembranaire de 0,5 à 1 bar. La membrane d'ultrafiltration utilisée est la UF80-S2F. [12] [21]

Tableau 18: Caractéristiques de la membrane d'ultrafiltration

Caractéristiques	Unités	Valeurs
Diamètre externe des fibres	mm	0,72
Surface membrane (S)	m ²	42
Flux maximal admissible (Jw)	l/h/m ²	25
Diamètre du module (Dm)	mm	200
Longueur du module (Lm)	mm	930
Taille des pores	µm	0,01 5
Flux à l'eau ultra pure à 20 °C (Jr)	l/h*bar	5500
Pression transmembranaire maximale en filtration (PTF)	bar	2.5
Pression transmembranaire maximale au retro lavage (PTR)	bar	2.5
Pression d'alimentation maximale	bar	3
Température maximale °C 35	°C	35
Gamme de pH - 2-11	-	2-11

Le débit brut de filtration par module (Q_{m.brute}) :

$$Q_{m.brute} = J_w * S$$

$$Q_{m.brute} = 25 * 42$$

$$Q_{m.brute} = 1050 \text{ l/h} = 25 \text{ m}^3 / \text{j}$$

Le débit net de filtration par module (Q_{m.net}) :

$$Q_{m.net} = \frac{Q_{m.brute} * T_f - J_r * PTR * T_{rl}}{T_f + T_{rl}}$$

Avec :

T_{rl} : temps nécessaire au rétro-lavage < 2 min,

on prend : T_{rl} = 1,5 min

T_f : le temps de fonctionnement est estimé de 1,5 à 3 h,

on prend : T_f = 2 h.

Donc :

$$Q_{m.net} = 889.24 \text{ l/h} = 21.34 \text{ m}^3 / \text{j}$$

Le nombre de modules membranaires nécessaire (N_m) :

$$\text{On a : } N_m = \frac{Q_e}{Q_{m.net}}$$

Donc $N_m = 24.36 = 25$ modules

- La surface membranaire totale :

On a: $S_{m.t} = S * N_m$ Alors:

$$S_{m.t} = 42 * 25 = 1050 \text{ m}^2$$

L'occupation de volume d'un module membranaire :

$$\text{On a: } V_m = \pi * L_m \quad V_m = 0.029 \text{ m}^3$$

➤ **Résultats de dimensionnement du procédé CAG/UF :**

Tableau 19: Résultats de dimensionnement du procédé CAG/UF

	Paramètres	Unités	Valeurs
CAG	Nombre du bassin	-	1
	Concentration du CAG ([CAG])	mgCAG/l	10
	La dose journalière (D_j)	Kg/j	5.2
	La hauteur du bassin (H)	m	3
	Le volume du bassin (V)	m^3	10.83
	La surface horizontale du bassin (S)	m^2	3.61
	Le temps de contact (T_c)	min	30
UF	Le débit brut de filtration par module ($Q_{m.net}$)	m^3/j	25
	Le débit net de filtration par module ($Q_{m.brute}$)	m^3/j	21.34
	Le nombre de modules membranaires nécessaire (N_m)	-	25
	La surface membranaire totale ($S_{m.t}$)	m^2	1050
	L'occupation de volume d'un module membranaire (V_m)	m^3	0.029

➤ **Résultats de traitement à charbon actif-membrane :**

Le couplage CAP-UF permet d'éliminer jusqu'à 95% de la DCO et 60% de la DBO5 :

Tableau 20: Résultats de traitement à charbon actif-membrane

	Les charges polluantes à l'entrée (mg/l)	Les charges éliminées (CAP+UF) (mg/l)	à la sortie (mg/l)
DBO5	73.3	43.98	29.32
DCO	1099.5	1044.52	54.97

9.2.4. Dimensionnement du bassin de stockage des eaux usées épurées :

Le volume du bassin :

$$V = Q_{rej} \times t_s$$

On prend un temps de séjour des eaux épurées dans le bassin de stockage $t_s = 1$ jours

$$V = 520 \text{ m}^3$$

La surface horizontale du bassin :

On prend la hauteur du bassin $H = 3 \text{ m}$ $S = 173.33 \text{ m}^2$

Le diamètre du bassin $D = 14.85 \text{ m}$

9.2.4. Traitement des boues :

On traite les boues par la diminution de leur teneur en eau et par réduction de leurs charges polluantes et fermentescibles.

Quantification des boues

9.2.4.1. Boue primaire :

La boue primaire représente les quantités des DBO5 et MES éliminées :

$$D_{Xp} = DBO5_{\text{élim}} + MES_{\text{élim}} + DCO_{\text{élim}}$$

$$D_{Xp} = 375 + 270 + 5122.5$$

$$D_{Xp} = 5947.5 \text{ mg/l} = 3092.7 \text{ kg/j}$$

Avec une concentration de 20 à 30 mg/l

$$Q_p = 3092.7 / 30 = 103.09 \text{ m}^3/\text{j}$$

9.2.4.2. Boue secondaire

La concentration des eaux de lavage évacués est de 0,6 à 1 mg MES/L. Durant une période de 20 minutes à 1 heure

Le volume d'eau utilisé par lavage est compris entre 3 et 4 fois le volume du matériau

$$D_{Xs} = DBO5_{\text{éliminée}} + NT_{\text{éliminée}} + P_{\text{éliminée}}$$

$$D_{Xs} = 659.7 + 40 + 5.25 = 704.95 \text{ mg/l} = 366.574 \text{ kg/j}$$

Avec une concentration de 10 à 30 mg/l

$$Q_s = 366.574 / 30 = 12.22 \text{ m}^3 / \text{j}$$

- Production totale des boues :

$$D_{Xt} = D_{Xp} + D_{Xs} = 3092.7 + 366.574 = 3459.274 \text{ kg/j}$$

9.2.5. Dimensionnement de l'épaisseur

- **Le volume de l'épaisseur :**

$$V = Q_p * T_s = 103.09 * 2 = 206.18 \text{ m}^3$$

$$V = 206.18 \text{ m}^3$$

T_s : temps de séjours = 2j (1 à 15 j).

