



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option: Réutilisation des eaux non conventionnelles

THEME :

**Redimensionnement d'une STEP des eaux usées industrielles
d'une papeterie (TONIC emballage - Tipaza) en vue de leur
réutilisation**

Présenté par :

BOUCHIREB Raouane

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
Mr. HACHEMI AEK	M.C.A	Président
Mme. KHALED HOULI Samia	M.A.A	Examinatrice
Mme. TAFAT Leila	M.A.A	Examinatrice
Mr. TOUIL Youcef	M.C.B	Examineur
Mme. BETATACHE Hayat	M.C.B	Promotrice

Session Septembre 202

Dédicace

À mes très chers parents, je vous dédie ce travail avec tout l'amour et la reconnaissance que mon cœur peut contenir. Vous avez été ma force et ma lumière, m'offrant un amour inconditionnel, des sacrifices silencieux et des conseils précieux qui m'ont guidée à chaque étape. Dans les moments les plus difficiles, vous avez été mes piliers, me rappelant toujours de croire en moi et de persévérer. Rien de ce que j'ai accompli n'aurait été possible sans vous.

À mes frères, Selsabila et Yasser, mes compagnons de toujours et mes modèles, merci d'être présents dans ma vie avec tant de constance et d'encouragements. Votre soutien discret mais puissant m'a souvent portée plus loin que je ne l'imaginais. Vous êtes et resterez une source d'inspiration et de fierté pour moi.

À toute ma famille, merci pour l'affection, la bienveillance et la confiance que vous m'avez toujours témoignée. Vos mots d'encouragement et votre foi en mes capacités ont nourri ma détermination à avancer et à me dépasser.

À mes amis, merci pour les instants de joie partagés, pour les rires qui allégeaient la fatigue et pour votre soutien moral qui m'a permis d'affronter les moments plus difficiles avec le sourire. Vous avez rendu ce chemin moins lourd et infiniment plus agréable.

À mes enseignants et mentors, je suis profondément reconnaissante pour le savoir et la passion que vous m'avez transmis. Vous avez façonné mon esprit et nourri mes ambitions, m'offrant non seulement une formation, mais aussi une inspiration qui continuera à guider mes pas.

À tous ceux qui ont cru en moi, sachez que votre confiance a été l'une des plus grandes motivations de ce parcours. Ce travail porte aussi votre empreinte, car il est le fruit de votre soutien et de vos encouragements.

Enfin, à AIESEC et HEC, merci d'avoir changé ma vision du monde et de m'avoir poussée à devenir un agent de changement positif. Votre impact sur ma vie dépasse le cadre académique, car vous m'avez appris à voir au-delà des frontières et à agir avec conviction pour un monde meilleur.

Remerciement

Je tiens, tout d'abord, à exprimer ma profonde gratitude envers le Créateur, qui m'a accordé la santé, la force et la persévérance nécessaires pour mener à bien mes études et accomplir ce modeste travail.

Mes remerciements les plus sincères vont en premier lieu à ma promotrice, Mme BETATACHE Hayet, pour son accompagnement constant, ses conseils avisés, sa disponibilité et son souci du détail, qui ont largement contribué à la qualité et à l'aboutissement de ce travail.

J'exprime également toute ma reconnaissance à l'ensemble des enseignants de l'ensh, dont le savoir, la rigueur et la passion ont guidé mon apprentissage et m'ont permis de progresser avec succès tout au long de mon parcours académique.

Mes remerciements s'adressent aussi aux membres du jury, qui me font l'honneur d'évaluer ce travail et d'assister à ma soutenance.

Enfin, je souhaite adresser une pensée particulière à ma famille, mes frères, mes amis et à toutes les personnes qui, de près ou de loin, m'ont soutenue, encouragée et inspirée durant cette aventure. Leur présence et leur confiance ont été un appui inestimable dans les moments de doute comme dans les instants de réussite.

ملخص

تناول هذا العمل دراسة وتصميم محطة لمعالجة النفايات السائلة الصناعية الناتجة عن مصنع "تونيك" للمنتجات الورقية، الكائن بالمنطقة الصناعية ببواسماعيل ولاية تيبازة. يهدف المشروع إلى منع تصريف هذه المياه مباشرة في الوسط الطبيعي، والحفاظ على الموارد المائية الجوفية والبيئة، وحماية الصحة العمومية. بعد كحل أمثل من حيث الكفاءة والتكلفة. إجراء مقارنة، تم اختيار تقنية المفاعل البيولوجي

بهدف تحسين نوعية المياه المعالجة وإعادة استعمالها كما تم إدماج معالجة ثالثية بواسطة مرشح رملي للتنظيف

الكلمات المفتاحية معالجة المياه، إعادة الاستخدام محطة المعالجة، نفايات صناعية، مفاعل BRM

Résumé

Ce travail porte sur l'étude et la conception d'une station de traitement des effluents liquides industriels générés par l'usine Tonic de produits papetiers, implantée dans la zone industrielle de Bou Ismaïl (W. Tipaza). L'objectif est d'éliminer tout rejet direct dans le milieu naturel, de préserver les ressources en eaux souterraines et l'environnement, et d'assurer la protection de la santé publique. Après comparaison de plusieurs procédés, le BRM a été retenu pour son efficacité et sa fiabilité. Afin de garantir la qualité de l'eau pour une réutilisation sûre, un traitement tertiaire par filtration sur sable a été intégré. Les eaux traitées sont ainsi destinées à des usages tels que le nettoyage, le refroidissement industriel.

Mots clés :

Station d'épuration, effluents industriels, BRM, traitement tertiaire, réutilisation.

Abstract

This work concerns the study and design of a treatment plant for industrial liquid effluents generated by the Tonic pulp and paper factory, located in the industrial zone of Bou Ismaïl (W. Tipaza). The project aims to prevent any direct discharge into the natural environment, safeguard groundwater resources and ecosystems, and ensure public health protection. After comparing several treatment alternatives, the BRM process was selected as the most suitable option due to its efficiency and cost-effectiveness. In addition, a tertiary treatment using sand filtration was incorporated to enhance the quality of the treated water, enabling its reuse for cleaning, industrial cooling.

Keywords: wastewater treatment plant, industrial effluents, MBBR, tertiary treatment, reuse

Table des matières

Introduction générale	14
Chapitre I : Présentation de la zone d'étude.....	16
Introduction	16
I.1 La zone industrielle de Bou-Ismaïl	16
I.1.1 Situation géographique :	16
I.2 présentation de l'usine TONIC	17
I.2.1 Historique de l'entreprise.....	17
I.3 Présentation de la station d'épuration de Tonic	18
I.3.1 Données de Base de la Station d'Épuration.....	18
I.3.2 Filière de traitement de la station d'épuration	18
I.4. Données de Base des eaux de rejets de l'industrie	22
I.5 Impact des rejets de l'industrie papetière avec exemples chiffrés	23
Conclusion.....	24
Chapitre II : Les eaux usées de l'industrie du papier	26
II.1. Historique	26
II.2. Types de pâte	26
II.3 La fabrication de la pâte	27
II.4. L'eau dans l'industrie du papier :	27
II.4.1. Le rôle de l'eau :	27
II.4.3. Consommation d'eau :	28
II.5. Eaux usées industriels d'une papeterie	30
II.5.1 : Nature des rejets	30
II.5.2 Les différents types des effluents de l'industrie	30
II.5.3 Caractéristiques des eaux usées dans l'industrie de la pâte et du papier	30
Chapitre III : Procédés de Traitement des Eaux Usées de l'industrie papetière	33
III.1 prétraitement :	33
III.1.1 Le relevage :	33
III.1.2 Le dégrillage.....	33
III.2 Traitement primaire	33
III.2.1 Neutralisation	34
III.2.2 Décantation primaire :	34

II.2.3 La flottation à air dissous (FAD)	34
III.3 Les traitements secondaires.....	34
III.3. Le bioréacteur à membranes (BRM – Bioreactor Membrane).....	35
III.3.5 Flottation Secondaire.....	36
III.4 Traitements Complémentaires.....	36
III.4.3.5 Désinfection par Le filtre à sable : principe et fonctionnement	36
III.4.3.6 désinfection par charbon actif	36
III.5 Traitement des boues.....	37
III.5.1 L'épaississement des boues	37
III.5.1.1 Épaississement statique :	37
III.5.1.2 Épaississement dynamique :	37
III.5.2 Stabilisation des boues	37
III.5.2 Conditionnement :	37
III.5.3 Déshydratation	38
Chapitre IV : Réutilisation des Eaux Usées Traitées	40
IV.1 Définition.....	40
IV.2 Domaines de Réutilisation des Eaux Usées.....	40
IV.2.2 La Réutilisation Industrielle	40
IV.2.3 La Réutilisation dans les Zones Urbaines.....	41
IV.2.4 La Production d'Eau Potable	41
IV.2.5 La Recharge des Nappes.....	41
IV.3 Avantages de la Réutilisation des Eaux Usées.....	41
IV.3.1. Une ressource de substitution stratégique :	42
IV.3.2. Préservation des ressources naturelles :	42
IV.3.3. Gains économiques :	42
IV.3.4. Avantages écologiques :	42
IV.3.5. Un levier pour le développement durable :	42
IV.4 Limites et Contraintes.....	42
Risques environnementaux et sanitaires	43
IV.5 Réutilisation des eaux usées en Algérie.....	43
Chapitre V : Redimensionnement des ouvrages de la station	46
Introduction :	46
V.1 Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industrielles :	46

V.2 résultats des analyses :	46
V.2.1 La biodégradabilité et nature de rejets :	47
V.3 Schéma du traitement des ERU de l'industrie de Papier Tonic	47
V.4 Calcul de base pour le redimensionnement	48
V.5 Dimensionnement des ouvrages de la station	48
V.5.1. Le bassin d'homogénéisation :	48
V.5.2 Le prétraitement	49
V.5.2.1 le Dégrilleur :	49
V.5.3 Traitement physico-chimique	52
V.5.3.1 bassin de coagulation	52
V.5.3.2 bassin de floculation	52
V.5.3.3 Bassin de flottation :	53
V.5.3.4 Calcul de la charge polluante éliminée	54
V.5.4 traitement biologique :	55
V.5.4.1 étude des variantes	55
VV.5.4.1.2 variante I : Bioréacteur à Membrane (BRM)	55
V.5.4.1.3 variante II : Bioréacteur a lit fluidisé MBBR	56
V.5.4.2 comparaisons et choix entre les variantes :	57
V.5.4.3 Calcul de la charge polluante éliminée par le bassin BRM	58
V.5.4.3 Traitement anaérobie:	58
V.5.4.4 Flotteur secondaire (post BRM)	59
IV.5.5.2 Débit d'air à injecter	60
V.5.5 traitement tertiaire : Le charbon actif granulaire (CAG)	61
V.5.6 traitement des boues :	62
V.5.6.1 Évaluation de la production de boues extraites	62
V.5.6.2 L'épaississeur :	62
V.5.6.3 Digesteur aérobie	63
V.5.6.3 Le filtre à bande	64
Conclusion	64
Chapitre VI : Calcul hydraulique	66
Introduction	66
VI.1 Dimensionnement du bassin de relevage	66
VI.2 Calcul des caractéristiques de la conduite de refoulement	67

VI.3 Calcul de la hauteur manométrique de la pompe :	67
VI.4.1 Perte de charge linéaire	68
VI.4 Profil hydraulique	69
VI.6 Évaluation des pertes de charge et dimensionnement des conduites	69
VI.6.1 Dimensionnement du diamètre de conduite	69
VI.6.2 Longueur équivalente de la conduite	70
Conclusion :	70
Chapitre VII : Etude technico économique	72
Introduction	72
VII.1 Estimation du coût total de réalisation de la station	72
VII.1.1 Coût d'investissement.....	72
VII.1.1.1 Coût de terrassement.....	72
VII.1.1.3 Coût total du Génie Civil	74
VII.1.1.4 Coût des équipements électromécaniques, électriques et hydromécaniques	74
VII.1.1.5 Coût total des investissements	74
VII.1.1.6 Coûts de fonctionnement	74
VII.1.1.7 Coût des frais financiers	74
VII.1.1.8 Coût estimatif global du projet	74
VII.2 gestion de la STEP	74
VII.2.1 Objectifs de la gestion d'une STEP	75
VII.2.2 Rôle du chef d'exploitation	75
VII.3 Mesures et contrôles à effectuer dans la station d'épuration	75
VII.4 Surveillance du fonctionnement	75
VII.4.1 Contrôles quotidiens	75
VII.4.2 Contrôles périodiques	76
VII.5 Entretien des ouvrages.....	76
VII.5.1 Prétraitements	76
VII.5.2 Traitement primaire	76
VII.5.2.1 Flotteur.....	76
VII.5.3 Traitement biologique.....	76
VII.5.3.1 réacteur BRM.....	76
VII.6 Risques et sécurité dans la gestion d'une STEP	77
VII.6.7 Danger lié à l'Hydrogène sulfuré (H ₂ S)	77

Conclusion.....	77
Conclusion générale :	78
Références bibliographiques :	79
Annexes :	83

Liste des figures

Figure 1.1 : Situation géographique de TONIC.....	17
Figure I.2 : Délimitation des unités de Tonic industrie Spa au niveau de la zone industrielle de Bou-Ismaïl.....	17
Figure I.3 dégrilleur en escalier de STEP Tonic.....	18
Figure I.4 Bassin homogenization de STEP Tonic.....	19
Figure I.5 flotteur de STEP Tonic.....	19
Figure I.6 décanteur primaire de STEP Tonic.....	20
Figure I.7 tour de refroidissement de STEP Tonic.....	20
Figure I.8 bassin de control d'odeur de STEP Tonic.....	21
Figure I.9 Bassin aeration de STEP Tonic.....	21
Figure I.10 décanteur secondaire de STEP Tonic.....	22
Figure I.11 unité de déshydratation mécanique de STEP Tonic.....	22
Figure II.11 : Schéma simplifié des circuits d'eau et de la pâte dans une papeterie.....	28
Figure II.1 : Points de la demande d'eau fraîche dans une papeterie.....	29

Listes des tableaux :

Tableau I.1 : Caractéristiques de la Charge Polluante	23
Tableau II.1 : plage de consommation des eaux de fabrication de papier en USA.....	29
Tableau II.2 Usine de pâte à papier, eaux usées et charges de pollution.....	30
Tableau V.1: Valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels pour l'industrie de papier	46
Tableau V.2 : résultats des analyses de rejets	47
Tableau V.3 dimensionnement de bassin d'homogénéisation.....	49
Tableau V.4 : Espacement et épaisseurs des barreaux	50
Tableau V.5 données de base pour le dimensionnement de dégrilleur fin	51
Tableau V.6: les valeurs de β	51
Tableau V.7 résultats de dimensionnement de dégrilleur.....	52
Tableau V.8 résultats de dimensionnement de réacteur de coagulation.....	53
Tableau V.9 résultats de dimensionnement de bassin de flottation.....	54
Tableau V.10 Résultats de traitement par coagulation-floculation.....	54
Tableau V.12 résumé des paramètres de dimensionnement de BRM.....	56
Tableau V.13 résultats des paramètres de dimensionnement de MBBR.....	57
Tableau V.14 : le choix entre les 2 variantes.....	57
Tableau V.15 : les résultats de dimensionnement du bassin BRM.....	60
Tableau V. 16 résultat de dimensionnement de l'épaississeur	63
Tableau V. 17 résultats de dimensionnement de digesteur	63
Tableau V.18 estimation des eaux finale de rejet après la filière de traitement	61
Tableau VI.1 : Valeurs des coefficients K, m et β selon le matériau de la conduite.....	68
Tableau VI.2 : Cotes moyennes du terrain naturel des différents ouvrages de la station.....	69
Tableau VI.4 : longueur théorique supposée des conduites.....	70
Tableau VII.1 Le coût de terrassement de chaque ouvrage.....	73

Liste des planches

Planche 01 : vue en plan de la station

Planche 02 : profile hydraulique

Planche 03 : ouvrages de la station

Planche 04 : ouvrages de la station II

Annexes

Annexe I : Plan d'aménagement de la station d'épuration epe tonic industrie

Annexe II : Station d'Épuration de l'EPE TONIC INDUSTRIE :Procédé du traitement

Liste des abréviations

STEP : Station d'Épuration Industrielle

CO₂ : dioxyde de carbone

MES : matières en suspension

MVS : matière volatile en suspension

MMS : matière minérale en suspension

DBO : demande biologique en oxygène

DCO : demande chimique en oxygène

DTO : demande totale en oxygène

COT : carbone organique total

MOX : matières oxydables

NTK : l'azote total kjeldahl

NGL : l'azote global

NO₃⁻ : nitrate

NO₂⁻ : nitrite

PT : phosphore total

ERI : eau résiduaire industrielle

PTF : pression transmembranaire maximale en filtration

PTR : pression transmembranaire maximale au retro lavage

HMT : hauteur manometrique totale

MBBR : Moving Bed Biofilm Reactor

ASP : Activated Sludge Process

BRM : Bioréacteur à Membranes

Introduction générale

« l'eau est le principe de toutes choses. Tout est fait d'eau, et tout retourne à l'eau » **Thalès de Milet** (vers 625 – 547 av. J.-C.)

L'eau a été toujours un élément indispensable pour assurer la vie sur terre depuis l'antiquité. Elle couvre la majeure partie de globe, mais une quantité très peu est disponible sous forme d'eau douce. Bien que l'eau couvre environ 71 % de la surface de la Terre, sa répartition ne permet pas un usage direct facile pour les besoins humains croissantes. Environ 96,5 % de l'eau sur terre sont des eaux salées des océans. Seule 2,5 % est de l'eau douce difficilement extraite tel que: près de 68,7 % est stockée dans les glaciers et les calottes polaires, tandis qu'environ 30,1 % se trouve dans les nappes souterraines. Seulement 1,2 % de l'eau douce est disponible dans la surface terrestre (lacs rivières ...). Cette répartition met en évidence la rareté de l'eau douce accessible et souligne la nécessité urgente d'une gestion durable et d'une protection efficace, en particulier face aux pressions croissantes telles que la pollution industrielle. *United States Geological Survey (USGS), 2023*

A cause de son importance l'eau est un élément fondamental pour le développement des sociétés et aussi le développement de l'économie mondiale mais il reste une source fragile menacée par la surexploitation industrielle et la pollution

Parmi les principales sources de pollution, les activités industrielles figurent en première ligne. En raison de la diversité des procédés utilisés, les industries génèrent d'importants volumes d'eaux usées souvent chargées en substances chimiques, organiques ou toxiques. Ces rejets, lorsqu'ils ne sont pas convenablement traités, altèrent la qualité des milieux naturels, menacent les écosystèmes aquatiques et peuvent présenter des risques pour la santé humaine.

Due à ces enjeux, les autorités ont mis en place des réglementations de plus en plus strictes concernant les conditions de rejet des eaux industrielles dans le milieu naturel. Ces lois imposent des normes précises que les industries doivent respecter, et encouragent la mise en œuvre de solutions de traitement efficaces.

Le traitement des eaux usées industrielles vise ainsi à réduire la charge polluante pour permettre leur rejet dans les normes poses et le respect de l'environnement, voire leur réutilisation. Plusieurs technologies sont disponibles, allant des traitements physiques et chimiques aux procédés biologiques, selon la nature des polluants.

