

المدرسة الوطنية العليا للري Higher National School of Hydraulic

المكتبة The Library

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري Digital Repository of ENSH



The title (العنوان):

Conception d'une unité de traitement des eaux usées industrielles d'une conserverie de thon (Tuna Star) w.Béjaia la commune D'oued Ghir.

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 3-0002-22

APA Citation (APA توثيق):

Hocini, Aimen Abdennour (2022). Conception d'une unité de traitement des eaux usées industrielles d'une conserverie de thon TUNA STAR (w.Béjaia) la commune d'oued Ghir. [Mémoires d'ingénieur, ENSH].

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open DSpace software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics. <http://dspace.ensh.dz/jspui/>

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بتقييم لإنتاج لأساتذة باحثي المدرسة

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (طروحات، مطبوعات، مبداعات، مقالات، دوريات، كتب...) و بثه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة DSpace و يتم إدارته من طرف مديرية المكتبة للمدرسة العليا .

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option: Réutilisation Des Eaux Non Conventionnelles

THEME :

Conception d'une unité de traitement des eaux usées industrielles
d'une conserverie de thon (TUNA STAR) W.Béjaïa la commune
D'OUED GHIR

Présenté par :

HOCINI Aimen Abdenmour

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
KAHLERRAS Djilali	M.C.A	Président
KHALED HOULI Samia	M.A.A	Examineur
BETATACHE Hayat	M.C.B	Examineur
TAFAT Leila	M.A.A	Examineur
MEDJDOUB LEULMI Sonia	M.C.B	Promotrice

Session septembre 2022

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier Dieu de m'avoir donné la volonté et la santé pour réaliser ce travail.

Je tiens à remercier mon cher père et ma mère qui ont fait les efforts les plus profonds pour réussir ce voyage scientifique, ainsi que tous les membres de ma famille.

Je tiens à remercier **BOUFERTELLA Roumaissa** et mes amis : **Tahar,Abdo,Louai,Lotfi**

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes vifs remerciements à ma promotrice **Mme LEULMI SONIA** pour ses orientations de ce travail.

Mes plus grands remerciements :

- ❖ Aux membres du jury qui me feront l'honneur d'examiner mon travail.
- ❖ Mes Enseignants de l'ENSH pour leurs contributions à ma formation d'ingénieur d'état en hydraulique.
- ❖ Mes amis à l'école chacun avec son nom

عملنا الحالي يقتضي إقامة محطة تطهير المياه المستعملة من طرف شركة تعليب الأسماك تونة ستار بمدينة واد غير ولاية بجاية. وهذا بهدف المحافظة على الوسط الطبيعي و الصحة العمومية وأيضاً من أجل إعادة استعمال هذه المياه في سقي الأراضي الفلاحية.

Résumé

Notre présent travail consiste à dimensionner une station d'épuration des eaux usées industrielles d'une usine de conserves thon & Sardines : TUNA STAR de la ville d'OUED GHIR Wilaya de BEJAIA. Et cela dans le but de préserver le milieu naturel et protéger la santé publique en premier lieu et en deuxième lieu en vue de réutiliser ces eaux épurées dans l'irrigation

Abstract

This work consists in sizing a wastewater treatment plant of the tuna canning plant, in OUED GHIR (W.BEJAIA). The main objective is to preserve the natural environment and protect public health in the first place, and in the second place to reuse this purified water in irrigation.

Contents

Introduction générale :	1
Chapitre I : Présentation de la zone d'étude.....	3
I.1 Introduction	3
I.2 Présentation de la zone d'étude	3
I.2.1 Situation géographique	3
I.2.2 Hydrographie :	3
I.2.3 Température :	3
I.3 Fabrication du thon.....	3
I.3.1 Réception de poissons :	3
I.3.2 Décongélation :	4
I.3.3 Éviscération et lavage	4
I.3.4 Cuisson.....	4
I.3.5 Nettoyage	4
I.3.6 Mise en boîte.....	4
I.3.7 Sertissage	4
I.4 Les différents types des effluents de l'usine :	4
I.4.1 Effluents avec charge organique :	5
I.4.2 Effluents avec une charge de pollution azotée et phosphorée :	5
I.4.3 Effluents avec émulsions huileuses :	5
I.4.4 Les effluents des services généraux :	5
I.4.5 Les effluents des machines :	5
I.5 Les caractéristiques des différents effluents :	5
I.5.1 Demande biologique d'oxygène (DBO5) :	6
I.5.2 Matières en suspension (MES) :	6
I.5.3 Huiles et graisses :	6
I.5.4 Azote ammoniacal et phosphore	6
I.6 Conclusion.....	7
Chapitre II Caractéristiques des eaux usées industrielle	9
II.1 Introduction :	9
II.2 Définition des eaux usées :	9
II.3 Origine des eaux usées :	9
II.4 Les eaux résiduaires industrielles :	9
II.5 Nature de la pollution :	9
II.5.1 Pollution d'origine organique :	9

II.5.2	La pollution azotée et phosphorée :	9
II.5.3	Pollution microbiologique :	10
II.5.4	Pollution toxique :	10
II.6	Les paramètres de pollutions :	10
II.6.1	Les paramètres chimiques :	10
II.6.2	Paramètre physique :	13
II.6.3	Paramètres Organoleptiques :	14
II.7	Les normes de rejets	15
	Conclusion	17
Chapitre III	Les procédés dépuración	18
	Introduction	18
III.1	Choix de procédé de traitement	18
III.2	Les différentes étapes du traitement des eaux usées	19
III.2.1	Les prétraitements	19
III.2.2	Le traitement primaire	21
III.2.3	Le traitement biologique (secondaire)	24
III.2.4	Traitement tertiaire	29
	Conclusion	31
Chapitre IV	Conception et dimensionnement des ouvrages	32
	Introduction	32
IV.1	Résultats des analyses	32
IV.1.1	Biodégradabilité	33
IV.2	Calcul de base pour le dimensionnement	33
IV.2.1	Calcul du débit de rejet industriel	33
IV.2.2	La charge de totale de DBO5	33
IV.2.3	La charge totale de DCO	33
IV.2.4	La charge moyenne journalière en MES	34
IV.3	Dimensionnement des ouvrages de la station	34
IV.3.1	Le prétraitement	34
IV.3.2	Le traitement physico – chimique	40
IV.3.3	Le traitement biologique	44
IV.4	La désinfection:	49
IV.5	Traitement des boues:	49
IV.5.1	Les objectifs du traitement sont	49
IV.5.2	Quantification des boues	49

IV.5.3	L'épaisseur.....	50
IV.5.4	Déshydratation naturelle (séchage).....	51
IV.6	Evaluation des charges après traitement.....	52
	Conclusion	53
Chapitre 05 :	54
Calcul hydraulique	54
Chapitre V	Calcul hydraulique	55
	Introduction:.....	55
V.1	Relevage	55
V.1.1	Conduite de refoulement.....	55
V.1.2	Dimensionnement de la conduite.....	55
V.1.3	Calculs des cotes piézométriques des différents ouvrages.....	57
	Conclusion	62
Chapitre VI	Gestion et entretien de la station	61
	Introduction.....	61
VI.1	La gestion de la station d'épuration.....	61
VI.1.1	Les objectifs de la gestion de la STEP.....	61
VI.1.2	Le chef d'exploitation de la station d'épuration	61
VI.1.3	Moyens et techniques d'exploitation de la station d'épuration.....	61
VI.2	L'entretien et le suivi des équipements de la station d'épuration.....	62
VI.3	Les avantages et les inconvénients de la station d'épuration	64
VI.4	Hygiène et sécurité	64
VI.4.1	Les risques.....	64
	Conclusion	65
Chapitre VII	Aspect économique	66
	Introduction.....	66
VII.1	Coût d'investissement.....	66
VII.1.1	Coût de terrassement	66
VII.1.2	Coût du béton armé	67
VII.1.3	Coût total du génie civil	68
VII.1.4	Coût des VRD	68
VII.1.5	Coût des équipements électromécaniques et électriques et des installations hydromécaniques	68
VII.1.6	Coût total des investissements de la station	68
VII.2	Coût de fonctionnement.....	68

VII.2.1	Le coût de main d'œuvre.....	68
VII.2.2	Le coût de renouvellement du matériel électromécanique.....	68
VII.2.3	Le coût des frais financiers.....	69
VII.2.4	Le coût de fonctionnement total.....	69
VII.3	Cost du projet d'une somme égale.....	69
	Conclusion.....	69
	Conclusion générale.....	70

Liste des tableaux :

Tableau I-1 la valeur des différentes caractéristiques des effluents de rejets	7
Tableau II-1 coefficient de biodégradabilité	11
Tableau II-2 les normes de rejet.....	16
Tableau IV-1 résultats des analyses effectuées	32
Tableau IV-2 Les caractéristiques dimensionnelles des grilles	35
Tableau IV-3 les valeurs de β	36
Tableau IV-4 les résultats de dimensionnement de dégrilleur	37
Tableau IV-5 Dimensionnement du dessableur-déshuileur	40
Tableau IV-6 les résultats de dimensionnement du bassin de floculation	43
Tableau IV-7 les résultats de dimensionnement du bassin de coagulation.....	43
Tableau IV-8 les résultats de dimensionnement du Décanteur primaire	44
Tableau IV-9 Les charges du bassin d'aération.....	45
Tableau IV-10 résultats de dimensionnement du bassin d'aération	46
Tableau IV-11 valeur des coefficients a' et b' en fonction de la charge massique.....	47
Tableau IV-12 les résultats de dimensionnement du clarificateur	48
Tableau IV-13 les concentrations après le traitement biologique.....	48
Tableau IV-14 Les résultats de dimensionnement de l'épaississeur.....	51
Tableau IV-15 Dimensionnement des lits de séchage	52
Tableau IV-16 les concentrations et Normes de rejets	53
Tableau V-1 longueurs théoriques supposées des conduites entre les ouvrages de la STEP.	56
Tableau V-2 Les résultat cote du (terrain, radier et piezometrique)	61
Tableau VI-1 Les rôles des personnes dans la STEP.....	62
Tableau VII-1 Le coût de terrassement de chaque ouvrage	67
Tableau VII-2 Le coût du béton armé de chaque ouvrage.	68

Liste des figures :

Figure I.1 : communes de la wilaya de BJAIA	3
Figure I.2 : situation de la commune OUDE GHIR et industriel TUNA STAR	3
Figure III.1 Les étapes de traitement des eaux usées industrielles [7].....	18
Figure III.2 Procédés d'épuration des eaux usées industrielles	19
Figure III.3 Déssableur	20
Figure III.4 Coagulation-Floculation	24
Figure III.5 Bassin d'aération	25
Figure III.6 Procédé d'épuration par boues activées.....	26
Figure III.7 Les mécanismes mis en jeu dans le lagunage naturel.....	27
Figure III.8 Lagunage aéré.....	28
Figure III.9 lit bactérien	28
Figure III.10 Chaîne de traitement avec un lit bactérien.....	29
Figure III.11 Étape de dégradation biologique de l'azote.....	30

Liste des planches

Planche 1 : Vue en plan de la station.

Planche 2 : Profil hydraulique.

Planche 3 : Ouvrages de la station.

Introduction générale

Introduction générale :

L'eau, cette source de vie, constitue l'une des ressources naturelles les plus sensibles à la pollution, elle demeure largement gaspillée et polluée à l'échelle planétaire, peu à peu, elle se raréfie et sa qualité diminue.

L'industrie alimentaire génère chaque année plusieurs milliers de tonnes de matières résiduelles dont l'impact n'est pas minime sur l'environnement. La transformation industrielle des aliments nécessite une énorme quantité d'eau et qui génère des eaux usées très polluées. La maîtrise du traitement des eaux usées issues des activités des entreprises dans le secteur agroalimentaire constitue un enjeu majeur. En effet, plusieurs lois et règlements mettent la pression sur les entreprises afin de les obliger à traiter leurs eaux usées huileuses et riches en matières organiques issues de leurs différentes activités.

Les eaux usées qu'elles soient industrielles ou ménagères ne devraient pas être directement rejetées dans le milieu naturel, car elles peuvent engendrer de graves problèmes environnementaux et de santé publique. Le traitement ou l'épuration des eaux usées a donc pour objectif de réduire la charge polluante qu'elles véhiculent. Par conséquent elles devraient être dirigées vers des stations d'épuration dont le rôle est de concentrer la pollution contenue dans les eaux usées sous forme d'un petit volume d'un résidu, les boues, et de rejeter une eau épurée répondant à des normes bien précises, et cela grâce à des procédés physico-chimiques ou biologiques.

L'objectif de ce travail est de proposer un traitement adéquat aux eaux usées résiduelles de l'usine TUNA STAR– Bejaïa – afin de ramener les charges des polluants aux normes de rejets et de pouvoir réutiliser une partie de cette ressource précieuse qui est l'eau en certains procédés

Pour cela nous avons mis un plan de travail comme suit :

- Introduction générale.
- Chapitre I: présentation de la zone d'étude.
- Chapitre II : généralités sur les eaux usées.
- Chapitre III : les techniques d'épuration des eaux usées.
- Chapitre IV : dimensionnement de la station d'épuration.
- Chapitre V : dimensionnement des stations de relevage.
- Chapitre VI : calcul hydraulique.
- Conclusion générale.

Chapitre 01 :

Présentation de la

zone d'étude

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

I.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons la ville d'OUED GHIR Wilaya de BEJAIA, en expliquant sa situation géographique et climatique.

Commençons par présenter les données de base de la station :

I.2 Présentation de la zone d'étude

La wilaya de BEJAIA, dans son découpage administratif dispose de 19 Daïras et 52 communes.

I.2.1 Situation géographique

OUED GHIR est une commune située dans la daïra de BEJAIA la wilaya de BEJAIA

Les coordonnées

- Y (Latitude) : 36°42'38" nord
- X (Longitude) : 4°58'38" Est

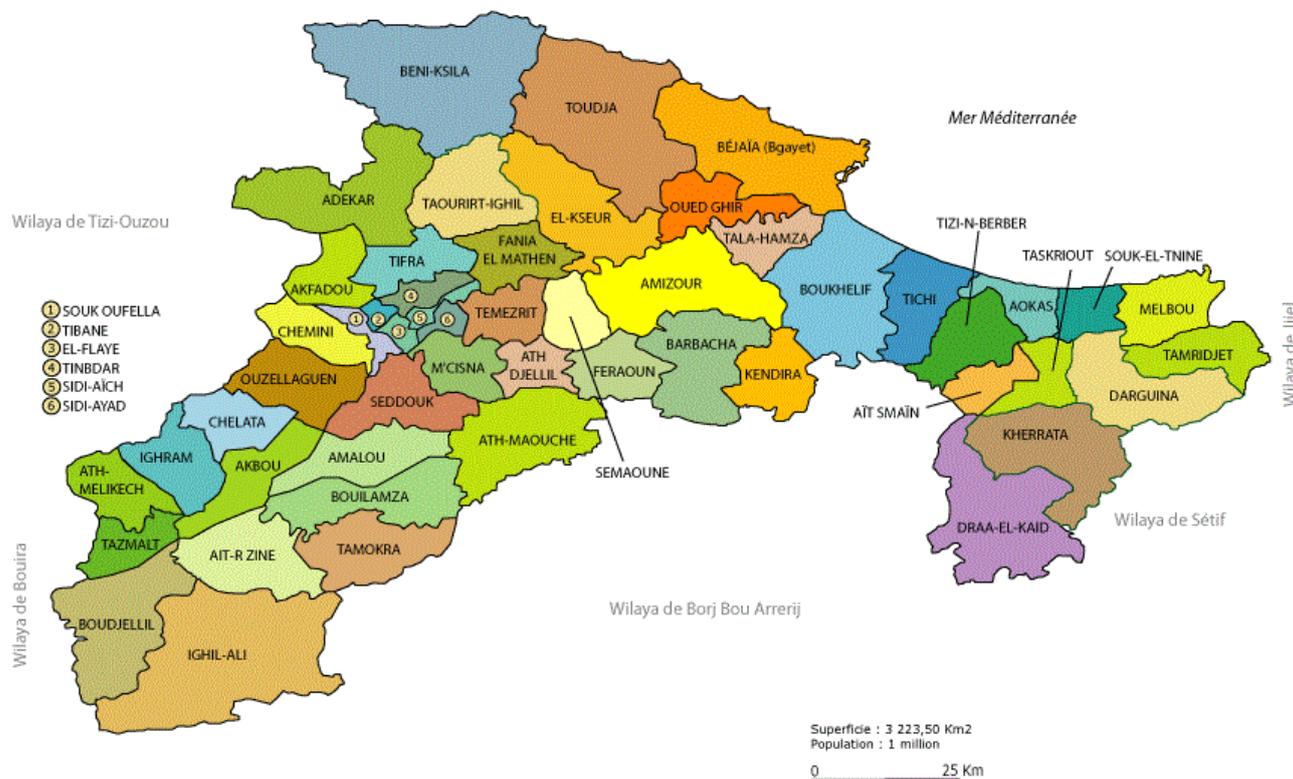


Figure I.1 : les communes de la wilaya de BJAIA

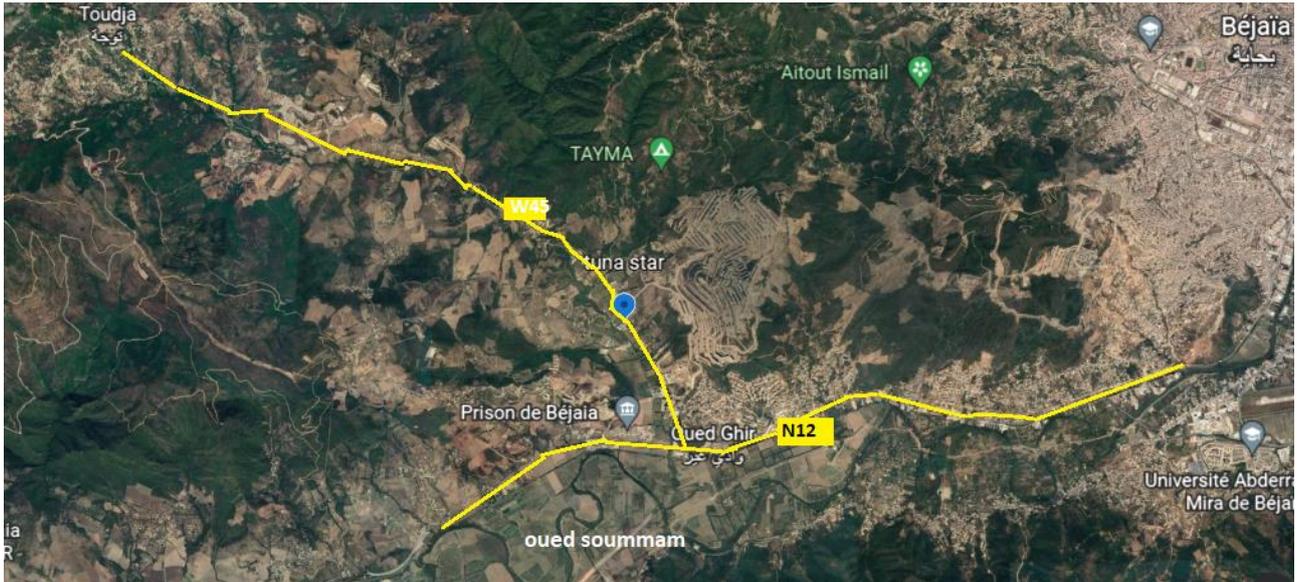


Figure I.2 : situation de la commune OUDE GHIR et industriel TUNA STAR

I.2.2 Hydrographie :

La commune est arrosée par Oued Sahel, un cours d'eau prenant sa source sur les hauteurs de Toudja, qui se jette dans la Soummam.