Q_p : débit de boue primaire = 103.09 m³ /j

- La surface horizontale Pour une profondeur de $H = 3\text{m}$

on calcule :

$$Sh = \frac{V}{H} = \frac{206.18}{3} = 68.72 \text{ m}^2$$

$$Sh = 68.72 \text{ m}^2$$

- **Le Diamètre :**

$$D = 9.35 \text{ m}$$

- **Hauteur du cône**

$$H_c = D * 0.15 = 1.4 \text{ m}$$

$$H_c = 1.4 \text{ m}$$

- **Volume du cône**

$$V_c = Sh * H_c / 3 = 32.14 \text{ m}^3$$

$$V_c = 32.14 \text{ m}^3$$

- **Les résultats de dimensionnement de l'épaisseur**

Tableau 21: Les résultats de dimensionnement de l'épaisseur

Paramètre	Unité	Valeur
Volume de l'épaisseur (V_e)	m ³	206.18
Surface de l'épaissement	m ²	68.72
Diamètre de l'épaissement (D)	m	9.35

La hauteur du cône (Hc)	m	1.4
Volume du cône (Vc)	m	32.06

9.2.6. Digesteur aérobie

Dans le but de diminuer le volume des boues et augmenter leurs quantités, les boues épaissies arrivent au digesteur avec une concentration de 80 g/l.

- **Débit des boues arrivant au digesteur :**

$$Q_b = DXt/80 = 3459.27/80 = 43.24 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$Q_b = 43.24 \text{ m}^3/\text{j}$$

- **Temps de séjour :**

$$T_s = 175 * 10^{(-0.03 * T)}$$

Avec : $t = 35^\circ\text{C}$

On obtient : $T_s = 15.6 \text{ Jours}$

- **Volume du digesteur :**

$$V = Q_b \times T_s = 43.24 \times 15.6 = 674.55 \text{ m}^3$$

$$V = 674.55 \text{ m}^3$$

- **Surface du digesteur :**

$$S = V / H = 674.55 / 6 = 112.42 \text{ m}^2$$

$$S = 112.42 \text{ m}^2$$

- **Diamètre du digesteur :**

$$D = 11.96 \text{ m}$$

- **Les résultats de dimensionnement de digesteur aérobie :**

Tableau 22: Les résultats de dimensionnement de digesteur aérobie

Paramètre	Unité	Valeur
Le débit des boues arrivant au digesteur (Qb)	m ³ /j	43.24
Le temps de séjour	Jours	15.6
La hauteur de digesteur	m	6
Le volume de digesteur	m ³	674.55
La surface horizontale de digesteur	m ²	112.42
Le diamètre de digesteur	m	11.96

9.2.7. Le filtre à bande

C'est un dispositif spécialement conçu pour le processus de déshydratation continue des boues.

➤ **Quantité des boues extraites :**

Pour une durée de fonctionnement retenue :

$T = 8$ h/j, la quantité de boue à traiter par heure est donnée par la formule suivante :

$$\Delta X_{t,h} = DX_{totale} / T$$

$$\Delta X_{t,h} = 3459.27 / 8 = 432.4 \text{ kg/h}$$

➤ **La quantité de boues extraites :**

Pour une suscité finale $SF = 18\%$

$$QB = \Delta X_t / SF \times 1000$$

$$QB = 3459.27 / 0.18 \times 1000 = 19,22 \text{ m}^3/\text{j}$$

➤ **Largeur de la bande :**

Pour une capacité de filtration est de 150 kg MS/h/m , la largeur de la bande est donnée par la relation suivante :

$$L = \Delta X_{t,h} / 150 = 432.4 / 150 = 2.88 \text{ m}$$

➤ **Les résultats de dimensionnement de filtre a bande :**

Tableau 23: Les résultats de dimensionnement de filtre a bande

Paramètre	Unité	Valeur
Le temps de fonctionnement	h	8
La quantité de boues à traiter par heure ($\Delta X_{t,h}$)	kg/h	432.4
La suscité finale	%	18
La quantité de boue extraite	m^3/j	19,22
La capacité de filtration	kg MS/h/m	150
La largeur de la bande	m	2.88

➤ **Evaluation de la charge après les traitements :**

Après avoir appliqué cette série de traitements adaptés pour se conformer aux normes de rejet, voici un tableau présentant un récapitulatif des charges polluantes par rapport à ces normes.

Tableau 24: évaluation de la charge après les traitements précédent

Paramètre	Concentration (mg/l)	Norme (mg/l)	Norme de réutilisation
DCO	54.97	120	90
DBO5	29.32	35	30
MES	30	35	30
NT	10	30	30
P	6.95	10	-

Commentaire :

Le tableau démontre clairement que les valeurs des charges polluantes sont largement en dessous des normes de rejet, ainsi que les normes de réutilisation évitant ainsi tout impact néfaste sur l'environnement lors du rejet dans le milieu naturel.

10. Conclusion

Le chapitre sur le dimensionnement de la station d'épuration industrielle a permis de définir les paramètres essentiels pour concevoir et optimiser efficacement ce système crucial.

En prenant en compte les caractéristiques spécifiques de l'industrie concernée, nous avons pu déterminer les capacités nécessaires en termes de traitement des eaux usées, les méthodes appropriées de prétraitement, de traitement biologique, traitement tertiaire de désinfection, et autres procédés pour répondre aux normes de rejet environnementales. Il est essentiel de souligner que la conception d'une station d'épuration industrielle doit prendre en compte non seulement l'efficacité du traitement, mais aussi les considérations économiques et environnementales. Les coûts d'investissement et d'exploitation, ainsi que les impacts potentiels sur l'écosystème local, doivent être minutieusement évalués

Chapitre 05 :

Calcul hydraulique

1. Introduction

Lors de la conception et du fonctionnement d'une station d'épuration des eaux usées (STEP), deux aspects essentiels sont à considérer : les coûts d'investissement et d'exploitation, ainsi que le calcul hydraulique. Les coûts d'investissement englobent les dépenses nécessaires à la mise en place de la STEP, tandis que les coûts d'exploitation concernent les coûts récurrents liés à son fonctionnement. Le calcul hydraulique, quant à lui, permet de déterminer les débits et les flux d'eaux usées de dimensionnement de la station.

Dans cette perspective, nous explorerons l'importance de ces deux aspects pour une gestion optimale et économique des stations d'épuration des eaux usées.

