



## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

**Option : Réutilisation Des Eaux Non Conventionnelles**

**THEME :**

**Etude de Dimensionnement d'une station d'épuration des eaux usées industrielles d'une usine de papier WARAK dans la zone industrielle (W. SETIF)**

**Présenté par :**

**BELABBESE AHMED BADEREDDINE**

**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.A        | Examinatrice   |
| KOLIAI Djaffar        | M.A.A        | Examineur      |
| SADOUNE Samra         | M.C.A        | Promotrice     |

**Session October 2023**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# Remerciement

Je remercie avant tout  
dieu le tout puissant qui ma a éclairé le chemin de la  
réussite et du savoir, et ma a donné le courage et la  
volonté pour réaliser ce travail.

C'est avec un immense plaisir que j'exprime toute ma  
gratitude et ma satisfaction envers

Mme. **SADOUNE Samra**, 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 tous les enseignants qui  
ont contribué à ma formation du primaire jusqu'au cycle  
universitaire.



# Dédicace

À deux personnes que j'ai tant aimées et qui assisteront à ma  
soutenance : ma chère mère, à qui je dois beaucoup pour ses  
sacrifices et son soutien qui m'ont permis d'atteindre ce que je suis  
devenu aujourd'hui,

Mon cher père, qui m'a donné la volonté de réaliser et de  
terminer ce travail

À mes très chers frères : Wiam, Malake, Younse, Chaima, et à  
mon cœur Hiba, qui ont toujours été là pour moi, j'espère qu'ils  
trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon  
amour

À mes chers et fidèles amis Hicham, Abderrahmane, Omare,  
Raouf, Salah, Sofiane, Amer, Nadir, Merwane, Zyade, mourad  
ghofrane, Aziza, Amina ... merci pour tous les, moments  
inoubliables qu'on a eu le long de notre amitié.

A tous mes collègues

Je resterai éternellement reconnaissant envers B.Ilhame pour tout  
ce qu'elle a fait pour moi, et je tiens à exprimer ma profonde  
gratitude envers A.Koudoua, qui a toujours été à mes côtés et ma  
source de force

A ma chère vous tous Je dédie ce modeste travail.



## ملخص

ان هذا العمل يتضمن انشاء محطة لتنقية مياه الصرف الصناعي الناتجة من وحدة إنتاج المادة الأولية لصناعة منتجات التنظيف الورقية بالمنطقة الصناعية لولاية سطيف والمقدرة بـ 480 متر مكعب في اليوم . يتم هذا العمل بهدف الحفاظ على البيئة وحماية الصحة العامة، وأيضًا لإعادة استخدام هذا المورد الثمين. تتضمن هذه الدراسة جزئين رئيسيين.

الجزء الأول يتعلق بدراسة خصائص مياه الصرف الصحي وطرق معالجتها. وقد أظهرت نتائج التحليلات التي تم الحصول عليها أن هذه المياه تحتوي على ملوثات متعددة.

الجزء الثاني يرتبط بتصميم المحطة باستخدام نظام مفاعل الأغشية الحيوية المتحركة وذلك بعد إجراء دراسة مقارنة مع استخدام طريقة الطين المنشط. تبين أن هذا النظام فعال في معالجة تلوث المياه ويتوافق مع المعايير الجزائرية. تقدر تكلفة هذا المشروع بحوالي اثنا عشر مليون دينار جزائري (12,000,000.00 دج)

## Résumé

Ce travail consiste à réaliser une station d'épuration des eaux usées industrielle de l'unité de production de matières premières pour la fabrication de produits d'hygiène dans la zone industrielle de Sétif, leur quantité étant  $480 \text{ m}^3 / \text{j}$ , et cela dans le but de préserver le milieu naturel et protéger la santé publique, mais également dans afin de réutiliser cette précieuse ressource.

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 bioréacteur à lite fluidisé (MBBR) après une étude comparative avec l'utilisation de la méthode de boue activée. Il s'est avéré que ce système est efficace dans le traitement de la pollution de l'eau et qu'il est conforme aux normes algériennes. Le coût de ce projet est estimé à environ douze million dinars algériens (12 000 000,00 DA).

## Abstract

This project involves the establishment of a station for purifying industrial wastewater generated from the primary material production unit for the manufacturing of paper cleaning products in the industrial area of the state of Setif, with a daily capacity of 480 cubic meters. This work is carried out with the aim of preserving the environment, protecting public health, and also for the purpose of reusing this valuable resource. This study comprises two main parts.

The first part relates to the study of the characteristics of sewage water and its treatment methods. The results of the analyses obtained have shown that these waters contain multiple pollutants.

The second part is concerned with the design of the station using moving bed biofilm reactor system after a comparative study with the use of the activated sludge method. It has been found that this system is effective in treating water pollution and complies with Algerian standards. The cost of this project is estimated at approximately twelve million Algerian dinars (12,000,000.00 DZD).

# SOMMAIRE

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| Remerciements & dédicace ..... |  |
| Résumé .....                   |  |
| Sommaire .....                 |  |
| Liste des tableaux .....       |  |
| Liste des figures .....        |  |
| Notations .....                |  |
| Introduction générale .....    |  |

## *Chapitre I : Origine et Nature des eaux usées*

|   |    |
|---|----|
| Introduction.....   | 02 |
| I.1 Les eaux usées .....  | 02 |
| I.1.1 Définition .....  | 02 |
| I.1.2 Types des eaux usées.....   | 02 |
| I.2 La pollution des eaux industrielles.....                                  | 04 |
| I.2.1 La pollution physique .....   | 04 |
| I.2.2 La pollution chimique .....   | 04 |
| I.3 Les procédés d'épuration des eaux usées industrielles.....                | 06 |
| I.3.1 Les paramètres physiques.....   | 07 |
| I.3.2 Les paramètres chimiques.....   | 08 |
| I.3.3 Paramètres microbiologiques .....                                       | 11 |
| I.4 Impacts des eaux usées des industries.....                                | 11 |
| I.4.1 Impacts négatifs sur l'environnement et les eaux<br>Superficielles..... | 11 |
| I.4.2 Impacts négatifs sur le sol et les cultures.....                        | 11 |
| I.4.3 Effets nocifs sur la santé humaine.....                                 | 11 |
| I.5 La notion de norme .....  | 12 |
| I.5.1 Normes de rejets Algérienne.....  | 12 |
| I.6 Caractéristiques des eaux usées de l'industrie du papier .....            | 13 |
| Conclusion.....   | 13 |



## *Chapitre II : Les procédés d'épuration des eaux usées*

|   |    |
|---|----|
| Introduction .....  | 15 |
| II.1 Choix d'un procédé d'épuration .....                         | 15 |
| II.2 Organisations des égouts et des circuits.....                | 15 |
| II.3 Les procédés d'épuration des eaux usées industrielles .....  | 15 |
| II.3.1 Schéma générale du traitement des eaux industrielles ..... | 15 |
| II.3.2 Les prétraitements.....                                    | 16 |
| II.3.2.1 Le dégrillage .....                                      | 16 |
| II.3.2.2 Dessablage.....  | 17 |
| II.3.2.3 Tamisage.....  | 17 |
| II.3.2.4 Le dégraissage-déshuilage.....                           | 17 |
| II.3.2.5 Dessableur-dégraisseur combiné.....                      | 17 |
| II.3.2.6 Neutralisation.....                                      | 17 |
| II.3.2.7 Refroidissement.....                                     | 17 |
| II.3.3 Les traitements primaires.....                             | 18 |
| II.3.3.1 procédés physico-chimiques.....                          | 18 |
| II.3.3.2 Procédés physique.....                                   | 19 |
| II.3.4 Traitement secondaire (biologiques).....                   | 20 |
| II.3.4.1 Boues activées (cultures libres).....                    | 20 |
| II.3.4.2 Lagunage (cultures libres).....                          | 22 |
| II.3.4.3 Lit bactérien (Cultures fixée).....                      | 24 |
| II.3.4.4 Disque biologique (Cultures fixée).....                  | 24 |
| II.3.4.5 Procédés de séparation membranaires.....                 | 25 |
| II.3.4.6 Bioréacteur à lit module (MBBR).....                     | 25 |
| II.3.5 Traitement tertiaire.....                                  | 25 |
| II.3.5.1 Elimination de l'azote.....                              | 26 |
| II.3.5.2 Elimination du phosphore .....                           | 27 |
| II.3.5.3 Elimination des MES et de la matière organique.....      | 27 |
| II.3.5.4 La désinfection .....                                    | 28 |
| II.3.6 Traitement des boues.....                                  | 28 |
| II.3.6.1 Filière de traitement des boues .....                    | 29 |
| Conclusion.....   | 30 |

## ***Chapitre III : Réutilisation des eaux usées épurée***

|   |    |
|---|----|
| Introduction.....   | 32 |
| III.1 La réutilisation des eaux usées épurée.....                 | 32 |
| III.1.1 Définition .....  | 32 |
| III.1.2 Application.....  | 32 |
| III.2 Catégories de réutilisation de l'eau épurée.....            | 33 |
| III.2.1 La production d'eau potable.....                          | 33 |
| III.2.2 Réutilisation et recyclage industriels .....              | 33 |
| III.2.3 Réutilisation dans les zones urbaines.....                | 33 |
| III.2.4 La recharge des nappes.....                               | 34 |
| III.2.5 La réutilisation agricole.....                            | 34 |
| III.3 Réutilisation des eaux usées en Algérie.....                | 35 |
| III.3.1 Normes de qualité des eaux en irrigation.....             | 35 |
| III.4 Avantages de la réutilisation des eaux.....                 | 35 |
| III.5 Limites et contraintes .....                                | 36 |
| III. 6 Les polluants à éliminer suivant l'application.....        | 37 |
| III.7 Choix des méthodes de traitement suivant l'application..... | 37 |
| Conclusion .....  | 38 |

## ***Chapitre IV : Présentation de la région d'étude***

|  |    |
|--|----|
| Introduction.....  | 40 |
| IV.1 Présentation de la zone d'étude .....                               | 40 |
| IV.1.1 Présentation de la ville de Sétif.....                            | 40 |
| IV.1.1.1 Profil économique .....   | 41 |
| IV.1.1.2 Données climatiques.....  | 41 |
| IV.1.1.3 Le relief.....  | 43 |
| IV.1.1.4 Le réseau hydrographique .....                                  | 44 |
| IV.1.1.5 Ressources hydriques .....                                      | 45 |
| IV.1.2 Présentation de la Zone industrielle de Sétif .....               | 45 |
| IV.1.2.1 Hydrogéologiques.....   | 46 |
| IV.1.2.2 Pollution hydrique.....   | 46 |
| IV.2 Présentation du Cas d'étude : Unité « WARAK ».....                  | 46 |
| IV.2.1 Situation géographique .....                                      | 47 |
| IV.2.2 Fabrication de la pâte à papier dans l'unité de<br>« WARAK »..... | 47 |

|   |    |
|---|----|
| IV.2.3 L'eau dans l'industrie de production de pâte à papier .....        | 48 |
| IV.2.4 Les différents types des effluents de l'usine de<br>« WARAK »..... | 48 |
| IV.2.5 Caractéristiques des effluents de l'unité de<br>« WARAK ».....     | 48 |
| Conclusion.....   | 49 |

## ***Chapitre V : Dimensionnement de la station d'épuration***

|   |    |
|---|----|
| Introduction.....   | 50 |
| V.1 Résultats des analyses.....   | 50 |
| V.2 Biodégradabilité et la nature de rejet.....                           | 51 |
| V.3 Calcul de base pour le dimensionnement.....                           | 51 |
| V.4 Dimensionnement des ouvrages de la station.....                       | 53 |
| V.4.1 Le prétraitement .....  | 53 |
| V.4.1.1 Dégrillage.....   | 53 |
| V.4.1.2 Séparateur à tambour.....   | 55 |
| V.4.2 Le traitement primaire.....   | 55 |
| V.4.2.1 Bassin de coagulation.....  | 55 |
| V.4.2.3 Traitement physique (Bassin de flottation).....                   | 57 |
| V.4.2.4 Calcul de la charge polluante éliminée par flottation .....       | 58 |
| V.4.2.5 Conclusion.....   | 58 |
| V.4.3 Traitement secondaire (biologique).....                             | 60 |
| V.4.3.1 Étude de la variante 1 .....                                      | 60 |
| V.4.3.2 Étude de la variante 2 .....                                      | 63 |
| V.4.3.3 Comparaison entre les variantes .....                             | 65 |
| V.4.3.4 Calcul de la charge polluante éliminée par le bassin<br>MBBR..... | 65 |
| V.4.3.5 Conclusion .....  | 66 |
| V.4.3.6 Bassin de flottation .....  | 67 |
| V.4.4 Traitement des boues.....   | 67 |
| V.4.4.1 Quantification des boues .....                                    | 67 |
| V.4.4.2 Dimensionnement de l'épaisseur.....                               | 68 |
| V.4.4.3 Déshydratation avec un filtre presse.....                         | 69 |
| Conclusion .....  | 69 |

## ***Chapitres VI : Calcul hydraulique***

|   |    |
|---|----|
| Introduction .....  | 71 |
| VI.1 Conduite de refoulement.....   | 71 |
| VI.1.1 Calcul des caractéristiques de la conduite de refoulement .                                    | 71 |
| VI.1.2 Caractéristiques de la pompe.....  | 71 |
| VI.2 Dimensionnement du poste de relevage.....  | 72 |
| VI.3 Profile hydraulique.....   | 73 |
| VI.3.1 Dimensionnement des conduites reliant les différents<br>ouvrages .....                         | 74 |
| VI.3.1.1 Calcul des diamètres des conduites reliant les ouvrages<br>et les côtes piézométriques ..... | 75 |
| Conclusion .....  | 76 |

## ***Chapitre VII : Étude technico-économique***

|   |    |
|---|----|
| Introduction.....   | 78 |
| VII.1 Estimation du cout total de la réalisation de la station..... | 78 |
| VII.1.1 Coût d'investissement.....                                  | 78 |
| VII.1.1.1 coûts des travaux de génie civil.....                     | 78 |
| VII.1.2 Estimation des coûts fonctionnement.....                    | 81 |
| VII.2 Gestion et exploitation.....                                  | 81 |
| VII.2.1 Mesure et surveillance du niveau de la station.....         | 81 |
| VII.2.2 Contrôle de fonctionnement.....                             | 82 |
| VII.2.2.1 Contrôle journalier.....                                  | 82 |
| VII.2.2.2 Contrôles périodiques.....                                | 83 |
| VII.2.3 Entretien des ouvrages.....                                 | 83 |
| VII.2.3.1 Séparateur à tambour.....                                 | 83 |
| VII.2.3.2 Flotteur.....   | 83 |
| VII.2.3.3 Bioréacteur à lit fluidisé.....                           | 84 |
| VII.2.3.4 Épaississeur.....   | 84 |
| VII.2.3.5 presses à bande.....                                      | 84 |
| Conclusion.....   | 84 |
| Conclusion général.....   |    |

# LISTE DES TABLEAUX

## *Chapitre I : Origine et Nature des eaux usées*

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau I.1 :</b> Différents types de pollution physique.....                                 | 04 |
| <b>Tableau I.2:</b> Les métaux les plus toxiques.....  | 05 |
| <b>Tableau I.3:</b> Classification des pollutions.....   | 06 |
| <b>Tableau I.4 :</b> minéralisation de l'eau en fonction de la conductivité.....                 | 07 |
| <b>Tableau I.5 :</b> Transparence de l'eau en fonction de la turbidité.....                      | 08 |
| <b>Tableau I.6 :</b> Formes des charges pondérales.....  | 08 |
| <b>Tableau I.7 :</b> Coefficient de biodégradabilité.....  | 10 |
| <b>Tableau I.8 :</b> Différentes formes de l'azote peuvent être présent dans les eaux usées..... | 10 |
| <b>Tableau 1.9 :</b> Normes de rejets Algérienne.....  | 12 |

## **Chapitre II : Les procédés d'épuration des eaux usées**

|   |    |
|---|----|
| <b>Tableau II.1:</b> types de dégrillage en fonction de la taille des détrit.....             | 16 |
| <b>Tableau II.2:</b> Les principaux coagulants utilisés dans les procédés de coagulation..... | 18 |
| <b>Tableau II.3 :</b> Les différentes manières pour génération des bulles d'air.....          | 20 |
| <b>Tableau II.4 :</b> Avantages et inconvénients des procédés a boues activées.....           | 22 |
| <b>Tableau II.5 :</b> Avantages et inconvénients de procédé de Lagunage.....                  | 23 |
| <b>Tableau II.6 :</b> Avantages et inconvénients de procédé de lit bactérien.....             | 24 |
| <b>Tableau II.7 :</b> Performances (en %) des différents traitements tertiaires.....          | 27 |
| <b>Tableau II.8 :</b> les différents types de boues.....                                      | 29 |
| <b>Tableau II.9:</b> Consistance de la boue en fonction la siccité.....                       | 29 |
| <b>Tableau II.10:</b> Comparaison des divers procédés de déshydratation des boues.....        | 30 |

## **Chapitre III : Réutilisation des eaux usées épurée**

|   |    |
|---|----|
| <b>Tableau III.1</b> : Les avantages de la REUE.....  | 35 |
| <b>Tableau III.2</b> : Les contraintes de la REUE.....  | 36 |
| <b>Tableau III.3</b> : Modes de traitement recommandés en fonction du type de réutilisation des eaux usées..... | 37 |

## **Chapitre IV : Présentation de la région d'étude**

|   |    |
|---|----|
| <b>Tableau IV.1</b> : les zones industrielles dans la ville de Sétif.....                                 | 41 |
| <b>Tableau IV.2</b> : Température mensuelle de Sétif pendant la période (1991-2021).....                  | 41 |
| <b>Tableau IV.3</b> : Précipitations mensuelles moyennes enregistrées pendant la période (1991-2021)..... | 42 |
| <b>Tableau IV.4</b> : Humidité mensuelles moyennes en (%) durant la période (1991-2021).....              | 42 |
| <b>Tableau IV.5</b> Résultat d'analyse des effluents de l'unité WARAK .....                               | 48 |

## **Chapitre V : Dimensionnement de la station d'épuration**

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau V.1</b> : Caractéristiques des eaux usées de l'unité WARAK                                    | 51 |
| <b>Tableau V.2</b> : Les charges polluantes.....   | 53 |
| <b>Tableau V.3</b> : Espacement et épaisseurs des barreaux.....  |    |
| <b>Tableau IV.4</b> : les valeurs de $\beta$ .....   | 54 |
| <b>Tableau V.5</b> : Base de dimensionnement du dégrilleur.....  | 54 |
| <b>Tableau V.6</b> : résultats des calculs de dimensionnement du dégrilleur.....                         | 55 |
| <b>Tableau V.7</b> : les résultats de dimensionnement du traitement physico-chimique .....               | 59 |
| <b>Tableau V.8</b> : Evaluation des charges des polluants à la sortie du bassin de flottation.....       | 59 |
| <b>Tableau V.9</b> : valeurs de a, b, a', et b' en fonction du procédé d'épuration par boue activée..... | 62 |
| <b>Tableau V.10</b> : le choix entre les deux (2) variantes.....   | 65 |
| <b>Tableau V.11</b> : les résultats de dimensionnement du traitement biologique.....                     | 66 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau V.12</b> : Evaluation des charges des polluants à la sortie du bassin MBBR..... | 66 |
|--|----|

## **Chapitres VI : Calcul hydraulique**

|   |    |
|---|----|
| <b>Tableau VI.1</b> Dimensions de la station de relevage.....   | 72 |
| <b>Tableau VI.2</b> : cotes moyennes du terrain naturel d'implantation des différents ouvrages de la station..... | 73 |
| <b>Tableau VI.3</b> : longueurs théoriques supposées des conduites entre les ouvrages.....                        | 73 |
| <b>Tableau VI.4</b> : Récapitulatif du dimensionnement des conduites reliant entre les ouvrages de la STEP.....   | 75 |

## **Chapitre VII : Étude technico-économique**

|   |    |
|---|----|
| <b>Tableau VII.1</b> : Le coût de terrassement de chaque ouvrage.....     | 79 |
| <b>Tableau VII.2</b> : Le coût du béton armé de chaque ouvrage.....       | 80 |
| <b>Tableau VII.3</b> : Coût des équipements.....                          | 80 |
| <b>Tableau VII.4</b> : Plan des analyses et des paramètres à mesurer..... | 82 |

# LISTE DES FIGURES

## Chapitre II : Les procédés d'épuration des eaux usées

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure II.1:</b> Procédés d'épuration.....                               | 16 |
| <b>Figure II.2 :</b> <i>phase de la coagulation</i> .....                   | 18 |
| <b>Figure II.3:</b> impact du cisaillement sur la formation des floccs..... | 19 |
| <b>Figure II.4 :</b> schématisation de l'action de la flottation.....       | 20 |
| <b>Figure II.5:</b> Schéma d'un procédé a boues activées.....               | 21 |
| <b>Figure II.6 :</b> Lagunage naturel.....                                  | 23 |
| <b>Figure II.7 :</b> Lagunage aéré.....                                     | 23 |
| <b>Figure II.8 :</b> fonctionnement d'une station à lit bactérien.....      | 24 |
| <b>Figure II.9:</b> fonctionnement d'une station à disque biologique.....   | 25 |
| <b>Figure II.10:</b> Configuration de Ludzack-Ettinger.....                 | 26 |
| <b>Figure II.11:</b> dénitrification dans le cas d'insuffisance en DBO5..   | 27 |

## Chapitre III : Réutilisation des eaux usées épurée

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure III.1:</b> Répartition des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaines.....   | 32 |
| <b>Figure III.2:</b> Réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation (en m <sup>3</sup> /jour) eaux résiduaires urbaines..... | 34 |
| <b>Figure III.3:</b> Niveaux de traitements recommandés pour les différents types de réutilisation des eaux résiduaires urbaines..... | 37 |

## Chapitre IV : Présentation de la région d'étude

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure IV.1:</b> Cartes de situation géographique de wilaya de Sétif .....          | 40 |
| <b>Figure IV.2 :</b> Diagrammes Ombro thermiques de la région d'étude (1991-2021)..... | 43 |
| <b>Figure IV.3:</b> Carte des grandes zones géographiques de la région de Sétif.....   | 44 |
| <b>Figure IV.4 :</b> Réseau hydrographique de la région de Sétif .....                 | 45 |



|   |    |
|---|----|
| <b>Figure IV.5:</b> Situation de la zone industrielle par rapport à la ville de Sétif ..... | 46 |
| <b>Figure IV.6 :</b> Situation géographique de l'usine.....                                 | 47 |

## **Chapitre V : Dimensionnement de la station d'épuration**

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure.1 :</b> Placement de Séparateur à tambour..... | 55 |
|--|----|

# NOTATION

## Liste des symboles

| Symbole      | Signification  | Unité                   | Symbole      | Signification                                  | Unité      |
|--------------|--|-------------------------|--------------|--|------------|
| $C_m$        | Charge massique  | $KgDBO_5$<br>$Kg/MVS.j$ | V            | Volume   | $m^3$      |
| $C_v$        | Charge volumique                                       | $KgDBO_5/m^3$           | $t_s$        | Temps des jour                                 | H          |
| $Q_{rej}$    | Débit de rejet   | $m^3/s$                 | $h_{max}$    | Hauteur d'eau maximale dans le canal           | m          |
| C            | Coefficient de colmatage de la grille                  |                         | $q_{jO_2}$   | Besoins journaliers en oxygène                 | $Kg O_2/$  |
| $V_e$        | La vitesse de passage                                  | m/s                     | $\Delta h$   | Perte de charge                                | m          |
| $S_g$        | Section de la grille                                   | m                       | $\beta$      | Coefficient dépendant de la forme des barreaux |            |
| $L_g$        | Largeur de la grille                                   | m                       | g            | Accélération de pesanteur                      | $m/s^2$    |
| $\theta$     | Angle de l'inclinaison de la grille avec l'horizontale | Degré                   | $t_c$        | Le temps de contact                            | Min        |
| $\rho_p$     | Masse volumique de la particule                        | $Kg/m^3$                | $\rho_g$     | Masse volumique du gaz                         | $Kg/m^3$   |
| $\rho_{eau}$ | Masse volumique de l'eau                               | $Kg/m^3$                | $m_p$        | Masse de la particule                          | kg         |
| $V_g$        | Volume minimal du gaz                                  | $m^3$                   | $v_{as}$     | La vitesse d'ascension                         | $m^3/h$    |
| $L_f$        | La charge polluante à la sortie                        | $Kg/j$                  | Le           | La charge polluante en éliminée                | $Kg/j$     |
| $S_f$        | Concentration de l'effluent à la sortie                | $mg/l$                  | $q_{ho_2}$   | Besoin théorique horaire en oxygène            | $Kg O_2/h$ |
| $T_d$        | Temps diurne   | h                       | $S_{r.m}$    | Surface requise de média                       | $m^2$      |
| SARL         | Charge spécifique                                      | $g/m^2 /j$              | $\Delta X_1$ | Quantité des boues chimiques produites         | $Kg/j$     |

|              |  |                   |              |   |                   |
|--------------|--|-------------------|--------------|---|-------------------|
| e            | Espacement entre les barreaux          | m                 | $\Delta X_2$ | Quantité de boues en excès                      | Kg/j              |
| d            | Diamètre des barreaux                  | m                 | $X_a$        | Quantité de boues                               | Kg                |
| $V_g$        | Vitesse de passage à Travers la grille | m/s               | $N_e$        | Nombre d'espacement                             |                   |
| $N_b$        | Nombre des barreaux                    | -                 | $X_{min}$    | Quantité de boues minérales                     | Kg/j              |
| $\Delta X_t$ | Quantité totale de Boues               | Kg/j              | $X_{dur}$    | Quantité des boues difficilement biodégradables | Kg/j              |
| S            | Surface                                | m <sup>2</sup>    | $X_m$        | Concentration de Boues en excès                 | Kg/m <sup>3</sup> |
| H            | Hauteur d'eau                          | m                 | $I_m$        | Indice de Mohlman.                              | mg/L              |
| D            | Diamètre                               | m                 | $Q_{bexcès}$ | Débit de boues en excès                         | m <sup>3</sup> /j |
| $Q_{air}$    | Débit d'air à injecter                 | m <sup>3</sup> /j | $A_b$        | Age des boues                                   | jours             |

## Liste des abréviations

| <b>Abréviation</b>       | <b>Signification</b>                 |
|--------------------------|--------------------------------------|
| <b>STEP</b>              | Station d'épuration                  |
| <b>MES</b>               | Matières en suspension               |
| <b>MVS</b>               | Matières volatiles en suspension     |
| <b>MMS</b>               | Matières minérales en suspension     |
| <b>DBO</b>               | Demande biologique en oxygène        |
| <b>DCO</b>               | Demande chimique en oxygène          |
| <b>COT</b>               | Carbone organique total              |
| <b>MO</b>                | Matière organique                    |
| <b>MM</b>                | Matière minérale                     |
| <b>P</b>                 | Phosphore                            |
| <b>N</b>                 | Azote                                |
| <b>NH<sup>4+</sup></b>   | Azote ammoniacal                     |
| <b>NTK</b>               | Azote KJELDAHL                       |
| <b>N NO<sup>-3</sup></b> | Azote des nitrates                   |
| <b>N NO<sup>-2</sup></b> | Azote des nitrites                   |
| <b>NGL</b>               | Azote global                         |
| <b>EH</b>                | Equivalent habitant                  |
| <b>REUE</b>              | Réutilisation des eaux usées épurées |

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les eaux usées, qu'elles proviennent de sources industrielles ou urbaines, ne devraient pas être déversées directement dans l'environnement naturel, car cela peut entraîner d'importants problèmes environnementaux et de santé publique. Le traitement ou l'épuration des eaux usées vise donc à réduire la charge de pollution qu'elles contiennent. Pour ce faire, elles doivent être dirigées vers des stations d'épuration dont la mission est de concentrer la pollution présente dans les eaux usées sous forme de boues, réduisant ainsi leur volume, et de rejeter une eau traitée conforme à des normes strictes. Ces objectifs sont atteints grâce à l'utilisation de procédés physico-chimiques ou biologiques.

C'est dans ce cadre, nous proposons le dimensionnement d'une station d'épuration par bioréacteur à lit fluidisé destinée à traiter les eaux usées d'une unité de production de pâte à papier. Cependant les unités de traitement des eaux usées classiques présentent l'inconvénient de produire une eau propre et propice à une réutilisation en industrie en plus du problème de l'espace d'aménagement qui représente un sérieux problème pour les industries. Afin de remédier à ces inconvénients, nous nous sommes intéressés dans notre travail aux bioréacteurs à lit fluidisé. Ces équipements présentent l'avantage de générer une eau usée traitée de grande qualité, qui peut être réutilisée aussi bien au sein de l'industrie que dans d'autres secteurs, sans aucun risque. De plus, cela constitue un avantage majeur en termes d'espace pour les industriels.

Pour ce faire, nous avons structuré notre travail comme suit :

- ❖ La première partie, réservée à l'étude essentiellement théorique, traitera des sujets suivants :
  - L'origine et la nature des eaux usées.
  - Les différents procédés d'épuration des eaux usées que les eaux usées doivent subir avant d'être rejetées dans le milieu naturel.
  - La présentation de la région d'étude, qui est la ville de Sétif, ainsi que ses caractéristiques.
  - Les différentes voies de la réutilisation des eaux usées.
- ❖ La deuxième partie sera consacrée à l'étude pratique, comprenant :
  - La conception et le dimensionnement de la station d'épuration choisie.
  - L'étude technico-économique de la station

Et enfin, une conclusion générale est donnée pour résumer notre travail.



**CHAPITRE I :**  
**ORIGINE ET NATURE**  
**DES EAUX USEES**



**ENSH 2023**

## Chapitre I : Origine et Nature des eaux usées

### Introduction

“ Le monde industriel est de plus en plus confronté au problème du contrôle des émissions des substances toxiques dans l'environnement, particulièrement sous forme de l'effluent liquide “ (**Forstner et Wittmann, 1983**).

L'industrie algérienne rejette environ 200 millions de mètres cubes par an d'eaux usées industrielles non traitées dans l'environnement [1]. Le traitement de ses effluents industriels est une préoccupation environnementale majeure.

Cette précaution a pour objectif de protéger l'environnement contre la pollution et contre la propagation des différentes maladies liées à l'eau et aux milieux récepteurs. Pour y contribuer, on doit tout d'abord connaître les caractéristiques des eaux usées et sa composition pour choisir le procédé épuratoire à utiliser.

### I.1 Les eaux usées

#### I.1.1 Définition

Les eaux usées proviennent des activités domestiques, agricoles et industrielles chargées en substances toxiques qui parviennent dans les canalisations d'assainissement, englobent également les eaux de pluies et leur charge polluante. Ces derniers sont théoriquement composés de 99% d'eau et de 1% de matières en suspension colloïdales et dissoutes. Bien que la composition exacte des eaux usées varie naturellement entre différentes sources et au fil du temps, l'eau demeure de loin son constituant principal [2]

#### I.1.2 Types des eaux usées

On distingue quatre types d'eaux usées :

- Les eaux usées industrielles
- Les eaux usées domestiques
- Les eaux pluviales
- Les eaux agricoles

##### a) Les eaux usées industrielles

Eau usée industrielle englobe toutes les eaux rejetées par l'usine dans le milieu extérieur. Celles qui proviennent des diverses usines de fabrication ou de transformation.

