



## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

**Option: RÉUTILISATION DES ÉAUX NON CONVENTIONNELLES (RENC)**

### **THEME :**

**DIMENSIONNEMENT D'UNE STATION D'ÉPURATION DES  
EAUX USÉES DE INDUSTRIE PHARMACEUTIQUE  
(GROUPE SAIDAL) (W. MÉDÉA) EN VUE DE LEUR  
RÉUTILISATION**

**Présenté par :**

**M<sup>r</sup>. BENSOUNA Chouaib**

**Devant les membres du jury**

<b>Nom et Prénoms</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
DJELLAB Mohamed	Professeur	Président
LEULMI MEDJDOUB Sonia	M.C.B	Examinatrice
BETATACHE Hayat	M.C.B	Examinatrice
KOLIAI Djaffar	M.A.A	Examineur
DJOUDAR Halal Dahbia	M.C.A	Promotrice

**Session : Septembre 2024**

# Dédicace

A mon très cher père .....À ma très chère mère

Quoi que je fasse ou quoi que je dise, je ne saurai point vous remercier comme il se doit, votre affection me couvre, votre bienveillance me guide et votre présence à mes côtés a toujours été

ma source de force pour affronter les différents obstacles.

À mes très chers frères : Mohamed, Youcef, Ishak et ABDELLAH, qui ont toujours été là pour moi, j'espère qu'ilstrouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour

À mes chers et fidèles amis miloud, firas, yazid, aziz, wassim, ilyes, moussa, issad, sifo, anas, alla, Sofiane, Mano, najmo, djelal, imad, abdou, arbi, sysy... merci pour tous les moments inoubliables qu'on a eu le long de notre amitié.

A tous mes amis à qui je souhaite le meilleur.

A tous ceux que j'aime ....

A ma chère vous tous Je dédie ce modeste travail

**CHOUAIB**

# Remerciement

Je remercie avant tout

Dieu de m'avoir donné la volonté et la santé pour réaliser ce modeste travail C'est avec un immense plaisir que j'exprime toute ma gratitude et ma satisfaction envers

Mme. **DJOUJAR DAHBIA**, qui a consacré des efforts considérables pour m'encadrer, me diriger et me conseiller dans le cadre de l'élaboration de ce modeste travail.

J'espère vivement que le travail que j'ai accompli soit à la hauteur des espoirs que vous avez placés en moi.

J'exprime aussi ma gratitude envers les membres du jury qui auront l'honneur d'examiner mon travail

En fin un grand remerciement à toute personne ayant contribué, de près ou de loin, dans ce travail, merci.

## المخلص

تتضمن هذه المذكرة بناء محطة معالجة مياه الصرف الصناعي لصناعة الأدوية (صيدال)، بمعدل تدفق 4320 م<sup>3</sup> يوميا، كما تدرس تقنيات المعالجة المناسبة لإزالة الملوثات الموجودة في مياه الصرف الصناعي، وخاصة الفيزيائية، الكيميائية، العمليات البيولوجية وتقنيات إعادة الاستخدام، وتشتمل هذه الدراسة على قسمين رئيسيين:

- الأول يتعلق بدراسة خصائص مياه الصرف الصحي وعمليات المعالجة. وتظهر نتائج التحاليل التي تم الحصول عليها أن هذه المياه تحتوي على ملوثات مختلف، أما الثاني فيتعلق بأبعاد المحطة باستخدام نظام معالجة مياه الصرف الصحي البيولوجي المركب بنظام المفاعل الحيوي الغشائي BRM بعد دراسة مقارنة مع استخدام طريقة الحمأة المنشطة ومفاعل حيوي ذو طبقة مميعة MBBR وفي العلاج الثالثي باستخدام حوض الأوزون. وقد ثبت أن هذا النظام فعال في إدارة تلوث المياه وأنه يلبي المعايير المطلوبة.

**الكلمات المفتاحية:** محطة معالجة مياه الصرف الصحي، مياه الصرف الصناعي، قابلية التحلل، ملوثة، إعادة الاستخدام.

## Résumé

Ce mémoire consiste à réaliser une station d'épuration des eaux usées industrielle de l'industrie des produits pharmaceutiques(SAIDAL), avec le débit 4320 m<sup>3</sup> 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. Cette étude comprend deux parties principales :

La première concerne l'étude des caractéristiques des eaux usées et des procédés de traitement. Les résultats des analyses obtenus montrent que ces eaux contiennent divers polluants ,la deuxième concerne la dimensionnement de la station en utilisant un système de traitement biologique par BRM après une étude comparative avec l'utilisation de la méthode de boue activée et MBBR et dans le traitement tertiaire en utilisant un bassin d'ozonation. Il a été démontré que ce système est performant dans la gestion de la pollution de l'eau et qu'il respecte les normes en Algérie

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

## Abstract

This dissertation consists of building an industrial wastewater treatment plant for the pharmaceutical industry (SAIDAL), with a flow rate of 4320 m<sup>3</sup> per day, it also examines the appropriate treatment technologies to eliminate contaminants present in wastewater of industry, in particular physico-chemical, biological processes and reuse techniques. This study includes two main parts:

The first concerns the study of the characteristics of wastewater and treatment processes. The results of the analyzes obtained show that these waters contain various pollutants ,the second concerns the dimensioning of the station using a combined biological wastewater treatment system by BRM after a comparative study with the use of the activated sludge method and MBBR and in tertiary treatment using an ozonation basin. It has been demonstrated that this system is effective in managing water pollution and that it meets standards in Algeria..

**Keywords:** Wastewater Treatment Plant, industrial wastewater, biodegradable, pollutants, Reuse

## Sommaire

Introduction générale .....	1
<b>CHAPITRE I:Généralité sur les eaux usées l'industrie chimique</b>	
I.1. Introduction.....	3
I.2. Les eaux uses d'origine industrielle .....	3
I.3. Caractéristiques des eaux usées industrielles.....	3
➤Les caractéristiques physiques : .....	3
➤Les caractéristiques chimiques : .....	4
I.4. Paramètres microbiologiques.....	5
I.5. La nature de pollution causée par les industries chimiques.....	6
➤La pollution physique.....	6
➤La pollution chimique .....	6
➤Pollution azotée et phosphorée .....	6
I.6. Caractéristiques des eaux usées de L'industrie de produites pharmaceutique .....	7
I.7. Les ingrédients des produits pharmaceutiques .....	7
I.8. L'impact de rejets des eaux usées de produits pharmaceutique sur l'environnement .....	7
I.9. Conclusion .....	8
<b>CHAPITRE II : Epuration des eaux usées industrielles</b>	
II.1. Introduction .....	10
II.2. Procédés d'épuration des eaux usées industrielles .....	10
II.3. Le choix de procédé adéquat .....	10
II.4. Les techniques d'épuration.....	10
II. 4.1 . Les prétraitements : .....	10
➤ Dégrillage:.....	11
➤ Tamisage: .....	11
➤ Dessablage:.....	11
➤ Dégraissage-déshuilage:.....	11
➤ Homogénéisation et égalisation: .....	11
II. 4.2. Le traitement primaire .....	12
II. 4.3. Le traitement physico-chimique .....	12
II.4.3.1 Coagulation et flocculation: .....	12
II.4.3.2. Décantation :.....	13

II. 4.4. Les traitements biologiques .....	13
II.4.4.1. Traitement biologique aérobie.....	14
II.4.4.2. Procédés à cultures libres .....	14
II.4.4.3. Procédé à culture fixée .....	14
II.4.4.4. La biofiltration .....	14
II.4.4.5. Lit bactérien.....	15
II.4.4.6. Les procédés à lit mobiles .....	15
II.4.4.7. Disques biologiques .....	15
II.4.4.9. Traitement biologique anaérobie .....	16
II.4.4.10. Bioréacteur à lit fluidisé (MBBR).....	16
II.4.4.11. Le traitement des eaux usées avec les BRM.....	16
II.4.5. Traitement tertiaire .....	17
II.4.5.1. Filtration avancée:.....	17
II.4.5.2. Désinfection:.....	17
II.4.5.3. Élimination des nutriments avancée.....	18
II.4.6. Procédés de traitement de boues .....	19
• Épaississement .....	19
• Stabilisation .....	19
• La déshydratation .....	19
• Exploitation .....	19
• Elimination.....	19
II.5. Conclusion .....	20

### **CHAPITRE III : La Réutilisation des eaux usées épurées**

III.1.Introduction .....	22
III.2. Catégories de réutilisation des eaux usées épurées .....	22
III.2.1 Réutilisation à titre d'eau potable .....	22
III.2.2 Réutilisation en zone urbaine .....	22
III.2.3 Réutilisation et recyclage industriels .....	23
III.2.4 Amélioration des ressources.....	23
III.2.5 Réutilisation en agriculture .....	23
III.3. Les avantages de la REUE en Algerie .....	24
III.4.Les risques liés à la réutilisation des eaux épurées .....	24
III.5.Conclusion .....	26

## CHAPITRE IV :Présentation de la zone d'étude

IV.1.Introduction.....	28
IV.2.Présentation de la commune de Harbil .....	28
IV.3.Situation géographique de la commune Harbil .....	28
IV.4.Situation géographique de Le Complexe d'Antibiotiques .....	29
IV.7.Situation hydraulique .....	33
IV.7.1. Ressources hydriques: .....	33
IV.8.Présentation de l'industrie de production pharmaceutique .....	33
IV.9.Historique .....	34
IV.10.Présentation de l'industrie pharmaceutique groupe saidal Médéa .....	34
IV.10.1.Procédés de fabrication : .....	35
IV.11.Conclusion.....	36

## CHAPITRE V : Dimensionnement de la station d'épuration

V.1. Introduction .....	38
V.2. Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industrielles .....	38
V.3. La biodégradabilité .....	39
V.4. Schéma du traitement des ERU de l'industrie pharmaceutique (SAIDAL) .....	39
V.5. Les paramètres de dimensionnement .....	40
V.6. Dimensionnement des ouvrages de la station .....	41
V.6.1.Dimensionnement Bassin d'homogénéisation : .....	41
V.7. Prétraitement .....	42
V.7.1.Dégrillage: .....	42
V.8. Traitement physico-chimique .....	45
V.8.1.Traitement chimique: .....	45
➤Coagulation: .....	45
➤Floculation:.....	46
V.8.2. Traitement physique .....	47
V.8.2.1 Décanteur primaire : .....	47
V.8.2.2. Traitement secondaire (biologique) : .....	48
V.9.Traitement des boues .....	Error! Bookmark not defined.3
V.9.1.Quantification des boues: .....	63
V.10.Dimensionnement de l'épaississeur .....	63
V.11.Digesteur aérobie .....	64

V.12.Le filtre à bande .....	65
V.13.Dimensionnement du bassin de stockage des eaux usées épurées .....	66
V.14. Destination finale des eaux épurées et les boues .....	667
V.15.Conclusion.....	667

## **CHAPITRE VI: Calcul hydraulique**

VI.4.Profil hydraulique .....	71
VI.5.Dimensionnement des conduites reliant les ouvrages.....	71
VI.6.Calcul des longueurs des conduites reliant les ouvrages .....	72
VI.7.Conclusion .....	74

## **CHAPITRE VII: Aspect économique**

VII.1. Introduction.....	76
VII.2. Estimation du cout total de la réalisation de la station .....	76
a. Le coût d'investissement: .....	76
b. Coût d'investissement .....	76
➤ Coût de terrassement: .....	76
c. Évaluation du Coût du Béton Armé :.....	77
d. Coût total du génie civil :.....	79
e. Coût des VRD .....	79
f. Coût des équipements électromécaniques et électriques et des installations hydromécaniques.....	80
➤ Coût total des investissements de la station :.....	80
g. Coût de fonctionnement.....	80
➤ Le coût de main d'œuvre :.....	80
➤ Le coût de renouvellement du matériel électromécanique :.....	80
➤ Le coût des frais financiers :.....	80
➤ Le coût de fonctionnement total:.....	80
h. Le coût estimatif du projet .....	81
i. Calcul du prix du m <sup>3</sup> d'eau traitée:.....	81
➤ Le coût d'amortissement annuel:.....	81
➤ Coût annuel de la station: .....	81
➤ Calcul du prix du m <sup>3</sup> d'eau épurée:.....	81
➤ Le coût du m <sup>3</sup> épurée (Ce) ce calcul .....	81
VII.3. L'entretien et le suivi des équipements de la station d'épuration.....	81

VII.3.1 Entretien préventif et planifié.....	82
VII.3.2 Inspection des équipements .....	82
VII.3.3 Nettoyage.....	82
VII.3.4 Échantillonnage et analyse.....	82
VII.3.5 Réparation et substitution.....	82
VII.3.6 Formation des employés .....	82
VII.4. Conclusion .....	82
Annexe.....	88

## La liste des Figures :

Figure 1 :Procédés d'épuration des ERI .....	10
Figure 2: un dégrilleur grossier [9] .....	11
Figure 3:bassin Homogénéisation[11] .....	12
Figure 4:traitement biologique à boues activées[16] .....	14
Figure 5: lit bactérien[16]. .....	15
Figure 6:Lit bactérien à forte charge.....	15
Figure 7: étape de dégradation biologique de l'azote. ....	19
Figure 8 : Situation géographique de la ville de Harbil .....	28
Figure 9:Communes limitrophes de Oued Harbil .....	29
Figure 10:Courbe de température moyenne annuelle[28] .....	31
Figure 11:Courbe de Précipitation mensuelle moyenne [28]. .....	31
Figure 12: courbe annuelle de catégories d'humidité [28] .....	32
Figure 13: La moyenne des vitesses des vents moyens horaires [28] .....	33
Figure 14: Situation géographique de l'usine pharmaceutique par rapport à la zone .....	35
Figure 15:Schéma du traitement des ERU de l'industrie pharmaceutique (SAIDAL) .....	40

## La liste des tableaux :

Tableau 1:différents types de pollution physique [8].	6
Tableau 2: Norme de la REUE en Algérie	26
Tableau 3:Température moyenne annuelle [28]	30
Tableau 4: Précipitation mensuelle moyenne[28]	31
Tableau 5:vitesse annuelle du vent[28]	33
Tableau 6: Valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels pour l'industrie pharmaceutique[32]	38
Tableau 7: Analyses des eaux usées en aval de l'usine ( source : laboratoire de l'usine 2023)	38
Tableau 8:Charges journalière des effluents	41
Tableau 9: Dimensionnement du bassin d'homogénéisation	42
Tableau 10: Données de base pour le dimensionnement de dégrilleur fin	43
Tableau 11: Valeurs du coefficient de forme des barreaux	44
Tableau 12: Résultats de dimensionnement de dégrilleur	45
Tableau 13: Résultats de dimensionnement de réacteur de coagulation	46
Tableau 14: Résultats de dimensionnement de réacteur de floculation	47
Tableau 15: Résultats de dimensionnement de décanteur primaire	48
Tableau 16:Résultats de traitement par coagulation-floculation	48
Tableau 17 : valeurs de $a_m$ , $b$ , $a'$ , et $b'$ en fonction du procédé d'épuration par boue activée[24]	51
Tableau 18 : Comparaison des 3 variantes BRM	58
Tableau 19 : Caractéristiques du bassin de BRM (variante 2)	59
Tableau 20: le choix entre les trois (3) variantes (BAC,MBBR et BRM)	59
Tableau 21 : Caractéristiques de la membrane Polymem UF 100 (de site web : polymem)	60
Tableau 22: Evaluation des charges après le traitement précédent	62
Tableau 23:Les résultats de dimensionnement de l'épaisseur	64
Tableau 24: Les résultats de dimensionnement de digesteur aérobie	65
Tableau 25: Les résultats de dimensionnement de filtre a bande	66
Tableau 26:Valeurs des paramètres de calcul des pertes de charges linéaires[37]	70
Tableau 27: Les cotes moyennes de terrain naturel	71
Tableau 28: Longueurs des conduites entre les ouvrages de la station	72
Tableau 29: Résultats du calcul hydraulique	74
Tableau 30: Le coût de terrassement de chaque ouvrage	77
Tableau 31: Le coût du béton armé de chaque ouvrage	79

**Listes des abréviation :**

**STEP** : Station d'Épuration Industrielle

**CO<sub>2</sub>** : dioxyde de carbone

**MES** : matières en suspension

**MVS** : matière volatile en suspension

**DBO** : demande biologique en oxygène

**DCO** : demande chimique en oxygène

**NTK** : l'azote total kjeldahl

**NGL** : l'azote global

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : nitrate

**NO<sub>2</sub><sup>-</sup>** : nitrite

**PT** : phosphore total

**ERI** : eau résiduaire industrielle

**UF** : ultra-filtration

**REUE** : Réutilisation des eaux usées épurées

**ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

**BRM** : Bioréacteurs à membrane

**MBBR**: Bioréacteur à lit fluidisé

**PV** :Photovoltaïque



Introduction générale

### Introduction générale

L'eau, ressource fondamentale pour la vie et les activités humaines, se trouve au cœur des préoccupations mondiales face à sa raréfaction et aux enjeux environnementaux croissants. Ainsi, adopter une gestion éco-responsable de l'eau est devenu un impératif. Notre recherche s'articule autour de la conception d'une Station d'Épuration Industrielle (STEP) destinée au secteur pharmaceutique, visant principalement à favoriser la réutilisation efficace des eaux épurées.

Le secteur pharmaceutique, qui englobe la recherche, la production et la distribution de médicaments représente une des branches les plus lucratives et vitales sur le plan économique. Les laboratoires et entreprises de biotechnologie qui le composent sont donc appelés à optimiser leurs stations d'épurations dans le but de se conformer aux normes environnementales et de promouvoir la réutilisation de l'eau, soulignant l'importance de la durabilité dans leurs procédés de fabrication.

Ce travail de recherche détaille le processus de dimensionnement d'une Station d'Épuration des usées Industrielle (STEP) adaptée à l'industrie pharmaceutique, avec l'ambition de réemployer efficacement les eaux purifiées. Cette initiative s'insère dans une démarche de développement durable, cherchant à diminuer la consommation d'eau potable, à réduire les impacts sur l'environnement et à améliorer la gestion des ressources dans ce secteur.

Tout au long de cette étude, nous nous pencherons sur les aspects cruciaux de ce processus : depuis l'analyse des spécificités des eaux usées pharmaceutiques, en passant par le choix des technologies de traitement adéquates, la conception des installations de traitement, jusqu'à la gestion de la STEP et la valorisation des eaux traitées. Notre but est de fournir des recommandations concrètes et novatrices pour renforcer l'efficacité opérationnelle, l'engagement environnemental et la responsabilité sociale de l'industrie pharmaceutique.



## CHAPITRE I:

# Généralité sur les eaux usées chimiques

## I.1. Introduction

Les eaux usées provenant de l'industrie présentent une grande diversité de substance, telles que Les matières premières, les produits en cours de production, les déchets de production et Les articles finis dans l'industrie. Cette diversité témoigne de la variété des méthodes de production. Les eaux usées industrielles présentent une composition très variable en raison des combinaisons de substances et eaux usées domestiques dont la composition est plus homogène.

## I.2. Les eaux usées d'origine industrielle

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures. En raison de leur spécificité, certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. Elles ne sont mêlées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des stations d'épuration ou du milieu récepteur [46]. La mise en place de méthodes de gestion durable, telles que le recyclage des eaux usées traitées afin de les réutiliser dans les activités industrielles.

## I.3. Caractéristiques des eaux usées industrielles

Les eaux usées industrielles sont des liquides générés par les activités industrielles et peuvent présenter une grande variété de caractéristiques physiques et chimiques. Voici quelques détails sur les caractéristiques des eaux usées industrielles :

### ➤ Les caractéristiques physiques :

- **Les matières en suspension (MES) :** Les MES représentent les matières qui ne sont ni à l'état soluble ni à l'état colloïdal, donc qui sont retenues par un filtre. Les MES, qui comportent des matières organiques et minérales, constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel [1].

- **La température :** C'est un paramètre souvent négligé dans les collecteurs urbains, mais qui devrait être plus souvent mesuré surtout dans le cas de rejets industriels dans le réseau. Le fonctionnement de certains ouvrages d'épuration est très sensible à des températures trop élevées, ainsi tout rejet doit être inférieur à 30°C [3].

- **Turbidité :** La présence de particules en suspension dans les eaux usées industrielles est connue sous le nom de turbidité. Une forte turbidité peut causer des troubles dans les eaux et altérer la transparence de l'eau [2].

- **PH :** Le pH permet d'exprimer le degré d'acidité des eaux usées. Sa mesure est très importante pour juger le bon fonctionnement d'une étape de traitement.

- **La conductivité** : C'est une mesure simple, qui se pratique avec une électrode et fournit une indication précise sur la concentration totale en sels dissous. Par comparaison avec la conductivité de l'eau potable, il est ainsi possible de juger rapidement si des apports importants, en particulier industriels, ont lieu dans le réseau d'assainissement [3].

- **Odeur** : La présence de substances organiques ou chimiques dans certaines eaux usées Industrielles peut occasionner des odeurs particulières.

➤ **Les caractéristiques chimiques :**

- **Nutriments**: Si de grandes quantités de nitrates et / ou de phosphates ne sont pas retirées des eaux usées et que ces nutriments sont rejetés dans les environnements locaux, ils peuvent entraîner une augmentation de la DBO et une croissance extensive des mauvaises herbes, des algues et du phytoplancton. Cela peut en outre conduire à une eutrophisation, ou à une désoxygénation dans un plan d'eau, tuant les organismes et conduisant potentiellement à une hypoxie ou à des zones mortes environnementales.
- **La demande biologique en oxygène** : Elle correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour décomposer par oxydation et au moyen des bactéries aérobies, les matières organiques des eaux usées. Cette oxydation s'effectue en deux stades : Oxydation des composés de carbone, phénomène qui à 20°C, se trouve pratiquement terminer en 20 jours , Oxydation des combinaisons comprenant de l'azote, réaction qui ne s'amorce qu'au bout d'une dizaine de jour. La DBO5 exprime la quantité d'oxygène consommée par les bactéries, à 20°C et à l'obscurité pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temps qui assure l'oxydation par voie aérobie. Pour la mesure, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommée au bout de 5 jours ; c'est la DBO5 [4].
- **La demande chimique en oxygène (DCO)** : La quantité totale d'oxygène requise pour oxyder chimiquement les composés organiques et inorganiques présents dans un échantillon d'eau est connue sous le nom de demande chimique en oxygène (DCO), et elle est exprimée en mg de O<sup>2</sup>/l. On l'emploie pour mesurer la quantité de polluants ou de contamination organique présente dans un échantillon d'eau. La DCO permet d'évaluer la quantité de matière organique dégradable dans l'échantillon, ce qui peut fournir des données sur la pollution et la qualité de l'eau [2].
- **Carbone total organique (COT)** : Détermine des propriétés variables du carbone organique dissous et particulaire, du carbone organique provenant de substances volatils et du carbone minéral dissous. Sa mesure est réalisée par un analyseur de CO<sub>2</sub> à infrarouge après combustion catalytique à haute température de l'échantillon [5].
- **L'Azote global (NGL)** : Le taux d'azote global (NGL) dépasse la mesure NTK en tenant compte des formes oxydées de l'azote. L'azote nitreux (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) et l'azote nitrique (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) sont des formes oxydées fréquemment liées à des processus de nitrification et de pollution environnementale [2].