2. Calcul du diamètre de la conduite de refoulement

Pour le calcul du diamètre de la conduite de refoulement vers l'ouvrage d'entrée le dégrilleur sera calculé par la formule de Bonin.

$$D_r = \sqrt{Q_{rej}} = \sqrt{0.00602} = 0.077 \text{ m}$$

Donc le diamètre normalisé est : $D=100 \text{ mm}$

La vitesse d'écoulement est

$$V = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot D^2}} = 0.87 \text{ m/s} \quad V=0.87 \text{ m/s}$$

3. Calcul de la hauteur manométrique de la pompe

$$H = H_g + \Sigma h_{p \text{ lin}} + \Sigma h_{p \text{ sin}} + P_{exh}$$

- H : pertes de charge totale dans la conduite sous pression, m ;
- H_g : différence des cotes de plan d'eau entre le puisard et le dégrilleur, (m) ;
- ΔH : $\Sigma h_{p \text{ lin}} + \Sigma h_{p \text{ sin}}$: pertes de charge linéaire et singulière.
- P_{exh} : pression à l'exaure P_{exh} (1 : 1.5) m.
- $H_g=3 \text{ m}$

Choix de conduite :

Tableau 25: Valeurs des paramètres de calcul des pertes de charges linéaires

Matériaux	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	1.7

Nous avons choisi de Plastique : Les conduites en plastique, comme le PVC ou le PEHD, sont légères, faciles à installer et résistantes à la corrosion. Elles sont couramment utilisées dans les STEP pour les conduites d'eaux usées. Cependant, elles peuvent nécessiter un soutien supplémentaire pour éviter le flambage dans certaines situations.

Alors :

$$K = 0.001052$$

$$m = 4.774$$

$$\beta = 1.7$$

donc ;

$$\Delta H_{lin} = \frac{0.001052 * 15 *}{0.16^{4.774}} 0.0062^{1.7}$$

$$\Delta H_{lin} = 0.116 \text{ m}$$

En générale :

$$\Delta H_{sin} = 0.1 * \Delta H_{lin}$$

$$\text{Alors : } \Delta H_{sin} = 0.1 * 0.116$$

$$\Delta H_{sin} = 0.0116 \text{ m}$$

Donc :

$$\Delta H = \sum H_{lin} + \sum H_{sin}$$

$$\Delta H = 0.116 + 0.0116$$

$$\Delta H = 0.127 \text{ m}$$

D'où :

$$HMT = H_g + \Delta H + P_{exh}$$

Tel que :

H_g : hauteur géométrique

ΔH : perte de charge linéaire et singulière

P_{exh} : pression à l'exaure entre 1 et 1.5

$$HMT = 3 + 0.127 + 1.5$$

$$HMT = 4.62 \text{ m}$$

4. Choix de pompe

On utilise des pompes relevage pour le des eaux usées de puisard vers le dégrilleur. Donc pour choisir le type de pompe on utilise le logiciel Caprari . On utilise une pompe de Série K+ DN 40 ÷ DN 350

La gamme K+ energy s'enrichit de la nouvelle pompe KCA avec roue ouverte à deux aubes. Une solution qui garantit les meilleures performances en termes d'efficacité et donc des économies d'énergie maximales.

- Rendements supérieurs à 80 %
- Nouveau système de réglage de la roue FIXING SYSTEM : montage et entretien simplifiés en moins d'une minute
- Incluant : La technologie DRYWET SYSTEM, le système anti-colmatage K+ NON STOP et la classe de rendement IE3

5. Dimensionnement du poste de relevage

- **Volume de la bache d'aspiration :**

On a :

$$V = \frac{Q \cdot T}{4(N-1)}$$

Avec :

Q : Débit

T : Durée du cycle de la pompe, T = 20 min.

N : Nombre de pompes = 2

$$V = 1.806 \text{ m}^3$$

- **Calcul la surface :**

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

on prend: H = 2

$$\text{Donc } S = 0.903 \text{ m}^2$$

On prend : L = 1.25 m

$$l = 0.73 \text{ m}$$

Tableau 26: Dimensions de la bache d'aspiration

Désignation	Volume (V)	Hauteur (H)	Largeur (B)	Longueur (L)
<i>Unités</i>	m ³	m	m	m
<i>Valeurs</i>	1.806	2	0.903	1.25

6. Profil hydraulique

Le profil hydraulique implique le calcul des niveaux d'eau à différents points le long de la chaîne de traitement, nous fournissant ainsi des informations sur la localisation de la ligne de charge. Les élévations moyennes du terrain naturel 33 m dans les zones où les installations sont situées sont répertoriées dans le tableau ci-dessous

Tableau 27: Les cotes moyennes de terrain naturel

Désignation des ouvrages	Côtes du terrain naturel (m)	Hauteur de l'ouvrage (m)	Cotes des radier (m)	Cp (m)
Poste de relevage	34	1	34	35
Dégrilleur	33.8	1	33.8	34.8
Bassin d'homogénéisation	33.5	3	33.5	36.5
Bassin de coag	33.6	2	33.6	35.8
Bassin de floc	33.3	2	33.3	35.3
Décanteur primaire	33	2	33	35
Bassin de pré-ozonation	32.7	1	33.5	34.5
Bassin d'aération	32	5	29	34
Décanteur secondaire	31.7	3	30.7	33.7
CAP	31.6	3	30.6	33.6

CR : représente la cote réelle.

H : la hauteur d'ouvrage.

CFE : la cote piézométrique.

- Dimensionnement des conduites reliant les ouvrages :

$$\Delta H = \frac{k.L.Q^\beta}{D^m} = C_{pa} - C_{pb}$$

Avec :

K : Coefficient de perte de charge , K = 0,001052

Qe: Débit entrant, Qe = 0,0062 m³ /s.

L : Longueur de la conduite en (m).

β : Coefficient dépendant du régime d'écoulement , $\beta = 1,7$.

m : Coefficient dépendant du type de matériau de la conduite, $m = 4,774$.

D : Diamètre de la conduite en mm.

CPB : Cote du plan d'eau au point A (m).

CPA : Cote du plan d'eau au point B (m).

7. Calcul des longueurs des conduites reliant les ouvrages

Les longueurs des conduites sont calculées à partir du plan de masse de la station d'épuration et pour tous nos calculs on utilisera les longueurs équivalentes pour tenir compte des pertes de charges singulières tel que :

$$L_{eq} = 1.05 * L_{réelle}$$

Longueurs des conduites entre les ouvrages de la station :

Tableau 28: Longueurs des conduites entre les ouvrages de la station

Conduite	$L_{réelle}$	L_{eq}
Dégrilleur-poste de relevage	8	8.4
Poste de relevage – bassin d'homogénéisation	8	8.4
Bassin d'homogénéisation- Bassin Coagulation	9	9.45
Bassin Coagulation -Bassin Flocculation	8	8.4
Bassin Flocculation -Décanteur Primaire	10	10.5
Décanteur Primaire-Bassin pré-ozonation	7	7.35
Bassin pré-ozonation-bassin d'aération	8	8.4
bassin d'aération-décanteur secondaire	8	8.4
décanteur secondaire -CAG+UF	6	6.3

Diamètre :

$$D = \sqrt[m]{\frac{K.L.Q^\beta}{C_{pa} - C_{pb}}}$$

Calcul des cotes piézométriques des différents ouvrages : D'après l'équation de Bernoulli, on a :

$$\frac{P1}{W} + \frac{V^2}{2G} + Z1 = \frac{P2}{W} + \frac{V^2}{2G} + Z2 + H_{1-2}$$

Avec :

$P1/W$ et $P2/W$: Énergies de pression dans la section (1) et (2).