☐ Les eaux évacuées par les industries sont :

- Les eaux résiduaires d'origine industrielle ont généralement une composition plus spécifique et directement liée au type d'industrie considérée. Indépendamment de

## Chapitre I : Origine et Nature des eaux usées

---

la charge de la pollution organique ou minérale, de leur caractère putrescible ou non, elles peuvent présenter des caractéristiques de toxicité propres liées aux produits chimiques transportés [3]

Ces eaux résiduaires industrielles (ERI) en elles-mêmes, peuvent être classées en diverses catégories :

- Les eaux résiduaires de refroidissement qui dépendent de taux de recyclage.
- Les eaux de nettoyage ou lavage des appareils, des machines, des installations, des matières premières et/ou des produits d'une usine
- Les eaux de Fabrications qui dépendent de la nature de l'industrie

Les industries ont trois choix à leur disposition :

- Réaliser un prétraitement en usine avant de déverser leurs effluents dans le réseau d'égouts.
- Effectuer un traitement complet de leurs effluents avant de les rejeter directement dans l'environnement naturel.
- Décharger leurs effluents directement dans le réseau d'égouts, à condition d'obtenir l'autorisation des autorités compétentes.

### b) Les eaux usées domestiques

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont constituées essentiellement d'excréments humains, des eaux ménagères de vaisselle chargées de détergents, de graisses appelées eaux grises et de toilette chargées de matières organiques azotées, phosphatées et de germes fécaux appelées eaux noires. Ces eaux sont généralement constituées de matières organiques dégradables et de matières minérales, ces substances sont sous forme dissoute ou en suspension. Elles peuvent être un danger pour la santé car elles véhiculent des maladies d'origine virale et bactérienne [4 ;5]

### c) Les eaux pluviales

Les eaux de ruissellement, entraînent divers types de déchets minéraux et organiques, tels que la terre, les sédiments, les débris végétaux, ainsi que différents types de micropolluants tels que les huiles usagées, les carburants, les résidus de pneus, les métaux lourds et les pesticides [6 ;7]

### d) Les eaux agricoles

Ce sont des eaux qui ont été polluées par des substances utilisées dans le domaine agricole. Dans le contexte d'une agriculture performante et intensive, l'agriculteur est conduit à utiliser divers produits d'origines industrielle ou agricole dont certaines présentent ou peuvent présenter, des risques pour l'environnement et plus particulièrement pour la qualité des eaux [4].



# Chapitre I : Origine et Nature des eaux usées

---

## I.2 La pollution des eaux industrielles

La pollution de l'eau est une dégradation physique, chimique ou biologique de l'eau, provoquée par le rejet de substances indésirables qui perturbent les conditions de vie et l'équilibre du milieu aquatique, Les causes de pollution se sont étendues avec l'accroissement de la population et le développement accéléré des techniques industrielles modernes.

La pollution se manifeste généralement sous divers Types :

### I.2.1 La pollution physique

C'est une pollution due aux agents physiques (tout élément solide entraîné par l'eau), elle est d'origine domestique, essentiellement industrielle. On peut la répartir en trois classes :

- Mécanique
- Thermique
- Radioactive

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

| La pollution mécanique   | La pollution thermique   | La pollution radioactive   |
|--|--|--|
| Elle résulte des décharges de déchets et de particules solides apportés par les ERI, ainsi que les eaux de ruissellement.<br>Ces polluants sont soit les éléments grossiers soit du sable ou bien les matières en suspension MES | Les eaux rejetées par les usines utilisant un circuit de refroidissement ont une température élevée (70-80 °C) qui diminue en entrant en contact avec les eaux des milieux aquatiques, entraînant un réchauffement de l'eau.<br>Cela affecte la solubilité de l'oxygène et a un impact important sur la survie des organismes aquatiques | C'est celle occasionnée par une éventuelle radioactivité artificielle des rejets.<br>Les éléments radioactifs s'incorporent dans les molécules des organismes vivants.<br>Plus on s'élève dans la chaîne alimentaire plus les organismes sont sensibles aux rayonnements |

(A. MIZI ; 2006)

### 1.2.2 La pollution chimique

La pollution chimique des eaux est regroupée dans deux catégories :

- Organique (hydrocarbures, pesticides, détergents, phénols...)
- Minérale (métaux lourds, cyanure, azote, phosphore...)

# Chapitre I : Origine et Nature des eaux usées

---

## a) Pollution organique

C'est les effluents chargés des matières organiques fermentescibles (biodégradables). La première conséquence de cette pollution est la consommation d'oxygène dissous de ces eaux [9]

## b) Pollution minérale

Il s'agit principalement d'effluents industriels qui contiennent des substances minérales. Ces substances peuvent avoir des conséquences graves, notamment :

- Porter atteinte à la santé publique.
  - Perturber l'activité bactérienne dans les stations d'épuration.
  - Affecter le développement des cultures.
- Il s'agit principalement de métaux lourds, azote et le phosphore

### 1- Métaux lourds

Peuvent exister sous forme ionique et/ou sels et peuvent s'accumuler dans les boues. Les métaux les plus toxiques sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau I.2:** Les métaux les plus toxiques [10]

| Les métaux | Crome | Plomb | L'aluminium | Cadmium | Cuivre | Nickel | Zinc |
|------------|-------|-------|-------------|---------|--------|--------|------|
| Formule    | VI    | Pb    | Al          | Cd      | Cu     | Ni     | Zn   |

### 2- Pollution azotée et phosphorée

La présence d'azote et de phosphore (éléments nutritifs), entraîne la survenue de **l'eutrophisation**, un phénomène caractérisé par la prolifération excessive d'algues et de plancton dans les écosystèmes aquatiques.

#### I.2.3 La pollution microbiologique

L'eau peut contenir des microorganismes pathogènes (virus, bactéries, parasites) ils sont dangereux pour la santé humaine, et limitent donc les usages que l'on peut faire de l'eau (industrie, utilisation domestique...) [11].

Le tableau suivant donne un aperçu de la catégorisation des différentes formes de pollution, y compris leurs composants et leurs origines, ainsi que les modes employés pour leur traitement.

## Chapitre I : Origine et Nature des eaux usées

Tableau I.3: Classification des pollutions [12]

| Pollution                             | Constituants   | Origine  | Traitement  |
|---------------------------------------|--|--|---|
| <b>Organiques (biodégradables)</b>    | Plantes mortes, excréments, protéines, lipides et corps gras (huiles, graisses, et savon) glucides | -Organismes vivants<br>- Industries agro-alimentaires (laiteries, fromageries, abattoirs, sucreries)<br>- Eaux ménagères | -Assainissement individuel<br>- lagunage<br>-Épuration biologique<br>- Traitement Physico-chimique              |
| <b>Difficilement (biodégradables)</b> | - Fibres, bois   | - Papeteries<br>- Industries textiles<br>- Tanneries   | - Lagunage<br>- Épuration biologique et traitement physico-chimique   |
| <b>Toxiques</b>                       | Détergents, phénols, hydrocarbure, pesticides, engrais synthétiques                                | - Industries chimiques et pétrochimiques<br>- Raffineries de pétrole<br>- Agriculture                                    |   |
| <b>Minérales</b>                      | Substances toxiques acides ou basiques, mercure, chrome, cyanures, plomb, fer, cuivre              | Produits chimiques, Métallurgies, traitement de surfaces des métaux  | Transformation en composés insoluble, précipitations<br>Transformation en composés inoffensives, oxydoréduction |
| <b>Bactériologiques</b>               | -Germe pathogènes : Escherichia Coli, streptocoques, virus divers.                                 | -Produits pharmaceutiques<br>- Activités humaines et minérales, effluents des hôpitaux et des abattoirs                  | Filtration et stérilisation   |

### I.3 Les Paramètres de la pollution étudiée

La pollution des eaux usées se présente sous trois formes principales :

- Physique (matières en suspension).
- Chimique (matières organiques dissoutes).
- Biologique

# Chapitre I : Origine et Nature des eaux usées

---

## I.3.1 Les paramètres physiques

### a) La Conductivité Électrique (CE)

Ce paramètre est influencé par la concentration et la nature des substances dissoutes. En mesurant la conductivité, on peut évaluer le degré global de minéralisation de l'eau. Une conductivité élevée indique une plus grande concentration ionique de sels dissous. La minéralisation de l'eau présente des avantages lorsqu'elle est réutilisée dans le domaine agricole, car elle apporte au sol les sels minéraux nécessaires à la fertilisation. En fonction de la présence abondante d'un sel, il est possible de choisir les cultures appropriées

Le tableau ci-dessous présente les informations sur la minéralisation de l'eau en fonction de la conductivité

**Tableau I.4 :** minéralisation de l'eau en fonction de la conductivité [13]

| Conductivité  | Appréciation                     |
|---|----------------------------------|
| Conductivité < 100 $\mu\text{s/cm}$                         | Minéralisation très faible       |
| 100 $\mu\text{s/cm}$ < conductivité < 200 $\mu\text{s/cm}$  | Minéralisation faible            |
| 200 $\mu\text{s/cm}$ < conductivité < 333 $\mu\text{s/cm}$  | Minéralisation moyenne accentuée |
| 333 $\mu\text{s/cm}$ < conductivité < 666 $\mu\text{s/cm}$  | Minéralisation moyenne           |
| 666 $\mu\text{s/cm}$ < conductivité < 1000 $\mu\text{s/cm}$ | Minéralisation importante        |
| Conductivité > 1000 $\mu\text{s/cm}$                        | Minéralisation excessive         |

### b) La température

C'est un paramètre important pour le bon fonctionnement des systèmes d'épuration, car elle peut avoir diverses influences, notamment sur les processus biologiques et physico-chimiques. De plus, la solubilité des gaz diminue avec l'augmentation de la température.

### c) Couleur et odeur

Dans les eaux usées brutes la couleur est due à la présence de matières organiques dissoutes, colloïdales ou par des composés chimiques solubles qui sont colorés. L'odeur est due à une fermentation des matières organiques. La couleur et l'odeur des eaux usées renseignent sur l'âge des déchets liquides [14].

### d) Turbidité

La turbidité caractérise le degré de non transparence de l'eau. Elle traduit la présence des matières en suspension (MES), C'est un paramètre, qui varie en fonction des composés colloïdaux ou aux acides humiques aussi pollutions qui troublent l'eau. Avec un appareil

## Chapitre I : Origine et Nature des eaux usées

---

(turbidimètre) on mesure la résistance qu'elle oppose par l'eau au passage de la lumière pour lui donner une valeur [15].

Le tableau suivant désigne la transparence de l'eau en fonction de la turbidité par la méthode normalisée NTU [15].

**Tableau I.5 :** Transparence de l'eau en fonction de la turbidité [15]

| NTU      | Transparence de l'eau  |
|----------|------------------------|
| NTU < 5  | Eau claire             |
| NTU < 30 | Eau légèrement trouble |
| NTU > 50 | Eau trouble            |

### e) Les charges pondérales

Les charges pondérales peuvent se présenter sous trois formes principales :

- Les matières en suspension
- Matières volatiles en suspension
- Les matières minérales en suspension

**Tableau I.6 :** Formes des charges pondérales [14]

| Les matières en suspension (MES)   | Matières volatiles en suspension (MVS)  | Les matières minérales en suspension (MMS)  |
|--|---|---|
| <p>Il s'agit de matières solides qui ne sont ni solubilisées ni colloïdales.</p> <p>Elles sont séparables par filtration, décantation ou centrifugation. Les teneurs en MES sont obtenues après séchage à 105°C.</p> | <p>Elles représentent la fraction organique des matières en suspension, elles sont mesurées par calcination à 650°C en deux heures d'un échantillon dont on connaît déjà la teneur en MES. Elles constituent environ 70- 80% de MES</p> | <p>C'est la différence entre les matières en suspension et les matières volatiles.</p> <p>Elles représentent donc le résidu de la calcination, et correspond à la présence de sels, silice, poussières.</p> <p><b>MMS=MES-MVS</b></p> |

### I.3.2 Paramètres Chimiques

#### a) Potentiel d'hydrogène (pH)

Le potentiel d'hydrogène (pH) est la mesure de la concentration des ions H<sup>+</sup> contenus dans l'eau. Il est donné par la formule :  $\text{pH} = - \log [\text{H}^+]$ .

## Chapitre I : Origine et Nature des eaux usées

---

### b) L'Oxygène Dissous

La solubilité de l'oxygène dans l'eau dépend de différents facteurs, dont la température, la pression et la force ionique du milieu, c'est un composé essentiel de l'eau permettant la vie de la faune et conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques. La concentration en oxygène dissous est exprimée en mg O<sub>2</sub>/l.

### c) Le COT (ou Carbone Organique Total)

La mesure du carbone organique total est limitée à la quantité de carbone présente dans les composés organiques. Son intérêt réside dans sa capacité à indiquer la présence de composés non biochimiquement dégradables, ce qui est crucial dans l'évaluation de la contamination de l'eau et des effluents

### d) Éléments traces métalliques (ETM)

Ce sont des substances toxiques regroupant les métaux lourds et d'autres composés inorganiques non biodégradables. Les plus contrôlés sont le : Arsenic, Cadmium, Chrome, Cuivre, Mercure, Nickel, Plomb, Sélénium, Zinc.

### e) La demande biologique en oxygène (DBO5)

C'est un paramètre global qui exprime la quantité d'oxygène qu'une biomasse épuratrice va consommer pour décomposer les matières organiques contenues dans l'effluent. Elle est donc représentative de la somme des matières organiques biodégradables. Elle est généralement mesurée en 5 jours (DBO5).

### f) La demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) représente la quantité totale de la pollution oxydable. Elle correspond à la quantité d'oxygène qu'il faut fournir, grâce à des réactifs chimiques puissants, pour oxyder les matières contenues dans les effluents.

### g) Relation entre DCO et DBO5

- 1- La relation empirique de la matière oxydable en fonction de la DBO5 et la DCO est donnée par l'équation suivante : [3]

$$MO = (2 DBO5 + DCO) / 3$$

- 2- Le rapport DCO/DBO5 est l'indice de la **biodégradabilité** des eaux usées, représente la capacité d'une substance ou son aptitude à être décomposée par les micro-organismes, renseigne aussi sur le mode de traitement à suivre. On distingue trois cas qui sont cités dans le tableau suivant :

## Chapitre I : Origine et Nature des eaux usées

---

**Tableau I.7 :** Coefficient de biodégradabilité [11]

| Rapport : DCO/DBO5        | Biodégradabilité            |
|---------------------------|-----------------------------|
| $1 < \text{DCO/DBO5} < 2$ | Facilement biodégradable    |
| $2 < \text{DCO/DBO5} < 3$ | Moyennement biodégradable   |
| $\text{DCO/DBO5} > 3$     | Difficilement biodégradable |

### h) L'azote

L'azote peut être présent dans les eaux usées sous différentes formes, voir le tableau suivant :

**Tableau I.8 :** Différentes formes de l'azote peuvent être présent dans les eaux usées

| Forme réduite  | Forme moléculaire                                   | Forme oxydée  |
|--|---|---|
| Azote organique (N)<br>Azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ). | Azote dissous<br>(20mg/l à la température ambiante) | Azote nitreux ( $\text{NO}_2$ )<br>Azote nitrique ( $\text{NO}_3$ ) |

L'ensemble des formes azotées constitue :

- L'azote global (NGL) :

$$\text{NGL} = \text{NTK} + \text{NH}_2^- + \text{NH}_2^-$$

Tel que:

- nitrites:  $\text{NH}_2^-$
- nitrates:  $\text{NH}_3^-$

- L'azote Kjeldahl:  $\text{NTK} = \text{N} + \text{NH}_4^+$

Tel que:

- Azote organique : N
- Azote ammoniacal  $\text{NH}_4^+$

### i) Le Phosphore

Le phosphore peut exister sous diverses formes dans l'eau, sous forme de particules solubles ou en suspension, et peut se trouver à l'état organique ou minéral.

La teneur en phosphates peut être exprimée en mg/l de  $\text{PO}_4$  ou de  $\text{P}_2\text{O}_5$

## Chapitre I : Origine et Nature des eaux usées

---

$$1\text{mg/L } PO_4 = 0,747 \text{ mg/L } P_2O_5 = 0,326 \text{ mg/L P}$$

### ❑ Remarque

Par ailleurs, l'azote et le phosphore sont des éléments essentiels de la matière vivante, leur présence est indispensable pour garantir un traitement biologique efficace.

### I.3.3 Paramètres microbiologiques

L'ensemble des Organismes peut être classé en quatre grands groupes, par ordre croissant de taille : **les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes** [9]

Il est important de noter que les processus de traitement primaire et secondaire n'altèrent pas les niveaux de contamination bactérienne. C'est pourquoi, dans une station d'épuration utilisant la méthode des boues activées, il est nécessaire de réaliser une désinfection des eaux pour éliminer les germes.

## I.4 Impacts des eaux usées des industries

Les conséquences de l'émission d'eaux usées industrielles non traitées ou mal traitées peuvent être classées en trois catégories :

### I.4.1 Impacts négatifs sur l'environnement et les eaux superficielles

Une fois rejet d'eaux usées industrielles non traitées ou partiellement traitées dans les plans d'eau, les eaux usées sont diluées et transportées en aval ou s'infiltrent dans les aquifères, où elles peuvent affecter la qualité (et donc la disponibilité) des approvisionnements en eau douce.

L'eutrophisation, causée par une concentration élevée d'azote et de phosphore, peut entraîner une diminution de la biodiversité ainsi que des proliférations d'algues potentiellement toxiques. Il est difficile de remédier aux problèmes qui y sont associés.

### I.4.2 Impacts négatifs sur le sol et les cultures

Le drainage industriel présente de nombreuses caractéristiques, notamment une concentration élevée de salinité. Lorsqu'il est utilisé pour l'irrigation, cela entraîne l'accumulation de sels et de certains composés, ce qui modifie la structure du sol ainsi que ses propriétés telles que la porosité et le pH. De plus, La présence de métaux lourds absorbés par les racines des plantes entraîne une diminution de la production agricole.



## Chapitre I : Origine et Nature des eaux usées

---

### I.4.3 Effets nocifs sur la santé humaine

Les eaux usées industrielles renferment divers micro-organismes tels que des virus et des helminthes. Leur présence peut représenter un danger significatif, en particulier lorsque ces organismes sont responsables de maladies infectieuses

### I.5 La notion de norme

L'obtention d'une eau épurée signifie obtenir une eau qui répond aux normes de rejet établies par la législation.

#### I.5.1 Normes de rejets Algérienne

Le décret exécutif n°06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006 du journal officiel algérien n 26 du 23 avril 2006, définit les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels.

**Tableau 1.9** : Normes de rejets Algérienne

| Paramètre              | Unités | Valeur limites | Tolérance aux va leurs limite<br>sanci ennes installations |
|------------------------|--------|----------------|--|
| Température            | °C     | 30             | 30   |
| PH                     | -      | 6.5 –8.5       | 6.5 –8.5   |
| MES                    | mg/l   | 35             | 40   |
| Azote Kjeldahl         | mg/l   | 30             | 40   |
| Phosphore total        | mg/l   | 10             | 15   |
| DCO                    | mg/l   | 120            | 130  |
| DBO5                   | mg/l   | 35             | 40   |
| Aluminium              | mg/l   | 3              | 5  |
| Cyanure                | mg/l   | 0.1            | 0.15   |
| Fluoret composes       | mg/l   | 15             | 20   |
| Indice de phenols      | mg/l   | 0.3            | 0.5  |
| Hydrocarbure<br>totaux | mg/l   | 10             | 15   |
| Huiles et graisses     | mg/l   | 20             | 30   |
| Cadmium                | mg/l   | 0.2            | 0.25   |
| Cuivre total           | mg/l   | 0.5            | 1  |
| Mercur total           | mg/l   | 0.01           | 0.05   |
| Plomb total            | mg/l   | 0.5            | 0.75   |
| Chrome total           | mg/l   | 0.5            | 0.75   |

## Chapitre I : Origine et Nature des eaux usées

---

|              |      |     |      |
|--------------|------|-----|------|
| Etain total  | mg/l | 2   | 2.5  |
| Manganèses   | mg/l | 1   | 1.5  |
| Nickel total | mg/l | 0.5 | 0.75 |
| Zinc total   | mg/l | 3   | 5    |
| Fer          | mg/l | 3   | 5    |

*Source : journal officiel algérien n 26 du 23 avril 2006*

### ❑ Remarque

Lors du choix des traitements à utiliser, il est essentiel de tenir également compte de la variation de la teneur en polluants présents, qui constitue un autre critère à prendre en compte.

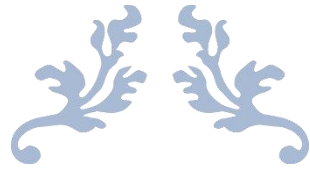
## I.6 Caractéristiques des eaux usées de l'industrie du papier

L'industrie du papier reste largement reconnue comme l'un des plus grands consommateurs d'eau et une source importante de pollution. Voici quelques-unes des caractéristiques des eaux usées rencontrées dans l'industrie du papier :

- Molécules phénoliques
- Forte teneur en matières organiques
- Pollution organique importante,
- Matières en suspension et colloïdales,
- PH alcalin,
- Effluents colorés : ont un impact visuel important

## Conclusion

Ce chapitre a mis en évidence l'importance et la complexité des eaux usées industrielles en tant que source de pollution environnementale. Il a été souligné que la teneur en polluants d'un effluent peut varier en fonction du type de rejet et surtout des conditions du processus industriel. Ces eaux présentent une variété de paramètres et de composés qui nécessitent une attention particulière lors des processus d'épuration, et peuvent avoir un impact significatif sur les méthodes de traitement appropriées. Par conséquent, la connaissance des différentes caractéristiques et de la qualité des eaux usées industrielles à traiter est essentielle lors de la conception d'une station d'épuration.



**CHAPITRE II :  
LES PROCÉDÉS  
D'ÉPURATION DES EAUX  
USÉES**



### CHAPITRE II : Les procédés d'épuration des eaux usées

#### Introduction

L'épuration comprend l'élimination des matières minérales et organiques en suspension et en solution, ainsi que certains déchets divers, pour obtenir une eau épurée conforme aux normes de rejet. Il existe plusieurs procédés qui varient en fonction de l'importance de la charge polluante à traiter

Ce chapitre est consacré à l'étude des différentes techniques d'épuration des eaux usées industrielles.

#### II.1 Choix d'un procédé d'épuration

Avant de choisir un procédé de traitement, il est nécessaire de bien connaître :

- La nature exacte de la pollution : L'origine, la toxicité qui existe dans l'effluent,
- La concentration des charges polluantes, La variabilité, Le volume d'eau à traiter ;
- Les problèmes économiques : frais d'investissement, coûts de la méthode, frais d'entretien et de maintenance ;
- Des objectifs d'épuration à atteindre ;
- Les normes et qualité des eaux que vous avez obtenues [16].

#### II.2 Organisations des égouts et des circuits

Tout d'abord, lorsque le flux hydraulique et le flux polluant sont très importants, ils doivent être régularisés par :

- a) **Des bassins d'orage** : Placés en dérivation, ils stockent les premières eaux polluées. Les eaux sont ensuite rejetées progressivement dans les égouts vers l'épuration
- b) **Des bassins d'homogénéisation** : Ils stockent toutes les eaux usées produites par une unité pendant quelques heures, sinon pendant quelques jours, et permettent aussi une certaine programmation du fonctionnement de l'installation.
- c) **Des bassins de sécurité** : Ils sont destinés à retenir l'effluent pendant quelques jours. En cas des propriétés anormales (toxicité), ou à stocker l'effluent en cours de traitement dans le cas d'arrêt d'un stade d'épuration situé en aval. Ces deux fonctions peuvent être combinées en un seul bassin.

#### II.3 Les procédés d'épuration des eaux usées industrielles :

##### II.3.1 Schéma générale du traitement des eaux industrielles :

D'une façon générale, une filière d'épuration des eaux usées comprend les étapes qui proposé dans la figure II.1

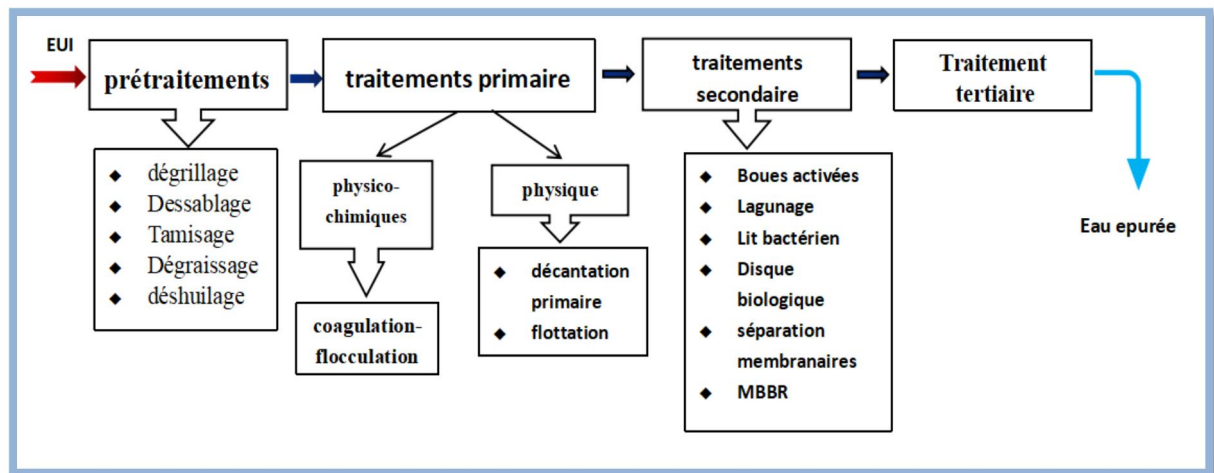


Figure II.1: Procédés d'épuration

### II.3.2 Les prétraitements :

Lors de procédés de traitement des éléments solides ou particulaires les plus grossiers, qui peuvent gêner les traitements ultérieurs ou d'endommager les équipements comme des déchets volumineux, sables, des graisses. [17]

Suivant la qualité de l'eau à traiter et des caractéristiques des rejets industriels, plusieurs opérations peuvent être nécessaires, parmi lesquelles :

#### II.3.2.1 Le dégrillage

Il permet l'élimination des éléments solides grossières avant leur traitement ultérieur, Cette technique consiste à faire passer l'eau brute entre les barreaux d'une grille placés verticalement ou inclinés de 60 à 80° sur l'horizontale, l'espacement entre les barreaux permet de fixer la taille des déchets à éliminer, pour cela, on distingue trois catégories de dégrillage en fonction de la taille des débris à éliminer

Tableau II.1: types de dégrillage en fonction de la taille des débris

|            | Dégrillage fin | Dégrillage moyenne | Dégrillage grossier |
|------------|----------------|--------------------|---------------------|
| Écartement | 3 à 10 mm      | 10 à 25 mm         | 50 à 100 mm         |

Le dégrillage est assuré par une grille à nettoyage normal (manuel) ou par une grille mécanique :

**a) Grilles manuel :** ce sont composées de barreaux droits le plus souvent inclinés à 45° à 60° sur l'horizontale. Elles sont utilisées que pour les petites collectivités. Leur nettoyage se fait à l'aide d'un râteau, au quotidien pour qu'il n'y a pas de colmatage [5 ;18].

**b) Grilles mécaniques :** Ce sont des grilles à nettoyage automatique, utilisées à partir d'une certaine importance de la station (mécanisation obligatoire pour les gros débits ou pour des eaux très chargées) [18 ;19].

### II.3.2.2 Dessablage

Cette étape a pour but d'extraire les graviers, les sables et les particules minérales de l'effluent à traiter, elle vise à réduire le risque d'abrasion des équipements et à diminuer les dépôts et colmatage dans les conduites, aussi pour ne pas perturber les étapes suivantes de traitement. Les dessableurs sont en général conçus pour éliminer des particules de granulométrie égale ou supérieure à 100  $\mu\text{m}$  [19].

Sur le plan technologique on distingue divers types de dessableur, on citera :

- Dessableur à couloir simple
- Dessableurs circulaires
- Dessableurs rectangulaires aérés

### II.3.2.3 Tamisage

Le tamisage est un dégrillage pousse utiliser dans les stations d'épuration industrielles. Il consiste en une filtration sur toile mettant en œuvre des mailles de différentes dimensions. Il existe un macro-tamisage (mailles > 0.3mm) et un tamisage (mailles < 100  $\mu\text{m}$ ).

### II.3.2.4 Le dégraissage-déshuilage

Les opérations de dégraissage-déshuilage consistent à éliminer les matières grasses et les huiles, par effet de flottation. La récupération des graisses permet de palier à divers problèmes comme le colmatage des conduites, un mauvais transfert d'oxygène dans les installations des traitements biologique. Les dégraisseurs sont en général conçus pour les temps de séjour compris entre 10 et 20 minutes et une vitesse ascensionnelle de l'ordre de 15 m/h [19].

#### □ Remarque :

- Pour qu'un dégraissage soit efficace, il faut que la température de l'eau soit inférieure à 30°C
- Dégraissage-déshuilage ; ces deux procédés se font séparément pour un meilleur rendement.

### II.3.2.5 Dessableur-dégraisseur combiné

Typiquement, les opérations de dessablage et de dégraissage sont concentrées au sein d'une même structure ; le sable est récupéré du fond de la structure par raclage du fond (sédimentation), et l'huile et la graisse sont raclées de l'eau car elles sont moins denses que l'eau (qu'elles flottent naturellement). Ou utiliser un aérateur d'écume pour accélérer la flottation et utiliser un racleur de surface.

### II.3.2.6 Neutralisation

C'est un processus de traitement des eaux usées industrielles qui consiste à ajuster le pH des eaux usées pour les rendre moins acides ou alcalines, et il peut être indispensable avant l'épuration biologique pour garantir la qualité de l'eau traitée

### II.3.2.7 Refroidissement

Afin d'éviter une température trop élevée des eaux usées qui pourrait nuire au traitement biologique

### II.3.3 Les traitements primaires

Après l'étape de prétraitement, le traitement primaire joue un rôle essentiel pour garantir la qualité de l'eau traitée. Il se base principalement sur le principe de la séparation des constituants solides de la phase liquide, en utilisant divers procédés physiques et chimiques. On peut notamment distinguer :

#### II.3.3.1 procédés physico-chimiques

Il s'agit de techniques de traitement de l'eau qui ont pour objectif d'éliminer les particules en suspension ainsi que les matières dissoutes. Parmi ces techniques, la coagulation-floculation est largement utilisée et compte parmi les procédés les plus courants.