- **L'Azote total Kjeldahl (NTK)** : est utilisé pour mesurer la quantité de pollution azotée présente dans un échantillon d'azote ammoniacal,  
L'azote kjeldahl = Azote ammoniacal+ azote organique.
- **L'azote organique** : L'azote contenu dans les déjections animales, et plus généralement dans les matières organiques mortes, est progressivement libéré par l'activité de la microflore aérobie et anaérobie du sol, les acides uriques, les protéines.
- **L'azote ammoniacal** : L'azote ammoniacal est présent sous deux formes, l'ammoniac  $\text{NH}_3$  et l'ammonium  $\text{NH}_4^+$ . En milieu oxydant, l'ammonium se transforme en nitrite puis en nitrate.
- **Le phosphore total (PT)** : Le phosphore total (PT) est une quantité globale de composés organiques phosphorés et de phosphates déterminée par le phosphore total (PT). Le phosphore se trouve dans les eaux résiduaires sous formes:
  - D'orthophosphate, soluble  $\text{PO}_4\text{H}_2$  ;
  - De poly-phosphate qui a tendance à s'hydrolyser en orthophosphate;
  - De phosphore non dissous [6].
- **La biodégradabilité:**

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les microorganismes qui interviennent dans les processus d'épuration biologique des eaux. Elle est exprimée par un coefficient K Avec :  $K = \frac{DCO}{DBO5}$

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

Un coefficient K très élevé traduit la présence dans l'eau d'éléments inhibiteur 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 physicochimique [7].

#### I.4. Paramètres microbiologiques

La plupart des microorganismes présents dans les eaux usées sont éliminés avec les matières fécales. La flore intestinale normale et des agents pathogènes sont présents parmi eux. On peut classer ces microorganismes en quatre grandes catégories, selon leur taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes (vers parasites). Ces sont Les différentes catégories comprennent différents organismes, certains pouvant être dangereux pour la santé humaine si l'eau n'est pas correctement traitée avant d'être utilisée ou rejetée dans l'environnement.

### I.5. La nature de pollution causée par les industries chimiques

#### ➤ La pollution physique

Il s'agit d'une pollution causée par des agents physiques (tout élément solide entraîné par l'eau), principalement domestique et industrielle. Elle peut être divisée en trois catégories :

- Mécanique
- Thermique
- Radioactive

**Tableau 1:**différents types de pollution physique [8].

La pollution mécanique	La pollution thermique	La pollution radioactive
Les décharges de déchets et de particules solides apportées par les ERI, ainsi que les eaux de ruissellement, en sont la source. Ces polluants peuvent être soit des particules grossières, soit du sable, soit des matières en suspension, selon les cas.	Les usines qui utilisent un circuit de refroidissement éjectent des eaux à une température élevée (70-80 °C) qui diminue lorsque celles-ci entrent en contact avec les eaux des milieux aquatiques, ce qui entraîne un réchauffement de l'eau. Ceci impacte la capacité de l'oxygène à se dissoudre et a un effet significatif sur la survie des organismes aquatiques.	Il s'agit de celle provoquée par une possible radioactivité artificielle des émissions. Les substances radioactives se combinent avec les molécules des êtres vivants. À mesure que l'on progresse dans la chaîne alimentaire, les organismes deviennent plus vulnérable aux rayonnements.

#### ➤ La pollution chimique

On peut classer la pollution chimique des eaux en deux catégories :

- Organisme (hydrocarbures, pesticides, détergents, phénols...)
- Minéral (métaux lourds, cyanure, azote, phosphore...)

La contamination de l'environnement aquatique par des produits chimiques indésirables provenant des activités industrielles est connue sous le nom de pollution chimique industrielle. Les effets néfastes de cette pollution chimique peuvent affecter la qualité de l'eau, les écosystèmes aquatiques et la santé humaine. Des produits chimiques toxiques peuvent être déversés dans les eaux usées par les industries pharmaceutiques.

#### ➤ Pollution azotée et phosphorée

Les éléments nutritifs azote et phosphore provoquent l'eutrophisation, un phénomène qui se manifeste par une prolifération excessive d'algues et de plancton dans les écosystèmes aquatiques..

### I.6. Caractéristiques des eaux usées de L'industrie de produits pharmaceutique

Les eaux usées produites par le secteur pharmaceutique. Les caractéristiques spécifiques peuvent varier en fonction des méthodes de production, des ingrédients employés et des méthodes de gestion, ainsi que leurs éventuelles conséquences sur l'écosystème : Selon les procédés de fabrication et les produits, les eaux usées de l'industrie pharmaceutique peuvent avoir diverses caractéristiques:

- ✓ **Produits chimiques organiques** : Les produits chimiques organiques présents dans les eaux usées de l'industrie pharmaceutique peuvent inclure des solvants, des produits intermédiaires de fabrication, des composants actifs des médicaments .Ces composés peuvent augmenter (DBO) et (DCO) de l'eau traitée.
- ✓ **pH variable**: Le pH des eaux usées peut fluctuer en fonction des processus chimiques impliqués dans la production. Il peut être acide ou basique, nécessitant des ajustements pendant le traitement.
- ✓ **Température variable** : La température des eaux usées peut varier en fonction des opérations de fabrication, et des températures plus élevées peuvent affecter les processus biologiques de traitement.
- ✓ **Substances biologiques** : Dans quelques cas, des éléments biologiques comme des bactéries, des virus ou des protéines peuvent être présents dans les eaux usées, notamment dans les usines de production de vaccins ou de produits biologiques.
- ✓ **Produits de dégradation** : La production de certaines substances chimiques ou médicales peut entraîner la décomposition d'autres composés lors des étapes de traitement ou dans l'environnement, ce qui peut être présent dans les eaux usées.
- ✓ **Produits de nettoyage et de désinfection** : Les produits de nettoyage et de désinfection sont des substances qui sont utilisées pour nettoyer les équipements et les installations de production, ce qui peut englober des agents tensioactifs, des désinfectants, des solvants, et ainsi de suite.
- ✓ **Matériaux en suspension** : Les eaux usées peuvent contenir des particules solides, comme des résidus de produits chimiques, des matériaux de filtration, des particules de produits non dissous, et ainsi de suite.

### I.7. Les ingrédients des produits pharmaceutiques

Voici un aperçu des principaux types d'ingrédients que l'on trouve généralement dans ces produits :

- l'ibuprofène dans un médicament contre la douleur.
- le lactose est souvent utilisé comme excipient dans les comprimés.
- incluent les parabènes ou les sulfites.
- le dioxyde de titane est souvent utilisé pour colorer les comprimés.
- le sorbitol peut être utilisé comme édulcorant dans les sirops.

### I.8. L'impact de rejets des eaux usées de produits pharmaceutique sur l'environnement

Les eaux usées provenant de l'industrie pharmaceutique peuvent entraîner divers effets sur l'environnement, tels que :

- **Contamination de l'eau douce** : Les eaux usées pharmaceutiques peuvent être contaminées par les substances chimiques présentes dans les eaux usées, ce qui peut entraîner une

contamination des sources d'eau douce, comme les rivières, les lacs et les nappes phréatiques. Les conséquences peuvent être préjudiciables pour les écosystèmes aquatiques et la qualité de l'eau potable.

- **Toxicité pour la faune aquatique** : Danger pour les animaux aquatiques : Plusieurs médicaments ont été spécialement conçus pour avoir des effets biologiques particuliers, même à des concentrations faibles. Ces substances peuvent être toxiques pour la faune aquatique, y compris les poissons, les invertébrés et les organismes planctoniques, lorsqu'elles sont rejetées dans l'environnement.
- **Développement de la résistance aux médicaments** : L'apparition de la résistance aux médicaments peut être causée par les rejets d'eaux usées pharmaceutiques, ce qui peut entraîner la résistance des micro-organismes présents dans l'environnement. Ceci peut diminuer l'efficacité de certains médicaments lorsqu'ils sont employés pour soigner les maladies chez les êtres humains et les animaux.
- **Altération des écosystèmes aquatiques** : La présence de composés chimiques dans les eaux usées pharmaceutiques peut causer des perturbations dans les écosystèmes aquatiques en altérant les processus biologiques, en diminuant la diversité biologique et en perturbant les interactions entre les espèces.
- **Impact sur la santé humaine** : Bien que les eaux usées pharmaceutiques se diluent dans l'environnement, il existe un risque lié à la santé humaine, en particulier pour les populations proches des sites de rejet ou qui sont alimentées par des sources d'eau contaminées pour leur alimentation en eau potable. L'inégalité dans la répartition des ressources en eau associée à la dégradation de la qualité de l'eau engendrent de grands problèmes de santé.

## I.9. Conclusion

Dans ce chapitre, nous examinons l'influence importante des eaux usées chimiques sur l'environnement. Ces eaux, provenant de diverses activités, renferment des polluants qui mettent en péril les ressources en eau et les écosystèmes. Les substances toxiques, les métaux lourds et les matières organiques sont des contaminants qui entraînent des dommages à la biodiversité et à la santé. Il existe néanmoins des réglementations environnementales et des technologies d'épuration avancées afin de réduire ces conséquences. Il est donc crucial de bien connaître les diverses caractéristiques et la qualité des eaux usées industrielles à traiter lors de la conception d'une station d'épuration.



## CHAPITRE II :

# Épuration des eaux usées industrielles

## II.1. Introduction

L'épuration des eaux usées vise à éliminer les polluants issus des eaux usées, tels que les matières organiques, les substances chimiques toxiques et les agents pathogènes. Cela favorise la réduction des risques de pollution de l'eau potable, la préservation de la qualité des eaux et la préservation de l'équilibre des écosystèmes. Le processus d'épuration implique une combinaison de techniques physiques, chimiques et biologiques pour décomposer, neutraliser ou éliminer les polluants, ce qui garantit la propreté et la sécurité des eaux usées pour être rejetées dans l'environnement ou réutilisées [9].

## II.2. Procédés d'épuration des eaux usées industrielles

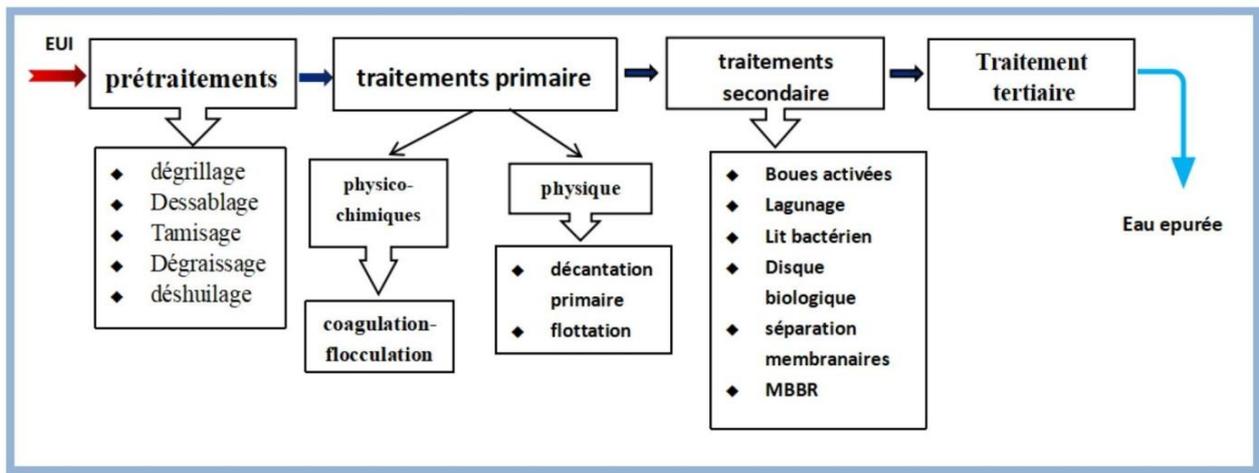


Figure 1 : Procédés d'épuration des ERI

## II.3. Le choix de procédé adéquat

Avant de choisir une méthode de traitement, il est primordial de bien connaître la qualité de l'effluent à traiter. Dans cette optique, il est primordial de tenir compte des éléments suivants :

- Les critères de qualité en question après le processus de traitement.
- La quantité de substances polluantes présentes.
- Le véritable motif de la pollution.
- La variété inhérente à la pollution.

## II.4. Les techniques d'épuration

### II.4.1. Les prétraitements :

L'objectif principal de cette étape est de séparer de la phase liquide les matières solides grossières, parmi les étapes de prétraitements on peut citer : le dégrillage, le dessablage, déshuilage et le dégraissage avant de passer aux étapes de traitement plus avancées.

Cette étape est cruciale car elle permet de protéger les équipements et les systèmes de traitement des dommages ultérieurs, tout en améliorant l'efficacité globale du processus d'épuration [9].

➤ **Dégrillage:**

Il implique le passage des eaux usées à travers une grille afin de filtrer les éléments les plus volumineux. Les barreaux de la grille, plus rapprochés les uns des autres, retiennent les éléments grossiers. Le nettoyage des grilles peut être effectué manuellement ou mécaniquement. Avant les étapes de traitement avancées, il est nécessaire de procéder à la purification pour prévenir les obstructions, protéger les équipements et améliorer l'efficacité globale du processus [9].



**Figure 2:** un dégrilleur grossier [9]

➤ **Tamissage:**

Le tamissage est un dégrillage poussé utilisé dans les stations d'épuration industrielles. Il consiste en une filtration sur toile mettant en œuvre des mailles de différentes dimensions. Il existe un macrotamissage (mailles > 0.3mm) et un tamissage (mailles < 100µm) telles que les sables et les débris fins.

➤ **Dessablage:**

Le dessablage consiste à retirer de l'effluent les sables et les particules minérales plus ou moins fines, afin de protéger les conduites et les pompes contre la corrosion et éviter même le colmatage des canalisations par les dépôts à la cour de traitement, la technique classique du dessaleur consiste à faire circuler l'eau dans une chambre de tranquillisation avec une vitesse d'environ de 0.3m/s qui permet le dépôt d'une grande partie des sables [10]. Selon le principe de fonctionnement on distingue deux types de bassin de dessablage : Les dessaleurs longitudinaux et les dessaleurs circulaires.

➤ **Dégraissage-déshuilage:**

Il vise à éliminer les matières grasses, les huiles et les graisses, ainsi que d'autres matières flottantes présentes dans l'eau brute avant qu'elle ne soit submergée par les étapes de traitement avancées. Cette étape est essentielle pour éviter les difficultés dans les systèmes de traitement et préserver l'efficacité des équipements. [11]

➤ **Homogénéisation et égalisation:**

Un réservoir d'égalisation regroupe les différents déversements et retient l'ensemble des eaux usées produites sur une journée ou plus. Cela assure une uniformité totale de l'effluent tout en

maintenant un débit constant, afin d'assurer un mélange homogène et d'éviter la sédimentation de substances susceptibles de se déposer. De plus, il est souvent indispensable d'aérer légèrement afin d'éviter la création d'odeurs indésirables. [11]



**Figure 3:** bassin Homogénéisation[11]

#### II.4.2. Le traitement primaire

Dans l'épuration des eaux usées, le traitement primaire est une simple décantation qui permet d'éliminer la majeure partie des matières en suspension et une partie des matières organiques présentes dans les eaux usées brutes [12].

#### II.4.3. Le traitement physico-chimique

C'est une méthode de traitement des eaux usées visant à éliminer les polluants par des méthodes physiques et chimiques. Différentes techniques sont combinées dans cette méthode pour éliminer les polluants présents dans les eaux usées en utilisant les caractéristiques physiques des substances et les interactions chimiques.

##### II.4.3.1. Coagulation et flocculation:

La coagulation et la flocculation sont des méthodes chimiques employées dans le traitement des eaux usées afin d'éliminer les particules en suspension ainsi que d'autres impuretés.

Voici comment ces processus fonctionnent :

- ✓ **Coagulation** : L'opération de coagulation consiste à intégrer des composés chimiques coagulants dans les eaux usées. En général, ces coagulants sont composés de sels de fer (sulfate de fer) ou de sels d'aluminium (sulfate d'aluminium  $Al_2(SO_4)_3$ ), ce qui leur permet de neutraliser les charges électriques des particules en suspension dans l'acide. Les particules ont souvent les mêmes charges électriques, ce qui les empêche de se regrouper de manière naturelle. L'ajout de coagulants permet d'inverser cette charge, favorisant ainsi l'attraction mutuelle des particules et créant des agrégats appelés « floccs » [13].
- ✓ **Flocculation** : L'eau se coagule et contient des particules agglomérées (floccs) de taille

microscopique, ce qui entraîne la floculation. Cependant, ces floes restent encore petits et suspendus dans l'eau. L'agitation douce de l'eau est nécessaire pour favoriser la collision et l'agrégation des floes en plus grands agglomérats. Ces floes plus gros sont plus faciles à enlever par la suite. L'eau est laissée en repos pendant un certain temps dans un réservoir de décantation (décanteur), afin que les floes se déposent au fond du réservoir [13].

#### II.4.3.2. Décantation

Il s'agit d'un processus de séparation des éléments liquides et solides qui se produit par l'effet de la gravité. Les particules solides se déposent dans le fond d'une structure appelée décanteur, formant ainsi les boues primaires. Ces boues sont ensuite récupérées à l'aide d'un système de raclage

Voici comment la décantation primaire fonctionne :

- ✓ **Sédimentation** : L'eau usée est déversée dans un grand bassin de décantation où elle reste à l'abri pendant quelque temps. À cette époque, les grosses particules solides et les matières en suspension peuvent s'accumuler au fond du bassin sous l'effet de la gravité. Une couche de boues se trouve au fond du bassin, tandis que l'eau clarifiée s'accumule en surface. Ce liquide clarifié, bien qu'il ne soit pas encore complètement pur, est partiellement débarrassé des particules solides en suspension [14].
- ✓ **Flottation** : L'étape de flottation peut être ajoutée dans certaines situations, notamment lorsque les eaux usées contiennent des matières grasses et des huiles. Il s'agit d'une technique qui consiste à injecter de l'air dans l'eau usée, ce qui produit des microbulles qui se fixent aux graisses et aux matières organiques extérieures. Ces particules aérées flottent de manière naturelle, ce qui facilite leur élimination à la surface du bassin [14].

#### II.4.4. Les traitements biologiques

Le traitement biologique implique l'emploi de micro-organismes vivants afin de décomposer les composés organiques et de supprimer les polluants présents dans les eaux usées. Les activités métaboliques naturelles sont utilisées par les bactéries, les champignons et d'autres micro-organismes afin de convertir les substances organiques en produits moins toxiques tels que de l'eau, du dioxyde de carbone et des sédiments [15].

Les diverses méthodes utilisées dans le domaine du traitement biologique comprennent :

- ✓ culture fixées (lits bactériens, disque biologique ,les biofiltres , Les lits fluidisés)
- ✓ boues activées,
- ✓ traitements anaérobies
- ✓ Bioréacteur à lit fluidisé (MBBR)
- ✓ le traitement des eaux usées avec les BRM

#### II.4.4.1. Traitement biologique aérobie

Pendant cette étape, les micro-organismes utilisent l'oxygène dissous dans l'eau pour désintégrer les composés organiques présents dans les eaux usées. Les bactéries aérobies utilisent ces matières organiques comme sources de nutriments pour leur propre croissance, tout en générant du dioxyde de carbone et de l'eau comme produits de sortie. Le traitement biologique aérobie est largement utilisé dans les systèmes de lagunage aéré, les boues activées et d'autres technologies similaires [16].

#### II.4.4.2. Procédés à cultures libres

On appelle procédés à cultures libres les techniques de traitement biologique des eaux usées qui utilisent des micro-organismes en suspension. Les techniques utilisant des cultures fixées diffèrent en ce sens que les micro-organismes peuvent se déplacer sans restriction. Les méthodes courantes pour traiter la pollution carbonée incluent la nitrification/dénitrification et des systèmes en deux étapes ou en série [16].

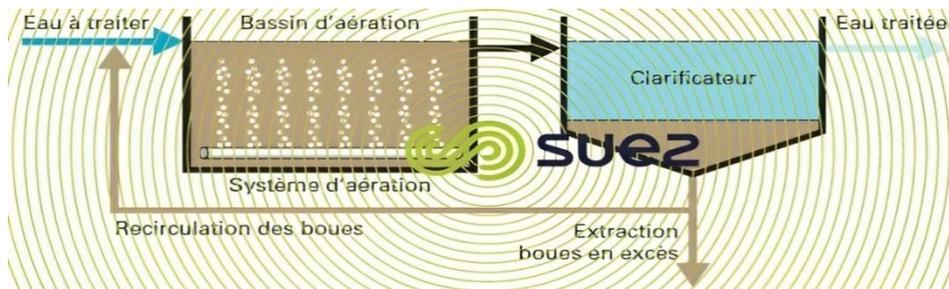


Figure 4: traitement biologique à boues activées [16]

#### II.4.4.3. Procédé à culture fixée

On procède au traitement des eaux usées par aérobie en se basant sur des techniques biologiques à culture fixée. L'oxygène dissous est utilisé par les micro-organismes afin de décomposer les matières organiques et de générer du dioxyde de carbone et de l'eau. Il existe plusieurs méthodes possibles, telles que les cultures fixes non immergées, les cultures fixes immergées et les procédés mixtes qui utilisent un matériau support ou mobiles [16].

#### II.4.4.4. La biofiltration

La biofiltration est une méthode biologique qui a été largement utilisée dans le domaine industriel afin de détruire les gaz ou l'eau pollués. Cette méthode implique de contraindre le gaz ou l'effluent à être traité en passant par un matériau granulaire sur lequel sont fixés les micro-organismes désodorisants. On nomme cette installation le biofiltre.

#### II.4.4.5. Lit bactérien

Ce procédé consiste à alimenter en eau, préalablement décantée, un ouvrage contenant une masse de matériaux (pouzzolane ou plastique) servant de support aux microorganismes épurateurs qui y forment un film biologique responsable de l'assimilation de la pollution. L'aération naturelle se fait grâce à des ouïes d'aération. Le film biologique se décroche au fur et à mesure que l'eau percole. En sortie du lit bactérien se trouve un mélange d'eau traitée et de biofilm. Ce dernier sera piégé dans le décanteur sous forme de boues et l'eau traitée rejoint le milieu naturel.

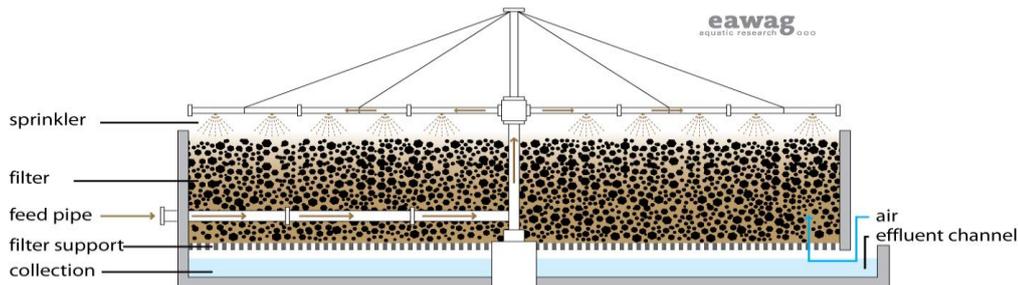


Figure 5: lit bactérien[16].