L'objectif principale de ce rapport est de redimensionner une station d'épuration destinée à traiter les eaux usées d'usine de fabrication de pâte de papier et du papier dans le but de réutilisation des eaux traitées dans le nettoyage, le refroidissement ou l'irrigation des espaces verts.

Chapitre I : présentation de la zone d'étude

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

Introduction

Le traitement des eaux usées industrielles se réfère aux méthodes employées pour traiter les eaux usées générées par l'industrie en tant que résidus non désirés. Suite à un traitement, les effluents industriels (ou eaux usées) transformés peuvent être recyclés ou éliminés dans un système d'égout sanitaire ou une eau de surface environnementale.

Dans ce chapitre, nous allons introduire l'usine de Tonic. Nous examinerons également la fabrication du papier et des produits d'hygiène à l'usine de Tonic, tout en apprenant les spécificités de l'eau produite par cette usine.

I.1 La zone industrielle de Bou-Ismaïl

C'est la ville qui se distingue par son industrialisation dans la wilaya de Tipaza. Plusieurs acteurs économiques, dont le leader algérien de transformation du papier, Tonic Industrie, s'installent dans sa zone industrielle dynamique située au sud-est.

I.1.1 Situation géographique :

Bou Ismaïl, l'une des 28 villes de la wilaya de Tipaza, se trouve sur la côte à 45 km à l'ouest d'Alger et à 25 km à l'est du centre administratif de la wilaya de Tipaza. Elle est bordée à l'est par la municipalité de Fouka, au sud par les municipalités de Koléa et Chaïba, et à l'ouest par les municipalités de Khemisti et Bouharoun.

Il s'agit de l'une des plus grandes agglomérations de la wilaya de Tipaza, couvrant une superficie totale d'environ 1419 ha. En plus du chef-lieu (231 ha), elle comprend les agglomérations secondaires suivantes : Kefta, Ouahlima, une zone d'activité de 30 ha, Beni Derdjine et Zone Éparses sur 1083 ha. Bounaama, Mokhtari, Haouche Esaboune, Sidi Slimane, Guidoum et Sidi Abd el kader.

La position de l'usine est de près de 3km à la mer où les rejets de l'usine sont destinés sans traitement .

I.2 présentation de l'usine TONIC



Figure 1.1 : Situation géographique de TONIC



Figure 1.2 : Délimitation des unités de Tonic industrie Spa au niveau de la zone industrielle de Bou-Ismaïl.

I.2.1 Historique de l'entreprise

Fondée en 1996 par Abd-Elghani Djerrar avec un capital de 30 milliards de DZD, Tonic Emballage, implantée à Bou Ismaïl (Tipaza), s'est rapidement imposée comme le leader national de l'emballage, couvrant 60 % du marché algérien et devenant le plus grand fabricant africain du secteur. Après une diversification en 1998 (carton ondulé) et une modernisation dans les années 2000, l'entreprise a atteint l'exportation en 2004 et un chiffre d'affaires de 36 millions d'euros en 2005. Cependant, des difficultés internes ont entraîné sa faillite en 2009, suivie d'une cession en 2010.

En 2011, la restructuration menée par Moustafa Marzouk a donné naissance à Tonic Industrie, aujourd'hui acteur majeur de l'emballage et des arts graphiques en Algérie. L'entreprise se structure autour de quatre pôles de compétence :

- **Production** : fabrication de papier tissu, de papier pour carton ondulé et de cellulose moulée.
- **Transformation** : réalisation d'emballages variés (cartons, sacs, boîtes, gobelets, emballages souples, papier hygiénique, etc.).
- **Récupération** : recyclage de papiers et cartons usagés pour une production durable.

- **Prestations de services** : impression numérique grand format et location d'équipements logistiques.[1]

I.3 Présentation de la station d'épuration de Tonic

Dans une démarche de développement durable, Tonic Industrie a initié un projet de réhabilitation de sa station d'épuration des eaux usées industrielles, visant à réduire la consommation d'eau et à préserver l'environnement. Ce projet permet de recycler 80 % des eaux usées issues de la production, tout en respectant la réglementation environnementale. Initialement lancé en 2007 par l'ex-SARL Tonic Emballage, le projet a vu son génie civil achevé par l'entreprise chinoise CEZY, tandis que la partie technique assurée par BIWATER est restée incomplète. En 2011, l'entreprise publique HYDRO-TRAITEMENT a repris le projet pour le mettre en conformité, suite à une procédure de gré à gré autorisée par les pouvoirs publics.

I.3.1 Données de Base de la Station d'Épuration

La station d'épuration a été dimensionnée pour traiter un débit nominal de 500 m³/h, correspondant aux eaux usées issues de deux principales unités de production :

Unité de fabrication de papier ouate, Unité de fabrication de papier ondulé.

I.3.2 Filière de traitement de la station d'épuration

La station d'épuration de l'EPE Tonic Industrie est un équipement conçu pour traiter les eaux usées industrielles provenant des unités de production de papier Ouate et Liner. Cependant, elle est actuellement en arrêt en raison de mal dimensionnements techniques, entraînant la mort des bactéries dans les bassins biologiques et des dysfonctionnements des systèmes de traitement. Par conséquent, l'usine rejette actuellement ses eaux usées non traitées dans les réseaux d'assainissement, ce qui constitue une non-conformité aux normes environnementales. Voici un détail de la filière de traitement de la station d'épuration, en prenant en compte son état actuel :

I.3.2.1 Prétraitement

La première étape du traitement consiste en un dégrillage grossier à 6 mm, suivi de deux étapes de dégrillage plus fin, à 3 mm et 2 mm, afin de capturer les plastiques, les gros déchets solides et la fibre présente dans les eaux usées.



Figure I.3 dégrilleur en escalier de STEP Tonic

Un dessableur (en travaux) doit être installé pour capter les sables et protéger les équipements en aval contre l'abrasion.

Toutefois, cette installation n'a pas encore été achevée et n'a donc pas pu être utilisée dans le traitement des effluents. En raison de ces lacunes dans le prétraitement, l'usine se trouve dans une situation où les déchets solides et la fibre ne sont pas correctement filtrés, ce qui empêche le bon fonctionnement des étapes suivantes.

I.3.2.2. Traitement physico-chimique (primaire)

L'effluent prétraité est dirigé vers un bassin d'homogénéisation de 2500m³ où la charge polluante est nivelée, et les particules sont maintenues en suspension à l'aide d'agitateurs.



Figure I.4 Bassin homogenization de STEP Tonic

Cependant, en raison des mal fonctionnements dans le processus biologique, cette étape ne parvient pas à stabiliser correctement la qualité de l'eau.

L'effluent passe ensuite par un flotteur de 250 m³/h pour séparer les matières flottantes, mais le rendement du flotteur n'est plus optimal puisque les bactéries nécessaires pour assurer un traitement efficace ont disparu.



Figure I.5 flotteur de STEP Tonic

L'eau clarifiée est ensuite dirigée vers un décanteur primaire de 1519 m³, où les matières lourdes se déposent. Les boues primaires sont extraites et envoyées vers un système de pompage pour le traitement des boues.



Figure I.6 décanteur primaire de STEP Tonic

Le système de tour de refroidissement, qui doit abaisser la température de l'eau à moins de 38°C, est censé préparer l'effluent pour le traitement biologique, mais étant donné l'arrêt de la station, cette fonctionnalité est inactive.



Figure I.7 tour de refroidissement de STEP Tonic

I.3.2.3. Traitement biologique anaérobie (en cours d'installation)

Le réacteur anaérobie de type IC (Internal Circulation), destiné à dégrader la matière organique sans oxygène, est toujours en phase d'installation. En attendant, un bypass provisoire est mis en place pour contourner ce réacteur. Le processus biologique anaérobie est crucial pour

Réduire la DCO (demande chimique en oxygène) et la DBO (demande biologique en oxygène), mais l'absence du réacteur dans son état opérationnel affecte la performance de cette étape.

I.3.2.4 Traitement biologique aérobie

Une fois l'effluent refroidi, il est dirigé vers un bassin de contrôle d'odeur de 1171,3 m³ équipé de deux aérateurs. Ce bassin neutralise les gaz odorants, mais sa capacité à réduire les émissions est affectée par l'absence de bactéries fonctionnelles dans le traitement biologique.



Figure I.8 bassin de control d'odeur de STEP Tonic

Le liquide est ensuite dirigé vers un réacteur aérobie de forme rectangulaire en béton de dimension $28 \times 17.5 \times 5.3$ et de volume de 2522 m^3 , où les polluants restants doivent être éliminés par les bactéries aérobies. Cependant, la mort des bactéries dans les bassins biologiques empêche le réacteur de fonctionner correctement, et les polluants ne sont pas éliminés comme prévu.



Figure I.9 Bassin aeration de STEP Tonic

Les eaux arrivant gravitairement dans le bassin en provenance du réacteur anaérobie (IC) sont brassées avec les boues de Recirculation en provenance du décanteur secondaire via deux pompes submersibles d'un débit unitaire de $160 \text{ m}^3/\text{h}$ et dont l'aération est assurée par trois aérateurs de surface. Une fois le traitement aérobie effectué, l'effluent est dirigé vers un décanteur secondaire de forme circulaire de $\varnothing 16 \text{ m}$ et de capacité de 520 m^3 , où il est clarifié avant d'être rejeté. Mais à cause des dysfonctionnements dans le traitement biologique, cette étape est également perturbée. Les boues biologiques doivent être soit recirculées vers le bassin aérobie, soit extraites pour un traitement ultérieur, mais ce processus n'est pas opérationnel dans les conditions actuelles. La boue décantée est recirculée au réacteur aérobie ou soutirée par une pompe à vis excentrique de $15 \text{ m}^3/\text{h}$.



Figure I.10 décanteur secondaire de STEP Tonic

I.3.2.5 Traitement des boues

Les boues issues des différentes étapes de traitement (décanteur primaire, flotteur et décanteur secondaire) sont collectées dans des cuves avant d'être envoyées vers une unité de déshydratation mécanique, équipée de presse à boues. Cette unité permet de réduire le volume des boues, facilitant ainsi leur gestion et leur évacuation.



Figure I.11 unité de déshydratation mécanique de STEP Tonic

Cependant, étant donné que le système de traitement biologique ne fonctionne plus, la production de boues est bien inférieure à celle attendue, ce qui perturbe la gestion des boues. Une partie de ces boues devrait être recyclée dans le procédé ou captée pour un usage futur, mais cette fonctionnalité est actuellement mise en pause.

I.4. Données de Base des eaux de rejets de l'industrie

Le débit nominal de rejets est de 500 m³/h, correspondant aux eaux usées issues de deux principales unités de production :

- Unité de fabrication de papier ouate,
- Unité de fabrication de papier ondulé.

Tableau I.1 : Caractéristiques de la Charge Polluante [1]

Paramètre	Unité	Papier ouate	Papier ondule
Température	°C	55	55
Ph		7 a 8	6 a 8
MES	Kg/j	120000	120000
DBO	Kg/j	2000	11500
DCO	Kg/j	5000	17250
Phosphore totale	Kg/j	48	48
Azote totale	Kg/j	240	240
Plomb (Pb)	Mg/l	0.43	—
Chrome (Cr total)	Mg/l	0.49	—
Cadmium (Cd)	Mg/l	0.9	—
Cuivre (Cu)	Mg/l	1	—
Zinc (Zn)	Mg/l	1.89	—
Nickel (Ni)	Mg/l	0.48	—
Manganèse (Mn)	Mg/l	0.5	—

I.5 Impact des rejets de l'industrie papetière avec exemples chiffrés

1. Demande Chimique en Oxygène (DCO)

Les effluents de l'industrie papetière présentent une DCO très élevée, variant généralement entre 1000 et 5000 mg/L, alors que la norme de rejet est souvent fixée à 125 mg/L pour un rejet direct en milieu naturel. Une telle charge organique entraîne une consommation rapide de l'oxygène dissous (OD). Par exemple, une DCO de 3000 mg/L peut réduire l'OD d'une rivière de 8 mg/L à moins de 2 mg/L, seuil critique entraînant l'asphyxie de nombreuses espèces aquatiques.

2. Demande Biologique en Oxygène (DBO5)

La DBO des rejets papetiers est comprise entre 200 et 1500 mg/L, largement supérieure à la norme de 25 mg/L. Ces valeurs favorisent une prolifération bactérienne excessive, qui consomme l'oxygène dissous au détriment de la faune aquatique. Ainsi, une DBO supérieure à 200 mg/L peut provoquer la disparition quasi complète des poissons sensibles comme la truite, qui exige au minimum 5 mg/L d'oxygène dissous pour survivre.

3. Matières en Suspension (MES)

Les concentrations en MES atteignent souvent 300 à 1000 mg/L, alors que les limites réglementaires varient entre 35 et 50 mg/L. Une telle turbidité réduit la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau, diminuant la photosynthèse des plantes aquatiques. De plus, un

dépôt de 1 mm de sédiments par jour peut suffire à colmater les frayères et asphyxier les œufs de poissons benthiques.

4. Azote total (NTK, ammoniacal, nitrates, nitrites)

Les concentrations d'azote total dans les effluents papetiers se situent souvent entre 10 et 50 mg/L, contre une norme de rejet de 15 mg/L. L'excès d'azote entraîne des phénomènes d'eutrophisation. Par exemple, une concentration de 2 mg/L de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ peut déjà provoquer une prolifération d'algues vertes filamenteuses, consommant l'oxygène lors de leur décomposition. L'ammoniac libre (NH_3), présent à $\text{pH} > 8$, devient toxique dès 0,2 mg/L, entraînant des lésions branchiales chez les poissons.

5. Phosphore total

Le phosphore atteint fréquemment 2 à 10 mg/L dans les effluents, alors que la norme de rejet est de 2 mg/L. Un apport supérieur à 0,1 mg/L dans une rivière est déjà suffisant pour déclencher l'eutrophisation. L'augmentation rapide des algues planctoniques provoque une baisse de l'oxygène nocturne, parfois jusqu'à des valeurs proches de 0 mg/L, entraînant des mortalités piscicoles massives.

6. Métaux lourds (Cr, Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Hg, Mn)

Même à faibles concentrations, les métaux lourds présentent une toxicité élevée. Par exemple

- **Cu** : des rejets de 0,5 mg/L (vs norme 1 mg/L) provoquent des malformations chez les larves de poissons.
- **Zn** : à 2 mg/L, il inhibe la croissance du phytoplancton.
- **Cd** : dès 0,05 mg/L, il affecte les reins des organismes supérieurs et s'accumule dans les sédiments.
- **Hg** : bien que souvent présent à $< 0,001$ mg/L, il se bioaccumule et se transforme en méthylmercure, toxique pour l'homme via la chaîne alimentaire.

7. Température

Les effluents papetiers sont souvent rejetés à 30–40 °C, soit 5 à 15 °C de plus que la température ambiante des cours d'eau. Une élévation de 10 °C réduit de 50 % la solubilité de l'oxygène dans l'eau. Par conséquent, un cours d'eau à 30 °C ne peut contenir que 7 mg/L d'oxygène dissous contre 11 mg/L à 20 °C, ce qui aggrave le stress thermique pour les poissons.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la localisation géographique de l'usine étudiée ainsi que ses activités liées à la fabrication de produits d'hygiène. Cette analyse a permis de caractériser les différents effluents rejetés, révélant une charge élevée en matières organiques.

Chapitre II : Les eaux usées de l'industrie du papier

Chapitre II : Les eaux usées de l'industrie du papier

Introduction :

La production de pâte et de papier est un processus extrêmement complexe qui fait appel à une grande diversité de domaines techniques, incluant la préparation du bois, la mise en pâte, la récupération chimique, le blanchiment et la fabrication du papier. Ces étapes permettent de transformer le bois en produit fini : le papier.

Le bois constitue la matière première principale. Cependant, le papier recyclé représente environ 50 % des fibres utilisées dans le monde. Dans certains cas, d'autres matières riches en cellulose, comme la paille, le chanvre, le foin, le coton ou d'autres matériaux végétaux, peuvent également être employés.

Le traitement du papier repose essentiellement sur deux grandes étapes :

1. La transformation de la matière fibreuse en pâte.
2. La transformation de cette pâte en papier. [2]

II.1. Historique

Le papier, tel que nous le connaissons aujourd'hui, trouve ses origines en Chine, au début du premier millénaire de notre ère. Selon les sources historiques chinoises, son invention est attribuée à t'sai Lun, vers l'an 105 apr. J.-C., figure qui fut par la suite divinisée comme le protecteur des papetiers.

La technique de fabrication du papier s'est progressivement diffusée à l'échelle mondiale, demeurant longtemps une activité artisanale à faible rendement. Ce n'est qu'au XIX^e siècle, avec l'avènement de la révolution industrielle, que la production du papier s'est transformée en un véritable processus industriel. Initialement destiné à des usages restreints tels que l'écriture et l'impression, le papier est aujourd'hui décliné en une large gamme de produits répondant à des besoins variés dans les secteurs domestique, industriel, éducatif et sanitaire. [3]

II.2. Types de pâte

Les pâtes papetières sont des matières fibreuses servant à la fabrication du papier, du carton et d'autres produits cellulosiques. Elles se divisent en trois grandes catégories :

Pâtes de bois :

Issues de fibres vierges, elles peuvent être mécaniques (broyage du bois), thermomécaniques (TMP), chimico-thermomécaniques (CTMP), semi-chimiques ou chimiques.

Les principales pâtes chimiques sont la pâte kraft (sulfate), résistante et polyvalente, et la pâte au bisulfite, plus douce et blanchissable.

Pâtes végétales diverses :

Produites à partir de fibres naturelles comme la paille, la bagasse, le bambou, le lin ou le chanvre.

On distingue la pâte à dissoudre, très pure en cellulose ($\geq 90\%$), et la pâte peluche (fluff pulp), utilisée pour les produits absorbants d'hygiène.

Pâtes recyclées :

Issues du papier récupéré, elles permettent la fabrication de nouveaux papiers et cartons.

La pâte désencrée est obtenue après élimination des encres et impuretés.

II.3 La fabrication de la pâte

La fabrication de la pâte à papier repose sur trois procédés principaux :

Mécanique : défibrage du bois avec de l'eau, rendement élevé (90–96 %) mais faible résistance du papier, adapté au papier journal.

Chimique : cuisson du bois (100–175 °C) avec des réactifs pour dissoudre la lignine et isoler la cellulose, donnant des fibres solides et souples.

Le procédé au bisulfite agit en milieu acide.

Le procédé au sulfate (kraft), en milieu alcalin, offre la pâte la plus résistante et la plus utilisée dans les papiers d'emballage et d'impression. . [4]

II.4. L'eau dans l'industrie du papier :

L'eau est un élément nécessaire dans la fabrication du papier.

II.4.1. Le rôle de l'eau :

Effectivement, l'eau favorise l'union naturelle des fibres cellulosiques hydrophiles (c'est-à-dire, elles ont une attraction pour l'eau).

Ainsi, l'eau garantit la liaison des fibres et la flexibilité de la feuille de papier.