$\frac{v1^2}{2g}$ et $\frac{v2^2}{2g}$: Énergies cinétiques en (1) et (2).

$Z1$ et $Z2$: Cotes des points (1) et (2).

$H1-2$: Pertes de charges dans le tronçons (1-2).

Les variations de vitesses étant faible très faibles, on aura :

$$\frac{P1}{W} + Z1 = \frac{P2}{W} + Z2 + H_{1-2}$$

On pose :

$$\frac{P1}{W} = H1 \quad \text{et} \quad \frac{P2}{W} = H2$$

Donc :

$$H1 + Z1 = H2 + Z2 + H_{1-2}$$

Tel que : • $CP1 = H1 + Z1$

• $CP2 = H2 + Z2$

Alors : **$CP1 = CP2 + H_{1-2}$**

- Les résultats du calcul sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 29: Résultats du calcul hydraulique

Conduite	Lréelle	CP1– CP2	Dcal	D nor
Dégrilleur-poste de relevage	8	0.2	78	80
Poste de relevage – bassin d’homogénéisation	8	1.7	49	60
Bassin d’homogénéisation- Bassin Coagulation	9	0.7	61	80
Bassin Coagulation - Bassin Flocculation	8	0.5	64	80
Bassin Flocculation - Décanteur Primaire	10	0.3	75	80
Décanteur Primaire- Bassin pré-ozonation	7	0.5	62	80
Bassin pré-ozonation- bassin d’aération	8	0.5	64	80
bassin d’aération- décanteur secondaire	8	0.3	71	80
décanteur secondaire - CAG+UF	6	0.1	85	100

L : la longueur entre les ouvrages

CP1 - CP2 : la différence entre les côtes piézométriques

D : le diamètre de conduite normalisée

ΔH : les pertes de charge

8. Conclusion

Ce chapitre a impliqué la réalisation d'un calcul hydraulique pour la station d'épuration de l'industrie de boisson gazeux Hamoud Boualem Ce calcul comprenait le dimensionnement des conduites reliant les différentes structures, ainsi que la détermination des niveaux du radier et des niveaux piézométriques, dans le but de créer le profil hydraulique présenté dans les planches.

Chapitre 06 :

Aspect économique

1. Introduction

L'organisation d'un chantier est une étape cruciale qui exige une gestion minutieuse des ressources humaines et matérielles. Cette planification vise à garantir l'efficacité, la qualité et l'économie dans la réalisation des travaux. Par exemple, l'utilisation judicieuse de matériaux tels que le ciment, le sable, le gravier et l'acier est essentielle pour créer des structures en béton armé. Avant même la production, il est impératif d'établir un coût de vente convenu pour ces produits. Toutefois, il est important de noter que l'estimation précise des coûts et des ressources requiert une vigilance constante. Les hypothèses de départ peuvent être ajustées au fil de l'exécution du projet, ce qui nécessite une surveillance continue pour s'assurer que les prévisions demeurent alignées avec la réalité du terrain. Une bonne coordination des équipes, des délais bien définis et un suivi rigoureux sont autant de piliers fondamentaux pour la réussite d'un chantier.

Le coût d'investissement :

- Coût des opérations de génie civil, incluant les travaux de terrassement et la construction des ouvrages en béton.
- Acquisition des équipements tels que les racleurs, turbines, pompes aérateurs, et tuyauteries.

$$CTi = Cgc + Ceq + Cvrd$$

- Coût de fonctionnement :
- Dépenses courantes d'exploitation.
- Renouvellement du matériel électromécanique.
- Frais liés aux ressources humaines et aux finances.

2. Coût d'investissement

2.1. Coût de terrassement

On estime l'épaisseur de la couche végétale à 20 cm.

Le coût estimé pour un mètre cube de terrassement est 300 DA.

Nous déterminerons le volume de la couche végétale en utilisant la formule suivante :

$$V = 0.2 \times Shi$$

Avec :

V : volume de terrassement de l'ouvrage.

Shi : surface de l'ouvrage

Le coût d'un ouvrage sera donc :

$$C = 300 \times V$$

Tableau 30: Le coût de terrassement de chaque ouvrage

Ouvrages	Surface (m ²)	Volume terrassement (m ³)	Coût (DA)
Bassin d'homogénéation	260	52	15600
Basin de coagulation	0,54	0,108	32,4
Basin de floculation	3,162	0,6324	189,72
Décanteur primaire	21,67	4,334	1300,2
Basin d'ozonation	1	0,2	60
Bassin d'aération	21,67	4,334	1300,2
Décanteur secondaire	14,45	2,89	867
Bassin CAG	3,61	0,722	216,6
Epaississeur	68,72	13,744	4123,2
Digesteur	112,42	22,484	6745,2
	Total		30434,52

Le coût total du terrassement est estimé à $C_{terr} = 30434,52$ DA

2.2. Évaluation du Coût du Béton Armé

Le coût du béton est actuellement estimé à $P_u = 20000$ DA/m³.

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

C_b : Coût du béton.