La recirculation de l'effluent traité en tête de réacteur est souvent utilisée dans les lits à forte charge pour augmenter le débit de liquide à travers le lit filtrant. Cela permet de maintenir une forte charge organique, d'éviter le colmatage du lit provoqué par la prolifération bactérienne, et de donner une nouvelle chance à la matière organique non dégradée d'être traitée biologiquement.

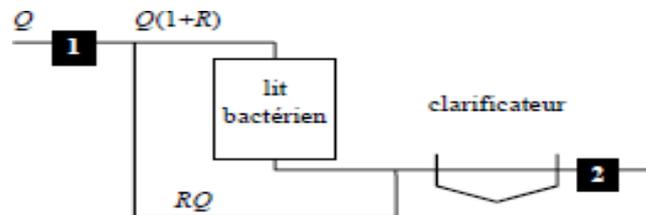


Figure 6: Lit bactérien à forte charge

#### II.4.4.6. Les procédés à lit mobiles

Les lits mobiles sont des systèmes de traitement des eaux usées qui utilisent des supports solides en mouvement pour permettre le contact entre les micro-organismes et les eaux usées, avec l'oxygène obtenu par aération forcée ou naturelle. Ces lits mobiles sont divisés en deux catégories principales : les lits fluidisés, où l'air est préalablement dissous, et les lits turbulents, où l'air est introduit directement dans le réacteur, permettant de réduire les substances en suspension et de contrôler les excès de boues dans un bâtiment en aval [15].

#### II.4.4.7. Disques biologiques

L'eau usée, préalablement décantée, alimente un ouvrage dans lequel des disques fixés sur un axe horizontal sont mis en rotation à vitesse lente. Sur ces disques biologiques en plastique se développe alors un film bactérien. Lors de leur émergence, ces bactéries prélèvent l'oxygène nécessaire à leur respiration et elles absorbent la pollution dissoute dont elles se nourrissent. Dès que

le film biologique dépasse une épaisseur de quelques millimètres, il se détache et est entraîné vers le décanteur final où il est séparé de l'eau épurée. Les boues ainsi piégées sont renvoyées par pompage périodique vers l'ouvrage de tête pour y être stockées et digérées [17]. L'inconvénient majeur des disques biologiques est leur sensibilité au gel et aux intempéries.

#### II.4.4.9. Traitement biologique anaérobie

Le traitement biologique anaérobie sans oxygène est réalisé par des bactéries anaérobies qui décomposent les matières organiques en biogaz, principalement du méthane et du dioxyde de carbone. Ce processus est instauré après les traitements primaires et chimiques pour réduire la DCO, la DBO et d'autres polluants organiques, ce qui aide à réduire la pollution de l'eau [16].

#### II.4.4.10. Bioréacteur à lit fluidisé (MBBR)

La technologie MBBR présente un haut niveau d'adaptabilité à différents types de rejets, en particulier dans les secteurs industriels. Les réacteurs à lit mobile utilisent des supports en plastique, recouverts d'un biofilm, pour décomposer les déchets organiques avec lesquels ils entrent en contact dans les eaux usées. Ces supports, également appelés transporteurs, sont immergés dans le réacteur biologique et, grâce à leur mouvement, augmentent les performances et la capacité d'épuration du système MBBR sans qu'il soit nécessaire d'augmenter la taille du réacteur. Le processus MBBR fonctionne grâce à l'activité de micro-organismes qui se fixent sur des solides poreux de grande surface flottant dans le milieu des eaux usées. Sa fonction est de faciliter la croissance de colonies complexes composées de micro-organismes et de bio-matière (biofilm). [18]

Les avantages les plus importants du procédé MBBR sont les suivants :

- Leur installation nécessite peu d'espace.
- Facile à utiliser, il ne nécessite pas de recirculation des boues, ni de contrôle du temps de séjour des cellules.
- Élimination des problèmes de gonflement.
- Excellente qualité des effluents.
- Capacité à supporter les pics de charge et les variations de débit.
- Il s'agit d'un système à fonctionnement continu, qui ne nécessite pas d'attention constante ni d'interruption du traitement.

#### II.4.4.11. Le traitement des eaux usées avec les BRM

Les systèmes BRM diffèrent des autres procédés biologiques en ce qu'ils intègrent un traitement de filtration tertiaire qui produit une eau traitée de haute qualité, qui peut être réutilisée pour certaines applications. Les systèmes BRM sont couramment utilisés pour les processus de traitement des eaux usées municipales, industrielles et même domestiques où la réutilisation de l'eau est souhaitée. Les bioréacteurs à membrane (BRM) sont une variante des systèmes à lit mobile et à membrane utilisés pour le traitement des eaux usées. Dans un système BRM, les micro-organismes décomposent la matière organique présente dans les eaux usées et l'eau traitée passe ensuite à travers un filtre à membrane pour éliminer les solides en suspension et les micro-organismes restants. Il en

résulte une eau traitée qui peut être réutilisée ou rejetée dans l'environnement [18]. Actuellement, il existe sur le marché deux configurations principales de BRM :

- ✓ le BRM à boucle externe.
- ✓ Le BRM immergé.

➤ **Les avantages:**

Les principaux avantages offerts par les bioréacteurs à membrane MBR sont les suivants :

- **Efficacité accrue:** les BRM permettent l'élimination des polluants et la production d'une eau de haute qualité.
- **Moins d'espace:** les BRM nécessitent moins d'espace que les systèmes conventionnels de traitement des eaux usées.
- **Plus grande flexibilité:** les BRM sont plus flexibles que les systèmes conventionnels de traitement des eaux usées, ce qui leur permet de s'adapter à différents types d'eaux usées et de charges polluantes.
- **Production réduite de boues:** les BRM produisent moins de boues que les systèmes conventionnels de traitement des eaux usées, ce qui réduit les coûts d'élimination des boues.

#### II.4.5. Traitement tertiaire

Après le traitement secondaire, les eaux sont parfois rejetées dans le milieu naturel. Autrement, elles subissent un traitement complémentaire ou "affinage". Cet affinage permet soit : Une réutilisation à des fins industrielles ou agricoles, La protection du milieu naturel où cette eau est rejetée, La protection des prises d'eau situées en aval, L'objectif des traitements tertiaires est d'éliminer les éléments indésirables tels que les MES, la DCO (dure et colloïdale), le phosphore, et les composés spécifiques (pesticides, métaux, détergents...). Ils visent à améliorer la qualité de l'eau épurée en vue de leur rejet dans le milieu naturel ou de leur réutilisation.

##### II.4.5.1. Filtration avancée:

Est un procédé physique qui permet de retenir les microorganismes par rétention à l'aide d'un filtre. Qu'elle soit réalisée sur sable ou sur membrane cette technique exige une épuration secondaire préalable garantissant une élimination assez poussée des matières en suspension. L'élimination des virus, des bactéries et des protozoaires est fonction du milieu poreux, de la vitesse de percolation, de l'épaisseur du massif filtrant et du niveau d'oxydation de l'eau filtrée.

##### II.4.5.2. Désinfection:

Le traitement sophistiqué de l'eau implique Un abaissement de la teneur des micro-organismes et des bactéries présents dans l'eau traitée. Parfois exigé pour le cadre d'une réutilisation, il sera réalisé par des traitements de désinfection chimique par:

➤ **L'ozonation:**

L'ozonation permet de désinfecter l'eau en utilisant l'ozone ( $O_3$ ), Est un oxydant puissant, la désinfection par l' $O_3$  est utilisée aux États Unis, en Afrique du Sud et au Moyen Orient essentiellement. Il permet l'élimination des bactéries, des virus et des protozoaires. C'est le seul procédé vraiment efficace contre les virus. Les tests de toxicité effectués sur des poissons, des crustacés et des algues n'ont pas permis de mettre en évidence une quelconque toxicité

➤ **Ultraviolette avancée (UV avancée):**

L'utilisation des rayons UV-C pour la désinfection ultraviolette (UV) permet de détruire l'ADN des microorganismes, les empêchant ainsi de se reproduire ou de provoquer des infections. Les pathogènes sont éliminés ou inactifs grâce à cette technique, ce qui diminue le risque de contamination de l'eau et de propagation de maladies. Elle sert fréquemment à purifier l'eau et l'air. [19].

➤ **Charbon actif:**

Les charbons actifs permettent d'adsorber efficacement ces micropolluants indésirables.. En fonction des contraintes locales et techniques de la station d'épuration des eaux, le choix se porte sur des charbons actifs en poudre (CAP) ou des charbons actifs en granulés (CAG) [20] , il permet d'améliorer la qualité de l'eau avant son rejet ou sa réutilisation, avec des utilisations telles que l'adsorption, la rétention des métaux lourds, la décoloration et la préparation de l'eau pour les industries.

➤ **La chloration:**

Le chlore est très réactif et, une fois ajouté à l'eau, il réagit rapidement avec la matière organique et réduit sa solubilité. Une fois qu'il réagit avec les contaminants, les composés chimiques qui en résultent nuisent aux bactéries, aux parasites et aux virus présents dans l'eau. Il en résulte une destruction de ces agents infectieux, il assure que l'eau respecte les normes sanitaires avant de la rejeter ou de la réutiliser [21].

### II.4.5.3. Élimination des nutriments avancée

Une méthode qui a pour objectif de diminuer de façon plus importante les niveaux de nutriments

➤ **Réduction de la DCO dure:** Afin de supprimer la DCO persistante, qui résiste aux traitements primaires et secondaires, on recourt à des méthodes chimiques d'oxydation, comme l'ozonation, ainsi qu'à des méthodes physiques de séparation des composés. Le traitement de ces composés organiques résistants est souvent effectué en utilisant l'adsorption sur charbon actif [19].

➤ **Traitement du phosphore:**

L'élimination du phosphore, ou "dé phosphatation", peut être réalisée par des voies Physico-chimiques ou biologiques. En ce qui concerne les traitements physico-chimiques, l'adjonction de réactifs, comme des sels de fer ou d'aluminium, permet d'obtenir une précipitation de phosphates

insolubles et leur élimination par décantation. Ces techniques, Les plus utilisées actuellement, éliminent entre 80 % et 90 % du phosphore, mais engendrent une importante production de boues, ce qui permet d'améliorer la qualité de l'eau avant de la rejeter dans l'environnement.

### ➤ Traitement de l'azote :

Le traitement des composés azotés se déroule en deux étapes : La première phase est la nitrification en milieu aérobie (formation de nitrites puis de nitrates à partir de l'azote organique et ammoniacal). Dans une seconde phase en conditions anoxiques, les nitrates sont réduits en azote moléculaire en présence de carbone. La dénitrification peut avoir lieu soit dans un réacteur situé en amont du réacteur aéré pour bénéficier de l'apport de carbone provenant de l'effluent, soit dans un réacteur placé en aval du réacteur aéré avec ajout d'une source carbonée externe (méthanol, par exemple), soit dans le même réacteur en alternant les conditions aération/anoxie. Le rendement est voisin de 95 % [22].

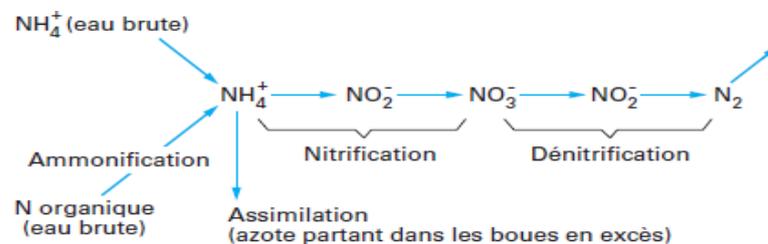


Figure 7: étape de dégradation biologique de l'azote.

#### II.4.6. Procédés de traitement de boues

L'objectif du traitement des boues dans le traitement des eaux usées est de gérer, diminuer le volume, stabiliser la composition et réduire la toxicité des résidus solides produits lors du processus, tels que des matières organiques, des micro-organismes, des substances toxiques et des composés inorganiques [23].

Voici les principales étapes du traitement des boues :

- **Épauississement** : La première étape du traitement des boues est l'épauississement, qui permet de réduire le volume des boues à traiter ou à disposer .
- **Stabilisation** : diminution de la capacité des matières organiques à se dégrader dans les boues afin de diminuer les odeurs désagréables comme La digestion aérobie et anaérobie.
- **La déshydratation** : vise à diminuer la quantité d'eau présente dans les boues afin de les rendre plus pratiques à manipuler, ce qui facilite leur gestion et leur transport comme le filtre à bandes et La centrifugation.
- **Exploitation** : Exploitation des boues déshydratées en tant qu'amendements pour les sols agricoles, générateurs d'énergie ou dans d'autres domaines.
- **Élimination** : En cas de non-valorisation, il est nécessaire de procéder à une élimination adéquate des boues, ce qui peut inclure leur incinération, leur mise en décharge spéciale [23].

#### II.4. Conclusion

Les eaux usées de différentes compositions et de diverses origines constituent un problème pour la nature lors du rejet sans subir de traitements au préalable. Afin de montrer l'intérêt de leur épuration, nous avons présenté dans ce chapitre, les différentes méthodes utilisées pour l'épuration de ces eaux.



## CHAPITRE III :

# La Réutilisation des eaux usées épurées

### III.1. Introduction

L'eau est une ressource naturelle très limitée dans les régions semi-arides. Elle est très demandée. Elle est nécessaire à toutes activités socio-économiques. Certaines activités sont plus exigeantes en eau et d'autres plus prioritaires, mais le plus souvent l'eau utilisée est dégradée et polluée. Les rejets issus des utilisations domestiques et industrielles de l'eau peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes pathogéniques, menacent la qualité de l'environnement dans son ensemble.

Cependant si l'eau est préalablement traitée, elle trouve d'autres utilisations surtout dans le domaine agricole, où elle vient valoriser l'itinéraire technique mis en application pour produire plus.

En Algérie, la stratégie du ministère des ressources en eau dans le domaine de l'épuration est basée sur la protection de la ressource hydrique, la réutilisation des eaux usées épurées, notamment à des fins agricoles.

### III.2. Catégories de réutilisation des eaux usées épurées

#### III.2.1 Réutilisation à titre d'eau potable :

La réutilisation des eaux usées épurées à titre d'eau potable peut prendre deux formes :

- **Réutilisation directe à titre d'eau potable :** La réutilisation directe des eaux usées épurées à titre d'eau potable consiste à acheminer directement l'eau traitée d'une station d'épuration vers un système d'approvisionnement en eau potable, sans passer par le milieu naturel. C'est un mode de réutilisation très peu répandu car il manque l'étape de traitement supplémentaire offerte par le milieu naturel. Il ne doit être mis en œuvre que lorsqu'aucune autre solution n'est possible [24].
- **Réutilisation indirecte à titre d'eau potable :** La réutilisation indirecte des eaux usées épurées à titre d'eau potable consiste à rejeter les eaux traitées dans un cours d'eau ou une nappe souterraine qui alimente ensuite une usine de traitement pour la production d'eau potable. C'est une approche sûre et efficace lorsqu'elle est correctement mise en œuvre [25].

#### III.2.2 Réutilisation en zone urbaine

La réutilisation de l'eau en milieu urbain est caractérisée par un développement rapide en raison de son rôle crucial pour la ville durable du futur. En plus de l'irrigation urbaine d'espaces verts, d'autres applications prennent de l'importance comme les usages industriels (nettoyage, lutte contre les incendies, tours de refroidissement, etc.), le recyclage en immeuble et les usages environnementaux pour le maintien et la restauration des plans d'eau, des rivières et des zones humides, La climatisation d'immeubles, les chasses d'eau, et l'approvisionnement de fontaines décoratives Les bassins d'agrément, les piscines, les bassins pour la pêche et la navigation de plaisance [25].

### III.2.3 Réutilisation et recyclage industriels

La réutilisation et le recyclage interne des eaux usées industrielles sont des pratiques bien établies. Leur potentiel de développement devrait augmenter dans le future avec la croissance des déficits en eau et des coûts d'approvisionnement en eau fraîche, ainsi que en raison des exigences réglementaires de rejet de plus en plus strictes. Bien qu'il existe un large éventail de types de réutilisation de l'eau en industrie, les principaux usages sont :

- ✓ systèmes de refroidissement en circuit ouvert ou fermé.
- ✓ Eau de lavage.
- ✓ Alimentation de chaudière.
- ✓ Eau de process.
- ✓ divers autres usages comme la protection contre l'incendie, le nettoyage, etc.

Les exigences et les domaines d'application du recyclage de l'eau en industrie diffèrent en fonction du type d'industrie, des procédés industriels spécifiques, ainsi que de leurs objectifs de performances. Pour cette raison, il est impossible de généraliser les exigences de qualité de l'eau recyclée utilisée comme eau de process [25].

### III.2.4 Amélioration des ressources

La recharge des nappes est principalement motivée par la dégradation de l'environnement et/ou la diminution des réserves d'eau. Ce genre de réutilisation (injection ou infiltration) se produit surtout dans les zones arides où les eaux souterraines doivent être asséchées ou dans les zones côtières où les eaux souterraines sont envahies par l'eau de mer.

Le dispositif de la recharge de nappe consiste à faire infiltrer ou percoler les EUT dans le sous-sol dont les principaux objectifs sont :

- La restauration d'une nappe surexploitée par excès de pompage et dont le rabattement est préjudiciable.
- La protection des aquifères côtiers contre l'intrusion d'eau salée
- Le stockage des eaux pour une utilisation différée.
- L'amélioration du niveau de traitement de l'eau en utilisant le pouvoir auto épurateur du sol

### III.2.5 Réutilisation en agriculture

L'emploi des eaux usées en agriculture est très ancien et les champs d'épandage ont constitué les premiers systèmes d'épuration. Le sol est un filtre efficace et un hectare contient jusqu'à une ou deux tonnes de microorganismes. Aujourd'hui l'intérêt principal de la réutilisation des eaux usées en culture est plus souvent l'apport d'eau indispensable aux plantations (zones arides) que l'épuration par le sol ou l'apport d'éléments nutritifs. Des dispositions doivent être prises pour éviter les dépôts et la corrosion dans le système de distribution et un traitement préliminaire de décantation des effluents bruts est dans tous les cas à conseiller. Un prétraitement biologique est aussi souvent recommandé. Il permet, en particulier, de réduire sensiblement les risques d'odeurs [26].

L'utilisation des eaux usées traitées en agriculture présente plusieurs avantages :

- ✓ En particulier, la conservation des ressources en eau douce leur allocation plus rationnelle dans les passes.
- ✓ Mesure pour prévenir la pollution des eaux de surface en évitant le rejet des eaux usées particules d'eau.
- ✓ Améliorer les propriétés physiques du sol en ajoutant de la matière organique:
- ✓ Prévention de l'érosion [26].

### III.3. Les avantages de la REUE en Algérie

La Réutilisation des Eaux Usées Traitées (REUE) en Algérie comporte de nombreux bénéfices importants, tels que :

- **Optimisation de la gestion des ressources en eau** : La REUE permet de préserver les ressources en eau douce, qui sont limitées dans L'Algérie. En réutilisant les eaux usées traitées, on réduit la pression sur les ressources en eau potable, qui sont souvent rares dans certaines régions d'Algérie.
- **Impact économique positif** : Dans certaines situations, il est possible d'éviter les coûts liés à l'élimination des nutriments des eaux usées, limiter ou supprimer l'emploi d'engrais chimiques lors de l'irrigation et garantir des bénéfices supplémentaires en vendant de l'eau recyclée et des produits dérivés.
- **Valeur environnementale** : Mettre à niveau et préserver les plans d'eau en cas de sécheresse, prévenir les conséquences néfastes associées à la création de nouveaux barrages, réservoirs, etc... , encourager l'amélioration du cadre de vie et de l'environnement (espaces verts, etc.) et bénéficier des éléments nutritifs fournis par l'eau d'irrigation afin d'accroître la productivité des cultures agricoles et la qualité des .espaces verts.
- **Sécurité alimentaire** : L'exploitation des eaux usées traitées dans le domaine agricole permet d'accroître l'utilisation d'eau pour l'irrigation des terres agricoles. En augmentant les rendements des cultures, cela peut renforcer la productivité agricole et contribuer à renforcer la sécurité alimentaire.

### III.4. Les risques liés à la réutilisation des eaux épurées

Les risques potentiels liés à la réutilisation des eaux usées épurées incluent :

- **Risques sanitaires** : Les eaux usées contiennent de nombreuses substances présentant des dangers pour la santé humaine. Ce sont les micro-organismes pathogènes (virus, bactéries et

parasites) et les micropolluants (métaux lourds et micropolluants organiques). Dans les stations d'épuration, des traitements (décantation, filtration, digestion bactérienne, etc.) permettent de réduire fortement les concentrations de ces contaminants.

Accumulation de métaux lourds et de composés chimiques dans les sols et les cultures irriguées avec des eaux usées traitées [26].

- **Risques environnementaux** : L'utilisation d'eau usée peut avoir également des effets négatifs sur l'environnement et la santé humaine. Les principaux dangers pour l'environnement associés à l'eau usée sont [27] :
  - ✓ Contamination des eaux de surface et des nappes phréatiques par les eaux usées traitées mal contrôlées.
  - ✓ Dégradation de la qualité des sols par l'accumulation de sels, de nutriments et de polluants.
  - ✓ L'introduction des produits chimiques dans des écosystèmes sensibles (principalement le sol, l'eau et les plantes),
  - ✓ La propagation des microorganismes pathogènes.
  
- **Risques liés à la réglementation** :
  - ✓ Il est essentiel de se respecter aux normes et réglementations actuelles afin de garantir une réutilisation sans danger des eaux usées traitées.
  - ✓ La réutilisation des eaux usées en Algérie manque d'un cadre réglementaire clair et complet.
  
- **Risques sur les terres agricoles** : La réutilisation des eaux épurées pour l'irrigation des terres agricoles ne se fait pas sans prendre en considération les risques suivants [26] :
  - ✓ Le risque microbiologique :
    - On retrouve des micro-organismes à la surface des plantes et sur le sol. Il est possible qu'une contamination se produise pendant la croissance des végétaux ou même pendant la récolte.
    - La qualité des eaux souterraines et de surface peut être affectée par l'irrigation souterraine ou gravitaire.
    - L'irrigation par aspersion génère des aérosols qui peuvent causer des problèmes de santé chez les humains.
  
  - ✓ Le risque chimique :
    - Les petites quantités de micropolluants présentes dans les eaux usées traitées peuvent entraver la recharge des aquifères.
    - L'émergence de nouvelles substances dangereuses.

- **Résistance aux antibiotiques** : Les eaux de ruissellement peuvent renfermer des résidus d'antibiotiques issus de l'usage médical et vétérinaire. Les eaux usées épurées utilisées de manière continue pour l'irrigation peuvent encourager la prolifération de bactéries résistantes aux antibiotiques dans les sols agricoles, ce qui peut avoir des conséquences néfastes pour la santé humaine et animale [26].