La suppression de l'eau tout au long du processus de séchage favorisera le rapprochement des fibres et l'établissement des liaisons hydrogène entre elles. [5]

L'eau permet aussi de produire de la vapeur pour le chauffage des cylindres sécheurs

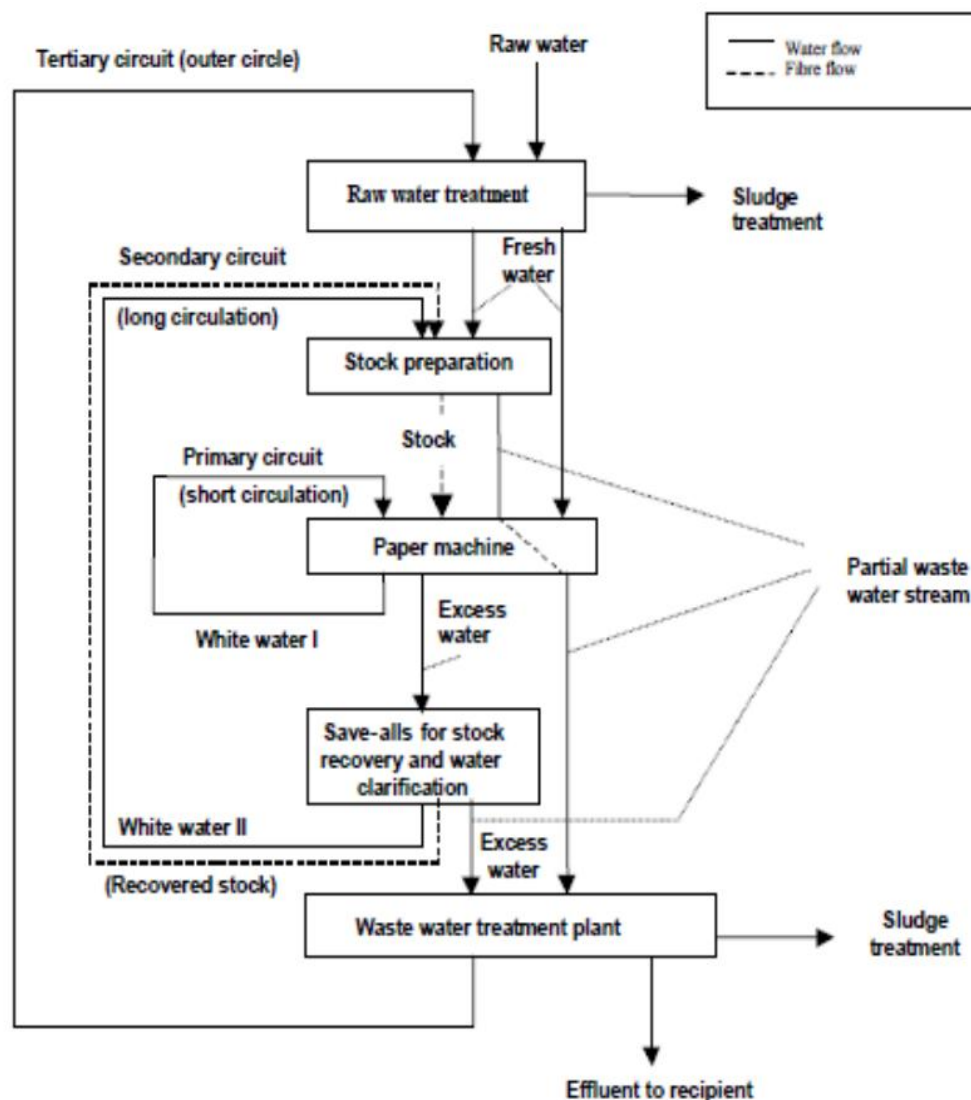


Figure II.2 : Schéma simplifié des circuits d'eau et de la pâte dans une papeterie

II.4.3. Consommation d'eau :

Dans les usines de fabrication du papier, l'eau claire est principalement utilisée :

- Comme eau de lavage pour l'eau dite des rinceurs de la machine à papier. Le rôle de ces rinceurs est de graisser et d'assainir les toiles de la table d'entraînement ainsi que les feutres.
Presse humide pour assurer un égouttage satisfaisant : 5 à 20 m³/t.
- En tant qu'élément d'étanchéité et de confinement dans les presse-étoupes, les caisses aspirantes, les systèmes sous vide et les épurateurs : 1 à 6 m³/t.
- En tant que solvant et moyen de dispersion pour les charges et les additifs : 1,5 à 3 m³/t.
- Pour certaines catégories de papiers : ajout d'eau lors de la fabrication de la pâte
- Refroidissement des équipements utilisés dans le procédé : 3 à 10 m³ par tonne. Ces eaux sont fréquemment Recyclées et employées en tant qu'eau de procédé. Certaines usines les écartent spécifiquement. C'est pour cette raison que, en général, cette eau n'est pas comptabilisée dans les rapports de consommation d'eau des usines de papier.

- Production d'énergie : entre 2 et 3 m³ par tonne. En général, cette eau n'est pas comptabilisée dans les bilans de consommation d'eau des usines de papier . [5]

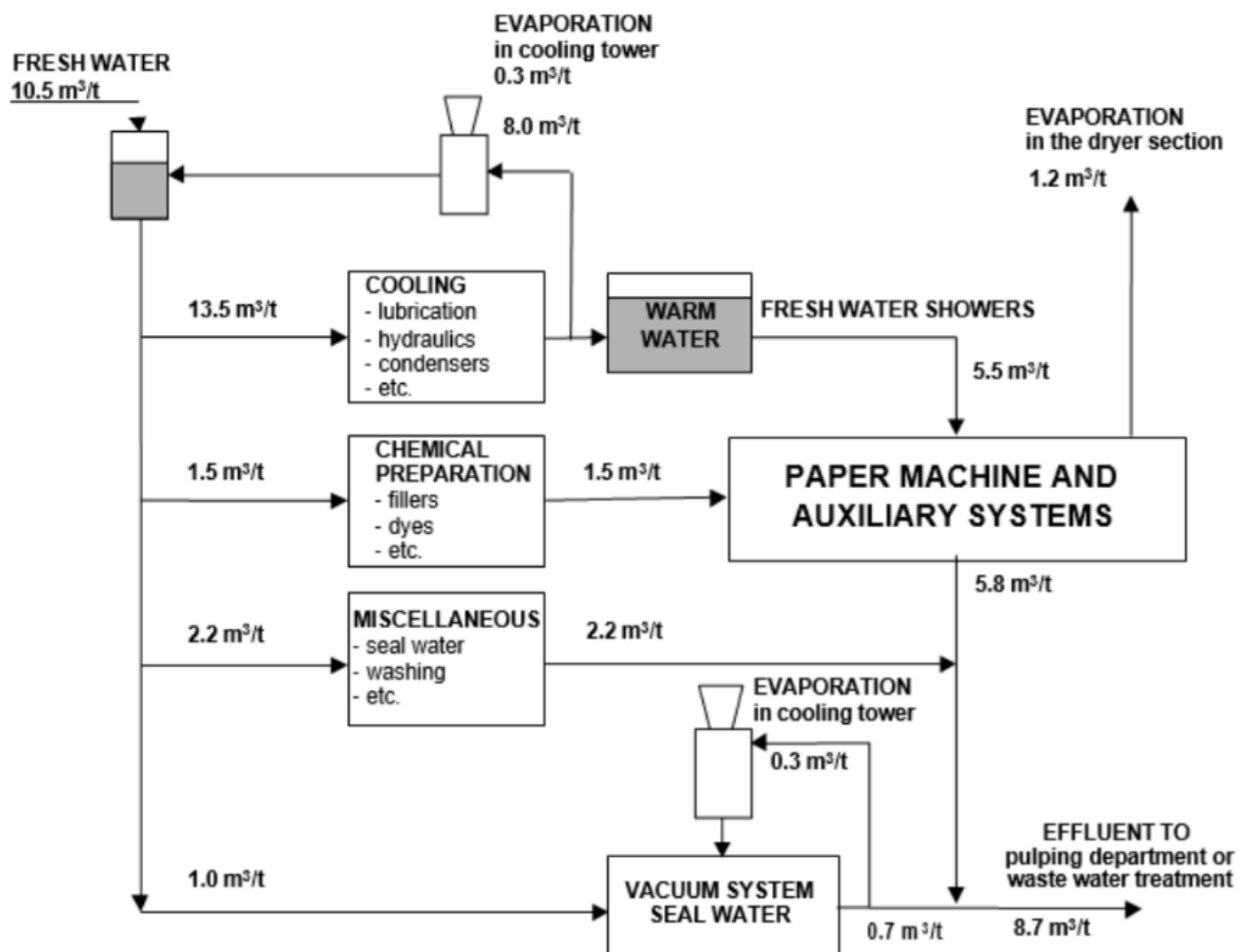


Figure II.3 : Points de la demande d'eau fraîche dans une papeterie

Voici quelques statistiques sur la consommation mondiale de l'eau dans les papeteries au monde :

En états unis

Tableau II.1 : plage de consommation des eaux de fabrication de papier en USA [6]

Type d'usine en USA	Plage de consommation (m ³ /tonne)	Moyenne (m ³ /tonne)
Usines intégrées blanchies	37,1 – 200,8	90,0
Usines intégrées non blanchies	14,2 – 102,5	58,8
Usines de pâte kraft blanchie (marché)	47,1 – 141,7	91,7
Usines de papier > 100 tonnes/jour	0,5 – 188,3	33,3
Usines de papier < 100 tonnes/jour	1,3 – 364,6	58,8
Usines de pâte mécanique (papier journal)	13,8 – 113,8	41,3

II.5. Eaux usées industriels d'une papeterie

II.5.1 : Nature des rejets

Les effluents contiennent également des matières organiques dissoutes issues du bois et des additifs, responsables d'une forte demande biologique (DBO) et chimique en oxygène (DCO). À cela s'ajoutent des composés inorganiques comme les sels et métaux, ainsi que divers contaminants spécifiques selon le procédé utilisé (dioxines et furanes chlorés), généralement associés au blanchiment au chlore.

Enfin, les effluents comprennent souvent des nutriments comme l'azote et le phosphore, introduits pour soutenir le traitement biologique, mais aussi d'autres substances potentiellement toxiques : composés organiques volatils ou semi-volatils, formaldéhyde, hydrocarbures aromatiques polycycliques et acétaldéhyde.[9]

II.5.2 Les différents types des effluents de l'industrie

Généralement, l'eau est utilisée dans les processus de production pour diverses raisons : intégration au produit fini, nettoyage d'équipements, entretien des installations, refroidissement... Etc. Ainsi, on génère un rejet liquide contaminé.

Qui doit être traité avant d'être rejeté, tout en respectant les normes environnementales ou pouvant être recyclé. La détermination des solutions potentiellement efficaces et viables dépendra de la composition de l'effluent et du rythme de sa production. On peut distinguer cinq principales catégories de rejets dans le secteur de la papeterie :

II.5.3 Caractéristiques des eaux usées dans l'industrie de la pâte et du papier

Les eaux usées de l'industrie papetière présentent un pH alcalin compris entre 8,0 et 9,0, lié à l'utilisation de produits basiques comme la soude et l'eau de Javel. Leur température varie de 30 à 40 °C selon les étapes thermiques du procédé. Les solides totaux atteignent 1400 à 2500 mg/L, tandis que les MES, composées de fibres et de charges minérales, se situent entre 600 et 1500 mg/L. La DCO (300–2500 mg/L) et la DBO₅ (150–1000 mg/L) indiquent une forte charge organique, en partie biodégradable. L'azote total varie de 5 à 30 mg/L, l'azote ammoniacal de 1 à 10 mg/L, et le phosphore total de 0,5 à 5 mg/L. Le COT est compris entre 200 et 1200 mg/L. Les effluents sont fortement colorés (500–3000 Pt-Co), très turbides (200–1000 NTU) et présentent une conductivité élevée (1000–5000 µS/cm), traduisant la présence importante de sels dissous et de matières en suspension. [12]

Tableau II.2 Usine de pâte à papier, eaux usées et charges de pollution [11]

Procédé	Rendement (%)	Volume eaux usées (m³/t)	DBO₅ (kg/t)	MES (kg/t)	DCO (kg/t)	Couleur Pt-Co (kg/t)	Azote total (kg/t)	Phosphore total (g/t)
TMP	94–95	–	13–22	–	50–80	–	100–130	30–40
Mécanique	95–97	15–25	8,5–14	10–30	20–55	–	80–110	20–30
Bisulfite – écrue	40–90	40–60	25–50	10–110	–	70–130	–	–
Bisulfite blanchie	50	50–100	20–60	20–50	35–120	75–150	–	–
Kraft – écrue	55	20–80	0,5–1,2	0,2–10	4–35	20–50	0,1–1	3–40
Kraft – blanchie normale	45	30–110	0,2–40	0,2–10	4–90	100–240	0,1–0,8	5–90
Kraft – blanchie OZP	45	–	1–20	–	–	–	–	–
CTMP	92–94	–	17–30	–	60–100	40–80	–	–
CTMP blanchie	91–93	10–30	20–40	20–40	80–130	–	–	–
Pâte désancrée (DIP)	–	15–30	15–20	20–40	–	–	130–400	50–60

Conclusion :

Le secteur de la pâte et du papier est caractérisé par une consommation élevée en eau et l'émission de grandes quantités d'eaux usées, fréquemment chargées de polluants organiques, inorganiques et parfois toxiques. Ces rejets, provenant des diverses phases de production (élaboration de la pâte, blanchissement, production du papier) .

Chapitre III : Procédés de Traitement des Eaux Usées de l'industrie papetière

Chapitre III : Procédés de Traitement des Eaux Usées de l'industrie papetière

Introduction

Il existe diverses techniques ou procédures pour le traitement des eaux usées, dont l'utilisation dépend à la fois des propriétés des rejets à traiter et du degré de purification souhaité. La sélection d'un processus ou d'une série de processus pour traiter les eaux usées varie en fonction de :

- Des attributs des eaux résiduaires ;
- Du coût d'investissement et de la disponibilité des sites ;
- De l'évolution des normes de rejet ;
- De la population (charge polluante)

Quoi qu'il en soit, les processus de prétraitement sont essentiels pour préserver et garantir le fonctionnement efficace des diverses installations de traitement.

III.1 prétraitement :

Ils incluent typiquement les dégrilleurs, les dessableurs et les déshuileurs. L'objectif du prétraitement est de débarrasser les effluents résiduaires de leurs fractions les plus grossières. Avant d'être dirigées vers les voies de traitement biologique, les eaux usées subiront un prétraitement en respectant ces différentes phases :

III.1.1 Le relevage :

Avant toute opération de prétraitement, il est indispensable d'établir un système de relevage pour garantir une circulation gravitaire de l'eau à travers les diverses installations de traitement. En effet, le niveau d'entrée des eaux à traiter doit être inférieur au niveau de sortie du clarificateur des eaux traitées avant leur déversement dans le milieu naturel. On recourt donc à un système de levage, soit par l'intermédiaire de pompes à roues multicanales fermées, soit grâce à une vis d'Archimède. [15]

III.1.2 Le dégrillage

Les dégrilleurs garantissent la préservation des dispositifs électromécaniques et minimisent les dangers de l'obstruction des conduits installés dans l'usine d'épuration. Il s'agit généralement de grilles qui recueillent les débris de différentes tailles transportés par les eaux qui s'écoulent dans les conduits d'assainissement. [16]

III.2 Traitement primaire

L'étape initiale du traitement consiste à réaliser une séparation physique entre la phase liquide

et la phase solide, dans le but de capturer un maximum de particules en suspension présentes dans les eaux résiduaires

III.2.1 Neutralisation

L'objectif de la neutralisation est de préserver le pH du milieu à un niveau approprié, en adéquation avec le traitement suivant. La plupart du temps, le maintien d'un pH proche de la neutralité (6,5 à 7,5) est requis . [17]

III.2.2 Décantation primaire :

La décantation contribue à réduire la charge des traitements biologiques ou chimiques suivants, en ôtant une portion des solides en suspension. L'efficacité du traitement est liée à la durée d'hospitalisation et du taux de montée (qui est en contradiction avec la sédimentation).

Le processus de décantation combiné à l'emploi d'un coagulant-floculant (méthode physico-chimique) s'appuie sur le concept d'encourager l'agglomération des particules en suspension par le biais des méthodes de coagulation et de floculation. L'idée est d'accroître la sédimentation en générant des floes de plus grande taille, ce qui facilite leur séparation de l'eau par décantation[6], autorisant ainsi l'élimination de près de 90% des substances en suspension et 75% de la DBO5. [18]

II.2.3 La flottation à air dissous (FAD)

Le procédé de flottation à air dissous (FAD) est une technique d'épuration physico-chimique performante pour la clarification des effluents industriels riches en fibres, huiles et matières flottantes. Il repose sur la séparation des particules en suspension et des matières colloïdales coagulées et floculées, qui sont entraînées vers la surface par des microbulles d'air puis raclées sous forme de boues concentrées (3 à 4 % de matière sèche).

Après cette étape primaire, un traitement biologique est nécessaire pour éliminer les matières dissoutes : anaérobie pour les fortes charges ($DCO \geq 3\,000$ mg/L) et aérobie pour les charges modérées, avec ajout d'azote et de phosphore si nécessaire. Enfin, une clarification secondaire complète le traitement, assurant un rendement élevé (> 90 %) et une meilleure concentration des boues que dans les systèmes de décantation classiques.

III.3 Les traitements secondaires.

Le traitement secondaire, qui vise à la purification biologique, cherche à éliminer les substances polluantes biodégradables présentes dans l'eau domestique (qu'elle soit décantée ou non) en les convertissant en matières en suspension : micro-organismes et leurs résidus, qui sont plus aisément récupérables.

On compte une multitude de méthodes pour décomposer la matière organique par des moyens biologiques.

III.3. Le bioréacteur à membranes (BRM – Bioreactor Membrane)

Dans cette unité, une technologie de traitement biologique avancée est mise en œuvre : le bioréacteur à membranes, connu sous le nom anglais Membrane Bioreactor (MBR).

Principe de fonctionnement

Le BRM associe le traitement biologique par boues activées à une séparation physique par membranes. Ces membranes, immergées dans le bassin de traitement ou placées dans un module externe, assurent la filtration du mélange liquide en retenant les boues et les micro-organismes, tout en laissant passer une eau clarifiée de haute qualité. Les membranes peuvent être de type microfiltration (0,1–0,4 μm) ou ultrafiltration (0,01–0,1 μm), souvent constituées de matériaux polymériques tels que le PVDF (fluorure de polyvinylidène) ou le PES (polyéthersulfone), reconnus pour leur résistance chimique et mécanique.

L'aération du bassin assure à la fois l'oxygénation des micro-organismes et le nettoyage dynamique des membranes par agitation, limitant ainsi leur colmatage.

Avantages du procédé BRM

Le bioréacteur à membranes constitue une technologie de pointe dans le domaine du traitement des eaux usées industrielles et urbaines, grâce à ses nombreux avantages :

- Qualité d'eau supérieure : la filtration membranaire élimine presque totalement les matières en suspension et les germes, permettant une réutilisation directe de l'eau épurée.
- Compacité du système : la décantation secondaire étant supprimée, le BRM nécessite moins d'espace que les stations conventionnelles.
- Stabilité et performance : la forte concentration en biomasse dans le réacteur améliore le rendement épuratoire et la résilience face aux variations de charge.
- Réduction des boues : la rétention totale des micro-organismes allonge leur âge moyen, ce qui limite la production de boues excédentaires.
- Flexibilité d'exploitation : le système est automatisable, adaptable à différentes charges polluantes, et ne présente aucun risque de perte de boues en cas de dysfonctionnement hydraulique.

