

**ROYAUME DU MAROC
UNIVERSITE MOHAMMED V
ECOLE MOHAMMADIA D'INGENIEURS
RABAT**



Département Génie Civil
Option : Génie Urbain et Environnement

Mémoire de projet de fin d'études

**Dépollution des rejets liquides du port Dakhla
Conserveries de poisson**

Réalisé par :

AIT IHIA Otman

Encadré par :

Pr. Driss KHOMSI

Encadrant (EMI)

M. Rachid LAHNINE

Encadrant (ONEE-Branche Eau)

Soutenu Le : 13/06/2019

En vue de l'obtention du diplôme : Ingénieur d'Etat

Devant le jury composé de :

Pr. N. SEMLALI

Présidente (EMI)

Pr. D. KHOMSI

Encadrant (EMI)

M. R. LAHNINE

Encadrant (ONEE-Branche Eau)

Année universitaire : 2018/2019

DEDICACE

A mes chers parents. Je vous dédie ce travail qui représente l'aboutissement de mes cinq années d'études supérieures, en témoignage de mon profond amour envers vous.

A ma grande sœur, à son mari et à ses enfants, qui m'ont toujours soutenu pendant ces trois années de mes études supérieures. A mes frères et à mes sœurs qui sont la source de ma motivation, je vous dédie mon travail.

A Monsieur le professeur Driss KHOMSI mon encadrant à l'EMI et à Monsieur Rachid LAHNINE mon encadrant à l'ONEE-Branche Eau. Cette dédicace est un témoignage de mon respect et sentiments les plus sincères.

Remerciements

Ce travail n'aurait pas pu être réalisé sans l'effort et l'aide de plusieurs personnes auxquelles j'adresse mes plus sincères remerciements.

Je tiens à exprimer tous mes remerciements et reconnaissances à mon encadrant à l'EMI et mon professeur Monsieur Driss KHOMSI pour ses efforts, ses explications, ses conseils et son travail avec moi au sujet de mon projet de fin d'étude.

Je tiens à remercier mes encadrants à l'ONEE-Branche Eau Monsieur Rachid LAHNINE pour ces efforts, son soutien et son partage de ses compétences techniques qui ont pu me guider tout au long de ce travail, et Monsieur EL AALAMI pour son temps et son aide pour la vérification des résultats de ce projet.

Je tiens à remercier aussi mon professeur Madame Jennate CHERKAOUI pour ses informations judicieuses au sujet de mon projet qui m'ont bien aidé et pour ses conseils.

J'adresse mes remerciements à la direction de l'Assainissement et de l'Environnement de l'organisme ONEE-Branche Eau pour leur temps et de m'offrir l'opportunité de travailler sur un projet de telle envergure.

Mes remerciements vont encore à tout le corps professoral de l'EMI pour la formation de qualité qu'il nous a offert durant ces trois années d'études.

Que les membres du jury trouvent ici l'expression de mes reconnaissances pour avoir accepté de juger mon travail.

Que tous ceux et celles qui ont contribué, de près ou de loin, à l'accomplissement de ce travail trouvent également l'expression de mes remerciements les plus sincères.

Résumé

Le travail présenté dans ce rapport s'inscrit dans le cadre du programme national d'assainissement qui consiste en la réhabilitation et l'extension du réseau d'assainissement, le branchement et le renforcement du réseau pluvial et la réalisation des stations d'épuration afin d'améliorer les conditions sanitaires dans les communes concernées ainsi que l'amélioration environnementale des bassins hydrauliques.

La zone industrielle de Dakhla connue par des usines de conserveries de poisson et de la fabrication de la farine et l'huile de poisson caractérisées par leur forte production et leur qualité de produits destinés à la commerce internationale, a permet d'offrir des opportunités de travail et d'assurer un développement de la région sud. Vu l'appel à manifestation d'intérêt lancé en 2014 destiné à la construction de nouvelles industries de production de poisson au niveau de la zone industrielle de Dakhla et vu l'impact qui peut être généré lors de déversement des rejets sans traitement dans le littoral, un cahier des charges a été établi avec l'Office national d'électricité et de l'eau potable afin de trouver une solution pour la dépollution des effluents de ces unités projetées.

L'étude a été faite sur six usines de conserveries de poisson et de fabrication de la farine et huile de poisson qui ne sont pas encours en fonctionnement.

Vu l'indisponibilité des mesures effectuées sur les effluents de ces usines, une étude de leur fonctionnement a été faite en tenant compte des unités industrielles existantes afin d'élaborer les charges hydrauliques et polluantes.

Les effluents de ces usines, caractérisés par leur forte salinité à cause de l'utilisation des eaux de forages dans le process de production, peuvent influencer sur l'efficacité de l'épuration. Afin d'éviter ce problème une station de dessalement des eaux de forages est nécessaire. Les rejets de ces unités industrielles sont évacués vers la station d'épuration, et vu le terrain accidenté, il est nécessaire de mettre en place une station de pompage de ces rejets.