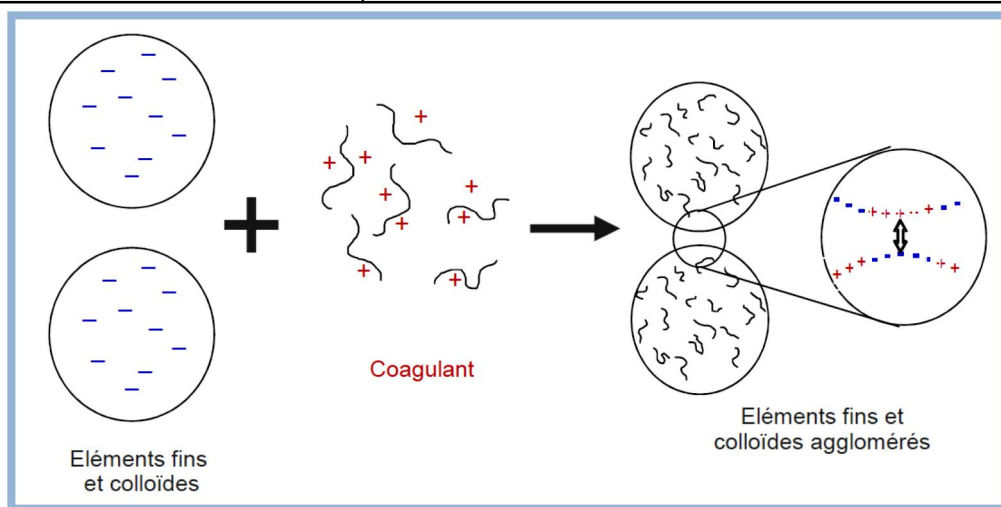
Les éléments fins et colloïdaux ne se séparent pas naturellement de l'eau. Les temps de décantation peuvent être très longs pour certains de ces éléments. On doit les agglomérer entre eux pour augmenter leur poids et ainsi les séparer facilement par décantation ou flottation. Cette agglomération se fait en deux phases :

#### a) Coagulation

C'est un procédé qui permet de déstabiliser les particules colloïdales en suspension dans l'eau en ajoutant un réactif chimique appelé coagulant, qui neutralise les charges électrostatiques des particules et diminue les forces de répulsion entre elles, ce qui permet leur rapprochement. Il y a deux grandes familles de coagulant :

**Tableau II.2:** Les principaux coagulants utilisés dans les procédés de coagulation

| Coagulants minéraux ou inorganiques  | Coagulants organiques<br>(Produit très chargés de faible poids moléculaire) |
|--|---|
| Sulfate d'aluminium<br>Poly-aluminium hydroxy<br>chlorure<br>Chlorure ferrique | Poly-électrolytes<br>Polyamines<br>Polyéthylène imine                       |



**Figure II.2 :** phase de la coagulation [20]

### b) Flocculation

La flocculation est le processus de formation d'agglomérats de grande taille (macro-flocs) de particules insolubles neutralisées par les coagulants. Elles sont réunies entre elles par des polymères.

Nécessite l'utilisation d'un réactif chimique appelé flocculant ou adjuvant de flocculation pour faciliter la formation des flocs

#### ❑ Remarque :

Les flocs sont sensibles au cisaillement : Plus la charge du polymère est importante et plus les liaisons sont résistantes

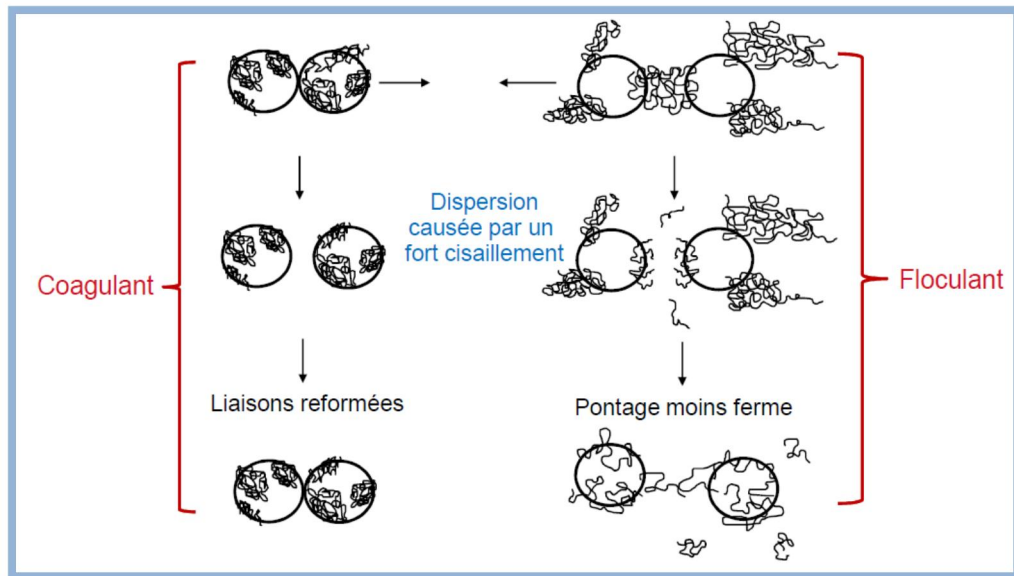


Figure II.3: impact du cisaillement sur la formation des flocs [20]

### II.3.3.2 Procédés physique

#### a) La décantation primaire :

La décantation est un procédé physique gravitaire qui vise l'élimination des particules en suspension de densité supérieure à celle de l'eau. Cette opération s'effectue dans des ouvrages rectangulaire ou circulaire, munis de racleurs de fond et des racleurs de surface pour extraire les boues recueillies [21].

La décantation primaire élimine 30 à 35 % de la DBO<sub>5</sub> et 60 % des solides en suspension. La coagulation-flocculation permet d'éliminer jusqu'à 90 % des matières en suspension et 75 % de la DBO<sub>5</sub> [19].

La matière décantable va se déposer au fond du bassin et être récupérée sous forme de boue primaire.

Il existe de nombreux types de décanteurs :

- Décanteur Rectangulaires ou horizontal avec écoulement longitudinal
- Décanteur cylindro-conique ordinaire
- Décanteur circulaire



### b) La flottation :

Une technique qui peut remplacer la sédimentation est la flottation. C'est un procédé de séparation liquide-solide basé sur la formation d'un ensemble appelé attelage, formé des particules à éliminer, plus léger que l'eau. Cette technique convient principalement pour éliminer les particules de diamètre compris entre 1 et 400  $\mu\text{m}$ . Les solides sont transportés à la surface, fixés à des bulles, et sont ensuite écumés [22].

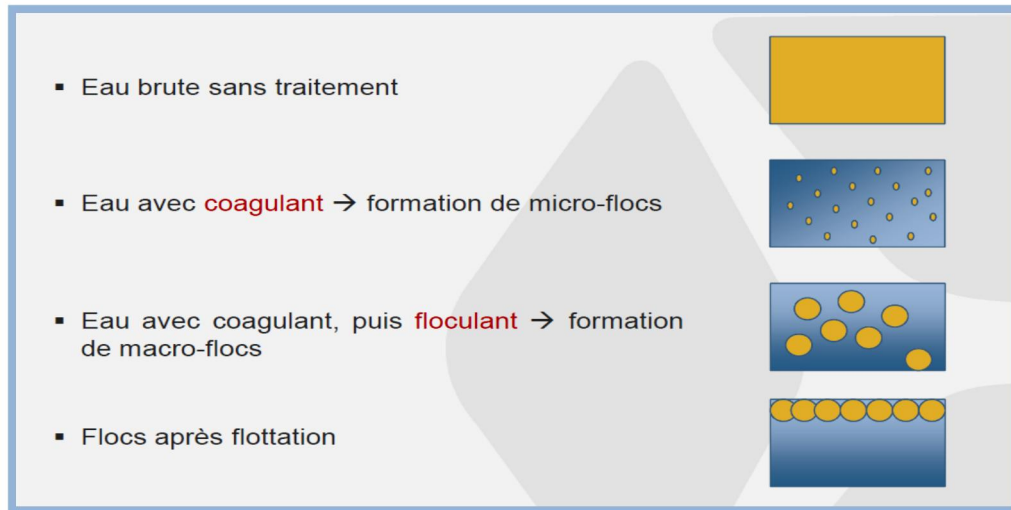


Figure II.4 : schématisation de l'action de la flottation [20]

- Une flottation provoquée efficace dépend principalement de deux paramètres :
  - La formation de bulles d'air appropriées
  - La capacité d'attachement de ces bulles aux particules solides

Tableau II.3 : Les différentes manières pour génération des bulles d'air [23 ;24]

| La flottation à air dispersé                 | La micro-flottation   |   |
|--|---|---|
|  | Flottation à air dissous  | Flottation par électrolyse  |
| Des bulles d'air d'un diamètre de 0,2 à 2 mm | Des bulles d'air d'un diamètre compris entre 40 et 70 $\mu\text{m}$ | Des bulles d'air d'un diamètre compris entre 10 et 40 $\mu\text{m}$ |

### II.3.4 Traitement secondaire (biologiques)

Le traitement biologique constitue le mode classique d'épuration a pour but d'éliminer la matière polluante biodégradable. Il existe de nombreux processus différents utilisés dans le traitement biologique, notamment :

#### II.3.4.1 Boues activées (cultures libres)

Il consiste à mettre l'effluent en contact direct avec un mélange riche en bactéries par brassage afin de dégrader la matière organique dissoute ou en suspension transforment en carbone les résidus ainsi formés, contenant ce stock de bactéries, sont appelés « boues »

## Chapitre II : Les procédés d'épuration des eaux usées

Une unité de traitement par boues activées est composée essentiellement de :

- Un bassin dit d'aération dans lequel l'eau à épurer est mise en contact avec la masse bactérienne épuratrice ;
- Un clarificateur dans lequel s'effectue la séparation d'eau épurée et de la culture bactérienne ;
- Un dispositif de recirculation des boues assurant le retour vers le bassin d'aération des boues biologiques récupérées dans le clarificateur, permet de maintenir la quantité de micro-organisme constante pour assurer le niveau d'épuration recherché ;
- Un dispositif de fourniture d'oxygène à la masse bactérienne présente dans le bassin d'aération ;
- Un dispositif de brassage afin d'assurer au mieux le contact entre le micro-organisme et la nourriture, d'éviter les dépôts de favoriser la diffusion de l'oxygène [25]

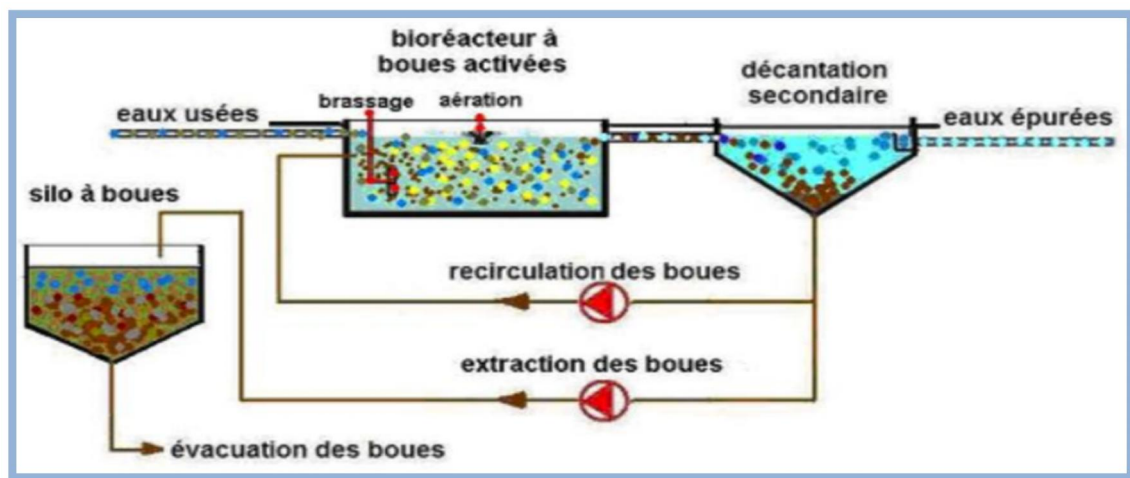


Figure II.5 : Schéma d'un procédé à boues activées [26]

### 1. Les paramètres essentiels caractérisant un réacteur biologique

Différents paramètres permettent de définir le fonctionnement d'une épuration d'eau usée un réacteur biologique :

- a) La charge massique ( $C_m$ )** : est un indicateur qui caractérise l'équilibre biologique du traitement. Il représente le rapport entre la nourriture et la biomasse (sous forme de substrat polluant DBO5) ;
- b) La charge volumique ( $C_v$ )** : correspond à la quantité de pollution entrant journallement par unité de volume du réacteur ;
- c) Age des boues** : L'état physiologique de la biomasse est mesuré par l'âge moyen de la boue (le temps de séjour moyen des boues dans le bassin d'aération). Il se définit comme étant le rapport entre la quantité de boue dans le bassin et celle extraite quotidiennement ;
- d) Indice de MOHLMAN ( $I_m$ )** : qui définit le volume occupé par une unité de masse boue après 30 minutes de décantation en éprouvette d'un échantillon d'un litre, par rapport à la masse de résidus sec de cette boue [25]

## Chapitre II : Les procédés d'épuration des eaux usées

### 2. Choix du procédé d'épuration par boues activées

Afin de dimensionner une station d'épuration, il est essentiel de sélectionner un procédé d'épuration par boues activées. Ce choix doit être fait en tenant compte des avantages et des inconvénients de chaque procédé, tels que énumérés dans le tableau suivant :

**Tableau II.4 :** Avantages et inconvénients des procédés à boues activées [14]

|                       | Avantages  | Inconvénients   |
|-----------------------|--|---|
| <b>Faible charge</b>  | <ul style="list-style-type: none"><li>- Assure une bonne élimination de DBO5</li><li>- Résiste mieux aux fluctuations de charge polluante</li><li>- L'exploitation de telles stations est très simplifiée</li><li>- Prend un petit espace dans le terrain.</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Le temps de séjour dans le bassin ;</li><li>- Investissement coûteux ;</li><li>-Le bassin d'aération, plus largement dimensionné</li><li>- Les boues sont plus concentrées d'où la décantation dans le clarificateur est lente, il faut prévoir une surface très importante</li></ul> |
| <b>Moyenne charge</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>- La consommation énergétique du poste d'aération est plus faible</li><li>- Prend un espace moyen dans le terrain</li><li>- Pour toute taille de collectivité.</li></ul>   | <ul style="list-style-type: none"><li>- Nécessité de personnel qualifié et d'une surveillance régulière</li><li>- Décantabilité des boues pas toujours faciles à maîtriser.</li></ul>   |
| <b>Forte charge</b>   | <ul style="list-style-type: none"><li>- Un temps de contact relativement court entre l'eau à épurer et les boues activées ;</li><li>- Très bonne élimination de l'ensemble des paramètres de pollution.</li></ul>  | <ul style="list-style-type: none"><li>- Coût d'investissement assez important</li><li>- Consommation énergétique importante</li><li>- La nitrification est incomplète ou difficile</li><li>- Le bassin d'aération est précédé d'un décanteur</li></ul>  |

#### II.3.4.2 Lagunage (cultures libres)

Le lagunage est utilisé lorsqu'on dispose de grandes surfaces de terrain et que les critères de performance en termes de haute qualité de l'effluent ne sont pas exigés. C'est une technique particulière d'autoépuration des eaux, faisant intervenir des éléments naturels tel que : le soleil, les algues et le plancton [27].

On distingue principalement deux types de lagunes, naturelle et aérée :

**a) Lagune naturelle :** Ce procédé est fondé sur un écosystème constitué principalement d'algues et des bactéries aérobies et anaérobies. Le rayonnement solaire est utilisé comme source énergétique pour la production de l'oxygène par photosynthèse par les algues microscopiques. L'épuration se déroule naturellement par passage gravitaire de l'eau dans une succession de bassins (trois bassins généralement) [21].

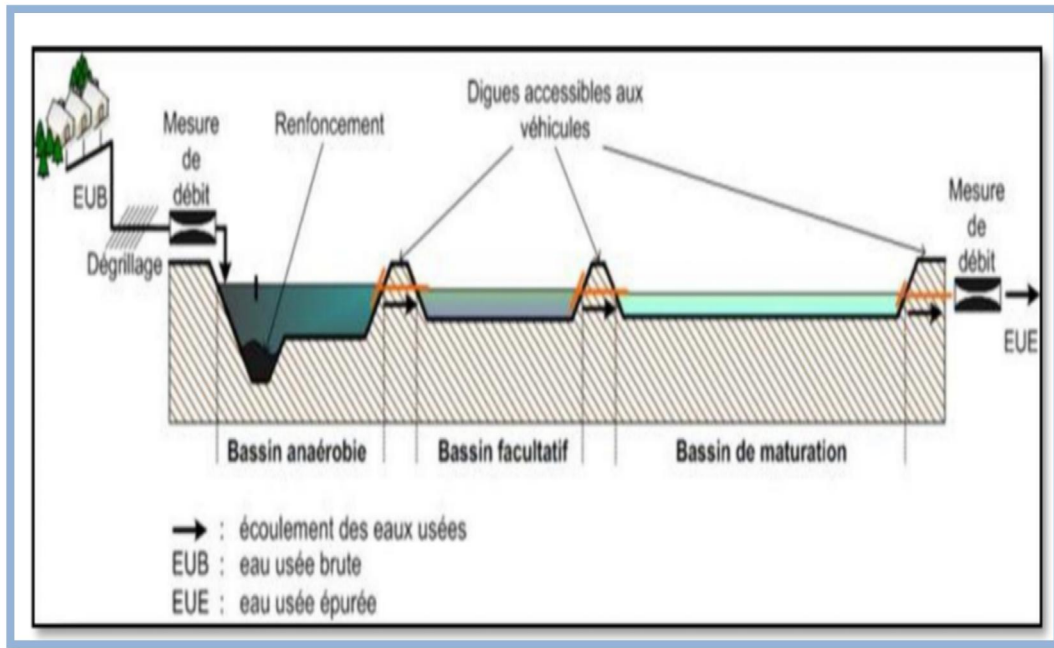


Figure II.6 : Lagunage naturel [21]

**b) Lagune aérée :** Dans le lagunage aéré, un support supplémentaire de l'oxygène nécessaire à l'assimilation des matières organiques par les bactéries est fourni par des aérateurs mécaniques flottants ou fixes ou par insufflation d'air [21].

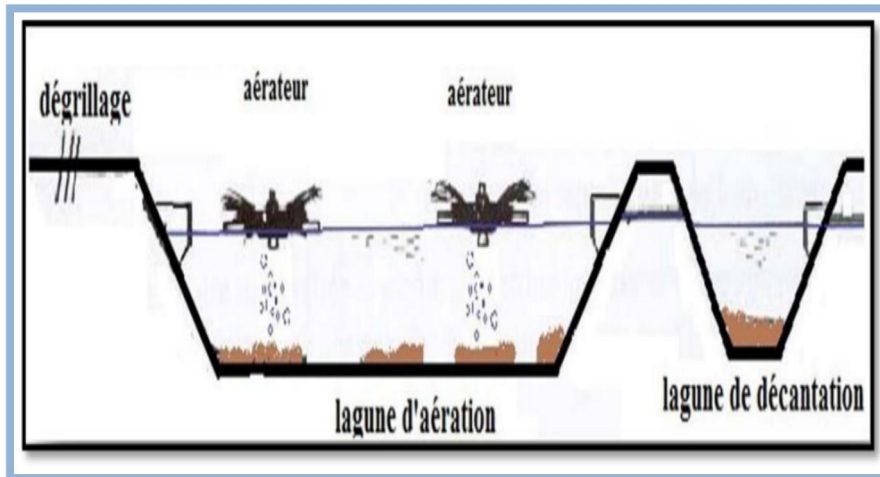


Figure II.7: Lagunage aéré [21]

Tableau II.5 : Avantages et inconvénients de procédé de Lagunage [21]

| Avantages  | Inconvénients   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bonne intégration paysagère</li> <li>- Exploitation aisée</li> <li>-Bon rendement élimination azote et phosphore</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nécessite de grandes surfaces de terrain</li> <li>- Élimination moyenne de la matière organique</li> <li>-Connaissance technique (aérée)</li> <li>-Difficulté extraction des boues en fond de bassin</li> <li>-Temps de traitement long : 20 jours (aérée) à 70 jours (naturelle)</li> </ul> |

### II.3.4.3 Lit bactérien (Cultures fixée)

Est un procédé d'épuration biologique aérobie. L'épuration de la phase liquide repose sur l'activité biochimique des micro-organismes qui dégradent la matière organique en présence d'oxygène. Les micro-organismes sont retenus sur un support, appelé garnissage, sous la forme d'un biofilm. Le garnissage est arrosé avec l'eau usée à traiter, après une décantation primaire ou un simple tamisage fin. Le temps de passage de l'eau au sein du système est très court, de l'ordre de quelques minutes. Un clarificateur est nécessaire avant le rejet, afin de recueillir les boues produites par bactérien [25].

Tableau II.6 : Avantages et inconvénients de procédé de lit bactérien

| Avantages   | Inconvénients   |
|---|---|
| -Occupation au sol relativement faible<br>-Bonne résistance aux variations de charge organique et hydraulique | - Sensibilité au froid<br>- Entretien régulier<br>-Abattement limité de l'azote et du phosphore |

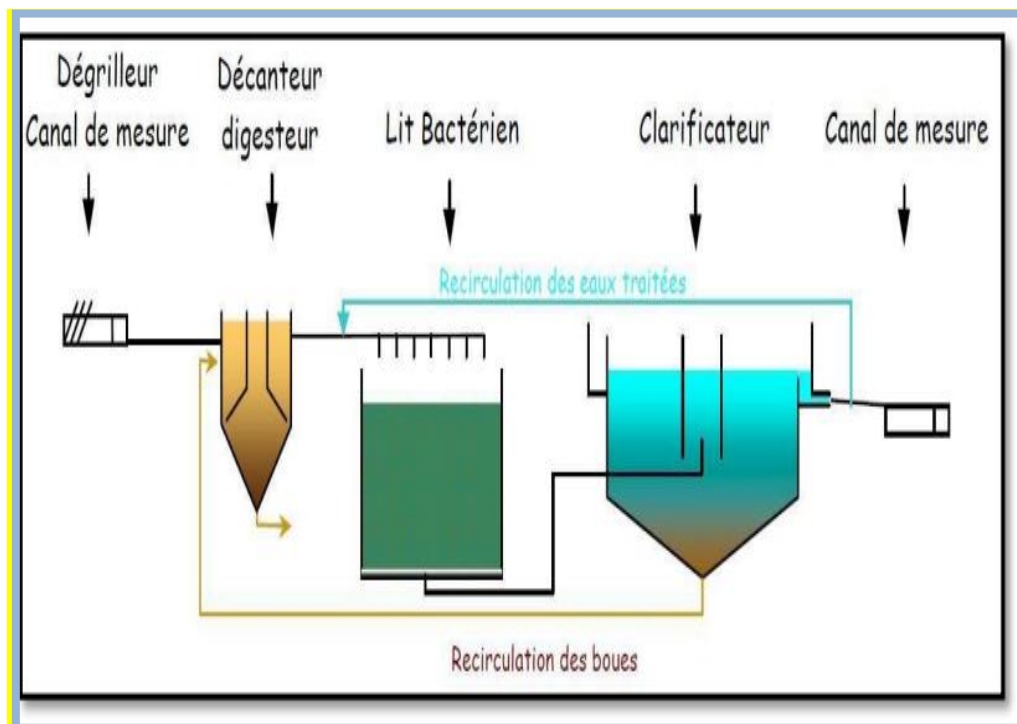


Figure II.8 : fonctionnement d'une station à lit bactérien [27]

### II.3.4.4 Disque biologique (Cultures fixée)

Le système est constitué d'une série de disques fixés autour d'un arbre métallique partiellement immergé dans un canal où s'écoule l'eau à épurer.

Ce procédé est utilisé généralement pour l'épuration des effluents et petites installations et ne supporte pas les variations qualitatives des charges polluantes de l'effluent [28].

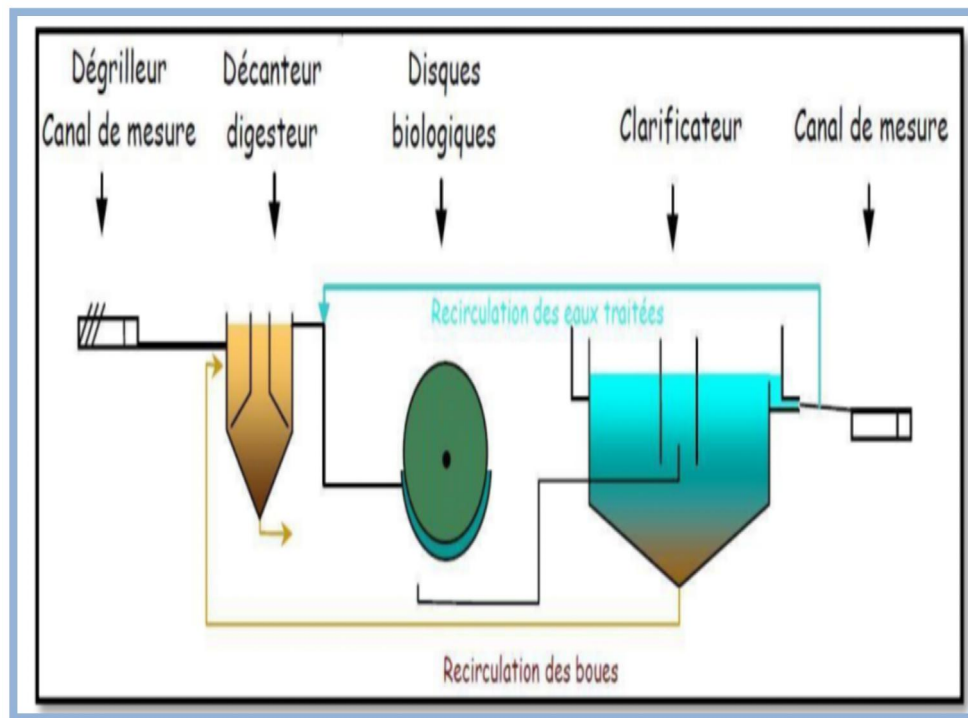


Figure II.9: fonctionnement d'une station à disque biologique [27]

### II.3.4.5 Procédés de séparation membranaires

Ces procédés ont pour principales caractéristiques communes de ne pas comporter de changement de phase au cours de la séparation, d'utiliser des différences de pression comme force motrice et de mettre en œuvre des membranes perméables à l'eau. Les membranes permettent la séparation des colloïdes, bactéries, virus et des matières organiques à longues chaînes dont la masse est supérieure au point de coupure de la membrane [29].

- La filtration et la technique d'osmose inverse sont les procédés de séparation membranaire les plus couramment utilisés.

### II.3.4.6 Bioréacteur à lit fluidisé (MBBR)

Le procédé MBBR est un traitement biologique de type culture fixée. La biomasse est fixée sur un support synthétique qui se déplace dans l'eau afin de mettre en contact un grand nombre de bactéries avec une importante quantité de pollution, maintenue en mouvement par fluidisation. Généralement, le procédé MBBR est suivi d'un système de séparation des solides

- Les réacteurs MBBR ne nécessitent pas de recirculation de la boue en tête du réacteur biologique.

### II.3.5 Traitement tertiaire

Est un processus complémentaire visant à éliminer les polluants restants après les traitements primaires et secondaires. Il peut être utilisé dans les cas suivants :

## Chapitre II : Les procédés d'épuration des eaux usées

- Pour améliorer la qualité de l'eau usée traitée avant son rejet dans le milieu naturel ou sa réutilisation quand cette dernière ne répond pas aux exigences réglementaires, telles que les normes de rejet dans le milieu naturel ou les normes de qualité de l'eau pour la réutilisation.
- Soit conçu au sein d'une nouvelle ligne de traitement où les étapes primaires et secondaires sont d'emblée optimisées

### II.3.5.1 Elimination de l'azote :

Parfois, l'élimination souhaitée de l'azote n'est pas obtenue après un traitement biologique secondaire. Une étape de nitrification et/ou dénitrification avec la possibilité d'apporter un substrat carboné, peut alors être ajoutée à la filière de traitement.

#### Technique de Traitement :

La nitrification s'effectue généralement dans des bassins d'aération et la dénitrification dans les bassins d'anoxie. Ce procédé nécessite l'ajout d'une source de carbone externe au niveau du bassin de dénitrification (méthanol ou acétate).

On note que le traitement biologique de l'azote est étroitement lié au traitement de la DBO, étant donné que les bactéries dénitrifiantes sont hétérotrophes et nécessitent la présence d'une source carbonée organique.

- Si la DBO<sub>5</sub> de l'effluent est suffisante pour dénitrifier les nitrates initialement présents et/ou produits par la nitrification, et afin d'éviter l'ajout coûteux de carbone organique, Ludzack-Ettinger ont proposé un modèle dans lequel la dénitrification utilise le carbone présent dans l'effluent. Ce dernier passe par un bassin de pré-dénitrification en amont de l'aération (anoxie en tête) (voir Figure II.9). Le nitrate produit dans la zone aérobie est recyclé pour être dénitrifié dans la zone anoxique

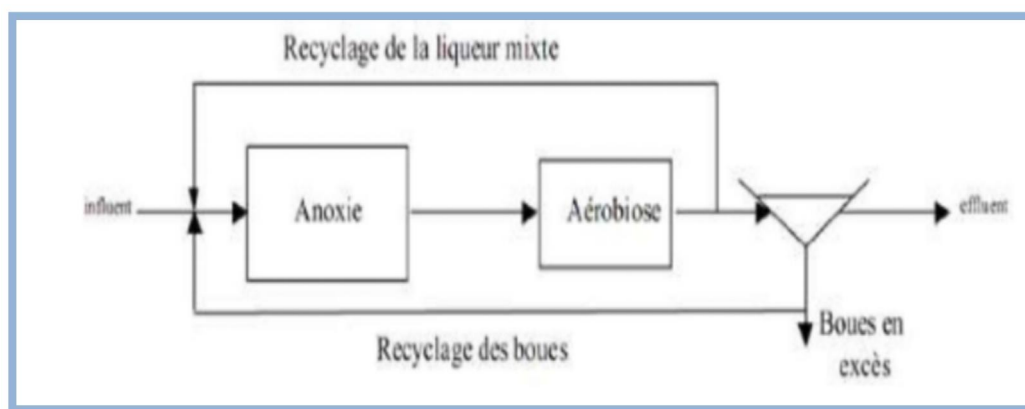


Figure II.10: Configuration de Ludzack-Ettinger



## Chapitre II : Les procédés d'épuration des eaux usées

- Si la DBO5 de l'effluent est insuffisante, il est alors nécessaire de placer une post-dénitrification après le bassin aérobie avec ou sans ajout de carbone.

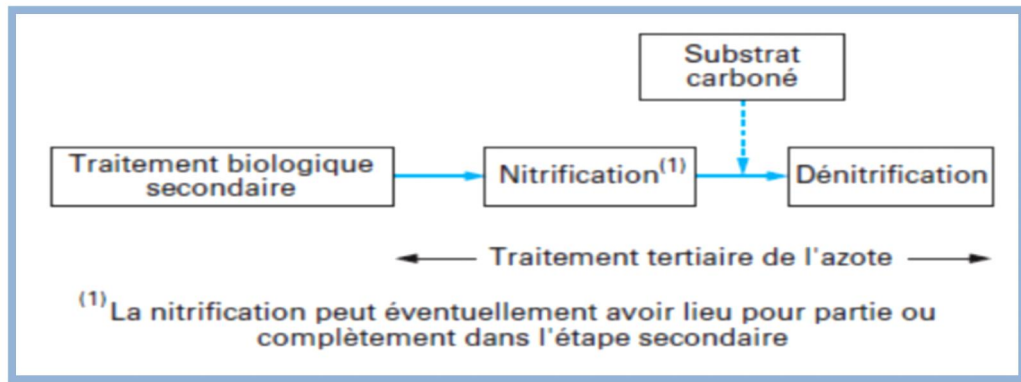


Figure II.11: dénitrification dans le cas d'insuffisance en DBO5

### II.3.5.2 Elimination du phosphore :

Dans le cas où le phosphore résiduel demeure supérieur à la norme de rejet, cela un traitement tertiaire du phosphore s'impose.