Ainsi, le BRM représente une solution moderne, compacte et efficace, particulièrement adaptée au traitement des effluents industriels complexes, tels que ceux issus de l'industrie papetière.

III.3.5 Flottation Secondaire

Aussi désignée comme clarification, l'étape de flottation se produit après un traitement biologique ou chimique, en vue d'extraire les floes générés durant les traitements biologiques ou chimiques.

Au cours de cette étape, la suppression des micro-organismes s'effectue essentiellement par la décantation des substances en suspension (MES), sur lesquelles ils sont adsorbés [26]

III.4 Traitements Complémentaires

Le terme « traitement complémentaire » fait référence à diverses formes de traitements ou de fonctions distinctes.

Dans le but d'atteindre un niveau de qualité dépassant ce qu'on pourrait attendre d'un traitement secondaire standard. Le traitement de niveau trois peut chercher à obtenir un retrait plus Viser des paramètres conventionnels tels que les matières en suspension ou cibler certains paramètres pour lesquels il y a peu d'élimination lors d'un traitement secondaire.

III.4.3.5 Désinfection par Le filtre à sable : principe et fonctionnement

Le filtre à sable est un dispositif de séparation fondé sur la granulométrie des particules en suspension dans un liquide. Il se compose généralement d'un réservoir ou bassin rempli de sable jouant le rôle de médium filtrant. Le liquide à traiter s'écoule verticalement, du haut vers le bas, à travers les couches de sable.

Grâce à la finesse des grains de sable, les espaces interstitiels sont réduits, ce qui permet de retenir les particules en suspension (boues), tandis que le liquide clarifié poursuit son écoulement.

Pour optimiser l'efficacité de la filtration tout en évitant une perte de charge excessive, le filtre est souvent constitué de différentes granulométries de sable. L'ajout d'une couche d'hydro anthracite est également courant pour favoriser une répartition homogène de l'eau à la surface du filtre.

III.4.3.6 désinfection par charbon actif

La réutilisation des eaux traitées repose sur une étape de filtration sur charbon actif granulaire (CAG), qui constitue un traitement tertiaire avancé destiné à améliorer la qualité finale de l'eau. Ce procédé permet d'éliminer les matières organiques dissoutes résiduelles, les micropolluants, les composés responsables d'odeurs ou de coloration, ainsi que certains agents oxydants. Le charbon actif, grâce à sa grande surface spécifique et à sa forte capacité d'adsorption, agit comme un polisseur final après les traitements biologiques. Le système adopte une vitesse de filtration de 7 m/h et fonctionne en continu, avec deux filtres en alternance pour permettre la régénération périodique du média. Ce procédé garantit une eau épurée de haute qualité, conforme aux exigences de réutilisation industrielle ou agricole, tout en restant simple d'exploitation et économiquement viable.

III.5 Traitement des boues

Les boues générées par les usines de traitement des eaux usées, résultent des divers procédés d'épuration sont rassemblées pour être soumises à diverses procédures avant d'être dirigées vers l'environnement récepteur. On utilise diverses méthodes qui peuvent être employées individuellement, en complément les unes des autres ou en combinaison :

L'épaississement, la stabilisation et la déshydratation. [33]

III.5.1 L'épaississement des boues

Constitue généralement la première phase du processus de traitement des boues. Il est principalement destiné à réduire le volume des boues brutes et représente une étape préliminaire aux traitements.

Le taux de sécheresse obtenu peut aller jusqu'à 10% de matière sèche (MS). Peu importe la méthode employée, l'eau récupérée doit être réutilisée en amont de la station. [33]

On utilise différentes techniques pour épaissir les boues :

III.5.1.1 Épaississement statique :

Réalisé par décantation ou sédimentation ;

III.5.1.2 Épaississement dynamique :

Accompli via la flottation, la centrifugation ou le système de drainage [33]

III.5.2 Stabilisation des boues

Les boues issues du traitement des eaux usées sont généralement très riches en matières organiques et contiennent une forte charge en germes pathogènes. Pour limiter les nuisances sanitaires, olfactives et environnementales, ces boues doivent subir une stabilisation visant à :

- Réduire la concentration en micro-organismes pathogènes ;
- Éliminer les odeurs désagréables ;
- Diminuer ou supprimer la capacité de fermentation et de putréfaction de la matière organique.

Trois grandes catégories de procédés sont couramment utilisées pour stabiliser les boues :

1. Digestion anaérobie

Ce procédé repose sur un mécanisme de fermentation méthanogène en absence d'oxygène, au cours duquel les matières organiques complexes sont transformées en méthane (CH_4) et en dioxyde de carbone (CO_2). La digestion anaérobie est particulièrement adaptée aux stations de moyenne à grande capacité.

III.5.2 Conditionnement :

Une fois digérées/stabilisées, les boues doivent être déshydratées de nouveau pour minimiser les frais liés à leur manipulation et élimination, un processus qui est généralement chimique.

On ajoute divers polymères aux boues liquides. [19]

III.5.3 Déshydratation

La déshydratation représente la deuxième phase de diminution du volume des boues épaissies, dans le but d'atteindre un niveau d'aridité plus avancé des boues.

Diverses méthodes sont employées, comme l'utilisation de filtres à pression, de centrifugeuses, et d'autres techniques comme les paniers rotatifs, les presseurs Fourniers et les sacs filtrants [35]

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons examiné les diverses méthodes de purification des eaux usées provenant de l'industrie papetière, ainsi que les traitements additionnels garantissant une bonne gestion de l'effluent. L'intention est de se conformer aux standards d'élimination des eaux usées. Il est important de souligner que, en Algérie, la méthode du système à boues activées est celle qui est le plus fréquemment adoptée pour le traitement des eaux usées.

Chapitre IV : Réutilisation des Eaux Usées Traitées

Chapitre IV : Réutilisation des Eaux Usées Traitées

Introduction :

Dans un monde affecté par le changement climatique et une croissance démographique, la gestion des ressources hydriques est d'une importance capitale, en particulier dans les zones arides et semi-arides. L'emploi de l'eau usée traitée en tant que stratégie intégrée et durable, proposant une solution efficace pour réduire les pénuries d'eau.

Ce chapitre explorera les diverses techniques de réutilisation des eaux usées purifiées, soulignant leurs bénéfices tout en analysant leurs effets sur l'environnement et la société. Nous étudierons particulièrement la situation en Algérie, où l'usage secondaire des eaux usées constitue une solution appropriée aux enjeux locaux. Pour finir, nous introduirons une analyse de cas concernant la station d'épuration de l'industrie Tonic, illustrant le potentiel de la REUE dans le contexte algérien.

IV.1 Définition

Par essence, l'objectif de la réutilisation des eaux usées est d'en récupérer une partie, de leur apporter éventuellement un complément de traitement et de les exploiter pour divers usages dans le but de :

- Proposer des volumes supplémentaires d'eau pour divers usages afin de pallier les déficits.
- Veiller à l'équilibre du cycle hydrique ;
- Protéger l'environnement local. [37]

L'eau récupérée et réutilisée peut répondre à plusieurs objectifs potentiels: [38]

IV.2 Domaines de Réutilisation des Eaux Usées

La réutilisation des eaux usées purifiées est couramment pratiquée sous diverses modalités de valorisation et se manifeste :

- Dans le domaine de l'agriculture ;
- Dans le domaine de l'industrie ;
- En milieu urbain ;
- Dans la production d'eau potable ;
- Dans le processus de recharge des nappes phréatiques.

IV.2.2 La Réutilisation Industrielle

Il est courant que les entreprises disposent de leur propre station d'épuration pour gérer les effluents spécifiques découlant des procédés industriels. Il arrive parfois qu'elles réintègrent les effluents purifiés dans leurs processus, mais ce n'est pas le sujet abordé ici. [42]

L'emploi des eaux usées industrielles traitées peut se faire dans le domaine de l'énergie, particulièrement dans les systèmes de refroidissement fermés ou ouverts. Les autres applications pourraient inclure des domaines tels que les laveries industrielles, les stations de lavage automobile, l'industrie papetière, la fabrication d'acier et de textiles, ainsi que les industries électroniques et semi-conductrices, entre autres . [38]

IV.2.3 La Réutilisation dans les Zones Urbaines

L'éventail d'applications potentielles pour les eaux purifiées en milieu urbain est extrêmement vaste, comme le suggèrent :

- L'irrigation des parcs, des surfaces sportives, des terrains de golf et des aires de jeux ;
- Les bassins d'approbation, les piscines, les étangs pour la pêche et les lieux de navigation de plaisance ;
- Les eaux des sanitaires d'un bâtiment ou d'un ensemble de bâtiments ;
- Le nettoyage des routes, les réservoirs anti-incendie, etc. [43]

IV.2.4 La Production d'Eau Potable

Il est possible d'utiliser directement les eaux usées traitées comme de l'eau potable. Par conséquent, après avoir été traitées, elles sont distribuées à des groupes de personnes pour être consommées. On distingue des applications directes, indirectes, prévues et imprévues.

La réutilisation est envisagée de manière indirecte lorsqu'elle implique le rejet délibéré des effluents en amont d'une station de traitement, au niveau du plan d'eau ou de la nappe qui joue le rôle de dernier réservoir naturel avant le pompage et le processus de traitement [42]

IV.2.5 La Recharge des Nappes

L'injection d'eau recyclée pour la recharge des nappes phréatiques est une stratégie de réemploi de l'eau destinée à accroître de façon organisée les ressources en eau potable [39].

L'argument des nappes, ou dans des zones côtières où les nappes sont submergées par l'eau salée [42,38, 45]

La recharge des eaux souterraines a été utilisée pour :

- Réduire, arrêter, voire inverser les baisses des niveaux des eaux souterraines.
- Protéger les eaux douces souterraines dans les aquifères côtiers contre l'intrusion d'eau salée et saumâtre.
- Stocker l'eau de surface, y compris l'eau de crue ou autre eau excédentaire et l'eau recyclée pour une utilisation future [46]

IV.3 Avantages de la Réutilisation des Eaux Usées

Les principaux atouts et bénéfices liés à la réutilisation de l'eau traitée peuvent être résumés comme suit : [38]

IV.3.1. Une ressource de substitution stratégique :

La réutilisation des eaux usées traitées permet de renforcer l'offre en eau tout en préservant les ressources naturelles. Elle offre une source stable et disponible toute l'année, indépendante des conditions climatiques, et constitue une solution durable et résiliente pour les besoins agricoles et industriels.

IV.3.2. Préservation des ressources naturelles :

Elle contribue à réserver l'eau potable aux usages domestiques essentiels ;Elle permet de valoriser une ressource complémentaire ;Elle participe à la réduction de l'exploitation intensive des nappes phréatiques et des cours d'eau, limitant ainsi les risques de surexploitation.

IV.3.3. Gains économiques :

Elle peut, dans certains cas, éviter les dépenses liées au traitement des nutriments contenus dans les eaux usées ;En agriculture, elle permet de réduire, voire d'éliminer, l'usage d'engrais chimiques grâce aux nutriments naturellement présents dans l'eau recyclée ;Elle peut générer des revenus supplémentaires à travers la vente de l'eau réutilisée et de ses sous-produits ;En période de sécheresse, elle garantit aux utilisateurs un accès à l'eau, avec des retombées économiques positives.

IV.3.4. Avantages écologiques :

Elle soutient le maintien des niveaux d'eau dans les milieux aquatiques durant les périodes sèches ;Elle permet de limiter les impacts environnementaux associés à la construction d'infrastructures lourdes comme les barrages et réservoirs ;Elle améliore l'environnement urbain et périurbain, notamment par l'irrigation des espaces verts ;Les éléments nutritifs contenus dans l'eau traitée favorisent une meilleure productivité agricole et une végétation de qualité.

IV.3.5. Un levier pour le développement durable :

Comparée à d'autres options comme le dessalement ou le pompage en profondeur, elle requiert moins d'énergie et génère un impact environnemental moindre ;Elle constitue une solution abordable pour les zones arides, tout en contribuant à la protection des écosystèmes sensibles et à la régénération des zones humides ;Enfin, elle peut favoriser l'augmentation des rendements agricoles grâce à une irrigation continue et fiable.

IV.4 Limites et Contraintes

La réutilisation des eaux usées traitées, bien qu'avantageuse, présente plusieurs limites. Elle se heurte d'abord à une faible acceptabilité sociale, le public demeurant réticent face à l'usage d'eaux recyclées, notamment pour des usages proches de l'eau potable. Sur le plan économique, le coût élevé du traitement rend cette option souvent moins compétitive que les ressources conventionnelles. De plus, l'absence d'un cadre réglementaire clair et d'une gouvernance coordonnée freine la mise en œuvre efficace des projets. Enfin, le suivi insuffisant de la qualité

et le manque de capacités institutionnelles pour garantir la sécurité sanitaire constituent des contraintes majeures à une réutilisation durable et fiable.[47]

Risques environnementaux et sanitaires

Un mauvais encadrement de l'irrigation avec de l'eau recyclée peut engendrer des impacts négatifs sur l'environnement et l'Eutrophisation des plans d'eau due au ruissellement chargé en nutriments ; [48,49,50]

- Salinisation des sols, liée à une teneur élevée en sels dissous ;
- Contamination des eaux souterraines, provoquée par le lessivage excessif de sels et autres contaminants.

Dans le cas de l'irrigation urbaine (parcs, terrains de sport, espaces verts), la qualité de l'eau doit être adaptée à l'usage prévu, et des mesures doivent être mises en place pour limiter l'exposition humaine, surtout lorsque l'utilisation n'est pas restreinte. La perception des usagers de ces espaces publics doit également être prise en compte dans les stratégies de gestion. [51]

Enfin, lorsque les eaux recyclées sont utilisées recharger les nappes phréatiques, une attention particulière doit être portée aux risques de transfert de substances toxiques, agents pathogènes ou polluants chimiques vers les aquifères, notamment en cas d'injection directe. [52]

IV.5 Réutilisation des eaux usées en Algérie

Face à la raréfaction croissante des ressources hydriques conventionnelles, l'Algérie a accordé une importance croissante à la valorisation des eaux usées traitées au cours des dernières années. Cette orientation s'inscrit dans le cadre d'une politique publique favorable, qui encourage activement le recours à cette ressource alternative [53]

Entre 2000 et 2018, la surface agricole irriguée dans le pays a considérablement augmenté, passant de 350 000 hectares à plus de 1 330 000 hectares, soit une progression de 380 %. Cette expansion repose en grande partie sur les prélèvements souterrains via puits et forages (plus de 1,24 million d'hectares), ainsi que sur les aménagements hydrauliques structurés (87 000 hectares). Cette dynamique reflète l'intérêt croissant des autorités pour le développement de l'irrigation, en particulier à travers la mobilisation d'eaux non conventionnelles.

Dans ce contexte, la stratégie nationale de gestion des ressources en eau prévoit la création de nombreuses stations d'épuration d'ici 2030. À ce jour, 145 stations d'épuration sont déjà en service à l'échelle nationale, avec une capacité totale de traitement estimée à 12 millions d'équivalents-habitants (EH) [54]

Par ailleurs, l'Algérie s'est dotée d'un cadre réglementaire spécifique pour encadrer l'utilisation des eaux usées traitées en agriculture. Celui-ci repose sur plusieurs textes juridiques clés, parmi lesquels :

- Le décret exécutif n° 05-12 du 4 août 2005 (Journal Officiel n°60), qui introduit le principe de concession pour l'usage des eaux usées épurées à des fins agricoles [55]

- Le décret exécutif n° 07-149 du 20 mai 2007 (Journal Officiel n°41), qui précise les modalités de mise en œuvre de cette concession, ainsi que le modèle de cahier des charges applicable [56]
- L'arrêté interministériel du 2 janvier 2012 (8 Safar 1433), signé conjointement par les ministères de l'Hydraulique, de l'Agriculture et de la Santé, qui définit les critères physico-chimiques à respecter pour l'eau traitée destinée à l'irrigation, ainsi que la liste des cultures autorisées à être irriguées avec ce type d'eau [56]

Conclusion

Face aux bouleversements climatiques récents, marqués par la sécheresse, la baisse des précipitations et la raréfaction des ressources en eau potable, la réutilisation des eaux usées traitées apparaît aujourd'hui comme une solution incontournable pour répondre aux besoins en eau. En Algérie, l'utilisation des eaux usées d'origine industrielle est strictement interdite à des fins d'irrigation, en raison des risques environnementaux et sanitaires qu'elle pourrait engendrer. Dans ce contexte, l'usine TONIC, confrontée à une pression croissante sur la ressource en eau, se voit contrainte d'envisager la réutilisation de ses propres eaux traitées dans ses processus internes, notamment pour le refroidissement et certaines étapes de fabrication. Une telle démarche nécessite néanmoins une évaluation rigoureuse de la qualité des eaux traitées et un contrôle strict du système de traitement afin de garantir la sécurité des installations et la conformité aux normes sanitaires en vigueur.

Chapitre V : Redimensionnement des ouvrages de la station

Chapitre V : Redimensionnement des ouvrages de la station

Introduction :

La station d'épuration constitue un élément essentiel dans la préservation des milieux naturels. Son dimensionnement repose principalement sur la charge polluante entrante, déterminée à la fois par le débit des eaux usées et par les concentrations moyennes des principaux paramètres de pollution (tels que la DBO₅, les MES, etc.).

Ce chapitre est dédié au dimensionnement des différents ouvrages composant la station d'épuration.

Les eaux usées de ces études sont fortement chargées, principalement en matières organiques biodégradables (DBO) et en matières en suspension (MES). Leur forte teneur en fibres, colles, résines et autres composés typiques de l'industrie papetière rend leur traitement complexe et exigeant.

V.1 Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industrielles :

Le Décret exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels pour l'industrie de papier : [1]

Tableau V.1: Valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels pour l'industrie de papier [58]

Paramètre	Unité	Valeurs limites	Tolérance aux valeurs limites anciennes installations
Température	°C	35	30
Ph		6.5-8.5	6.5-8.5
DBO ₅	Mg/l	30	40
DCO	Mg/l	120	130
MES	Mg/l	35	40
Phosphore	Mg/l	10	15
Azote globale	Mg/l	30	35

V.2 résultats des analyses :

Le tableau suivant illustre les résultats des tests réalisés en laboratoire sur les eaux résiduaires de l'industrie Tonic Bou-Smail en 2024.

Tableau V.2 : résultats des analyses de rejets des deux unités

Paramètre	Unité	Résultats	Date de prélèvement
Débit	m ³ /h	500	12/01/2025 ; 9:30h A la sortie de l'usine
Température	°C	55	
pH		7.025	
MES	Mg/l	2000	
DCO	Mg/l	1860	
DBO ₅	Mg/l	130	
Phosphore	Mg/l	4	
Azote globale	Mg/l	20	
Plomb (Pb)	Mg/l	0.43	
Chrome (Cr total)	Mg/l	0.49	
Cadmium (Cd)	Mg/l	0.9	
Cuivre (Cu)	Mg/l	1	
Zinc (Zn)	Mg/l	1.89	
Nickel (Ni)	Mg/l	0.48	
Manganèse (Mn)	Mg/l	0.5	

V.2.1 La biodégradabilité et nature de rejets :

Pour déterminer le coefficient de biodégradabilité, il faut calculer le rapport (DCO/DBO₅) de la méthode suivante :

$$\frac{DCO}{DBO_5} = \frac{1860}{130} = 14.307 > 3 \dots\dots\dots[V.1]$$

Le rapport signifie que l'effluent est très faiblement biodégradable. Cela indique qu'il y a une abondance de substances organiques non dégradables (comme la lignine, les résines, les colorants, etc.), ce qui correspond parfaitement au type d'effluents générés lors de certaines phases de production du papier, particulièrement dans les usines qui emploient des méthodes chimiques (kraft, bisulfite) ou qui fabriquent du papier blanchi.