La dépollution des rejets liquides de ces unités industrielles est assurée par une filière de prétraitement qui comprend un dégrillage, tamisage et dessablage-dégraissage. Les concentrations élevées en phosphore et en matières en suspension des rejets nécessitent un traitement physico-chimique par coagulation et floculation, les teneurs élevées en huiles et graisses des effluents sont éliminées par flottation à air dissous. La possibilité d'appliquer un traitement biologique de ces rejets a permet de choisir deux variantes entre les différentes solutions appliquées pour ce type de rejets. Le choix a été fait sur le procédé bioréacteur à membrane et le procédé des boues activées conventionnelles. Une étude des deux variantes a été faite afin de déterminer les caractéristiques de chaque variante.

La variante choisie pour le traitement biologique est le procédé bioréacteur à membrane en tenant compte des contraintes foncières posé par le projet.

Une étude économique a été faite afin d'estimer les frais d'investissement et d'exploitation de la totalité du projet.

Abstract

The work presented in this report is part of the national sanitation program, which consists of the rehabilitation and extension of the sewerage network, the connection and strengthening of the rainwater network and the construction of wastewater treatment plants. To improve the sanitary conditions in the municipalities concerned as well as the environmental improvement of the watersheds.

The industrial zone of Dakhla known by factories of fish canneries and the manufacture of fishmeal and fish oil characterized by their high production and quality of products intended for international trade, has made it possible to offer opportunities for work and ensure the development of the southern region. Given the call for expressions of interest launched in 2014 for the construction of new fish production industries in the industrial zone of Dakhla and given the impact that can be generated when dumping untreated waste into the littoral, specifications have been drawn up with the National Office of Electricity and Drinking Water in order to find a solution for the decontamination of the effluents of these projected units.

The study was conducted on six fish canning factories and fishmeal and fish oil factories that are not during operation.

Given the unavailability of the measurements made on the effluents of these factories, a study of their operation was made taking into account the existing industrial units in order to elaborate the hydraulic and polluting loads.

The effluents from these plants, characterized by their high salinity due to the use of drilling water in the production process, can influence the efficiency of the treatment. In order to avoid this problem a desalination plant for drilling water is necessary. Effluents from these industrial units are discharged to the treatment plant, and given the rugged terrain, it is necessary to set up a pumping station for these effluents.

The depollution of the liquid discharges of these industrial units is ensured by a pretreatment process which includes screening, sieving and grit removal. The high concentrations of phosphorus and suspended matter from the effluents require a physicochemical treatment by coagulation and flocculation, the high levels of oils and fats from the effluents are removed by a dissolved air flotation solution. The possibility of applying a biological treatment of this wastewater has made it possible to choose two variants between the different solutions applied for this type of rejects. The choice was made on the membrane bioreactor process and the conventional activated sludge process. A study of the two variants was made to determine the characteristics of each variant.

The variant chosen for the biological treatment is the membrane bioreactor process taking into account the land constraints posed by the project.

An economic study was conducted to estimate the investment and operating costs of the entire project.

ملخص

العمل المقدم في هذا التقرير يندرج ضمن البرنامج الوطني للصرف الصحي ، والذي يتكون من إعادة تأهيل وتوسيع شبكة الصرف الصحي ، ربط وتعزيز شبكة مياه الأمطار وبناء محطات معالجة مياه الصرف لتحسين الظروف الصحية في البلديات المعنية ولتحسين أحواض التصريف.

المنطقة الصناعية لمدينة الداخلة المعروفة بمصانع تعليب الأسماك وتصنيع دقيق وزيت السمك و التي تتميز بإنتاجها العالي وجودة منتجاتها المخصصة للتجارة العالمية ، قد أتاح فرص للعمل وضمان تنمية المنطقة الجنوبية. في ضوء المشروع الذي تم إطلاقه في عام ٢٠١٤ لبناء مصانع جديدة لتعليب الأسماك و تصنيع دقيق وزيت السمك في المنطقة الصناعية للداخلية وبالنظر إلى التأثير الذي يمكن توليده عند إلقاء مياه الصرف الناتجة عن هذه المصانع الغير معالجة في المناطق الساحلية ، تم اطلاق دفتر تحملات مع المكتب الوطني للكهرباء والماء الصالح للشرب من أجل معالجة هذه النفايات السائلة.

الدراسة أجريت على ستة مصانع و التي تخص تعليب الأسماك وصناعة دقيق وزيت السمك والتي الى الآن ليست في اطار الإستغلال و الإنتاج.

نظرا لعدم توفر الدراسات على مياه الصرف الناتجة عن هذه المصانع، فقد أجريت دراسة على كيفية عمل هذه المصانع انطلاقا من معطيات مصانع أخرى مشابهة لهذه المصانع من أجل تحديد كمية مياه الصرف و جودتها.

المخلفات السائلة الناتجة عن هذه المصانع والتي تتميز بدرجة عالية من الملوحة بسبب استخدام مياه الآبار في عملية الإنتاج يمكن أن تؤثر على كفاءة المعالجة. من أجل تجنب هذه المشكلة ، من الضروري استخدام محطة لتحلية مياه الآبار. وبالنظر إلى التضاريس الوعرة ، من الضروري إنشاء محطة ضخ مياه الصرف الى محطة المعالجة.