Paramètre	unité	Valeurs seuil
Température	°C	< 30
Ph	-	6.5 à 8.5
Oxygène dissout(*)	mg O2/l	> 5
MES	mg/l	< 30
DBO5	mg/l	< 40
DCO	mg/l	< 90
Azote total	mg/l	< 50
Phosphore (PO4)	mg/l	< 02
Huile et graisse	mg/l	< 20
Coliformes fécaux(*)	nombre de CF/100mL	<1000 CF/100Ml

Source : ANRH (ALGER)

**Tableau 2:** Norme de la REUE en Algérie

### III.5. Conclusion

La réutilisation des eaux usées épurées est une méthode en pleine expansion, principalement liée à l'agriculture, mais qui peut également être utilisée dans d'autres domaines professionnels tels que l'industrie et l'utilisation urbaine. Heureusement, il existe plusieurs solutions techniques pour se conformer aux normes de réutilisation existantes.



# CHAPITRE IV :

## Présentation de la zone d'étude

### IV.1. Introduction

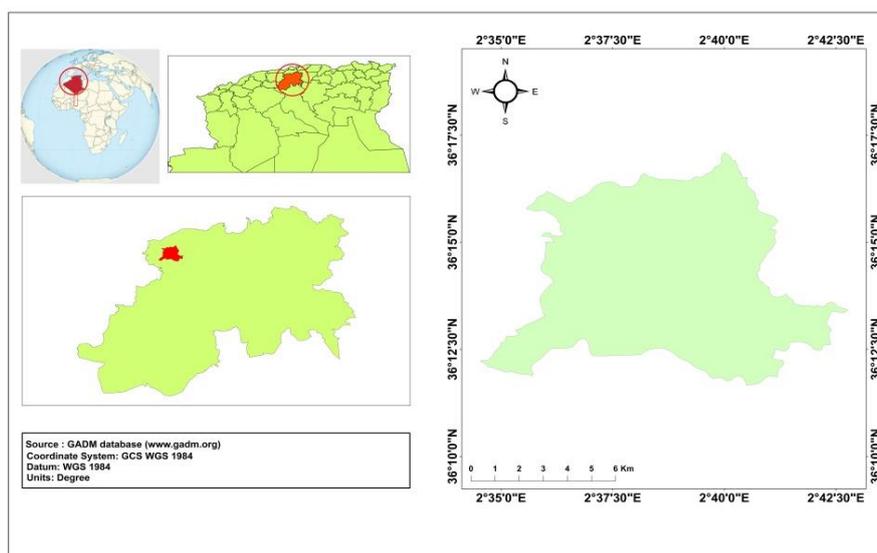
Avant de procéder à l'importation du projet que vous devez utiliser, il est essentiel de se familiariser avec les caractéristiques physiques du projet et les résultats qui l'influencent .

### IV.2. Présentation de la commune de Harbil

La commune de Harbil est située dans le tell central algérien dans l'Atlas tellien dans l'Atlas blidéen à environ 90 km au sud-ouest d'Alger et à 16 km au sud-ouest de Médéa et à environ 45 km au sud-ouest de Blida et à 40 km au nord-ouest de Berrouaghia et à 60 km à l'est d'Aïn Defla et à 45 km au sud-est de Tipaza.

### IV.3. Situation géographique de la commune Harbil

Sur le plan géographique, Harbil est située dans la wilaya de Médéa , La localité de Harbil elle se trouve à 36.2268 Nord latitude et 2.632787 Est longitude, à environ 90 km au sud-ouest d'Alger.



**Figure 8 :** Situation géographique de la ville de Harbil

Elle est délimitée par :

- Au nord par la commune Tamesguida , Ouamri.
- À l'est par la commune Draa Essamar.
- À l'ouest par la commune Ouamri.
- Au sud par la commune Bouaichoune , Si Mahdjoub et Hannacha .

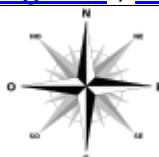
Communes limitrophes de Oued Harbil		
<a href="#">Ouamri</a>	<a href="#">Tamesguida</a> , <a href="#">Ouamri</a>	<a href="#">Tamesguida</a>
<a href="#">Ouamri</a>		<a href="#">Draa</a> <a href="#">Essamar</a>
<a href="#">Hannacha</a>	<a href="#">Bouaichoune</a>	<a href="#">Si</a> <a href="#">Mahdjoub</a>

Figure 9:Communes limitrophes de Oued Harbil

#### IV.4. Situation géographique de Le Complexe d'Antibiotiques

Le Complexe d'Antibiotiques de Médéa est situé à 12 km à l'ouest de la ville de Médéa, et à environ 6 km de la ville de Harbil, sur la route nationale qui relie Médéa à Khamis, et à 100 km de l'aéroport et du port d'Alger. Le Complexe d'Antibiotiques est située à 36.256847° Nord latitude et 2.674148 Est longitude

Société filiale à responsabilité limitée :

**Au Nord:** par des terres de parcours.

**Au Sud:** par la RN 18 reliant Médéa à El Khemis.

**À l'Est:** par un terrain accidenté.

**A l'Ouest:** par des terres de parcours.

#### IV.5. Données sur l'environnement naturel et humain

##### IV.5.1. Géologie:

La zone d'étude appartient à la partie montagneuse de Mouzaia où se prolonge une série de plis déversée au Nord et au Sud. Ce bassin tertiaire est formé de deux synclinaux successifs ; au Nord, le massif de Blida Sud, le plus aigu, est connu sous le nom de VESSOUL BENIAN, au Sud, le mont GONTAS, très largement étalé, qui va se relever au Sud le long de la chaîne crétacée des MATMATA. Les deux synclinaux sont séparés par un faible anticlinal visible dans la vallée de l'Oued ZEBODJ, qui permet de constater la superposition discordante des deux étages du Miocène.

Les formations géologiques qu'on y trouve, sont les suivantes [31] :

- Les argiles inférieures, représentent la structure la plus dominante du territoire communal. En effet, on les trouve au Nord et l'Ouest de la commune ;
- Les grés de VESSOUL -BENIAN, dont l'épaisseur peut atteindre 50 mètres en bande. Ces formations occupent le flanc du GONTAS, au porteur de MOUZAIA pour se terminer dans notre zone d'étude sous forme d'une bande traversant les formations d'argiles inférieures de l'Est à l'Ouest.
- Des lambeaux de terrains caillouteux rouges de l'aquitaniens, à l'aspect alluvionnaire, restent les derniers témoins d'une bande très développée se poursuivant jusqu'à l'extrémité du DJURDJURA .
- Quant au Cénomaniens constitué essentiellement de marnes et de calcaires, il se dispose en strates

réglées qui forment des affleurements restreints, rattachant vers l'Est à la bande crétacée de Médéa, et au Sud, au massif de BERROUAGUIA.

- Le long de Oued Harbil, les limons présentent un développement considérable en alluvions récentes qui s'étend jusqu'à la plaine de Chlef .

-L'albien sous forme d'argiles grises ou noires feuilletées avec intercalations de quartzites au Sud de la commune. Le terrain d'assiette du complexe antibiotique de Médéa appartient aux formations argileuses miocènes très épaisses qui arrivent jusqu'à 200m de profondeur. Ces roches sédimentaires tendres, friables et imperméables jouent un rôle important dans la circulation et les accumulations des eaux.

#### IV.5.2. Hydrographie:

Le site du complexe antibiotique de Médéa est compris dans le bassin versant de l'Oued Harbil, qui est à son tour affluent de l'Oued Chelif, dont le cours d'eau est formé par la confluence de plusieurs Oueds (Hairech, Zenoudja, Berbour et Azib) et ravins qui prennent leurs sources sur le versant Nord des monts situés au sud de la RN 18 et le versant sud situé au Nord de cette dernière [31].

#### IV.6. Données Climatiques

Il est crucial d'étudier la climatologie car la compréhension des précipitations, de la température, du vent, de la vitesse du vent et de l'humidité de l'air nous permet de dimensionner de manière adéquate les complexes et autres structures.

##### a. La température:

La période chaude s'étend sur 2,8 mois, du 17 juin au 11 septembre, avec une température moyenne quotidienne supérieure à 28°F. Durant l'année, août est le mois le plus chaud à Harbil, avec une température moyenne maximale de 32 °C et minimale de 17 °C. La saison fraîche se déroule sur une période de 4,1 mois, du 17 novembre au 20 mars, avec une température moyenne quotidienne inférieure à 16°F. Janvier est le mois le plus froid de l'année à Harbil , avec une température moyenne de 1 °F et une température maximale de 11 °C .

**Tableau 3:**Température moyenne annuelle [28]

TEMP	Jan	Fev	Mar	Avr	May	Jun	Jul	Aut	Sep	Oct	Nov	Dec
HAUTE	11°C	12°C	15°C	18°C	22°C	28°C	32°C	32°C	27°C	22°C	16°C	12°C
MOYENNE	6°C	7°C	9°C	12°C	16°C	21°C	25°C	25°C	21°C	16°C	10°C	7°C
BASE	1°C	2°C	3°C	6°C	10°C	14°C	17°C	17°C	14°C	10°C	6°C	2°C

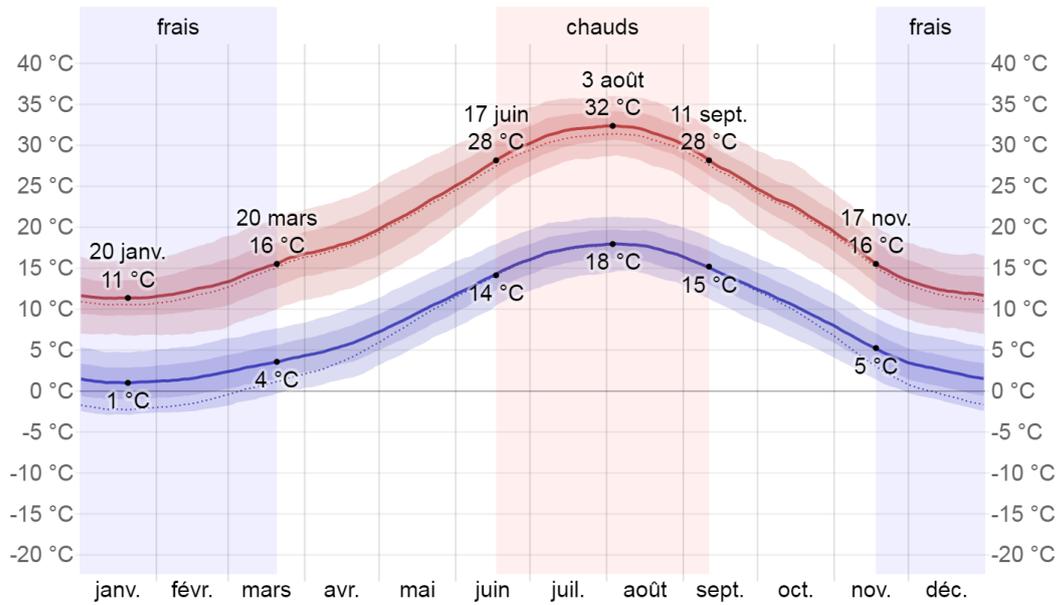


Figure 10: Courbe de température moyenne annuelle[28]

**b. Précipitation:**

Tableau 4: Précipitation mensuelle moyenne[28]

	janv.	févr.	mars	avr.	mai	juin	juil.	Août	sept.	oct.	nov.	déc.
Pluie(mm)	48,8	49,7	42,5	42,4	34,1	10,6	2,8	7,7	22,5	33,7	49,0	52,9

Pour montrer la variation au cours des mois et pas seulement les totaux mensuels, nous montrons l'accumulation de pluie au cours d'une période glissante de 31 jours centrée sur chaque jour de l'année. Harbil connaît des variations saisonnières modérées en ce qui concerne les précipitations de pluie mensuelles. La période pluvieuse de l'année dure 9,5 mois, du 28 août au 12 juin, avec une chute de pluie d'au moins 13 millimètres sur une période glissante de 31 jours. Le mois le plus pluvieux à Harbil est décembre, avec une chute de pluie moyenne de 53 millimètres. La période sèche de l'année dure 2,5 mois, du 12 juin au 28 août. Le mois le moins pluvieux à Harbil est juillet, avec une chute de pluie moyenne de 3 millimètres.

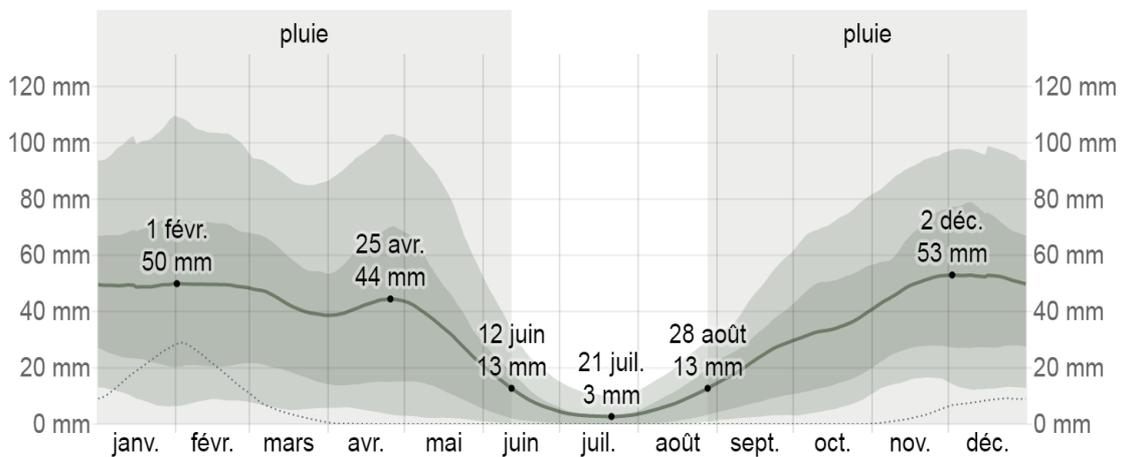
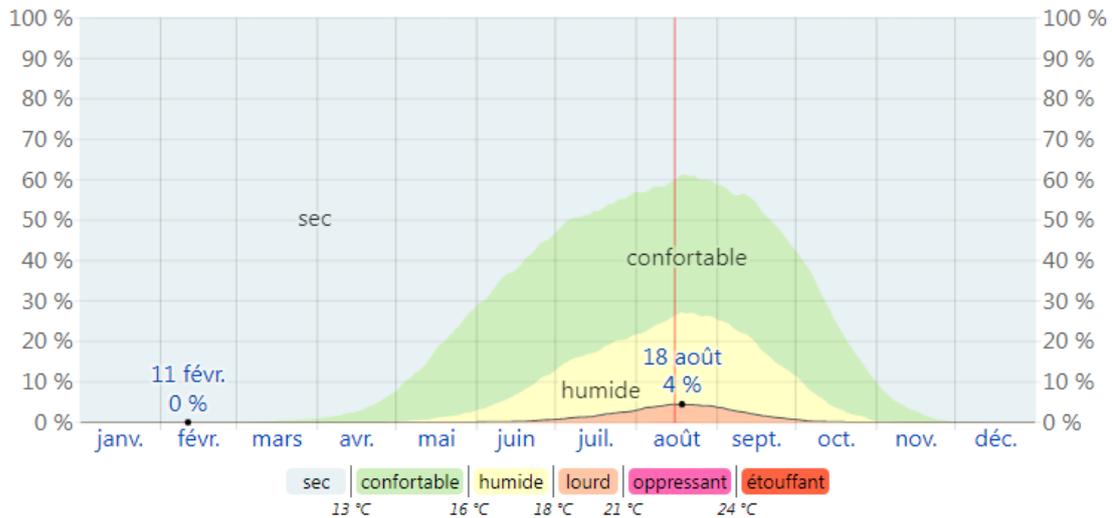


Figure 11: Courbe de Précipitation mensuelle moyenne [28].

**c. Humidité:**

Nous basons le niveau de confort hygrométrique sur le point de rosée, car il détermine si la transpiration va s'évaporer de la peau, rafraîchissant ainsi le corps. Les points de rosée inférieurs semblent plus secs et les points de rosée élevés semblent plus humides. Contrairement à la température, qui varie généralement considérablement entre la nuit et le jour, le point de rosée a tendance à changer plus lentement. Ainsi, même si la température peut baisser la nuit, une journée lourde est généralement suivie d'une nuit lourde.



**Figure 12:** courbe annuelle de catégories d'humidité [28]

Le niveau d'humidité perçu à Harbil, tel que mesuré par le pourcentage de temps pendant lequel le niveau de confort humide est lourd, oppressant ou misérable, ne varie pas significativement au cours de l'année, se maintenant autour de 2 % de 2 % tout au long de l'année.

**d. Le vent:**

Cette section traite du vecteur de vent horaire moyen sur une vaste zone (vitesse et direction) à 10 mètres au-dessus du sol. Le vent ressenti à un endroit donné dépend fortement de la topographie locale et d'autres facteurs, et la vitesse et la direction instantanées du vent varient plus largement que les moyennes horaires. La vitesse horaire moyenne du vent à Harbil connaît une variation saisonnière modérée au cours de l'année. La partie la plus venteuse de l'année dure 6 mois, du 29 avril au 28 octobre, avec des vitesses de vent moyennes de plus de 11,5 kilomètres par heure. Le mois le plus venteux de l'année à Harbil est décembre, avec une vitesse horaire moyenne du vent de 12,8 kilomètres par heure. La période la plus calme de l'année dure 6,0 mois, du 29 avril au 28 octobre. Le mois le plus calme de l'année à Harbil est juin, avec une vitesse horaire moyenne du vent de 10,3 kilomètres par heure.

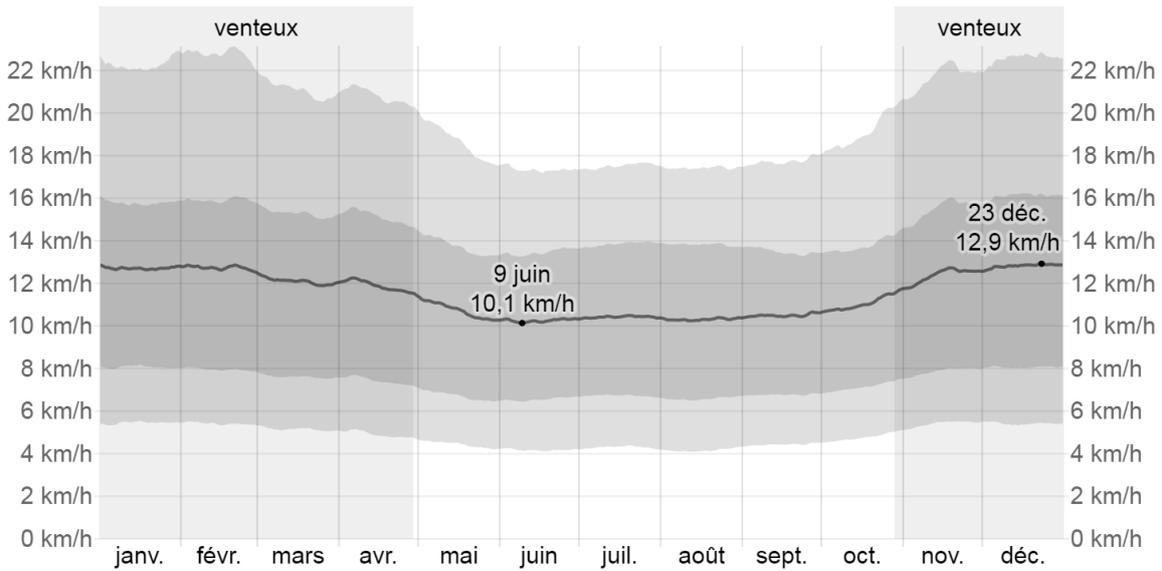


Figure 13: La moyenne des vitesses des vents moyens horaires [28]

Tableau 5: vitesse annuelle du vent[28]

	Jan	Fev	Mar	avr	May	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	nov	Dec
Vitesse du vent	12.7	12.7	12.1	11.9	10.7	10.3	10.4	10.3	10.5	11.1	12.4	12.8

#### IV.7. Situation hydraulique

##### IV.7.1. Ressources hydriques:

Médéa est principalement alimentée par des forages et des sources existantes, ainsi que par le pompage du barrage de Ghrib et de l'oued Chiffa. Le barrage de Ghrib est un barrage de type remblai, situé sur le Chelif au niveau de la commune d'Oued Chorfa, dans la wilaya d'Aïn Defla, en Algérie. Il est construit entre 1936 et 1939. D'une hauteur de 65 m, il est le sixième plus grand barrage en Algérie avec une capacité de 280 millions m<sup>3</sup>.

La wilaya de Médéa dispose également de ressources en eau souterraine. Toutefois, l'exploitation excessive de ces ressources a provoqué une diminution du niveau de la nappe phréatique, ce qui entrave la gestion de l'eau dans la région. L'alimentation de cette industrie se fait à partir du barrage Ghrib, après traitement préalable. La consommation moyenne journalière est de 2500 m<sup>3</sup>/j. L'eau occupe une place importante de tout premier plan en industrie pharmaceutique.

#### IV.8. Présentation de l'industrie de production pharmaceutique

L'industrie pharmaceutique en Algérie est réglementée par le Ministère de la Santé, de la Population et de la Réforme Hospitalière, qui supervise l'enregistrement, la production, la distribution et la commercialisation des médicaments. Les laboratoires pharmaceutiques en Algérie sont tenus de respecter les normes de qualité internationales telles que les Bonnes Pratiques de Fabrication (BPF) pour garantir l'efficacité, la sécurité et la qualité des médicaments produits. En termes de production, l'Algérie a développé une capacité de fabrication locale pour répondre à une

grande partie de la demande nationale en médicaments génériques .L'industrie pharmaceutique en Algérie est un secteur dynamique en pleine expansion, avec un potentiel de croissance significatif. Les investissements dans la recherche, l'innovation et la formation du personnel contribuent à renforcer la compétitivité du secteur et à promouvoir l'excellence dans la production de médicaments. Cette industrie joue un rôle crucial dans la promotion de la santé publique en Algérie et dans la création d'emplois qualifiés dans le domaine de la santé et de la recherche pharmaceutique. L'industrie de production pharmaceutique en Algérie a connu un essor significatif ces dernières décennies, plaçant le pays parmi les principaux producteurs pharmaceutiques d'Afrique[29].

#### **IV.9. Historique**

Le complexe antibiotique a été mis en service en 1986 et est chargé de la production pharmaceutique et de la recherche en médicament. Suite aux réformes économiques de 1989, SAIDAL devient une entreprise publique dotée de l'autonomie de gestion et a acquis le statut de société par actions (SPA). En 1997 la société SAIDAL a subi une restructuration en un groupe industriel SAIDAL, qui comporte trois filiales parmi elles le complexe antibiotique de Médéa. Antibiotique produit des antibiotiques pénicillaniques et non pénicillaniques, elle est pourvue de tous les équipements nécessaires pour la production des médicaments, allant des matières premières jusqu'à l'obtention des spécialités pharmaceutiques.