I.2.3 Température :

La température moyenne du mois le plus froid est de 12.1°C et celle du mois le plus Chaud est de 24.8°C. Elles correspondent respectivement au mois de janvier et d'Août.

Mois	jan.	fév.	mars	avril	mai	juin	jui.	août	sep.	oct.	nov.	déc.	année
Température minimale moyenne (°C)	7,7	7,6	8,5	10,1	13,1	16,6	19,3	20,2	18,5	15	11,2	8,4	12,9
Température moyenne (°C)	12,1	12,3	13,1	14,7	17,6	21	24	24,8	23,2	19,7	15,8	12,7	17,6
Température maximale moyenne (°C)	16,4	16,8	17,7	19,3	22	25,3	28,7	29,3	27,8	24,3	20,3	16,9	22,1
Précipitations (mm)	99,7	85,9	100,4	70,7	41,2	16,2	5,8	13	40,4	89,5	99,7	135	767,5

I.3 Fabrication du thon

I.3.1 Réception de poissons :

Les poissons sont livrés aux fabriques de conserves, congelées ou frigorifiées. Des évaluations de la qualité sont exécutées pendant le déchargement qui inclut de surveiller la température, l'état des poissons et de rassembler des échantillons pour l'analyse d'histamine et de sel. Les lots jugés non conformes sont rejetés.

I.3.2 Décongélation :

La décongélation doit amener le produit à une température susceptible de faciliter les diverses opérations de préparation. C'est une opération délicate qui consiste à faire absorber au poisson l'énergie nécessaire à la fusion plus moins complète de la glace renfermée dans sa masse.

I.3.3 Éviscération et lavage

Les viscères sont enlevés et chaque poisson est évalué par le personnel qualifié pour déterminer les caractéristiques physiques liées à la décomposition ou à la contamination. N'importe quel poisson montrant des caractéristiques inacceptables est rejeté.

I.3.4 Cuisson

Les poissons sélectionnés sont placés sur des supports et transférés à de grands fours où ils sont cuits suffisamment pour faciliter leur nettoyage

I.3.5 Nettoyage

Chaque poisson est manuellement nettoyé et inspecté pour assurer les attributs de qualité. Le nettoyage consiste à enlever la tête, la queue, la peau, les os et la chair foncée dans le cas du thon, connue sous le nom de viande rouge.

I.3.6 Mise en boîte

L'échine nettoyée de thon est introduite dans des machines de remplissage où des quantités prescrites de poissons sont placées dans des conserves. Par l'intermédiaire d'un système séparé, des conserves vides sont transportés aux machines de remplissage ayant été ensuite inversées et rincées avec des gicleurs d'air et/ou des jets d'eau.

I.3.7 Sertissage

Les conserves remplies sont transportées vers les machines de cachetage où des couvercles sont mis en place, hermétiquement et scellées. Sur chaque conserve est apposé avec un code permanent de production qui identifie l'usine, le produit, la date d'emballage, le groupe et toute autre information convenable. L'intégrité du joint hermétique est évaluée fréquemment pendant le traitement pour assurer la sécurité du produit.

I.4 Les différents types des effluents de l'usine :

Généralement, les processus de production utilisent de l'eau pour de nombreux objectifs: incorporation au produit final, lavage d'appareils, nettoyage des installations, réfrigération... etc. Par conséquent, on obtient un effluent liquide pollué qui doit être traité avant d'être rejeté tout en

respectant les normes à caractère environnementale ou être réutilisé. La composition de l'effluent et le profil de sa production décideront de la sélection des différentes solutions qui peuvent s'avérer être efficaces et viables. Cinq grandes catégories de rejet peuvent être distinguées dans l'industrie du thon.

I.4.1 Effluents avec charge organique :

Les eaux usées industrielles de la conserverie de thon contiennent des quantités de matière organiques variables sous forme de protéines, hydrocarbonates, huiles et graisses...etc.

I.4.2 Effluents avec une charge de pollution azotée et phosphorée :

Les activités industrielles de mise en conserve du thon peuvent être une source pollution en azote et phosphore. Ces éléments sont à l'origine du phénomène de l'eutrophisation, c'est-à-dire du développement et de la propagation excessive d'algues et de plancton dans des récepteurs naturels tels que les lacs et les rivières.

I.4.3 Effluents avec émulsions huileuses :

Les graisses sont parmi les substances organiques les plus persistantes car elles ne sont pas facilement dégradées par les bactéries, Dans le cas d'une conserverie de thon, les huiles et les graisses sont produites en les ajoutant au thon ou à partir de machines ou bien par le nettoyage du thon lui-même. Dans tous les cas, les huiles et graisses doivent être éliminée avant le traitement biologique, sinon il y aura un blocage dans les conduites de circulation d'eau.

I.4.4 Les effluents des services généraux :

Ce sont essentiellement les eaux usées de l'usine issues des sanitaires et du réfectoire, et qui présentent des caractéristiques similaires aux eaux usées urbaines classiques.

I.4.5 Les effluents des machines :

Ce sont les fluides qui découlent des cuves et tuyauteries comme les eaux de vannes, les eaux de chaufferie comme les purges de chaudière ou de réfrigération, ou encore les boues du traitement des eaux d'appoint.

I.5 Les caractéristiques des différents effluents :

La composition des eaux usées est extrêmement variable en fonction de leur origine (industrielle, domestique, etc.). Elles peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes. En fonction de leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et du danger sanitaire qu'elles représentent.

Donc leur caractérisation se fait en se reflétant à quelques paramètres tels que :

I.5.1 Demande biologique d'oxygène (DBO5) :

Les effluents de conserverie de thon représentent l'un des principaux apports de matières organiques. Ils sont composés d'une fraction soluble, responsable de la haute teneur en demande d'oxygène, et de matières en suspension.

I.5.2 Matières en suspension (MES) :

Attribuables aux fortes concentrations de lipides et de protéines contenues dans les eaux usées. Les fortes concentrations en MES peuvent s'accumuler à la surface des sédiments et engendrer une dégradation permanente du milieu ambiant, provoquant une modification de la faune benthique et des détériorations visuelles et olfactives.

I.5.3 Huiles et graisses :

Les concentrations d'huiles et de graisses dans les eaux usées des proviennent du processus de dépeçage et dans générer lors de la mise en conserve du poisson et au cours des opérations de transformation de thon. Le rejet direct d'huiles et de graisses entraîne principalement une augmentation de la demande biochimique en oxygène.

I.5.4 Azote ammoniacal et phosphore

Les fortes teneurs d'azote retrouvées dans les effluents sont causées par le contenu élevé de sang et de protéines dans le flot des résidus liquides, et par le limon et les agents de désinfection utilisés. Sous sa forme dissoute et non ionisée, l'azote ammoniacal est toxique et peut provoquer un enrichissement nutritif qui cause l'eutrophisation. L'apport en phosphore est également associé au processus d'eutrophisation et engendre des effets délétères sur le milieu aquatique.

Paramètres	Unité	Résultats
Débit journalier	m ³ /j	256
MES	mg/l	390
DCO	mg/l	1950
DBO5	mg/l	1008
Température	°C	22
Ph	-	6.5
Magnésium	mg/l	45
Azote total	mg/l	46

Tableau I-1 la valeur des différentes caractéristiques des effluents de rejets

I.6 Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté la localisation géographique de l'usine concernée par notre étude, et on a détaillé les différentes étapes de la chaîne de fabrication de l'usine de conserverie de thon qui a ensuite permis de bien caractériser la qualité des différents effluents de rejet d'eau qui sont très chargé en matières organiques.

Chapitre 02:
Caractéristiques des
eaux uses industrielle

Chapitre II Caractéristiques des eaux usées industrielle

II.1 Introduction :

Depuis toujours, l'eau est indissociable de l'activité humaine. La révolution industrielle du 19ème siècle, en valorisant la vapeur d'eau, a permis le développement de la capacité de production : L'eau est devenue une matière indispensable au fonctionnement des usines. Parallèlement à cette situation, les phénomènes qui contribuent à la dégradation de la qualité de l'eau et par suite à la perturbation de tout l'écosystème se multiplient et s'intensifient. Le rejet des eaux usées chargées en substances polluantes, dans le milieu récepteur sans aucun traitement préalable est un motif de préoccupation croissant compte tenu des effets indésirables qu'elles peuvent engendrer sur l'environnement et sur la santé. Les rejets liquides de l'industrie de transformation des produits de la mer sont un vecteur majeur de pollution et de dégradation de la qualité d'eaux.

II.2 Définition des eaux usées :

Les eaux usées sont les eaux résiduelles d'une industrie ou d'une communauté, qui sont destinées à être rejetées après usage. Elles sont des eaux ayant perdu, par leur utilisation industrielle ou domestique, leur pureté initiale, et qui sont devenues impropres à d'autres utilisations de qualité. Les eaux usées, étant polluées par l'usage qui en a été fait, ne doivent pas être rejetées en masse dans le milieu naturel avant d'avoir été traitées en vue de l'élimination des polluants indésirables par passage dans une station d'épuration.

II.3 Origine des eaux usées :

D'après RODIER et al (2005), On peut classer comme eaux usées, les eaux d'origine urbaines constituées par des eaux ménagères (lavage corporel et du linge, lavage des locaux, eaux de cuisine) et les eaux vannes chargées de fèces et d'urines ; toute cette masse d'effluents est plus ou moins diluée par les eaux de lavage de la voirie et les eaux pluviales. Peuvent s'y ajouter suivant les cas les eaux d'origine industrielle et agricole. L'eau, ainsi collectée dans un réseau d'égout, apparaît comme un liquide trouble, généralement grisâtre, contenant des matières en suspension d'origine minérale et organique à des teneurs extrêmement variables. En plus des eaux de pluies, les eaux résiduelles urbaines sont principalement d'origine domestique mais peuvent contenir des eaux résiduelles d'origine industrielle d'extrême diversité. Donc les eaux résiduelles urbaines (ERU) sont constituées par :

- Des eaux résiduelles ou eaux usées d'origine domestique, industrielle et/ou agricole
- Des eaux pluviales ou de ruissellement urbain

II.4 Les eaux résiduaires industrielles :

Les caractéristiques des eaux usées industrielles subissent des grandes variations, elles dépendent à une multitude de paramètres type de l'industrie, production, nettoyage,..., les différentes étapes du procédé industriel, l'état de l'appareil,... Par ailleurs, il existe des caractéristiques communes entre les effluents de la même industrie. En terme de volume et type de polluants, les effluents industriels présentent le plus souvent une charge importante et un risque de dysfonctionnement structurel et fonctionnel des réseaux d'assainissement et des dispositifs de traitement des eaux usées. Ces risques sont d'autant plus grands que les industries sont localisées en amont du réseau d'assainissement. Les principaux polluants transitant dans les eaux usées d'origine industrielle sont :

II.5 Nature de la pollution :

Les principaux polluants transitant dans les eaux usées d'origine industrielle sont

- Pollution d'origine organique.
- Pollution d'origine microbiologique.
- La pollution azotée et phosphorée.
- Pollution toxique.

II.5.1 Pollution d'origine organique :

Les rejets contenant des substances organiques sont à l'origine d'une consommation de l'oxygène présent dans le milieu récepteur et peuvent, s'ils sont trop abondants, entraîner la mortalité des poissons par asphyxie. La pollution organique présente également un impact sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

II.5.2 La pollution azotée et phosphorée :

Une augmentation de la pollution azotée entraîne, d'une manière générale, une croissance excessive des algues et plantes dans le milieu récepteur et une consommation supplémentaire de l'oxygène dissous, d'où une dégradation du milieu aquatique (phénomène d'eutrophisation). Elle a également un impact sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

Elle provient presque exclusivement en Bretagne du secteur agricole (les rejets industriels représentant 1% des nitrates). Le phosphore est lui aussi l'un des facteurs de la prolifération d'algues.

II.5.3 Pollution microbiologique :

Elle correspond à la présence dans l'eau de germes pathogènes pour l'homme ou pour la faune aquatique. Elle provient en général de rejets directs d'effluents contaminés non traités : eaux usées domestiques, ou déjections animales (lisier par exemple). Pour les zones les plus sensibles (notamment zones de ramassage de coquillages), un traitement spécifique des effluents est nécessaire.

Ces différentes pollutions peuvent être liées : une pollution azotée ou phosphorée entraîne une pollution organique par eutrophisation, ce qui génère des particules organiques et peut être toxique.

II.5.4 Pollution toxique :

Certaines substances présentes dans les rejets industriels peuvent, même à dose infinitésimale, être dangereuses pour le milieu aquatique et pour l'homme (en cas de baignade ou d'ingestion). Les pollutions toxiques peuvent être classées en deux groupes suivant leur origine : les produits d'origine minérale, tels que les métaux ou métalloïdes (mercure, cadmium, plomb, arsenic...) ; les produits d'origine organique (produits de synthèse, dérivés nitrés...).

II.6 Les paramètres de pollutions :

La pollution des eaux se représente sous trois formes :

- Paramètre physique.
- Paramètre chimique.
- Paramètres Organoleptiques.

II.6.1 Les paramètres chimiques :

II.6.1.1 PH (potentiel hydrogène) :

Le pH mesure la concentration des ions H⁺ dans l'eau. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique. La valeur du pH altère la croissance et la reproduction des micro-organismes existants dans une eau, la plupart des bactéries peuvent croître dans une gamme de pH comprise entre 5 et 9, l'optimum est situé entre 6,5 et 8,5, des valeurs de pH inférieures à 5 ou supérieures à 8,5 affectent la croissance et survie des microorganismes aquatiques selon l'organisation Mondiale de la Santé (OMS).

II.6.1.2 L'Oxygène Dissous :

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il permet la vie de la faune et il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques.

La solubilité de l'oxygène dans l'eau dépend de différents facteurs, dont la température, la pression et la force ionique du milieu.

La concentration en oxygène dissous est exprimée en mg O₂ l⁻¹ (REJSEK, 2002).

II.6.1.3 Demande biochimique en oxygène (DBO₅) :

La Demande Biochimique en Oxygène (DBO) c'est la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau par le développement des micro-organismes, pendant 5 jours à 20 °C, on parle alors de la DBO₅. Elle est très utilisée pour le suivi des effluents urbains. Elle est exprimée en mg O₂/l

II.6.1.4 Demande chimique en oxygène (DCO) :

La Demande Chimique en Oxygène (DCO) c'est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique (biodégradable ou non) d'une eau à l'aide d'un oxydant, le bichromate de potassium. Ce paramètre offre une représentation plus ou moins complète des matières oxydables présente dans l'échantillon. Elle est exprimée en mg O₂/l. Généralement la DCO est 1,5 à 2 fois la DBO₅ pour les eaux usées urbaines et de 1 à 10 pour tout l'ensemble des eaux résiduaires industrielles. La relation empirique de la matière organique (MO) en fonction de la DBO₅ et la DCO est donnée par l'équation suivante : $MO = (2 DBO_5 + DCO)/3$

- Relation entre DBO₅ et DCO

Le rapport DCO/DBO₅ est utilisé comme indice de biodégradabilité des eaux usées, la biodégradabilité représente la capacité d'une substance ou son aptitude à être décomposée par les micro-organismes (bactérie, champignons.). On distingue trois cas qui sont cités dans le tableau suivant :

Tableau II-1 coefficient de biodégradabilité

Rapport : DCO/DBO₅	Biodégradabilité
1 < DCO/DBO₅ < 2	Facilement biodégradable
2 < DCO/DBO₅ < 3	Moyennement biodégradable
DCO/DBO₅ > 3	Mauvaise biodégradable

II.6.1.5 Les nitrates :

Les nitrates se trouvant naturellement dans les eaux provenant en grande partie de l'action de l'écoulement des eaux sur le sol constituant le bassin versant. Leurs concentrations naturelles ne dépassent pas 3 mg /L dans les eaux superficielles et quelques mg/L dans les eaux souterraines. La nature des zones de drainage joue donc un rôle essentiel dans leur présence et l'activité humaine accélère le processus d'enrichissement des eaux en nitrates. La teneur en nitrates est en augmentation ces dernières années, de l'ordre de 0,5 à 1 mg/l/an, voire 2 mg/l/an dans certaines régions. Cette augmentation a plusieurs origines :

Agricole : agriculture intensive avec utilisation massive d'engrais azoté ainsi que rejets d'effluents d'élevage. Cette source représente les 2/3 de l'apport en nitrates dans le milieu naturel ;

- Urbaine : rejet des eaux épurées des stations d'épuration où l'élimination de l'azote n'est pas total et qui peuvent rejeter des nitrates ou des ions ammonium qui se transformeront en nitrates dans le milieu naturel.