V_{tb} : Volume total de 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 de Béton Armé

Le volume total de béton pour chaque ouvrage sera la somme des deux volumes :

$$V_{tb} = V_r + V_m$$

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, nous prendrons :

- L'épaisseur du mur $e_m = 0.15$ m
- L'épaisseur du radier $e_r = 0.3$ m

Tableau 31: Le coût du béton armé de chaque ouvrage

Ouvrages	Volume (m ³)		V _{tb}	Coût (DA)
	V _m	V _r		
Bassin d'homogénéisation	25.71	78	103.71	5185500
Basin de coagulation	0.78	0.162	0.942	47100
Basin de flocculation	2.03	0.9486	2.9786	148930
Décanteur primaire	6.8	6.501	13.301	665050
Basin d'ozonation	0.47	0.3	0.77	38500
Bassin d'aération	17.01	6.501	23.511	1175550
Décanteur secondaire	6.06	4.335	10.395	519750
Bassin CAG	3.03	1.083	4.113	205650
Epaississeur	19.39	20.616	40.006	2000300
Digesteur	33.81	33.726	67.536	3376800
		Total		13363130

Coût total du béton armé est estimé à $C_{ba} = 13363130$ DA

2.3. Coût total du génie civil

Le total du génie civil égale à la somme des deux coûts calculés précédemment :

$$C_{gc} = C_{terr} + C_{ba} = 30434,52 + 13363130 = 13393564.5 \text{ DA}$$

2.4. Coût des VRD :

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

Donc :

$$\text{CVRD} = 0.25 \times 5375687 = 3348391.13 \text{ DA}$$

2.5. Coût des équipements électromécaniques et électriques et des installations hydromécaniques

Il est estimé à 40% du (Cgc + CVRD)

$$\text{C}_{\text{éq}} = 6696782,26 \text{ DA}$$

2.6. Coût total des investissements de la station

$$\text{CTi} = \text{Cgc} + \text{CVRD} + \text{C}_{\text{éq}} = 23438737,91 \text{ DA}$$

3. Coût de fonctionnement

3.1. Le coût de main d'œuvre

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

$$\text{Cm.o} = 0.05 \times \text{CTi} = 1171936,89 \text{ DA}$$

3.2. Le coût de renouvellement du matériel électromécanique

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

$$\text{Crm} = 1171936,89 \text{ DA}$$

3.3. Le coût des frais financiers

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

$$\text{Cff} = 470372,55 \text{ DA}$$

3.4. Le coût de fonctionnement total

$$\text{CFt} = \text{Cmo} + \text{Crm} + \text{Cff}$$

$$\text{CFt} = 3515810,687 \text{ DA}$$

4. Coût du projet d'une somme égale

$$I = 26954548.6 \text{ DA}$$

Calcul du prix du m³ d'eau traitée

Le coût d'amortissement annuel

$$\text{Caa} = \text{CTi} / T$$

Avec :

T : durée d'amortissement t= 30 ans.

Donc :

$$C_{aa} = 781291.264 \text{ DA}$$

Coût annuel de la station :

$$CTS = C_{aa} + C_{ft}$$

$$CTS = 4297101.95 \text{ DA}$$

Calcul du prix du m³ d'eau épurée :

Le volume total annuel d'eau épurée en l'an 2053 est

$$V_{an} = 520 \times 365 = 189800 \text{ m}^3.$$

Le coût du m³ épurée (C_e) se calcul alors

$$C_e = CTS / V_{an}$$

$$C_e = 22.6401578 \text{ DA}$$

5. Conclusion

En conclusion de ce chapitre, nous avons mené une estimation rigoureuse du coût de conception de la station d'épuration pour l'usine Hamoud Boualem à Blida. L'estimation globale s'élève à 26 954 548.6 DA. Cette évaluation financière est essentielle pour la planification et le suivi budgétaire du projet, permettant ainsi une gestion efficace des ressources financières. Elle servira de référence cruciale dans la réalisation de ce projet visant à améliorer le traitement des eaux usées de l'usine et à réduire son impact sur l'environnement

Chapitre 07 :

Exploitation de la

station d'épuration

1.Introduction

La maintenance et les opérations d'entretien quotidiennes jouent un rôle de première importance dans le bon fonctionnement d'une station d'épuration. Elles sont cruciales pour la préservation des équipements de la station et pour garantir l'efficacité des processus de traitement.

Assurer la durabilité à long terme des installations.

Atteindre les performances de traitement conformément aux spécifications du cahier des charges.

Les activités clés impliquées dans l'exploitation d'une station d'épuration incluent : La maîtrise et l'amélioration du schéma de traitement en surveillant et, si nécessaire, en ajustant certains paramètres du processus de purification.

La maintenance régulière et les opérations d'entretien des équipements.

Ces activités requièrent de la part de l'équipe de gestion et d'exploitation de la station une solide compréhension des concepts hydrauliques, mécaniques, électromécaniques, chimiques et biologiques.

7. Le système d'intelligence artificielle pour l'optimisation et la gestion du step

L'intégration de l'IA dans le fonctionnement des STEP représente une solution innovante pour relever ces défis. Ce système d'IA repose sur une combinaison de capteurs avancés, de techniques d'apprentissage automatique, et d'algorithmes sophistiqués pour surveiller, analyser, et optimiser en temps réel chaque aspect du processus de traitement des eaux usées.

L'objectif ultime est d'atteindre une efficacité opérationnelle maximale tout en minimisant les coûts, en garantissant la conformité réglementaire et en contribuant à la préservation de l'environnement.

8. Le fonctionnement de système IA dans la STEP

Un système d'IA dans une station d'épuration des eaux usées joue un rôle essentiel dans la surveillance en temps réel, l'optimisation des processus et la gestion préventive des équipements. Il contribue à améliorer l'efficacité opérationnelle, à réduire les coûts, à garantir la conformité réglementaire et à minimiser les risques environnementaux, tout en permettant aux opérateurs de prendre des décisions éclairées pour le fonctionnement optimal de la STEP.

Le fonctionnement d'un système d'intelligence artificielle (IA) dans une station d'épuration des eaux usées (STEP) repose sur plusieurs étapes et composants clés

- Collecte de données en temps réel : Le système d'IA commence par collecter en temps réel des données provenant de divers capteurs installés à différents endroits de la STEP. Ces capteurs mesurent des paramètres tels que le débit d'eau, la qualité de l'eau, les niveaux de boue, la température, le pH, etc.
- Transmission des données : Les données collectées par les capteurs sont transmises au système d'IA via un réseau de communication. Cela peut inclure une connexion filaire ou sans fil, en fonction de l'infrastructure de la STEP.