#### **IV.10. Présentation de l'industrie pharmaceutique groupe saidal Médéa**

L'industrie pharmaceutique Saidal de Médéa en Algérie est un acteur majeur du secteur, avec un passé prestigieux et des défis à relever pour retrouver sa position de leader. Voici un résumé basé sur les sources fournies : [30].

- Le complexe "antibiotical" de Médéa, appartenant au Groupe Public Saidal, a été un fleuron de l'industrie pharmaceutique algérienne dans les années 80, spécialisé dans la production d'antibiotiques et de matières premières pour couvrir les besoins nationaux et africains.
- Le Ministre de l'Industrie Pharmaceutique a visité l'unité de production de Médéa et a donné des instructions pour la réhabilitation du complexe, en mettant l'accent sur la production d'antibiotiques injectables à forte valeur ajoutée pour remplacer les importations.
- Il a également encouragé la domiciliation de la production des articles de conditionnement secondaire pour augmenter l'intégration des produits et renforcer la compétitivité du Groupe Saidal sur le marché national et continental.
- Le Ministre a souligné son soutien à l'ensemble des opérateurs nationaux, publics et privés, et s'est engagé à accompagner le développement du Groupe Saidal pour qu'il retrouve sa position de leader sur le marché pharmaceutique algérien et réponde aux besoins du pays en produits pharmaceutiques.



**Figure 14:** Situation géographique de l'usine pharmaceutique par rapport à la zone

(Source : Google earth)

#### IV.10.1. Procédés de fabrication :

Le processus de fabrication des produits pharmaceutiques est rigoureux afin d'assurer leur qualité, leur sécurité et leur efficacité. Voici un aperçu des principales méthodes de fabrication :

➤ **Process de production des comprimés :** se faire avec la granulation humide.

La granulation par voie humide est la plus courante en pharmacie, mais c'est une opération complexe qui comporte plusieurs phases.

- a. **Pesée :** Action ou manière de déterminer le poids, la masse des principes actifs et les excipients.
- b. **Tamissage des poudres :** Pour avoir des grains de dimensions bien déterminées, il est nécessaire d'effectuer un tamissage qui permet en même temps que le tri de séparer les grains qui ont pu se coller entre eux. Ce tamissage peut éventuellement être précédé d'un léger broyage pour réduire et homogénéiser la taille des grains. Différents types de broyeurs sont utilisables. Un granulater oscillant peut souvent convenir pour réaliser simultanément le broyage et le tamissage.
- c. **Mélange des poudres (Principe actifs et excipients) :** Obtenir des produits intermédiaires ou finis avec la répartition la plus homogène possible des différents constituants.
- d. **Mouillage de la poudre :** La poudre ou mélange pulvérulent à granuler est additionné d'un liquide de mouillage. Ceci est réalisé dans un des mélangeurs – malaxeurs déjà décrits : planétaires, type pétrin, à projection et tourbillonnement, à meules, etc. Les liquides de mouillage peuvent être ajoutés directement dans le mélangeur avec ou sans précautions particulières ou bien avec un système de pulvérisation. Les liquides de mouillage sont généralement composés d'un solvant et d'une substance possédant des propriétés agglutinantes appelée liant.
- e. **Séchage du grain :** Le granulé humide subit un séchage par une des méthodes déjà

décrites dans le chapitre précédent. Les appareils les plus utilisés sont les étuves à plateaux et les séchoirs à lits fluidisés. Ces derniers assurent un séchage plus rapide mais risquent de trop pulvériser le grain si l'opération n'est pas bien réglée. De toute façon, le séchage doit être mené de façon à avoir un taux d'humidité adapté à l'usage prévu, de l'ordre de quelques pour cent.

- f. **Calibrage du grain** : il permet d'obtenir une bonne répartition granulométrique par passage au travers d'une grille calibrée.
- g. **Compression** : se faire avec ces machines.
- h. **Conditionnement** : Dépoussiérage des comprimés Contrôle et conformité du produit par l'envoi d'un échantillon au laboratoire de contrôle qualité. Après l'analyse du produit, il est transféré vers l'atelier de conditionnement, pour le encartonnage, vignettage.
- i. **Contrôle qualité** : Les tests de contrôle qualité sont réalisés tout au long du processus de fabrication afin d'assurer que les produits respectent les normes de qualité et de sécurité réglementaires.
- j. **Stockage et distribution** : Les produits finis sont conservés dans des conditions adéquates et sont ensuite distribués aux points de vente ou aux centres de distribution nécessaires.

#### IV.11. Conclusion

Globalement, ces caractéristiques géographiques et climatiques jouent un rôle essentiel dans la planification et la gestion des opérations de produits Pharmaceutiques de Médéa, en particulier en ce qui concerne l'approvisionnement en matières premières et la gestion des opérations médicales, la gestion des ressources hydriques et l'adaptation de la production aux variations saisonnières. Les industriels doivent prendre des mesures afin de diminuer leur impact sur l'environnement en adoptant des méthodes durables, des emballages respectueux de l'environnement et en économisant de l'eau et de l'énergie. Et en résumé, la fabrication de médicaments intègre la science, la technologie et l'expertise afin de concevoir des produits à l'échelle mondiale. L'augmentation de la prise de conscience de ces enjeux incite l'industrie à adopter des pratiques plus responsables afin de concilier la satisfaction des consommateurs avec la préservation de la nature.



## CHAPITRE V :

# Dimensionnement de la station d'épuration

### V.1. Introduction

Il est essentiel de concevoir une station d'épuration pour assurer une gestion efficace des eaux usées provenant d'usines industrielles, d'infrastructures municipales ou d'exploitations agricoles. Il est nécessaire de bien comprendre les caractéristiques particulières des eaux usées. Dans cette partie, nous examinerons les différents aspects du dimensionnement des stations d'épuration, en tenant compte des principaux éléments à prendre en considération, tels que les débits et la composition des eaux usées, ainsi que des équipements et des technologies de traitement.

### V.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 produits pharmaceutiques : [32]

**Tableau 6:** Valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels pour l'industrie pharmaceutique[32]

Paramètre	Unités	Valeur limites
Température	°C	30
PH	-	6.5-8.5
DBO5	mg/l	35
DCO	mg/l	120
MES	mg/l	35
Azote global	mg/l	30
Phosphore	mg/l	4,5

**Tableau 7:** Analyses des eaux usées en aval de l'usine ( source : laboratoire de l'usine 2023)

Paramètre	Résultat	Unités	Normes selon 2023
Température	16.5	°C	≤30
Ph	5.1	/	6.5-8.5
DBO5	2200	mg/l O <sup>2</sup>	35
DCO Total	3500	mg/l O <sup>2</sup>	120
MES	1900	mg/l	40
Azote global	45.6	mg/l	30
Phosphore	4,5	mg/l	15

➤ **Commentaire des analyses:**

Il est étudié le pH, la DCO, la DBO5, les MES et le azote, qui jouent un rôle crucial dans la qualité du produit final :

- **PH Acide** : Un pH acide peut témoigner d'une acidité excessive dans les eaux usées, ce qui peut être dû à la présence de substances acides ou à l'absence de particules alcalines. Un pH excessivement acide peut causer des dommages aux installations de traitement et entraver les réactions chimiques et biologiques. Il est essentiel d'ajuster le pH afin d'assurer des conditions de traitement optimales.
- **DBO5 Élevée** : Les eaux usées contiennent une forte quantité de matières organiques biodégradables, ce qui indique une DBO5 élevée. Même si cela peut constituer une ressource nutritive pour les micro-organismes, une concentration excessive de DBO5 peut entraîner une forte demande en oxygène dans les cours d'eau récepteurs. Il est possible qu'un traitement biologique plus approfondi soit nécessaire afin de diminuer la DBO5 avant le rejet.
- **DCO Élevée** : Une concentration élevée de DCO indique une présence significative de matières organiques dans les eaux usées. La présence de cette charge organique peut rendre le traitement biologique plus complexe, pouvant nécessiter des modifications dans les processus biologiques ou l'utilisation de traitements chimiques afin de réduire la DCO à des niveaux acceptables.
- **Concentration élevée de MES** : Les eaux usées contiennent une forte concentration de matières en suspension, ce qui suggère la présence de particules solides en suspension. Il est possible que ces particules engendrent des obstructions dans les équipements de traitement et mettent en péril l'efficacité des procédés. Des étapes de prétraitement peuvent être requises, comme le tamisage ou la décantation, pour éliminer ces solides.

### V.3. La biodégradabilité

Le terme "biodégradabilité" désigne la capacité d'une substance à être décomposée ou à être modifiée par les microorganismes qui participent aux processus de purification biologique de l'eau. Afin d'évaluer cette caractéristique, un coefficient K est utilisé pour évaluer le degré de biodégradabilité d'une substance.

$$K = \frac{DCO}{DBO5} = \frac{3500}{2200} = 1.59 \quad K < 3$$

Tel que :

**K:** indice de biodégradabilité

cette eau facilement biodégradable malgré ça il contient une grande quantité de substances chimiques . Il est nécessaire de procéder à un traitement biologique et tertiaire.

### V.4. Schéma du traitement des ERU de l'industrie pharmaceutique (SAIDAL)

D'après ces informations, nous allons évaluer la capacité d'une STEP des eaux usées industrielles avec une charge nominale de 4320 m<sup>3</sup>/J. Cette STEP permettra de réutiliser l'eau traitée pour le lavage des sols et des camions, l'arrosage des espaces verts, le refroidissement et la lutte

contre les incendies.

La STEP comprendra les ouvrages de traitement suivant :

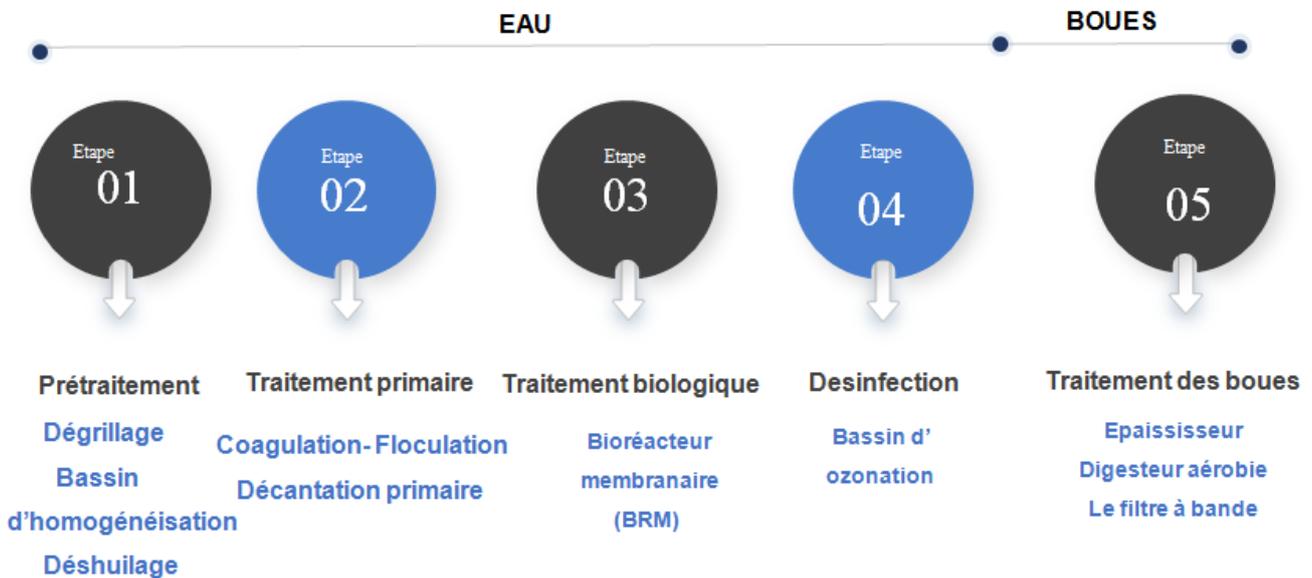


Figure 15: Schéma du traitement des ERU de l'industrie pharmaceutique (SAIDAL)

V.5. Les paramètres de dimensionnement

Le débit Q<sub>rej</sub> : 4320 m<sup>3</sup>/j = 0.05 m<sup>3</sup>/s

Charge polluante C (kg/j) = Concentration (mg/l) x Q<sub>rej</sub> (l/j) ..... Equation 5-1

- Calcul de la charge polluante

de la DCO :  $C_{DCO} = \frac{3500 \times 4320}{1000}$

$C_{DCO} = 15120 \text{ kg/j}$

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

$C_{NT} = \frac{45,6 \times 4320}{1000} = 197 \text{ kg/j}$

- Calcul de la charge polluante de la DBO5 :

$C_{DBO5} = \frac{2200 \times 4320}{1000} = 9504 \text{ kg/j}$

- Calcul de la charge polluante de MES :

$C_{MES} = \frac{1900 \times 4320}{1000} = 8208 \text{ kg/j}$

➤ Les paramètres de dimensionnement sont :

**Tableau 8:**Charges journalière des effluents

<b>Débit en (m<sup>3</sup>/j)</b>	4320
<b>DCO en (kg/j)</b>	15120
<b>DBO<sub>5</sub> en (kg/j)</b>	9504
<b>MES en (kg/j)</b>	8208
<b>NT en (kg/j)</b>	197

**V.6. Dimensionnement des ouvrages de la station**

**V.6.1. Dimensionnement Bassin d’homogénéisation :**

Un bassin d'égalisation rassemble tous les effluents générés en une journée et retient l'ensemble des eaux usées. Cette méthode assure un mélange des effluents parfaitement homogène et maintient un débit constant, indépendamment des fluctuations du flux d'entrée..Afin d'obtenir un mélange homogène et d'éviter la sédimentation de matières décantables [9].

Le bassin d'égalisation a également la capacité de contrôler le pH en ajoutant de la chaux dans notre situation, en fonction des besoins du processus de coagulation/floculation qui suit. La quantité de débit en sortie du bassin d'égalisation sera maintenue constante et sera adaptée en fonction du débit quotidien des effluents de l'industrie, qui est de 4320 m3/jour. Quant à la capacité du bassin, nous l'avons conçu de manière à pouvoir retenir 150 % du volume total d'effluents produit en une journée, en raison de la sécurité.

- **Calcul du volume :**

$$V = 150 \% \times Q \dots\dots \text{Equation 5-2}$$

$$V = 1.5 \times 4320 = 6480 \text{ m}^3$$

- **Calcul de la surface :**

Pour une hauteur H = 5m

$$S = \frac{V}{H} \dots\dots \text{Equation 5-3}$$

$$S = 1296 \text{ m}^2$$

- **Calcul de diamètre :**

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} \dots\dots \text{Equation 5-4}$$

$$= \sqrt{\frac{4 \cdot 1296}{\pi}} = 40 \text{ m}$$

$$D = 40 \text{ m}$$

- **Calcul du temps de séjour Ts :**

$$T_s = \frac{V}{Q} \dots\dots \text{Equation 5-5}$$

$$T_s = 36H$$

**Tableau 9:** Dimensionnement du bassin d'homogénéisation

Paramètre	Unité	Valeur
Volume	m <sup>3</sup>	6480
Surface	m <sup>2</sup>	1296
Diamètre	M	40
Temps de séjours	H	36

**V.7.Prétraitement**

**V.7.1.Dégrillage:**

➤ **Largeur de la grille:**

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

$$L = \frac{S \cdot \sin \alpha}{H \max.(1-\beta) \cdot C} \dots\dots \text{Equation 5 - 6}$$

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<sub>max</sub> : Hauteur maximum de l'eau sur une grille(m), h<sub>max</sub> = (0.15 à 1.5 m).

β = Fraction de surface occupée par les barreaux.

$$\beta = \frac{d}{d+e} \dots\dots \text{Equation 5-7}$$

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
<b>d (cm)</b>	2	1
<b>e (cm)</b>	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 :**

$$S = \frac{Q}{\beta VC} \dots\dots \text{Equation 5-8}$$

Q : Débit de la station (m<sup>3</sup>/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 :**

En règle générale, dans une station d'épuration des eaux d'une industrie de pharmaceutique, il n'est pas nécessaire d'avoir un dégrilleur grossier, donc nous allons opter pour un seul dégrilleur fin.

Données de base pour le dimensionnement de dégrilleur fin

**Tableau 10:** Données de base pour le dimensionnement de dégrilleur fin

Paramètres	Q (m <sup>3</sup> /s)	V (m/s)	A	<i>h<sub>max</sub></i> (m)	d (cm)	e (cm)	C
<b>Valeur</b>	0.05	1	60	1	1	1	0.45

$$\beta = 0.5$$

Alors :  $S = 0.22\text{m}^2$  ;  $L = 0.846\text{m}$

• **Calcul de nombre de barreaux :**

On a :  $L = N_e \times e + N_b \times b$

Avec :

*N<sub>e</sub>* : Nombre d'espacement

*b* : Diamètre des barreaux

*N<sub>b</sub>* : Nombre des barreaux.

*e*: Espacement entre les barreaux

Et :  $N_e = N_b + 1$

Alors :  $N_b = \frac{L-e}{e+b}$  ;  $N_b = 42$  barreaux

• **Calcul des pertes de charges :**

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

$$\Delta H = \beta * \sin\alpha * \left(\frac{V^2}{2g}\right) * \left(\frac{d}{e}\right)^3 \dots \dots \text{Equation 5-9}$$

Avec :

$\Delta H$  : la perte de charge (m)

$g$  : Accélération de pesanteur ( 9.81 m/s<sup>2</sup> )

$\beta$  : le coefficient de forme des barreaux

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

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

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

On prend la valeur de  $\beta$  selon le tableau suivant :

**Tableau 11:** Valeurs du coefficient de forme des barreaux

Type de barreau	B
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 :  $\Delta H = 0.079 \text{ m} = 7.9 \text{ m}$

➤ **Résultats de dimensionnement de dégrilleur:**

Tableau 12: Résultats de dimensionnement de dégrilleur

Paramètre	Unité	Grilles fins
Débit de rejet (Q)	m <sup>3</sup> /s	0.05
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	0.846
Surface (S)	M	0.22
Nombre des barreaux (Nb)	/	42
Pertes de charges (ΔH)	Mm	79

Tant que les dimensions de dégrilleur sont trop petites alors on propose d'utiliser un dégrilleur commercial de 1 m<sup>2</sup>.

### V.8. Traitement physico-chimique

Le traitement physico-chimique est la combinaison de deux étapes que l'on appelle la coagulation-floculation. Il s'agit d'une méthode classique pour séparer les matières en suspension dans les stations de traitement. Généralement, on associe un traitement physico-chimique à des procédés de décantation ou encore à de la filtration [33].

#### V.8.1. Traitement chimique:

##### ➤ Coagulation:

La coagulation est une méthode chimique qui permet d'améliorer l'efficacité de la décantation physique. On effectue cette étape à l'aide de différents composés (hydroxydes métalliques, polymères synthétiques, etc.) qui permettent l'agrégation et la séparation des particules colloïdales présentes dans l'eau.

Ce processus requiert une première phase d'agitation rapide à 100 tr/min, puis une phase d'agitation lente à 40 tr/min. Afin de simplifier ces étapes, le bassin est muni 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.

$$t_c = 3 \text{ min} \quad V_c = 0,05 * 3 * 60 = 9 \text{ m}^3$$

$$V_c = 9 \text{ m}^3$$

- **La surface du bassin :**

On fixe la hauteur de bassin (H) à 2m

$$S_h = \frac{V}{H} = \frac{9}{2} = 4.5 \text{ m}^2 \quad S_h = 4.5 \text{ m}^2$$

- **Le diamètre de bassin est de:**

$$D_c = \sqrt{\frac{4S_h}{\pi}} = 2.39 \text{ m} \quad D_c = 2.39 \text{ m}$$

➤ Résultats de dimensionnement de réacteur de coagulation :

**Tableau 13:** Résultats de dimensionnement de réacteur de coagulation

Paramètres	Unités	Valeurs
Débit	m <sup>3</sup> /s	0.05
T <sub>p</sub>	Min	3
V <sub>c</sub>	m <sup>3</sup>	9
S <sub>c</sub>	m <sup>2</sup>	4.5
D <sub>c</sub>	M	2.39

➤ **Floculation:**

L'objectif de la floculation est de promouvoir l'assemblage des colloïdes en une structure de type floc. En général, ce processus nécessite une agitation qui oscille entre 10 et 50 tr/min.

En général, les réacteurs sont développés pour des temps de passage d'environ 10 à 20 minutes. Dans notre cas, nous choisissons un temps de passage de  $T_p = 20$  minutes.

- **Le volume de bassin de floculation :**

$$V_f = Q \times t_c = 0,05 \times 20 \times 60 = 60 \text{ m}^3 \quad V_f = 60 \text{ m}^3$$

- **La surface du bassin :**

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

$$S_h = \frac{V}{H} = \frac{60}{2} = 30 \text{ m}^2 \quad S_h = 30 \text{ m}^2$$

- **Le diamètre du bassin :**

$$D_c = \sqrt{\frac{4S_h}{\pi}} = 4.37 \text{ m} \quad D_c = 4.37 \text{ m}$$

➤ Résultats de dimensionnement de réacteur de floculation :

Tableau 14: Résultats de dimensionnement de réacteur de floculation

Paramètres	Unités	Valeurs
Débit	m <sup>3</sup> /s	0.05
Temps de passage (T <sub>p</sub> )	Min	20
Le volume de réacteur de floculation (V <sub>r,f</sub> )	m <sup>3</sup>	60
Surface de réacteur de floculation (S <sub>r,f</sub> )	m <sup>2</sup>	15
Diamètre de réacteur de floculation	M	4.37

V.8.2. Traitement physique

V.8.2.1 Décanteur primaire :

➤ Les principaux paramètres de calcul du décanteur sont :

- La charge superficielle (vitesse de chute) V<sub>c</sub> est variée de 1 à 2,5 m/h.
- Le temps de séjours T<sub>s</sub> est variée généralement entre 1 et 3 heures.
- La hauteur d'eau dans l'ouvrage H est entre 2 et 6m.