Cette source représente les 2/9 des apports

- Industrielle : rejet des industries minérales, en particulier de fabrication des engrais azotés. Cette source représente 1/9 des apports. (REJSEK, 2002)

II.6.1.6 L'azote :

L'azote présent dans l'eau peut avoir un caractère organique ou minéral. L'azote organique est principalement constitué par des composés tels que des protéines, des polypeptides, des acides aminés, de l'urée. Le plus souvent ces produits ne se trouvent qu'à de très faibles concentrations. Quant à l'azote minéral (ammoniacque, nitrate, nitrite), il constitue la majeure partie de l'azote total. (RODIER, 2005).

II.6.1.7 Le Phosphore :

Le phosphore peut exister dans les eaux en solution ou en suspension, à l'état minéral ou organique. Les composés phosphorés qui, sans hydrolyse ou minéralisation, répondent au test spectrophotométrique sont considérés comme étant des orthophosphates. L'hydrolyse en milieu acide fait apparaître le phosphore hydrolysable et minéralisation, le phosphore organique. Chaque fraction (phosphore en solution ou en suspension) peut être séparée analytiquement en orthophosphates, phosphore hydrolysable et phosphore organique.

Suivant les cas, la teneur en phosphates peut être exprimée en mg/L de PO₄ ou de P₂O₅
1mg/L PO₄ = 0,747 mg/L P₂O₅ = 0,326 mg/L P (RODIER;2005).

II.6.1.8 Le sulfate

La concentration en ion sulfate des eaux naturelles est très variable. Dans les terrains ne contenant pas une proportion importante de sulfates minéraux, elle peut atteindre 30 à 50 mg/L, mais ce chiffre peut être très largement dépassé (jusqu'à 300 mg/L) dans les zones contenant du gypse ou lorsque le temps de contact avec la roche est élevé. La teneur en sulfates des eaux doit être reliée aux éléments alcalins et alcalinoterreux de la minéralisation. Leur présence dans l'eau est généralement due à des rejets en provenance d'ateliers de blanchiment (laine, soie, etc.), d'usines de fabrication de cellulose (pâte à papier, etc.) et d'unités de déchloration. Sont utilisées, par ailleurs, les propriétés réductrices des sulfites dans les eaux de chaudières pour éviter la corrosion liée à la présence d'oxygène dissous ; l'injection dans le circuit se fait habituellement en continu à la concentration de 20 mg/L. Cependant un excès d'ions sulfites dans les eaux de chaudières peut avoir des effets néfastes car il abaisse le pH et peut alors développer la corrosion. En cas de rejet dans l'environnement, les sulfites se combinent à l'oxygène en donnant des sulfates. (RODIER, 2005).

II.6.1.9 L'azote ammoniacal :

Pour désigner l'azote ammoniacal, on utilise souvent le terme d'ammoniaque qui correspond aux formes ionisées (NH_4^+) et non ionisées (NH_3) de cette forme d'azote.

L'ammoniaque constitue un des maillons du cycle de l'azote. Dans son état primitif, l'ammoniac (NH_3) est un gaz soluble dans l'eau, mais, suivant les conditions de pH, il se transforme soit en un composé non combiné, soit sous forme ionisée (NH_4^+). Les réactions réversibles avec l'eau sont fonction également de la température et sont les suivantes :



II.6.2 Paramètre physique :

II.6.2.1 La température :

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels,...etc. (RODIER et AL, 2005).

II.6.2.2 Conductivité :

La mesure de la conductivité de l'eau nous permet d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau (chlorures, sulfates, calcium, sodium, magnésium...). Elle est plus importante lorsque la

température de l'eau augmente. La conductivité électrique d'une eau usée dépend essentiellement de la qualité de l'eau potable utilisée et du régime alimentaire de la population et des activités industrielles.

II.6.2.3 La matière en suspension (MES) :

Selon REJSEK (2002), la pollution particulaire est due à la présence de particules de grande taille, supérieure à 10µm, en suspension dans l'eau, et que l'on peut assimiler aux matières en suspension (MES). En fait, les matières en suspension ne sont des particules solides véritablement en suspension que dans des conditions moyenne d'écoulement des effluents correspondant à une vitesse minimale de 0,5 m/s. En fonction de la taille des particules, on distingue les matières grossières ou décantables (diamètre supérieur à 100 µm) et les matières en suspension. On peut également prendre en compte une partie des matières colloïdales, de dimension inférieure, qui constitue la limite entre la phase solide et la phase dissoute (entre 1 et 10-2 µm).

II.6.2.4 Matières volatiles en suspension (MVS) :

Elles représentent la fraction organique des matières en suspension. Elles sont mesurées par calcination à 650°C d'un échantillon dont on connaît déjà la teneur en MES. Elles constituent environ 70-80% des MES.

II.6.3 Paramètres Organoleptiques :

II.6.3.1 La Turbidité :

Selon REJSEK (2002), la turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence de matières en suspension (MES) fines, comme les argiles, les limons, les grains de silice et les microorganismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale. Les unités utilisées pour exprimer la turbidité proviennent de la normalisation ASTM (American Society for Testing Material) qui considère que les trois unités suivantes sont comparables :

Unité JTU (Jackson Turbidity Unit) = unité FTU (Formazine Turbidity Unit) = unité NTU (Nephelometric Turbidity Unit).

II.6.3.2 La couleur

Une eau pure observée sous une lumière transmise sur une profondeur de plusieurs mètres émet une couleur bleu clair car les longueurs d'ondes courtes sont peu absorbées alors que les grandes longueurs d'onde (rouge) sont absorbées très rapidement. (REJESK, 2002). La coloration d'une eau

est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. (RODIER et Al, 2005).

II.7 Les normes de rejets

Dans le domaine de l'eau, on est tenu de respecter des normes très strictes car cela touche au domaine de la sante publique, et le moindre écart peut s'avérer très dangereux pour la sante de l'homme, la préservation des espèces aquatique etc.

Les normes de rejet ont pour but de maintenir, ou les cas échéant de restaurer, la qualité des eaux superficielles qui reçoivent les effluents traités.

Les systèmes d'épuration, ont donc pour mission de réduire au maximum les paramètres caractérisant un effluent (DBO, DCO, MES, NTK, PT).

Le tableau suivant illustre les normes de rejets dans le milieu récepteur des effluents industriels après l'épuration :

➤ Législation algérienne sur les rejets des eaux résiduaire industrielle (ERI)

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

L'article 4 de la section 2 de ce décret impose aux installations industrielles générant des rejets d'effluents liquides industriels d'être conçues, construites et exploitées de manière à ce que leurs rejets d'effluents liquides industriels ne dépassent pas à la sortie de l'installation les valeurs limites des rejets définies en annexe du même décret et doivent être dotées d'un dispositif de traitement approprié de manière à limiter la charge de pollution rejetée.

Le tableau suivant donne les valeurs limites des paramètres des rejets d'effluents liquides industrielles Dans le domaine de l'eau, on est tenu de respecter des normes très strictes car cela touche au domaine de la sante publique, et le moindre écart peut s'avérer très dangereux pour la sante de l'homme, la préservation des espèces aquatique etc.

Tableau II-2 les normes de rejet

N°	Paramètre	Unités	Valeur limites	Tolérance aux valeurs limites anciennes installations
1	Température	°C	30	30
2	PH	-	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
3	MES	mg/l	35	40
4	Azote Kjeldahl	mg/l	30	40
5	Phosphore total	mg/l	10	15
6	DCO	mg/l	120	130
7	DBO5	mg/l	35	40
8	Aluminium	mg/l	3	5
9	Cyanure	mg/l	0.1	0.15
10	Fluor et composes	mg/l	15	20
11	Indice de phenols	mg/l	0.3	0.5
12	Hydrocarbure totaux	mg/l	10	15
13	Huiles et graisses	mg/l	20	30
14	Cadmium	mg/l	0.2	0.25
15	Cuivre total	mg/l	0.5	1
16	Mercure total	mg/l	0.01	0.05
17	Plomb total	mg/l	0.5	0.75
18	Chrome total	mg/l	0.5	0.75
19	Etain total	mg/l	2	2.5
20	Manganèses	mg/l	1	1.5
21	Nickel total	mg/l	0.5	0.75
22	Zinc total	mg/l	3	5
23	Fer	mg/l	3	5

24	Détergents	mg/l	12	12
-----------	-------------------	-------------	-----------	-----------

Conclusion

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

Chapitre 3 :

Les procédés

d'épuration

Chapitre III Les procédés dépuración

Introduction

La filière de l'épuration des eaux usées recommande différentes techniques à divers niveaux technologiques souvent très élaborées, ceci est illustré comme étant des méthodes classiques de traitement, ainsi que de nouvelles techniques visant la protection de l'environnement et la sauvegarde du milieu naturel ont apparus, celle-ci est démontrée sous le vocable de lagunage ou phyto-épuration.

On dispose de quatre étapes de traitement pour une qualité d'eau épurée assez élevée

- Le prétraitement.
- Le traitement primaire.
- Le traitement secondaire.
- Le traitement tertiaire.

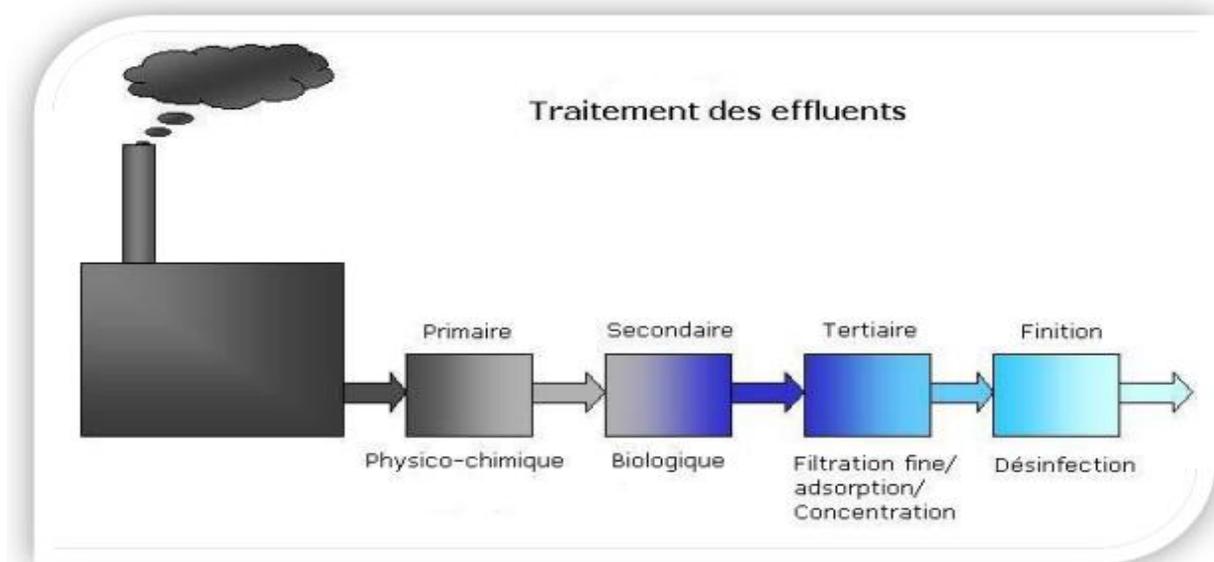


Figure III.1 Les étapes de traitement des eaux usées industrielles [7]

III.1 Choix de procédé de traitement

Il est nécessaire avant de choisir un procédé de traitement de bien connaître exactement la qualité de l'effluent, pour cela il est très important de savoir :

- L'origine de la pollution
- La toxicité qui existe dans l'effluent
- La concentration des charges polluantes
- La variabilité de la pollution
- La qualité visée après le traitement

- Le volume de l'eau à traiter est un paramètre nécessaire pour choisir et dimensionner les ouvrages d'épuration ainsi que la topographie, la surface de lieu d'implantation des ouvrages et le coût de réalisation et de la maintenance.

III.2 Les différentes étapes du traitement des eaux usées

Dans le traitement des eaux usées industrielles on applique différentes étapes comme se montre la figure suivante :

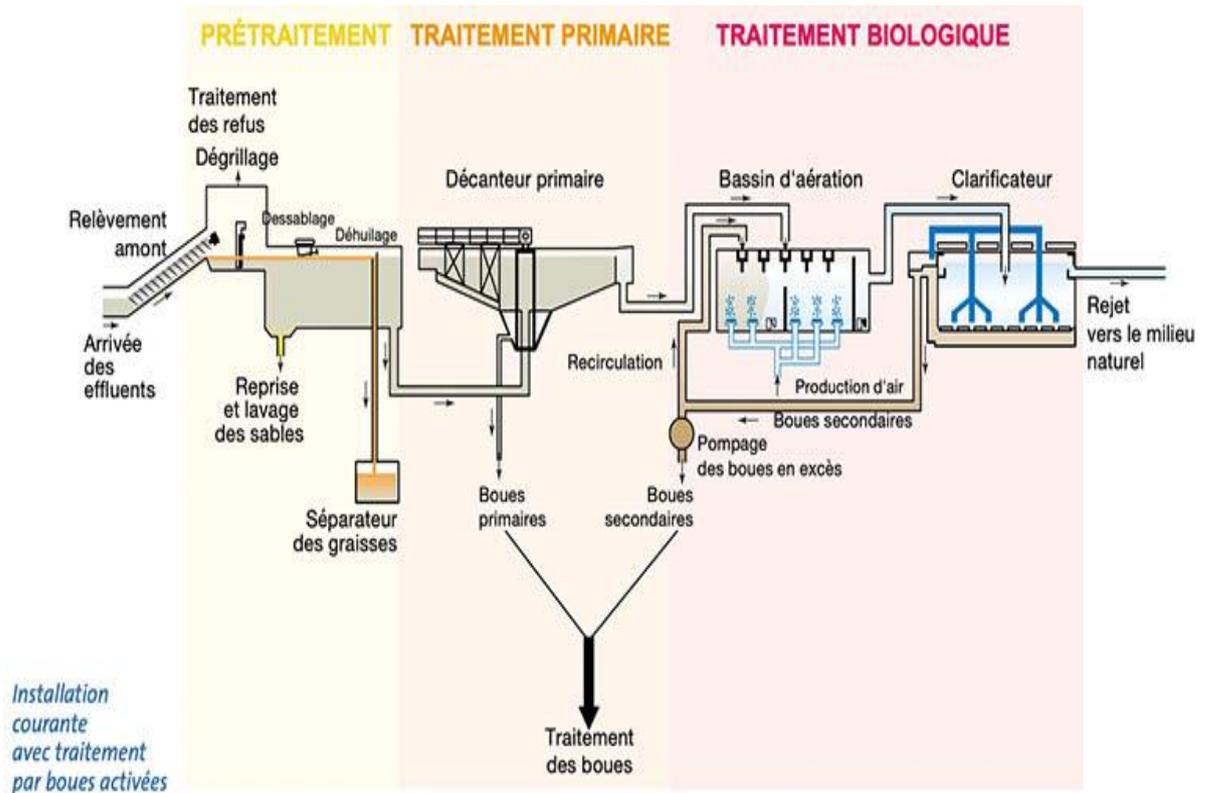


Figure III.2 Procédés d'épuration des eaux usées industrielles

III.2.1 Les prétraitements

La première étape du traitement consiste à débarrasser les effluents de tout élément susceptible de gêner le fonctionnement des ouvrages.

Ils permettent d'éliminer les matières les plus grossières, susceptibles d'endommager les organes mécaniques ou de perturber l'efficacité des étapes ultérieures.

III.2.1.1 Dégrillage

Le dégrillage consiste à séparer les matières les plus volumineuses charriées par l'eau brute, on faisant passer l'effluent d'entrée à travers des barreaux dont l'écartement est bien calculé.

L'efficacité du dégrillage est en fonction de l'écartement entre les barreaux de la grille ; on distingue :

- Dégrillage fin : écartement 3 à 10 mm.
- Dégrillage moyenne : écartement 10 à 25 mm.
- Dégrillage grossier : écartement 50 à 100 mm

III.2.1.2 Tamisage

Le tamisage est un dégrillage poussé utilisé dans les stations d'épuration industrielles. Il consiste en une filtration sur toile mettant en œuvre des mailles de différentes dimensions. Il existe un macro-tamisage (mailles > 0.3mm) et un tamisage (mailles < 100µm)

III.2.1.3 Dessablage

Le dessablage a pour but d'extraire les graviers, sables et autre particules minérales de diamètres supérieures à 0,2 mm contenus dans les eaux usées, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduits, à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion,

(Dégriment., 1972) l'écoulement de l'eau à une vitesse réduite dans un bassin appelé.