V.3 Schéma du traitement des ERU de l'industrie de Papier Tonic

En se basant sur ces données, nous allons dimensionner une STEP des eaux usées industrielles de charge nominale de 500 m³/h en vue de réutiliser l'eau traitée. La STEP comprendra les ouvrages de traitement suivant :

Un prétraitement (dégrillage)

Traitement primaire (Coagulation-Floculation-flottation)

Un traitement biologique (Bassin BRM)

Traitement tertiaire (Lit de sable)

Traitement de boues (Epaississement, digesteur ; presse a bande)

V.4 Calcul de base pour le redimensionnement

V.4.1 Calcul du débit de rejet industrie

Selon les données du projet, le débit de rejets industriels est égal à :

$$Q_{\text{rej}} = 500 \text{ m}^3/\text{h} = 0.14 \text{ m}^3/\text{s}$$

V.4.2 La charge moyenne journalière en DBO5

La charge est donnée par la relation qui convient :

$$(\text{DBO}_5)_0 = [\text{DBO}_5] \cdot Q_{\text{rej}} \dots\dots\dots [\text{V.2}]$$

V.4.3 la charge moyenne journalière en MES

La charge est donnée par la relation qui convient :

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

V.4.4 la charge moyenne journalière en DCO

La charge est donnée par la relation qui convient :

$$(\text{DCO})_0 = [\text{DCO}] \cdot Q_{\text{rej}} \dots\dots\dots [\text{V.4}]$$

V.4.4 la charge moyenne journalière en DCO

La charge est donnée par la relation qui convient :

$$(\text{DCO})_0 = [\text{DCO}] \cdot Q_{\text{rej}} \dots\dots\dots [\text{V.5}]$$

V.4.5 la charge moyenne journalière en NT

La charge est donnée par la relation qui convient :

$$(\text{NT})_0 = [\text{NT}] \cdot Q_{\text{rej}} \dots\dots\dots [\text{V.6}]$$

V.4.6 la charge moyenne journalière en Phosphore

La charge est donnée par la relation qui convient :

$$(\text{P})_0 = [\text{P}] \cdot Q_{\text{rej}} \dots\dots\dots [\text{V.7}]$$

V.5 Dimensionnement des ouvrages de la station

V.5.1. Le bassin d'homogénéisation :

Tous les effluents sont regroupés dans un bassin d'équilibrage conçu pour stocker l'ensemble des eaux usées produites quotidiennement, soit $Q = 12\,000 \text{ m}^3/\text{jour}$. Ce dispositif permet d'obtenir un mélange homogène des effluents et de maintenir un débit constant, indépendant des variations du flux d'entrée.

Enfin, sa capacité a été dimensionnée à 150 % du volume journalier des effluents, afin d'assurer une marge de sécurité en cas de fluctuations exceptionnelles du débit. [59]

➤ **Calcul du volume :**

On prend un temps de séjours de 6h car le débit est très grand pour minimaliser le volume de bassin donc :

$$V = T_s \cdot Q \dots\dots\dots[V.8]$$

Le volume de bassin $V = 3000\text{m}^3$

➤ **Calcul de la surface :**

Pour une hauteur $H = 6\text{m}$

➤ **Calcul du diamètre**

$$D = \sqrt{\frac{4.S}{\pi}} \dots\dots\dots[V.9]$$

Tableau V.3 dimensionnement de bassin d'homogénéisation

Paramètre	Unité	Valeur
Volume	m ³	3000
Surface horizontale	m ²	500
Diamètre	m	25.23
Temps de séjours	h	6

V.5.2 Le prétraitement

Le prétraitement des eaux usées papetières est essentiel pour protéger les équipements et assurer l'efficacité du traitement. Les effluents contiennent des fibres, papiers, bois et débris solides pouvant obstruer les conduites ou endommager les pompes. Il comprend deux étapes : le dégrillage grossier, qui retient les gros déchets (20–50 mm), et le dégrillage fin, qui élimine les particules plus petites (1–10 mm). Ce double dégrillage permet d'obtenir une eau homogène, limite l'encrassement et améliore le rendement global de la station.

V.5.2.1 le Dégrilleur :

Pour dimensionner un dégrilleur, il est nécessaire d'établir la surface de la grille qui sert à l'élimination des déchets solides assez volumineux. La formule est fournie par KIRSCHMER [60]

$$S = \frac{Q_{rej}}{a \cdot V_e \cdot c} (m^2) \dots\dots\dots[V.10]$$

Tel que :

- S : surface de la grille.
- V_e : Vitesse de l'écoulement à travers la grille (m/s) ; tel que $V_e = 0,6$ à $1,4$ m/s.
- a : Coefficient de passage libre donné par la relation suivante :

$$a = \frac{d}{d+e} \dots\dots\dots[V.11]$$

- d : diamètre des barreaux de la grille.

- e : espacement entre les barreaux.
- C : Coefficient de colmatage de grille (pour une grille manuelle : C = (0.1 à 0.3) et pour une grille mécanique : C = (0.4 à 0.5))

Tableau V.4 : Espacement et épaisseurs des barreaux. [61]

Paramètres	Grilles grossières	Grilles fines
d (cm)	2,00	1,00
e (cm)	5 à 10	0,3 à 1

➤ **Dimensionnement du dégrilleur :**

Pour un prétraitement efficace des eaux usées provenant de l'industrie papetière, lesquelles sont chargées en fibres et en substances solides, il est indispensable d'établir deux niveaux de dégrillage. Un dégrilleur fin de 10mm sert à supprimer les déchets de grande taille pour protéger les pompes et les ouvrages en aval, alors qu'un dégrilleur fin ou un tamis rotatif de 2mm pour capter efficacement les fibres de cellulose, limiter l'encrassement des équipements en aval, et il favorise la performance du traitement physico-chimique ou biologique. Cette association préserve les œuvres en aval et optimise l'efficacité générale du traitement.

Tableau V.5 données de base pour le dimensionnement de dégrilleur fin :

Paramètre	Q (m³/s)	Ve (m/s)	θ (°)	C	e (mm)	d (mm)
Valeur	0.14	1	60	0.5	6 - 3	10

la longueur de grille selon la formule de Krichmer :

$$L = \frac{S \cdot \sin \theta}{H \cdot (1-a) \cdot C} \dots\dots\dots[V.12]$$

Talque :

S : surface de la grille ;

H : hauteur maximum d'eau dans le canal ; et H = (0,2 à 1,4) m ;

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

Calcul de nombre de barreaux :

On a: $L = N_e \cdot e + N_b \cdot b \dots\dots\dots[V.13]$

Avec :

N_e : Nombre d'espacement

Nb : Nombre des barreaux.

b : Diamètre des barreaux

e : Espacement entre les barreaux Et : Ne = Nb + 1

Ou bien on utilisant la formule de Krischmer : $\frac{S \cdot \sin \theta}{H(1-a) \cdot C}$ [V.14]

Calcul des pertes de charge :

Les pertes de charge travers la grille sont donne par m'équation de Krischmer :

$$\Delta H = \beta \left(\frac{d}{e}\right)^{\frac{4}{3}} \cdot \sin \theta \left(\frac{v^2}{2g}\right) \dots\dots\dots[V.15]$$

d : diamètre des barreaux (m)

e : espacement entre les barreaux (m)

θ : angle d'inclinaison de la grille par rapport à l'horizontale

β : coefficient qui tient compte de la forme des barreaux

les valeurs de β sont représentées dans le tableau suivant : ù

tableau V.6: les valeurs de β

Type de barreau	β
Section rectangulaire	2,42
Section rectangulaire en sel circulaire a l'amant et l'aval	1,83
Section circulaire	1,79
Section ovoïde avec une grande largeur a l'amant	0,76
Section rectangulaire avec arrondi semi circulaire a l'amant et à l'aval	1,67

On prend la valeur des barreaux de section ovoïde avec grande largeur a l'amant

Les critères de conception du dégrilleur de la station sont les suivantes :

Tableau V.7 résultats de dimensionnement de dégrilleur

paramètre	Unité	Grille 6mm	Grille 3mm
Débit de rejet (Q)	m³/s	0.14	0.14
Hauteur de l'eau	m	1	1
Diamètre des barreaux (d)	cm	1	1
Espacement des barreaux (e)	cm	0.6	0.3
Largeur de la grille (L)	m	2.12	1.16
Surface inclinée (S)	m²	0.43	0.36
Nombre des barreaux (Nb)	/	133	89
Perte de charges (ΔH)	mm	66	160

V.5.3 Traitement physico-chimique

V.5.3.1 bassin de coagulation

La coagulation est une technique chimique qui améliore l'efficacité de la décantation physique et de la flottation. Ce processus implique l'utilisation de divers composés comme les hydroxydes métalliques, les polymères synthétiques, etc., qui favorisent l'agglomération et la séparation des particules colloïdales présentes dans l'eau. Le processus exige une agitation rapide à 80 tours par minute pendant 1 à 5 minutes, suivie d'une agitation plus lente de 40 tours par minute durant 15 minutes. Le bassin doit être muni d'un agitateur et d'un régulateur de pH. [62]

Calcul de volume du bassin de coagulation :

$$V_c = Q_r \cdot t_c \dots\dots\dots[V.16]$$

Tel que :

V_c : le volume de bassin de coagulation

Q_r : le débit de rejet,

t_c : le temps de contact

On prend le temps de contact $t_c = 25\text{min}$ et une profondeur de $h = 3\text{m}$

Tableau V.8 résultats de dimensionnement de réacteur de coagulation

Paramètre	Unité	valeur
Débit (Q)	m ³ /s	0.14
Tp	Min	25
Vc	m ³	210
Sc	m ²	70
Dc	m	16.35
H	m	3

V.5.3.2 bassin de floculation

L'objectif de la floculation est de faciliter le regroupement des floes créés lors de l'étape de coagulation afin d'accélérer la procédure de flottation qui suivra. Le floculant est intégré sous un mouvement rapide à 80 tours par minute pendant une durée de 45 secondes, puis la vitesse est réduite à 40 tours par minute. [62]

durant au moins 20 minutes, La durée de contact (t_c) doit être d'au moins 20 minutes, pour la détermination du volume du bassin de floculation (VBF) En général, la durée du contact est de 25 minutes. [62]

➤ **Calcul de volume de bassin de floculation**

$$V_f = Q_r \cdot t_c \dots\dots\dots[V.17]$$

Tel que :

Vf : le volume de bassin de coagulation

Qr : le débit de rejet,

tc : le temps de contact

On prend le temps de contact $t_c = 25\text{min}$ et une profondeur de $H = 3\text{m}$

Tableau V.9 résultats de dimensionnement de réacteur de floculation

Paramètre	Unité	valeur
Débit (Q)	m ³ /s	0.14
Tp	Min	30
Vf	m ³	252
Sf	m ²	84
Df	m	17.91
H	m	3

Après le calcul de volume de bassin on obtient le diamètre de bassin de floculation de 17.91m

V.5.3.3 Bassin de flottation :

L'analyse des équipements de flottation prend en compte des paramètres clés, notamment :

la vitesse à laquelle les bulles d'air injectées remontent, une valeur déterminée par la formule de Stokes avec un intervalle idéal situé entre 4 et 6m/h. [62]

$$\frac{v_g}{v_s} = \frac{\rho_s - \rho_l}{\rho_l - \rho_g} = \rho_s - 1 \dots\dots\dots[V.18]$$

Vg : le volume minimale de gaz (m³)

Vs : volume de particule

ps : masse volumique de la particule

pl : masse volumique de l'eau

➤ **La surface horizontale de l'ouvrage :**

$$Sh = \frac{Qh}{v_{as}} \dots\dots\dots[V.19]$$

Qh : débit horaire d'EU

Vas : vitesse ascensionnelle de la bulle de gaz injecte en prend **Vas = 4m/h**

On fixe la hauteur de bassin a **H=3m**

On suppose que le bassin de flottation st un bassin rectangulaire donc **L=2l**

Pour remonter les MES on a besoin d'une quantité d'aire insufflée entre **1 et 1.5 d'air/m**

$$Q_{air} = Q * V_{air} \dots\dots\dots[V.20]$$

Avec : V_{air} : volume d'air à injecter (m^3), on prend $V_{air}=1.5 m^3 d'air/h$

Tableau V.10 résultats de dimensionnement de bassin de flottation

paramètre	unité	valeur
Surface horizontale	m^2	125
Profondeur	m	3
Volume de bassin	m^3	375
Volume de gaz injecte	$m^3 d'air/h$	756
vitesse ascensionnelle de la bulle de gaz injecte	m/h	4
Longueur du bassin	m	15.81

Après le calcul de volume de bassin on obtient les paramètres de dimensionnement de tableau V.10

V.5.3.4 Calcul de la charge polluante éliminée

La flottation avec coagulation-floculation nous permet d'éliminer environ 75 % de la DBO5 et DCO aussi de 90% de MES. [63]

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

Charge : $DBO_5 = 1560 \text{ Kg/j}$ concentration : $[DBO_5] = 130 \text{ mg/l}$

Charge : $MES = 24000 \text{ Kg/j}$ concentration : $[MES] = 2000 \text{ mg/l}$

Charge : $DCO = 22320 \text{ Kg/j}$ concentration : $[DCO] = 1860 \text{ mg/l}$

➤ Les charges éliminées par le flotteur primaire sont :

Charge : $DBO_5 = 1170 \text{ Kg/j}$ concentration : $[DBO_5] = 97.5 \text{ mg/l}$

Charge : $MES = 21600 \text{ Kg/j}$ concentration : $[MES] = 1800 \text{ mg/l}$

Charge : $DCO = 16740 \text{ Kg/j}$ concentration : $[DCO] = 1395 \text{ mg/l}$

➤ Les charges à la sortie du flotteur primaire sont comme suit :

Charge : $DBO_5 = 390 \text{ Kg/j}$ concentration : $[DBO_5] = 32.5 \text{ mg/l}$

Charge : $MES = 2400 \text{ Kg/j}$ concentration : $[MES] = 200 \text{ mg/l}$

Charge : $DCO = 5580 \text{ Kg/j}$ concentration : $[DCO] = 465 \text{ mg/l}$

Tableau V.11 Résultats de traitement par coagulation-floculation

Effluent	Unité	Charge à l'entre	Charge élimine	Charge à la sortie
DBO_5	Kg/j	1560	1170	390
MES	Kg/j	24000	21600	2400
DCO	Kg/j	22320	16740	5580

On fait le calcul de la biodégradabilité à la sortie de flotteur :

$$\frac{\text{DCO}}{\text{DBO}_5} = \frac{5580}{390} = 14.3 > 2 \dots\dots\dots[\text{V.21}]$$

ce qui indique une mauvaise biodégradabilité des effluents.

V.5.4 traitement biologique :

Le traitement biologique des eaux résiduaires industrielles vise à réduire les charges organiques (DBO₅ et DCO) grâce à l'action de micro-organismes dans un bassin d'aération. Ce bassin peut être converti en bioréacteur à membranes (BRM) ou en réacteur biologique à lit mobile (MBBR) afin d'améliorer l'efficacité épuratoire. Le dimensionnement de ces systèmes se base sur les données existantes du bassin (volume, débit, DCO, DBO₅, concentration en biomasse), permettant d'ajuster la charge massique et le temps de séjour hydraulique pour une épuration plus performante et compacte.

V.5.4.1 étude des variantes

VV.5.4.1.2 variante I : Bioréacteur à Membrane (BRM)

Mise en œuvre d'un bioréacteur à membranes (MBR) fonctionnant avec une forte rétention des boues. En régime stationnaire, le temps de rétention des boues est fixé à 40 jours, avec une concentration en biomasse de 20 g MES/L.

Tb: 40 j X: 20 gMES/l

- Tb : temps de séjour de boues.
- X : concentration de la biomasse

1. Rendement de production de boues (Y)

$$Y = \frac{Yh}{1+(Th.Kd)} \dots\dots\dots[V.29]$$

- YH : Concept de décès = 0.44 gMVS/gDCO .
- Kd : est un coefficient cinétique dépend de l'activité des microorganismes hétérotrophe et de température de milieu.