• Calcul du volume du décanteur :

$$V = Q_{rej} \times T_s = 0.05 \times 1 \times 3600 = 180 \text{ m}^3$$

$$V = 180 \text{ m}^3$$

Q<sub>r</sub> : le débit de rejet,

t<sub>c</sub> : le temps de séjours On prend t<sub>c</sub> = 1h

• La surface horizontale du décanteur:

$$Sh = \frac{Q}{V} = \frac{0.05}{1/3600} = 180 \text{ m}^2$$

$$Sh = 180 \text{ m}^2$$

• La hauteur de décanteur :

$$H = V_d / Sh$$

$$H = 1 \text{ m}$$

Il faut ajouter une hauteur de revanche (pour éviter le débordement) C'est-à-dire la hauteur totale sera : H<sub>t</sub> = 2.5 m

• Diamètre de décanteur :

$$D = \sqrt{\frac{4Sh}{\pi}} = 15.138 \text{ m}$$

$$D = 15.138 \text{ m}$$

➤ Résultats de dimensionnement de décanteur primaire :

Tableau 15: Résultats de dimensionnement de décanteur primaire

Paramètre	Unités	Valeur
Débit (Q)	m <sup>3</sup> /s	0.05
Vitesse de chute (V <sub>s</sub> )	m/h	1
Temps de séjour (T <sub>s</sub> )	H	2
Volume (V <sub>d</sub> )	m <sup>3</sup>	180
Surface horizontale (S <sub>h</sub> )	m <sup>2</sup>	180
Hauteur totale (H <sub>t</sub> )	M	2.5
Diamètre (D)	M	15.138

➤ **Charges polluantes après la décantation :**

Le processus coagulation-floculation permet d'éliminer 75 % de la DBO<sub>5</sub> et DCO, 90% de MES : [48]

Tableau 16: Résultats de traitement par coagulation-floculation

Effluent	Unité	Charge à l'entrée	Charge éliminée	Charge à la sortie
DBO <sub>5</sub>	Mg/l	2200	1650	550
DCO	Mg/l	3500	2625	875
MES	Mg/l	1900	1710	190

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

$$K^? = \frac{DCO}{DBO_5} = \frac{875}{550} = 1,59$$

Il est encore facilement biodégradable .

### V.8.2.2. Traitement secondaire (biologique) :

Les eaux préalablement traitées sont toujours contaminées et nécessitent donc un traitement supplémentaire. Dans cette optique, nous allons présenter trois options de traitement, l'une le traitement traditionnel par boue activée , le système MBBR (Bioréacteur à lit fluidisé) et l'autre le système BRM.

#### V.8.2.2.1.

##### Étude de la variante 1 : Bassin d'aération à boue activé :

$$R = \frac{[DBO5]_{\text{entrée}} - [DBO5]_{\text{sortie}}}{[DBO5]_{\text{entrée}}} \dots\dots \text{Equation 5-11}$$

$$R = \frac{550 - 30}{550} \times 100 = 94.5\%$$

Le choix de la méthode repose sur le principe des boues activées à **faible charge**.

- Le traitement à boues activées à faible charge est régi par les paramètres suivants :
- ✓ (Cm) La charge massique :  $0,1 < C_m < 0,25$  KDBO5 /KgMVS.J
- ✓ (Cv) La charge volumique :  $0,3 < C_v < 0,7$  KDBO5

Les calculs sera basé sur les valeurs suivante :

$$C_m = 0,24 \text{ KgDBO5/KgMVS.J} \quad \text{et} \quad C_v = 0,67 \text{ KgDBO5/ m}^3$$

**a) Le volume du bassin :**

$$V_{ba} = \frac{L_0}{C_v} \dots\dots \text{Equation 5-12}$$

$L_0$  : charge polluante à l'entrée du bassin d'aération en KgDBO5/j

Donc :

$$V_{ba} = \frac{2376}{0,67} = 3546 \text{ m}^3 \quad \quad \quad V_{ba} = 3546 \text{ m}^3$$

**b) Surface horizontale du bassin d'aération :**

- La hauteur du bassin est prise généralement entre 3 et 5 m, on choisit  $H = 4$  m

$$S_{ba} = \frac{V_{ba}}{H} = 886 \text{ m}^2 \quad \quad \quad S_{ba} = 886 \text{ m}^2$$

➤ **Calcul des dimensions du bassin d'aération :**

On suppose que :  $L = 2l$  tel que,  $L$  : la longueur du bassin (m),  $l$  : la largeur du bassin (m).

$$l = \sqrt{\frac{S_{ba}}{2}} = 21 \text{ m} \quad \quad \quad l = 21 \text{ m et } L = 42 \text{ m}$$

**c) Le temps de séjour :**

$$T_s = \frac{V_{ba}}{Q_{rej}} \dots\dots \text{Equation 5-13}$$

Tel que ;

$Q_{rej}$ : débit de rejet industrielle ( $\text{m}^3$ )

Donc :

$$T_s = \frac{3546}{180} = 19,7h$$

$$T_s = 19,7h$$

**d) La masse et la Concentration de boue dans le bassin :**

La quantité et la concentration de boues dans le bassin est donnée par :

$$X_a = \frac{L_0}{C_m} \dots\dots \text{Equation 5 - 14}$$

$$[X_a] = \frac{X_a}{V_{ba}} \dots\dots \text{Equation 5-15}$$

Tel que :

- ✓  $C_m$ : La charge massique en KgDBO5/KgMVS.J
- ✓  $X_a$ : La masse de boue dans le bassin en (Kg)
- ✓  $[X_a]$ : concentration de boues dans le bassin en (Kg/m3)

Par application numérique :

$$X_a = \frac{2376}{0,3} = 7920kg$$

$$[X_a] = \frac{7920}{1980} = 2,2 \text{ kg/m}^3$$

**e) Calcul la charge polluante en DBO<sub>5</sub> éliminée (Le) :**

La charge polluante à la sortie est :

$$L_f = S_f \times Q_{rej} \dots\dots \text{Equation 5 - 16}$$

$$= 550 \times 4320 \times 10^{-3} = 2376$$

$$L_f = 2376 \text{ kgDBO}_5/J$$

Tel que :

$S_f$ : La charge de l'effluent en DBO5 à la sortie )  $S_f = 550mg / l$  )

Donc :

$$L_{el} = L_f - S_f = 2376 - 550 = 1826$$

$$L_{el} = 1826 \text{ kgDBO}_5/J$$

**f) Besoin en oxygène :**

Les formules suivantes indiquent les besoins théoriques en oxygène quotidiens et en temps diurne [33] :

$$Q_{jO_2} = qO_2 = a'Le + b'Xt + 4.3 Nn - 2.85 c' \times Ndn \dots\dots \text{Equation 5 - 17}$$

$$Q_{ho_2} = \left( \frac{a' \times L_e}{T_d} \right) + \left( \frac{b' \times X_a}{24} \right) \dots\dots \text{Equation 5-18}$$

$q_{jO_2}$  : besoin théorique journalier en oxygène

$q_{ho_2}$  : besoin théorique horaire en oxygène en temps (diurne)  $T_d = 16h$

$L_e$ : DB05 éliminée dans le bassin d'aération par jour (Kg/j)

$a'$  : fraction de pollution transformé en énergie de synthèse au cours de l'épuration et c'est aussi la quantité d'oxygène à fournir aux bactéries pour qu'elles synthétisent la matière vivante à partir d'une pollution

$b'$  : coefficient cinétique de respiration endogène

**Tableau 17** : valeurs de  $a_m$ ,  $b$ ,  $a'$ , et  $b'$  en fonction du procédé d'épuration par boue activée[24]

Type de traitement	$A_m$	$B$	$a'$	$b'$
Forte charge	0,55	1,00	0,55	0,12
Moyenne charge	0,6	0,07	0,6	0,08
Faible charge	0,65	0,05	0,65	0,065

Dans notre cas :  $a_m = 0,65$  ,  $b=0,07$  ,  $a' = 0,6$  ,  $b' = 0,065$

Dans laquelle :

On a : NTK entrée = 45.6 mg/l = 197 Kg/j

NTK assimilé =  $0.05 \times 4320 \times 150 \times 0.001 = 32.4$  Kg/j

NTK rejeté = 30 mg/l = 129.6 kg/j (Norme algérienne )

$N(\text{ nitrifiant}) = 197 - 32.4 - 129.6 = 35.6$  Kg/j

Ndénitrifiant : N à nitrifier –  $NO_3$  rejet avec :  $NO_3$  rejet =  $0.45 \times 4320 \times 0.001 = 1.9$  Kg/j

$$q(O_2) = (0.65 \times 1826) + (0.065 \times 7920) + 4.3 \times 35.6 - 2.85 \times 0.7 \times 33.7 = 1787.54 \text{ kg } O_2 / j \quad q_{jO_2} = 1787.54 \text{ kg } O_2 / j$$

**g) Besoin théorique horaire en oxygène en temps diurne :**

$$q_{ho_2} = \left( \frac{0,65 \times 1826}{16} \right) + \left( \frac{0,065 \times 7920}{24} \right) = 95 \text{ kg } O_2 / h \quad q_{ho_2} = 95 \text{ kg } O_2 / h$$

**h) La quantité d'oxygène nécessaire par m3 du bassin :**

$$q_{jO_2}/m^3 = \frac{q_{jO_2}}{V_{ba}} = \frac{1787.54}{3546} = 0,5 \text{ kg } O_2/j \cdot m^3$$

$$q_{jO_2}/m^3 = 0,5 \text{ kg } O_2/j \cdot m^3$$

**i) Besoin réel en oxygène :**

Il est nécessaire d'appliquer des coefficients correctifs pour ajuster les conditions théoriques aux conditions réelles du milieu à traiter, car les besoins en oxygène réels sont plus élevés que les quantités théoriques en raison de la perturbation du transfert d'air atmosphérique vers l'eau épurée due à la présence de matières en suspension (MES).

$$q_{O_2\text{réel}} = \frac{q_{jO_2}}{\alpha \times \beta} \dots\dots \text{Equation 5-18}$$

Avec :

- ✓  $q_{jO_2}$  : Besoin théorique en oxygène :
- ✓  $\alpha$  et  $\beta$  : sont des rapports des coefficients de transfert d'eau usée en eau propre  $\alpha = \beta = 0,8$

$$q_{O_2\text{réel}} = \frac{1787.54}{0,8 \times 0,8} = 2793 \text{ kg } O_2/j$$

$$q_{O_2\text{réel}} = 2793 \text{ kg } O_2/j$$

**8.2.2.1. Étude de la variante 2 : Bioréacteur à lit fluidisé (MBBR) :**

Il est essentiel de prendre en compte les charges entrantes, ainsi que la surface spécifique du média et le taux de remplissage de leur support pour évaluer la dimension du bassin MBBR.

**a) Surface requise de média :**

$$S_{r.m} = \frac{DBO_5}{SARL} \dots\dots \text{Equation 5 – 19}$$

Avec ;

$DBO_5$ : Les charges de pollution en  $DBO_5$  à l'entrée (g/j)

$SARL$ : charge spécifique par unité de surface en (4 à 10 g/m<sup>2</sup> /j)

On prend :  $SARL = 10 \text{ g/m}^2/j$

D'où :

$$S_{r.m} = Q_{O_2} = \frac{2376 \times 1000}{10} = 237600 m^2$$

$$S_{r.m} = 237600 m^2$$

**b) Volume du média :**

$$V_m = \frac{S_{r.m}}{S_{s.m}} \dots\dots \text{Equation 5 – 20}$$

Tel que ;

- ✓  $S_{r.m}$ : Surface requise de média en m<sup>2</sup>
- ✓  $S_{s.m}$ : Surface spécifique du média en m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>

➤ On choisit support EM 07 dont les caractéristiques suivantes :

- $S_{s,m}$ : Superficie totale : 1200 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>
- Diamètre x Largeur : (ø35 x 18 mm)
- $T_r$ : Le taux de remplissage (15% à 50%)

Donc :

$$V_m = \frac{237600}{1200} = 198 \text{ m}^3$$

c) **Volume de bassin :**

✓  $T_r$ : Le taux de remplissage,  $T_r = 17\%$

$$V_b = \frac{V_m}{T_r} \dots \dots \text{Equation 5-21}$$

$$V_b = \frac{198}{0,17} = 1164 \text{ m}^3$$

d) **Surface de bassin :**

$$S_b = \frac{V_b}{H}$$

$V_b$ : Volume de bassin en m<sup>3</sup>

H: Hauteur du bassin, généralement entre (1 et 6) m, on prend H= 4m

$$S_b = \frac{495}{4} = 291$$

$$S_b = 291 \text{ m}^2$$

e) **Dimensions du bassin :**

On suppose que le bassin sous forme rectangulaire

$$l = \sqrt{\frac{S_b}{2}} \quad \text{et} \quad L = 2l$$

Tel que ;

✓ L : la longueur du bassin (m)

✓ l : la largeur du bassin (m)

D'où :

$$l = \sqrt{\frac{291}{2}} = 12 \text{ m}$$

$$l = 12 \text{ m et } L = 24 \text{ m}$$

f) **Volume d'eau :**

$$V_{eau} = V_b - (V_m \times T_r) \dots\dots \text{Equation 5-22}$$

Avec :

- ✓  $V_b$ : Volume de bassin (m<sup>3</sup>)
- ✓  $V_m$ : Volume du média ( m<sup>3</sup>)
- ✓  $T_r$  : taux de remplissage

$$V_{eau} = 1164 - (198 \times 0,17) = 1130m^3$$

$$V_{eau} = 1130 m^3$$

**g) Temps de rétention :**

- $Q_{rej}$ : débit de rejet industrielle en m<sup>3</sup>

$$t_r = \frac{V_{eau}}{Q_{rej}} \dots\dots \text{Equation 5-23}$$

$$t_r = \frac{1130}{180} = 6,2h$$

$$t_r = 6,2h$$

**h) Le temps de séjour hydraulique :**

$$t_h = \frac{V_b}{Q_{rej}} \dots\dots \text{Equation 5-24}$$

- ✓  $V_b$  : Volume de bassin (m<sup>3</sup>)
- ✓  $Q_{rej}$ : débit de rejet industrielle en m<sup>3</sup>

$$t_h = \frac{1164}{180} = 6,5h$$

$$t_h = 6,5h$$

**i) Demande d'oxygène:**

$$Q_{O_2} = DBO_5 \text{journalier} * kg \text{ O}_2 \text{ par Kg DBO}_5 \dots\dots \text{Equation 5-25}$$

$kg \text{ O}_2$  Consommé par Kg DBO<sub>5</sub> en faible charge entre 0.6 et 1  $kg \text{ O}_2$  par Kg DBO<sub>5</sub>

On prend :  $\frac{kg \text{ O}_2}{Kg \text{ DBO}_5}$

$$Q_{O_2} = 2376 \times 0,8 = 1900,8$$

$$Q_{O_2} = 1900,8 \text{ kg/j}$$

**V.8.2.2.2. Étude de la variante : Bioréacteur membranaire (BRM) :**

**a. Le bioréacteur :**

Au sein de cette approche, nous utilisons un bioréacteur membranaire qui permet d'utiliser un processus biologique avec une durée de rétention des boues dépassant 20 jours. Cela aboutit à une diminution de la quantité de déchets produites et encourage la prolifération des micro-organismes qui se multiplient plus lentement. trois options seront prises en compte pour le calcul, dont l'une est le traitement traditionnel par boue activée, tandis que les trois autres sont trois types de Bioréacteurs à Membrane (BRM) qui ont prouvé leur efficacité dans le traitement des eaux usées. Nous effectuerons ensuite une comparaison des résultats obtenus.

- **Variante 01:** Utilisation d'un Bioréacteur à Membrane (BRM) fonctionnant avec une forte

rétenion des boues. En régime permanent, le temps de rétenion des boues est de 40 jours et la concentration de la biomasse (X) est de 20 gMES/l.

- **Variante 02** : Mise en place d'un BRM ayant une rétenion des boues faible. La durée de rétenion des boues en régime permanent est de 10 jours et la concentration de la biomasse (X) est de 20 gMES/l.
- **Variante 03**: Mise en place d'un BRM qui fonctionne avec une durée de rétenion des boues de 15 jours et une concentration moyenne de biomasse de 10 gMES/l.

#### b. L'étude des variantes

##### ✚ Etude de Variante 1 :

$T_b$ : 40j      X: 20 gMES/l

X: Rendement de production de boues Y

$T_b$  : temps de séjour de boues.

$$Y = \frac{Y_h}{1 + (T_b \times K_d)} \dots \text{Equation 5-26}$$

- $Y_H$  : Concept de décès = 0.44 gMVS/gDCO. [32]
- $K_d$  : est un coefficient cinétique dépend de l'activité des microorganismes hétérotrophe et la température de milieu. [34]

$$K_d(T) = K_d(20^\circ\text{C}) * e^{K(T-20)} \dots \text{Equation 5-27}$$

- T : la température de l'effluent selon les analyses de l'eau est à l'ordre de 16,5°C
- $K_d(20^\circ\text{C})$  : le taux de croissance maximal des bactéries hétérotrophe en 20°C est à l'ordre de 0.06 j<sup>-1</sup>
- $T_b$ : l'âge des boues

K : est un constant de température et vaut 0.08

$$K_d(16,5) = K_d(20^\circ\text{C}) * e^{0,08(16,5-20)}$$

$$K_d(16,5) = 0,045 \text{ j}^{-1}$$

$$Y = \frac{0,44}{1 + (40 \times 0,045)} = 0,157$$

$$Y = 0,157 \text{ KgMVS/KgDCO.}$$

• **La production des boues:**

$$m_{boue} = Y * Q * (DCO_{entrée} - DCO_{sortie}) \dots\dots \text{Equation 5-28}$$

- $m_{boue}$  : la quantité des boues produit
- $Q$  : Débit à l'entrée de réacteur des eaux usées.
- $Y$  : Rendement de production de boues.

$$m_{boue} = 0,157 \times 4320 \times (813,75 - 90) \times 10^{-3}$$

$$m_{boue} = 545,81 \text{ kg/j}$$

• **Calcul le débit de purge des boues :**

$$\frac{Q_p}{Q} = \frac{Y \times (S_e - S)}{X} \dots\dots \text{Equation 5 - 29}$$

$$Q_p = \frac{Q \times Y \times (S_e - S)}{X} = \frac{m_{boue}}{X} = \frac{545,81}{20} = 27,29 \text{ m}^3/\text{j}$$

- $Q_p$  : le débit de purge des boues :  $pQ$
- $S_e$  : Concentration de la DCO entrée (mg/l).
- $S$  : Concentration de la DCO dans le perméat (mg/l).

• **Calcul le volume de réacteur :**

$$V = Q_p \times T_b \dots\dots \text{Equation 5-30}$$

$$V = Q_p \times T_b = 27,29 \times 40 = 1091,6 \text{ m}^3$$

• **Le temps de séjour hydraulique (TH) :**

$$T_S = \frac{V}{Q} = \frac{1091,6}{180} = 6 \text{ h}$$

• **La quantité d'oxygène nécessaire :**

$$Q(O_2) = Q \times (S_e - S) - Q_p \times X \times 0,8 \times 1,44 \dots\dots \text{Equation 5-31}$$

- $Q_p$  : le débit de purge des boues
- $S_e$  : Concentration de la DCO entrée (mg/l).
- $S$  : Concentration de la DCO dans le perméat (mg/l)

$$Q(O_2) = 4320 \times ((813,75 - 90) \times 10^{-3}) - 27,29 \times 20 \times 0,8 \times 1,44 = 2497,84 \text{ kg/j}$$

 **Etude de Variante 2:**

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

$$K_d(16,5) = K_d(20^\circ\text{C}) * e^{0,08(16,5-20)}$$

$$K_d(16,5) = 0,045 \text{ j}^{-1}$$

$$Y = \frac{0,44}{1+(10 \times 0,045)} = 0,30$$

$$Y = 0,30 \text{ KgMVS/KgDCO.}$$

- **La production des boues:**

$$m_{boue} = 0,30 \times 4320 \times (813,75 - 90) \times 10^{-3}$$

$$m_{boue} = 938 \text{ kg/j}$$

- **Calcul le débit de purge des boues :**

$$\frac{Q_p}{Q} = \frac{Y \times (S_e - S)}{X}$$

$$Q_p = \frac{Q \times Y \times (S_e - S)}{X} = \frac{m_{boue}}{X} = \frac{938}{20} = 46,9 \text{ m}^3/\text{j}$$

- **Calcul le volume de réacteur :**

$$V = Q_p \times T_b$$

$$V = Q_p \times T_b = 46,9 \times 20 = 469 \text{ m}^3$$

- **Le temps de séjour hydraulique (TH) :**

$$T_s = \frac{V}{Q} = \frac{469}{180} = 2,6 \text{ h}$$

- **La quantité d'oxygène nécessaire :**

$$Q(\text{O}_2) = Q \times (S_e - S) - Q_p \times X \times 0,8 \times 1,44$$

$$Q(\text{O}_2) = 4320 \times ((813,75 - 90) \times 10^{-3}) - 46,9 \times 20 \times 0,8 \times 1,44 = 2046,02 \text{ kg/j}$$

- **Etude de Variante 3 :**

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

$$K_d(16,5) = K_d(20^\circ\text{C}) * e^{0,08(16,5-20)}$$

$$K_d(16,5) = 0,045 \text{ j}^{-1}$$

$$Y = \frac{0,44}{1+(15 \times 0,045)} = 0,26$$

$$Y = 0,26 \text{ KgMVS/KgDCO.}$$

- **La production des boues:**

$$m_{boue} = Y * Q * (DCO_{entrée} - DCO_{sortie})$$

$$m_{boue} = 0,26 \times 4320 \times (813,75 - 90) \times 10^{-3}$$

$$m_{boue} = 813 \text{ kg/j}$$

- **Calcul le débit de purge des boues :**

$$\frac{Q_p}{Q} = \frac{Y \times (S_e - S)}{X}$$

$$Q_p = \frac{Q \times Y \times (S_e - S)}{X} = \frac{m_{boue}}{X} = \frac{813}{10} = 81,3 \text{ m}^3/\text{j}$$

- **Calcul le volume de réacteur :**

$$V = Q_p \times T_b$$

$$V = Q_p \times T_b = 81,3 \times 15 = 1219,5 \text{ m}^3$$

- **Le temps de séjour hydraulique (TH) :**

$$Th = \frac{V}{Q} = \frac{1219,5}{180} = 6,8 \text{ h}$$

- **La quantité d'oxygène nécessaire :**

$$Q(O_2) = Q \times (S_e - S) - Q_p \times X \times 0,8 \times 1,44$$

$$Q(O_2) = 4320 \times ((813,75 - 90) \times 10^{-3}) - 81,3 \times 10 \times 0,8 \times 1,44 = 2190,02 \text{ kg/j}$$

**Tableau 18 :** Comparaison des 3 variantes BRM

	Y (KgMVS/KgDCO)	Qp (m <sup>3</sup> /j)	V (m <sup>3</sup> )	Q (O <sub>2</sub> ) (Kg/j)	TH (h)
<b>Variante 1</b>	0,15	27,3	1091,6	2497,84	6
<b>Variante 2</b>	0,30	46,9	469	2046,02	2,6
<b>Variante 3</b>	0,26	81,3	1219,5	2190,02	6,8

➤ **Comparaison entre les variantes de BRM :**

-La variante 2 est de volume plus bas que ceux du procédé 1 et 3, ainsi que des temps de séjour hydraulique plus courts.

- Le bioréacteur à membrane du variante 2 nécessite une quantité d'oxygène inférieure à celle du procédé 1 et 3.