« Dessabler » entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Ces particules sont ensuite aspirées par une pompe. Les sables extraits peuvent être lavés avant d'être mis en décharge, afin de limiter le pourcentage de matières organiques, sa dégradation provoquant des odeurs et une instabilité mécanique du matériau.



Figure III.3 Dessableur

III.2.1.4 Dégraissage déshuilage

C'est un procédé destiné à éliminer les graisses et les huiles dans les eaux résiduaires. Les huiles et les graisses présentent plusieurs inconvénients pour le traitement tel que :

- Envahissement des décanteurs;
- Mauvaise diffusion de l'oxygène dans les décanteurs;
- Mauvaise sédimentation dans les décanteurs;
- Risque de bouchage des canalisations et des pompes;
- Diminution du rendement du traitement qui arrive après.

Il existe différents dispositifs de déshuilage-dégraissage conçus suivant la nature de l'eau à traiter

- Dégraisseur-déshuileur aéré : Ce type d'ouvrage comprend une zone aérée (avec insufflation par le bas) suivi d'un compartiment de sédimentation latéral calculé pour une vitesse ascensionnelle de 15 à 20m/h .
- Déshuileur longitudinal : C'est un bassin de forme rectangulaire équipé de racleur de surface de fond.

L'ouvrage est calculé pour :

- une vitesse d'écoulement horizontal de 20 à 50 m/h
- une longueur de 2 à 6 m
- une hauteur d'eau de 1 à 3 m

III.2.2 Le traitement primaire

Enlèvement des solides organiques et inorganiques sédimentables ainsi que les matériaux flottants (FAO, 2003).

La décantabilité des matières dans un bassin est déterminée par l'indice de Mohlman. Cet indice est déterminé chaque jour dans les stations d'épuration importantes afin de vérifier le bon fonctionnement du système.

À la fin de ce traitement, la décantation de l'eau a permis de supprimer environ 60 % des matières en suspension, environ 30 % de la demande biologique en oxygène (DBO) et 30% de la demande chimique en oxygène (DCO). Cette part de DBO5 supprimée était induite par les matières en suspension. La charge organique restant à traiter est allégée d'autant. Les matières supprimées forment au fond du décanteur un lit de boues appelé boues primaires. (Bontaux., 1994).

III.2.2.1 Décanteur primaire

Le décanteur primaire permet de piéger une première partie de la pollution particulaire et de produire des boues primaires. L'eau clarifiée est recueillie en surface par des goulottes et dirigée vers le traitement biologique.

Nos couvertures tendues amovibles manuellement sont en armature textile. La couverture est maintenue sur le voile béton périphérique par des poutres.

✓ Principe de la décantation primaire

Un décanteur primaire est un ouvrage hydraulique permettant d'éliminer une grande partie de MES afin d'alléger la charge organique et inorganique entrant dans le traitement secondaire.

Le phénomène physique qui dirige la séparation solide/liquide est l'effet de gravité. Ainsi, les particules plus denses que l'eau décantent au pied de l'ouvrage et sont accumulées en formant une boue. Cette dernière est alors envoyée vers les épaisseurs où elle est concentrée, avant de subir de nouveaux traitements. Quant à l'eau clarifiée, elle quitte le décanteur via une surverse et est amenée vers le traitement secondaire.

Le rendement en élimination de MES pour le traitement primaire se situe le plus souvent entre 50 et 80%.

✓ Vitesse de sédimentation : Equation de Stokes

La vitesse de chute des particules va dépendre principalement de leur densité, forme, taille et également de la nature du fluide dans lequel elles se trouvent. Des modèles peuvent être utilisés pour évaluer la vitesse de chute des particules. Par exemple, pour des régimes laminaires et des particules de forme sphérique, il est possible d'utiliser le modèle de Stokes,

$$V_S = \frac{(\rho_s - \rho_f)gd^2}{18\mu}$$

Avec:

- V_s : La vitesse de chute des particules ($m.s^{-1}$);
- ρ_s : La masse volumique des particules ($kg.m^{-3}$);
- ρ_f : La masse volumique du fluide ($kg.m^{-3}$);
- g : L'accélération de la pesanteur ($m.s^{-2}$);
- d : Le diamètre des particules (m);
- μ : la viscosité dynamique du fluide (pa.s).

✓ Critère de charge superficielle

Chaque ouvrage de décantation est caractérisé par le critère de charge superficielle noté C_s .

C'est le rapport entre le débit admis dans l'ouvrage et sa surface libre :

$$C_s = \frac{Q}{S}$$

Avec :

- C_s : La charge superficielle ($m \cdot h^{-1}$);
- S : La surface libre du décanteur (m^2);
- Q : Le débit d'alimentation ($m^3 \cdot h^{-1}$).

Dans le cadre de l'exploitation d'un décanteur, la charge superficielle doit être inférieure ou égale à la vitesse de la classe de particule la plus lente à éliminer. Ainsi, il est fondamental de bien connaître la distribution des vitesses de chute de l'ensemble des particules contenue dans l'affluent à traiter afin de bien dimensionner l'ouvrage.

III.2.2.2 Traitement physico-chimique

L'objectif principal du traitement physico-chimique est l'élimination des matières non décantables qui se trouvent dans l'eau sous forme colloïdales et qui ont besoin au procédé de coagulation -floculation et décantation.

➤ La coagulation floculation

Dans le traitement des eaux, la coagulation-floculation est un procédé chimique souvent confondu.

Ce processus facilite l'élimination des solides en suspension et des particules colloïdales

La coagulation est la première étape dans le processus de traitement physico- chimique des eaux, elle consiste essentiellement à neutraliser à diminuer la charge électrique et favoriser ainsi le rapprochement des particules en vue de leur agglomération.

La floculation est l'agglomération de particules déstabilisées en micro floc et ensuite en flocons plus volumineux que l'on appelle flocs. On peut rajouter un autre réactif appelé flocculant ou adjuvant de floculation pour faciliter la formation de flocs.

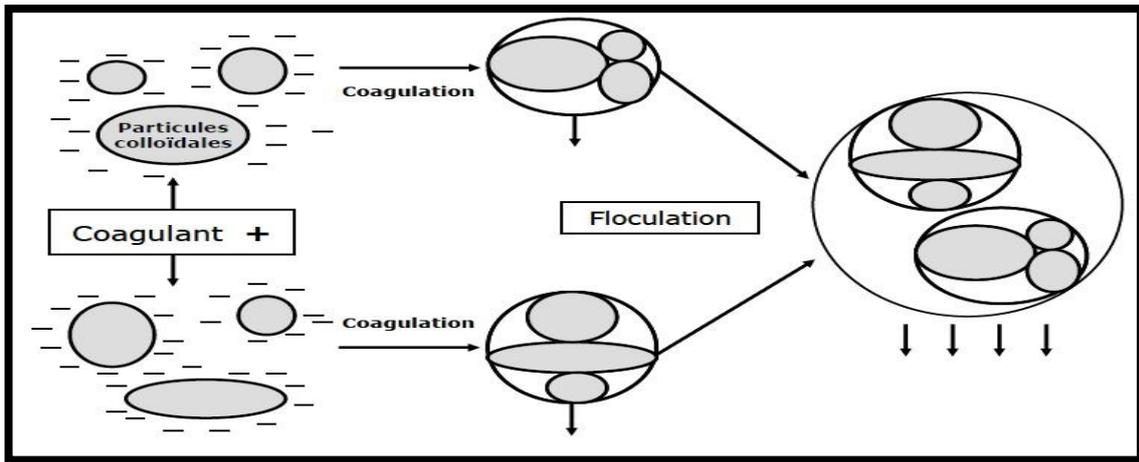


Figure III.4 Coagulation-Floculation

➤ **Neutralisation**

Elle a pour objectif de rectifier le pH d'effluents trop acides ou trop alcalins, quand elle n'est pas incluse dans le traitement physico-chimique, peut s'avérer indispensable avant épuration biologique. Actuellement, il existe plusieurs groupes de procédés de neutralisation, qui sont couramment employés :

- L'utilisation du pouvoir tampon du milieu récepteur.
- Le mélange des eaux résiduaires acides avec des eaux résiduaires alcalines.
- L'adjonction de réactifs chimiques.
- La filtration par matériau filtrant neutralisant.

III.2.3 Le traitement biologique (secondaire)

L'épuration des eaux usées fait généralement appel au processus biologique qu'il s'agisse de procédé par boues activées, par lits bactériens ou par lagunage. La pollution organique comprend une fraction biodégradable estimée par la demande biologique en oxygène ou DBO5 et une fraction non biodégradable estimée par la demande chimique en oxygène ou DCO (paramètre de référence) de l'eau brute.

Les traitements biologiques ne s'attaquent évidemment qu'à la fraction biodégradable de la pollution organique. Cette opération n'est rendue possible que par l'existence d'une flore bactérienne, dans laquelle on retrouvera des champignons, des larves...etc., qui dégradent les matières organiques présentes dans l'eau brute pour leurs besoins spécifiques (nutrition, croissance, reproduction). La dégradation des matières organiques est le résultat du métabolisme bactérien

Dans la pratique, l'épuration biologique est mise en œuvre de la façon suivante :

- Un réacteur biologique (bassin d'aération, disques ou lits. Lagune aérée) dans lequel l'eau usée est mise en contact avec la biomasse aérée artificiellement ou naturellement.

- Un clarificateur dont le rôle est de séparer l'eau épurée et la boue biologique. Dans le cas d'un lagunage aéré, le dernier bassin (non aéré) fait office de clarificateur.

Les différents procédés d'épuration biologique sont les suivants :

- Les boues activées
- Le lagunage
- Les lits bactériens

III.2.3.1 Les boues activées

C'est la forme la plus usuelle de traitement à culture libre et la plus utilisée en Algérie, cette méthode est considérée par l'OMS la plus répandue parmi les traitements aérobiques.

Cette technique consiste à provoquer un développement des floccs de bactéries en suspension dans un bassin aéré et brassé alimenté par les eaux à épurer.

Le bassin d'aération contient la « liqueur mixte » qui représente des systèmes d'insufflation des bulles d'air pneumatique ou au but de fournir l'oxygène nécessaire pour la bactérie aérobie pour dégrader la matière organique et un système d'agitation pour éviter les dépôts et homogénéiser la biomasse dans les eaux à traiter pour créer le contact nécessaire entre les bactéries et la pollution.



Figure III.5 Bassin d'aération

- Un bioréacteur : où s'accumule la liqueur mixte (mélange de l'effluent et la biomasse)

- Un clarificateur : à la sortie de bioréacteur pour effectuer une séparation de phases des boues floculées et de l'eau traitée prêt à rejeter dans le milieu naturel.
- Un recyclage de boue : pour conserver la concentration en biomasse dans le bioréacteur et compenser la perte de biomasse due au débit de sortie de liqueur mixte vers le clarificateur, il est nécessaire de recirculer une partie de la boue du clarificateur, et l'excès de boue sera extrait.

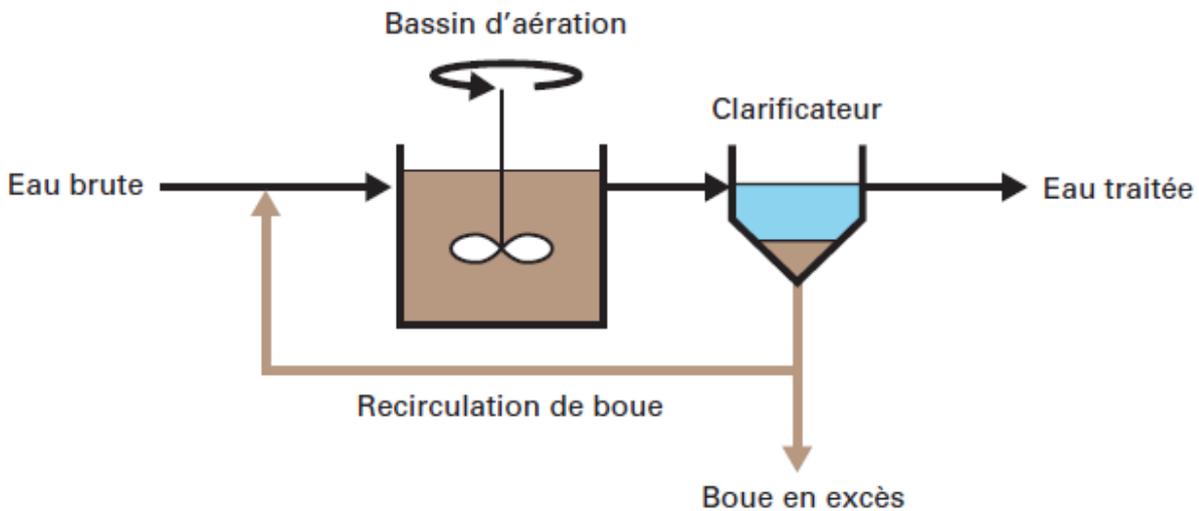


Figure III.6 Procédé d'épuration par boues activées

Avantages

- Adaptée pour toute taille de collectivité (sauf les très petites).
- Bonne élimination de l'ensemble des paramètres de pollution.
- Adapté pour la protection de milieux récepteurs sensibles.
- Boues légèrement stabilisées.

Inconvénients

- Coûts d'investissement assez importants.
- Consommation énergétique importante.
- Nécessité de personnel qualifié et d'une surveillance régulière.
- Sensibilité aux surcharges hydrauliques.
- Décantabilité des boues pas toujours aisées à maîtriser.

III.2.3.2 Le lagunage

Le lagunage est un procédé épuratoire naturel des eaux usées. Son principe est d'utiliser la végétation aquatique comme agent épurateur. Ces plantes sont des supports ou des colonies bactériennes. Ce procédé est basé sur l'autoépuration et la photosynthèse.

Le lagunage est simple, écologique, fiable et peu onéreux du fait de son fonctionnement non-mécanisation avec des résultats satisfaisants en matière de décontamination.

➤ **Lagunage naturel**

L'épuration est assurée grâce à un long temps de séjour, dans plusieurs bassins étanches disposés en série. Le nombre de bassin le plus communément rencontré est de 3. Cependant, utiliser une configuration avec 4 voire 6 bassins permet d'avoir une désinfection plus poussée.

Le mécanisme de base sur lequel repose le lagunage naturel est la photosynthèse. La tranche d'eau supérieure des bassins est exposée à la lumière. Ceci permet l'existence d'algues qui produisent l'oxygène nécessaire au développement et maintien des bactéries aérobies. Ces bactéries sont responsables de la dégradation de la matière organique.

Le gaz carbonique formé par les bactéries, ainsi que les sels minéraux contenus dans les eaux usées, permettent aux algues de se multiplier. Il y a ainsi prolifération de deux populations interdépendantes : les bactéries et les algues planctoniques, également dénommées "microphytes". Ce cycle s'auto-entretient tant que le système reçoit de l'énergie solaire et de la matière organique.

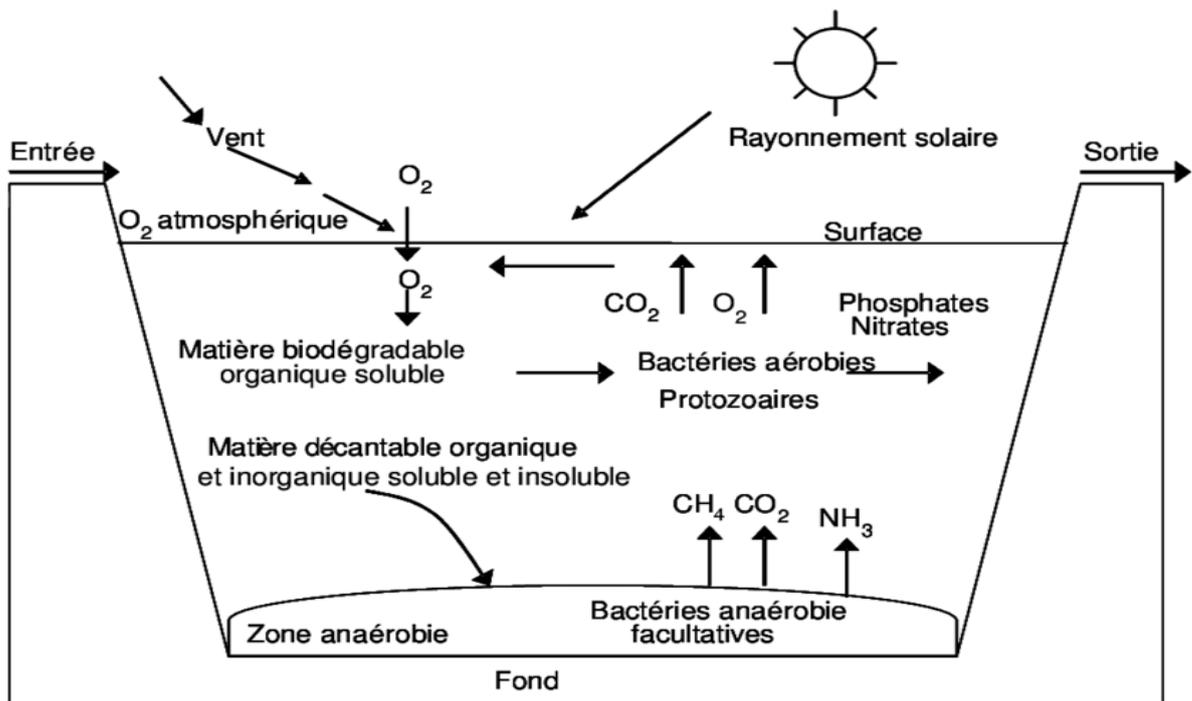


Figure III.7 Les mécanismes mis en jeu dans le lagunage naturel

➤ **Lagunage aéré**

L'oxygénation est, dans le cas du lagunage aéré, apportée mécaniquement par un aérateur de surface ou une insufflation d'air. Ce principe ne se différencie des boues activées que par l'absence

de système de recyclage des boues ou d'extraction des boues en continu. La consommation en énergie des deux filières est, à capacité équivalente, comparable (1,8 à 2 kW/kgDBO5éliminée).