On obtient : $Y=0.01 \text{ Kg MVS / Kg DCO}$

2. La production des boues

$$m_{boue} = Y.Q.(DCO_{entrée} - DCO_{sortie}) = 656.7 \text{ kg/j} \dots\dots\dots[\text{V.30}]$$

3. Calcul le débit de purge des boues :

$$Q_p = \frac{Q.Y.(Se-S)}{y} = \frac{mboue}{y} = 32.83 \text{ m}^3/j \dots\dots\dots[V.31]$$

4. Calcul le volume de réacteur :

$$V = Qp . Tb = 32,83 . 40 = 1313.2 \text{ m}^3 \dots\dots\dots[\text{V.32}]$$

5. Le temps de séjour hydraulique (Th)

$$Th = \frac{V}{Q} = \frac{1313.2}{500} = 2.6 \text{ h} \dots\dots\dots[V.33]$$

6. La quantité d'oxygène nécessaire :

$$Q(O_2) = Q \cdot (Se - S) - Qp \cdot X \cdot 0.8 \cdot 1.44 = 38663.59 \text{ kg/j} \dots\dots\dots[V.34]$$

$$V(O_2) = 27056.39 \text{ m}^3/\text{j}$$

Tableau V.13 résumé des paramètres de dimensionnement de BRM

paramètre	Unité	Valeur
Rendement de production de boues	KgMVS/KgDCO	0.01
la quantité des boues produit	kg/J	656.7
débit de purge des boues	m ³ /j	32.83
volume de réacteur	m ³	1313.2
temps de séjour hydraulique	heures	2.6
quantité d'oxygène	Kg/j	38663.59

V.5.4.1.3 variante II : Bioréacteur a lit fluidisé MBBR

Pour dimensionner un bassin MBBR, il est essentiel de connaître au préalable les charges organiques entrantes, ainsi que les caractéristiques des supports biologiques, notamment leur surface spécifique et leur taux de remplissage dans le réacteur. [64]

$$1. \text{ surface requise de média} = \frac{DBO_5}{SALR} \dots\dots\dots[V.35]$$

DBO5 :(g /j)

SALR : charge spécifique par unité de surface en g/m² /j

on prend SALR=15 (moyenne charge)

$$\text{Surface requise de média} = \frac{5562500}{15} = 371033.33 \text{ m}^2$$

$$2. \text{ Volume du média} = \frac{\text{surface requise de média}}{\text{surface spécifique du média}} \dots\dots\dots[V.36]$$

➤ Surface spécifique du média = 380 m² /m³ de dimensions 44mm x 37mm

$$\text{Volume du média} = 976.8 \text{ m}^3$$

➤ Pour le taux de remplissage est entre 20 et 30 % , on prend le taux 30 %

$$\text{Donc on aura le volume du bassin} = \frac{\text{volume de média}}{\text{taux de remplissage}} = 3252.67 \text{ m}^3$$

Pour une hauteur de 5m

on aura

➤ La surface horizontale de bassin = 650.53 m²

On prend L = 2b donc

$$L = 36 \text{ m} \quad \text{et} \quad b = 18 \text{ m}$$

➤ **Volume d'eau**=volume de bassin – (volume de média .(1 –taux de vide))

$$\text{Volume d'eau} = 3525.67 - (976.8 \cdot (1 - 0.7)) = 2549.17 \text{ m}^3$$

➤ **Temps de rétention** = $\frac{\text{volume d'eau}}{Q_h}$ [V.37]

$$Tr = \frac{2549.17}{500} = 5 \text{ h}$$

3. Le temps de séjour hydraulique (Th)

$$Th = \frac{V}{Q} = \frac{3252.67}{500} = 6.5 \text{ h}$$

4. La quantité d'oxygène nécessaire :

$$Q(O_2) = DBO_5 \text{ journalier} \cdot \text{Kg } O_2 \text{ par Kg DBO}$$

Kg O_2 consommé par Kg DBO en moyenne charge entre 0.6 et 1 kg O_2 /kg DBO₅

On prend alors : 1 kg O_2 /kg DBO₅

On obtient alors : $Q(O_2) = 5562,5 \cdot 1 = 5562.5 \text{ kg/j}$

Débit d'Aire =demande d'oxygène /densité d'oxygène .21%.13%

$$Q_{air} = 168392.21 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$V(O_2) = 3892.58 \text{ m}^3/\text{j}$$

Tableau V.14 résultats des paramètres de dimensionnement de MBBR

paramètre	Unité	Valeur
volume de réacteur	m^3	3252.67
temps de séjour hydraulique	heures	6.5
quantité d'oxygène	Kg/j	5562.5

V.5.4.2 comparaisons et choix entre les variantes :

Tableau V.15 : le choix entre les 2 variantes

Paramètres	MBBR	BRM
Volume de réacteur en m^3	3252.67	1313.2
Temps de séjours en heure	6.5	2.6
Besoin d' O_2	5562.5	38663.59
Boues produites en kg MVS/j	-----	656.7
Rendement boues (kg MVS/kg DCO)	-----	0.01
Débit purge boues (m^3/j)	-----	32.83

Étant donné la présence d'un bassin aéré existant en béton ($28 \times 17,5 \times 5,3$ m ; $2\,522\text{ m}^3$), il est préférable de le convertir en bioréacteur à membranes (MBR) plutôt que de construire un nouveau bassin ou d'adopter un système MBBR. Le MBR, dimensionné pour un volume utile réduit de $1\,313,2\text{ m}^3$ (temps de séjour $\approx 2,6$ h), permet une réutilisation partielle des ouvrages et une économie d'investissement. Sur le plan technique, la conversion nécessite seulement l'installation de modules membranaires et l'adaptation de l'aération et de la recirculation, offrant une mise en œuvre rapide. Le MBR assure une excellente séparation solide/liquide, garantissant une qualité d'effluent élevée conforme aux exigences industrielles. Cependant, cette technologie entraîne une consommation énergétique plus importante et des coûts d'exploitation accrus liés à l'entretien et au risque d'encrassement des membranes. Ces limites peuvent être réduites par des solutions d'optimisation énergétique et de nettoyage automatisé.

En conclusion, la conversion du bassin existant en MBR représente une option optimale conciliant performance épuratoire, économie d'espace et réduction des coûts d'investissement, adaptée aux besoins de l'industrie papetière.

V.5.4.3 Calcul de la charge polluante éliminée par le bassin BRM

Le bassin BRM permet d'éliminer 95% de la DBO₅, 85% de DCO et 96 % de MES [63]

➤ **Les charges de pollution à l'entrée du bassin BRM sont :**

DBO₅ = 390 Kg/j	[DBO₅] = 130 mg/l
MES = 2400 Kg/j	[MES] = 2000 mg/l
DCO = 5580 Kg/j	[DCO] = 1860 mg/l

➤ **Les charges éliminées par le bassin BRM sont donc :**

DBO₅ = 370.5 Kg/j	[DBO₅] = 123.5 mg/l
MES = 2304 Kg/j	[MES] = 1920 mg/l
DCO = 4743 Kg/j	[DCO] = 1581 mg/l

➤ **Les charges à la sortie du bassin BRM sont donc :**

DBO₅ = 19.5 Kg/j	[DBO₅] = 6.5 mg/l
MES = 96 Kg/j	[MES] = 80 mg/l
DCO = 837 Kg/j	[DCO] = 279 mg/l

V.5.4.3 Traitement anaérobie:

Dimensionnement de bassin anaérobie :

Le dimensionnement du bassin anaérobie a été établi à partir d'un temps de séjour de 20 minutes pour un débit de $12\,000\text{ m}^3/\text{jour}$ (soit $500\text{ m}^3/\text{h}$).

En adoptant une profondeur utile de 2,5 m, la surface en plan nécessaire est obtenue par la relation

$$A = \frac{V}{h} = \frac{167}{2,5} = 66,8 \text{ m}^2.$$

En supposant une géométrie cylindrique, le diamètre équivalent du bassin est déterminé par la formule $D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 66,8}{\pi}} \approx 9,22 \text{ m}$.

En y ajoutant un rehaussement (freeboard) de 0,3 m, la hauteur totale du bassin s'élève à environ 2,5 m.

Ainsi, les dimensions finales du bassin anaérobie sont :

- Diamètre : 9,2 m
- Hauteur utile : 2,5 m
- Hauteur totale : 2,8 m
- Volume utile : 165 m³

Étant donné la faible biodégradabilité des effluents issus de l'usine, une étape de prétraitement avant le BRM est nécessaire afin d'améliorer la dégradation biologique. Dans ce cadre, il est possible de réutiliser le bassin anaérobie existant pour assurer un traitement contrôlé des eaux usées. Ce bassin pourrait être exploité comme contact-tank, favorisant la transformation partielle de la matière organique réfractaire et l'augmentation de la biodégradabilité du flux avant son introduction dans le réacteur BRM.

Le dimensionnement de ce bassin s'appuie sur un débit de 12 000 m³/j et un temps de séjour hydraulique de 20 minutes, le volume utile est d'environ 167 m³.

Cette stratégie présente l'avantage de valoriser les ouvrages existants tout en réduisant les coûts d'investissement, tout en améliorant le rendement global du BRM. Des tests pilotes de pré-oxydation et d'évaluation de la biodégradabilité permettront d'affiner les paramètres de fonctionnement et de confirmer la pertinence de cette adaptation.

V.5.4.4 Flotteur secondaire (post BRM)

Dimensionnement hydraulique du flotteur secondaire

Le débit horaire à traiter est : $Q=500 \text{ m}^3/\text{h}$

On utilise une vitesse ascensionnelle typique pour la flottation :

$$V_{as}=4 \text{ m/h}$$

La surface horizontale est alors :

$$Sh = \frac{Q}{V_{as}} = \frac{500}{4} = 125 \text{ m}^2$$

On adopte une géométrie rectangulaire avec $L=2b$, ce qui donne:

$$b=7 \text{ m} \quad L=2 \times 7=14 \text{ m}$$

Hauteur du bassin fixée à $H=2 \text{ m}$

$$\text{Le volume de bassin} = Sh \times H = 125 \times 2 = 250 \text{ m}^3$$

IV.5.5.2 Débit d'air à injecter

Une quantité d'air sous pression est injectée pour former les microbulles assurant la flottaison. Pour un flotteur secondaire, on considère généralement :

$$V_{\text{air}} = 1,5 \text{ m}^3 \text{ par m}^3 \text{ d'eau}$$

$$Q_{\text{air}} = 500 \times 1,5 = 750 \text{ m}^3 \text{ d'air/h}$$

Tableau V.17 : les résultats de dimensionnement du bassin BRM

Désignation	Unité	Résultat	Concentration (mg/l)	Norme de rejet (mg/l)
Bassin BRM				
Débit	m^3/s	0.14	-	-
Rendement de production de boues	KgMVS/KgDCO	0.01	-	-
la quantité des boues produit	kg/J	656.7	-	-
débit de purge des boues	m^3/j	32.83	-	-
volume de réacteur	m^3	1313.2	-	-
temps de séjour hydraulique	heures	2.6	-	-
quantité d'oxygène	Kg/j	38663.59	-	-
Rendement de production de boues	KgMVS/KgDCO	0.01	-	-
la quantité des boues produit	kg/J	656.7	-	-
débit de purge des boues	m^3/j	32.83	-	-
volume de réacteur	m^3	1313.2	-	-
DBO_s entrées	Kg/J	390	130	-
MES entrées	Kg/J	2400	2000	-
DCO entrées	Kg/J	5580	1860	-
DBO_{se}	Kg/J	370.5	123.5	-
MESe	Kg/J	2304	1920	-
DCOe	Kg/J	4743	1581	-
DBO_{ss}	Kg/J	19.5	6.5	30
MESs	Kg/J	96	80	35
DCOs	Kg/J	837	279	120

Le tableau met en évidence que les charges polluantes mesurées sont largement inférieures aux normes de rejet ainsi qu'aux seuils fixés pour la réutilisation, ce qui garantit l'absence d'impact environnemental significatif en cas de rejet dans le milieu nature

Eau finale de rejet :

Tableau V.18 estimation des eaux finale de rejet après la filière de traitement

Paramètre	Avant traitement (mg/l)	Après traitement (mg/l)	Normes algériennes de rejet	Conformité de rejet
DBO ₅	1860	6.5	30 mg/l	Conforme (8,01 < 30)
MES	2000	20	35 mg/l	Conforme (34.45 > 35)
DCO	130	69.75	120 mg/l	Conforme (35,95 < 120)
Phosphore totale	4	4	4 mg/l	Conforme (4 < 10)
Azote totale	20	20	20 mg/l	Conforme (20 < 30)

V.5.5 traitement tertiaire : Le charbon actif granulaire (CAG)

Le CAG a été choisi pour la réutilisation des eaux traitées en raison de sa grande capacité d'adsorption des polluants organiques résiduels, micropolluants et composés responsables d'odeurs ou de coloration. Contrairement au filtre à sable, il assure une meilleure qualité d'eau finale adaptée aux usages de réutilisation. Simple à exploiter et régénérable, le charbon actif constitue une étape de finition efficace et fiable, garantissant une eau conforme aux normes de qualité et de sécurité.

Pour la réutilisation des eaux traitées, un débit de service continu de 350 m³/h a été retenu. La vitesse de filtration adoptée est de 7 m/h, correspondant à un filtre rapide au charbon actif granulaire (CAG), pouvant fonctionner sous pression ou à gravité. Afin d'assurer une exploitation continue et permettre la régénération périodique du média, deux filtres fonctionnant en alternance sont prévus, garantissant une qualité d'eau stable et constante.

La réutilisation des eaux

Après le traitement secondaire des eaux usées par le procédé BRM, une partie du débit épuré est directement dirigée vers le rejet naturel, les analyses ayant confirmé sa conformité aux normes réglementaires de rejet. L'autre partie des effluents est acheminée vers un CAG afin d'assurer une filtration supplémentaire. Ce traitement tertiaire par filtration permet d'éliminer les fines particules résiduelles et d'améliorer la qualité physico-chimique et microbiologique de l'eau. L'eau ainsi affinée est ensuite réutilisée au niveau de **l'unité LINER**, qui est une unité de production de papier qui nécessite une eau bien traitée après un traitement sophistiqué contribuant à une meilleure valorisation de la ressource et à la réduction de la consommation en eau neuve.

V.5.6 traitement des boues :

V.5.6.1 Évaluation de la production de boues extraites

L'estimation des boues produites au cours du traitement repose sur la charge polluante résiduelle éliminée à chaque étape. Elle est répartie entre boues primaires (issues des procédés physico-chimiques) et boues secondaires (provenant du traitement biologique).

1. Boues primaires

La quantité de matière extraite dans les boues primaires est évaluée à partir des polluants éliminés au cours des étapes de prétraitement et de clarification (DBO₅, MES, DCO) :

$$DX_p = DBO_{5e} + MESe + DCO_e \dots\dots\dots[V.38]$$

$$DX_p = 242812.5 \text{ kg/j}$$

En considérant une concentration moyenne en matière sèche de 25 kg/m³ (entre 20 et 30 kg/m³), le débit journalier de boues primaires est :

$$Q_p = 9712.5 \text{ m}^3/\text{j}$$

2. Boues secondaires

Les boues secondaires résultent de la croissance microbienne durant le traitement biologique. Elles incluent la DBO₅, la DCO, les MES et l'azote total éliminés :

$$DX_s = DBO_{5e} + DCO_e + N_{Te} + MESe \dots\dots\dots[V.39]$$

$$DX_s = 238553.12 \text{ kg/j}$$

En supposant une concentration moyenne de 25 kg/m³, le débit journalier des boues secondaires est :

$$Q_s = 9542.12 \text{ m}^3/\text{j}$$

3. Production totale de boues

La production totale de boues est la somme des boues primaires et secondaires :

$$DX_t = 481365.62 \text{ kg/j}$$

V.5.6.2 L'épaississeur :

1. Calcul de volume de l'épaississeur :

$$V = Q \cdot T_s$$

- **QP** : débit total journalier = 19254.62 m³/j
- **Ts** : temps de séjour 4 jours

$$V = 4813.65 \text{ m}^3$$

2. Surface de l'épaississeur :

$$S = V/H$$

On prend $H = 6 \text{ m}$

$$S = 802.27 \text{ m}^2$$

3. Diameter de l'épaississeur:

$$D = 31.96 \text{ m}$$

Hauteur du cône = $D \times 0.15 = 4.95 \text{ m}$

Tableau V. 18 résultat de dimensionnement de l'épaississeur :

paramètre	Unité	Valeur
Volume	m ³	4813.65
Surface horizontale	m ²	802.27
Diamètre	m	31.96
Profondeur	m	6
Hauteur du cône	m	4.95

V.5.6.3 Digesteur aérobie

Afin de réduire le volume des boues produites et d'en augmenter la concentration, les boues épaissies sont dirigées vers un digesteur aérobie. Ce traitement permet également une stabilisation partielle de la matière organique, une réduction des odeurs, et une amélioration des conditions de déshydratation finale.

1. Débit de boues à digérer

Les boues issues du traitement sont épaissies à une concentration moyenne de 80 g/L (soit 80 kg/m³). Le débit volumique journalier de boues à envoyer au digesteur est donné par :

$$Q_b = DXt / C = 6017.07 \text{ m}^3/\text{j} \dots\dots\dots[V.40]$$

2. Temps de séjour hydraulique (TSH)

Le temps de séjour dans le digesteur dépend de la température n

On prend un temps de séjours de **5 jours**

3. Volume du digesteur

$$V = Q_b \cdot T_s = 30085.35 \text{ m}^3$$

4. Surface au sol du digesteur

En supposant une hauteur utile de digesteur de 10 m, la surface au sol est :

$$S = V/H = 3008.53 \text{ m}^2$$

5. Diamètre du digesteur

En considérant un digesteur de forme cylindrique verticale : $D = 61.89$

Tableau V. 19 résultats de dimensionnement de digesteur :

Paramètre	Unité	Valeur
Temps de séjours	Jours	5
Volume	m ³	30085.35
Surface	m ²	3008.53
Diamètre	m	61.89

V.5.6.3 Le filtre à bande

Dans notre cas, la quantité totale de matière sèche à traiter s'élève à 481365.62 kg/j. En supposant un temps de fonctionnement quotidien de 8 heures, la charge horaire en matière sèche est donc de 60170.7 kg/h.

En visant une siccité finale de 18 %, le volume journalier de boues déshydratées est estimé selon la relation :

$$Q_B = 481365.62 / (0,18 \times 1000) = 2674.25 \text{ m}^3/\text{j}$$

Enfin, en tenant compte d'une capacité de filtration standard de 300 kg de matière sèche par heure et par mètre de largeur, la largeur nécessaire de la bande filtrante est calculée comme suit

$$L = 60170.7 / 300 = 200.5 \text{ m}$$

Conclusion

En conclusion, ce chapitre consacré au dimensionnement de la station d'épuration de l'usine TONIC a permis de définir avec précision l'ensemble des paramètres techniques et des capacités requises pour chaque ouvrage de traitement. Ces choix visent à assurer les normes.

Chapitre VI : Calcul hydraulique

Chapitre VI : Calcul hydraulique

Introduction

Dans ce chapitre, nous procéderons au dimensionnement des ouvrages hydrauliques assurant la circulation de l'eau entre les différents bassins de la station. Cela inclut le calcul des conduites de rejet, des canalisations inter-ouvrages, ainsi que du déversoir d'orage et des cotes de radier. L'objectif est de garantir un fonctionnement hydraulique optimal de l'ensemble des installations.

VI.1 Dimensionnement du bassin de relevage

Le bassin d'aspiration, de forme rectangulaire, est dimensionné en se basant sur le débit maximal rejeté par l'usine. Le calcul du volume de ce bassin tient compte du temps d'intervalle entre deux démarrages consécutifs des pompes, ainsi que du nombre de pompes installées.

La formule utilisée est la suivante :

$$V = \frac{ts \times Q_{rej}}{4 \times (N - 1)} \dots\dots\dots [VI.2]$$

avec :

- Q_{rej} : débit de pointe par temps sec (en m^3/s),
- ts : intervalle entre deux démarrages successifs de pompe (en minutes), ici $ts=10$ min
- N : nombre total de pompes, ici $N=2$,
- Le facteur 4 correspond à un coefficient de sécurité standard.

En remplaçant les valeurs :

$$V = \frac{600 \times 0.14}{4 \times (2 - 1)} = 21 \text{ m}^3$$

La surface horizontale du bassin est ensuite déterminée pour une hauteur d'eau de 1,5 m :

$$S = V / H = 21 / 1,5 = 14 \text{ m}^2$$

En supposant une longueur $L=1$ m, la largeur b du bassin est donc :

$$b = S/L = 14 \text{ m}$$

VI.2 Calcul des caractéristiques de la conduite de refoulement

- Le diamètre de la conduite de refoulement acheminant l'effluent vers l'ouvrage d'entrée, à savoir le dégrilleur (séparateur à tambour), est déterminé à l'aide de la formule empirique de Bonin :

$$D_{\text{eco}} = \sqrt[3]{Q_{\text{rej}}(\text{m})} \dots\dots\dots[\text{VI.3}]$$

On a $Q = 500\text{m}^3/\text{h} = 0.14\text{m}^3/\text{s}$ donc $D = 0.374\text{m} = 374\text{ mm}$

On prend le diamètre normalisé **D = 450 mm** avec une longueur de $L = 85\text{m}$

- La vitesse d'écoulement est calculée par la formule

$$V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} = 0.4 \text{ m/s}$$

La conception de la conduite de refoulement repose en grande partie sur le choix d'une vitesse d'écoulement appropriée. En effet :

- Lorsque la vitesse est inférieure à 2 m/s, les pertes de charge augmentent significativement, affectant l'efficacité hydraulique du système.