**Tableau 19 :** Caractéristiques du bassin de BRM (variante 2)

Ouvrage: Bassin BRM	Unité	Résultat
Volume	m <sup>3</sup>	469
Surface	m <sup>2</sup>	156
Hauteur	M	3
Longueur	M	20
Largeur	M	7,8

**Tableau 20:** le choix entre les trois (3) variantes (BAC, MBBR et BRM)

	Volume (m <sup>3</sup> )	Temps de séjour (h)	Demande d'oxygène (Kg/J)	Qualité d'eau sortie
<b>BAC</b>	3546	11	15594,3	
<b>MBBR</b>	1164	6,5	1900,8	
<b>BRM</b>	469	2,6	2046,02	+

➤ **Comparaison entre les trois (3) variantes (BAC, MBBR et BRM):**

- Le volume du bassin BRM est plus petit que celui du procédé biologique à boues activées et MBBR, ce qui entraîne une réduction de la taille du bassin et donc une économie d'espace pour l'industrie.
- La durée de séjour hydraulique de BRM est inférieure à celle du bassin biologique traditionnel et MBBR
- Le BRM, contrairement au procédé biologique par boue activée et MBBR, requiert une quantité d'oxygène plus importante par rapport au procédé biologique traditionnel et MBBR, ce qui entraîne une augmentation de l'activité des microorganismes épurateurs et explique la baisse de la production de boues.
- Suite aux résultats obtenus, nous avons opté pour la troisième option : Le bioréacteur

membranaire ou le BRM.

**c. Calcul du nombre de modules membranaires :**

Par la suite du dimensionnement, nous utiliserons l'exemple des membranes commerciales d'Ultrafiltration Polymem UF 100LS2F pour déterminer les caractéristiques du compartiment membranaire à mettre en place. Les spécifications principales de cette membrane sont synthétisées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 21 :** Caractéristiques de la membrane Polymem UF 100 (de site web : polymem)

Paramètres	Unités	Valeurs
Flux maximal admissible (Jw)	L/h/m <sup>2</sup>	<b>25</b>
Perméabilité de la membrane (Lp)	L/h/m <sup>2</sup> /bars	<b>600</b>
Surface utile par module (S)	m <sup>2</sup>	<b>7.5</b>
Diamètre moyen des pores (dp)	µm	<b>0.01</b>
Diamètre du module (dm)	Mm	<b>75</b>
Hauteur du module (Lm)	Mm	<b>840</b>

• **Débit brut du perméat produit par module :**

$$Q_{p\text{ brut}} = J_w * A \dots\dots \text{Equation 5-32}$$

- Jw : flux de production du perméat par module.
- A : surface de la membrane (m<sup>2</sup>)

$$Q_{p\text{ brut}} = 25 \times 7,5 = 187,5 \text{ l/h}$$

• **Calcul du débit net produit par module**

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

$$Q_{p\text{ net}} = \frac{t_f}{t_f + t_{\text{relax}}} \times Q_{p\text{ brut}} \dots\dots \text{Equation 5-33}$$

Dans notre cas, sans avoir effectué d'essais en laboratoire, nous choisirons le système de relaxation afin d'amorcer le colmatage des membranes internes du bioréacteur.

- $t_f$ : temps de filtration (9 – 16 min). [17] On prend  $t_f = 14$  min
- $t_{\text{relax}}$  : temps de relaxation (30s – 2 min). On prend  $t_{\text{relax}} = 1,8$  min

$$Q_{p\text{ net}} = \frac{14}{14 + 1,8} \times 3,125 = 2,76 \text{ l/min}$$

$$Q_{p \text{ net}} = 166,1 \text{ l/h}$$

$$Q_{p \text{ net}} = 3,99 \text{ m}^3/\text{j}$$

- **Nombre de modules :**

$$N = E \left( \frac{J_s}{J_{p \text{ net}}} + 1 \right) \dots\dots \text{Equation 5-34}$$

Avec :

- E : fraction entière
- $J_s$  : flux du perméat (10 – 40 l/h.m<sup>2</sup>)
- $J_{p \text{ net}}$  : Flux net produit par module (l/m<sup>2</sup> .h), il correspond au flux de perméat global produit sur un cycle (filtration+ rétro lavage/ relaxation).

$$J_{p \text{ net}} = \frac{Q_{p \text{ net}}}{A} = \frac{166,1}{7,5} = 22,14 \text{ l/h. m}^2$$

$$N = E \left( \frac{25}{22,14} + 1 \right) = 2 \text{ Modules}$$

➤ **Calcul de la charge polluante éliminée :**

La présence de matières organiques et minérales sédimentables dans les eaux résiduaires prétraitées est encore présente. Le bioréacteur à membrane permet d'éliminer 96 % de la DBO<sub>5</sub>, 99% de MES, 86% de la DCO et 87% de l'azote total. De plus, il élimine les éléments traces métalliques ainsi que les micro-organismes pathogènes tels que les virus, les bactéries, ... [35].

Étude de différentes approches visant la réduction des Polluants de rejets au fond du bassin, la matière décantable se déposera et sera récupérée sous forme de boue secondaire dans les épaisseurs afin d'être traitée.

- Les charges de pollution à l'entrée du bioréacteur sont :

$$DBO_5 = 2376 \text{ Kg/j} \Rightarrow 550 \text{ mg/l}$$

$$MES = 820,8 \text{ Kg/j} \Rightarrow 190 \text{ mg/l}$$

$$DCO = 3780 \text{ Kg/j} \Rightarrow 875 \text{ mg/l}$$

$$NTK = 197 \text{ Kg/j} \Rightarrow 45,6 \text{ mg/l}$$

- Les charges éliminées par le bioréacteur ont membrane été donc :

$$DBO_5 \text{é} = 0,96 \times DBO_5 = 0,96 \times 2376 = 2280,96 \text{ Kg/j} \Rightarrow 528 \text{ mg/l.}$$

$$MES \text{é} = 0,99 \times MES = 0,99 \times 820,8 = 812,59 \text{ Kg/j} \Rightarrow 188,1 \text{ mg/l.}$$

$$DCOé = 0,95 \times DCO = 0,95 \times 3780 = 3591 \text{ Kg/j} \Rightarrow 831,25 \text{ mg/l.}$$

$$NTKe = 0,87 \times NTK = 0,87 \times 197 = 171,39 \text{ Kg/j} \Rightarrow 39,67 \text{ mg/l.}$$

- Les charges à la sortie du bioréacteur à membrane sont donc :

- $DBO5s = DBO5 - DBO5é = 2376 - 2280,96 = 95,04 \text{ Kg/j} \Rightarrow 22 \text{ mg/l.}$
- $DCOs = DCO - DCOé = 3780 - 3591 = 189 \text{ Kg/j} \Rightarrow 43,7 \text{ mg/l.}$
- $MESs = MES - MESé = 820,8 - 812,59 = 8,21 \text{ Kg/j} \Rightarrow 1,9 \text{ mg/l.}$
- $NTKs = NTK - NTKé = 197 - 171,39 = 25,6 \text{ Kg/j} \Rightarrow 6 \text{ mg/l.}$

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

Une fois que cette série de traitements appropriés a été mise en œuvre pour respecter les normes de rejet, voici un tableau qui résume les charges polluantes par rapport à ces normes.

**Tableau 22:** Evaluation des charges après le traitement précédent

Charge	Kg/j	Mg/l	Norme de rejet	Norme de réutilisation
DCO	175,77	43,7	120	90
DBO5	95,04	22	35	30
MES	8,21	1,9	35	30
NT	25,6	6	30	30

➤ **Commentaire :**

Les valeurs des charges polluantes sont clairement inférieures aux normes de rejet et aux normes de réutilisation, ce qui permet d'éviter tout impact négatif sur l'environnement lors du rejet dans le milieu naturel.

Donc , on doit faire un traitement complémentaire simple comme désinfection

**V.9.1. Quantification des boues:**

- **Boue primaire :**

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

$$DXp = DBO5_{\text{élim}} + MES_{\text{élim}} + DCO_{\text{élim}} \dots\dots \text{Equation 5-36}$$

$$DXp = 1650 + 1710 + 2625$$

$$DXp = 5601,25 \text{ mg/l} = 24197,4 \text{ kg/j}$$

Avec :

une concentration de 20 à 30 mg/l

$$Qp = 24197,4 / 30 = 806,58 \text{ m}^3/\text{j}$$

- **Boue secondaire:**

Les eaux de lavage évacuées ont une concentration comprise entre 0,6 et 1 mg MES/L.

Pendant une durée comprise entre 20 minutes et 1 heure.

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

$$DXs = DBO5_{\text{éliminée2}} + NTKe + DCO_{\text{élim2}} + MES_{\text{élim2}}$$

$$DXs = 528 + 39,67 + 773,06 + 188,1 = 1528,83 \text{ mg/l} = 6604,54 \text{ kg/j}$$

Avec :

une concentration de 10 à 30 mg/l

$$Qs = 6604,54 / 30 = 220,15 \text{ m}^3/\text{j}$$

- **Production totale des boues :**

$$DXt = DXp + DXs \dots\dots \text{Equation 5-37}$$

$$= 24197,4 + 6604,54 = 30801,9 \text{ kg/j}$$

**V.11. Dimensionnement de l'épaisseur**

- **Le volume de l'épaisseur :**

$$V = Qp \times Ts$$

$$= 806,58 \times 2 = 1612,4 \text{ m}^3$$

$$V = 1612,4 \text{ m}^3$$

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

Qp: débit de boue primaire = 186,7 m<sup>3</sup> /j

- **La surface horizontale :**

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

on calcule :

$$S_h = \frac{V}{H} = \frac{1612,4}{3} = 537,4\text{ m}^2$$

$$S_h = 537,4\text{ m}^2$$

- **Le Diamètre :**

$$D = 26\text{ m}$$

- **Hauteur du cône :**

$$H_c = D \times 0.15 = 4\text{ m}$$

$$H_c = 4\text{ m}$$

- **Volume du cône:**

$$V_c = S_h \times H_c / 3 = 716,15\text{ m}^3$$

$$V_c = 716,15\text{ m}^3$$

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

**Tableau 23:** Les résultats de dimensionnement de l'épaisseur

Paramètre	Unité	Valeur
Volume de l'épaisseur ( $V_e$ )	$\text{m}^3$	1612,4
Surface de l'épaississement	$\text{m}^2$	537,4
Diamètre de l'épaississement (D)	M	26
La hauteur du cône ( $H_c$ )	M	4
Volume du cône ( $V_c$ )	M	716

### V.12. Digesteur aérobic

Pour réduire le volume des boues et accroître leur quantité, les boues épaissies sont introduites dans le digesteur avec une concentration de 80 g/l.

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

$$Q_b = DXt/80 \dots\dots \text{Equation 5-38}$$

$$= 30801,9 / 80 = 385 \text{ m}^3/\text{j}$$

- **Temps de séjour :**

$$T_s = 175 * 10^{(-0.03 * T)} \dots\dots \text{Equation 5-39}$$

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

On obtient :

$$T_s = 15.6 \text{ Jours}$$

- **Volume du digesteur :**

$$V = Q_b \times T_s$$

$$= 385 \times 15.6 = 6006 \text{ m}^3$$

$$V = 6006 \text{ m}^3$$

- **Surface du digesteur :**

$$S = V / H$$

$$= 6006 / 6 = 1001 \text{ m}^2$$

$$S = 1001 \text{ m}^2$$

- **Diamètre digesteur :**

$$D = 35 \text{ m}$$

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

**Tableau 24:** Les résultats de dimensionnement de digesteur aérobie

Paramètre	Unité	Valeur
Le débit des boues arrivant au digesteur (Qb)	m <sup>3</sup> /j	385
Le temps de séjour	Jours	15.6
La hauteur de digesteur	M	6
Le volume de digesteur	m <sup>3</sup>	6006
La surface horizontale de digesteur	m <sup>2</sup>	1001
Le diamètre de digesteur	M	35

### V.13. Le filtre à bande

C'est un appareil conçu spécifiquement pour déshydrater de manière continue les 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 :

$$\Delta X_{t.h} = DX_{totale} / T \dots\dots \text{Equation 5-40}$$

$$\Delta X_{t.h} = 30801,9 / 8 = 3850,2 \text{ kg/h}$$

➤ **La quantité de boues extraites :**

Pour une suscité finale

$$SF = 18\%$$

$$QB = \Delta X_t / SF \times 1000 \dots\dots \text{Equation 5-41}$$

$$QB = 30801,9 / 0.18 \times 1000 = 171,12 \text{ m}^3/\text{j}$$

➤ **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 :

$$L = \Delta X_{t.h} / 150 \dots\dots \text{Equation 5-42}$$

$$= 3850,2 / 150 = 26$$

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

**Tableau 25:** 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	3850,2
La suscité finale	%	18
La quantité de boue extraite	$\text{m}^3/\text{j}$	171,12
La capacité de filtration	KgMS/hm	150
La largeur de la bande	M	26

#### V.14. Dimensionnement du bassin de stockage des eaux usées épurées

- **Le volume du bassin :**

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

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

$$V = 4320 \text{ m}^3$$

- **La surface horizontale du bassin :**

On prend la hauteur du bassin  $H = 5$

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

$$S = 864 \text{ m}^2$$

- **Le diamètre du bassin:**

$$D = 33 \text{ m}$$

### V.15. Destination finale des eaux épurées et les boues

- **Les eaux usées épurées :** après avoir stocké nos eaux épurées dans le réservoir de stockage et respecté les normes de rejet et de réutilisation, nous passons à l'étape de réutilisation. Nous avons décidé de réutiliser notre eau pour le lavage des matières premières, nettoyage du matériel et de sols, l'arrosage des espaces verts, la réutilisation dans les circuits de refroidissement de l'usine pharmaceutique et divers autres usages comme la protection contre l'incendie.
- **Les boues d'épurations séchées :**

Pour les boues de l'usine pharmaceutique On propose une réutilisation des boues dans le domaine Valorisation Énergétique comme :

- ✓ **Production de Biogaz :** Les boues traitées peuvent être utilisées dans des digesteurs anaérobies pour produire du biogaz, une source d'énergie renouvelable.
  - **La méthanisation :** (ou fermentation anaérobie) est un procédé biologique permettant de valoriser des matières organiques qui sont dégradées partiellement en l'absence de l'oxygène (digestion anaérobie), par l'action combinée de plusieurs types de micro-organismes qui conduit à la formation du biogaz qui est source d'énergie renouvelable et d'un digestat utilisé comme fertilisant .
  - Le gaz produit peut ensuite être transformé en biométhane et injecté dans le réseau de gaz naturel renouvelable
- ✓ **Incinération :** Les boues séchées peuvent être incinérées pour produire de l'énergie thermique, qui peut être utilisée dans des processus industriels ou pour la production d'électricité.

### V.16. Conclusion

Dans le chapitre consacré au dimensionnement de la station d'épuration industrielle, les paramètres essentiels ont été établis afin de concevoir et d'optimiser de manière efficace ce système essentiel.

Les paramètres et les capacités requis pour chaque composant de l'installation ont été calculés et spécifiés avec soin. Cela assure que la station sera en mesure de traiter efficacement les eaux usées et de respecter les normes 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, environnementales, les coûts d'investissement et d'exploitation .



# CHAPITRE VI:

## Calcul hydraulique

### VI.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons évaluer les dimensions des structures qui permettent la circulation de l'eau d'un bassin à un autre, dans le but de garantir le flux des eaux usées de l'entrée de la STEP, entre les différents compartiments et traitements, jusqu'à la sortie. La conception et le fonctionnement d'une station d'épuration des eaux usées (STEP) englobent deux éléments : les dépenses d'investissement et d'exploitation et le calcul hydraulique. En ce qui concerne le calcul hydraulique, il est possible de calculer les débits et les flux d'eaux usées nécessaires pour dimensionner la station.

Pour cette raison, nous examinerons l'importance de ces deux éléments pour une gestion optimale et économique des stations d'épuration des eaux usées.

### VI.2. Calcul du diamètre de la conduite Principale

Pour le calcul du diamètre de la conduite principale vers l'ouvrage d'entrée Le dégrilleur sera calculé en utilisant l'abaque . (Annexe 1)

$$Q_{ent} = 0,05 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{D'après (Annexe 1)} \rightarrow \mathbf{D = 350 \text{ mm}}$$

$$I = 0,3\%$$

Donc le diamètre normalisé est :  $D=350\text{mm}$

- La vitesse d'écoulement est :

$$V = \sqrt{\frac{4 \times Q_{rej}}{\pi D^2}} \dots\dots \text{Equation 6-1}$$

$$= \sqrt{\frac{4 \times 0,05}{\pi 0,200^2}} = 0,72 \text{ m/s}$$

$$\mathbf{V = 0,72 \text{ m/s}}$$

### VI.3. Les niveaux d'eau dans le collecteur principal

#### VI.3.1. Débit à pleine section :

$$Q = \frac{1}{\mu} \times R h^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \times S \dots\dots \text{Equation 6-2}$$

$$R_h = \frac{D}{4} = \frac{0,350}{4} = 0,0875 \text{ m} \quad K = \frac{1}{\mu} = 77$$

$$\mathbf{Q_{ps} = 2,73 \text{ m}^3/\text{s}}$$

➤ **Choix de conduite :****Tableau 26:** Valeurs des paramètres de calcul des pertes de charges linéaires[37]

Matériaux	K	M	B
Acier	0.00179 à 0.001735	5.1 à 5.3	1.9 à 2
Fonte	0.00179 à 0.001735	5.1 à 5.3	1.9 à 2
Amiante ciment	0.00118	4.89	1.85
Plastique	0.001052	4.774	1.77

- Notre préférence a été pour le plastique : Les canalisations en plastique, comme le PVC ou le PEHD, sont légères, faciles à installer et résistantes à la corrosion. On les utilise souvent dans les systèmes de traitement des eaux usées (STEP), à savoir l'impact, la résistance à la déformation permanente et la rigidité élastique.

Alors :

$$K = 0.001052$$

$$m = 4.774$$

$$\beta = 1.77$$

Donc :

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

$$\Delta H_{Lin} = K \times L \times Q^\beta / D^m \dots\dots \text{Equation 6-4}$$

$$\Delta H_{Lin} = 0.001052 \times 10 \times 0,05^{1,7} / 0,2^{4,774} = 0,14 \text{ m}$$

En générale :

$$\Delta H_{sin} = 0,1 \times \Delta H_{Lin}$$

$$\text{Alors : } \Delta H_{sin} = 0,014 \text{ m}$$

Donc :

$$\Delta H = \Delta H_{lin} + \Delta H_{sin} \dots\dots \text{Equation 6-5}$$

$$\Delta H = 0,14 + 0,014$$

$$\Delta H = 0,154 \text{ m}$$

#### VI.4. Profil hydraulique

Le profil hydraulique implique le calcul des divers niveaux d'eau le long de la chaîne de traitement, ce qui nous permet d'accéder à la position de la ligne de charge.

Les dimensions moyennes du sol naturel des zones où les ouvrages sont implantés sont les suivantes. représentées dans le tableau suivant :

**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)
Dégrilleur	656,7	1	656,7	657,7
Bassin d'homogénéisation	654,6	3	654,6	657,6
Bassin de coag	654,1	2	653,8	655,8
Bassin de floc	654	2	653,7	655,7
Décanteur primaire	653,5	2,5	651,5	654
BRM	650,7	3	648,7	651,7
Réservoir destockage	649,7	5	646	651

- CR : représente la cote réelle.
- H : la hauteur d'ouvrage.
- CP : la cote piézométrique.

A partir du tableau 29, on peut dire que le terrain cible pour l'implantation des ouvrage de l'extension est très accidenté, ce qui nécessite de travaux d'excavation et de remblayage afin de le préparer convenablement.

#### VI.5. Dimensionnement des conduites reliant les ouvrages

$$\Delta H_{Lin} = K \times L \times Q^{\beta} / D^m = C_{Pa} - C_{Pb} \quad \dots\dots\dots \text{Equation 6 - 6}$$

Avec :

- ✓ K : Coefficient de perte de charge ,

$$K = 0,001052$$

- ✓ Qe: Débit entrant,

- ✓  $Q_e = 0,05 \text{ m}^3 / \text{s}$ .
- ✓  $L$  : Longueur de la conduite en (m).
- ✓  $\beta$  : 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.
- ✓  $C_{PB}$  : Cote du plan d'eau au point B (m).
- ✓  $C_{PA}$  : Cote du plan d'eau au point A (m).

**VI.6. Calcul des longueurs des conduites reliant les ouvrages**

Les dimensions des conduites sont déterminées en se basant sur le plan de masse de la station d'épuration. Pour tous nos calculs, nous utiliserons les dimensions équivalentes afin de prendre en compte les pertes de charges singulières tel que :

$$L_{eq} = 1.05 * L_{réelle} \dots\dots \text{Equation 6-7}$$

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

Conduite	$L_{réelle}$	$L_{eq}$
Dégrilleur – bassin d'homogénéisation	1	1,05
Bassin d'homogénéisation- Bassin Coagulation	17	17,85
Bassin Coagulation - Bassin Flocculation	26	27,3
Bassin Flocculation -Décanteur Primaire	32	33,6
Décanteur Primaire- BRM	50	52,5
BRM – Réservoir de stockage	22	23,1

➤ **Diamètre :**

$$D = \sqrt[m]{\frac{K \times L \times Q^{\beta}}{C_{Pa} - C_{Pb}}} \dots\dots \text{Equation 6-8}$$

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

$$\frac{P_1}{W} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{W} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + H_{1,2} \dots\dots \text{Equation 6-9}$$

Avec :

$\frac{P_1}{W}$  et  $\frac{P_2}{W}$  : Énergies de pression dans la section (1) et (2).

$\frac{V_1^2}{2g}$  et  $\frac{V_2^2}{2g}$  : Énergies cinétiques en (1) et (2).

$Z_1$  et  $Z_2$  : Cotes des points (1) et (2).

$H_{1-2}$  : Pertes de charges dans le tronçons (1-2).

Les variations de vitesses étant faible très faibles, donc les énergies cinétiques peuvent être éliminées

on aura :

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

On pose :

$$\frac{P_1}{W} = H_1$$

$$\frac{P_2}{W} = H_2$$

Donc :

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

Tel que :

$$C_{P1} = H_1 + Z_1$$

$$C_{P2} = H_2 + Z_2$$

Alors:

$$C_{P1} = C_{P2} + H_{1-2}$$

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

Tableau 29: Résultats du calcul hydraulique

Conduite	$L_{réelle}$	$C_{P1}-C_{P2}$	$D_{cal}$ (m)	$D_{nor}$ (mm)	DH
Dégrilleur – bassin d'homogénéisation	1,05	0,1	0,13	150	0,05
Bassin d'homogénéisation- Bassin Coagulation	17,85	1,12	0,14	150	0,9
Bassin Coagulation - Bassin Floculation	27,3	0,1	0,25	300	0,05
Bassin Floculation - Décanteur Primaire	33,6	1,7	0,15	200	0,4
Décanteur Primaire – BRM	52,5	2,3	0,15	200	0,7
BRM - Réservoir destockage	23,1	0,7	0,17	200	0,3

- ✓  $L$  : la longueur entre les ouvrages
- ✓  $C_{P1} - C_{P2}$  : la différence entre les côtes piézométriques
- ✓  $D_{nor}$  : le diamètre de conduite normalisée
- ✓  $D_{cal}$  : le diamètre de conduite calculée

### VI.7. Conclusion

Ce chapitre traite de l'optimisation du système de traitement des eaux usées dans une usine de production pharmaceutique . L'objectif principal était de réaliser une étude hydraulique approfondie de la station d'épuration. Le calcul effectué englobait la détermination des dimensions des conduites qui relient les diverses structures et différentes cotes piézométriques afin de déterminer la ligne d'eau pour créer le profil hydraulique présenté dans les planches.