Figure III.8 Lagunage aéré

III.2.3.3 Lit bactérien

Les lits bactériens sont des filtres à ruissellement utilisés pour le traitement biologique des eaux usées, ce procédé est le plus ancien procédé de traitement aérobie à culture fixée sur un matériau grossier où les microorganismes se développent sur un support régulièrement irrigué par l'effluent à traiter et l'oxygène est fourni par ventilation naturelle. Les boues formées par décrochement naturel sont traitées dans un digesteur (stabilisation).

Le principe consiste à faire ruisseler les eaux usées, préalablement décantées sur une masse de matériaux poreux qui sert de support aux microorganismes (bactéries) L'effluent est distribué par aspersion (sprinkler) en surface et l'oxygénation est apportée par ventilation naturelle de bas en haut.

En ruisselant, l'eau à épurer forme un film liquide qui sera traversé par l'oxygénation venant de l'air, et par le CO₂ formé dans la biomasse.



Figure III.9 lit bactérien

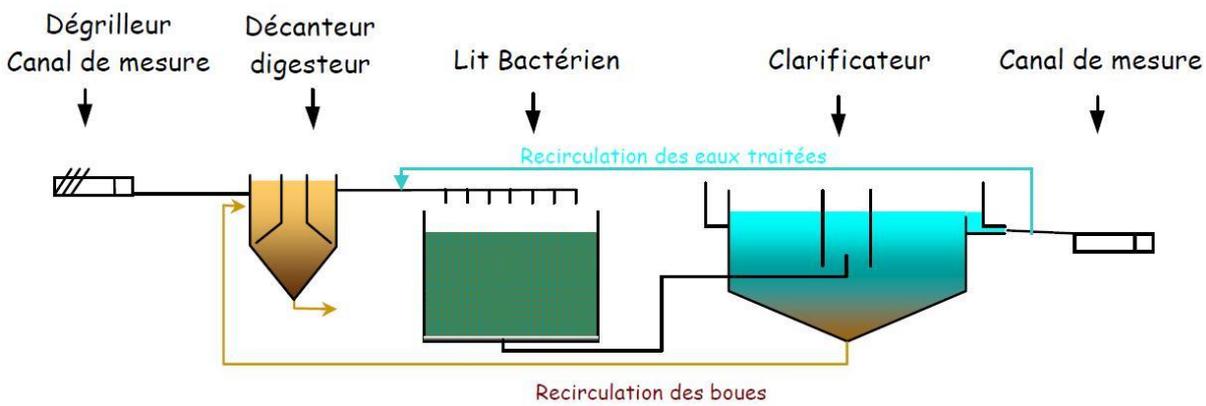


Figure III.10 Chaîne de traitement avec un lit bactérien

III.2.4 Traitement tertiaire

Le traitement tertiaire est un procédé complémentaire qui intervient soit pour Améliorer la qualité de l'eau rejetée quand cette dernière ne répond pas aux normes de rejet, Soit dans un usage industriel (lavage de sols ou de produits, systèmes d'incendie, circuits de refroidissement, eau de procédé, voire alimentation de chaudières), agricole (irrigation) ou municipal (arrosage de golfs, de pelouses ou de terrains de jeu.) ou leur recyclage (partiel ou total) vers les ateliers de fabrication d'où elles proviennent.

Le traitement tertiaire comprend des procédés divers et spécifiques pour éliminer des polluants qui résistent au traitement primaire et secondaire.

III.2.4.1 Traitement de l'azote

L'élimination de l'azote fait partie des étapes essentielles du traitement des eaux usées. D'ailleurs, il existe des normes réglementaires liées aux concentrations de l'azote en sortie de station dans de nombreux pays. Pour respecter ces concentrations, il faut contrôler la nitrification et la dénitrification de manière optimale.

Dans les eaux, l'azote peut se trouver sous forme minérale (ammoniacal, nitrate) ou organique. Sa présence organique ou ammoniacal se traduit par une consommation d'oxygène dans le milieu naturel et altère les conditions de vie

En assainissement, le cycle de l'azote passe par les différents stades d'évolution biogéochimique du composé. Il aboutit à la formation d'azote gazeux (diazote N_2) en commençant par l'azote organique, et en passant par le l'ammoniac, nitrite et le nitrate.

Dans les stations d'épuration, plusieurs formes d'azote sont présentes :

- Nitrites et nitrates: l'azote oxydé
- Les formes non oxydées: l'azote Kjeldhal comprenant l'azote organique et l'azote ammoniacal (NH_4^+)

- L'azote organique ammonifiable
- L'azote organique réfractaire

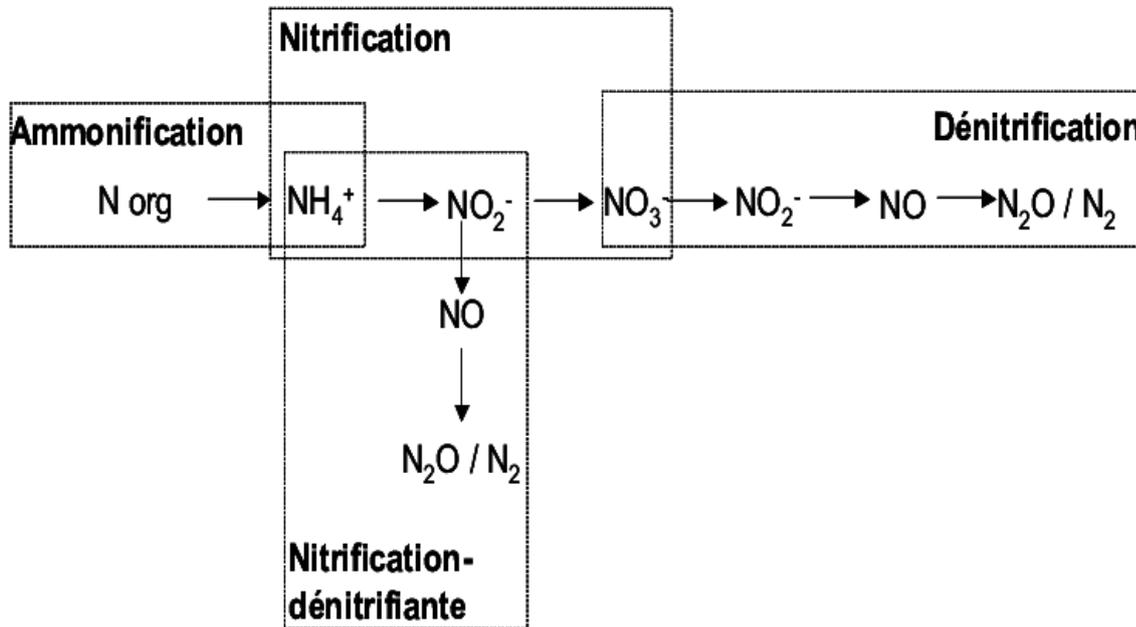


Figure III.11 Étape de dégradation biologique de l'azote

III.2.4.2 Traitement du phosphore :

Les normes de rejet sur le phosphore sont de plus en plus sévères pour limiter les phénomènes d'eutrophisation, dus aux phosphates, dans les lacs et les cours d'eau. Dans un effluent industriel, le phosphore est en excès lorsque, le phosphore résiduel demeure supérieur à la norme de rejet. Dans ce cas un traitement spécifique du phosphore s'impose.

Réduction de la DCO dure :

La DCO dure appelée aussi DCO ultime ou bien DCO réfractaire est une DCO qui résiste aux traitements précédents (primaire et secondaire). Elle est généralement due à la présence de molécules organiques difficiles à dégrader, issues de la chimie de synthèse : phénols, composés organohalogénés (AOX), hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), huiles minérales, pesticides, détergents, colorants, solvants, ou encore tensioactifs. Il existe deux techniques pour éliminer la DCO dure :

Les techniques chimiques ou bien destructives dont les principes consistent en l'oxydation des composés responsable de la DCO dure, l'ozone est l'oxydant le plus utilisé dans ces techniques :

- Les techniques physiques, dites séparatives, qui permettent d'extraire de l'effluent les substances responsables de la DCO dure pour un traitement ultérieur. L'adsorption sur charbon actif est la technique la plus utilisée.

Conclusion

Le but de la station d'épuration n'est pas de rendre l'eau potable, mais d'obtenir une eau qui répond aux normes exigées par la législation relatives à la réutilisation des eaux usées traitées, soit en agriculture ou en industrie ou bien des eaux qui répondent aux normes de rejets en milieu naturel ou dans les réseau d'assainissement.

L'épuration des eaux usées avec ces différents procédés éliminent une grande partie de ces polluants et des boues constituant un sous-produit de l'épuration. Enfin, on peut rejeter les eaux épurées dans le milieu récepteur sans risque de contamination ou de pollution majeur.

CHAPITRE 04 :
DIMENSIONNEMENT
T DE LA STATION
D'EPURATION

Chapitre IV Conception et dimensionnement des ouvrages

Introduction

La station d'épuration est un outil fondamental pour la protection des milieux naturels, Le dimensionnement d'une station d'épuration dépend de la charge à l'entrée, qui est fonction du débit, et des concentrations moyennes des paramètres de pollution (DBO5, MES...).

Dans Ce chapitre, on va dimensionner les différents ouvrages constituant la future station d'épuration.

IV.1 Résultats des analyses

Le tableau ci-dessous présente les résultats des analyses effectuées au niveau de laboratoire sur les eaux usées de l'industrie de conserverie de thon (TUNA STAR)

Tableau IV-1 résultats des analyses effectuées

Paramètres	Unité	Résultats
Débit journalier	m ³ /j	256
MES	mg/l	390
DCO	mg/l	1950
DBO5	mg/l	1008
Température	°C	22
Ph	-	6.5
Magnésium	mg/l	45
Azote total	mg/l	46
Phosphore total	mg/l	18

IV.1.1 Biodégradabilité

Pour calculer le coefficient de biodégradabilité on doit calculer le rapport (DCO/DBO5)

Comme suivant :

$$I = \frac{[DCO]_0}{[DBO5]_0}$$

Avec

$$I = \frac{1950}{1008} = 1.93$$

La valeur ci-dessus fait ressortir que le rapport (DCO/DBO5) est d'environ 2 ce qui indique que nous sommes en présence d'une eau usée industrielle chargée en matières organiques de moyennement biodégradable.

IV.2 Calcul de base pour le dimensionnement

IV.2.1 Calcul du débit de rejet industriel

D'après les données du projet à réaliser le débit maximal horaire du rejet industriel égal:

Q_{re} : débit du rejet industriel

$$Q_{re} = 256 \text{ m}^3 / \text{j} = 4.44 * 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}.$$

$$Q_{re} = 4.44 * 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}.$$

IV.2.2 La charge de totale de DBO5

Elle est donnée par la relation suivante :

$$(DBO5)_0 = [DBO5]_0 * Q_{re}$$

Avec

- **(DBO5)₀** : charge moyenne journalière en DBO5.
- **[DBO5]₀** : concentration journalière en DBO5.
- **Q_{re}** : Le débit rejeté industrielle.

$$(DBO5)_0 = 1008 * 10^{-3} * 256 = \mathbf{258.048 \text{ kg/j}}$$

IV.2.3 La charge totale de DCO

Elle est donnée par la formule suivante :

$$(DCO)_0 = [DCO]_0 * Q_{re}$$

Tel que:

(DCO)₀ : charge moyenne journalière en DCO.

[DCO]₀ : concentration journalière en DCO.

$$(DCO)_0 = 1950 * 10^{-3} * 256 = \mathbf{499.2 \text{ kg/j}}$$

IV.2.4 La charge moyenne journalière en MES

Elle est donnée par la formule suivante:

$$(\text{MES})_0 = [\text{MES}]_0 * Q_{re}$$

$(\text{MES})_0$: charge moyenne journalière en MES.

$[\text{MES}]_0$: concentration journalière en MES.

$$(\text{MES})_0 = 390 * 10^{-3} * 256 = 99.84 \text{ kg/j}$$

IV.3 Dimensionnement des ouvrages de la station

La station comportera les ouvrages suivants:

- Pour le prétraitement on aura :
 - Le dégrilleur.
 - Le déssableur-déshuileur.
- Pour le traitement primaire (traitement physico-chimique) on aura :
 - Bassin de coagulation
 - Bassin de floculation
 - Le décanteur primaire.
- Le traitement biologique
 - Le bassin d'aération
 - Clarificateur

IV.3.1 Le prétraitement

IV.3.1.1 Le dégrilleur

Pour dimensionner un dégrilleur, on doit déterminer la surface de la grille qui a pour rôle d'éliminer les déchets solides relativement volumineux. La formule est donnée par **KIRCHMER**.

$$S = \frac{Q_{re}}{a * v_e * c}$$

Avec:

S: surface de la grille.

v_e : Vitesse de l'écoulement à travers la grille (m/s) ; tel que $v_e = (0,6 \text{ à } 1,4) \text{ m/s}$.

a: Coefficient de passage libre donné par la relation suivante :

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

Tel que :

d: le diamètre de barreau

e: l'espacement entre barreau

Tableau IV-2 Les caractéristiques dimensionnelles des grilles

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

c: coefficient de colmatage normalement renseigné par les constructeurs des dégrilleurs varie de:

0,10 à 0,30 pour une grille manuelle (généralement 0.25)

0,40 à 0,50 pour une grille automatique (généralement 0.5)

Dans notre cas on prend la grille automatique donc: $C = 0.5$

❖ **Pour le dégrilleur grossier :**

➤ **Calcul de la surface de la grille**

On utilise la même méthode pour le calcul de la surface

$$S = \frac{Q_{re}}{a * v_e * c}$$

Avec: $d = 7\text{cm}$ et $e = 2\text{cm}$ (pour la grille grossier).

Alors :

$$a = \frac{7}{7 + 2} = 0.22$$

$$C = 0,5$$

v_e : une vitesse de passage inférieure à 0,6m/s provoque un dépôt de sable au fond du canal, Donc on prend

$$v_e = 0,8 \text{ m/s.}$$

$$Q_{re} = 5.27 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s.}$$

Donc:

$$S = \frac{4.44 * 10^{-3}}{0.22 * 0.8 * 0.5} = 0.050 \text{ m}^2$$

➤ **Calcul de la largeur de la grille**

On doit déterminer la largeur de la grille qui fait le rôle d'éliminer les déchets solides relativement volumineux, La formule est donnée par **KIRCHMER**

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

Tel que:

S: surface de la grille.

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

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

$$S=0,050 \text{ m}^2$$

$$a = 0,22$$

$$h_{\max} = 0,6 \text{ m}$$

$$C = 0,5$$

$$\alpha = 60^\circ$$

Donc:
$$L = \frac{0,050 \cdot \sin 60}{0,6(1-0,22)0,5} = \mathbf{0,19m}$$

➤ **Calcul de la perte de charge**

Les pertes de charges à travers la grille sont données par l'équation de KIRCHMER On utilise la même méthode pour le calcul de la perte de charge

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

d: diamètre des barreaux (cm).

e: espacement entre les barreaux (cm).

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

β : coefficient qui tient compte de la forme des barreaux ; (forme circulaire $\beta=1,79$).

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

Les valeurs de β sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau IV-3 les valeurs de β

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

Donc:

$$\Delta H = \beta \left(\frac{d}{e}\right)^{4/3} \sin \alpha \left(\frac{V^2}{2g}\right) = 1,79 \left(\frac{2}{7}\right)^{4/3} (60) \left(\frac{(0,8)^2}{2 \times 9,81}\right) = 9,51 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\Delta H = 9,51 \times 10^{-3} \text{ m}$$

❖ **Pour la grille fine**

➤ **calcul de la surface de grille**

On utilise la même méthode pour le calcul de la surface

$$S = \frac{Q_{re}}{a * v_e * c}$$

Tel que :

$$a = \frac{d}{d+e} = \frac{1}{1+0,7} = 0.58$$

$$Q_{rej} = 256 \text{ m}^3/\text{j} = 4,44 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$C = 0,5$$

Donc:

$$S = \frac{4,44 * 10^{-3}}{0,58 * 0,8 * 0,5} = \mathbf{0.019m^2}$$

➤ **calcul de la largeur de la grille**

On utilise la même méthode pour le calcul de la largeur

$$L = \frac{S * \sin \alpha}{h_{\max}(1-a)C} = \frac{0,019 * \sin 60}{0,7(1-0,58)0,5} = \mathbf{0.11m}$$

➤ **calcul de la perte de charge**

On utilise la même méthode pour le calcul de la perte de charge

$$\Delta H = \beta \left(\frac{d}{e}\right)^{4/3} \sin \alpha \left(\frac{v^2}{2g}\right) = 1,79 \left(\frac{1}{0,7}\right)^{4/3} \sin(60) \left(\frac{(0,8)^2}{2 * 9,81}\right) = 0,081 \text{ m}$$

Tableau IV-4 les résultats de dimensionnement de dégrilleur

Ouvrage : dégrilleur	Unité	Valeur
Débit de la station	m ³ /s	4,44*10 ⁻³
Grille grossière		
Epaisseur des barreaux d	Cm	2
Espacement des barreaux e	Cm	7
A	/	0.22
Largeur de la grille	M	0.19
Perte de charge		9.51 × 10 ⁻³
Hmax	M	0,6
Vitesse d'écoulement	m/s	0.8

Grille fine		
Epaisseur des barreaux d	Cm	1
Espacement des barreaux e	Cm	0.7
A	/	0.58
Largeur de la grille	m	0.11
Surface de la grille	m ²	0.019
Perte de charge	m	0.081
Hmax	m	0,7
Vitesse d'écoulement	m/s	0.8

IV.3.1.2 Le dessablage-dégraissage

Dans notre cas il faut dimensionner un dessablage-dégraissage de type rectangulaire

➤ **Le volume de ce dernier est donné par la relation suivante:**

$$➤ V_d = Q_{\max} * T_s$$

Tel que :

V_d: volume du déssableur-déshuilleur (m³).