L'élimination du phosphore, ou " déphosphoration", peut être réalisée par voies physicochimique ou biologiques. En ce qui concerne les traitements physico-chimique, 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 [30].

### II.3.5.3 Elimination des MES et de la matière organique :

Les procédés les plus courants sont la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF), la nano-filtration (NF), l'osmose inverse (OI) et la filtration sur milieu granulaire (sable, anthracite,). L'infiltration-percolation peut également être utilisée comme traitement de finition [31].

En fonction du procédé employé et du paramètre pris en compte, les performances présentent des variations, dépassant généralement les 70%, à l'exception de l'infiltration-percolation, comme illustré dans le tableau ci-dessous :

Tableau II.7 : Performances (en %) des différents traitements tertiaires [31]

|            | MF      | UF        | NF      | OI      | Filtration lente sur milieu granulaire | Infiltration-percolation |
|------------|---------|-----------|---------|---------|--|--------------------------|
| <b>DBO</b> | 75 - 90 | 80 - 90   | 90 - 98 | 90 - 98 | < 15 mg/l                              | 60 - 100                 |
| <b>DCO</b> | 70 - 85 | 75 - 90   |         |         | < 60mg/l                               | 30 - 50                  |
| <b>MES</b> | 95 - 98 | 96 - 99,9 | 40 - 60 | 90 - 98 | 1 à 8 mg/L                             | 65 - 95                  |

(Source : Boutin et al ,2009)



### ❑ Remarque

Il convient de souligner que, lorsqu'il s'agit de réutilisation en irrigation agricole, les procédés de nano-filtration et d'osmose inverse ne sont pas adaptés, car ils éliminent les ions et la matière organique qui confèrent aux eaux usées leur intérêt pour la réutilisation. En revanche, ces deux méthodes demeurent très pertinentes dans un contexte de réutilisation des eaux en milieu industriel.

#### II.3.5.4 La désinfection

Les procédés comme l'osmose inverse, l'ultrafiltration et la nano-filtration, permettent d'éliminer la plupart de ces pathogènes. Mais il peut y avoir une nouvelle contamination à l'aval. Il est donc nécessaire d'ajouter une étape de désinfection.

Cette dernière peut s'effectuer par différentes méthodes en fonction des contraintes techniques, économiques et environnementales, mais, en pratique, les seuls couramment utilisés aujourd'hui sont :

- a. **Le lagunage tertiaire** : Consiste à utiliser plusieurs lagunes appelées « lagunes de maturation ». Elles sont de faibles profondeurs (entre 0,8 et 1,2m) et permettent une désinfection des eaux. En effet, grâce à une faible profondeur, le rayonnement UV réalise la désinfection. La présence d'algues aux pouvoirs germicides peut aussi participer à cette désinfection. La durée de temps de séjour est un facteur très important. Plus le temps de séjour est long et plus l'élimination des microorganismes est notable [31].
- b. **La chloration-déchloration** : C'est la méthode la plus ancienne, consistant à injecter directement le chlore dans les eaux usées. Pour éviter les effets négatifs non désirés, une étape de déchloration est ajoutée. Cela se fait généralement par l'addition de bioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>).
- c. **L'ozonation** : C'est un oxydant puissant qui permet de dégrader la matière organique et d'éliminer les principales sources pathogènes présentes dans l'eau. Il n'y a pas d'utilisation de produits chimiques.
- d. **Les rayons ultraviolets** : Le traitement par rayons ultraviolets est très performant. Il est fort répandu dans le monde. Les systèmes UV sont conçus en deux parties : la chambre de traitement, appelée aussi réacteur et le module électrique. L'eau à désinfecter transite dans une chambre d'irradiation où sont placées des lampes à mercure, isolées de l'eau par des gaines en silice ou quartz, émettant un rayonnement ultraviolet s'attaque directement aux micro-organismes [32].

L'Annexe N°1 permet de comparer les quatre procédés d'élimination de pathogènes : lagunage, chloration, ozonation et ultraviolets.

#### II.3.6 Traitement des boues :

Les boues d'épuration (urbaines ou industrielles) sont. Les principaux déchets produits par une station d'épuration à partir des effluents liquides.

- On distingue différents types de boues selon les traitements appliqués :

## Chapitre II : Les procédés d'épuration des eaux usées

---

**Tableau II.8** : les différents types de boues [33]

| Les boues primaires  | Les boues physico-chimiques  | Les boues secondaires   | Les boues mixtes   |
|--|--|---|--|
| C'est les boues issues d'une décantation physique dans le décanteur primaire | C'est des boues primaires mais obtenues à l'aide d'ajout de réactifs (coagulants et floculant) | Récupérées après traitement biologique dans le clarificateur. | C'est le mélange de boues secondaires avec les boues primaires |

Une boue est aussi représentée par plusieurs données numériques qui permettent de la caractériser notamment la siccité et le taux de matières volatiles séchés (MVS)

**Tableau II.9:** Consistance de la boue en fonction la siccité

|              | Boues liquides | Boues pâteuses | Boues solides | Boues sèche     |
|--------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|
| Siccité en % | 0 à 10         | 10 à 25        | 25 à 85       | Supérieure à 85 |

### II.3.6.1 Filière de traitement des boues

La filière de traitement des boues comprend en générale :

#### 1- Epaississement

C'est la phase initiale pour faciliter le processus de déshydratation et pour accroître la concentration en matière solide de la boue. Il existe différentes méthodes d'épaississement notamment :

- Epaississement gravitaire (statique) : Les boues décantent gravitairement et se rassemblent au fond de l'ouvrage ;
- Epaississement dynamique : qui utilise des énergies mécaniques pour concentrer les matières solides Il s'agit principalement de la flottation ou l'égouttage, la centrifugation [18]

#### 2- Stabilisation

Ce processus vise à limiter les fermentations des boues et à minimiser leur activité biologique de dégradation. Cette étape peut être réalisée soit par manière :

- Biologique : digestion aérobie (présence d'oxygène) soit par digestion anaérobie (absence d'oxygène).
- Chimique : ajout de la chaux qui stoppe la fermentation des boues.

#### 3- Conditionnement

Le conditionnement a pour but la rupture de la stabilité colloïdale des boues et faciliter l'évacuation de l'eau libre. Il existe deux méthodes de conditionnement : [34]

- Minéral : ajout de chaux et du FeCl<sub>3</sub>
- Organique : ajout de polymère généralement cationique.

### 4- La déshydratation

Pour but d'augmenter la siccité des boues (libération d'une grande partie de l'eau constituant l'essentiel du volume des boues). Dans ce cas, les boues passent de l'état liquide à une consistance plus ou moins solide. Les équipements de déshydratation des boues les plus courants sont : [20]

- Les filtre-presse
- Les filtres à bandes
- Les centrifugeuses

**Tableau II.10:** Comparaison des divers procédés de déshydratation des boues [34]

| Types                 | Avantages                                    | Inconvénients   |
|-----------------------|--|---|
| <b>Filtre à bande</b> | Investissement et exploitation aisés         | Eau de lavage, siccité moyenne 20%, risque d'odeurs et encombrement |
| <b>Centrifugeuse</b>  | Continuité, faible encombrement et salubrité | Siccité moyenne 20%, consommation d'énergie élevée                  |
| <b>Filtre presse</b>  | Siccité élevée                               | Investissement élevé, augmentation de la masse de matière sèche     |

### 5- Séchage des boues

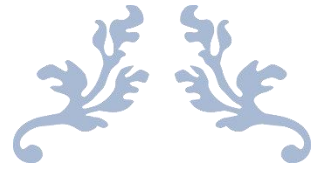
Le séchage est une opération unitaire du traitement des boues consistant à évaporer de l'eau libre et liée, Plusieurs techniques de séchage sont envisageables :

- **Lit de séchage :** séchage solaire, lit de sable et lagune de séchage ;
- **Séchage thermique :** le séchage thermique vient obligatoirement après une étape de déshydratation mécanique [19]

## Conclusion

Avant d'aborder les problèmes d'estimation et de modélisation, qui sont les principaux objectifs de ce mémoire, ce chapitre visait à présenter une description globale des différentes méthodes disponibles pour l'épuration, qu'elles soient physiques, chimiques ou biologiques, en mentionnant la séquence des étapes.

Parmi les dispositifs clés présentés, les procédés de bioréacteur à lit mobile (MBBR) seront au centre de notre étude de modélisation et de simulation



**CHAPITRE III :  
REUTILISATION DES  
EAUX USEES EPUREE**



**ENSH 2023**

### Chapitre III : Réutilisation des eaux usées épurée

#### Introduction

Face à la raréfaction, à la dégradation de la ressource en eau et à une demande croissante des besoins en eau, la réutilisation des eaux usées épurées devient une exigence dans de nombreux pays et régions du monde qui souffrent d'un stress hydrique, constitue une forme de valorisation d'un potentiel hydrique important, qui permet d'alléger le recours aux ressources hydriques conventionnelles, notamment les eaux de surface et souterraines très vulnérables

#### III.1 La réutilisation des eaux usées épurée

##### III.1.1 Définition :

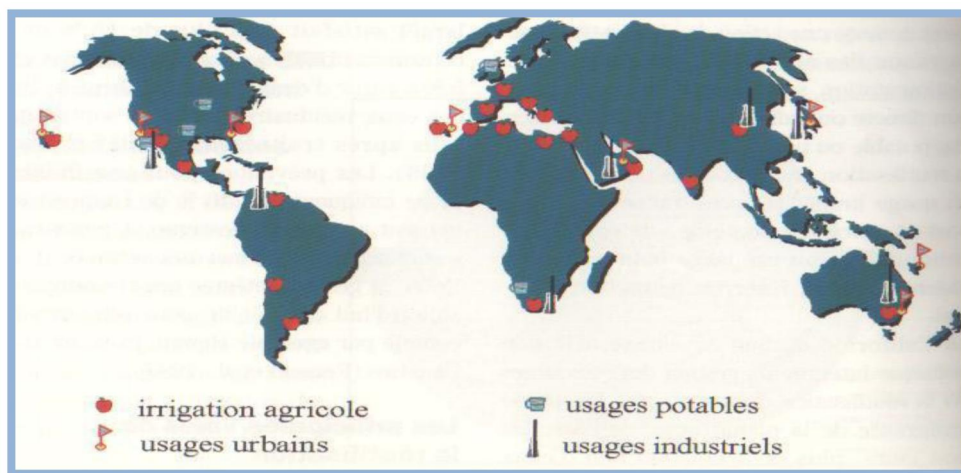
La réutilisation des eaux usées est un des éléments de développement et de gestion des ressources en eau qui constitue une option durable pour l'agriculture, les municipalités et l'industrie [35].

Dans le but de :

- Fournir des quantités complémentaires en eau pour différents usages et combler des déficits hydriques ;
- Assurer l'équilibre du cycle d'eau ;
- Protégé le milieu environnement [35].

##### III.1.2 Application

En pratique, la réutilisation d'eaux usées traitées se divise essentiellement en cinq grands types identifiés : industriels (20%), agricoles (30%), urbains (30%), environnementaux (20%), et potables directes (très faibles). Cependant, cette répartition peut être très différente d'un pays à l'autre.



**Figure III.1** : Répartition des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaines [36].

### III.2 Catégories de réutilisation de l'eau épurée

On peut distinguer cinq catégories de réutilisation :

#### III.2.1 La production d'eau potable

Les eaux usées traitées peuvent être utilisées directement ou indirectement, planifiées ou non :

- La réutilisation est directe quand l'eau ne revient jamais dans le milieu naturel, les eaux épurées étant directement acheminées de la station d'épuration à l'usine de traitement pour l'eau potable. L'unique exemple dans le monde de réutilisation directe se trouve en Afrique, à Windhoek, capitale de la Namibie [37]
- La réutilisation est indirecte et non planifiée quand les eaux épurées sont rejetées dans un cours d'eau ou une réserve souterraine qui sert à l'alimentation d'une usine de traitement [37].
- La réutilisation est indirecte et planifiée quand elle consiste à rejeter des effluents de station volontairement en amont d'une usine de traitement, au niveau du plan d'eau ou de la nappe qui sert d'ultime réservoir naturel avant le pompage et le traitement [37].

#### III.2.2 Réutilisation et recyclage industriels

Les usages quant à eux sont très variables. Les centrales électriques, les raffineries de pétrole, les manufactures, les fabriques de béton, les stations de lavage de voiture, l'industrie du papier et du textile, la production d'acier, l'industrie agroalimentaire, ... réutilisent les eaux usées traitées pour le lavage des équipements, dans les tours de refroidissement, pour l'alimentation de bouilloires et parfois comme eau de procédé à l'exclusion de l'industrie agro-alimentaire [37]. Avec de nouvelles tendances telles que l'objectif ambitieux de zéro rejet liquide, de nombreuses industries réutilisent déjà leurs propres eaux usées traitées pour économiser l'eau et réduire leurs rejets.

#### III.2.3 Réutilisation dans les zones urbaines

Les opportunités d'utilisation des eaux épurées en zone urbaine sont diverses, tel : [38]

- L'arrosage de parcs, de terrains de sport et aires de jeux ;
- 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 ;
- Le lavage de voirie, les marchés ;
- Les réservoirs anti-incendie ;

#### Remarque

Selon (Ecosse,2001), la réutilisation des eaux usées épurées en zone urbaine nécessite un réseau double qui permet de distribuer séparément les eaux épurées et l'eau potable.

### III.2.4 La recharge des nappes

Le dispositif de la recharge de nappe consiste à faire infiltrer ou percoler les eaux usées épurées dans le sous-sol pour : [39]

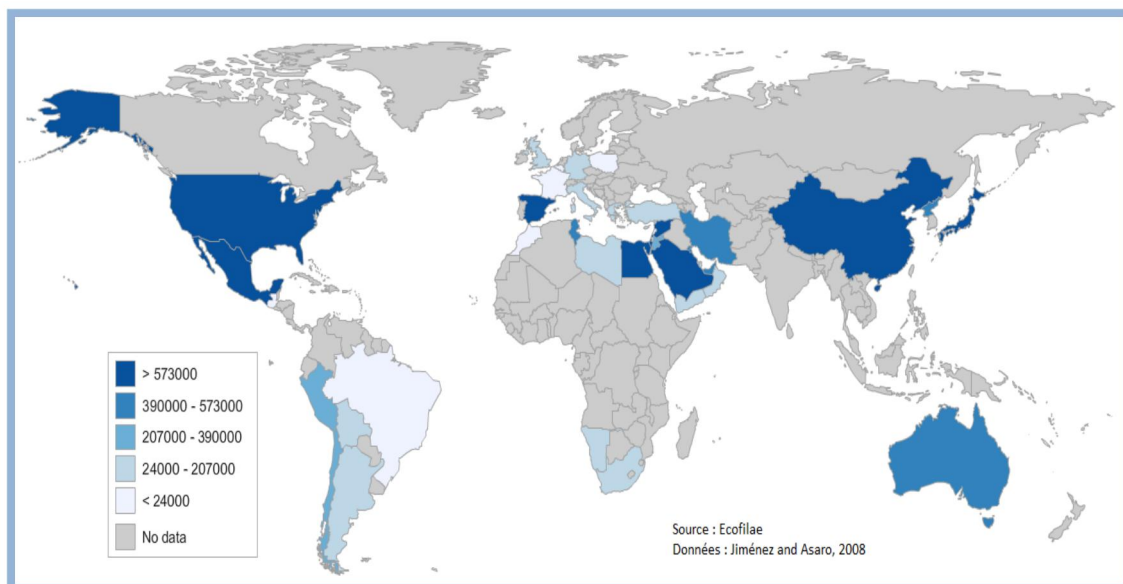
- A restauration d'une nappe surexploitée par excès de pompage et dont le rabattement est préjudiciable ;
- La protection des aquifères côtiers contre l'intrusion d'eau salée ;
- Le stockage des eaux pour une utilisation différée ;
- L'amélioration du niveau de traitement de l'eau, utilisant de la sorte le pouvoir autoépuration du sol ;
- La protection de l'environnement en évitant de rejeter les effluents dans un cours d'eau ou en mer

Il existe deux moyens de recharger une nappe phréatique : par percolation ou par recharge directe (L'eau est injectée dans la nappe par plusieurs puits) [37]

### III.2.5 La réutilisation agricole

La réutilisation des eaux usées améliore les rendements des cultures tout en préservant le milieu et la ressource. En effet, selon le mode de traitement et par conséquent la qualité des eaux usées épurées, la présence d'éléments fertilisants (azote, phosphore et potassium) et d'oligoéléments (fer, cuivre, manganèse, zinc, etc.) sont à l'origine de l'augmentation significative du rendement des cultures [37].

La présence de MES, riches en matière organique, contribue également à la fertilisation des sols. De plus, l'irrigation avec des eaux usées épurée constitue une sorte de fertilisation, c'est-à-dire l'application combinée d'eau et de fertilisants via le système d'irrigation [37].



**Figure III.2** : Réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation (en m<sup>3</sup>/jour) [40]

### III.3 Réutilisation des eaux usées en Algérie

#### III.3.1 Normes de qualité des eaux en irrigation

La présence de normes de rejet spécifiques à la réutilisation des eaux usées en agriculture ainsi que la présence de textes réglementaires fixant les modalités de réutilisation des eaux usées et la liste des cultures et les conditions de leur irrigation par les eaux usées épurées constituent une promotion de projets de réutilisation des eaux usées épurées [41].

Ces textes sont comme suit : [42]

- **Le décret exécutif n° 05 - 12 du 04 août 2005**, publié dans le Journal Officiel de la République Algérienne n°60, relative à l'eau, a institué la concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation.
- **Le décret exécutif n° 07-149 de 20 mai 2007** publié dans le Journal Officiel de la République Algérienne n° 41, fixe les modalités d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation sous forme de concession ainsi que le cahier des charges-type y afférent
- **L'arrêté interministériel du 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012**, promulgué par les ministres chargés des ressources en eau, de l'agriculture et de la santé, fixe les spécifications physico-chimiques des eaux usées épurées destinées à l'irrigation agricoles et la liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées (tableau V.4 et V.5 et V.6) (**annexe 4**)

#### III.4 Avantages de la réutilisation des eaux

Les avantages et les bénéfices les plus importants de la réutilisation de l'eau sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau III.1** : Les avantages de la REUE [37]

|  |   |
|--|---|
| <b>Ressource alternative</b>                       | -L'augmentation de la ressource en eau et la flexibilité d'approvisionnement tout en diminuant la demande globale<br>-La disponibilité des eaux usées épurées qui peuvent être utilisées en tout temps<br>-Le besoin de mobilisation d'autres ressources en eau est différé<br>-L'assurance d'une ressource fiable, disponible et indépendante des sécheresses pour l'irrigation et les usages industriels. |
| <b>Conservation et préservation des ressources</b> | -Économiser l'eau potable pour la réserver aux usages domestiques<br>-Mobiliser une ressource en eau additionnelle<br>-Diminuer l'usage des ressources que sont les eaux de surface et les eaux souterraines, et ainsi éviter leur surexploitation.   |
| <b>Valeur économique ajoutée</b>                   | -Dans certains cas, éviter les coûts de l'élimination des nutriments des eaux usées<br>-Réduire ou éliminer l'utilisation des engrais chimiques en irrigation<br>-Assurer des revenus complémentaires grâce à la vente de l'eau recyclée et des produits dérivés  |



|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| <p><b>Valeur environnementale</b></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Améliorer et maintenir les plans d'eau en cas de sécheresse</li> <li>-Éviter les impacts négatifs liés à la construction de nouveaux barrages, réservoirs, etc...</li> <li>Améliorer le cadre de vie et l'environnement (espaces verts, etc.)</li> <li>-Profiter des nutriments apportés par l'eau d'irrigation pour augmenter la productivité des cultures agricoles et la qualité des espaces verts.</li> </ul>     |
| <p><b>Développement durable</b></p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Réduire les coûts énergétiques et environnementaux par rapport à ceux de l'exploitation des aquifères profonds, du transport d'eau à longues distances, du dessalement, etc.</li> <li>-Assurer une ressource alternative à faible coût pour les régions arides, la protection des milieux sensibles et la restauration des zones humides</li> <li>-Augmenter la production alimentaire en cas d'irrigation</li> </ul> |

Source : (Asano, 1998)

### III.5 Limites et contraintes

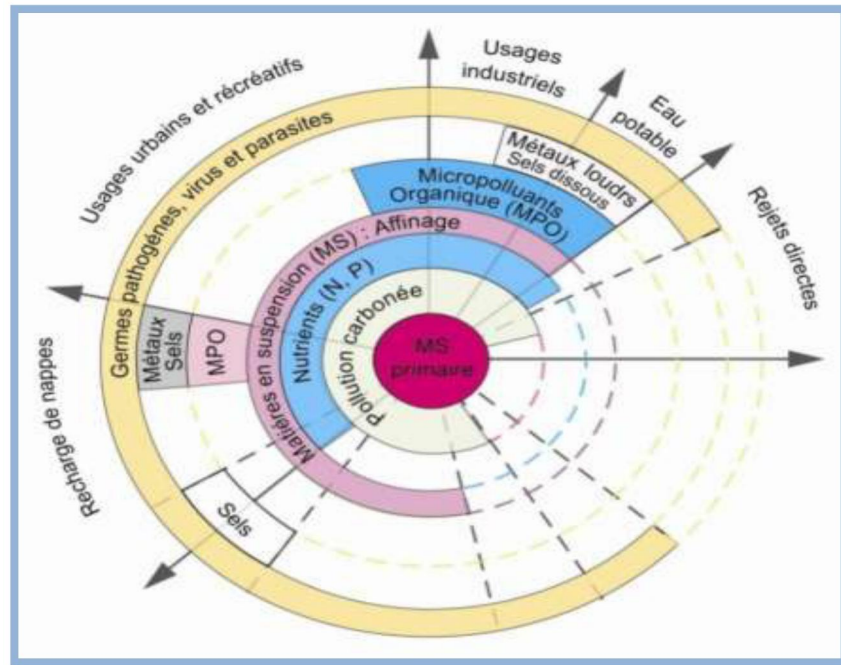
La réutilisation des eaux usées épurées possède de nombreux avantages mais cette pratique a aussi ses contraintes. Les principales contraintes sont résumées dans le tableau suivant :

**Tableau III.2** : Les contraintes de la REUE [43]

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| <p><b>Risque microbiologique</b></p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- les micro-organismes se retrouvent à la surface des plantes et sur le sol. Une contamination peut donc avoir lieu au moment de la croissance des végétaux ou même de la récolte.</li> <li>- L'irrigation souterraine ou gravitaire peut nuire à la qualité des eaux souterraines et de surface.</li> <li>- L'irrigation par aspersion crée des aérosols pouvant être gênants pour la santé humaine.</li> <li>- Les helminthes représentent le risque microbiologique principal, suivi par les affections bactériennes à moindre échelle et enfin, de façon très limitée, les virus.</li> </ul> |
| <p><b>Risque chimique</b></p>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les faibles concentrations en micropolluants dans les eaux usées traitées peuvent être un frein à la recharge d'aquifère.</li> <li>- Apparition de nouvelles substances toxiques</li> <li>- De faibles quantités de micropolluants présentent des risques de toxicité humaine à court terme et de maladies à plus long terme</li> </ul>  |
| <p><b>Risques environnemental</b></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- L'influence d'un excès de bore et d'autres éléments traces éventuels ;</li> <li>- Le risque d'alcalinisation des sols par excès de sodium, affectant leur perméabilité et posant des problèmes d'infiltration</li> <li>- Un résiduel en chlore trop important</li> <li>- L'affectation du rendement par la salinité</li> </ul>   |

### III.6 Les polluants à éliminer suivant l'application

En fonction des besoins spécifiques de la réutilisation, plusieurs niveaux de traitement peuvent être exigés. La Figure V-3 présente les composés à éliminer suivant l'objectif de réutilisation



**Figure III.3** : Niveaux de traitements recommandés pour les différents types de réutilisation des eaux résiduaires urbaines [44]

### III.7 Choix des méthodes de traitement suivant l'application

Le choix des méthodes de traitement dépend de divers facteurs, parmi lesquels les plus importants, le type de réutilisation envisagée et les normes de qualité requises. En considération des conditions locales et des critères technico-économiques, on résume plusieurs modes de traitement recommandés pour les diverses formes de réutilisation des eaux usées dans le tableau suivant :

**Tableau III.3** : Modes de traitement recommandés en fonction du type de réutilisation des eaux usées [36]

| Mode de réutilisation   | Traitement extensif  | Traitement Intensif   |
|---|--|---|
| 1 Irrigation de Cultures bien définies (arbres fruitiers, forêts, prairies) | E.1. Bassins de stabilisation en série ou lagunes aérées ; marais ; infiltration percolation | 1.1. Traitement secondaire par boues activées ou filtre biologique, avec ou sans désinfection |
| 2. Irrigation da cultures sans restriction, légumes consommés crus          | E.2. Même chose que E.1, avec étapes de désinfection final réservoirs de stockage            | 1.2. Même chose que 1.1 avec filtration et désinfection                                       |

## Chapitre III : Réutilisation des eaux usées épurée

---

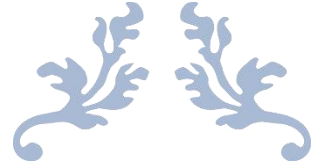
|  |  |   |
|--|--|---|
| 3. Utilisation urbaine pour l'Irrigation de parcs, de terrains de sport, de terrains de golf | E.3. Même chose que E.2  | 1.3, Même chose que 1.2, l'étape de filtration est recommandée en cas d'accès libre pour le public                        |
| 4. Restauration des nappes phréatiques   | E.4. Même chose que E.2, et filtration dans le sel vers l'aquifère | 1.4. Même chose que 1.2 avec élimination des nutriments (si nécessaire)   |
| 5. Réseaux doubles polir recyclage des eaux grises en immeubles                              | E.5. Non applicable  | 1.5. Même chose que 1.3 avec filtration sur charbon actif (si nécessaire) ou filtration sur membrane et désinfection      |
| 6. Utilisation directe ou indirecte dans le réseau d'eau potable                             | E.6. Non applicable  | 1.6. Traitement secondaire. Tertiaire et quaternaire, avec charbon actif, filtration sur membrane et désinfection poussée |

### Conclusion

La réutilisation des eaux usées épurées est une technique en plein essor, principalement associée à l'agriculture, mais qui peut également être mise en œuvre dans d'autres catégories.

Les avantages de la réutilisation et du recyclage des eaux usées sont largement reconnus par de nombreux pays, et ils sont intégrés dans leurs plans directeurs de l'eau ainsi que dans leurs politiques nationales. Cependant, il est essentiel de tenir compte de la qualité des eaux usées, car la réutilisation d'une eau de mauvaise qualité peut présenter des risques pour la santé et l'environnement, créant ainsi des défis à relever.

Heureusement, de nombreuses solutions techniques sont disponibles pour respecter les normes de réutilisation existantes, notamment le Décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993 et le Décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006.



**CHAPITRE IV :**  
**PRESENTATION DE LA**  
**REGION D'ETUDE**



### Chapitre IV : Présentation de la région d'étude

#### Introduction :

L'objectif que nous visons à la fin de ce chapitre est de présenter en détail le cas d'étude, qui est considéré comme une unité au sein d'une zone industrielle majeure de la région. La collecte des données, l'analyse des caractéristiques spécifiques du site et la compréhension approfondie des principales étapes de fabrication des pâtes à papier dans l'usine de WARAK revêtent une importance cruciale pour mieux gérer notre projet d'étude.

#### IV.1 Présentation de la zone d'étude

##### IV.1.1 Présentation de la ville de Sétif

Sétif, Chef-lieu d'une wilaya qui porte le même nom, est l'une des grandes villes d'Algérie. La ville de Sétif est située à 300 Km de la capitale et à 100 Km des côtes maritimes sur les Hauts-Plateaux qui séparent l'Atlas du Nord et celui du Sud.

La ville de Sétif est repérée par les coordonnées géographiques suivantes :

- Latitude:  $36^{\circ}11'28''$  Nord
- Longitude:  $5^{\circ}24'49''$  Est
- L'altitude par rapport au niveau de la mer : 1086 m

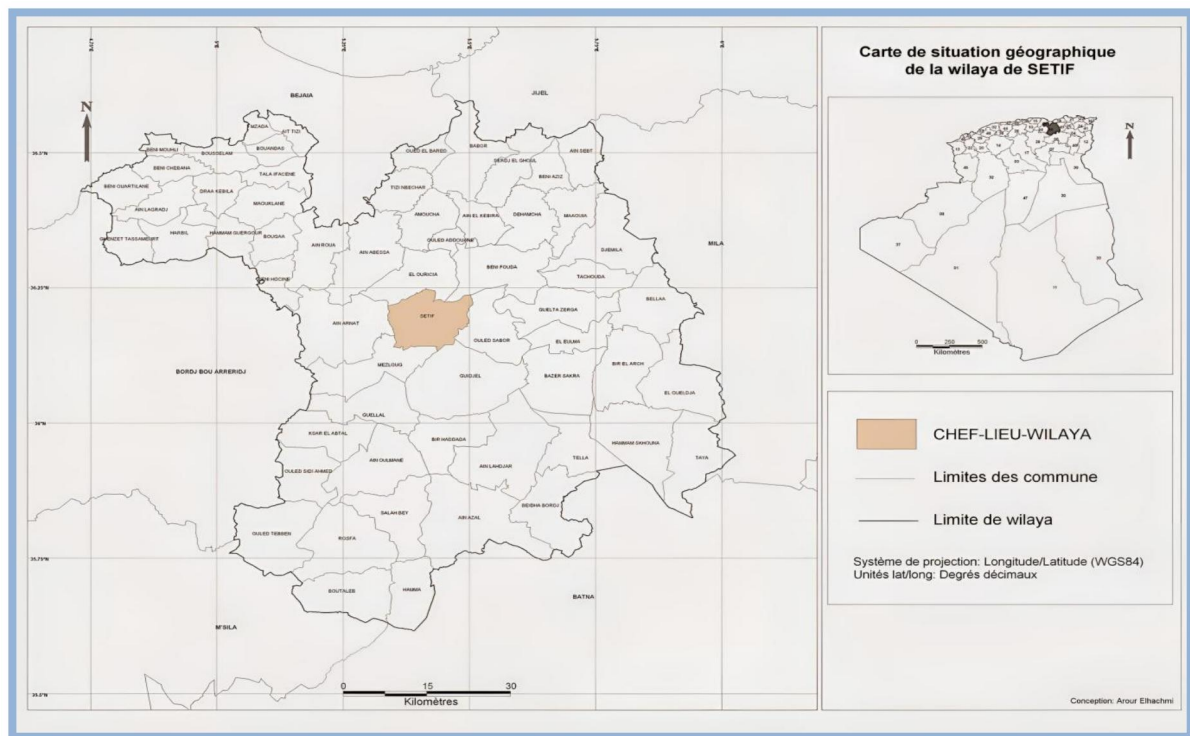


Figure IV.1: Cartes de situation géographique de wilaya de Sétif  
(Source : Découpage administratif de l'Algérie & Monographie)

## Chapitre IV : Présentation de la région d'étude

### IV.1.1.1 Profil économique

La wilaya de Sétif compte trois (3) zones industrielles :

- L'une de ces zones se situe à Sétif dédiée principalement à la production de plastiques, à l'industrie agroalimentaire et aux matériaux de construction.
- Les deux autres zones industrielles se trouvent à El Eulma et dans la nouvelle zone industrielle d'Ouled Saber.
- Il y a aussi 41 zones d'activités dans la wilaya

**Tableau IV.1** : les zones industrielles dans la ville de Sétif.

| Communes     | Nombre de la zone industrielle | Superficie totale (Ha) | Superficie occupée (Ha) |
|--------------|--------------------------------|------------------------|-------------------------|
| Sétif        | 1                              | 421,12                 | 314,14                  |
| El Eulma     | 1                              | 247,98                 | 209,72                  |
| Ouled Saber  | 1                              | 696                    | 27,43                   |
| <b>Total</b> | <b>3</b>                       | <b>1 365,1</b>         | <b>551,29</b>           |

Source : Direction de l'Industrie et des Mines

### IV.1.1.2 Données climatique

La région de Sétif se caractérise par un climat continental semi-aride, avec des étés chauds et secs et des hivers rigoureux [45].