Si la vitesse descend en dessous de 0,4 m/s, il existe un risque de sédimentation et d'encrassement de la conduite, ce qui peut entraîner une réduction de la section utile et, par conséquent, une hausse des pertes de charge. [65]

VI.3 Calcul de la hauteur manométrique de la pompe :

$$\text{HMT} = H_g + \sum H_{p \text{ lin}} + \sum H_{p \text{ sin}} + P_{\text{exh}} \dots\dots\dots[\text{VI.4}]$$

HMT : hauteur manométrique totale de la pompe en m

H_g : différences des cotes de plan d'eau entre la bache d'aspiration et le dégrilleur

$\Delta H : \sum H_{p \text{ lin}} + \sum H_{p \text{ sin}}$: somme des pertes de charges linéaire et singulière

On suppose que $\sum H_{p \text{ sin}} = 0.1 \sum H_{p \text{ lin}}$

P_{exh} : pression au niveau de l'exhaure entre 1 et 1.5 m [66]

La hauteur géométrique représente la différence de niveau entre l'extrémité aval de la conduite de refoulement et le point le plus bas d'aspiration dans la bache. Elle est calculée comme suit :

$$H = h_1 - h_2 = 6.5 \text{ m}$$

Pour la conduite de refoulement, le matériau choisi est le PEHD (polyéthylène haute densité) en raison de ses excellentes propriétés : grande résistance mécanique, étanchéité optimale, résistance à la corrosion et faible rugosité, ce qui limite les pertes de charge et prolonge la durée de vie de l'ouvrage.

VI.4.1 Perte de charge linéaire

Le calcul de la perte de charge linéaire dans une conduite sous pression dépend principalement du matériau de la canalisation, de ses dimensions géométriques, ainsi que du débit de l'écoulement. L'expression utilisée est la suivante :

$$\Delta H_{\text{lin}} = \frac{K \cdot L \cdot Q^\beta}{D^m} \dots\dots\dots [\text{VI.5}]$$

avec :

- ΔH_{lin} : perte de charge linéaire (en mètres),
- K : coefficient de perte de charge lié au matériau,
- L : longueur de la conduite (en mètres),
- Q : débit total pompé (en m³/s),
- D : diamètre intérieur de la conduite (en mètres),
- β et m : coefficients caractéristiques du matériau et du régime d'écoulement.

Les valeurs des coefficients K, m et β selon le matériau sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau VI.1 : Valeurs des coefficients K, m et β selon le matériau de la conduite [67]

Matériau	K	m	β
Acier	0,00179 à 0,001735	5,1 à 5,3	1,9 à 2
Fonte	0,00179 à 0,001735	5,1 à 5,3	1,9 à 2
Amiante ciment	0,00118	4,89	1,85
Plastique (PVC)	0,001052	4,774	1,77

Dans le cas présent, en utilisant une conduite en acier, les coefficients adoptés sont :

$$K=0,00179$$

$$m=5,3$$

$$\beta=1,9$$

$$\Delta H_{\text{lin}} = \frac{0.00179 \cdot 85 \cdot 0.14^{1.9}}{0.45^{5.3}} = 0.25 \text{ m}$$

On obtient $\Delta H_{\text{lin}} = 0.25 \text{ m}$

pour calculer les pertes de charge singulière on suppose que : $\Delta H_{\text{lin}} = 0.1 \Delta H_{\text{sin}}$

$$\Delta H_{\text{sin}} = 0.025 \text{ m}$$

Les pertes de charges totales : $\Delta H = \Delta H_{\text{lin}} + \Delta H_{\text{sin}} = 0.27 \text{ m}$

D'où $HMT = H_g + \Delta H + P_{exh}$

Par application numérique on obtient

$$HMT = 7.77 \text{ m}$$

VI.4 Profil hydraulique

Le profil hydraulique représente la variation des niveaux d'eau à travers les différentes étapes de la chaîne de traitement. Il permet de tracer la ligne de charge hydraulique et d'optimiser la conception altimétrique des ouvrages, en garantissant la gravitation naturelle du flux ou en identifiant les points nécessitant un pompage.

Tableau VI.2 : Cotes moyennes du terrain naturel des différents ouvrages de la station

Désignation des ouvrages	Cote de terrain naturel (m)	Hauteur de l'ouvrage (m)	Cote de radier (m)	Cp(m)
Poste de relevage	191.2	3	190.2	193.2
Bassin d'homogénéisation	191.2	6	190.2	196.2
Dégrilleur	191.1	1	190.1	191.1
Bassin de coagulation	191	3	190	193
Bassin de floculation	191	3	190	193
Flotteur	191.1	3	190.1	193.1
Bassin MBBR	191	5	190	195
Flotteur secondaire	191.2	2	190.2	192.2

VI.6 Évaluation des pertes de charge et dimensionnement des conduites

L'estimation des pertes de charge dans une conduite sous pression est réalisée à l'aide de l'équation de Darcy-Weisbach, exprimée comme suit :

$$\Delta H = \frac{K \cdot L \cdot Q^\beta}{D^m} = C_{pa} - C_{pb} \dots\dots\dots [VI.7]$$

CPA,CPB: cotes piézométriques aux points A et B, respectivement.

VI.6.1 Dimensionnement du diamètre de conduite

En isolant D dans l'équation de Darcy-Weisbach, on obtient la formule de calcul du diamètre hydraulique :

$$D = \sqrt[m]{\frac{K \cdot L \cdot Q^\beta}{C_{pa} - C_{pb}}} \dots\dots\dots [VI.8]$$

Ce diamètre permet de garantir que les pertes de charge entre les points A et B sont compatibles avec la ligne de charge disponible (différence entre les cotes piézométriques).

Tableau VI.3 les diamètres normalisés des conduites

Tronçon	L (m)	CPA (m)	CPB (m)	Dcal (mm)	Dnorm (mm)	V(m/s)
Poste de relevage → Bassin d'homogénéisation	10	193.2	193.00	312.5	DN 350	1.44
Bassin d'homogénéisation → Dégrilleur	8	193	191.10	195.9	DN 200	4.42
Dégrilleur → Bassin de coagulation	6	191.1	191	365.6	DN 400	1.04
Bassin de coagulation → Bassin de floculation	6	193.0	191	178.7	DN 200	4.42
Bassin de floculation → Flotteur	6	191.0	191.10	312.6	DN 350	1.44
Flotteur → Bassin MBBR	10	191.1	191	330.7	DN 350	1.44
Bassin MBBR → Flotteur secondaire	10	191.0	192.2	312.5	DN 350	1.44

VI.6.2 Longueur équivalente de la conduite

La longueur équivalente tient compte des pertes singulières dues aux coudes, vannes, tés, rétrécissements, etc. Elle est estimée par un facteur de majoration appliqué à la longueur réelle

$$L_{eq} = 1,05 \times L_r$$

où L_r est mesurée à partir du plan de masse de la station d'épuration,

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons réalisé le calcul hydraulique de la STEP, incluant l'établissement du profil hydraulique de la station d'épuration ainsi que le dimensionnement des équipements et ouvrages nécessaires au bon fonctionnement de la chaîne de traitement. Pour garantir une exploitation optimale de la station, il est indispensable de sélectionner judicieusement les conduites, en tenant compte de leur forme et du matériau de fabrication.

Chapitre VII : Etude technico économique

Chapitre VII : Etude technico économique

Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons le devis quantitatif et estimatif de la station d'épuration. Nous aborderons ensuite les aspects liés à sa gestion et à son exploitation, en mettant l'accent sur l'importance de l'hygiène, de la sécurité et du respect des normes en vigueur. Un suivi quotidien, associé à une maintenance préventive rigoureuse, est indispensable pour garantir la pérennité des installations, optimiser les coûts d'exploitation et maintenir les performances attendues. Ces bonnes pratiques contribuent à prolonger la durée de vie des équipements et à assurer une gestion optimale des opérations par l'exploitant.

VII.1 Estimation du coût total de réalisation de la station

Les coûts d'un projet de station d'épuration proviennent principalement des postes suivants :

VII.1.1 Coût d'investissement

Les frais d'investissement comprennent l'ensemble des dépenses liées :

- aux équipements de la station,
- aux travaux de génie civil,
- ainsi qu'aux travaux de voirie et réseaux divers (VRD).

L'expression générale est donnée par :

$$C_{ti} = C_{gc} + C_{VRD} + C_{eq} \dots\dots\dots [VII.1]$$

Avec :

- C_{ti} : Coût total d'investissement
- C_{gc} : Coût des travaux de génie civil
- C_{VRD} : Coût des travaux de voirie et réseaux divers
- C_{eq} : Coût des équipements

VII.1.1.1 Coût de terrassement

Le calcul du coût de terrassement s'effectue comme suivant :

On suppose que l'Épaisseur moyenne de la couche végétale : 0,30 m avec un prix unitaire du terrassement : 2 500 DA/m³

$V_t = 0,30 \cdot S_{hi}$ où S_{hi} est la surface horizontale de l'ouvrage considéré.

Coût de terrassement d'un ouvrage :

$$C_t = 2\,500 \cdot V_t \text{ avec } V_t \text{ exprimé en m}^3. \dots\dots\dots[\text{VII.2}]$$

Tableau VII.1 Le coût de terrassement de chaque ouvrage

Ouvrage	Nombre	Volume (m ³)	Prix unitaire (DA)	Cout totale (DA)
Bassin d'homogénéisation	1	150	2500	375000
Bassin de coagulation	1	21	2500	52500
Bassin de floculation	1	25.2	2500	63000
Bassin de flottation	1	37.5	2500	93750
Bassin MBBR	1	325.2 67	2500	813167.5
Bassin de flottation secondaire	1	25	2500	62500
Epaississeur	1	481.365	2500	1203412.5
digesteur	1	3008.535	2500	7521337.5
total		4073.867		10184667.5

En appliquant cette méthode à l'ensemble des ouvrages, le coût total du terrassement est estimé à :

$$C_t = 10184667.5 \text{ DA}$$

VII.1.1.2 Coût du béton armé

Le prix actuel du mètre cube de béton armé est estimé à $P_u = 40\,000 \text{ DA/m}^3$

Le coût total du béton armé pour un ouvrage est donné par :

$$C_b = P_u \cdot V_{tb} \dots\dots\dots[\text{VII.3}]$$

où :

- C_b : Coût du béton armé (DA)
- P_u : Prix unitaire du béton armé (DA/m³)
- V_{tb} : Volume total de béton armé nécessaire pour l'ouvrage (m³)

Épaisseur radier : 0,30 m

Épaisseur murs : 0,30 m

Béton : 40000 DA/m³

Ferraillage : 80 kg/m³ à 90 DA/kg

Prix total du béton ferraillé : 45600 DA/m³

Volume du radier :

$V_{br} = e_r \cdot S_h = 407.867 \text{ m}^3$ avec S_h la surface horizontale de l'ouvrage.

Volume des murs :

$$V_{bm} = e_m \cdot P \cdot H = 469.42 \text{ m}^3$$

avec : P périmètre de l'ouvrage

H hauteur de l'ouvrage

$$\text{Volume total : } V_b = V_{br} + V_{bm} \dots\dots\dots[\text{VII.4}]$$

Volume total = volume radier + volume murs (pour tous les ouvrages).

$$\text{Coût total : } C_{tba} = \text{Volume total} \cdot 45600 = 40004613.54 \text{ DA}$$

VII.1.1.3 Coût total du Génie Civil

$$C_{gc} = C_t + C_{tba} = 50189281.04 \text{ DA}$$

Coût des VRD

Les VRD sont estimés à 25 % du coût du génie civil :

$$C_{VRD} = 0,25 \cdot C_{gc} = 12547320.26 \text{ DA}$$

VII.1.1.4 Coût des équipements électromécaniques, électriques et hydromécaniques

$$C_{eq} = 0,6 \cdot (C_{gc} + C_{VRD}) = 62736601.3 \text{ DA}$$

VII.1.1.5 Coût total des investissements

$$C_{ti} = C_{gc} + C_{VRD} + C_{eq} = 125473202.6 \text{ DA}$$

VII.1.1.6 Coûts de fonctionnement

VII.1.1.6.1 Main-d'œuvre

$$C_{mo} = 0,05 \cdot C_{ti} = 6273660.13 \text{ DA}$$

VII.1.1.6.2 Maintenance des équipements

$$C_{rm} = 0,1 \cdot C_{ti} = 12547320.26 \text{ DA}$$

VII.1.1.7 Coût des frais financiers

$$C_{ff} = 0,05 \times C_{ti} = 6273660.13 \text{ DA}$$

VII.1.1.7.1 Coût de fonctionnement total

$$C_{ft} = C_{ff} + C_{rm} + C_{mo} = 25094640.52 \text{ DA}$$

VII.1.1.8 Coût estimatif global du projet

$$C_p = C_{ft} + C_{ti} = 150567843.1 \text{ DA}$$

VII.2 gestion de la STEP

La gestion d'une STEP regroupe l'ensemble des moyens techniques, humains et organisationnels mobilisés par les techniciens et agents afin de garantir le bon fonctionnement de la station.

VII.2.1 Objectifs de la gestion d'une STEP

La gestion efficace de la station vise à : Maîtriser les exigences réglementaires en vigueur ; Identifier clairement les responsabilités du gestionnaire ; Connaître les procédés de traitement de l'eau, des boues et de l'air ; Comprendre les contraintes et savoir mettre en œuvre des solutions pour éliminer les sous-produits ; Savoir établir et analyser un bilan de fonctionnement de la STEP.

VII.2.2 Rôle du chef d'exploitation

Le chef d'exploitation est le responsable opérationnel de la station. Ses missions principales sont :

- Garantir l'application des procédures et des règles en matière de sécurité, d'hygiène, de qualité et de protection de l'environnement ;
- Superviser et contrôler le fonctionnement des installations et équipements ;
- Vérifier la conformité de l'exploitation et identifier les causes de non-conformité des eaux, boues ou déchets ;
- Proposer et mettre en œuvre les évolutions nécessaires des procédures, méthodes, consignes et modes d'intervention.

VII.3 Mesures et contrôles à effectuer dans la station d'épuration

Pour assurer une exploitation efficace de la STEP, plusieurs mesures et contrôles doivent être réalisés régulièrement :

Mesure du débit ; Mesure du pH ; Analyse de la DCO (Demande Chimique en Oxygène) ; Analyse de la DBO₅ (Demande Biochimique en Oxygène sur 5 jours) ; Mesure de la concentration en oxygène dissous ; Recherche de substances toxiques ; Contrôle des caractéristiques des boues.

Le réglage optimal de la station repose principalement sur :

Le taux de recirculation des boues ; Le taux d'aération ; La proportion de boues en excès.

Pour ces réglages, il est nécessaire de connaître :

La teneur en oxygène du bassin d'aération ; Le pourcentage de boues dans le bassin d'aération ; La teneur en Matières Volatiles en Suspension (MVS) dans le bassin d'aération.

VII.4 Surveillance du fonctionnement

VII.4.1 Contrôles quotidiens

Les observations quotidiennes permettent d'évaluer la bonne conduite de la station. Elles incluent :

Test de décantabilité et mesure de la turbidité ;Contrôle des odeurs ;Observation de la couleur des boues ;

Détection d'un manque d'oxygène (manifesté par une odeur désagréable et une coloration grise ou noire des boues).

VII.4.2 Contrôles périodiques

Les contrôles périodiques ont pour objectif de fournir des recommandations d'amélioration basées sur les résultats obtenus. Ils comprennent : Mesure de l'oxygène dissous dans le bassin d'aération ;Analyse des boues après 15 à 20 minutes de fonctionnement des aérateurs (décantabilité, teneur en MES et en MVS) ;Analyse ponctuelle de l'effluent épuré (sa qualité varie peu au cours d'une journée) Réalisation d'un bilan annuel complet avec diagnostic du fonctionnement de la station, incluant des prélèvements sur 24 heures pour évaluer les paramètres en fonction du débit.

VII.5 Entretien des ouvrages

VII.5.1 Prétraitements

Le bon fonctionnement des ouvrages de prétraitement est essentiel au rendement global de la station d'épuration. Des prétraitements insuffisants peuvent engendrer de graves problèmes sur les étapes en aval

VII.5.1.1 Tamis rotatif

Vérifier le sens de rotation (doit suivre les aiguilles d'une montre, selon la flèche indiquée) ;Faire fonctionner l'équipement pendant environ 1 heure et observer : fonctionnement silencieux, sans vibrations ;Contrôler et régler le fonctionnement des soupapes de lavage ;Ouvrir la soupape fermée pour brancher l'eau ;Vérifier la propreté des buses et nettoyer si nécessaire.

VII.5.2 Traitement primaire

VII.5.2.1 Flotteur

Vérifier la tension de la racle de boues inférieures et des chaînes du convoyeur ;Contrôler la dilution et le dosage des produits chimiques ;Nettoyer le bassin uniquement à vide ;Vérifier la quantité et la pression de l'eau de dispersion.

VII.5.3 Traitement biologique

VII.5.3.1 réacteur BRM

Surveiller quotidiennement le fonctionnement de tous les équipements et intervenir si nécessaire ;Noter les paramètres de fonctionnement (débit, oxygène) ;Mesurer et noter quotidiennement la charge DBO, DCO, MES entrante ;Mesurer la quantité de biomasse fixée sur les supports ;Vérifier le bon fonctionnement et l'entretien des pompes et moteurs ;

Système d'aération :

Documenter les contre-pressions ; Inverser le mélange à l'intérieur des bioréacteurs pendant quelques heures.

VII.6 Risques et sécurité dans la gestion d'une STEP

VII.6.1 Principaux risques

Infection ; Produits dangereux ; Danger mécanique ; Danger électrique ; Gaz ; Gaz spécifique : Hydrogène sulfuré (H_2S).

VII.6.2 Risque d'infection

Les effluents d'une station d'épuration sont riches en agents pathogènes dangereux (typhoïde, hépatite, tétanos, méningite, poliomyélite, parasitoses, leptospirose, etc.)

VII.6.3 Produits dangereux

Certaines étapes du traitement utilisent des produits chimiques dangereux (ex. chlorure ferrique, acide sulfurique, polymères) ainsi que des réactifs agressifs lors des analyses.

Travailler à proximité d'un point d'eau potable ; Lire attentivement les étiquettes

VII.6.4 Danger mécanique

Ranger correctement l'outillage ; Relever les regards après chaque intervention ; Installer des carter de protection autour des pièces en mouvement (dégrilleurs, ponts racleurs) ;

VII.6.5 Danger électrique

Les moteurs utilisés sont souvent alimentés en 400 V (triphase), ce qui augmente les risques d'électrocution.

VII.6.6 Gaz

Les gaz issus des eaux usées peuvent causer des incendies, explosions ou asphyxies.

VII.6.7 Danger lié à l'Hydrogène sulfuré (H_2S)

L' H_2S est un gaz incolore, plus lourd que l'air, à odeur d'œuf pourri, produit par la décomposition organique. Il est toxique, inflammable et peut s'accumuler dans les zones basses non ventilées.

Conclusion

La gestion et l'exploitation d'une STEP reposent sur deux piliers :

Entretien permanent des ouvrages pour maintenir de bonnes performances et prolonger la durée de vie des installations.

Respect strict des règles d'hygiène et de sécurité pour protéger la santé et la vie du personnel.