T_s: temps de séjours de l'eau dans le dessableur (22min)

Pour notre cas on prend T_s = 22min.

$$V_d = Q_{\max} * T_s = (4,44 * 10^{-3}) * 22 * 60 = \mathbf{5.86m^3}$$

➤ **Calcul de la surface horizontale**

Profondeur du déssableur-déshuilleur H= (1-3) m

Pour notre cas on prend H= 1.5 m

La surface horizontale est donnée par la relation suivante :

$$Sh = \frac{V_d}{H}$$

Tel que :

Sh : surface horizontale du déssableur-déshuilleur (m²)

V_d: volume du déssableur-déshuilleur (m³).

H : profondeur du déssableur-déshuilleur (m)

Donc:

$$Sh = \frac{V_d}{H} = \frac{5.86}{1.5} = \mathbf{3.90m^2}$$

➤ **Calcul la longueur et la largeur du déssableur-déshuilleur**

On opte pour un déssableur-déshuilleur de type rectangulaire

Longueur

La relation suivante : $L=H/0.5=1.5/0.5=3\text{m}$

Largeur

La relation suivante : $l=Sh/L=4/3=1.33\text{m}$

➤ **Le volume d'air à insuffler dans le dessableur**

La quantité d'air à insuffler varie de 1 à 1,5 m³ d'air /m³ d'eau

on prend $V= 1 \text{ m}^3 \text{ (air) / m}^3 \text{ (eau)}$

donc:

$Q_{\text{air}} = 4,44 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 4,44 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$

➤ **Calcul des quantités des matières éliminées par le déssableur**

Les MES contiennent 30% de MM (matières minérales) et 70% de MVS (matières volatiles en suspension), donc :

$\text{MES} = 70\% \text{MVS} + 30\% \text{ MM}$

La charge en MES à l'entrée de déssableur est:

Les matières volatiles en suspension MVS contenues dans les MES sont :

$\text{MVS} = 390 \cdot 0,7 = 272 \text{ mg/l.}$

Les matières minérales MM contenues dans les MES sont :

$\text{MM} = 390 \cdot 0,3 = 117 \text{ mg/l.}$

Les matières minérales éliminées:

Un déssableur permet éliminer 70% des matières minérales

$\text{MMe} = 117 \cdot 0,7 = 81.9 \text{ mg/l.}$

Les matières minérales à la sortie de déssableur :

$\text{MMS} = \text{MM} - \text{MMe}$

$\text{MMS} = 117 - 81.9 = 35.1 \text{ mg/l.}$

Les MES à la sortie de déssableur : $\text{MESS} = \text{MVS} + \text{MMS}$

$\text{MESS} = 272 + 35.1 = 307.1 \text{ mg/l.}$

➤ **Calcul des quantités des matières éliminées par le dégraisage**

Le dégraisseur élimine 80% de graisse sachant que la graisse représente 35% de la DCO

Les charges de pollution à l'entrée du dégraisseur sont : $\text{DCO} = 1950 \text{ mg/l}$

Les charges éliminées par le dégraissage sont donc :

La graisse représente 35% de la DCO donc :

DCO de la graisse= $1950 * 0,35 = 682.5$ kg/j

La DCO éliminée= $682.5 * 0,8 = 546$ mg/l.

Les charges à la sortie du dégraisseur sont donc:

$[Huiles\ et\ graisses]_s = [Huiles\ et\ graisses]_0 - [Huiles\ et\ graisses]_e$

$= 682.5 - 546 = 136.5$ mg/l.

$[DCO]_s = DCO - [DCO]_e = 1950 - 546 = 1404$ mg/l.

Tableau IV-5 Dimensionnement du dessableur-déshuileur

Paramètre	Unité	Résultat
déssableur-déshuileur		
Volume (V)	m ³	5.86
la surface horizontale	m ²	3.90
temps de séjours	min	22
Longueur	m	3
Largeur	m	1.33
profondeur	m	1.5
Le volume d'air	m ³ /s	$4,44 * 10^{-3}$
Les matières minérales éliminées par dessableur	mg/l	81.9
Les MES à la sortie de déssableur	mg/l	307.1
Les charges (DCO) éliminées par le dégraissage	mg/l	546
Les charges à la sortie du dégraisseur (DCO)	mg/l	1404

IV.3.2 Le traitement physico – chimique

IV.3.2.1 Traitement chimique

- Bassin de coagulation

La coagulation est un procédé chimique qui augmente le rendement de décantation physique, Cette étape se fait à l'aide de différents composés tels que les hydroxydes métalliques, polymères synthétiques...etc. qui favorisent l'agglomération et la séparation des particules colloïdales de l'eau

Le fonctionnement de procédé nécessite une agitation rapide à 100 tr/m pendant 1 à 2 minutes, puis ralentissez à 40 tr / min pendant 20 minutes.

Le volume de bassin de coagulation

$$V_{BC}=Q_e*t_c$$

Tel que :

V_{BC} : le volume de réacteur de coagulation

Q_e : le débit de rejet

T_c : le temps de contact: 20min

Donc

$$V_{BC}=Q_e*t_c=4,44*10^{-3}*20*60=5.33 \text{ m}^3$$

On fixe la hauteur de bassin (H) à 2,5 m

La surface du bassin est de

$$Sh = \frac{V_{bc}}{H} = \frac{5.33}{2.5} = 2.13 \text{ m}^2$$

Le diamètre de bassin est de

$$D = \sqrt{\frac{S * 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{2.13 * 4}{\pi}} = 1.64 \text{ m}$$

➤ **Bassin de floculation**

Le but de la floculation est de dilater les floes formés dans l'étape de coagulation pour accélérer le processus de séparation solide-liquide ultérieure en appliquant une agitation lente le temps de contact (t_c) est de 20 minutes minimum, pour le dimensionnement de volume de réacteur de floculation (VBF) le temps de contact est habituellement de 25 minutes

Le volume de bassin de floculation

$$V_{BF} = O_{rej} * t_c = 4,44 * 10^{-3} * 25 * 60 = 6.66 \text{ m}^3$$

On fixe la hauteur de bassin (H) à 2,5 m

$$Sh = \frac{V_{bf}}{H} = \frac{6.66}{2.5} = 2.66 \text{ m}^2$$

Le diamètre du bassin:

$$D = \sqrt{\frac{s * 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{2.66 * 4}{\pi}} = 1.84m$$

IV.3.2.2 Traitement physique

Les principaux paramètres de calcul du décanteur sont

La charge superficielle (vitesse de chute) V_c est entre 1 et 2.5 m/h.

Le temps de séjours est compris T_s entre 1 et 3 heures.

La hauteur d'eau dans l'ouvrage H est entre 2 et 6m

Surface horizontale du décanteur:

$$Sh = \frac{Q_{rej}}{V_c} = \frac{4,44 * 10^{-3}}{2} * 3600 = 7.99 = 8m^2$$

Volume du décanteur

On prend $T_s = 3h$

Alors : $V = T_s * Q_{rej}$

$$V = 3 * 3600 * 4.44 * 10^{-3} = 47.95 \text{ m}^3$$

On prend $H = 5 \text{ m}$

Le diamètre du décanteur

$$D = \sqrt{\frac{v * 4}{\pi * h}} = \sqrt{\frac{47.95 * 4}{\pi * 5}} = 3.49 = 3.5m$$

➤ Calcul de la charge polluante

Les eaux résiduaires prétraitées contiennent encore des matières organiques et minérales sedimentables, la décantation avec coagulation-floculation permet d'éliminer 75 % de la DBO5 et DCO, 90% de MES, La matière décantable va se déposer au fond du bassin et être récupérée sous forme de boue primaire dans les épaisseurs pour être traitée.

Les charges de pollution à l'entrée du décanteur sont:

- DBO₅ = 258.048 kg/j = **1008 mg/l.**
- MES' = 78.618 kg/j = **371,27 mg/l.**
- DCO = 359.424 kg/j = **1404 mg/l.**

Les charges éliminées par la décantation primaire

- DBO_{5e} = 0,75 * DBO₅ = 0,75 * 258.048 = 193.536 kg/j = **974,92 mg/l.**
- DCO_e = 0,75 * DCO = 0,75 * 359.424 = 269.568 kg/j = **1053 mg/l.**

- $MES_e = 0,90 * MES' = 0,90 * 78.618 = 70.7562 \text{ kg/j} = \mathbf{276.39 \text{ mg/l}}$.

Les charges à la sortie du décanteur primaire sont donc

- $DBO_{5s} = DBO_5 - DBO_{5e} = 258.048 - 193.536 = 64.52 \text{ kg/j} = \mathbf{252.04 \text{ mg/l}}$.
- $DCO_s = DCO - DCO_e = 359.424 - 269.568 = 89.9 \text{ kg/j} = \mathbf{351.2 \text{ mg/l}}$.
- $MES_s = MES' - MES_e = 78.618 - 70.7562 = 7.9 \text{ kg/j} = \mathbf{30.86 \text{ mg/l}}$

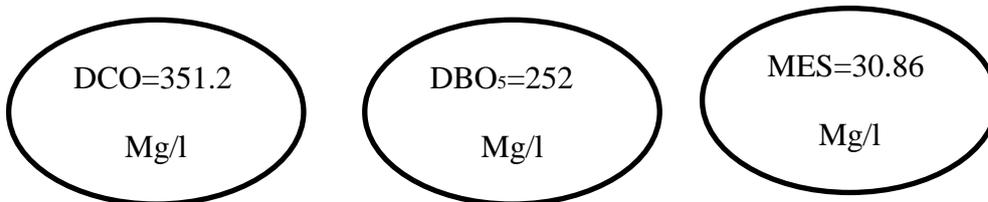


Tableau IV-6 les résultats de dimensionnement du bassin de floculation

Désignation	Unité	Résultat
Bassin de floculation		
Surface horizontale	m ²	2.66
Volume	m ³	6.66
Hauteur	m	2,5
Diamètre	m	1.84

Tableau IV-7 les résultats de dimensionnement du bassin de coagulation

Désignation	Unité	Résultat
Bassin de coagulation		
Surface horizontale	m ²	2.13
Volume	m ³	5.33
Hauteur	m	2,5
Diamètre	m	1.64

Tableau IV-8 les résultats de dimensionnement du Décanteur primaire

Désignation	Unité	Résultat
Décanteur primaire		
Surface horizontale	m ²	8
Volume	m ³	47.95
Hauteur	m	5
Diamètre	m	3.5
DBO ₅	Mg/l	1008
MES	Mg/l	371.27
DCO	Mg/l	1404
DBO ₅ é	Mg/l	974.92
MESé	Mg/l	276.39
DCOé	Mg/l	1053
DBO ₅ s	Mg/l	252.04
MESs	Mg/l	30.86
DCOs	Mg/l	351.2

IV.3.3 Le traitement biologique

IV.3.3.1 Le bassin d'aération

Le dimensionnement d'un bassin biologique revient à déterminer son volume, l'âge des boues présentes dans l'ouvrage et la taille de l'aérateur, à travers la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique et de l'azote.

➤ Détermination du volume du bassin

La détermination du volume d'un bassin d'aération dépend principalement de 2 critères:

- La charge de polluant en entrée : DBO₅ et DCO
- La charge volumique appliquée : elle représente la pollution journalière par mètre cube d'effluent dans le bassin, elle s'exprime en kgDBO₅/m³.j

C'est cette charge volumique qui va nous permettre de déterminer le volume du bassin d'aération, il nous suffit de fixer la charge souhaitée.

La charge volumique dans le bassin peut prendre plusieurs valeurs, elles sont définies dans le tableau suivant présentant les différentes charges volumiques et leur degré:

Tableau IV-9 Les charges du bassin d'aération

Type de charge	Charge volumique appliquée	Appliquée Charge massique
Aération prolongée	$0,3 < C_v$	$0,1 < C_m < 0,2$
Faible charge	$0,3 < C_v < 0,8$	$0,2 < c_m < 0,5$
Moyenne Charge	$0,8 < C_v < 1,8$	$0,5 < C_m < 1$
Forte charge	$1.8 < C_v$	$1 < C_m$

Donc:

$$c_v = \frac{DCO}{DBO5} = \frac{351.2}{252.04} = 1.39$$

Pour notre cas on est face d'un traitement a boues activées à moyenne charge.

- Une charge volumique : $0,8 < c_v < 1,8$ kg DBO5/j/m3
- On prend une charge volumique : $c_v = 0.9$ kg DBO5/j/m3
- Une charge massique : $0,5 < c_m < 0,1$ (kg DBO5/kg MVS/j)
- On prend une charge massique : $c_m = 0,5$ kg DBO5/kg MVS/j

Volume du bassin d'aération

$$V_b = \frac{DBO5_s}{C_v} = \frac{252.04 * 256 * 10^{-3}}{0.9} = 71.7 \text{ m}^3$$

On prend la hauteur $h=4$

➤ **Surface**

$$S_h = \frac{V_b}{H} = \frac{71.7}{4} = 17.83 \text{ m}^2$$

➤ **Diamètre**

$$D = \sqrt{\frac{4 \times S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 17.83}{\pi}} = 4.77 \text{ m}$$

➤ **Temps de séjour**

$$Th = \frac{Vb}{Q} = \frac{71.7}{256} = \mathbf{0.28 \text{ JOUR}}$$

$$Th = 0.28 * 24 = 6h43min$$

Avec

- V: volume du bassin d'aération
- Q: le débit de rejet

Tableau IV-10 résultats de dimensionnement du bassin d'aération

Désignation	Unité	Résultat
bassin d'aération		
Surface horizontale	m ²	17.82
Volume	m ³	71.7
Hauteur	m	4
Diamètre	m	4.77

➤ **La masse de boues dans le bassin**

$$Xa = \frac{L_0}{C_m} = \frac{252.04 \times 10^{-3} \times 2256}{0.5} = 129.044 \text{ Kg}$$

➤ **Concentration de boues dans le bassin**

$$[Xa] = \frac{Xa}{V} = \frac{129.044}{71.7} = 1.9 \text{ g/l}$$

➤ **La quantité d'oxygène nécessaire**

Les installations d'épuration biologiques fonctionnent généralement en présence d'oxygène, la vitesse de dissolution de l'oxygène dans l'eau dépend de: la température, l'altitude, le débit, la concentration de la pollution et la géométrie du bassin.

Les besoins en oxygène sont définis par l'expression suivante :

$$q_{O_2} = a'Le + b'Xa$$

Avec:

- q_{O_2} : Besoin en oxygène (Kg/j).
- Le : charge en DBO5 éliminée (Kg/j).
- Xa : la masse totale de boues présente dans le bassin d'aération (Kg).
- b' : coefficient de cinétique de respiration endogène.

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

Le tableau suivant donne les valeurs de a' et b' suivant la charge massique appliquée.

Tableau IV-11 valeur des coefficients a' et b' en fonction de la charge massique.

Cm	<0.1	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5>
a'	0.66	0.65	0.63	0.59	0.56	0.53	0.5
b'	0.06	0.07	0.075	0.08	0.085	0.09	0.1 à 1.2

Pour notre cas : a'=0.5 b'=0.1

- **La quantité d'oxygène journalière est:**

$$q_{O2} = a'(L_0 - l_f) + b'Xa = 0.5 (13.32) + 0.08 * 306.6 = \mathbf{32.38 \text{ kgo2/j}}$$

IV.3.3.2 Dimensionnement du clarificateur:

Le principe de calcul du clarificateur est le même que celui du décanteur primaire.

Le temps de séjour dans le clarificateur est entre 1 à 3 heures on prend Th=1h.

La hauteur d'eau dans l'ouvrage est entre 3 à 5 m on prend h=4m.

- **Le volume du clarificateur**

Est calculé avec la formule suivante :

$$V = Q_{re} * Th = 1 * 3600 * 4.44 * 10^{-3} = 16 \text{ m}^3$$

- **Surface horizontale du décanteur**

$$Sh = \frac{V}{H} = \frac{16}{4} = \mathbf{4 \text{ m}^2}$$

- **Calcul du diamètre**

$$D = \sqrt{\frac{4 * S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 4}{\pi}} = \mathbf{2.25 \text{ m}}$$

Tableau IV-12 les résultats de dimensionnement du clarificateur

Désignation	Unité	Résultat
Clarificateur		
Surface horizontale	m ²	4
Volume	m ³	16
Hauteur	M	4
Diamètre	M	2.625

IV.3.3.3 Evaluation des charges:

Le traitement biologique choisi rabat les charges de la DBO ainsi que la DCO de 80% selon le traitement à moyenne charge, il permet également d'éliminer 30% de la pollution azotée

➤ **Les charges éliminées par le bassin d'aération sont donc**

$$DBO_{5e} = 0.8 * DBO_5 = 0.8 * 252 = 226 \text{ mg/l.}$$

$$DCO_e = 0.8 * DCO = 0.8 * 351.2 = 280 \text{ mg/l.}$$

$$Azote_e = 0.3 * [azote] = 0.3 * 46 = 13.5 \text{ mg/l.}$$

Le tableau suivant représente les concentrations après le traitement biologique

Tableau IV-13 les concentrations après le traitement biologique

Désignation	Unité	Concentration
DBO ₅ entrées	mg/l	252
DCO entrées	mg/l	351.2
NTK entrées	mg/l	46
DBO ₅ éliminée	mg/l	226
NTK éliminée	mg/l	13.5
DBO ₅ sorties	mg/l	26
DCO sorties	mg/l	71.2
NTK sorties	mg/l	32.5

IV.3.4 Traitement tertiaire

IV.3.4.1 La désinfection:

Permet d'éliminer les micro-organismes pathogènes de l'eau. La désinfection des eaux épurées est une nécessité car on prévoit:

- une réutilisation pour des opérations d'arrosage.
- une réutilisation pour des opérations de lavage (sols. Machines).
- une réutilisation pour des eaux de refroidissement.