#### a) Température

Les valeurs des températures moyennées mensuelle pendant la période (1991-2021) sont représentées dans le tableau suivant :

**Tableau IV.2** : Température mensuelle de Sétif pendant la période (1991-2021).

|                          | Jan | Fév | Mar  | Avr  | Mai  | Jun  | Juil | Aout | Sep  | Oct  | Nov  | Dec  |
|--------------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Température max moy(°C)  | 4.4 | 4.8 | 8.2  | 11.5 | 15.6 | 20.6 | 24.4 | 23.8 | 19.2 | 15.1 | 8.8  | 5.5  |
| Température Moy (°C)     | 0.5 | 0.5 | 3.2  | 6.1  | 9.7  | 14.3 | 17.7 | 17.7 | 14.3 | 10.6 | 5    | 1.8  |
| Température min moy (°C) | 9.4 | 9.9 | 13.8 | 17.4 | 21.7 | 27.2 | 31.4 | 30.6 | 25.1 | 20.5 | 13.5 | 10.1 |

(Source : clima-data)

Pendant la période de 1991 à 2021, le mois de juillet présente la température moyenne la plus élevée, avec une moyenne de 24,4 °C. En revanche, le mois de janvier enregistre la température moyenne la plus basse de l'année, avec un minimum de 4,4 °C.

#### b) Précipitations

Les pluies sont insuffisantes et irrégulières à la fois dans le temps et dans l'espace. Les pluies sont insuffisantes et irrégulières à la fois dans le temps et dans l'espace Les monts de Babor sont les plus arrosés en recevant 700 mm par an, la quantité diminue sensiblement pour

## Chapitre IV : Présentation de la région d'étude

---

atteindre 400 mm en moyenne par an sur les hautes plaines ; par contre la zone Sud –Sud- Est la moins arrosée, les précipitations ne dépassent pas les 300 mm [45].

**Tableau IV.3** : Précipitations mensuelles moyennes enregistrées pendant la période (1991-2021).

|                     | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | Jun | Juil | Aout | Sep | Oct | Nov | Dec |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|
| Précipitations (mm) | 63  | 57  | 63  | 68  | 64  | 25  | 12   | 26   | 50  | 47  | 52  | 56  |

(Source : clima-data)

Juillet est le mois ayant le moins de précipitations, ne totalisant que 12 mm. En revanche, la majorité des précipitations se produisent en avril, avec une moyenne de 68 mm.

### c) Humidité relative

Il s'agit d'un élément essentiel du cycle hydrologique qui régule l'évaporation du sol et l'existence de la couverture végétale, en mesurant le niveau de saturation de l'air en vapeur d'eau.

Les données sur les moyennes mensuelles de l'humidité relative sont répertoriées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau IV.3** : Humidité mensuelles moyennes en (%) durant la période (1991-2021).

|              | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | Jun | Juil | Aout | Sep | Oct | Nov | Dec |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|
| Humidité (%) | 76% | 73% | 66% | 63% | 60% | 51% | 43%  | 46%  | 60% | 65% | 73% | 77% |

(Source : clima-data)

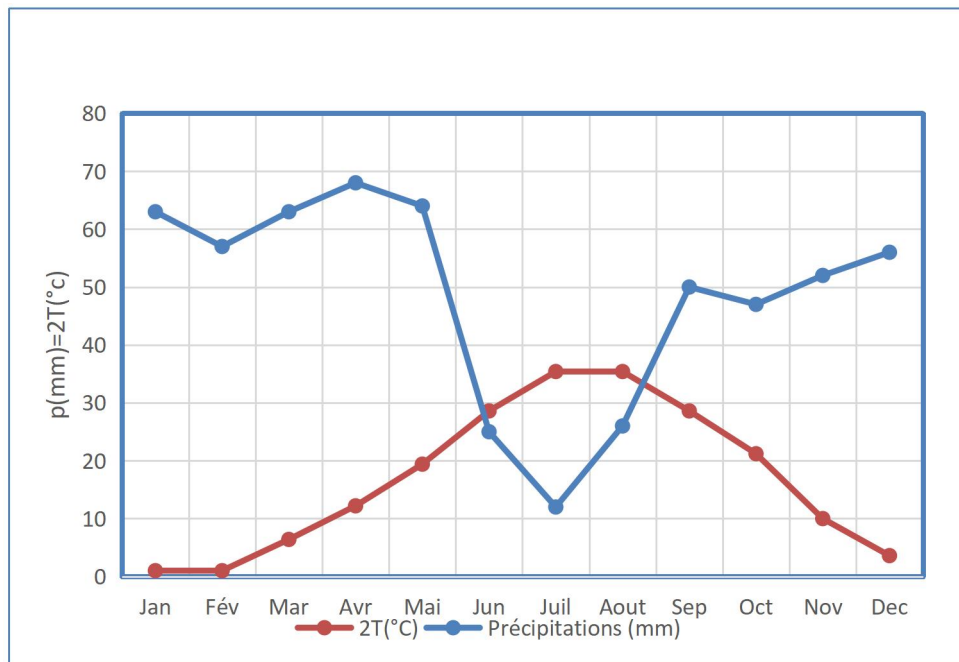
### d) Synthèse bioclimatique

Pour estimer rapidement l'influence des principaux éléments qui forment un milieu climatique, divers systèmes sont proposés. Les plus utilisés en région méditerranéenne sont le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen [46].

#### ❖ Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen :

Selon Bagnouls et Gaussen (1957), on considère qu'un mois est sec lorsque la somme des précipitations, exprimée en millimètres, est égale ou inférieure au double de la température, exprimée en degrés Celsius ( $P \leq 2T$ )

- L'indice xérothermique de Bagnouls et Gausson montre que la période sèche à Sétif s'étend de mi-juin à fin août, avec une forte sécheresse durant les mois de juillet et août (**Figure IV.2**). Les mois situés en dehors de cette période constituent la période humide ( $P > 2T$ ).



**Figure IV.2 :** Diagrammes Ombrothermiques de la région d'étude (1991-2021)

### IV.1.1.3 Le relief

La wilaya de Sétif est appelée capitale des hauts plateaux [47], décomposé de 3 grandes zones:

- **La zone montagneuse**

Cette zone occupe 2.871,61km<sup>2</sup> soit 43,84% de la superficie de la wilaya avec 34 communes [47].

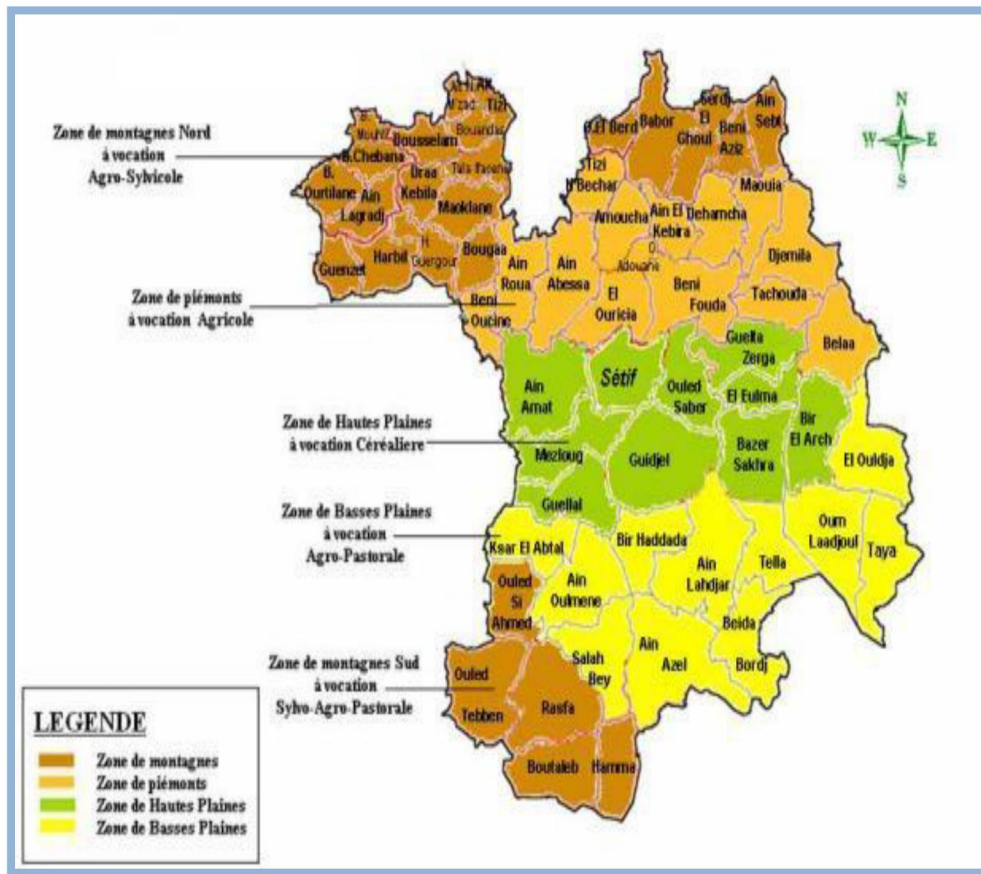
- **Les hautes-Plaines**

Elle occupe la partie centrale de la wilaya dont superficie est de 3.217,19km<sup>2</sup> et occupe 22 communes, L'altitude de cette région varie entre 900 et 1.200m [47]

- **La frange semi-aride**

Située dans le Sud et le Sud Est de la wilaya, où l'altitude dépasse rarement les 900m. Cette zone pratiquement plate couvre une superficie de 10% de l'espace de la wilaya et se caractérise par la présence des 'chotts' ou dépression salées [48].



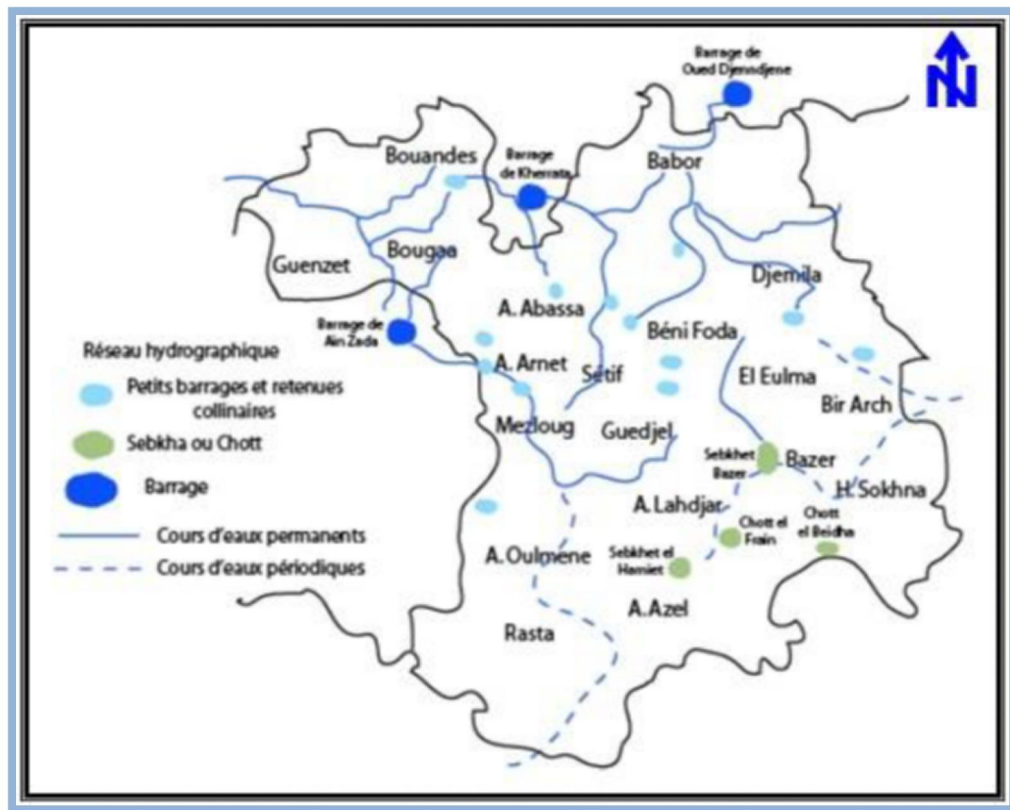


**Figure IV.3:** Carte des grandes zones géographiques de la région de Sétif  
(Source : DSA)

### IV.1.1.4 Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est organisé autour du dispositif montagneux de la région, la moitié Nord envoie ses eaux de surface vers le bassin méditerranéen par les réseaux de l'Oued Bou Sellam qui rejoint la Soummam, de l'Oued Agrioun, de l'Oued el Kebir, bou Selah et de l'Oued Rhumel. Ces réseaux d'Oueds alimentent les barrages et autres retenues collinaires de la région. Le reste possède une hydrographie endoréique centrée sur les Chotts [45].

Figure IV.4 : Réseau hydrographique de la région de Sétif



Source : DHW. 2006

### IV.1.1.5 Ressources hydriques

Les ressources en eau dans la wilaya de Sétif sont peu abondantes et inégalement réparties dans le temps et dans l'espace principalement entre la partie Nord humide d'une part et les Hautes Plaines et le Sud de la wilaya d'autre part [5].

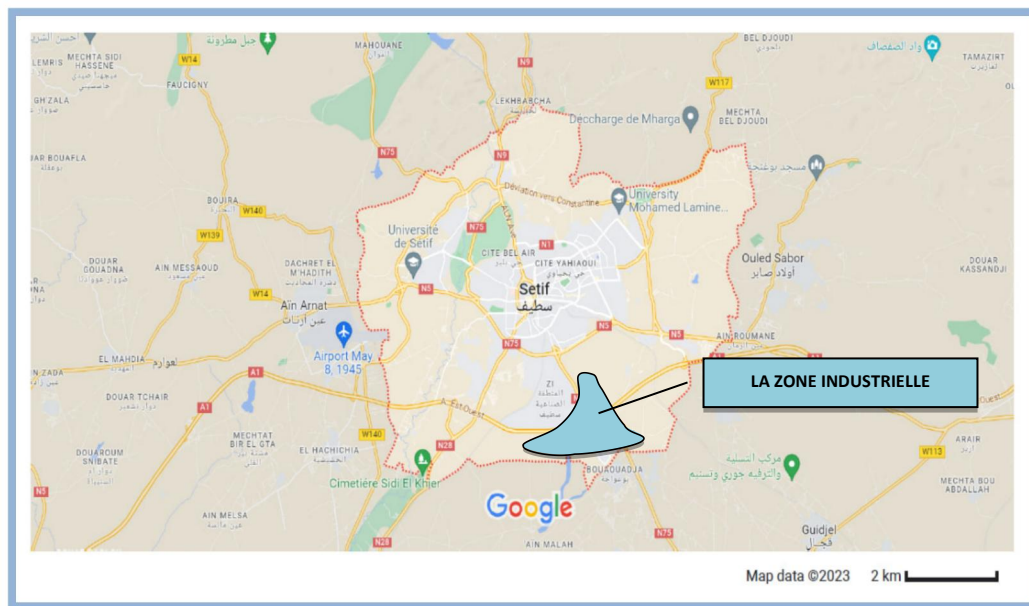
- Ressources en eaux superficielles : Un potentiel apparemment important (615Hm<sup>3</sup> dont 416 Hm<sup>3</sup> mobilisables), mais qui ne bénéficie pas à la wilaya de Sétif (*Voir Annexe 2*).
- Les ressources souterraines : sont faibles. Les ressources mobilisables sont estimées à 150 Hm<sup>3</sup> dont 115 Hm<sup>3</sup> mobilisés à partir de forages, puits et sources (*Voir Annexe 2*).

### IV.1.2 Présentation de la Zone industrielle de Sétif

La zone industrielle de Sétif, située à 02 km au sud de la ville de Sétif, est actuellement l'une des plus importantes zones industrielles en Algérie. Classée dernièrement meilleure zone viabilisée, elle puise son importance dans le nombre et la qualité des entreprises implantées.

La zone industrielle de Sétif est bordée :

- À l'Est par le chemin de wilaya CW N°112 menant vers Batna ;
- À l'Ouest par l'ouest par la voie ferrée du tronçon Constantine –Alger ;
- Au Sud par l'agglomération dite AIN TRIK ;
- Au Nord : rattachée à la zone d'activité ;



**Figure IV.5:** Situation de la zone industrielle par rapport à la ville de Sétif  
(Source : Google earth. e =1/2000)

### IV.1.2.1 Hydrogéologiques

La zone industrielle de SETIF qui est située dans la wilaya de Sétif est incluse dans la zone des hautes plaines telle que la masse principale d'eaux souterraines se trouve sous les alluvions épaisses et dans les dépôts lacustres, dans les zones de Sétif et Ain Oulmène et dans la zone de Bazer, ces deux nappes sont largement exploitées [49].

### IV.1.2.2 Pollution hydrique :

Toutes les eaux usées par la zone industrielle sont déversées dans la principale voie d'eau de l'ensemble, qui est l'Oued Bousellem. Il est important de noter que ce cours d'eau revêt un rôle fondamental en tant que source principale pour le barrage d'Ain Zada.

Ce barrage assure l'approvisionnement en eau potable pour les habitants de la région, ainsi que pour les puits des mosquées situées dans la ville de Sétif et des environs (El Eulma ; Bougaa ; Bourdj Bou Arréridj).

## IV.2 Présentation du Cas d'étude : Unité « WARAK »

En 2015, **Faderco** inaugure à Sétif la première unité de production de pâte à papier, une matière première de la fabrication du papier baptisée « **WARAK** » permet à l'entreprise d'atteindre un taux d'intégration de 100 %. L'usine est un investissement colossal de plus de 70 millions de dollars, offrant plus de 25 000 emplois entre directs et indirects avec capacité de production de plus de 30 000 tonnes de ouate de cellulose par an soit 100 tonnes par jour.

### IV.2.1 Situation géographique

« **WARAK** » est une usine de production de matière première pour papier : de la ouate de papier à partir de pâte de bois. Basée à la zone industrielle dans le Sud de la wilaya de Sétif, qui s'étale sur une Superficie de 55 000 m<sup>2</sup>

La zone d'étude est repérée par les coordonnées géographiques suivantes :

- **X (Latitudes) :** 36.163847
- **Y (Longitudes) :** 5.408970



**Figure IV.6 :** Situation géographique de l'usine  
(Source : Google earth. e =1/100)

### IV.2.2 Fabrication de la pâte à papier dans l'unité de « **WARAK** » :

La composition de la pâte à papier diffère en fonction de ses constituants essentiels :

- Les fibres longues (Soft Wood)
- Les fibres courtes (hard Wood)
- Les déchets (broke)

Après la mise en suspension des fibres, le mélange (fibres-eau) subit généralement des opérations de préparation, notamment :

**Raffinage** : Il consiste à faire passer les fibres entre les lames d'un raffineur à disques. Ce « râpage » des fibres entraîne l'apparition de fibrilles qui favorisent un meilleur accrochage des fibres dans la feuille de papier [50].

**Épuration** : Avant de passer sur la machine à papier, la pâte en suspension est épurée de toutes particules étrangères ou d'agglomérats de fibres. À ce stade, le mélange fibres-eau contient plus de 95% d'eau. Cette eau est essentielle pour l'étape de la formation de la feuille de papier [50].

#### □ **Transformation de la pâte en feuille :**

Cette étape consiste à envoyer la pâte à la machine à papier et à éliminer l'eau de la pâte à papier voir (Annexe 03)

### IV.2.3 L'eau dans l'industrie de production de pâte à papier

Dans l'industrie de production de pâte à papier, l'eau a de nombreuses utilisations, notamment:

- L'alimentation des chaudières et des circuits de refroidissement, ainsi que pour le nettoyage des équipements.
- Dans le processus de fabrication, elle intervient de diverses manières :
  - ✓ Sous forme d'eau blanche clarifiée et chaude pour la dilution des balles HW, SW ou des cassés, ainsi que pour la mise en pâte des cassés.
  - ✓ Elle est également utilisée pour la préparation des produits chimiques utilisés comme additifs et pour le mélange de la pâte.
- De plus, elle est employée pour le lavage des matières premières avant leur transformation en pâte à papier.

### IV.2.4 Les différents types des effluents de l'usine de « WARAK »

Après la préparation de la pâte on obtient des rejets (l'eau et fibre) qui sont stockés dans le cuvier de stock est souvent recyclée dans le procédé mais l'utilisation de produits chimiques tels que des agents augmentent considérablement la toxicité des effluents Cette problématique oblige l'usine WARAK à traiter localement leur effluent.

### IV.2.5 Caractéristiques des effluents de l'unité de « WARAK »

Les résultats détaillés de l'analyse des eaux usées de l'usine WARAK à Sétif sont répertoriés dans le tableau suivant :

**Tableau IV.2** Résultat d'analyse des effluents de l'unité WARAK

| Paramètre       | Unité             | Résultat |
|-----------------|-------------------|----------|
| Débit           | M <sup>3</sup> /j | 480      |
| Température     | C                 | 24       |
| PH              | -                 | 6.81     |
| MES             | Mg/l              | 6611     |
| DCO             | Mg/l              | 600      |
| DBO5            | Mg/l              | 250      |
| Azote globale   | Mg/l              | 11.40    |
| Phosphate total | Mg/l              | 4.52     |

*Source : laboratoire de l'unité WARAK SPA- date : 25-03-2023*

Ces effluents présentent les caractéristiques suivantes :

- Volume important
- Les valeurs moyennes de DCO et DBO5 et MES dépassent les normes de rejet établies par la législation algérienne (*Voir Chapitre 01*). D'où la DCO de ces effluents est presque deux fois supérieure à la DBO5
- Les températures et le pH, ainsi que le phosphate total et l'azote global, respectent les valeurs limites spécifiques des rejets fixées par la législation algérienne



## Chapitre IV : Présentation de la région d'étude

---

### ■ Composition chimique :

- ✓ Composant organique : constituants du bois, acides organique, bicarbonate
- ✓ Composant inorganique : (les substances chimiques ajoutées lors des processus de fabrication des pâtes et papier) : CMC (Carboxy Méthyle Cellulose), NaOH

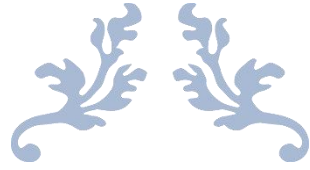
## Conclusion

La zone d'étude, située à Sétif, se caractérise par un climat continental semi-aride, des températures moyennes annuelles de 13,5 °C, et des précipitations moyennes annuelles de 583 mm.

- Nous avons constaté que la wilaya de Sétif présente un profil économique diversifié avec trois zones industrielles et 41 zones d'activités
- Du point de vue hydrogéologique, la zone industrielle de Sétif est située dans les hautes plaines, avec la masse principale des eaux souterraines se trouvant sous des alluvions épaisses et des dépôts lacustres. Cependant, la région d'étude est confrontée à des défis en matière de ressources hydriques, car bien que le potentiel des eaux superficielles soit élevé, il n'est pas pleinement exploité au profit de la wilaya de Sétif.

Il est également essentiel de noter que les rejets d'eaux de la zone industrielle de Sétif dans le milieu récepteur peuvent avoir des conséquences sur la santé publique et perturber les fonctions de l'écosystème naturel.

Enfin, ce chapitre a introduit le cas d'étude « Usine WARAK » en fournissant sa localisation géographique et en détaillant les différentes étapes de la chaîne de fabrication de la pâte à papier, ce qui a permis de bien caractériser la qualité des différents effluents de rejet d'eau, lesquels sont fortement chargés en matières organiques



**CHAPITRE V :**  
**DIMENSIONNEMENT DE**  
**LA STATION**  
**D'EPURATION**



**ENSH 2023**

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

#### Introduction

Un dimensionnement approprié d'une station d'épuration est celui qui permet d'atteindre les objectifs de traitement des eaux usées en vue de leur rejet dans le milieu naturel ou de leur réutilisation.

Dans ce chapitre, nous allons dimensionner les différents ouvrages de traitement de la filière eau et boues pour la future station d'épuration. Telles que :

- Le nombre d'équivalent habitant (EqH)
- Débit total journalier (m<sup>3</sup>/j)
- Débit moyen horaire (m<sup>3</sup>/h)
- Débit de pointe en temps sec et en temps de pluie (m<sup>3</sup>/ j)
- Charge polluantes (DBO5et MES) (Kg/j).

Une station d'épuration comprend en général :

- Un poste de relevage des eaux brute
- Un prétraitement (Dégrillage, Dessablage-Déshuilage)
- Un traitement biologique (bassin d'aération, décanteur secondaire pour la clarification)
- Un traitement des boues (épaississement, déshydratation, lit de séchage, ...)

#### V.1 Résultats des analyses

Les résultats des analyses réalisées en laboratoire sur les eaux usées de l'unité de WARAK à Sétif sont répertoriés dans le tableau suivant :

**Tableau V.1** : Caractéristiques des eaux usées de l'unité WARAK

| Paramètre       | Unité             | Résultat    | Normes   |
|-----------------|-------------------|-------------|----------|
| Débit           | m <sup>3</sup> /j | 480         | 30       |
| Température     | C                 | 24          | 30       |
| PH              | -                 | 6.81        | 6.5 –8.5 |
| MES             | mg/l              | <b>6611</b> | 40       |
| DCO             | mg/l              | <b>600</b>  | 130      |
| DBO5            | mg/l              | <b>250</b>  | 40       |
| Azote globale   | mg/l              | 11.40       | 40       |
| Phosphate total | mg/l              | 4.52        | 40       |

*Source : laboratoire de l'unité WARAK SPA- date : 25-03-2023*



### V.2 Biodégradabilité et la nature de rejet

Le rapport entre DCO et DBO<sub>5</sub>, détermine le choix de la filière de traitement à adopter, il permet d'évaluer la biodégradabilité :

$$\frac{DCO}{DBO_5} = \frac{600}{250} = 2,4$$

La valeur ci-dessus ce qui indique que nous sommes en présence d'une eau usée industrielle chargée en matières organiques de moyennement biodégradable.

### V.3 Calcul de base pour le dimensionnement

#### a) Calcul du débit de rejet industriel

En se basant sur les données du projet, le débit de rejet industriel est :

$$Q_{rej} = 480 \text{ m}^3/\text{j} = 5,56 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

#### b) Evaluation des charges polluantes

- **La charge moyen journalier en DBO<sub>5</sub>**

Elle est donnée par la relation suivante :

$$(DBO_5)_0 = [DBO_5]_0 \times Q_{rej} \dots \dots \dots (V.1)$$

Tel que :

- ✓  $(DBO_5)_0$  : charge moyenne journalière en DBO<sub>5</sub> (kg/j) ;
- ✓  $[DBO_5]_0$  : concentration journalière en DBO<sub>5</sub> (mg/l) ;
- ✓  $Q_{rej}$  : débit de rejet industriel (l/j) ;

- **La charge moyen journalier en DCO**

$$(DCO)_0 = [DCO]_0 \times Q_{rej} \dots \dots \dots (V.2)$$

- ✓  $(DCO)_0$  : charge moyenne journalière en DCO (kg/j) ;
- ✓  $[DCO]_0$  : concentration journalière en DCO (mg/l) ;
- ✓  $Q_{rej}$  : débit de rejet industrielle (l/j) ;

- **La charge moyen journalier en MES**

$$(MES)_0 = [MES]_0 \times Q_{rej} \dots \dots \dots (V.3)$$

- ✓  $(MES)_0$  : charge moyenne journalière en MES (kg/j) ;
- ✓  $[MES]_0$  : concentration journalière en MES (mg/l) ;
- ✓  $Q_{rej}$  : débit de rejet industrielle (l/j) ;

Les résultats de calcul des différentes charges polluantes sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau V.2: Les charges polluantes

| Paramètres             | Les charges journalières (kg/j) |
|------------------------|---------------------------------|
| <i>DBO<sub>5</sub></i> | 120                             |
| <i>DCO</i>             | 288                             |
| <i>MES</i>             | 3173,28                         |

### V.4 Dimensionnement des ouvrages de la station

#### V.4.1 Le prétraitement

##### V.4.1.1 Dégrillage

Pour le calcul de dégrilleur, on opte pour la méthode de KIRSCHMER : [10]

##### ■ La section de la grille

Elle est donnée par l'expression suivante :

$$S = \frac{Q_{rej}}{a \times V_e \times C} \dots \dots \dots (V.3)$$

$$a = \frac{d}{d+e} \dots \dots \dots (V.4)$$

Tel que :

- ✓ **S** : surface de la grille (**m<sup>2</sup>**) ;
- ✓ **a** : Coefficient de passage libre
- ✓ **d** : diamètre des barreaux de la grille (cm);
- ✓ **e**: espacement entre les barreaux(cm);
- ✓ **C** : coefficient de colmatage de la grille (**C=0,25**pour une grille manuelle et 0.5 pour une grille automatique) [19]
- Dans notre cas on prend la grille automatique donc : **C = 0,5**
- ✓ **Ve** : La vitesse de passage à travers la grille doit être suffisante pour obtenir l'application des matières sur la grille sans provoquer une perte de charge importante ni entraîner un colmatage et un dépôt en profondeur des barreaux ou un départ des matières avec l'effluent, les vitesses moyennes de passage admises sont de l'ordre de 0,6 m/s à 1,0 m/s. [19 ;28]
- Donc on prend **Ve=0,8 m/s**.