- **Prétraitement des données :** Avant d'analyser les données, le système d'IA effectue un prétraitement pour nettoyer les données, les normaliser et éliminer les valeurs aberrantes. Cela garantit que les données sont de haute qualité pour l'analyse ultérieure.
- **Analyse des données :** L'IA utilise des algorithmes d'apprentissage automatique pour analyser les données. Ces algorithmes sont capables de détecter des tendances, des corrélations, des anomalies et des schémas dans les données en temps réel.
- **Détection des anomalies :** L'une des principales fonctions du système d'IA est la détection précoce des anomalies. Il peut identifier des comportements anormaux dans les données, tels qu'une augmentation soudaine de la concentration de polluants, des variations inattendues dans les niveaux d'eau, ou des problèmes de fonctionnement des équipements.
- **Optimisation des processus :** Sur la base de l'analyse des données, l'IA peut générer des recommandations pour optimiser les processus de la STEP. Par exemple, il peut ajuster automatiquement les niveaux d'aération, les doses de produits chimiques ou les vitesses de rotation des équipements pour maximiser l'efficacité du traitement.
- **Prédiction des besoins en maintenance :** L'IA utilise également des modèles prédictifs pour anticiper les besoins en maintenance. En analysant les données de performance des équipements, il peut prédire quand une pompe, une soufflante ou un autre équipement nécessitera une maintenance préventive.
- **Interface utilisateur :** Les opérateurs de la STEP ont accès à une interface utilisateur conviviale qui affiche les données en temps réel, les rapports d'analyse, les alertes et les recommandations d'actions. Cela permet aux opérateurs de surveiller et de gérer efficacement la station.
- **Alertes et notifications :** Le système d'IA peut générer des alertes et des notifications en temps réel en cas de problèmes critiques ou d'anomalies importantes. Cela permet aux opérateurs de réagir rapidement pour éviter des défaillances ou des déversements non conformes.
- **Adaptabilité et apprentissage continu :** Le système d'IA peut s'adapter aux changements dans les conditions de fonctionnement de la STEP et dans les réglementations environnementales. Il continue également à apprendre et à s'améliorer à mesure qu'il accumule plus de données et d'expérience.

9. Les capteurs utilisés dans un système d'intelligence artificielle (IA) et les mesures essentielles

Pour la surveillance et l'optimisation d'une station d'épuration des eaux usées (STEP) sont généralement installés à des emplacements stratégiques dans l'ensemble de la station. Les emplacements spécifiques dépendent des paramètres surveiller et des objectifs de système d'IA

a. Entrée d'eau brute

Des capteurs de débit et de qualité de l'eau peuvent être installés à l'entrée de la STEP pour mesurer la quantité et la qualité de l'eau brute entrante.

b. Bassins de prétraitement

Les bassins de prétraitement peuvent être équipés de capteurs de niveau d'eau pour surveiller les niveaux de boue et d'autres paramètres pertinents.

c. Bassins de traitement biologique

Dans les bassins de traitement biologique, des capteurs de niveau d'eau, de température, de turbidité et de concentration en oxygène dissous (DO) peuvent être installés pour surveiller les conditions de traitement.

d. Bassins de décantation

Les bassins de décantation peuvent être équipés de capteurs de niveau d'eau pour surveiller les niveaux de boue et de clarificateurs pour mesurer la turbidité.

e. Canalisations et tuyauteries

Les canalisations et les tuyauteries peuvent être équipées de capteurs de débit, de pression et de température pour surveiller le déplacement de l'eau et la pression dans le système.

f. Systèmes de dosage de produits chimiques

Les systèmes de dosage de produits chimiques peuvent être équipés de capteurs de niveau de produits chimiques pour contrôler les doses de manière précise.

g. Équipements de traitement

Les équipements individuels tels que les pompes, les agitateurs, les soufflantes, les filtres, etc., peuvent être équipés de capteurs pour surveiller leur état de fonctionnement, leur consommation d'énergie, leur température, etc.

h. Sortie d'eau traitée

Des capteurs de qualité de l'eau, de débit et de turbidité peuvent être installés à la sortie de la STEP pour mesurer la qualité de l'effluent traité.

i. Bassins de stockage des boues

Les bassins de stockage des boues peuvent être équipés de capteurs de niveau de boue pour surveiller le niveau de boue accumulée.

j. Système de gaz et d'odeurs

Si le traitement des gaz et des odeurs est nécessaire, des capteurs spéciaux peuvent être installés pour surveiller la concentration de gaz et les niveaux d'odeurs.

Sécurité : Pour des raisons de sécurité, des capteurs de détection des intrus peuvent être utilisés pour empêcher l'accès non autorisé à certaines zones de la STEP.

Il est essentiel de concevoir un réseau de capteurs bien répartis pour collecter les données nécessaires à la surveillance et à l'optimisation des processus de traitement des eaux usées.

10. Les risques d'exploitation d'un STEP par le système d'IA

L'exploitation d'une station d'épuration des eaux usées (STEP) par un système d'intelligence artificielle (IA) comporte certains risques potentiels, qui doivent être pris en compte et gérés pour assurer le bon fonctionnement de la STEP et minimiser les problèmes potentiels.

Fiabilité de l'IA : L'IA dépend de l'exactitude de ses algorithmes et de la qualité des données d'entrée. Si l'algorithme ou les capteurs ne sont pas fiables, cela peut conduire à des décisions

incorrectes ou à des recommandations inappropriées pour le fonctionnement de la STEP. Défaillances matérielles et logicielles : Comme tout système informatique, les composants matériels et logiciels du système d'IA peuvent subir des défaillances. Cela pourrait entraîner des interruptions dans la surveillance et le contrôle de la STEP.

Conformité réglementaire : Les systèmes d'IA doivent être configurés pour garantir que la STEP respecte les réglementations environnementales. Si le système d'IA génère des recommandations incorrectes qui entraînent un non-respect des réglementations, cela peut avoir des conséquences légales.

Coûts initiaux et de maintenance : La mise en place d'un système d'IA peut être coûteuse en termes de matériel, de logiciels, de formation du personnel et de maintenance continue. Les coûts doivent être soigneusement évalués et budgétisés.

Dépendance technologique : L'adoption d'un système d'IA peut créer une dépendance technologique. Si le système échoue ou devient obsolète, la STEP peut avoir du mal à fonctionner sans lui.

Formation du personnel : Le personnel de la STEP doit être formé pour comprendre, surveiller et interagir avec le système d'IA. Un manque de formation adéquate peut entraîner des erreurs dans l'exploitation du système. Pour minimiser ces risques, il est essentiel de mettre en place des pratiques de gestion des risques, de cybersécurité robuste et de tests approfondis avant de déployer un système d'IA dans une STEP. De plus, une supervision humaine continue est généralement nécessaire pour surveiller le fonctionnement du système d'IA et intervenir en cas d'incidents ou de problèmes.