# CHAPITRE VII:

## Aspect économique

### VII.1. Introduction

L'étape essentielle de l'organisation d'un chantier est la gestion méticuleuse des ressources humaines et matérielles. L'objectif de cette planification est d'assurer l'efficacité, la qualité et la rentabilité lors de la réalisation des travaux. Une fois que les étapes de traitement des eaux usées ont été élaborées, il est essentiel de réaliser un devis estimatif et quantitatif afin d'évaluer les différents volumes de travaux et les composants de la station. Avant la production, un coût de vente convenu est crucial. Cependant, une estimation précise des coûts et des ressources nécessite une vigilance constante. Les hypothèses peuvent être ajustées tout au long du projet, nécessitant une surveillance continue pour garantir l'alignement avec le terrain. Une bonne coordination d'équipe, des délais clairs et un suivi rigoureux sont essentiels.

### VII.2. Estimation du cout total de la réalisation de la station

Les coûts des projets sont principalement engendrés par les éléments suivants :

#### a. Le coût d'investissement:

- Coût des travaux de construction, y compris les travaux de terrassement et la réalisation des constructions en béton.
- Achat de matériel tels que les racleurs, les turbines, les pompes aérateurs et les tuyaux.

$$CT_i = C_{gc} + C_{eq} + C_{vrd}..... \text{Equation 7-1}$$

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

#### b. Coût d'investissement

##### ➤ 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.

Le volume de la couche végétale sera calculé à l'aide de la formule suivante :

$$V = 0.2 \times S_{hi}..... \text{Equation 7-2}$$

Avec :

V : volume de terrassement de l'ouvrage.

$S_{hi}$  : surface de l'ouvrage.

Le coût d'un ouvrage sera donc :

$$C = 300 \times V \dots \dots \text{Equation 7-3}$$

**Tableau 30:** Le coût de terrassement de chaque ouvrage

Ouvrages	Surface (m <sup>2</sup> )	Volume terrassement (m <sup>3</sup> )	Coût (DA)
Dégrilleur	1	0,2	60
Bassin d'homogénéisation	2160	432	129600
Basin de coagulation	4,5	0,9	270
Basin de flocculation	15	3	900
Décanteur primaire	180	36	10800
BRM	364	72,8	21840
Epaississeur	537	107,4	32220
Digesteur	1001	200,2	60060
filtre à bande	26	5,2	1560
Réservoir de stockage	864	172,8	51840
	Total		310950

Le coût total du terrassement est estimé à  $C_{terr} = 310950$  DA

### c. Évaluation du Coût du Béton Armé :

Le coût du béton est actuellement estimé à  $P_u = 20000$  DA/m<sup>3</sup>

$$C_b = P_u \times V_{tb} \dots \dots \text{Equation 7-4}$$

$C_b$  : Coût du béton.

$V_{tb}$  : Volume total de béton.

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

ii. 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 :

$$V_{tb} = V_r + V_m \dots\dots \text{Equation 7-5}$$

Où :

$$V_r = S_h \times e_r \dots\dots \text{Equation 7-6}$$

$$V_m = P \times H \times e_m \dots\dots \text{Equation 7-7}$$

**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  $e_m = 0,2$  m
- ✓ L'épaisseur du radier  $e_r = 0,3$  m

**Tableau 31:** Le coût du béton armé de chaque ouvrage

Ouvrages	Volume (m <sup>3</sup> )		V <sub>tb</sub>	Coût (DA)
	V <sub>m</sub>	V <sub>r</sub>		
Bassin d'homogénéisation	125	388	513	10260000
Basin de coagulation	2,5	1,35	3,85	77000
Basin de floculation	5,4	4,5	10	200000
Décanteur primaire	23,5	54	77,5	1550000
BRM	47,7	109,2	156,9	3138000
Epaississeur	49	161	210	4200000
Digesteur	131	300	431	8620000
filtre à bande		7,8	7,8	156000
Réservoir de stockage	103,6	259	362,6	7252000
		Total		35780000

Coût total du béton armé est estimé à  $C_{ba} = 35780000$  DA

#### d. Coût total du génie civil :

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

$$C_{gc} = C_{terr} + C_{ba} \dots \dots \text{Equation 7-8}$$

$$C_{gc} = 35780000 + 310950 = 36090950 \text{ DA}$$

#### e. Coût des VRD

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

Donc :

$$C_{VRD} = 0.25 \times 36090950 = 9022737,5 \text{ DA}$$

**f. Coût des équipements électromécaniques et électriques et des installations hydromécaniques :**

Il est estimé à 40% du  $(C_{gc} + C_{VRD})$

$$C_{eq} = 18045475 \text{ DA}$$

➤ **Coût total des investissements de la station :**

$$C_{Ti} = C_{gc} + C_{VRD} + C_{eq} \dots\dots \text{Equation 7-9}$$

$$C_{Ti} = 63159162,5 \text{ DA}$$

**g. Coût de fonctionnement**

➤ **Le coût de main d'œuvre :**

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

$$C_{m.o} = 0.05 \times C_{Ti} \dots\dots \text{Equation 7-10}$$

$$C_{m.o} = 3157958 \text{ DA}$$

➤ **Le coût de renouvellement du matériel électromécanique :**

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

$$C_{rm} = 3157958 \text{ DA}$$

➤ **Le coût des frais financiers :**

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

$$C_{ff} = 3157958 \text{ DA}$$

➤ **Le coût de fonctionnement total:**

$$C_{Ft} = C_{m.o} + C_{rm} + C_{ff} \dots\dots \text{Equation 7-11}$$

$$C_{Ft} = 9473874 \text{ DA}$$

**h. Le coût estimatif du projet**

$$I = 72633036,5 \text{ DA}$$

**i. Calcul du prix du m<sup>3</sup> d'eau traitée:**

- **Le coût d'amortissement annuel:**

$$C_{aa} = C_{Ti} / T \dots\dots \text{Equation 7-12}$$

Avec :

T : durée d'amortissement t= 30 ans.

$$C_{aa} = 2105305,4 \text{ DA}$$

- **Coût annuel de la station:**

$$C_{TS} = C_{aa} + C_{ft} \dots\dots \text{Equation 7-13}$$

$$C_{TS} = 11579179,4 \text{ DA}$$

- **Calcul du prix du m<sup>3</sup> d'eau épurée:**

Le volume total annuel d'eau épurée en l'an 2053 est :  $V_{an} = 4320 \times 365 = 1576800 \text{ m}^3$ .

- **Le coût du m<sup>3</sup> épurée (Ce) ce calcul**

alors :

$$C_e = C_{TS} / V_{an} \dots\dots \text{Equation 7-14}$$

$$C_e = 7,3 \text{ DA}$$

**VI.3. L'entretien et le suivi des équipements de la station d'épuration**

Il est essentiel de maintenir un entretien régulier et de surveiller les équipements des stations d'épuration des eaux usées afin de garantir leur bon fonctionnement à long terme. Les éléments nécessaires sont les suivants :

**VI.3.1. Entretien préventif et planifié :** L'entretien préventif est l'ensemble des activités concernant la planification, le contrôle et l'enregistrement documentaire de tous les travaux nécessaires pour maintenir des équipements en état de bon fonctionnement. Cela englobe différentes tâches telles que la maintenance régulière des pompes, des vannes, des filtres, des décanteurs.

**VI.3.2. Inspection des équipements :** Effectuer régulièrement des vérifications visuelles et fonctionnelles afin de repérer les signes de problème ou d'usure.

**VI.3.3. Nettoyage :** on faut savoir que le nettoyage de la station d'épuration fait partie des tâches de maintenance effectuées par les techniciens Il est essentiel de procéder à un nettoyage régulier des équipements tels que les filtres, les canalisations, les membranes et les réservoirs afin d'éviter le colmatage et de garantir l'efficacité du traitement des eaux usées.

**VI.3.4.Échantillonnage et analyse :** L'échantillonnage est une étape primordiale de l'analyse car pour obtenir un résultat d'analyse pertinent,. Les performances de l'usine de traitement sont suivies par des analyses physicochimiques et microbiologiques afin de vérifier le respect des normes de réutilisation.

**VI.3.5. Réparation et substitution :** il est l'action de restaurer et remplacer des équipements défectueux, des machines ou usé dès qu'un souci est identifié. Veillez à ce que l'équipement critique soit équipé de pièces de rechange a fin de appropriées Minimiser les temps d'arrêt, réduire les interruptions dans le traitement des eaux usées, et maintenir l'efficacité et la sécurité opérationnelle de la station.

**VI.3.6. Formation des employés :** Il s'agit du processus d'éducation et de développement des compétences des travailleurs chargés de la gestion et du fonctionnement d'une station d'épuration. Cette formation vise à leur fournir les connaissances et les compétences nécessaires pour effectuer leurs tâches efficacement et en toute sécurité.

#### VI.4. Conclusion

Ce chapitre traite de l'analyse technico-économique de la station d'épuration, en mettant en évidence les aspects suivants : L'analyse quantitative et qualitative effectuée nous a donné une estimation du coût du projet de conception d'une unité de traitement des eaux usées industrielles pour l'usine pharmaceutique, située dans la wilaya de Médéa. Ce montant a été estimer à **72633036,5 DA**. Il est crucial de réaliser cette évaluation financière afin de planifier et de suivre le budget du projet, ce qui permet une gestion efficace des ressources financières. Le projet s'appuiera sur elle comme référence pour améliorer le traitement des eaux usées des usines et réduire leur impact environnemental



# Conclusion Générale

## Conclusion Générale

---

En conclusion, ce mémoire a examiné de manière approfondie le processus de dimensionnement d'une station d'épuration industrielle spécialement conçue pour la production pharmaceutique, dans le but principal de réutiliser de manière efficace les eaux traitées. Au cours de cette recherche, nous avons examiné différents éléments essentiels, tels que la description des eaux usées propres à l'industrie pharmaceutique, ainsi que la sélection et la conception des unités de traitement adéquates afin d'atteindre les normes de qualité requises.

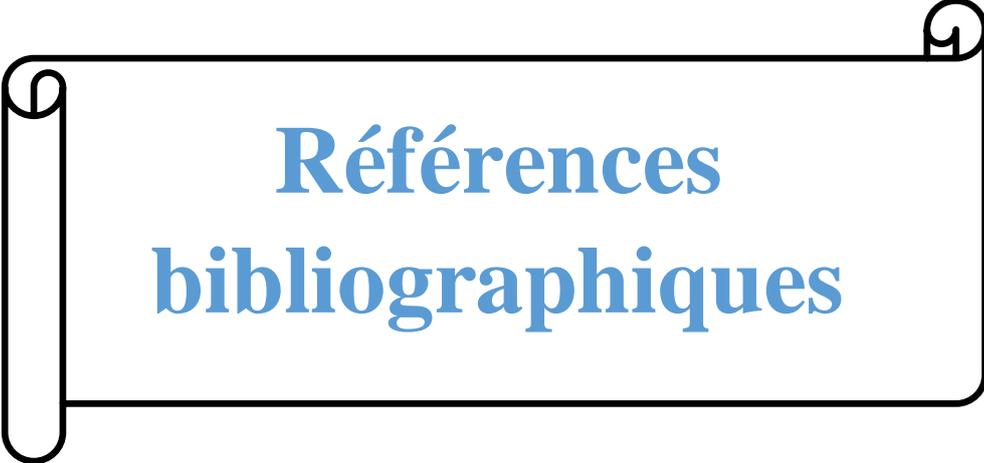
Cette eau usée facilement biodégradable et les quantités de DCO, MES et de DBO<sub>5</sub> importantes, on s'est dirigé vers le procédé de réacteur coagulation-floculation ainsi qu'un traitement biologique par procédé Bioréacteur membranaire (BRM) et un traitement complémentaire, on a utilisé une ozonation comme désinfection.

On a comparé les résultats obtenus lors de la conception des BRM à ceux d'un bassin de traitement biologique à boues activées et MBBR, Il est important de souligner que l'installation d'un BRM est plus efficace que le bassin biologique à boues activées et MBBR dans de nombreuses caractéristiques.

A l'aval de la STEP, Nous avons bénéficié d'une eau épurée de haute qualité qui répond aux normes de réutilisation. Nous avons pris la décision de recourir à notre eau pour le lavage des matières premières, le nettoyage du matériel et des sols, l'arrosage des espaces verts et la réutilisation dans les circuits de refroidissement de l'usine pharmaceutique. Les boues ont également été suggérées pour être réutilisées comme combustible dans l'industrie elle-même, ou encore pour les convertir en énergie en les envoyant dans un incinérateur ou en les envoyant dans un procédé d'oxydation. La source d'énergie renouvelable la plus prometteuse reste la méthanisation des boues d'épuration

Aujourd'hui, la construction de stations d'épuration ne suffit pas, il est nécessaire de savoir comment les gérer. Il est tout aussi essentiel de gérer ces installations de manière adéquate, car une station d'épuration ne peut survivre sans une gestion adéquate.

Cependant, une surveillance quotidienne des installations de la STEP et la planification de journées d'entretien sont indispensables afin de prolonger la durée de vie des membranes et d'assurer une qualité d'eau optimale.



# Références bibliographiques

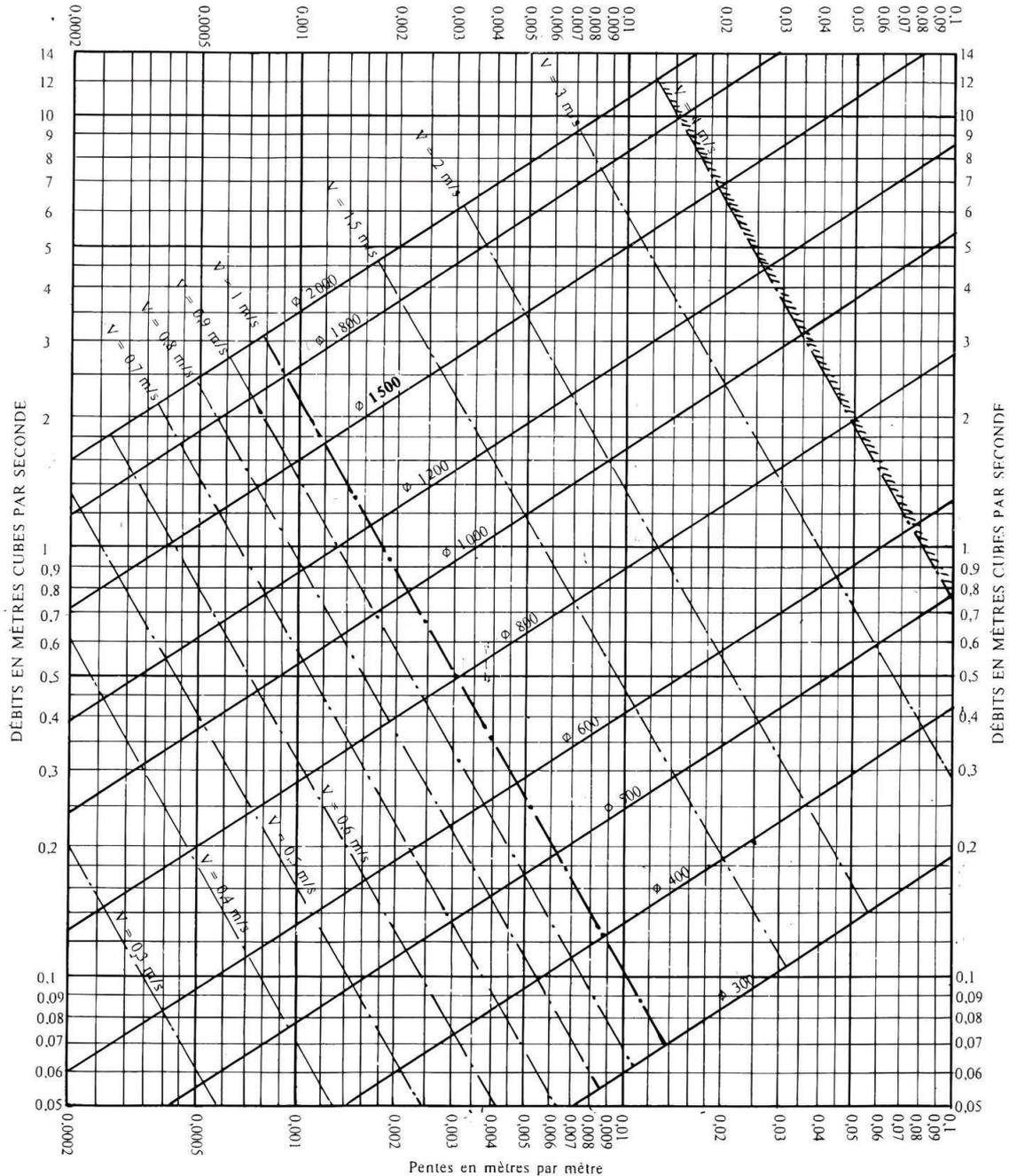
1. Jean. R, (1996) L'analyse de l'eau, les eaux usées résiduelles, eau de mer, DUNO, 2<sup>ème</sup> Edition, Paris.
2. Boeglin j.c ; pollution de l'eau industrielle : caractéristique – classification – mesure ; technique de l'ingénieur volume G1210 ; 10 jan 2007 / 1 oct 2019
3. Salim .Z, Lamia .G, Tahert .A, Kamel. D ,(2002), Les extrémités négatives de l'utilisation des eaux usées traitées en agriculture, Séminaire Méditerranéen .
4. www.biogaz-énergie renouvelable.info. Consulté le 20/05/2020.
5. Qualité du biométhane pour l'injection dans le réseau de distribution, Colloque ATEE, octobre 2010
6. Yahlatene S, Tahirim El Tladj, (2011), Réflexion sur la caractérisation physicochimique, des effluents Liquides rejetés dans la grande sebkha d'Oran, mémoire d'ingénieur, université des sciences et de la technologie d'Oran.
7. Thibaut .C, (2001/2002) technique de bio-conservation : la bio-méthanisation, IUT génie thermique et énergie.
8. MIZI, A. Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corpsgras région de BEJAIA et valorisation des déchets oléicoles ; Thèse de doctorat ; Université de Badji Mokhtar Annaba. 2006
9. Riffat -rumana- husnain ; fundamentals of waste water treatment and engineering ; 2022
10. Haoua .A, (2007), « Modélisation de séchage solaire sous serre des boues de station d'épuration urbaine, thèse de doctorat, université Louis Pasteur- Strasbourg I Discipline: Sciences pour l'ingénieur.
11. Bechac. P, Pierre. Boutin, B. Mercier, P. Nuer. Traitement des eaux usées. EYROLLES Paris 1987.
12. [file:///C:/Users/Admin/Pictures/MFE%202024/larab\\_salim.pdf](file:///C:/Users/Admin/Pictures/MFE%202024/larab_salim.pdf)
13. M.gaurasi ; les procédés physico-chimiques d'épuration des eaux usées industriel ; Ed association française pour l'étude des eaux France 1979
14. Chrisbinnie-martinkimber –hughthomas ;basic watertreatment;1jan2017
15. Claude Del porte ; traitement biologique aérobie des effluents industriels ; 10 jan 2007
16. Paul boulenger – yannick gallouin ; traitement biologique anaérobie des effluents industriels ; 10 aout 2009
17. Bongiovanni, J. M, (1998), Traitement des boues résiduelles par l'association en série d'une déshydratation mécanique et d'un séchage thermique, thèse de doctorat, université de Pau et des Pays de l'Adour.
18. tratamientos-biologicos-compactos-con-membranas-y-lecho-movil-smbr-y-smbbr/  
<https://sigmadafclarifiers.com/fr/>
19. Alain truc ; traitement tertiaire des effluent industriels ; 10 oct 2007
20. carbon/puration-de-leau <https://www.carbon-service.de/fr/>
21. [blog/faq-5/le-rolle-du-chlore-dans-le-traitement-de-l-eau-industrielle-443](https://www.durpro.com/blog/faq-5/le-rolle-du-chlore-dans-le-traitement-de-l-eau-industrielle-443) <https://www.durpro.com/>
22. Marie.N, Pons et al,( 2008) Analyse du cycle de vie- Epuration des eaux usées urbaines, technique d'ingénieur. G5820, paris
23. Eric guibelin ; caractéristique et traitement des boues d'épuration ; 10 mars 2021
24. publication/345203840\_La\_valorisation\_des\_eaux\_usee\_apres\_traitement  
<https://www.researchgate.net/>
25. eau-et-generalites/quelles-eaux-a-traiter-pourquoi/les-effluents-urbains/reutilisation-des-eaux-usees <https://www.suezwaterhandbook.fr/>
26. Baumont S, Camard J-P, Lefranc A, Franconie A. Réutilisation des eaux usées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS, 220p, 2004
27. [bitstream/123456789/14949/1/larab\\_salim.pdf](http://archives.univ-biskra.dz/bitstream/123456789/14949/1/larab_salim.pdf) <http://archives.univ-biskra.dz/>
28. <https://weatherspark.com>

29. <https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/443/7/1/217982>
30. [medearehabiliter-et-mettre-a-niveau-le-complexe-antibiotical/](https://www.miph.gov.dz/fr/medearehabiliter-et-mettre-a-niveau-le-complexe-antibiotical/) <https://www.miph.gov.dz/fr/>
31. [archives.ensh.dz/bitstream/123456789/14949/1/BENFEDDA\\_Hakim.pdf](http://archives.ensh.dz/bitstream/123456789/14949/1/BENFEDDA_Hakim.pdf) 2011
32. 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 JO N°26 , 23 avril 2006.
33. [apprendre/traitement-physico-chimique/](https://www.1h2o3.com/apprendre/traitement-physico-chimique/) <https://www.1h2o3.com>
34. (ALAIN TRUC, Traitement Tertiaires des Effluents Industriels, Techniques de l'Ingénieur – Alain TRUC, 2007)
35. Ghofrane taktak, Étude de différentes approches visant la réduction des Polluants de rejets d'eaux usées d'une industrie Agroalimentaire. Mémoire de MAÎTRISE EN GÉNIE CONCENTRATION GÉNIE DE L'ENVIRONNEMENT. Université de Montréal, 2016.
36. Suez water office des publications universitaire, ben-aknoun (Alger) ,2001.
37. dimensionnement mécanique de tuyaux, Rapport du Centre d'Études et de Recherches de l'Industrie du Béton 2017.



## ANNEXE 1 : .Abaque pour réseau pluviaux en système unitaire ou séparatif canalisation circulaire (KERLOC'HB,MAELSTAFD, 1977)

RÉSEAUX PLUVIAUX EN SYSTÈME UNITAIRE OU SÉPARATIF  
(Canalisations circulaires)



**Nota.** - La valeur du coefficient de Bazin a été prise égale à 0.46. Lorsque la pose des canalisations aura été particulièrement soignée, et surtout si le réseau est bien entretenu, les débits pourront être majorés de 20 % ( $V = 0.30$ ). A débit égal, les pentes pourront être réduites d'un tiers.