IV.4 Traitement des boues:

Le traitement des boues a pour but de diminuer leur teneur en eau et à réduire de manière efficace leur charge polluante et fermentescible. Les boues sont des particules solides non retenues par les procédés de traitement de l'eau (dégradation et séparation des polluants de l'eau). Le traitement des eaux usées urbaines et industrielles génèrent des quantités variables de boues, boue primaire issue du décanteur primaire et boue secondaire issue du traitement biologique. Ces boues sont très liquides, souvent fermentescibles, porteuses de germes et d'agents pathogènes et génératrices de mauvaises odeurs, d'où la nécessité de les traiter.

IV.4.1 Les objectifs du traitement sont

- la réduction du volume des boues
- la réduction voire l'élimination du pouvoir fermentescible.
- la Réduction du risque sanitaire et environnemental

La filière de traitement des boues comprend en générale un traitement d'épaississement, une étape de stabilisation suivie d'une filtration, le séchage puis l'élimination (incinération, réutilisation).

Le choix des traitements apportés aux boues des eaux résiduaires industrielles dépend fortement de leurs origines et caractéristiques (teneur en matières sèche, teneur en MO et MVS, concentration en ETM...etc.)

IV.4.2 Quantification des boues

La fonction de cet ouvrage est d'épaissir les boues, de diminuer leur taux d'humidité afin de pouvoir les envoyer sur les lits de séchage, avec un degré de concentration satisfaisant.

Boues issues du décanteur primaire:

La boue primaire : $DXp = DBO5e + MESe$

$$DXp = 193.536 + 70.62 = 264.16 \text{ kg/j}$$

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

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

X_{\min} : Boues minérales (30% de MESs) en (kg/j) $X_{\min} = 2.7 \text{ kg/j}$

X_{dur} : boues difficilement biodégradables (appelées matières dures), elles représentent (30 à 35%) des MVS.

$$X_{\text{dur}} = 0,3 \cdot (0,70 \cdot 8,42) = 1.76 \text{ kg/j}$$

X_a : masse totale en MVS dans le bassin (Kg)

$$X_a = \frac{L_0}{C_m} = \frac{252.04 \times 10^{-3} \times 256}{0,2} = 361.01 \text{ Kg}$$

$$b \cdot X_a = 0,05 \cdot 361.01 = 18.05 \text{ kg/j}$$

L_e : quantité de DBO5 à éliminer (kg/j)

$$L_e = 55.188 \text{ (kg/j)}$$

$$a \cdot L_e = 0,55 \cdot 55,188 = 30,3534 \text{ kg/j}$$

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

$$X_{\text{eff}} = 30 \cdot 10^{-3} \cdot Q_{\text{rej}} = 7,2 \text{ kg/j}$$

$$\Delta X = 2.7 + 1.76 + 30,3534 - 18.05 - 7,2 = 9.5634 \text{ Kg/j.}$$

Donc la quantité totale journalière des boues sera :

$$DX_t = X_p + \Delta X$$

$$DX_t = 264.16 + 9.5634 = 273.72 \text{ kg/j}$$

IV.4.3 L'épaississeur

La concentration de la boue à l'entrée de l'épaississeur :

Pour les boues primaires S1 de 20 à 30 g/l

Pour les boues secondaires S2 de 10 à 30 g/l

Le débit d'extraction des boues du décanteur primaire : $Q_1 = X / S_1$

$$Q_1 = 264.16 / 20 = 13.208 \text{ m}^3/\text{j}$$

Le débit d'extraction des boues du décanteur secondaire :

$$Q_2 = \Delta X / S_2$$

$$Q_2 = 9.5634 / 10 = 0.96 \text{ m}^3/\text{j}$$

Le débit total $Q_t = Q_1 + Q_2$

$$Q_t = 14.168 \text{ m}^3/\text{j}$$

IV.4.3.1 Le volume d'épaississeur

Le temps de séjour dans l'épaississeur est entre 1 à 15 jours, on prend un temps de séjour (t_s) à l'ordre de 3 jours

Donc le volume de l'épaississeur (V_e)

$$V_e = Q_t \cdot t_s = 3 \cdot 14.168 = 42.504 \text{ m}^3$$

IV.4.3.2 La surface horizontale d'épaisseur (Sh)

Pour une hauteur (h) de 2 m la surface horizontale d'épaisseur est calculée comme suit :

$$S_h = V_e / h = 42.504 / 2 = 21.252 \text{ m}^2$$

Donc le diamètre de l'épaisseur

$$D = \sqrt{\frac{4 \times S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 21.252}{\pi}} = 5.2 \text{ m}$$

Tableau IV-14 Les résultats de dimensionnement de l'épaisseur

Le débit des boues entré (m ³ /j)	14.168
Le temps de séjour (j)	3
Le volume de l'épaisseur (m ³)	42.504
La surface de l'épaisseur (m ²)	21.252
Diamètre(m)	5.2

IV.4.4 Déshydratation naturelle (séchage)

IV.4.4.1 Les lits de séchage

Le séchage des boues sur lits de sable est une technique de déshydratation naturelle. Elle n'est à retenir que sur des boues bien stabilisées (digérées anaérobies ou éventuellement d'aération prolongée). L'aire de séchage comprend deux couches :

- Une première couche support de graviers ou sont aménagés des drains.
- Une deuxième couche filtrante de sable.

Cette technique est basée sur une première phase de drainage et une deuxième de séchage atmosphérique.

IV.4.4.2 Dimensionnement du lit de séchage

- e : l'épaisseur des boues qui est comprise entre (20 à 30) cm, on prend : e = 30 cm
- La longueur L = (20 à 30) m, on prend : L = 20 m.
- Hauteur : H = 0.5 m.
- Largeur : B = 7 m.

$$V = L \times B \times e = 20 \times 7 \times 0.30 = 42 \text{ m}^3$$

La concentration de boues activées épaissies est de 20 à 50 g/l.

En prenant une concentration de 30 g/l le volume journalier des boues épandues sera:

$$Vé = \Delta X t / 25 = 273.72 / 30 = 9.124 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$Vé = 9.124 \text{ m}^3/\text{j}$$

- **Volume des boues épandues par lit et par an**

On admet que le lit sert 10 fois par an :

$$\text{Donc: } V_a = 10 \times V = 10 \times 42 = 420 \text{ m}^3$$

$$V_a = 420 \text{ m}^3$$

- **Volume de boues sécher par an**

$$V_{an} = Vé \times 365 = 9.124 \times 365 = 3330.26 \text{ m}^3/\text{an}$$

$$V_{an} = 3330.26 \text{ m}^3/\text{an}$$

- **Nombre de lits nécessaire**

$$N = V_{an} / V_a = 3330.26 / 420 = 8 \text{ lits}$$

Tableau IV-15 Dimensionnement des lits de séchage

Désignation	Unite	résultat
- longueur	M	20
- Hauteur	M	0.5
- largeur	M	7
- l'épaisseur des boues	Cm	30
- volume d'un lit (V)	m ³	42
- le volume journalier des boues épandues (Vé)	m ³ /j	9.124
- volume des boues épandues par lit et par an (Va)	m ³	420
- volume de boues sécher par an (Van)	m ³ /an	3330.26
- Nombre de lit (N)	-	8

IV.5 Evaluation des charges après traitement

Suite à cette série de traitements adaptés dans le but de répondre aux normes de rejets ainsi que de pouvoir réutiliser ces eaux, voici un tableau qui récapitule les charges polluantes relativement aux normes de rejet.

Tableau IV-16 les concentrations et Normes de rejets

Paramètres	Concentration (mg/l)	Normes de rejets
Qrej	256 m ³ /j	N/A
NTK	31	30
DCO	71.2	120
DBO5	26	40
MES	30.86	40

D'une part le tableau montre bien que les valeurs des charges polluantes sont nettement inférieures aux normes de rejet prévenant ainsi tout impact négatif sur l'environnement lors du rejet au milieu naturel. D'autre part, les eaux résultantes à cette composition de traitements peuvent en effet être réutilisées en arrosage des espaces verts de proximité ainsi que pour les lavages des sols, camions et véhicules de transport en plus de l'alimentation du réseau incendie de l'usine.

Conclusion

Ce chapitre a pour but de dimensionner les ouvrages de traitement des eaux usées avant le rejet en milieu naturel par des procédés adéquats en fonction des caractéristiques des eaux usées ainsi que les normes de rejet et de réutilisation.

Le traitement répond aux normes de rejet au milieu naturel ainsi qu'à la réutilisation en lavage, refroidissement.

Chapitre 05 :

Calcul hydraulique

Chapitre V Calcul hydraulique

Introduction:

Dans ce chapitre, nous allons procéder au calcul des ouvrages qui assurent la circulation de l'eau d'un bassin à un autre et introduire le profil hydraulique associé à la chaîne d'épuration des eaux résiduaires industrielles.

V.1 Relevage

Pour le dimensionnement du bassin d'aspiration de forme rectangulaire on utilise le débit maximal rejetée par l'usine, Donc il faut calculer le volume de bassin :

$$V = \frac{T_s * Q_r}{4 * (N - 1)}$$

- Q_{rej} : Le débit de pointe par temps sec (m³/s).
- t_s : L'intervalle entre deux démarrages successifs de la pompe qui varie (6-20) mn.
- N: Nombre de pompe

$$V = \frac{T_s * Q_r}{4 * (N - 1)} = \frac{10 * 60 * 4.44 * 10^{-3}}{4 * (2 - 1)} = \mathbf{0.66m^3}$$

V.1.1 Conduite de refoulement

La conduite de refoulement a pour but de relier le poste de relevage à la chaîne de traitement de la STEP à commencer par le dégrilleur.

V.1.2 Dimensionnement de la conduite de refoulement

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

$$D = \sqrt{Q_{rej} t} \text{ (m)}$$

$$D = \sqrt{4.44 * 10^{-3} * 60} = 0.067 \text{ m}$$

Donc le diamètre normalisé est $D = 80 \text{ mm}$

La vitesse d'écoulement est :

$$v = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

$$v = \frac{4 * 4.44 * 10^{-3}}{\pi * (0.08)^2} = 0.88 \text{ m/s}$$

L'expression de perte de charge est exprimée par la formule de DARCY WEISBACH :

$$\Delta h = \frac{k * L * Q^\beta}{D^m} = Cpa - Cpb$$

Avec:

- Cpa : côte du plan d'eau au point A
- Cpb : côte du plan d'eau au point B

Diamètre

D'après la formule de DARCY WEISBACH le diamètre est donné par cette formule :

$$D = \sqrt[m]{\frac{K * L * Q^\beta}{Cpa - Cpb}}$$

Longueurs des conduites

Dans notre cas on a:

Tableau V-1 longueurs théoriques supposées des conduites entre les ouvrages de la STEP.

Ouvrages	L théoriques supposées (m)
Dégrilleur >>>> Déssableur - déshuileur	5
Déssableur – déshuileur >>>> B. coagulation	6
B. coagulation >>>> B. flocculation	6
B. flocculation >>>> décanteur primaire	9
décanteur primaire >>>> Le bassin d'aération	9
Le bassin d'aération >>>> clarificateur	9

V.1.3 Calculs des cotes piézométriques des différents ouvrages

On calcule les cotes piézométriques d'après l'équation de BERNOULLI donné par:

$$P1/W + V1^2 / 2g + Z1 = P2/W + V2^2 / 2g + Z2 + H1-2$$

- P1/W et P2/W : énergies de pression dans les sections (1) et (2).
- V1²/2g et V2²/2g : énergies cinétiques en (1) et (2).
- Z1 et Z2 : cotes des points (1) et (2).
- H1-2 : pertes de charges dans le tronçon (1 – 2).

La variation de vitesse est très faible, donc les énergies cinétiques peuvent être éliminées il vient :

$$P1/W + Z1 = P2/W + Z2 + H1-2$$

On pose:

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

Donc:

$$H1 + Z1 = H2 + Z2$$

$$CP1 = H1 + Z1$$

$$CP2 = H2 + Z2$$

$$CP1' = CP2' + H1-2$$

V.1.4 Calculs des cotes piézométriques des différents ouvrages

On calcule les cotes piézométriques d'après l'équation de BERNOULLI donné par:

$$P1/W + V1^2/2g + Z1 = P2/W + V2^2/2g + Z2 + H1-2$$

- $P1/W$ et $P2/W$: énergies de pression dans les sections (1) et (2).
- $V1^2/2g$ et $V2^2/2g$: énergies cinétiques en (1) et (2).
- $Z1$ et $Z2$: cotes des points (1) et (2).
- $H1-2$: pertes de charges dans le tronçon (1 – 2).

La variation de vitesse est très faible, donc les énergies cinétiques peuvent être éliminées il vient :

$$P1/W + Z1 = P2/W + Z2 + H1-2$$

On pose:

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

Donc:

$$H1 + Z1 = H2 + Z2$$

$$CP1 = H1 + Z1$$

$$CP2 = H2 + Z2$$

$$CP1' = CP2' + H1-2$$

Calcul des diamètres des conduites reliant les ouvrages et les cotes piézométriques:

➤ Conduite Dégrilleur >>>>> Déssableur - déshuileur

On a :

Cote du radier du dégrilleur (A) : 70.80 m

Hauteur d'eau = 0,6 m

D'où : $CPA = 70.80 + 0,6 = 71.40$ m

Cote du radier du Déssableur - déshuileur: 69.90 m

Hauteur d'eau : 1m

D'où : CPB= 69.90 +1= 70.90 m

Avec L=5

- **Diamètre**

$$D = \sqrt[m]{\frac{K * L * Q^\beta}{Cpa - Cpb}} = \sqrt[5.2]{\frac{0.00179 * 5 * (4.44 * 10 - 3)^{1.9}}{71.4 - 70.9}}$$

$$D=0.0637m$$

$$Dn=65mm$$

- **Cote piézométrique**

D'où on aura

$$Cpb' = Cpa - \frac{k * L * Q^\beta}{D^m}$$

$$Cpb' = 71.40 - \frac{0.00179 * 5 * (4.44 * 10 - 3)^{1.9}}{0.065^{5.2}} = 70.95m$$

$$Cpb' = \mathbf{70.95m}$$

➤ **Conduite Désableur-déshuileur >>>>> B. coagulation**

Cpa=70.95

Cote du radier du B. coagulation (b) : 69.50 m

Hauteur d'eau= 2.5 m

D'où :

CPB= 69.50+ 2.50 = 72 m

L = 6m

- **Diamètre**

$$D = \sqrt[m]{\frac{K * L * Q^\beta}{Cpa - Cpb}} = \sqrt[5.2]{\frac{0.00179 * 6 * (4.44 * 10 - 3)^{1.9}}{72 - 70.95}}$$

$$D=0.0572m$$

$$Dn=65mm$$

- **Cote piézométrique**

D'où on aura

$$C_{pb'} = C_{pa'} - \frac{k * L * Q^\beta}{D^m}$$

$$C_{pb'} = 70.95 - \frac{0.00179 * 6 * (4.44 * 10 - 3)^{1.9}}{0.065^{5.2}} = 70.41\text{m}$$

$$C_{pb'} = \mathbf{70.41\text{m}}$$

➤ **Conduite coagulation >>>> bassin de floculation**

$C_{pa}=70.41$

Cote du radier de B. coagulation (b) : 69.00 m

Hauteur d'eau= 2.5 m

D'où :

$CPB= 69.00+ 2.50 = 71.5$ m

$L = 6\text{m}$

• **Diamètre**

$$D = \sqrt[m]{\frac{K * L * Q^\beta}{C_{pa} - C_{pb}}} = \sqrt[5.2]{\frac{0.00179 * 6 * (4.44 * 10 - 3)^{1.9}}{71.5 - 70.41}}$$

$$D=0.0568\text{m}$$

$$D_n=65\text{mm}$$

• **Cote piézométrique**

D'où on aura

$$C_{pb'} = C_{pa'} - \frac{k * L * Q^\beta}{D^m}$$

$$C_{pb'} = 70.41 - \frac{0.00179 * 6 * (4.44 * 10 - 3)^{1.9}}{0.065^{5.2}} = 69.86$$

$$C_{pb'} = \mathbf{69.86\text{m}}$$

➤ **Conduite bassin de floculation >>>> décanteur primaire**

$C_{pa}=69.86$

Cote du radier du b.décanteur primaire 68.60 m

Hauteur d'eau= 5 m

D'où :