6. Les risques environnementaux associés à l'exploitation d'une step par le système

L'exploitation d'une station d'épuration des eaux usées (STEP) par un système d'intelligence artificielle (IA) peut également comporter des risques environnementaux spécifiques. Ces risques sont liés à la possibilité de dysfonctionnements du système d'IA ou d'erreurs de gestion pouvant entraîner des impacts négatifs sur l'environnement. D

Les risques environnementaux associés à l'exploitation d'une STEP par un système d'IA :

- **Déversements non traités** : Si le système d'IA ne fonctionne pas correctement, il peut ne pas détecter les anomalies ou les dysfonctionnements dans le processus de traitement des eaux usées. Cela peut entraîner des déversements non traités d'effluents polluants dans l'environnement, causant une pollution des cours d'eau, des plans d'eau et des sols environnants.
- **Surcharge du système** : Un mauvais fonctionnement du système d'IA peut entraîner une surcharge de la STEP, où la capacité de traitement est dépassée. Cela peut entraîner une baisse de la qualité de l'eau traitée et une augmentation des rejets polluants dans l'environnement.
- **Contamination de l'environnement** : Des erreurs de dosage de produits chimiques ou de réglage des paramètres de traitement peuvent entraîner une contamination chimique de l'environnement. Par exemple, une surdose de produits chimiques peut entraîner la libération de substances toxiques dans l'effluent traité.

- **Déversements d'effluents non conformes** : Si le système d'IA ne parvient pas à maintenir la conformité avec les normes de rejet d'effluents établies par les autorités environnementales, cela peut entraîner des déversements d'effluents non conformes, ce qui peut avoir un impact sur les écosystèmes aquatiques.
- **Impact sur la faune et la flore** : Les déversements d'effluents non traités ou non conformes peuvent avoir des effets néfastes sur la faune et la flore locales, entraînant une altération de l'écosystème aquatique.
- **Modification de la qualité de l'eau** : Une gestion inadéquate du traitement des eaux usées peut modifier la qualité de l'eau dans les cours d'eau, ce qui peut avoir un impact sur la vie aquatique et la biodiversité.
- **Problèmes d'odeurs** : Des erreurs de gestion du traitement des odeurs dans la STEP peuvent entraîner des nuisances olfactives dans les environs, ce qui peut avoir un impact sur les communautés locales.
- **Répercussions à long terme** : Certains problèmes environnementaux, tels que la pollution des sols, de l'eau ou la destruction des habitats, peuvent avoir des répercussions à long terme sur l'environnement et la santé des écosystèmes.
Pour réduire ces risques environnementaux, il est essentiel de mettre en place des procédures de contrôle, de maintenance et de suivi rigoureuses pour le système d'IA, ainsi que des protocoles d'intervention d'urgence en cas de défaillance. Une surveillance continue des performances environnementales de la STEP est également nécessaire pour détecter rapidement tout problème potentiel et prendre des mesures correctives appropriées.

7 Les avantages et les inconvénients de système AI

❖ Avantages :

- **Surveillance en temps réel** : Le système d'IA permet une surveillance en temps réel du fonctionnement de la STEP, ce qui permet une réaction immédiate aux anomalies et aux problèmes.
- **Optimisation des processus** : L'IA peut analyser les données en temps réel pour optimiser les processus de traitement des eaux usées, ce qui peut améliorer l'efficacité opérationnelle et réduire les coûts.
- **Prévention des pannes** : L'IA peut anticiper les besoins en maintenance en prédisant les défaillances d'équipements, ce qui permet de planifier des interventions préventives pour éviter les pannes coûteuses.
- **Réduction des coûts d'exploitation** : En optimisant les processus et en réduisant les temps d'arrêt, l'IA peut contribuer à réduire les coûts d'exploitation globaux de la STEP.
- **Conformité réglementaire** : L'IA peut contribuer à garantir que la STEP respecte les réglementations environnementales en surveillant en continu les rejets et en ajustant les paramètres de traitement au besoin.
- **Réduction de la charge de travail humaine** : L'automatisation des tâches de surveillance et d'analyse des données peut réduire la charge de travail du personnel, ce qui peut être bénéfique dans les STEP à effectifs limités.
- **Amélioration de la qualité de l'eau traitée** : En optimisant les processus de traitement, l'IA peut contribuer à améliorer la qualité de l'eau traitée, ce qui peut avoir un impact positif sur l'environnement.

❖ Inconvénients :

- Coûts initiaux élevés : La mise en place d'un système d'IA dans une STEP peut être coûteuse en termes d'investissement initial en matériel, logiciels et formation du personnel.
- Complexité : Les systèmes d'IA sont complexes et nécessitent une expertise en informatique et en traitement des données pour la configuration et la maintenance.
- Dépendance technologique : Une dépendance excessive à l'égard de la technologie d'IA peut entraîner des risques si le système échoue ou devient obsolète.
- Cybersécurité : Les systèmes d'IA sont vulnérables aux attaques informatiques, ce qui peut compromettre la sécurité des données et des opérations.
- Besoin de données de qualité : Les systèmes d'IA dépendent de données de qualité pour prendre des décisions précises. Si les capteurs produisent des données incorrectes ou de mauvaise qualité, cela peut entraîner des problèmes.
- Formation du personnel : Le personnel de la STEP doit être formé pour comprendre et interagir avec le système d'IA, ce qui peut nécessiter du temps et des ressources.
- Évolutivité : L'ajout de nouvelles fonctionnalités ou la mise à jour du système d'IA peut être complexe et coûteux.

En résumé, un système d'IA peut apporter de nombreux avantages en termes d'efficacité, de réduction des coûts et de conformité réglementaire dans une station d'épuration des eaux usées, mais il nécessite une gestion attentive et une planification minutieuse pour minimiser les inconvénients potentiels.