Tableau V.3 : Espacement et épaisseurs des barreaux. [10]

| Paramètres    | Grilles grossières | Grilles fines |
|---------------|--------------------|---------------|
| <b>d (cm)</b> | 2,00               | 1,00          |
| <b>e (cm)</b> | 5 à 10             | 0,3 à 1       |

##### ■ La largeur de la grille

Elle est donnée par l'expression suivante :

$$L = \frac{S \times \sin(\theta)}{h_{max} \times (1-a) \times C} \dots \dots \dots (V.5)$$

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

Tel que :

- ✓  $\theta$  : angle d'inclinaison de la grille avec l'horizon ( $60^\circ < \theta < 90^\circ$ ). Dans le cas de notre étude on le prend égal à  $60^\circ$  du fait que cet angle donne une meilleure efficacité pour le dégrilleur [19]
- ✓  $h_{\max}$  : hauteur d'eau maximale dans le canal  $0,5 \leq h_{\max} \leq 1,5 \text{ m}$  [19]  
Donc on prend  $h_{\max} = 0,9 \text{ m}$

### ■ Perte de charge

KIRSCHMER a établi une relation entre la perte de charge et le coefficient de forme des barreaux et l'angle de la grille avec horizontale [4].

$$\Delta h = \beta \times \left(\frac{d}{e}\right)^3 \times \sin \theta \times \left(\frac{V^2}{2g}\right) \dots\dots\dots (V.6)$$

- ✓  $\beta$  : coefficient dépendant de la forme des barreaux ; (forme circulaire  $\beta=1,79$ )
- ✓  $g$  : Accélération de pesanteur ( $g=9,81 \text{ m/s}^2$ ) ;

**Tableau IV.4** : les valeurs de  $\beta$  [10]

| 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 |

➤ Les paramètres sélectionnés pour le dimensionnement sont indiqués dans le tableau suivant :

**Tableau V.5** : Base de dimensionnement du dégrilleur

| Paramètre      | Grilles grossières | Grilles fines |
|----------------|--------------------|---------------|
| d (cm)         | 2                  | 1             |
| e (cm)         | 7                  | 0,5           |
| $h_{\max}$ (m) | 0,9                |               |
| C              | 0,5                |               |
| B              | 1,79               |               |
| $V_e$ (m/s)    | 0,8                |               |
| $\theta^\circ$ | 60°                |               |

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

- Les résultats des calculs sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau V.6** : résultats des calculs de dimensionnement du dégrilleur

| Paramètre                    | Unité          | Grilles grossières    | Grilles fines         |
|------------------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|
| Coefficient de passage libre |                | 0,22                  | 0,67                  |
| Surface de la grille         | m <sup>2</sup> | 0,06                  | 0,02                  |
| Largeur de la grille         | m              | 0,15                  | 0,12                  |
| Perte de charge              | m              | $9,52 \times 10^{-3}$ | $1,27 \times 10^{-1}$ |

- On remarque que les résultats du dimensionnement du dégrilleur sont petits, donc nous l'avons changé par un séparateur à tambour.

### V.4.1.2 Séparateur à tambour

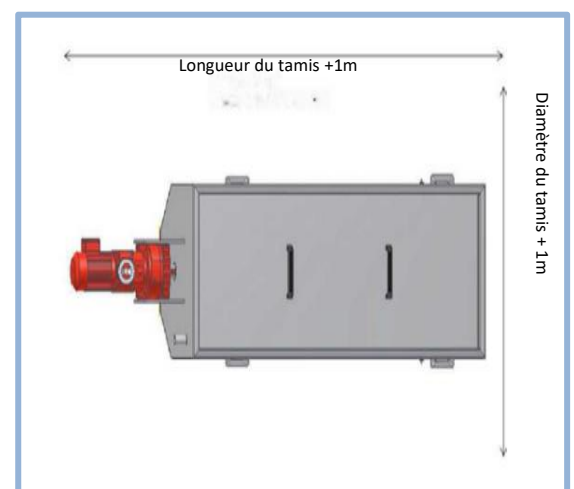
La fonction du séparateur à tambour est de prétraiter des eaux usées et de séparer les matières solides du liquide. Le séparateur à tambour élimine des eaux usées toutes les particules plus larges que les trous du tamis. Cet équipement peut également séparer le sable, la graisse et les longues fibres des eaux usées. [20]

- Placement : L'espace requis par le tamis est : la longueur du tamis + 1 m et le diamètre du tamis + 1m. [20]

#### b) Données Techniques [20]

Tamis à tambour fonctionnant en continu 600/2500

- ✓ Capacité d'alimentation 30 m<sup>3</sup>/h
- ✓ Matériel, cadre SS 304
- ✓ Matériel, tambour SS 304
- ✓ Buse de matériau Laiton
- ✓ Diamètre du tambour 600 mm
- ✓ Longueur du tambour 2500 mm
- ✓ Ouverture du tamis en tambour perforé 2,0 mm
- ✓ Longueur unitaire, env. 3500 mm
- ✓ Raccord d'entrée DN 125, bride lâche
- ✓ Raccordement eau de rejet DN 200, bride lâche
- ✓ Raccord de refoulement blindés DN 200, bride lâche



**Figure V.1** : Placement de Séparateur à tambour

### V.4.2 Le traitement primaire

#### V.4.2.1 Bassin de coagulation

a) Le volume de bassin de coagulation donnée par l'expression suivante :

$$V_{BC} = Q_{rej} \times t_c \dots\dots\dots (V.7)$$

Tel que ;

✓  $t_c$ : le temps de contacte (1 à 2 min) ; on prend  $t_c=2\text{min}$

Par application numérique :

$$V_{BC} = 5,56 \times 10^{-3} \times 2 \times 60 \qquad V_{BC} = 0,67 \text{ m}^3$$

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

b) La surface du bassin de coagulation est :

$$S_{BC} = \frac{V_{bc}}{H} = \frac{0,67}{2} \qquad S_{BC} = 0,33 \text{ m}^2$$

c) La longueur et largeur du bassin de coagulation :

Si on prend :  $L = 2b$

$$b = \sqrt{\frac{S_{BC}}{2}} = \sqrt{\frac{0,33}{2}} \qquad b = 0,41 \text{ m et } L = 1 \text{ m}$$

#### V.4.2.2 Bassin de floculation

a) Le volume de bassin de floculation

$$V_{bf} = Q_{rej} \times t_c$$

✓  $t_c$ : le temps de contacte  $t_c=25 \text{ minutes}$

Par application numérique :

$$V_{bf} = 5,56 \times 10^{-3} \times 25 \times 60 \qquad V_{bf} = 8,33 \text{ m}^3$$

b) Surface du bassin de floculation est :

$$S_{BC} = \frac{V_{bf}}{H} = \frac{8,33}{2} \qquad S_{BC} = 4,17 \text{ m}^2$$

c) La longueur et largeur du bassin de floculation :

Si on prend :  $L = 2b$

$$b = \sqrt{\frac{S_{bf}}{2}} = \sqrt{\frac{4,17}{2}} \qquad b = 1,44 \text{ m et } L = 2,89 \text{ m}$$

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

---

### V.4.2.3 Traitement physique (Bassin de flottation)

Une fois l'agglomération des différentes particules sous forme de floes réalisées, il est nécessaire de les séparer de la phase liquide, il est réalisé par flottation

- Le dimensionnement se fait en prenant en considération des paramètres importants à savoir :
- La vitesse ascensionnelle d'une bulle de gaz dans l'eau est donnée par l'équation de Stokes

$$v = \frac{g}{18\eta} \times (\rho_L - \rho_g) \times d^2 \dots\dots\dots(V.8)$$

Tel que ;

- ✓  $g$  = accélération de la pesanteur,
- ✓  $d$  = diamètre de la bulle : (30  $\mu\text{m}$  à 70  $\mu\text{m}$ )
- ✓  $\rho_g$  = masse volumique du gaz (l'aire)
- ✓  $\rho_L$  = masse volumique du liquide
- ✓  $\eta$  = viscosité dynamique
- Volume minimal de gaz pour assurer la flottation, est donné par la relation suivante :

$$\frac{V_g}{m_p} = \frac{\rho_p - \rho_g}{(\rho_{\text{eau}} - \rho_g)\rho_g} \dots\dots\dots(V.9)$$

Dans laquelle :

- ✓  $V_g$ : Volume minimal du gaz ( $\text{m}^3$ ) ;
- ✓  $m_p$  : Masse de la particule ( $\text{kg}$ ) ;
- ✓  $\rho_p$  : Masse volumique de la particule ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) ;
- ✓  $\rho_g$  : Masse volumique du gaz ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) ;
- ✓  $\rho_{\text{eau}}$  : Masse volumique de l'eau( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) ;

#### ■ La surface horizontale

Est donné par la relation suivante :

$$S_h = \frac{Q_{\text{rej}}}{v_{\text{as}}} = \frac{20}{4} \qquad S_h = 5\text{m}^2$$

- ✓  $v_{\text{as}}$ : la vitesse d'ascension valeur optimale est comprise entre 4 et 6 m/h.  
En prendre  $v_{\text{as}}=4$  m/h
- ✓  $Q_{\text{rej}}$  : débit de rejet industrielle ( $\text{m}^3/\text{h}$ ),  $Q_{\text{rej}} = 20 \text{ m}^3/\text{h}$

#### ■ Les dimensions du bassin (carré) :

$$L = \sqrt{S} \qquad L = 2,24 \text{ m}$$

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

---

- **Le volume de bassin flottation :**

$$V_{bf} = ts \times Q_{rej} = 1 \times 20$$

$$V_{bf} = 20 \text{ m}^3$$

- ✓ **ts** : temps de se jour (1h)

- **La hauteur de bassin**

$$H = \frac{V_{bf}}{S_h}$$

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

### V.4.2.4 Calcul de la charge polluante éliminée par flottation :

La flottation avec la coagulation-floculation permet de réduire de 75 % la demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>) et la demande chimique en oxygène (DCO), ainsi que de 90 % les matières en suspension (MES).

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

$$DBO_5 = 120 \text{ Kg/j}$$

$$DCO = 288 \text{ Kg/j}$$

$$MES = 3173,28 \text{ Kg/j}$$

,

,

,

$$[DBO_5] = 250 \text{ mg/l}$$

$$[DCO] = 600 \text{ mg/l}$$

$$[MES] = 6611 \text{ mg/l}$$

- **Les charges éliminées par le flotteur :**

$$(DBO_5)_{\text{él}} = DBO_5 \times 0,75 = 90 \text{ Kg/j}$$

$$(DCO)_{\text{él}} = DCO \times 0,75 = 216 \text{ Kg/j}$$

$$(MES)_{\text{él}} = MES \times 0,9 = 2855,95 \text{ Kg/j}$$

,

,

,

$$[DBO_5]_{\text{él}} = 187,5 \text{ mg/l}$$

$$[DCO]_{\text{él}} = 450 \text{ mg/l}$$

$$[MES]_{\text{él}} = 5494,9 \text{ mg/l}$$

- **Les charges à la sortie du flotteur :**

$$(DBO_5)_s = 120 - 90 = 30 \text{ Kg/j}$$

$$(DCO)_s = 288 - 216 = 72 \text{ Kg/j}$$

$$(MES)_s = 3173,28 - 2855,95 = 317,33 \text{ Kg/j}$$

,

,

,

$$[DBO_5]_{\text{él}} = 62,5 \text{ mg/l}$$

$$[DCO]_{\text{él}} = 150 \text{ mg/l}$$

$$[MES]_{\text{él}} = 661,1 \text{ mg/l}$$

### V.4.2.5 Conclusion :

Le traitement primaire sera assuré par un flotteur avec les dimensions résumées dans le tableau suivant :

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

Tableau V.7 : les résultats de dimensionnement du traitement physico-chimique

| Désignation                  | Unité          | Résultat |
|------------------------------|----------------|----------|
| <b>Bassin de coagulation</b> |                |          |
| Surface horizontale          | m <sup>2</sup> | 0,5      |
| Volume                       | m <sup>3</sup> | 1        |
| Hauteur                      | M              | 2        |
| La longueur                  | M              | 1        |
| Largeur                      | M              | 0,5      |
| <b>Bassin de floculation</b> |                |          |
| Surface horizontale          | m <sup>2</sup> | 4,5      |
| Volume                       | m <sup>3</sup> | 9        |
| Hauteur                      | m              | 2        |
| La longueur                  | m              | 3        |
| Largeur                      | m              | 1,5      |
| <b>Bassin de flottation</b>  |                |          |
| Surface horizontale          | m <sup>2</sup> | 5        |
| Volume                       | m <sup>3</sup> | 20       |
| Hauteur                      | m              | 4        |
| La longueur                  | m              | 2,5      |

Tableau V.8 : Evaluation des charges des polluants à la sortie du bassin de flottation

| Polluant         | Les charges (Kg/j) | Concentration (mg/l) |
|------------------|--------------------|----------------------|
| <b>Éliminées</b> |                    |                      |
| DBO <sub>5</sub> | 90                 | 187,5                |
| DCO              | 216                | 450                  |
| MES              | 2855,95            | 5494,9               |
| <b>Restante</b>  |                    |                      |
| DBO <sub>5</sub> | 30                 | 62,5                 |
| DCO              | 72                 | 150                  |
| MES              | 317,33             | 661,1                |



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

### V.4.3 Traitement secondaire (biologique)

Les eaux traitées en première étape sont encore polluées et requièrent donc un traitement secondaire. À cet effet, nous allons proposer deux variantes de traitement, l'une étant le traitement par boue activée traditionnelle et l'autre le système MBBR (Bioréacteur à lit fluidisé). Pour cela on fera une étude comparative entre ces deux variantes

#### V.4.3.1 Étude de la variante 1 : Bassin d'aération à boue activé

Le procédé choisi est basé sur le principe des boues activées à **moyenne charge**.

➤ Le traitement à boues activées à moyenne charge est régi par les paramètres suivants :

■ **(Cm)** La charge massique :  $0,25 < Cm < 0,5$  KgDBO<sub>5</sub>/KgMVS.J

■ **(Cv)** La charge volumique :  $0,7 < Cv < 1,5$  KgDBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>.J

Les calculs sera basé sur les valeurs suivante :

$$Cm = 0,3 \text{ KgDBO}_5/\text{KgMVS.J} \quad \text{et} \quad Cv = 1,2 \text{ KgDBO}_5/\text{m}^3 \cdot \text{J}$$

#### a) Le volume du bassin

$$V_{ba} = \frac{L_0}{Cv} \dots\dots\dots(V. 10)$$

✓ **L<sub>0</sub>** : charge polluante à l'entrée du bassin d'aération en KgDBO<sub>5</sub>/ J

Donc :

$$V_{ba} = \frac{30}{1,2} \qquad \qquad \qquad V_{ba} = 25\text{m}^3$$

#### b) Surface horizontale du bassin d'aération

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

$$S_{ba} = \frac{V_{ba}}{H} = \frac{25}{4} \qquad \qquad \qquad S_{ba} \\ = 6,25 \text{ m}^2$$

#### 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).

$$l = \sqrt{\frac{S_{ba}}{2}} = \sqrt{\frac{6,25}{2}} \qquad \qquad \qquad l \\ = 1,77 \text{ m} \qquad \qquad \qquad L = 3,54 \text{ m}$$

#### c) Le temps de séjour

$$t_s = \frac{V_{ba}}{Q_{rej}} \dots\dots\dots(V. 11)$$

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

---

Tel que ;

- ✓  $Q_{rej}$  : débit de rejet industrielle ( $m^3/h$ )

Donc :

$$t_s = \frac{25}{20} \qquad t_s = 1,25 \text{ h}$$

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

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

$$X_a = \frac{L_0}{Cm} \dots\dots\dots(V. 12)$$

$$[X_a] = \frac{X_a}{V_{ba}} \dots\dots\dots(V. 13)$$

Tel que :

- ✓ **Cm**: La charge massique en KgDBO<sub>5</sub>/KgMVS. J
- ✓ **X<sub>a</sub>**: La masse de boue dans le bassin en (Kg)
- ✓ **[X<sub>a</sub>]**: concentration de boues dans le bassin en (Kg/m<sup>3</sup>)

Par application numérique :

$$X_a = \frac{30}{0,3} \qquad X_a = 100 \text{ kg}$$

$$[X_a] = \frac{100}{25} \qquad [X_a] = 4 \text{ Kg/m}^3$$

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

La charge polluante à la sortie est :

$$L_f = S_f \times Q_{rej} = 30 \times 480 \times 10^{-3} \qquad L_f = 16,8 \text{ KgDBO}_5/j$$

Tel que :

- ✓ **S<sub>f</sub>**: Concentration de l'effluent en DBO<sub>5</sub> à la sortie ( $S_f = 30 \text{ mg/l}$ )

Donc :

$$L_{\text{él}} = L_0 - L_f = 30 - 16,8 \qquad L_{\text{él}} = 13,20 \text{ KgDBO}_5/j$$

### f) Besoin en oxygène :

Les besoins théoriques en oxygène journaliers et en temps diurne sont donnés respectivement par les formules suivantes [2]:

$$q_{jo_2} = a' \times L_e + b' \times X_a \dots\dots\dots(V. 14)$$

$$q_{ho_2} = \left( \frac{a' \times L_e}{T_d} \right) + \left( \frac{b' \times X_a}{24} \right) \dots\dots\dots(V. 15)$$

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

- ✓  $q_{jO_2}$  : 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 V.9** : valeurs de  $a_m, b, a',$  et  $b'$  en fonction du procédé d'épuration par boue activée[14]

| Type de traitement    | $a_m$ | $b$  | $a'$ | $b'$  |
|-----------------------|-------|------|------|-------|
| <b>Forte charge</b>   | 0,55  | 1,00 | 0,55 | 0,12  |
| <b>Moyenne charge</b> | 0,6   | 0,07 | 0,6  | 0,08  |
| <b>Faible charge</b>  | 0,65  | 0,05 | 0,65 | 0,065 |

Dans notre cas :  $a_m = 0,6$  ,  $b = 0,07$  ,  $a' = 0,6$  ,  $b' = 0,08$

Dans laquelle :

$$q_{jO_2} = 0,6 \times 13,20 + 0,08 \times 100$$

$$q_{jO_2} = 15,92 \text{ Kg } O_2/j$$

### ■ Besoin théorique horaire en oxygène en temps diurne

$$q_{hO_2} = \left( \frac{0,6 \times 13,20}{16} \right) + \left( \frac{0,08 \times 100}{24} \right)$$

$$q_{hO_2} = 0,82 \text{ Kg } O_2/h$$

### ■ La quantité d'oxygène nécessaire par m<sup>3</sup> du bassin

$$q_{jO_2/m^3} = \frac{q_{jO_2}}{V_{ba}} = \frac{15,92}{25}$$

$$q_{jO_2/m^3} = 0,64 \text{ Kg } O_2/j. m^3$$

### ■ Besoin réel en oxygène

Les besoins en oxygène réelles sont supérieurs aux quantités théoriques, principalement en raison de la perturbation du transfert d'air atmosphérique vers l'eau épurée due à la présence de matières en suspension (MES). Pour ajuster les conditions théoriques aux conditions réelles du milieu à traiter, l'application de coefficients correctifs est nécessaire

$$q_{O_2\text{réel}} = \frac{q_{jO_2}}{\alpha \times \beta} \dots\dots\dots (V. 16)$$

Avec ;

- ✓  $q_{jO_2}$  : besoin théorique en oxygène

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

---

- ✓  $\alpha$  et  $\beta$ : sont des rapports des coefficients de transfert d'eau usé en eau propre  $\alpha=\beta = 0,8$   
[18 ;52] .

$$q_{O_2\text{réel}} = \frac{15,92}{0,8 \times 0,8}$$

$$q_{O_2\text{réel}} = 24,88 \text{ Kg } O_2/j$$

### V.4.3.2 Étude de la variante 2 : Bioréacteur a lit fluidisé (MBBR)

Pour le dimensionnement de bassin MBBR il faut tout d'abord connaître les charges entrantes aussi que la surface spécifique du média et le taux de remplissage de leur support [53] :

#### a) Surface requise de média

$$S_{r.m} = \frac{DBO_5}{SARL} \dots\dots\dots(V. 17)$$

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

D'où :

$$S_{r.m} = \frac{30 \times 1000}{10}$$

$$S_{r.m} = 3000 \text{ m}^2$$

#### b) Volume du média

$$V_m = \frac{S_{r.m}}{S_{s.m}} \dots\dots\dots(V. 18)$$

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 choisir 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 x18 mm)
  - $T_r$ : Le taux de remplissage (15% a 50%)

$$\text{Donc : } V_m = \frac{3000}{1200}$$

$$V_m = 2,5 \text{ m}^3$$

#### c) Volume de bassin

$$V_b = \frac{V_m}{T_r} \dots\dots\dots(V. 19)$$

- ✓  $T_r$ : Le taux de remplissage,  $T_r = 20 \%$

$$V_b = \frac{2,5}{0,2}$$

$$V_b = 12,5 \text{ m}^3$$

#### d) Surface de bassin

$$S_b = \frac{V_b}{H} \dots\dots\dots(V.20)$$

- ✓  $V_b$ : Volume de bassin en  $m^3$
- ✓  $H$ : Hauteur du bassin, généralement entre (1 et 6) m, on prend  $H=3m$

$$S_b = \frac{12,5}{3} \qquad S_b = 4,17 m^2$$

### 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 :

$$l = \left(\frac{4,17}{2}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad l = 1,44 m, L = 2,89m$$

### f) Volume d'eau

$$V_{eau} = V_b - (V_m \times T_r) \dots\dots\dots(V.21)$$

Avec :

- ✓  $V_b$ : Volume de bassin ( $m^3$ )
- ✓  $V_m$ : Volume du média ( $m^3$ )
- ✓  $T_r$ : Le taux de remplissage

$$V_{eau} = 12,5 - (2,5 \times 0,2) \qquad V_{eau} = 12 m^3$$

### g) Temps de rétention

$$T_r = \frac{V_{eau}}{Q_{rej}} \dots\dots\dots(V.22)$$

- ✓  $Q_{rej}$ : débit de rejet industrielle en  $m^3/h$

$$T_r = \frac{12}{20} \qquad T_r = 0,6 h$$

### h) Le temps de séjour hydraulique

$$T_h = \frac{V_b}{Q_{rej}} \dots\dots\dots(V.23)$$

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

$$T_h = \frac{12,5}{20} \qquad T_h = 0,63 h$$

### i) Demande d'oxygène

$$Q_{O_2} = \text{DBO}_5 \text{ journalier} * \text{Kg O}_2 \text{ par Kg DBO}$$

$\text{Kg O}_2$  Consommé par  $\text{Kg DBO}$  en moyenne charge entre 0.6 et 1  $\text{Kg O}_2$  par  $\text{Kg DBO}$  [54]

On prend 0.8  $\text{Kg O}_2 / \text{Kg DBO}$

$$Q_{O_2} = 30 \times 0,8$$

$$Q_{O_2} = 24 \text{ Kg/j}$$

### V.4.3.3 Comparaison entre les variantes

Tableau V.10: le choix entre les deux (2) variantes

|      | Volume<br>(m <sup>3</sup> ) | Temps de séjour<br>(h) | Demande d'oxygène<br>(Kg/j) | Qualité d'eau<br>sortie |
|------|-----------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| BAC  | 25                          | 1, 25                  | 15, 92                      |                         |
| MBBR | 12, 5                       | 0, 63                  | 24                          | +                       |

- Le volume du bassin MBBR sont inférieurs au volume du procédé biologique à boues activée, ce qui conduit à du bassin plus petit et donc un gain d'espace pour l'industrie
  - Le temps de séjours hydraulique de MBBR est moins important que pour le bassin biologique traditionnel
  - Bioréacteur a lit fluidisé nécessite une quantité d'oxygène plus élevée par rapport au procédé biologique par boue activée ce qui augmente l'activité des microorganismes épurateurs et explique la diminution de production des boues.
- Après les résultats obtenus nous avons choisi la variante 2 ; Bioréacteur a lit fluidisé ou MBBR

### IV.4.3.4 Calcul de la charge polluante éliminée par le bassin MBBR

Le bassin MBBR permet d'éliminer 95% de la DBO<sub>5</sub>, 85% de la DCO et 96 % de la MES [53].

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

$$\text{DBO}_5 = 30 \text{ Kg/j}$$

$$\text{DCO} = 72 \text{ kg/j}$$

$$\text{MES} = 317,28 \text{ Kg/j}$$

- Les charges éliminées par le bassin MBBR :

$$(\text{DBO}_5)_{\text{él}} = 0,95 \times 30 = 28,5 \text{ Kg/j}$$

$$(\text{DCO})_{\text{él}} = 0,85 \times 72 = 61,20 \text{ K}$$

$$(\text{MES})_{\text{él}} = 0,96 \times 317,28 = 304,63 \text{ Kg/j}$$

$$[\text{DBO}_5]_{\text{él}} = 59,38 \text{ mg/l}$$

$$[\text{DCO}]_{\text{él}} = 127,5 \text{ mg/l}$$

$$[\text{MES}]_{\text{él}} = 634,66 \text{ mg/l}$$

- Les charges à la sortie du bassin MBBR :

$$(\text{DBO}_5)_s = 1,5 \text{ Kg/j}$$

$$(\text{DCO})_s = 10,8 \text{ Kg/j}$$

$$[\text{DBO}_5]_s = 3,13 \text{ mg/l}$$

$$[\text{DCO}]_s = 22,5 \text{ mg/l}$$

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

$$(MES)_s = 12,69 \text{ Kg/j}$$

$$[MES]_s = 26,4 \text{ mg/l}$$

### V.4.3.5 Conclusion

Le traitement biologique sera assuré par système MBBR avec les dimensions résumées dans le tableau suivant :

**Tableau V.11** : les résultats de dimensionnement du traitement biologique

| Désignation              | Unité  | Résultat |
|--------------------------|--------|----------|
| <b>Bassin MBBR</b>       |        |          |
| Surface requise de média | $m^2$  | 3000     |
| Volume du média          | $m^3$  | 2,5      |
| Volume de bassin         | m      | 12,5     |
| Hauteur du bassin        | m      | 3        |
| Surface de bassin        | m      | 4,5      |
| Longueur de bassin       | m      | 3        |
| Largeur de bassin        | m      | 1,5      |
| Volume d'eau             | $m^3$  | 12       |
| Temps de rétention       | $h$    | 0,6      |
| Temps de séjour          | $h$    | 0,63     |
| Demande d'oxygène        | $Kg/j$ | 24       |

**Tableau V.12** : Evaluation des charges des polluants à la sortie du bassin MBBR

| Polluant         | Les charges (Kg/j) | Concentration (mg/l) |
|------------------|--------------------|----------------------|
| <b>Éliminées</b> |                    |                      |
| DBO <sub>5</sub> | 28,5               | 59,38                |
| DCO              | 61,20              | 127,5                |
| MES              | 304,63             | 634,66               |
| <b>Restante</b>  |                    |                      |
| DBO <sub>5</sub> | 1,5                | 3,13                 |
| DCO              | 10,8               | 22,5                 |
| MES              | 12,69              | 26,4                 |

### Remarque

Il est important de noter que à la sortie du bassin MBBR, une importante quantité de bactéries inactives se forme sous la forme de boue secondaire, Ces bactéries inactives sont des bactéries qui ont perdu leur capacité à dégrader les matières organiques. Par conséquent, il est nécessaire d'ajouter une phase de séparation physique, assurée par un bassin de flottation secondaire

### V.4.3.6 Bassin de flottation

- Le dimensionnement du bassin de flottation secondaire est le même que le flotteur primaire donc :
- ✓ La surface horizontale :  $S_{h2} = 5\text{m}^2$
- ✓ Les dimensions du bassin (carré) :  $L_{b2} = 2,24\text{ m}$
- ✓ Le volume de bassin flottation :  $V_{bf2} = 20\text{ m}^3$
- ✓ La hauteur de bassin :  $H_{bf2} = 4\text{ m}$

### V.4.4 Traitement des boues

Le choix des traitements apportés aux boues repose sur plusieurs facteurs : [55]

- Origine des boues
- Composition des boues
- Surface requise
- Économie de l'installation.

#### V.4.4.1 Quantification des boues :

- **La boue primaire** représente les quantités des DBO<sub>5</sub> et MES éliminées :

$$\begin{aligned}\Delta X_p &= (\text{DBO}_5)_{\text{él}} + (\text{MES})_{\text{él}} \\ \Delta X_p &= 90 + 2855,95 && \Delta X_p \\ &= \mathbf{2954,95\text{ Kg/j}}\end{aligned}$$

- **La quantité totale journalière**

$$\begin{aligned}\Delta X_{\text{tot}} &= \Delta X_p \\ \Delta X_{\text{tot}} &= 2954,95 && \Delta X_{\text{tot}} = \mathbf{2954,95\text{ Kg/j}}\end{aligned}$$

- La concentration de la boue (10 à 30g/l) [58]

#### V.4.4.2 Dimensionnement de l'épaississeur

##### a) Débit journalier des boues entrant dans l'épaississeur

$$Q_{\text{boue}} = \frac{\Delta X_{\text{tot}}}{S}$$

- ✓ **S**: La concentration de la boue (10 à 30g/l) [58]

On prendra  $S = 20\text{ g/l}$

$$Q_{\text{boue}} = \frac{2954,95}{20} \qquad Q_{\text{boue}} = \mathbf{147,75\text{ m}^3/\text{j}}$$

##### b) Le volume de l'épaississeur :

$$V = Q_{\text{boue}} \times t_s$$

- ✓ **t<sub>s</sub>**: Temps d séjour ( $t_s = 2\text{ j}$ )

$$V = 147,75 \times 2 \qquad V = \mathbf{295,49\text{ m}^3}$$



### c) La surface horizontale

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

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

$$S = \frac{295,49}{3} \qquad S = 98,5 \text{ m}^2$$

### d) Le diamètre

$$D = \sqrt{\frac{4 \times S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 98,5}{\pi}} \qquad D = 11,2 \text{ m}$$

### e) La hauteur du cône :

La hauteur du cône de l'épaisseur sera définie par :

$$c = D \times 0,15 \qquad H_{\text{con}} = 1,72\text{m}$$

### f) Volume du cône :

$$V_{\text{cone}} = \frac{S \times H_{\text{con}}}{3} = \frac{103,14 \times 1,72}{3} \qquad V_{\text{cone}} = 59,38 \text{ m}^3$$

### V.4.4.3 Déshydratation avec un filtre presse

#### a) Fonctionnement

Le filtre-presse a été conçu pour la déshydratation des boues. Il se compose d'une série de plateaux pourvus de part et d'autre d'une toile filtrante. L'espace séparant deux plateaux crée ce qu'on appelle une « chambre ». C'est là qu'est injectée la boue. L'eau du filtrat migre à travers les toiles, tandis que la boue reste piégée dans la chambre [58]

Une fois les chambres remplies de cette boue déshydratée, elles sont ouvertes pour l'en retirer ; la boue se présente alors sous la forme d'une galette. Le procédé peut ensuite être répété. Ce procédé de déshydratation se déroule sous pression. La pression est fournie par une pompe, qui injecte la boue dans le filtre-presse. Plus la pression est importante, plus la quantité d'eau évacuée est importante et plus la boue sera asséchée. En général, les boues sont prétraitées. Il est important qu'elles soient suffisamment agglomérées, sous risque de rapidement obstruer les toiles filtrantes [58]

#### b) Performances

Les filtres-presses sont entièrement automatisés, mais le procédé de déshydratation mécanique reste discontinu (succession de phases de déshydratation et de battage). La toile filtrante doit également être nettoyée régulièrement pour éviter tout colmatage de la toile [58]

Ils permettent d'obtenir les siccités les plus élevées : jusqu'à 35% avec un conditionnement minéral (chlorure ferrique + chaux) et environ 25% avec un conditionnement mixte (chlorure ferrique + polyélectrolytes de synthèse). La tenue en tas des boues produites est bonne. Ce type de déshydratation est plutôt adapté aux stations de traitement des eaux usées de taille importante. En effet, ces performances en matière de siccité permettent de réduire les volumes de boues de façon importante en comparaison des autres procédés [58]

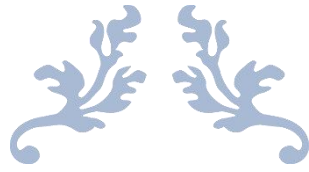
### Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons dimensionné les différents ouvrages de la station d'épuration des eaux usées de l'usine de WARAK

Le procédé biologique choisi pour traiter les eaux résiduaires de cette zone est de type " Bioréacteur a lit fluidisé"

Ce procédé présente de nombreux avantages à savoir :

- ✓ Simple utilisable et efficace pour l'épuration des eaux jusqu'à 95%
- ✓ Il ne nécessite généralement pas d'additif chimique et le média et le biofilm peuvent durer des années sans nécessiter de remplacement



# CHAPITRES VI : CALCUL HYDRAULIQUE



ENSH 2023

## CHAPITRES VI : Calcul hydraulique

### Introduction

Dans ce chapitre, nous allons procéder au calcul (dimensionnement) des ouvrages qui assurent la circulation de l'eau d'un bassin à un autre, pour but d'assurer le flux des ERU de l'entrée de la STEP, entre les différents compartiments et traitements jusqu'à la sortie. Nous déterminerons également les cotes de radier des différents ouvrages afin d'assurer le bon fonctionnement de la station d'un point de vue hydraulique

### VI.1 Conduite de refoulement

#### VI.1.1 Calcul des caractéristiques de la conduite de refoulement

❖ Le diamètre économique est donné par la formule de BONNIN [60] :

$$D_{ec} = \sqrt{Q_{rej}} \dots \dots \dots (VI. 1)$$

✓  $Q_{rej}$ : Débit de rejet,  $Q_{rej} = 5,56 \times 10^{-3} m^3/s$

$$D_{ec} = \sqrt{5,56 \times 10^{-3}} = 74,53 \text{ mm}$$

Donc le diamètre normalisé est :

$$D_{ec} = 100 \text{ mm}$$

❖ La Vitesse d'écoulement est :

$$V = \frac{4 \times Q_{rej}}{\pi \times D^2} \dots \dots \dots (VI. 2)$$

Par application numérique :

$$V = \frac{4 \times 5,56 \times 10^{-3}}{\pi \times 0,1}$$

$$V = 0,71 \text{ m/s}$$

#### VI.1.2 Caractéristiques de la pompe :

❖ La hauteur manométrique de la pompe est calculée par :

$$H = H_g + \sum H_{lin} + \sum H_{sin} + P_{exh} \dots \dots \dots (VI. 3)$$

✓  $H$  : pertes de charge totale dans la conduite sous pression (m) ;

✓  $H_g$  : différence des cotes de plan d'eau entre la bache d'aspiration et Séparateur à tambour (m) ;

✓  $\sum H_{lin} + \sum H_{sin}$  : pertes de charge linéaire et singulière.