$CPB= 68.60+ 5 = 73.6$ m

$$L = 9\text{m}$$

- **Diamètre**

$$D = \sqrt[m]{\frac{K * L * Q^\beta}{C_{pa} - C_{pb}}} = \sqrt[5.2]{\frac{0.00179 * 9 * (4.44 * 10 - 3)^{1.9}}{73.6 - 69.86}}$$

$$D=0.051\text{m}$$

$$D_n=65\text{mm}$$

- **Cote piézométrique**

D'où on aura

$$C_{pb}' = C_{pa}' - \frac{k * L * Q^\beta}{D^m}$$

$$C_{pb}' = 69.86 - \frac{0.00179 * 9 * (4.44 * 10 - 3)^{1.9}}{0.065^{5.2}} = 69.05$$

$$C_{pb}' = \mathbf{69.05\text{m}}$$

➤ **Conduite décanteur primaire>>>>>Le bassin d'aération**

$$C_{pa}=69.05$$

Cote du radier du bassin d'aération: 68.20 m

Hauteur d'eau= 4 m

D'où :

$$C_{PB}= 68.20+ 4 = 72.20 \text{ m}$$

$$L = 9\text{m}$$

- **Diamètre**

$$D = \sqrt[m]{\frac{K * L * Q^\beta}{C_{pa} - C_{pb}}} = \sqrt[5.2]{\frac{0.00179 * 9 * (4.44 * 10 - 3)^{1.9}}{72.20 - 69.05}}$$

$$D=0.0501\text{m}$$

$$D_n=65\text{mm}$$

- **Cote piézométrique**

D'où on aura

$$C_{pb}' = C_{pa}' - \frac{k * L * Q^\beta}{D^m}$$

$$C_{pb}' = 69.05 - \frac{0.00179 * 9 * (4.44 * 10 - 3)^{1.9}}{0.065^{5.2}} = 68.23\text{m}$$

$$C_{pb}' = \mathbf{68.23\text{m}}$$

➤ **Conduite Le bassin d'aération >>>> clarificateur**

$C_{pa}=68.23$

Cote du radier de clarificateur (b) : 67.80 m

Hauteur d'eau= 4 m

D'où :

$CPB= 67.80+ 4 = 71.80 \text{ m}$

$L = 9\text{m}$

• **Diamètre**

$$D = \sqrt[m]{\frac{K * L * Q^\beta}{C_{pa} - C_{pb}}} = \sqrt[5.2]{\frac{0.00179 * 9 * (4.44 * 10 - 3)^{1.9}}{71.80 - 68.23}}$$

$D=0.049\text{m}$

$D_n=65\text{mm}$

• **Cote piézométrique**

D'où on aura

$$C_{pb}' = C_{pa}' - \frac{k * L * Q^\beta}{D^m}$$

$$C_{pb}' = 68.23 - \frac{0.00179 * 9 * (4.44 * 10 - 3)^{1.9}}{0.065^{5.2}} = 68.22\text{m}$$

$$C_{pb}' = \mathbf{68.22\text{m}}$$

Tableau V-2 Les résultat cote du (terrain, radier et piezometrique)

Désignation	Cote du terrain (m)	Cote de radier (m)	Plan d'eau (m)	Cote piézométrique
Dégrilleur	70.80	70.80	0.6	71.40
Déssableur - déshuileur	69.90	69.40	1	70.95

Bassin de coagulation	69.50	69.00	2.5	70.41
Bassin de floculation	69.00	68.50	2.5	69.86
Décanteur primaire	68.60	67.00	4	69.05
Le bassin d'aération	68.20	67.20	4	68.23
clarificateur	67.80	67.00	4	68.22

Conclusion

Dans ce chapitre, on a effectué le calcul hydraulique de la station d'épuration dont le profil hydraulique de la station d'épuration et le dimensionnement des équipements et ouvrages hydrauliques nécessaires pour le fonctionnement de la chaine d'épuration comme :

- Le poste de relevage
- La pompe de relevage
- Les conduites qui relient les ouvrages de traitement.

Chapitre 06: Gestion et entretien de la station

Chapitre VI Gestion et entretien de la station

Introduction

Dans ce chapitre on va expliquer la gestion d'exploitation de la station d'épuration et hygiène et sécurité. Le bon fonctionnement et la durée de vie d'une station d'épuration dépendent fortement de l'entretien de ses ouvrages.

VI.1 La gestion de la station d'épuration

La gestion de la STEP est l'ensemble des techniques et moyens faire par des techniciens et des agents pour le bonne fonctionnement de la station.

VI.1.1 Les objectifs de la gestion de la STEP

- Connaître les exigences réglementaires ;
- Connaître les responsabilités du gestionnaire ;
- Connaître les technique du traitement de l'eau, des boues et de l'air ;
- Connaître les contraintes et solution d'élimination des sous-produits ;
- Savoir réaliser et exploiter un bilan de fonctionnement d'une STEP.

VI.1.2 Le chef d'exploitation de la station d'épuration

C'est le responsable générale de la station, il est responsable de :

- Assure de l'application des procédures et règles sécurité, d'hygiène, qualité et environnement ;
- Contrôle le fonctionnement des installations et des équipements ;
- Vérifie l'exploitation et détecte les causes de non-conformité des produits entrants ou sortants, eaux, boues, déchets,..) ;
- Détermine les évolutions de procédure, méthodes, consigne et modes intervention et suit leur mise en œuvre.

VI.1.3 Moyens et techniques d'exploitation de la station d'épuration

Le tableau suivant explique comment les gens et les techniciens faire pour le bon fonctionnement de la station d'épuration

Tableau VI-1 Les rôles des personnes dans la STEP

Les Personnels	Les Rôles
Le chef de la station	Tache administrative (organisation du personnel)
Technicien de laboratoire	Responsable sur les analyses et l'échantillonnage
Electromécanicien	Dépannage de toutes les filières (eau et boues) peut devenir chef d'exploitation d'une filière sophistiquée
Des ouvriers	Entretiens des filières simples
Agent d'exploitation	Entretiens des filières simples
Des gardiens	Assurent la sécurité de la STEP 24/24 h

VI.2 L'entretien et le suivi des équipements de la station d'épuration

➤ Le dégrilleur

- **Entretien:**

Nettoyage journalier de la grille manuelle.

Mise en stockage en conteneur à ordures ou bac approprié après égouttage préalable.

- **Suivi:**

Contrôle visuel journalier des équipements électromécaniques.

Inspection journalier de la quantité de déchets retenus.

- **Matériels utilisés:**

Râteau ou fourche.

- **Temps nécessaire d'entretien:**

De 1 à 2 min par manipulation.

➤ Désableur

- **Entretien:**

Extraction des sables 1 à 2 fois par semaine.

Vanne d'extraction fermée durant 30 s à 1 mn pour séparation sable et matière organique.

- **Suivi:**

Contrôle de la quantité des sables piégés systèmes automatisés.

- **Matériels utilisés:**

Pelle.

- **Temps nécessaire d'entretien:**

De 15 à 30 mn par semaine.

- **Dégraissage**

- **Entretien:**

Ecumage journalière des ouvrages non mécanisés et stockage en fosse.

Vidange régulière de la fosse de stockage des écumes.

- **Suivi:**

Contrôle des équipements (bullage-raclage)

Vérification de la mise en trémie des graisses (colmatage)

- **Matériels utilisés:**

Ecumoire-Raclette- Citerne pour le vidange des graisse.

- **Temps nécessaire d'entretien:**

Quelque minute par opération.

- **Traitement biologique (boues activées)**

- **Entretien:**

Vérifie le déversoir d'orage.

Nettoyer les prétraitements et évacuer les déchets.

Nettoyer les parois des bassins.

Contrôle du fonctionnement des moteurs et compteurs de l'armoire électrique ;

Nettoyage et vidange des appareils électromécaniques (pompes, turbines)

- **Clarificateur**

- **Entretien:**

Brossage des parois de l'ouvrage jusqu'au fond de l'ouvrage..

- **Suivi:**

1 à 2 fois par semaine.

Vérification journalière de la limpidité et du niveau des dans le clarificateur.

- **Matériels utilisés:**

1 à 2 éprouvettes d'un litre (en plastique).

1 disque blanc de mesure de la turbidité ou disque de Secchi.

- **Temps nécessaire d'entretien:**

15 à 30 mn par semaine pour le Brossage des parois d'un décanteur.

30 mn décantation en éprouvette.

VI.3 Les avantages et les inconvénients de la station d'épuration

➤ **Les avantages:**

- La protection d'oued Soummam.
- La préservation des espaces animales et végétales (la faune et la flore)
- Il est considéré comme écologique par la réutilisation des eaux épurées dans les besoin de l'environnement.
- Réduire la pression sur les ressources en eau

➤ **Les inconvénients:**

- Causer des problèmes de santé s'il n'est pas correctement traité.
- Les eaux épurées peuvent faire des blocages dans le réseau d'irrigations.
- Causer des dommages à la plante.

VI.4 Hygiène et sécurité

Les ouvrage de la station d'épuration peut présenter un danger si certaines précautions et ne se pas respectées.

VI.4.1 Les risques

VI.4.1.1 Infection

Les effluents sont riches en agents pathogène très dangereux

Comment se protéger :

- Eviter les contacts directs avec les eaux ;

- Prendre soin de la propreté des mains et des vêtements après intervention ;
- Se faire vacciner et penser aux rappels.

VI.4.1.2 Produit dangereux

Certaines unités de traitement intègrent dans leur processus des produits dangereux comme chlorure ferrique et polymère ...etc.

Comment se protéger :

- Si possible travailler à proximités d'un point d'eau potable ;
- Porter les EPI nécessaires (gants,...)

VI.4.1.3 Dangers mécaniques

- Ranger l'outillage correctement ;
- Fermer les regards après chaque intervention ;
- Maintenir les passerelles et garde-corps en bon états.

Conclusion

La station d'épuration est un élément très important pour cela il faut exploiter mais avec deux critères doit être appliquer rigoureusement :

1. l'entretien périodique des différents ouvrages de la STEP permet exploiter la station dans très bonne condition ;
2. l'hygiène et la sécurité de dans le travail sont des paramètres important il y va de la santé et vie du personnel de la station.

Chapitre 07 :

Aspect

Économique

Chapitre VII Aspect économique

Introduction

Après avoir établi les différentes chaînes de traitement d'eau usée, on doit élaborer un devis estimatif et quantitatif pour les différents volumes de travaux et les divers éléments composant la station.

Le coût estimatif du projet est rétabli sur la base du coût du mètre cube (m³) d'eau épurée par la station.

☞ Le coût d'investissement :

- Coût des travaux de génie civil (terrassement et coût des ouvrages en béton).
- Les équipements (racleurs, turbine, pompes aérateurs, tuyauterie...)

☞ Le coût de fonctionnement :

- Coût d'exploitation courante.
- Coût de renouvellement du matériel électromécanique.
- Frais financiers et de la main d'œuvre.

VII.1 Coût d'investissement

VII.1.1 Coût de terrassement

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

Le prix du mètre cube de terrassement sera évalué à 300 DA.

On calculera le volume de la couche végétale par l'expression :

$$V = 0.2 \times Sh_i$$

Avec :

- V : volume de terrassement de l'ouvrage considéré.
- Sh_i : surface horizontale de l'ouvrage considéré.

Le coût d'un ouvrage sera donc : $C = 30$

Tableau VII-1 Le coût de terrassement de chaque ouvrage

Ouvrages	nombre	Volume (m ³)	Coût (DA)
Déssableur-déshuilleur	01	0.78	234
Décanteur primaire	01	1.6	480
Bassin d'aération	01	3.57	1071
Clarificateur	01	0.8	240
Epaississeur	01	4.25	1275
Lit de séchage	8	224	67200

Donc le coût total du terrassement est $C_{terr} = 70500$ DA

VII.1.2 Coût du béton armé

Le coût du béton revient actuellement a $P_u=20000$ DA/m³.

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

C_b : le coût du béton.

V_{tb} : le volume total du béton.

Epaisseur des murs de l'ouvrage e_m : (0.15 à 0.5) m.

Epaisseur en radiers de l'ouvrage e_r : (0.3 à 0.4) m.

➤ Calcul du volume de béton armé

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

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

Tel que :

- $V_r = S_h \times e_r$
- $V_m = P \times H \times e_m$

On prend :

L'épaisseur du mur $e_m = 0.15$ m

L'épaisseur du radier $e_r = 0.3$ m

V_r : volume du radier.

V_m : volume du mur.

P : périmètre de l'ouvrage.

H : Hauteur de l'ouvrage.

Tableau VII-2 Le coût du béton armé de chaque ouvrage.

Ouvrages	Nombre	Volume (m ³)		V _{tb}	Coût (DA)
		V _m	V _r		
- Dessableur-déshuilleur	01	1.2	1.17	2.37	47400
- Décanteur primaire	01	6.1	2.4	8.5	170000
- Bassin d'aération	01	7.3	5.33	12.63	252600
Clarificateur	01	2.2	1.2	3.4	68000
- Epaisseur	01	5.4	6.37	11.77	235400
- Lit de séchage	13	44.1	210	254.1	5082000

Coût total du béton armé est C_{ba} = 7965400 DA

VII.1.3 Coût total du génie civil

Le total du génie civil est la somme des deux coûts calculé précédemment :

$$C_{gc} = C_{terr} + C_{gc} = 70500 + 7965400 = 8035900 \text{ DA}$$

VII.1.4 Coût des VRD

Le coût des VRD est estimé à 25% du coût du génie civil donc :

$$C_{VRD} = 0.25 \times 7965400 = 1991350 \text{ DA}$$

VII.1.5 Coût des équipements électromécaniques et électriques et des installations hydromécaniques

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

$$C_{eq} = 0.4 \times (8035900 + 1991350) = 4010900 \text{ DA}$$

VII.1.6 Coût total des investissements de la station

$$C_{Ti} = C_{gc} + C_{VRD} + C_{eq} = 8035900 + 1991350 + 4010900 = 14038150 \text{ DA}$$

VII.2 Coût de fonctionnement

VII.2.1 Le coût de main d'œuvre

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

$$C_{m.o} = 0.05 \times C_{Ti} = 0.05 \times 14038150 = 701907.5 \text{ DA}$$

VII.2.2 Le coût de renouvellement du matériel électromécanique

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

$$C_{rm} = 0.05 \times 14038150 = 701907.5 \text{ DA}$$

Chapitre VII Aspect économique

VII.2.3 Le coût des frais financiers

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

$$C_{ff} = 0.05 \times 14038150 = 701907.5 \text{ DA}$$

VII.2.4 Le coût de fonctionnement total

$$C_{Ft} = C_{mo} + C_{rm} + C_{ff} = 701907.5 \times 3$$

$$C_{Ft} = 2105722.5 \text{ DA}$$

VII.3 Cout du projet d'une somme égale

$$I = 14038150 + 2105722.5 = \mathbf{16143872.5 \text{ DA}}$$

Conclusion

L'estimation effectuée nous a permis d'avoir une idée sur le cout du projet de conception d'une unité d'épuration des eaux usées industrielles de l'usine TUNA STAR. Sise à la wilaya de BEJAIA, Ce dernier est estimé à 16143872.5 DA.

Conclusion général

Conclusion générale

L'objectif du traitement des eaux résiduaires est l'obtention d'une eau épurée qui répond aux normes de rejets imposées par la législation et pouvant par suite être évacuée sans danger dans le milieu naturel ou bien être utilisée dans le cadre de mesures nécessaires à une bonne gestion de l'eau (recyclage). Dans cette optique, l'objectif de notre travail est la conception d'une station d'épuration des eaux usées une unité de conserverie de thon. Les eaux usées produites par cette industrie sont de bonne biodégradabilité, en vue d'obtenir une eau de haute qualité réutilisable dans cette industrie agroalimentaire notre choix c'est porté sur une unité de traitement biologique à boue activée. Ce dispositif présente de résoudre les risques sanitaires et environnementales liés à la réutilisation des eaux usées traitées par les procédés conventionnels.

Ce traitement permet à la fin d'obtenir une eau qui répond non seulement aux normes de rejets des eaux usées en milieu naturel mais aussi une réutilisation au sein de l'industrie pour le lavage des véhicules de transports, des espaces internes, l'alimentation du réseau incendie ainsi que l'irrigation des espaces verts de proximité

Référence bibliographique

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

1. Boubkeri Mustapha, Vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines en contexte industriel: cas de la zone de Hassi Ameur (région d'Oran Algérie) ,2013
2. Joseph PRONOST, STATIONS D'EPURATION : DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES POUR AMELIORER LEUR FONCTIONNEMENT ET FACILITER LEUR EXPLOITATION, FNDAE N° 22 bis
3. Jaques Bernard, Technique de l'ingénieur : La pollution de l'eau d'origine industrielle, 2008.
4. Jean-Claude BOEGLIN. Technique de l'ingénieur : Pollution industrielle de l'eau, G1210,V2, 2008.
5. WateReuse Association, 635 Slaters Lane, Alexandria, VA, USA Received 17 December 2004, Accepted 29 April 2005, Available online 25 January 2006.
6. Pollution industrielle de l'eau : Stratégie et méthodologie. Technique de l'ingénieur. Volume G1220
7. Jean-Claude BOEGLIN, Traitements physico-chimiques de la pollution insoluble. Techniques de l'ingénieur, G1270, 2008.
8. SAWADOGO Boukary. Thèse de Doctorat : Traitement des eaux usées industrielles par des procédés membranaires. Université de Montpellier 2018.
9. Raynal Sylvain. Etude expérimentale et numérique des grilles ichtyo- compatibles. Thèse de Doctorat, Université de Poitier, 2013.
10. Alain Truc, Traitements tertiaires des effluents industriels. Techniques de l'ingénieur, G1310, 2007
11. Traitement physicochimique de la pollution insoluble. Technique de l'ingénieur. Volume G1270
12. Abid et Zohri, Dimensionnement d'une station automatique et continue de traitement physico-chimique des rejets liquides de traitement de surface. Afrique SCIENCE 06(2) (2010) 93 – 107
13. Traitement des eaux usées industrielle. Suez Handbook
14. Julian Tosoni, Compréhension des facteurs de contrôle des performances de la déshydratation mécanique des boues résiduaires en filtre-presse. Thèse de Doctorat, Université Blaise Pascal- Clairmont II, 2016
15. . dimensionnement mécanique de tuyaux, Rapport du Centre d'Études et de Recherches de l'Industrie du Béton 2017.
16. . W. Echenfeldr, Gestion des eaux usées urbaines et industrielles, Technique et documentation Paris.