Conclusion générale :

Le traitement des eaux résiduaires a pour objectif de produire une eau épurée répondant aux normes de rejet fixées par la législation, afin qu'elle puisse être évacuée sans risque dans le milieu naturel ou réutilisée dans le cadre d'une gestion durable des ressources en eau, notamment par le recyclage. Dans ce contexte, notre travail a porté sur la conception d'une station d'épuration destinée aux eaux usées issues d'une unité de fabrication de produits d'hygiène. Ces effluents, de biodégradabilité moyenne, ont conduit à comparer deux filières de traitement : l'une équipée d'un BRM et l'autre utilisant le procédé des boues activées. Le choix s'est orienté vers la technologie BRM, qui offre un gain d'espace significatif tout en garantissant une qualité de traitement satisfaisante.

Cependant, la construction d'une station d'épuration ne suffit pas à assurer son efficacité sur le long terme. Une gestion rigoureuse est essentielle pour maintenir des performances épuratoires optimales. Cela implique un entretien régulier des ouvrages, un contrôle quotidien des équipements et des paramètres de qualité des eaux à traiter. La réussite de cette mission repose sur la présence permanente d'un personnel compétent et vigilant, capable d'assurer le bon déroulement des différentes étapes du traitement. Par ailleurs, il est indispensable de garantir la sécurité de ce personnel, qui est constamment exposé à divers risques.

Références bibliographiques :

- [1] TONIC INDUSTRIE. Réhabilitation et exploitation de la station d'épuration des eaux usées industrielles de l'EPE TONIC INDUSTRIE SPA. Bou Ismaïl : TONIC INDUSTRIE, 2011. Rapport interne
- [2] Seminar on Advanced Bio- and Mineral Based Natural Fibre Composites (SBMC 2021). Actes du séminaire, 2021.
- [3] Confederation of European Paper Industries. History of pulp and paper.
- [4] Confederation of European Paper Industries. Pulp and paper industry – Definitions and concepts.
- [5] Commission Européenne. Document de référence sur les meilleures techniques disponibles – Industrie papetière. Luxembourg : Office des publications officielles des Communautés européennes, décembre 2001.
- [6] Chandra, S. Effluent minimization – a little water goes a long way. Tappi Journal, 1997, vol. 80, n° 12, p. 37–42.
- [9] Les fabriques de pâtes et papiers au Québec – Procédés, rejets et réglementation. Québec : Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs.
- [10] Boromond. Pulp and paper industry wastewater treatment solution.
- [11] Commission Européenne. BREF – Pulp & Paper. Luxembourg : Office des publications de l'Union européenne, 2015.
- [12] SARDAR, Latif Ahmad et KHAN, Asif Jamal. Industrial Wastewater Management: A Guide to Effluent Treatment in Pulp and Paper Industry. New Delhi : Springer India, 2018.
- [13] MURRAY, A. L. and PARSONS, S. A. Characterisation of wastewaters from the paper industry for process improvement and water reuse. Water and Environment Journal, 2004
- [14] ZARROUK, Mourad et ELOMARI, Chaimae. Transformation d'une station d'épuration type lagunage aéré en lits bactériens ou boues activées : cas de la station de Tamesna (Maroc occidental). Thèse de doctorat. 2020.
- [15] LIBES, Y. Les eaux usées et leur épuration. Nancy-Metz : Académie de Nancy-Metz, 2010.
- [16] PRONOST, Joseph, PRONOST, R., DEPLAT, L., MALRIEU, J. et BERLAND, J.-M. Stations d'épuration : dispositions constructives pour améliorer leur fonctionnement et faciliter leur exploitation. Guide technique FNDAE, no 22, 2002.
- [17] SADOWSKI, A.G. Traitement des eaux usées urbaines. Cours ENGEES, tome 3, 2002, p. 429–524.
- [18] BOURRIER, Régis, SATIN, Marc et SELMI, Béchir. Guide technique de l'assainissement. Paris : Éditions Le Moniteur, 2010.

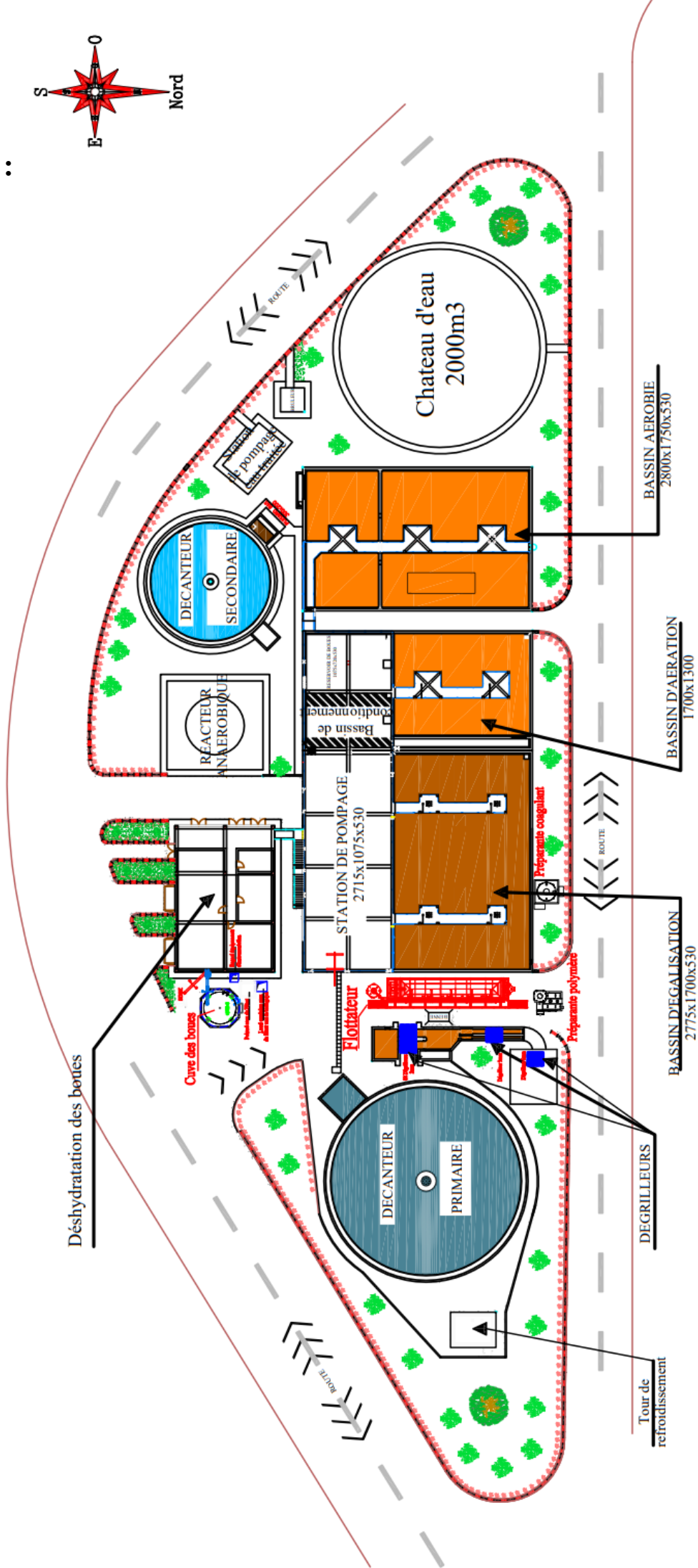
- [19] DEGREMONT, S. Mémento technique de l'eau. Paris : Lavoisier, 2005. Techniques et documentation. ISBN 9782743007171.
- [20] BOEGLIN, Jean-Claude. Traitements biologiques des eaux résiduaires. Paris : Techniques de l'ingénieur, 1998.
- EL HAITÉ, Hakima. Traitement des eaux usées par les réservoirs opérationnels et réutilisation pour l'irrigation. Thèse de doctorat. École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne, 2010.
- [21] VANDERMEERSCH, S. Étude comparative de l'efficacité des traitements d'épuration des eaux usées pour l'élimination des micro-organismes pathogènes. Diplôme d'études spécialisées en gestion de l'environnement. Bruxelles : IGEAT, Université Libre de Bruxelles, 2006.
- [22] BOEGLIN, Jean-Claude. Traitements biologiques des eaux résiduaires. Paris : Techniques de l'ingénieur, 1998.
- [23] DHAOUADI, Hatem. Traitement des eaux usées urbaines : les procédés biologiques d'épuration. Tunis : Université Virtuelle de Tunis, 2008.
- [24] GAID, Abdelkader. Traitement des eaux usées urbaines. Techniques de l'ingénieur. Technologies de l'eau, tome 1, no C5220, 1999.
- [25] THÉVENOT, D. Eaux usées : traitement. Présentation PowerPoint. 2005.
- [26] BAUMONT, Samuel, Jean-Philippe, LEFRANC, Agnès, FRANCONI, Antoine. Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Paris : ORS Île-de-France, Institut d'aménagement et d'urbanisme d'Île-de-France, 2014.
- [27] GAÏD, A. Traitement des eaux usées urbaines. Paris : Éditions Techniques de l'ingénieur, 1993. No C5220.
- [28] DJILLALI, Youcef. Évaluation expérimentale de la qualité et de la quantité des cultures maraîchères et arboricoles irriguées par les eaux usées traitées. Thèse de doctorat. 2020.
- [32] ZHANG, Harry X. Water Sustainability. Cham : Springer Nature, 2023.
- [33] ECKENFELDER, William Wesley et VANDEVENNE, L. Gestion des eaux usées urbaines et industrielles : caractérisation, techniques d'épuration, aspects économiques. Paris : Technique et Documentation Lavoisier, 1982.
- [34] BOUMALEK, Walid. Études des possibilités de valorisation agricole des sous-produits d'épuration et l'amélioration de la gestion des processus épuratoires d'une station d'épuration. Thèse de doctorat. 2020.
- [35] THOMAZEAU, Robert. Stations d'épuration : eaux potables, eaux usées : précis théorique et technologique. Paris : Technique et Documentation, 1981.
- [36] : Frechen F-B, Schier W & Wett M (2006) Pre-treatment of municipal MBR applications in Germany–Current status and treatment efficiency| Water Practice & Technolog.

- [37] GRONDIN, Pierre-Marie. *Eau et développement durable*. 1998.
- [38] ASANO, Takashi. *Wastewater reclamation and reuse*. Water Quality Management Library, t. 10. Boca Raton : CRC Press, 1998.
- [39] METAHRI, Mohammed Saïd. *Élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes : cas de la STEP est de la ville de Tizi Ouzou*. Thèse de doctorat. Tizi Ouzou : Université Mouloud Mammeri, 2012.
- [40] BOUATIA, Hamssa Djeddi et RAHMOUNE, Chaabane. *Utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines*. Thèse de doctorat. [s.l.] : Université Frères Mentouri-Constantine 1, [s.d.].
- [41] GOMELLA, Cyril et GUERRÉE, Henri. *Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales : le traitement*. Paris : Eyrolles, 1978.
- [42] BAUMONT, Samuel, Jean-Philippe, LEFRANC, Agnès, FRANCONI, Antoine. *Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France*. Paris : ORS Île-de-France, Institut d'aménagement et d'urbanisme d'Île-de-France, 2014.
- [43] RAMADE, François et PAPIGNY, A.G. *Dictionnaire encyclopédique des pollutions : les polluants, de l'environnement à l'homme*. Paris : Ediscience international, 2000.
- [44] BOUMALEK, Walid. *Études des possibilités de valorisation agricole des sous-produits d'épuration et l'amélioration de la gestion des processus épuratoires d'une station d'épuration*. Thèse de doctorat. 2020.
- [45] LEVINE, Audrey D., TCHOBANOGLOUS, George et ASANO, Takashi. Characterization of the size distribution of contaminants in wastewater: treatment and reuse implications. *Water Pollution Control Federation*, 1985, p. 805–816.
- [46] METCALF & EDDY, Inc., ASANO, Takashi, BURTON, Franklin L., LEVERENZ, Harold, TSUCHIHASHI, Ryujiro et TCHOBANOGLOUS, George. *Water reuse*. New York : McGraw-Hill Professional Publishing, 2007.
- [47] CAPODAGLIO, Andrea G. Fit-for-purpose urban wastewater reuse: Analysis of issues and available technologies for sustainable multiple barrier approaches. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2021
- [48] RAHMAN, Dharma et MAHESHWARI, Basant. Bayesian Belief Network analysis of soil salinity in a peri-urban agricultural field irrigated with recycled water. *Agricultural Water Management*, 2016,
- [49] RAHMAN, Muhammad Muhit, HAGARE, Dharma, MAHESHWARI, Basant et DILLON, Peter. Continuous real-time monitoring of salt accumulation in the soil due to recycled water irrigation. *Water : Journal of the Australian Water Association*, 2014,
- [50] RAHMAN MAHESHWARI. Impacts of prolonged drought on salt accumulation in the root zone due to recycled water irrigation. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2015, vol. 226,

- [51] MAHESHWARI, Basant, SINGH, Vijay P. et THORADENIYA, Bhadranie. *Balanced urban development : options and strategies for liveable cities*. Cham : Springer Nature, 2016.
- [52] EXALL, Kirsten. A review of water reuse and recycling, with reference to Canadian practice and potential: 2. Applications. *Water Quality Research Journal*, 2004, vol. 39
- [53] Sabri, MRAD. Wastewater Reclamation and Reuse Trends in Algeria: Opportunities and Challenges. In : *Doklady Earth Sciences*, 2023, vol. 511, no 2, p. 753–760. Springer.
- [54] HAMICHE, Ait Mimoune, STAMBOULI, Amine Boudghene et FLAZI, Samir. A review on the water and energy sectors in Algeria: Current forecasts, scenario and sustainability issues. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, vol. 41, p. 261–276.
- [55] ALGÉRIE. *Journal officiel de la République Algérienne*, no 60, 2005, p. 3–18.
- [56] ALGÉRIE. *Journal officiel de la République Algérienne*, no 41, 2012, p. 1–27.
- [57] LAZAROVA, V. Rôle de la réutilisation des eaux usées pour la gestion intégrée. 1998.
- [58] : Journal officiel de la république algérienne N°26, 23 avril 2006.
- [59]: Riffat -rumana- husnain; fundamentals of waste water treatment and engineering; 2022
- [60] : G. Kroonen, R. Cahay, A. Cornélis, V. Collignon, B. Leyh et R. Wuytack, Les acides et les bases en solution aqueuse, Groupe Transition, Université de Liège, 2000.
- [61] Abdelkader GAID, épuration biologique des eaux usées urbaines, tome 1. OPU, 2003.
- [62] Abid et Zohri, Etude comparative entre le traitement physico-chimique, des rejets de textile par un bio floculant et le traitement au niveau d'une station de pré-traitement au sein d'une unité industrielle de textile, Revue des Energies Renouvelables Vol. 21 N°2 (2018)
- [63] Ghofrane , Étude de différentes approches visant la réduction des Polluants de rejets
- [64] CANLER Jean-Pierre et PRRET Jean-Marc, 2012.
- [65] LE MOINE, Manuel; Recommandations pour le calcul aux états-limites des ouvrages en site aquatique : ROSA 2000. Revue française de génie civil. 2003
- [66] Mémento Technique de l'Eau", 10e édition, TEC & DOC, chapitre sur les pertes de charge
- [67] dimensionnement mécanique de tuyaux, Rapport du Centre d'Études et de Recherches de l'Industrie du Béton 2017

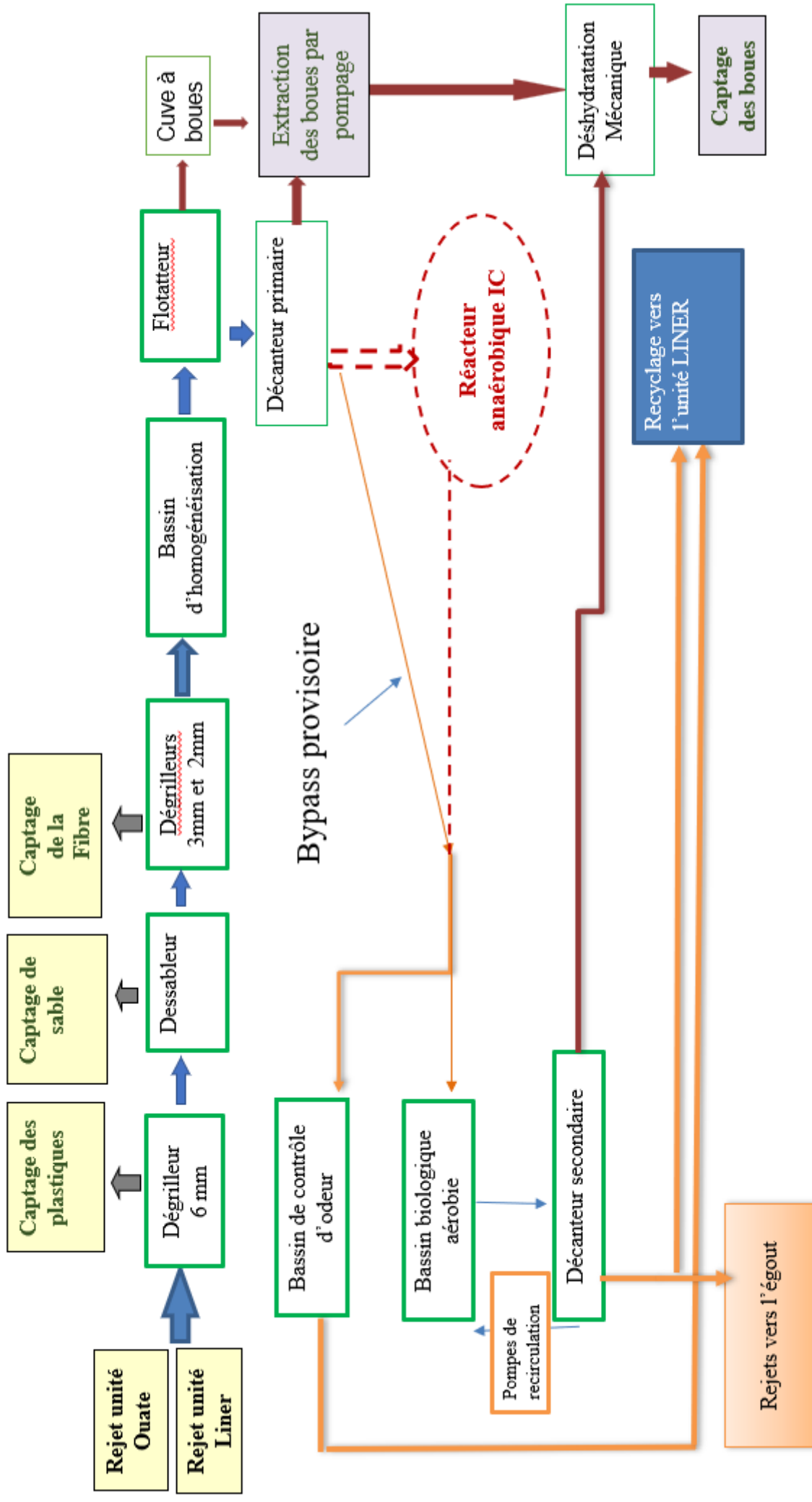
Annexes :

**PLAN D'AMENAGEMENT DE LA STATION D'EPURATION
EPE TONIC INDUSTRIE**



Station d'Épuration de l'EPE TONIC INDUSTRIE

Procédé du traitement



--- Travaux en cours projet