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

$$H_g = h_2 - h_1$$

✓  $h_1$  : côte au niveau de la bache de réception

✓  $h_2$  : côte au niveau de l'ouvrage d'entrée (séparateur à tambour).

$$H_g = 1032,5 - 1029,4$$

$$H_g = 3,06 \text{ m}$$

$$\Delta h_{lin} = \frac{k \times L \times Q_{tp}^\beta}{D^m} \dots \dots \dots (VI. 4)$$

## Chapitre VI : Calcul hydraulique

- ✓ **k**: coefficient de perte de charge ;
- ✓ **Q<sub>tp</sub>** : débit totale pompé ;
- ✓ **L** : longueur de la conduite, **L= 8m**
- ✓ **D** : diamètre de la conduite ;
- ✓ **β** : coefficient dépendant le régime d'écoulement ;
- ✓ **m** : coefficient dépendant du type de matériau de la conduite.

**Tableau VI.1** : Les valeurs de K, m et β [61]

| Tuyau          | K                  | m         | β       |
|----------------|--------------------|-----------|---------|
| Acier          | 0,00179 à 0,001735 | 5,1 à 5,3 | 1,9 à 2 |
| Fonte          | 0,00179à 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    |

- Nous avons opté pour **l'acier** comme matériau de notre conduite en raison de ses excellentes propriétés, notamment sa dureté. L'un des avantages majeurs de l'acier réside dans la combinaison de valeurs élevées pour des propriétés mécaniques fondamentales, telles que la résistance aux chocs, la résistance à la déformation permanente, la rigidité et la résistance à la déformation élastique, donc :

$$\mathbf{k = 0,00179 ; m = 5,3 ; \beta = 1,9}$$

Tel que ;

$$\Delta h_{lin} = \frac{0,00179 \times 8 \times (5,56 \times 10^{-3})^{1,9}}{(0,1)^{5,3}} \quad \Delta h_{lin} = \mathbf{0,15m}$$

Généralement :

$$\Delta h_{sin} = \mathbf{0,5} \times \Delta h_{lin} \quad \Delta h_{sin} = \mathbf{0,07 m}$$

$$\mathbf{Donc : \Delta h_{tot} = 0,15 + 0,07} \quad \Delta h_{tot} = \mathbf{0,22 m}$$

Alors :

$$H = 3,06 + 1,5 + 0,22 \quad \mathbf{H = 4,78m}$$

### ❖ Choix de la pompe

Le choix du type de pompe se fait en utilisant le catalogue Caprari (logiciel Caprari). Toutes les spécifications de la pompe ainsi que celles du moteur sont répertoriées dans la fiche technique de la pompe sélectionnée (voir annexe 5)

Nous utilisons deux pompes en parallèle, ainsi qu'une pompe de secours. Les pompes sont du modèle **KSMFH 01161NG-E**

## VI.2 Dimensionnement du poste de relevage

### ❖ Volume de la bache d'aspiration

Calculé par la formule :

$$V = \frac{t_s \times Q_{rej}}{4 \times (N - 1)} \dots\dots\dots(VI.5)$$

- ✓ **t<sub>s</sub>** : L'intervalle entre deux démarrages successifs de la pompe (min) ;
- ✓ **N** : Nombre de pompe

## Chapitre VI : Calcul hydraulique

Si :  $t_s = 20\text{min}$  et  $N = 2$

$$V = \frac{20 \times 60 \times 5,56 \times 10^{-3}}{4 \times (2 - 1)} \quad V = 1,67 \text{ m}^3$$

### ❖ Surface de la bête d'aspiration

Si :  $H = 1,5 \text{ m}$

$$S = \frac{V}{H} = \frac{1,67}{1,5} \quad S = 1,11 \text{ m}^2$$

### ❖ Dimension de la bête

La bête sous forme rectangulaire et  $b=2L$

$$b = \sqrt{\frac{S}{2}} = 0,75 \text{ m} \quad b = 1 \text{ m}$$

$$L = 2 \times b = 1,49 \text{ m} \quad L = 1,5 \text{ m}$$

**Tableau VI.2** Dimensions de la station de relevage

| Élément de la station        | Paramètre            | Unité                 | Valeur                |
|------------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Bête d'aspiration eaux usées | Volume               | $\text{m}^3$          | 1,67                  |
|                              | Surface              | $\text{m}^2$          | 1,11                  |
|                              | Hauteur              | m                     | 1,5                   |
|                              | Largeur              | m                     | 1                     |
|                              | Longueur             | m                     | 1,5                   |
| Refoulement eaux usées       | Diamètre             | mm                    | 100                   |
|                              | Vitesse d'écoulement | m/s                   | 0,71                  |
|                              | Matériau             | /                     | Acier                 |
| La pompe                     | Nombre               | /                     | 2                     |
|                              | HMT                  | m                     | 4,78                  |
|                              | Débit le pompe       | $\text{m}^3/\text{s}$ | $5,56 \times 10^{-3}$ |

## VI.3 Profile hydraulique

Le profil hydraulique implique le calcul des niveaux d'eau à différentes étapes de la chaîne de traitement, ce qui nous renseigne sur la position de la ligne de charge. Par ailleurs, les altitudes moyennes du terrain naturel pour les zones d'implantation des ouvrages sont répertoriées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau VI.2** : cotes moyennes du terrain naturel d'implantation des différents ouvrages de la station.

| Désignation            | Côtes du terrain naturel (m) |
|------------------------|------------------------------|
| Séparateur à tambour   | 1032,5                       |
| Bassin de coagulation  | 1031,3                       |
| Bassin de floculation  | 1031                         |
| Bassin de flottation.1 | 1029,2                       |
| MBBR                   | 1029                         |
| Bassin de flottation.2 | 1029                         |

## VI.3.1 Dimensionnement des conduites reliant les différents ouvrages

Nous avons opté pour le PEHD comme matériau en raison de ses excellentes propriétés, notamment sa dureté, son étanchéité, sa résistance à la corrosion et sa faible rugosité, la formule de Darcy-Weisbach est utilisée pour déterminer l'expression de la perte de charge :

$$\Delta h = \frac{k \times L \times Q^\beta}{D^m} = C_{pA} - C_{pB} \dots \dots \dots (VI. 6)$$

Tel que :

- ✓ **C<sub>pA</sub>** : Côte du plan d'eau au point A ;
- ✓ **C<sub>pB</sub>** : Côte du plan d'eau au point B ;
- ✓ **K** : coefficient de perte de charge ;
- ✓ **Q** : débit en m<sup>3</sup> /s ;
- ✓ **L** : longueur de la conduite ;
- ✓ **β**: coefficient dépendant du régime d'écoulement ;
- ✓ **D** : diamètre de la conduite ;
- ✓ **m** : coefficient dépendant du type de matériau de la conduite;

Avec : **β = 1,77 et m = 4,774 , k = 0,001052**

❖ **Pour calcul de diamètre des conduites :**

La formule (VI. 6) fournit la valeur du diamètre selon l'expression suivante :

$$D = \sqrt[m]{\frac{K \times L \times Q^\beta}{C_{pA} - C_{pB}}}$$

❖ **Longueurs des conduites :**

$$L_{eq} = 1,5 \times L_{réelle} \dots \dots \dots (VI. 7)$$

On néglige les pertes de charge singulières en raison de la proximité des distances. En d'autres termes, nous utilisons des longueurs équivalentes égales aux longueurs réelles

**Tableau VI.3** : longueurs théoriques supposées des conduites entre les ouvrages

| Ouvrages                                       | L théoriques supposées |
|--|------------------------|
| Séparateur à tambour → bassin de coagulation   | 6                      |
| Bassin de coagulation → bassin de floculation  | 5                      |
| Bassin de floculation → bassin de flottation.1 | 5                      |
| Bassin de flotatuin.1 → MBBR                   | 9                      |
| MBBR → bassin de flottation.2                  | 9                      |

❖ **Calculs des cotes piézométriques des différents ouvrages**

D'après l'équation de BERNOULLI, les cotes piézométriques sont :

$$\frac{P_A}{W} + \frac{V_A^2}{2g} + Z_A = \frac{P_B}{W} + \frac{V_B^2}{2g} + Z_B + H_{A-B} \dots \dots \dots (VI. 8)$$

- ✓  $\frac{P_A}{W}$ : énergies de pression dans la section A
- ✓  $\frac{P_B}{W}$ : énergies de pression dans la section B
- ✓  $\frac{V_A^2}{2g}$ : énergies cinétiques en A

## Chapitre VI : Calcul hydraulique

- ✓  $\frac{V_B^2}{2g}$ : énergies cinétiques en B
- ✓  $H_{A-B}$ : Pertes de charge le long du tronçon (A-B)
- ✓  $Z_A$  et  $Z_B$ : Cote du radier des points (A) et (B)

Les énergies cinétiques peuvent être négligées en raison de la très faible variation de vitesse.

Alors :

$$\frac{V_A^2}{2g} = \frac{V_B^2}{2g} = 0$$

On pose :  $\frac{P_A}{W} = H_A$  ,  $\frac{P_B}{W} = H_B$

- ✓ **H** : Hauteur d'eau (m)

L'équation de BERNOULLI est donc :

$$H_A + Z_A = H_B + Z_B + H_{A-B}$$

Avec :

$$H_A + Z_A = Cp_A \text{ et } H_B + Z_B = Cp_B$$

Et :

$$Cp'_B = Cp'_A + \Delta h_{A-B}$$

### VI.3.1.1 Calcul des diamètres des conduites reliant les ouvrages et les côtes piézométriques

Les résultats du calcul sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau VI.4** : Récapitulatif du dimensionnement des conduites reliant entre les ouvrages de la STEP.

| Désignations           | Cote du terrain(m) | Cote du radier(m) | Hauteur d'eau(m) | Cote piézométrique(m) | L (m) | D (mm) | $\Delta H$ (m) |
|------------------------|--------------------|-------------------|------------------|-----------------------|-------|--------|----------------|
| Séparateur à tambour   | 1032,5             | 1032,5            | 0,5              | 1033                  | 6     | 76     | 0,142          |
| Bassin de coagulation  | 1031,3             | 1031,36           | 1,5              | 1032,86               |       |        |                |
| Bassin de floculation  | 1031               | 1031,24           | 1,5              | 1032,74               | 5     | 76     | 0,118          |
| Bassin de flottation.1 | 1029,2             | 1029,62           | 3                | 1032,62               | 5     | 76     | 0,118          |
| MBBR                   | 1029               | 1029,91           | 2,5              | 1032,41               | 9     | 76     | 0,213          |
| Bassin de flottation.2 | 1029               | 1029,20           | 3                | 1032,2                | 9     | 76     | 0,213          |



### Conclusion

Le calcul hydraulique réalisé dans ce chapitre nous a permis de ;

- Détermination les cotes terrains naturels des différents ouvrages dans la station ;
- Déterminer les dimensions (longueur et diamètre) ainsi que les débits des canalisations reliant ces ouvrages ;
- Évaluer les pertes de charge ainsi que les altitudes piézométriques à chaque point
- Dimensionnement de la station de relevage (SR) et de sa conduite de refoulement

Pour garantir le bon fonctionnement hydraulique de la station d'épuration, il est essentiel de mettre en application les chiffres obtenues dans ce chapitre



# CHAPITRES VII : ÉTUDE TECHNICO- ECONOMIQUE



### Chapitre VII : Étude technico-économique

#### Introduction

Après avoir conçu les différentes étapes de traitement des eaux usées, il est nécessaire de préparer un devis estimatif et quantitatif pour évaluer les différents volumes de travaux et les éléments constitutifs de la station.

En outre, pour garantir une exploitation performante, il est essentiel de doter le personnel en charge des formations nécessaires pour accomplir efficacement toutes les missions décrites dans ce chapitre, telles que la surveillance des eaux usées et traitées, ainsi que le réglage des paramètres de fonctionnement de l'épuration

#### VII.1 Estimation du cout total de la réalisation de la station

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

##### VII.1.1 Coût d'investissement

Les frais d'investissement englobent les coûts des équipements et des travaux de génie civil [62].

$$I = E + G \dots\dots\dots (VII. 1)$$

- ✓ **I** : Coût d'investissement
- ✓ **E** : coûts des équipements
- ✓ **G** : coûts des travaux de génie civil

##### VII.1.1.1 coûts des travaux de génie civil

Les structures de la station doivent être planifiées pour résister au poids total de l'ensemble des équipements tout en les protégeant

###### a) Coût de terrassement

$$C_t = V \times P_t \dots\dots\dots (VII. 2)$$

Pour calculer le volume de la couche végétale, nous utiliserons l'expression suivante :

$$V = 0,2 \times S_h$$

Tel que :

- ✓ L'épaisseur de la couche végétale sera évaluée à 20 centimètres
- ✓  $S_h$ : surface horizontale de l'ouvrage considéré( $m^2$ ) ;
- ✓  $P_t$  : Le coût d'un mètre cube de terrassement sera estimé à 310 DA

Ainsi, le coût du terrassement est synthétisé dans le tableau ci-dessous :

**Tableau VII.1** : Le coût de terrassement de chaque ouvrage

| Ouvrages              | Sh (m <sup>2</sup> ) | V(m <sup>3</sup> ) | Prix (DA)      |
|-----------------------|----------------------|--------------------|----------------|
| Séparateur à tambour  | 2,25                 | 0,45               | 139,5          |
| Bassin de coagulation | 0,5                  | 0,1                | 31             |
| Bassin de floculation | 4,5                  | 0,9                | 279            |
| Bassin de flottation  | 5                    | 1                  | 310            |
| MBBR                  | 4,5                  | 0,9                | 279            |
| Bassin de flottation  | 5                    | 1                  | 310            |
| Epaississeur          | 103,14               | 20,628             | 6394,68        |
| Filtre-presse         | 1,75                 | 0,35               | 108,5          |
| <b>Total</b>          | <b>19,5</b>          |                    | <b>7851,68</b> |

Par conséquent, le coût global du terrassement s'élève à : **7851,68 DA**

### b) Estimation du coût des structures en béton

$$C_{ba} = V_{ba} \times P_{ba} \dots \dots \dots (VII. 3)$$

Tel que :

$P_{ba}$ : Le coût du béton revient actuellement,  $P_{ba} = 40000DA$

$V_{ba}$ : le volume total du béton ;

#### ❖ Calcul du volume de béton armé

$$V_{ba} = V_m + V_r \dots \dots \dots (VII. 4)$$

D'ou :

$$V_m = P \times H \times E_m$$

$$V_r = S_h \times E_r$$

Tel que :

- ✓  $V_m$ : volume du mur (m<sup>3</sup>) ;
- ✓  $V_r$ : volume du radier (m<sup>3</sup>) ;
- ✓  $P$ : périmètre de l'ouvrage (m) ;
- ✓  $E_r$ : Épaisseur en radiers de l'ouvrage ;

$E_r = (0,3 \text{ a } 0,4) \text{ m}$

- ✓  $E_m$ : Épaisseur des murs de l'ouvrage ;  $E_m = (0,15 \text{ a } 0,5) \text{ m}$

- ✓  $H$ : Hauteur de l'ouvrage (m)

On prendre :  $E_r = 0,3 \text{ m}$  et  $E_m = 0,2 \text{ m}$

Les calculs sont résumés dans le tableau suivant :

## Chapitre VII : Étude technico-économique

TableauVII.2 : Le coût du béton armé de chaque ouvrage.

| Ouvrages              | Périmètre | V <sub>m</sub> (m <sup>3</sup> ) | V <sub>r</sub> (m <sup>3</sup> ) | V <sub>tb</sub> (m <sup>3</sup> ) | Prix (DA)      |
|-----------------------|-----------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------|
| Séparateur à tambour  | 3         | 1,2                              | 0,15                             | 1,35                              | 54000          |
| Bassin de coagulation | 9         | 3,6                              | 1,35                             | 4,95                              | 198000         |
| Bassin de floculation | 10        | 8                                | 1,5                              | 9,5                               | 380000         |
| Bassin de flottation  | 9         | 5,4                              | 1,35                             | 6,75                              | 270000         |
| MBBR                  | 10        | 8                                | 1,5                              | 9,5                               | 380000         |
| Bassin de flottation  | /         | /                                | 0,675                            | 0,675                             | 27000          |
| Épaississeur          | 6,4       | 3,84                             | 30,942                           | 34,782                            | 1391280        |
| Filtre-presse         | /         | /                                | 0,525                            | 0,525                             | 21000          |
| <b>Total</b>          |           | <b>30,04</b>                     | <b>37,992</b>                    | <b>68,032</b>                     | <b>2721280</b> |

➤ Donc, le coût total du béton armé s'élève à **2 721 280 DA**

❖ Coût total du génie civil est :

$$G = C_{ba} + C_t \dots \dots \dots (VII. 5)$$

Donc :

$$G = 2721280 + 7851,68$$

$$G = 2729131,68DA$$

### c) Coût des équipements

Ces équipements englobent les éléments suivants :

- Équipements électriques.
- Réseaux de canalisations et équipements de vannage.
- Pompes, y compris les pompes d'alimentation, de production, de mise en pression, ainsi que les pompes de recirculation, etc

Les coûts des équipements sont enregistrés dans le tableau suivant :

TableauVII.3 : Coût des équipements

| Equipements                          | Prix (DA) |
|--------------------------------------|-----------|
| Séparateur à tambour                 | 278384,8  |
| Bassin de coagulation et floculation | 406223,28 |
| Bassin de flottation                 | 695962    |
| Filtre presse à bande                | 570549,65 |
| Les supports média                   | 720876    |
| Poste de relevage                    | 831780    |
| Les conduites de raccordement        | 2894300   |
| Le transport et la mise en œuvre     | 3458810   |

## Chapitre VII : Étude technico-économique

---

➤ Par conséquent, le coût total des équipements s'élève à **7 252 015,73 DA**.

Ainsi, l'expression (VII.1) est la suivante :

$$I = 7252015,73 + 2729131,68$$

Donc, le coût total d'investissement s'élève à **9981147,41 DA**

### VII.1.2 Estimation des coûts fonctionnement

Comprend les dépenses associées à l'exploitation et à la maintenance de la station, et ces coûts peuvent inclure les éléments suivants :

❖ **Le coût de main d'œuvre :**

Correspond à 5 % du coût global de l'investissement :

Donc :

$$C_{mo} = 0,05 \times 9981147,41$$

$$C_{mo} = 499067,37DA$$

❖ **Coûts de maintenance des équipements :**

Il est estimé à 10 % du coût d'investissement total

$$C_{rm} = 998114,74DA$$

❖ **Le coût des frais financiers :**

Il est estimé à 5% du coût global l'investissement :

$$C_{ff} = 499067,37DA$$

❖ **Le coût de fonctionnement total :**

$$C_{ft} = C_{ff} + C_{rm} + C_{mo}$$

Donc, Le coût de fonctionnement total s'élève à **1996229,48 DA**

❖ **Le coût estimatif du projet est :**

$$C_P = C_{ft} + I = 1996229,48 + 9981147,41$$

➤ Cela signifie que le coût global du projet est de **11977376,89 DA**

### VII.2 Gestion et exploitation :

Pour maintenir la performance attendue des différentes unités de traitement des eaux et garantir un fonctionnement efficace, il est nécessaire de suivre des méthodes appropriées. Cela implique l'utilisation de technologies économiques et techniquement viables, ainsi qu'une gestion rationnelle.

#### VII.2.1 Mesure et surveillance du niveau de la station :

Dans le contexte de l'exploitation et de la gestion de la station, diverses mesures et vérifications sont requises, comme indiqué dans le tableau suivant :

**Tableau VII.4:** Plan des analyses et des paramètres à mesurer

|                 | Paramètre        | Avant d'entre Séparateur à tambour | Sortie Séparateur à tambour | Sortie bassin de flottation | Sortie bassin MBBR | Sortie bassin de flottation |
|-----------------|------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|
| Tous les jours  | Couleur          |                                    |                             |                             | +                  |                             |
|                 | Odeur            |                                    |                             |                             | +                  |                             |
|                 | Oxygène          |                                    |                             |                             | +                  |                             |
|                 | Ph               | +                                  |                             |                             | +                  | +                           |
|                 | DCO              | +                                  |                             |                             |                    | +                           |
|                 | Température      | +                                  |                             |                             |                    |                             |
|                 | MES              | +                                  | +                           | +                           | +                  | +                           |
|                 | Débit            | +                                  |                             |                             |                    | +                           |
| Chaque semaine  | DBO              | +                                  |                             |                             |                    | +                           |
| Chaque 15 jours | Phosphore totale | +                                  |                             |                             |                    | +                           |
|                 | Nutriments       | +                                  |                             |                             |                    | +                           |

### VII.2.2 Contrôle de fonctionnement

Pour garantir en permanence une épuration des effluents conforme, cela implique les éléments suivants :

- Maintenir la propreté et effectuer le nettoyage de l'ensemble de la station.
- La surveillance régulière de facteurs de fonctionnement tels que la vitesse d'agitation, le volume d'air injecté, la pression, la température, le pH, la concentration en oxygène dissous et la charge polluante tous les cinq ans pour prévenir la corrosion.
- Assurer la lubrification et le graissage de tous les équipements mécaniques et électromécaniques
- Réaliser des inspections régulières sur les ouvrages en béton afin de détecter d'éventuelles fissures.
- Appliquer une peinture de protection sur les ouvrages métalliques environ

Elle doit s'exercer à plusieurs niveaux :

#### VII.2.2.1 Contrôle journalier

L'installation est gérée automatiquement par système de contrôle automatisé (PLC : Programmable Logic Controller). Cependant, des inspections physiques sur le terrain sont nécessaires pour vérifier fonctionnement réel de chaque équipement spécifique, notamment :

- Vérification de la quantité de réactifs
- Contrôle de la qualité de l'eau de sortie : il doit être incolore, limpide et presque cristallin.

## Chapitre VII : Étude technico-économique

---

L'opalescence ou la turbidité indiquent un défaut au cours de l'étape biologique qui doit être résolu immédiatement.

- Effectuer un contrôle des pompes à injection d'air.
- Effectuer un contrôle visuel pour détecter la présence de bulles d'air dans le MBBR
- L'odeur et Le couleur de boue (une Bonne boue a une couleur foncée et presque pas odeur)
- Contrôle d'oxygène : Si l'odeur devient forte et désagréable, et la couleur de boue grise, cela signifie que la fermentation a tendance à devenir anaérobie

### VII.2.2.2 Contrôles périodiques

L'objectif principal de ces vérifications est de dériver des solutions fiables des résultats préalablement obtenus et de fournir au maître d'ouvrage les conseils essentiels pour une exploitation efficace, y compris toutes les améliorations ou corrections nécessaires. Les enquêtes additionnelles recommandées à entreprendre lors de ces visites comprennent :

- Vérification et nettoyage de l'étalonnage de l'électrode pH remplacer l'électrode
- Vérification et nettoyage du calibrage du capteur de niveau du réservoir.

### VII.2.3 Entretien des ouvrages

#### VII.2.3.1 Séparateur à tambour [63]

- Faites fonctionner l'équipement pendant environ une heure. Pendant cette période, surveillez attentivement son fonctionnement. L'opération doit être silencieuse et sans aucune vibration.
- Vérifiez et ajustez le fonctionnement des soupapes de lavage.
- Assurez-vous que le tambour tourne dans le sens des aiguilles d'une montre, tel qu'indiqué par la flèche.
- Ouvrez la vanne d'eau pour permettre le flux, en vous assurant qu'elle était précédemment fermée.
- Contrôlez la propreté des buses et nettoyez-les si nécessaire.

#### VII.2.3.2 Flotteur

Les filtrats ont la propension à générer des dépôts et/ou de la boue sur toute surface libre. Un entretien régulier de l'équipement est essentiel pour maintenir la stabilité du processus de fonctionnement. Voici quelques points à considérer :

- Il est également nécessaire de vérifier la quantité et la pression de l'eau de dispersion
- Il faut vérifier la dilution des produits chimiques dans le processus et s'assurer du dosage correct.
- Il est important de surveiller la tension du racle des boues inférieures ainsi que les chaînes du convoyeur.



### VII.2.3.3 Bioréacteur à lit fluidisé

- Assurez-vous de suivre le calendrier des contrôles et d'intervenir pour garantir le bon fonctionnement de tous les équipements.
- Enregistrez les paramètres de fonctionnement, notamment le débit et le taux d'oxygène. Les valeurs de la charge en DBO, DCO, et MES des effluents entrants.
- Effectuez la mesure de la biomasse accumulée sur les supports.
- Vérifiez le fonctionnement des équipements mécaniques tels que les pompes et les moteurs, et effectuez l'entretien nécessaire.
- En ce qui concerne le système d'aération, documentez les contre-pressions et effectuez un mélange inversé à l'intérieur des bioréacteurs pendant quelques heures.

### VII.2.3.4 Épaississeur

- Assurer quotidiennement la propreté du site.
- Programmation de la vidange tous les 5 ans des ouvrages pour inspecter les structures immergées.
- Effectuer des mesures quotidiennes de la hauteur du voile de boue, en veillant à ce que le garde-boue ne descende pas en dessous de 2 mètres.
- Noter les volumes de boues prélevées des épaisseurs.
- Surveiller et enregistrer le pH des eaux rejetée et des boues épaissies chaque jour.

### VII.2.3.5 presses à bande

Pour l'entretien de la presse à bande, il est nécessaire de réaliser les actions suivantes [64] :

- Contrôler le niveau d'huile dans les moteurs à engrenages et les unités d'entraînement.
- Vérifier l'intégrité des joints d'arbre.
- Inspecter les tuyaux de lavage et les buses.
- Examiner l'état des vannes de régulation.
- Vérifier l'état des roues dentées.
- Contrôler le bon fonctionnement des interrupteurs d'arrêt d'urgence.
- S'assurer du niveau d'huile dans l'unité d'entraînement des vis sans fin.
- Examiner l'état du joint d'arbre des vis sans fin.
- Effectuer des vérifications en ligne, y compris le nettoyage, le calibrage et l'entretien, si nécessaire.

## Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons abordé l'étude technico-économique de la station d'épuration, avec les points suivants :

- L'estimation quantitative et qualitative réalisée nous a permis d'obtenir une estimation du coût du projet de conception d'une unité de traitement des eaux usées industrielles pour l'usine WARAK, située dans la wilaya de Sétif. Ce coût a

été évalué à **11977376,98 DA (one million neuf cent soixante-dix-sept mille trois cent soixante-seize dinars et quatre-vingt-dix-huit santeems)**

- Nous avons également discuté de l'exploitation et l'utilisation de la station d'épuration en mettant particulièrement l'accent sur l'entretien de ses ouvrages pour assurer un fonctionnement efficace.

## CONCLUSION GÉNÉRALE

À l'issue de ce travail, il est à noter que la conception d'une station d'épuration des eaux usées d'une unité de production de pâte à papier est une perspective prometteuse pour préserver l'équilibre écologique et réduire le taux de pollution. Les eaux usées produites par cette industrie sont bonne biodégradables, ce qui permet d'obtenir une eau de haute qualité réutilisable dans cette unité. Notre choix s'est porté sur une unité de traitement avec un bioréacteur à lit fluidisé après une étude technique, malgré la variante de traitement par boues activées.