8 Réutilisation des eaux usées traitées

Tant que les analyses après le traitement tertiaire répondent aux normes de rejets et de réutilisation, alors ceux-ci peuvent être réutilisés dans divers domaines, offrant des avantages économiques et environnementaux. Tel que : [23]

- **Refroidissement industriel** : Les eaux traitées peuvent être utilisées dans les systèmes de refroidissement des installations industrielles. Le refroidissement par eau traitée est une méthode couramment utilisée pour dissiper la chaleur générée par les équipements industriels. Dans ce système, de l'eau est utilisée comme fluide de refroidissement pour absorber la chaleur et maintenir des températures adéquates réduisant ainsi la demande en eau fraîche. [23]
- **Processus industriels** : Dans certains cas, les eaux épurées peuvent être réutilisées dans les processus de production industrielle, tels que le lavage, le nettoyage et d'autres opérations similaires. [23]
- **Alimentation des chaudières** : Les eaux traitées peuvent être utilisées comme source d'eau pour les chaudières industrielles, minimisant ainsi l'utilisation d'eau douce et le risque d'encrassement. [23]
- **Alimentation des tours de refroidissement** : Les eaux épurées peuvent être utilisées dans les tours de refroidissement industrielles, réduisant ainsi les besoins en eau douce pour ce processus. [23]

- **Réfrigération industrielle :** Les systèmes de réfrigération industrielle sont conçus pour maintenir des températures extrêmement basses, par exemple dans les chambres froides ou les installations de stockage de produits périssables par exemple dans l'industrie Hamoud Boualem . Ils utilisent des compresseurs et des réfrigérants spécifiques pour atteindre ces températures a propos de l'eau épurées [23]
- **Arrosage des espaces verts :** Les eaux traitées peuvent être utilisées pour l'arrosage des parcs, des terrains de sport et des espaces verts municipaux . [23]
- **Utilisation municipale non potable :** Les eaux épurées peuvent être utilisées pour des usages non potables tels que le nettoyage des rues et d'autres applications similaires. La réutilisation des eaux usées industrielles épurées offre une approche durable pour gérer les ressources en eau et réduire l'impact environnemental des activités industrielles, tout en préservant les précieuses sources d'eau douce[23]

9 Conclusion

Le chapitre sur l'exploitation de la station d'épuration des eaux usées et la réutilisation de ces eaux traitées met en lumière l'importance cruciale de la gestion efficace de l'eau. L'exploitation d'une station d'épuration exige une approche rigoureuse pour garantir son fonctionnement optimal ainsi que la réutilisation des eaux usées traitées offre des avantages considérables en termes de conservation des ressources hydriques, de protection de l'environnement et de sécurité de l'approvisionnement en eau.

Cependant, elle nécessite une conformité stricte aux normes de qualité de l'eau et aux réglementations



Conclusion générale

Conclusion générale

En conclusion, ce mémoire a exploré en détail le processus de dimensionnement d'une station d'épuration industrielle dédiée à la production de boissons gazeuses, avec un objectif principal : la réutilisation efficace des eaux traitées. Au fil de cette étude, nous avons abordé divers aspects cruciaux, allant de la caractérisation des eaux usées spécifiques à l'industrie des boissons gazeuses, à la sélection et à la conception des unités de traitement appropriées pour atteindre les normes de qualité requises.

Nous avons également souligné l'importance de la gestion et de l'exploitation efficaces de la station d'épuration pour garantir une performance durable. Cela inclut la maintenance régulière, le suivi des paramètres de fonctionnement clés et la mise en place de protocoles de contrôle rigoureux.

Un élément essentiel de ce travail a été l'accent mis sur la réutilisation des eaux traitées. Nous avons mis en évidence les multiples avantages de cette approche, notamment la conservation des ressources en eau douce, la réduction des coûts de traitement des eaux usées, et la contribution à la durabilité environnementale. Cependant, il est crucial de noter que le succès de la réutilisation des eaux traitées dépend de la conformité aux normes de qualité de l'eau et de la conformité aux réglementations locales. La sécurité sanitaire doit être garantie à chaque étape du processus.

En fin, ce mémoire met en lumière l'importance croissante de la gestion responsable de l'eau dans le secteur industriel, en particulier dans les industries sensibles à la ressource en eau. La mise en œuvre réussie des recommandations formulées ici pourrait non seulement avoir un impact positif sur la durabilité environnementale, mais aussi contribuer à la compétitivité et à la responsabilité sociale des entreprises du secteur des boissons gazeuses.

En conclusion, le dimensionnement d'une station d'épuration industrielle et la promotion de la réutilisation des eaux traitées dans le processus de production de boissons gazeuses sont des démarches stratégiques vers un avenir plus durable, combinant efficacité économique, respect de l'environnement et responsabilité sociale

Références bibliographiques

Références

1. W. Echenfeldr, Gestion des eaux usées urbaines et industrielles, Technique et documentation Paris 2009
2. Boeglin j.c ; pollution de l'eau industrielle : caractéristique – classification – mesure ; technique de l'ingénieur volume G1210 ; 10 jan 2007 / 1 oct 2019
3. <https://hamoud-boualem.com/fr/présentation>
4. Jean claude boegin ; lutte contre la pollution de l'eau inventaire des traitements ; 10 juil 1999
5. Riffat -rumana- husnain ; fundamentals of waste water treatment and engineering ; 2022
6. Bechac. P, Pierre. Boutin, B. Mercier, P. Nuer. Traitement des eaux usées. EYROLLES Paris 1987.
7. Chris binnie -martin kimber – hugh thomas ; basic water treatment ; 1 jan 2017
8. Valérie laforest – jacques bourgeois - robert hausler ; traitement chimique et physico-chimique des rejets industriels dangereux liquides ; 10 nov 2020
9. M.gaunrasi ; les procédés physico-chimiques d'épuration des eaux usées industriel ; Ed association française pour l'étude des eaux France 1979
10. Claude Del porte ; traitement biologique aérobie des effluents industriels ; 10 jan 2007
11. Paul boulenger – yannick gallouin ; traitement biologique anaérobie des effluents industriels ; 10 aout 2009
12. Alain truc ; traitement tertiaire des effluent industriels ; 10 oct 2007
13. Eric guibelin ; caractéristique et traitement des boues d'épuration ; 10 mars 2021
14. Abdelkader gaid ; traitement des boues ; 10 aout 2008
15. <https://earth.google.com>
16. <https://weatherspark.com>
17. Carbonated Soft Drinks: Formulation and Manufacture" par David Steen, publié par Wiley (2012)
18. Ashurst -Philip – hargit – Robert - and palmer Fiona ; soft drink and fruit juice problems solved ; wood head publishing ; 2017
19. Journal officiel de la république algérienne N°26, 23 avril 2006.
20. J. Olivier, « Etudes des filtres a bandes pour la déshydratation mécanique des boues résiduelles urbaines », Spécialité : ÉNERGÉTIQUE, TRANSFERT et SYSTÈMES DISPERSÉS, L'UNIVERSITÉ DE PAU ET DES PAYS DE L'ADOUR. 24/10/2003.
21. Journal officiel de la république algérienne N°26, 23 avril 2006.
22. <http://www.caprari.com/fr> Mai 2023
23. Asano Takashi burton ; water reuse : issue - technologies and applications