Nous avons effectué une comparaison entre les résultats obtenus lors du dimensionnement des MBBR (12,5m<sup>3</sup>) et ceux d'un bassin de traitement biologique à boues activées (23 m<sup>3</sup>). Il est à noter que l'installation d'un MBBR présente l'avantage d'occuper considérablement moins d'espace que le bassin biologique à boues activées. De plus, le temps de séjour hydraulique dans le MBBR est beaucoup plus court, soit 0,63 heure, par rapport au bassin biologique à boues activées, qui nécessite 1,25 heure

Nous avons constaté que l'installation d'un MBBR permet d'avoir bons résultats pour les paramètres chimiques comme DBO5 et DCO les résultats enregistrés dans les eaux qui est arrivée à la station est égale à 250 mg/l et 600 mg/l et après le traitement on remarque une diminution de taux égale à 3,13mg/l et 22,5mg/l et qui sont inférieurs aux normes Algérienne. De même, en ce qui concerne les matières en suspension (MES), les résultats montrent que la concentration dans les eaux arrivant à la station est de 6611 mg/l, mais après le traitement, on observe une réduction de cette concentration à 26,4 mg/l

Le coût estimé de ce projet s'élève à environ douze million dinars algériens (1 2000 000DA). Mais aujourd'hui, il ne suffit pas de construire des stations d'épuration mais il faut savoir comment les gérer. La gestion appropriée de ces installations est tout aussi cruciale, car une station d'épuration ne peut perdurer sans une gestion adéquate. En effet, les performances épuratoires dépendent en grande partie d'un entretien efficace des ouvrages de la station et d'un suivi quotidien des équipements, ainsi que du contrôle régulier des paramètres indiquant la qualité de l'eau à traiter

# BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] Drouiche, Nadjib. Water Policy In Algeria, <https://www.idaea.csic.es/medspring/article/water-policy-algeria-dr-nadjib-drouiche>.
- [2] Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2017 Les eaux usées une ressource inexploitée », 2018. <https://unesdoc.unesco.org> (consulté le juin 13, 2020).
- [3] J.RODIER. L'analyse de l'eau naturelle, eaux résiduaires, eaux de mer, 8e éd. Paris:DUNOD technique. 2005.
- [4] Gadri, H. : Effet de Coagulation à base de fer sur l'épuration par coagulation-Floculation des eaux usées provenant de rejet de la wilaya de Biskra .Mémoire pour l'obtention du diplôme Master en hydraulique.Université Mohamed Khider –Biskra. 2019.
- [5] Rejesk, F. Analyse des eaux ; Aspects Réglementaires et techniques.Sceren. Édition CRDP, Aquitaine .Paris ,360p. 2002.
- [6] Luc, J et Lagardette, M. L'eau potable et l'assainissement, Ed.Johanet, Paris .PP 155. 2004.
- [7] Sadik, ZM. Étude de faisabilité d'une STEP par filtre planté de roseaux des eaux usées et l'agglomération secondaire de béni Ghazli-commune d'oued Lakhdar. Mémoire pour l'obtention Master en hydraulique .Université Abou Bekr Belkaid –Tlemcen. 2017.
- [8] MIZI, A. Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps gras région de BEJAIA et valorisation des déchets oléicoles ; Thèse de doctorat ; Université de Badji Mokhtar Annaba. 2006.
- [9] Baumont, S, et al. Réutilisation des eaux usées,Risque sanitaires et faisabilité en Ile –De –France .Rapport ORS ,220 p. 2004.
- [10] GAID, A. Epuration biologique des eaux usées urbaines Tome 1. Alger : OPU,1984. 261 p. Office des publications universitaires.
- [11] Boeglin , J C. Analyse des eaux résiduaires, Pollution industrielle de l'eau caractérisation, classification, mesure, technique de l'ingénieur, traite du génie industriel ; p1210-1. 1997.
- [12] AKROUR, Z et AOUIDAD, S. Etude des paramètres et des procédés d'un système d'épuration en vue de la réalisation d'une STEP cas de sous–

- bassin versant MECHTRAS.MFE, Université de Tizi.Ouzou Promotion . 2005-2006.
- [13] YVES, P et DANIEL, B. le lagunage écologique ; Edition ECONOMICA. 1994.
- [14] GAÏD, A. Épuration biologique des eaux usées urbaines, tome 2, office de publication universitaire, Alger. 1984 .
- [15] «Les différents paramètres physiques et chimiques des eaux et commentaires.\* -CPEPESC - Commission de Protection des Eaux », CPEPESC, 2017. <https://www.cpepesc.org/Les-principaux-parametres.html> (consulté le juin 14,2020)
- [16] Méthode de calcul d'une filière de traitement : boue activées –Très faible charge, nitrification et dénitrification, Traitement du phosphore. France : SHU, ENGEES, 2002. 103 p. SADOWSKI, AG.
- [17] L'eau : Usages et polluants. Paris : INRA, 1999. 210 p. Un point sur. ISBN 9-7827-3800- 8640. GROSCLAUD, G.
- [18] W. Gestion des eaux usées urbaines et industrielles. Paris : Lavoisier, 1982. 503 p. Technique et documentation. ISBN 2-85206-129-5. ECHENFELDER, W.
- [19] Guide technique de l'assainissement. Paris : Moniteur, 1999. 724 p. Référence technique. ISBN 978-2-281-11239-9. SATIN, M. SELMI, B & REGIS, B.
- [20] Faderco\_Formation\_Clarification-Deshydratation\_07\_2015 .
- [21] Eléments de comparaison technique et économique des filières d'épuration adaptées aux petites collectivités. France : IRSTEA ,2010. pp 47-55. BOUTIN, C.
- [22] Traitement physicochimique de la pollution insoluble. Technique de l'ingénieur.Volume G1270.
- [23] 2010. New Hybrid Process : Hydrocyclone, Coagulation, Flocculation and Flotation for water treatment process, Thèse, Université de Toulouse, 207 p. V., SIANGSANUN.
- [24] 2010. A new experimental method for determining particle capture efficiency in flotation, Chemical Engineering Science 66, pp. 982-997. HUANG Z., LEGENDRE D., GUIRAUD P.
- [25] Optimisation du fonctionnement de la station d'épuration des eaux usées de Marrakech, Mémoire Université MARAKECH. Bakkal fatima Zahra, Bennani Oumaima,.

- [26] (1998), Traitement des boues résiduaires 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. Bongiovanni, J.-M.
- [27] Mémento technique de l'eau. Paris : Lavoisier, 2005. Techniques et documentation. ISBN 9782743007171. DEGREMONT, S.
- [28] Station d'épuration : eaux potables-eaux usées, précis théorique et technologique. Paris : Lavoisier, 1981. 435 p. Techniques et documentation. ISBN 978-2- 85206-114-9. THOMAZEAU, R.
- [29] Étude de différentes approches visant la réduction des Polluants de rejets d'eaux usées d'une industrie Agroalimentaire, Université de Montréal, 2016. taktak, Ghofrane.
- [30] 1998 : « la réutilisation des eaux usées : un enjeu de l'an 2000 » ; « l'eau l'industrie, les nuisances », n°212, pp.39-46. al, Lazarova et.
- [31] (2009). Technologies d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées (REUT). Rapport final. ONEMA et Cemagref, 100p. . BOUTIN, C., HEDUIT, A., HELMER, J.M.
- [32] 2006 , Etude comparative de l'efficacité des traitements. Vandermeersch, Sophie.
- [33] «Dimensionnement de la station d'épuration de la ville de Tazmalt, wilaya de Bejaia», Mémoire de fin d'études, Master Hydraulique, Université de Bejaia, 2015. K.Belmiloud, A.Bealrbia et.
- [34] <http://www.gisbiostep.cemagref.fr/>.
- [35] GRONDIN, P. Eau et développement durable : Témoignages de la société civile. Paris : GRET ,1998.112 p. Groupe de recherche et d'échange technologique. ISBN : 2-86844-090-8.
- [36] V., Lazarova. (1998)., Rôle de la réutilisation des eaux usées pour la gestion intégrée des ressources.L'Eau, l'Industrie, les Nuisances, n° 227, p. 147 – 157.
- [37] ASANO, T. Waste water reclamation and reuse: Water quality management library. Les États-Unis : CRC Press Inc, 1998. 1528 p. ISBN: 9781566766203.
- [38] RAMADE, F. Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Paris : Ediscience, 2000. 660p. ISBN : 9782840741657.
- [39] ROTBARD, A. Réutilisation des eaux usées traitées : Perspectives opérationnelles et recommandations pour l'action. France : AFD, 2011. 85 p.

- [40] N, Condom. 2012. Réutilisation des eaux usées au Maroc. Murcie, Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, 20 p. [Diffusé le 21-23/02/2013].
- [41] HANNACHI, A., GHARZOULI, R., DJELLOULI, TY. Gestion et valorisation des eaux usées en Algérie. Septembre, 2014, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°19, pp 51-62.
- [42] JO, Journal officiel de la République Algérienne N°60. 2005. Algérie, pp 3-18.
- [43] Hugues GODART, Eau de distribution, clarification. Techniques de l'ingénieur 2008.
- [44] Ecosse D. Techniques alternatives en vue de subvenir à la pénurie d'eau dans le monde. Mém. D.E.S.S. « Qualité et Gestion de l'Eau », Fac. Sciences, Amiens, 2001, 62 pages.
- [45] Samir, DJEMMAL. Étude des sources thermominérales de la région de Sétif dans leur contexte structural, (Est Algérien) . s.l. : These de Doctorat Sciences Filière géologie - option hydrogéologie , 2018.
- [46] (2009), Laala A. Comportement des semis de Pin d'Alep sous contraintes thermiques. Mem. Mag. Uni. Mentouri Constantine. P34.
- [47] Kh., Zerroug. Elaboration d'un système d'information géographique (flore) dans la Wilaya de Sétif. Mem. Mag. Uni. Ferhat Abbas. Sétif. P 18-25. (2012).
- [48] C.E., Mouffok. Diversité des systèmes d'élevage bovin laitier et performances animales en région semi aride de Sétif. Mém. Mag. INR. Alger.107p. (1997).
- [49] Bentouati, Latifa. Etude de la pollution des eaux souterraines de la région de Sétif et d'Oued Bousselam par les rejets industriels et urbains; mmoire de Magister (Ecole doctorale) en Ecologie et Environnement. s.l. : UNIVERSITE BADIJIMOKHTAR, 2011.
- [50] Base de données Copyright ©CERIGG/EFPG1996-2000 chapitre 2 cerig.efpg.inpg.fr.
- [51] DUCHENE, PHILIPPE. Les systèmes de traitement de boues des stations d'épuration des petites collectivités ; documentation technique FNDAE N°9. .
- [52] BECHAC, P. BOUTIN, P., MERCIER, B et NUER, P. Traitement des eaux usées. Paris : Eyrolles, 1987. 262 pages.
- [53] CANLER Jean-Pierre et PRRET Jean-Marc, 2012.
- [54] <http://uved-ensil.unilim.fr/co/dimensionnement.html>.

- [55] Nadjim, ROUABAH. , Conception de la station d'épuration de la ville de khemis miliana, ENSH, promotion Juillet 2008.
- [56] Y.GERVAISE, P.BLANFUNE. Qualité de l'eau, environnement. AFNOR 1994 ,861p.
- [57] JO. Journal officiel de la République Algérienne N° 41. 2012. Algérie, 4 pages.
- [58] Koller, EMILIAM. , Traitement des pollutions industrielles, édition DUNOD, 2005.
- [59] Julian Tosoni. Compréhension des facteurs de contrôle des performances de la déshydratation mécanique des boues résiduelles en filtre-pressé. Thèse de Doctorat, Université Blaise Pascal- Clairmont II, 2016.
- [60] Margot, J., Magnet, A., Thonney, D., Chèvre, N., de Alencastro, F., Rossi, L. 2011. Traitement des micropolluants dans les eaux usées – Rapport final sur les essais pilotes à la STEP de Vidy (Lausanne). Ed. Ville de Lausanne.
- [61] dimensionnement mécanique de tuyaux, Rapport du Centre d'Études et de Recherches de l'Industrie du Béton 2017.
- [62] Alain Maurel, osmose inverse et ultrafiltration, II technologie et applications, Techniques de l'ingénieur Imprimerie Strasbourgeoise, 1996. Paris
- [63] site web: <http://www.directindustry.fr>.
- [64] site web : <http://www.flottweg.com>



# ANNEXE

# ANNEXE 1

## COMPARAISON DE L'AVANTAGE ENTRE UNE DÉSINFECTION AU CHLORE, OZONE, LAGUNAGE ET PAR LES UV.

Tableau comparatif des principaux modes de désinfection des eaux usées(1)

|   | CHLORATION         | CHLORATION<br>DECHLORATION | OZONATION        | RAYONNEMENT<br>ULTRAVIOLET                             | LAGUNAGE            |
|---|--------------------|----------------------------|------------------|--|---------------------|
| Inactivation bactérienne                    | bonne              | bonne                      | bonne            | bonne  | bonne               |
| Inactivation virale                         | faible             | faible                     | bonne            | bonne  | faible              |
| Réactivation possible                       | oui                | oui                        | non              | oui  | non                 |
| Toxicité pour la vie aquatique              | élevée             | faible                     | faible           | non  | non                 |
| Formation de produits secondaires nuisibles | oui                | oui                        | faible           | non  | non                 |
| Corrosif                                    | oui                | oui                        | oui              | non  | non                 |
| Risque pour la sécurité publique            | oui                | oui                        | non              | non  | non                 |
| Risque pour le personnel exploitant         | élevé              | élevé                      | modéré           | faible   | non                 |
| Transport requis                            | modéré             | important                  | non              | non  | non                 |
| Complexité de la technologie                | modéré             | modérée                    | élevée           | faible   | non                 |
| Facilité de contrôle du procédé             | bien connue        | bien connue                | en développement | en développement                                       | impossible          |
| Fiabilité des équipements                   | bonne              | bonne                      | passable         | bonne  | pas d'équipement    |
| Applicable à quelles stations d'épuration   | toutes les tailles | toutes les tailles         | grosses stations | petites et moyennes (de plus en plus pour les grosses) | petites et moyennes |
| Niveau de prétraitement requis              | aucun(2)           | aucun(2)                   | secondaire       | secondaires (projets en cours pour primaires)          | aucun               |
| Entretien requis                            | minime             | minime                     | élevé            | variable   | aucun               |
| Coûts totaux                                | faibles            | modérés                    | élevés           | modérés  | aucun ou faibles    |

(1): Adaptation d'un tableau tiré de RUDD, T. et L.M. HOPKINDON (1989).

(2): Le risque de toxicité et la formation de produits secondaires nuisibles augmentent toutefois avec la contamination de l'eau usée.

## ANNEXE 2

Estimation des ressources en eaux superficielles et souterraines de la wilaya de Sétif

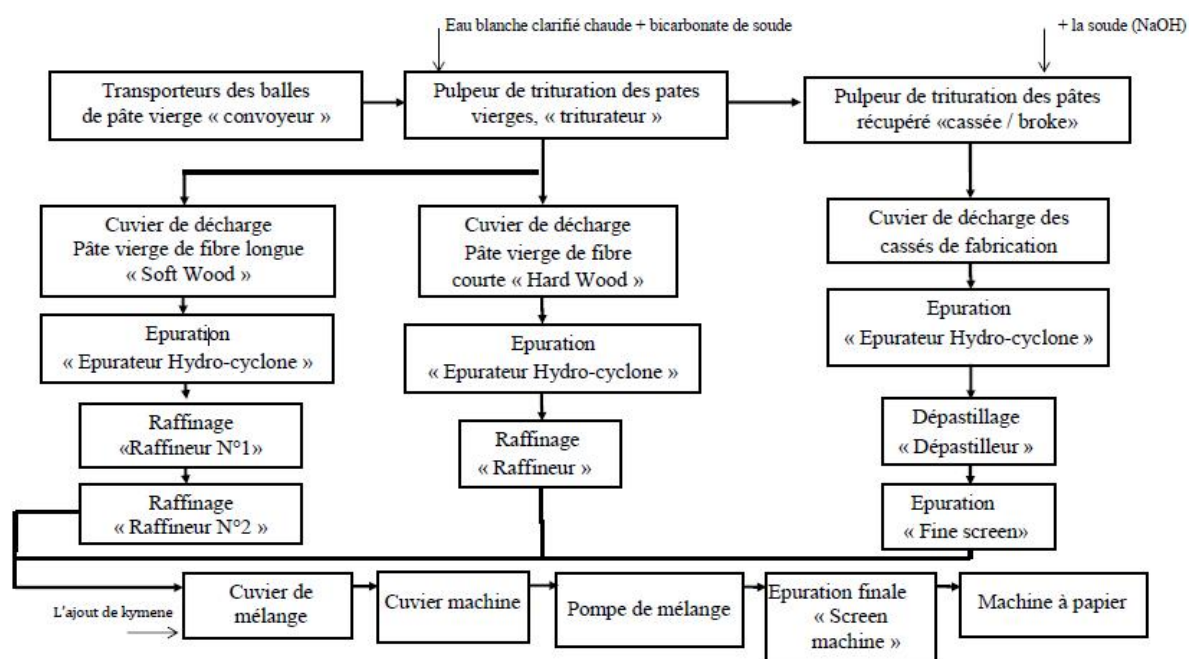
|                | Reconnues           | Mobilisables        | Mobilisées             |
|----------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| Superficielles | 615 hm <sup>3</sup> | 416 hm <sup>3</sup> | 42,22 hm <sup>3</sup>  |
| Souterraines   | 170 hm <sup>3</sup> | 150 hm <sup>3</sup> | 115,05 hm <sup>3</sup> |

(source :

ANAT ; 2008)

## ANNEXE 3

Circuit de préparation des pâtes vierges (Fibre Longue « SW »,  
Fibres Courtes « HW » et « Broke » de fabrication)



## ANNEXE 4

**Tableau V.4: Norme Algérienne : Spécifications physico-chimiques des eaux usées épurées destinées à l'irrigation agricoles (JO, 2012)**

| Paramètre   | Symbole   | Unité                | Concentration maximale <sup>a</sup> |       |
|---|-----------|----------------------|-------------------------------------|-------|
| pH  | -         |                      | 6,5 < pH < 8,5                      |       |
| Conductivité électrique   | CE        | dS/m                 | 3                                   |       |
| Demande chimique en oxygène   | DCO       | mg O <sub>2</sub> /L | 90                                  |       |
| Matière en suspension   | MES       | mg/L                 | 30                                  |       |
| Chlorures   | Cl        | mg/L                 | 10                                  |       |
| Sodium  | Na        | mg/L                 | 1000                                |       |
| Pourcentage de Sodium Adsorbé (Infiltration)  |           |                      |                                     |       |
| SAR = 0-3   |           |                      | 0,2                                 |       |
| SAR = 3-6   |           |                      | 0,3                                 |       |
| SAR = 6-12  |           |                      | 0,5                                 |       |
| SAR = 12-20   |           |                      | 1,3                                 |       |
| SAR = 20-40   |           |                      | 3                                   |       |
| Eléments toxiques <sup>b</sup>  | Phénols   |                      | mg/L                                | 0,002 |
|   | Aluminium | Al                   | mg/L                                | 5     |
|   | Arsenic   | As                   | mg/L                                | 0,1   |
|   | Béryllium | Be                   | mg/L                                | 0,1   |
|   | Bore      | B                    | mg/L                                | 2,0   |
|   | Cadmium   | Cd                   | mg/L                                | 0,01  |
|   | Cobalt    | Co                   | mg/L                                | 0,05  |
|   | Chrome    | Cr                   | mg/L                                | 0,1   |
|   | Cuivre    | Cu                   | mg/L                                | 0,2   |
|   | Cyanures  |                      | mg/L                                | 0,05  |
|   | Fer       | Fe                   | mg/L                                | 5,0   |
|   | Fluor     | F                    | mg/L                                | 1,0   |
|   | Lithium   | Li                   | mg/L                                | 2,5   |
|   | Manganèse | Mn                   | mg/L                                | 0,2   |
|   | Mercure   | Hg                   | mg/L                                | 0,001 |
|   | Molybdène | Mo                   | mg/L                                | 0,01  |
|   | Nickel    | Ni                   | mg/L                                | 0,2   |
|   | Plomb     | Pb                   | mg/L                                | 5,0   |
|   | Sélénium  | Se                   | mg/L                                | 0,02  |
|   | Vanadium  | V                    | mg/L                                | 0,1   |
| Zinc  | Zn        | mg/L                 | 2,0                                 |       |
| <p>(a) Une tolérance de 10 % maximum est acceptable pour une mesure à condition que ce dépassement nese représente pas plus de trois fois pour des campagnes d'analyses consécutives</p> <p>(b) Pour type de sols à texture fine, neutre ou alcalin</p> |           |                      |                                     |       |

**Tableau V.5: Norme Algérienne : Spécifications microbiologiques des eaux usées épurées destinées à l'irrigation agricoles (JO, 2012)**

| Groupe de culture   | Paramètres microbiologiques   |                                |
|---|-------------------------------|--------------------------------|
|   | Coliformes fécaux (CFU/100ml) | Nématodes intestinaux (œufs/1) |
| Irrigation non restrictive, culture de produits pouvant être consommés crus.  | <100                          | Absence                        |
| Légumes qui ne sont consommés que cuits, légumes destinés à la conserverie ou à la transformation non alimentaire.  | <250                          | <0,1                           |
| Arbres fruitiers (1), cultures et arbustes fourragers (2), cultures céréalières, cultures industrielles (3), arbres forestiers. plantes florales et ornementales (4). | Seuil recommandé<br><1000     | <1                             |
| Cultures du groupe précédent (CFU/100ml) utilisant l'irrigation localisée (5) (6).  | Pas de norme recommandée      | Pas de norme recommandée       |

(1) L'irrigation doit s'arrêter deux semaines avant la cueillette. Aucun fruit tombé ne doit être ramassé sur le sol. L'irrigation par aspersion est évitée.

(2) Le pâturage direct est interdit et il est recommandé de cesser l'irrigation au moins une semaine avant la coupe.

(3) Pour les cultures industrielles et arbres forestiers, des paramètres plus permissifs peuvent être adoptés.

(4) Une directive plus stricte (<200 coliformes fécaux par 100 ml) est justifiée pour l'irrigation des parcs et des espaces verts avec lesquels le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels.

(5) Exige une technique d'irrigation limitant le mouillage des fruits et légumes.

(6) A condition que les ouvriers agricoles et la population alentour maîtrisent la gestion de l'irrigation localisée et respectent les règles d'hygiène exigées. Aucune population alentour.

**Tableau V.6 : Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées : (JO, juillet, 2012).**

| <b>Groupe des cultures pouvant être irriguée avec des eaux usées épurées</b> | <b>Liste des cultures</b>  |
|--|--|
| Arbres fruitiers (1)   | Dattiers, vigne, pomme, pêche, poire, Abricot, cerise, noix...etc.   |
| Agrume   | Pamplemousse, citron, orange, mandarine, lime, clémentine.           |
| Cultures fourragères (2)   | Bersim, sorghos fourragers, vesce et luzerne.                        |
| Culture industrielles  | Tomate industrielle, haricot à rames, petit pois à rames, betterave. |
| Culture céréalières  | Blé, orge, triticales et avoine.                                     |
| Culture de production de semences  | Pomme de terre, haricot et petit pois.                               |
| Arbustes fourragers  | Acacia et a triplex.   |
| Plantes florales à sécher ou à usage industriel.                             | Rosier, iris, jasmin, marjolaine et romarin.                         |

# ANNEXE 5

**caprari**

Modena - Italy

COMPANY  
WITH QUALITY SYSTEM  
CERTIFIED BY DNV  
ISO 9001

Les caractéristiques de fonctionnement des électropompes standard sont obtenues avec l'alimentation des moteurs à 400V et 440V / 60Hz.  
Pour alimentation à 230V, 230V et 220V / 50Hz : - au même débit multiplier l'usueur manométrique par 0,95, - au même débit le rendement reste pratiquement constant; - la puissance absorbée par la pompe doit être calculée de nouveau.

## KSMFH 01161NG-E

### Caractéristiques requises

|                        |                                |
|------------------------|--------------------------------|
| Débit                  | 4,63 l/s                       |
| Hauteur de refoulement | 5,25 m                         |
| Fluide                 | Eaux usées                     |
| Température            | 290 K                          |
| Type d'installation    | Pompes identiques en parallèle |
| N.be de pompes         | 2                              |

### Caractéristiques de la pompe

|                             |                                      |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| Débit                       | 2,38 l/s                             |
| Hauteur de refoulement      | 5,36 m                               |
| Puissance absorbée          | 0,597 kW                             |
| Rendement                   | 20,8%                                |
| Hauteur manométrique H(Q=0) | 6,72 m                               |
| Orif. de refoulement        | 80 mm                                |
| Installation                | Installation fixe immergée DN80/PN10 |
| Roue                        | Monocanal                            |
| Passage libre               | 73 mm                                |

### Caractéristiques moteur

|                       |            |
|-----------------------|------------|
| Fréquence             | 60 Hz      |
| Tension nominale      | 460 V      |
| Vitesse nominale      | 1120 1/min |
| Nombre de pôles       | 6          |
| Puissance nominale P2 | 1,3 kW     |
| Courant nominal       | 3,7 A      |
| Type de moteur        | 3-         |
| Classe d'isolation    | F          |
| Degré de protection   | IP 68      |

### Limites opérationnelles

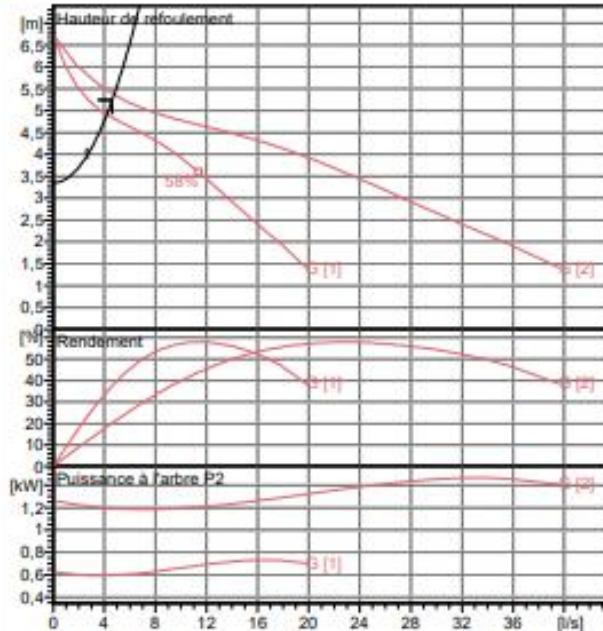
|                                    |                       |
|------------------------------------|-----------------------|
| Démarrages / h max.                | 20                    |
| Température maxi. du liquide pompé | 313 K                 |
| Teneur maximum en matières solides | 40 g/m <sup>3</sup>   |
| Densité max.                       | 998 kg/m <sup>3</sup> |
| Viscosité maxi.                    | 1 mm <sup>2</sup> /s  |

### Caractéristiques générales

|       |       |
|-------|-------|
| Poids | 84 kg |
|-------|-------|

### Matériaux

|                            |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| Corps de pompe             | Fonte                       |
| Roue                       | Fonte                       |
| Bague d'usure              | Acier-caoutchouc            |
| Corps d'aspiration         | Fonte                       |
| Arbre                      | Acier inox                  |
| Garniture méc. côté pompe  | Carbure de silicium/Alumine |
| Chambre à huile            | Fonte                       |
| Enveloppe du moteur        | Fonte                       |
| Sondes thermiques          | Oui                         |
| Sonde de conductivité      | Oui                         |
| Garniture méc. côté moteur | Graphite/Stéatite           |
| Vis et écrous              | Acier inox                  |
| Câble d'alimentation       | 10m                         |



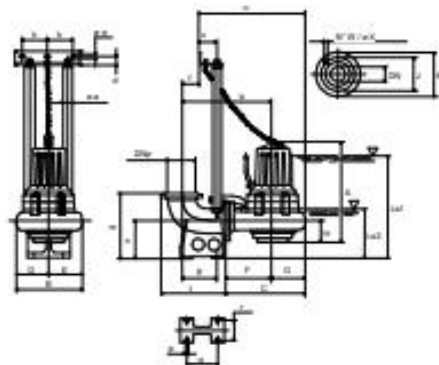
### Caractéristiques de fonctionnement

UNI/ISO 2548/C

| Q [l/s] | H [m] | P [kW] | Rend. [%] | NPSH [m] |
|---------|-------|--------|-----------|----------|
|         |       |        |           |          |

### Dimensions mm

A = 503  
B = 317  
b = 465  
C = 407  
D = 173  
d = 35  
DN = PN10  
DNp = PN10  
E = 144  
F = 245  
f = 40  
G = 162  
g = 173  
H = 119  
h = 130  
J = 160  
K = 200  
Ls1 = 477  
Ls3 = 255  
m = 320  
aa = 2"  
oe = 12,5  
aX = 18  
p = 18  
q = 156  
r = 110  
t = 320



Notes:

|                    |           |          |        |
|--------------------|-----------|----------|--------|
| Date<br>01.10.2020 | Page<br>1 | Offre n° | Pos.N° |
|--------------------|-----------|----------|--------|



# ANNEXE6



## SUPPORT BIOFILM ACTIF MBBR

Procédé à Cultures Fixées Fluidisées MBBR

### DESCRIPTION

EQUIP MBBR est une technologie basée sur le principe d'un biofilm actif se développant sur de petits supports en plastique conçus pour un maintien en suspension dans le réacteur (Moving Bed Biofilm Réacteur). Cette technologie appelée aussi procédé biologique par cultures fixées fluidisées détient les avantages des systèmes de boues activées ou autres systèmes de biofilm (tels que les biofiltres) sans avoir leurs inconvénients. Les supports sont conçus pour fournir une grande surface protégée pour le biofilm et des conditions optimales pour la culture de bactéries lorsque les supports sont en suspension dans l'eau.



### APPLICATIONS

- Nouvelles installations nécessitant un faible encombrement et un fonctionnement facile pour l'élimination des DBO / DCO et azote.
- En amont d'un traitement biologique existant.
- Mise en œuvre en post-traitement en stations existantes afin d'améliorer le processus.

### AVANTAGES

- Effective Rétention efficace des boues
- Diminue la production de boues finales
- Fonctionne avec les variations de charge
- Résiste aux chocs toxiques

| EQUIP MBBR                               | Modèles                              | EM 01          | EM 02   | EM 03     | EM 04    | EM 05    | EM 06        | EM 07     | EM 08     | EM 09      | EM 10      |  |
|--|--------------------------------------|----------------|---------|-----------|----------|----------|--------------|-----------|-----------|------------|------------|--|
|  |                                      |                |         |           |          |          |              |           |           |            |            |  |
| Diamètre x Largeur                       | mm                                   | ø12 x 9        | ø11 x 7 | ø10 x 7   | ø10 x 10 | ø25 x 12 | ø25 x 12     | ø35 x 18  | ø5 x 10   | ø15 x 15   | ø25 x 4    |  |
| Trou par pièce                           | pcs                                  | 4              |         | 5         | 6        | 19       |              | 64        | 7         | 40         | 64         |  |
| Surface efficace                         | m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>       | >800           | >900    | >1000     | >800     | >500     |              | >1200     | >3500     | >900       | >1200      |  |
| Densité                                  | g/cm <sup>3</sup>                    |                |         | 0,96-0,98 |          |          | 1,02-1,05    | 0,96-0,98 | 1,02-1,05 |            | 0,96-0,98  |  |
| Quantité par volume                      | pcs/m <sup>3</sup>                   | >630000        | >830000 | >850000   | >250000  | >97000   |              | >33000    | >2000000  | >230000    | >210000    |  |
| Porosité                                 | %                                    |                | >85     |           |          | >90      |              | >92       | >80       |            | >85        |  |
| Ratio dosage                             | %                                    | 15-67          | 15-68   | 15-70     | 15-67    | 15-65    |              | 15-50     | 15-70     |            | 15-65      |  |
| Temps de formation de la membrane/couche | Jours                                | De 3 à 15 days |         |           |          |          |              |           |           |            |            |  |
| Efficacité de la nitrification           | gNH <sub>4</sub> -N/m <sup>3</sup> d |                |         |           |          |          |              |           | 300-800   | 500-1400   |            |  |
| BOD <sub>5</sub> oxidating efficiency    | gBOD <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> d  |                |         |           |          |          |              |           | 1000-5000 | 2500-20000 | 2500-25000 |  |
| CO <sub>2</sub> oxidating efficiency     | gCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> d   |                |         |           |          |          |              |           | 1000-5000 | 2500-20000 | 2500-25000 |  |
| Applicable temperature                   | °C                                   |                |         |           |          |          | De 5 à 60 °C |           |           |            |            |  |
| Durée de vie                             | Années                               | >15 ans        |         |           |          |          |              |           |           |            |            |  |