تتم معالجة مياه الصرف الناتجة عن هذه المصانع باستعمال وحدة الغريلة و إزالة أولية للزيوت و تتم إزالة الفوسفور و المواد الدقيقة العالقة باستعمال وحدة معالجة فيزيائية و كيميائية كما تمكن من إزالة شاملة للزيوت.

إمكانية استعمال معالجة بيولوجية مكنت من اختبار عمليتين من بين العمليات و الطرق المطبقة على هذا النوع من النفايات السائلة وقد تم دراسة هاتين العمليتين لاختيار العملية المثلى.

تم اختيار عملية المعالجة البيولوجية على أساس المساحة المتوفرة لهذا المشروع.

هذا العمل يشمل أيضا دراسة لتكلفة المشروع و الحصص المالية الضرورية لضمان اشتغاله.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE 1 : PRESENTATION GENERALE.....	2
I. GENERALITES.....	3
II. PRESENTATION DE L'ORGANISME ONEE-BO.....	4
1. Présentation générale.....	4
2. Assainissement liquide et protection des ressources en eau	5
3. La Direction de l'Assainissement et de l'Environnement (DAE).....	6
4. Problèmes face à l'assainissement des zones industrielles	6
CHAPITRE 2 : PRESENTATION DU PROJET.....	7
I. PRESENTATION GENERALE ET PROBLIMATIQUE.....	8
1. Contexte des industries de transformation de poisson au Maroc.....	8
2. Problématique	8
II. OBJET DE L'ETUDE.....	9
1. Contexte général.....	9
2. Objectif de l'étude	9
3. Les contraintes du projet	9
III. Le contexte générale des unités projetées de la zone industrielle de Dakhla selon l'AMI.....	9
1. Objet de l'Appel à Manifestation d'Intérêt (AMI)	9
2. Projets de valorisation à développer.....	10
2.1. Projets à haut niveau de valorisation des petits pélagiques (Catégorie 1).....	10
2.2. Projet de valorisation des sous-produits (Catégorie 2).....	10
3. Localisation des projets de l'AMI.....	10
4. Dimensionnement des projets de l'AMI.....	11
4.1. Volet de la pêche.....	11
4.2. Volet de la valorisation	11
CHAPITRE 3 : GENERALITES SUR L'EPURATION DES EAUX USEES DES USINES DE TRANSFORMATION DES PRODUITS DE MER.....	12
I. DEROULEMENT DE LA PRODUCTION AU NIVEAU DES USINES DE TRANSFORMATION DES PRODUITS DE MER.....	13
1. Secteur de transformation des produits de mer	13
2. Conserve à base de poisson.....	13
II. CARACTERISTIQUES DES REJETS DE TRANSFORMATION DE POISSON.....	14
III. PROCEDES COURANTS DE TRAITEMENT DES EFFLUENTS DES USINES DE TRANSFORMATION DES PRODUITS DE MER.....	14
1. Prétraitement.....	14
1.1. Tamisage	14
1.2. Déssablage et dégraissage	15

1.3. Homogénéisation, Egalisation et Neutralisation	15
2. Traitement physico chimique	15
2.1. Coagulation.....	16
2.2. Floculation.....	16
2.3. Flottation.....	16
3. Traitement biologique	16
3.1. Procédés aérobies.....	17
3.1.1. Lagunes aérobies.....	17
3.1.2. Boues activées conventionnelles (BAC)	17
3.1.3. Réacteur biologique séquentiel (SBR)	17
3.1.4. Réacteur biologique à membrane (MBR)	17
3.1.5. Lits bactériens	18
3.1.6. Disques biologiques.....	18
3.2. Procédés anaérobies.....	18
4. Traitement des boues.....	18
4.1. Epaississement.....	18
4.2. Tamisage	18
4.3. Egouttage.....	19
4.4. Déshydratation	19
4.5. Stabilisation	19
4.6. Lits de séchage	19
5. Destination finale des eaux épurées	19
5.1. Evacuation dans le sol	19
5.2. Evacuation dans la mer	19
CHAPITRE 4 : DEPOLLUTION DES REJETS LIQUIDES DU PORT DAKHLA : LES EFFLUENTS DE SIX UNITES PROJETEES.....	20
I. PRESENTATION	21
II. ETAT DES LIEUX.....	21
1. Situation géographique et administrative.....	21
2. Démographie	21
3. Géologie et hydrogéologie	22
4. Climatologie	22
4.1. Pluviométrie	22
4.2. Température.....	22
4.3. Vent	23
4.4. Evaporation.....	23
5. Secteur économique.....	23
5.1. Pêche et activités industrielles	23
5.2. Secteur commercial.....	23

5.3. Secteur touristique.....	24
5.4. Agriculture	24
6. Infrastructures d'eau potable et d'assainissement	24
6.1. Alimentation en eau potable.....	24
6.2. Assainissement liquide	24
III. DONEES DE BASE DES UNITES INDUSTRIELLES de l'AMI	25
1. Superficies des unités projetées de la zone industrielle de Dakhla	25
2. Etablissements des unités industrielles	26
3. Procédés de production des unités industrielles.....	26
3.1. Unité de production des conserves de poisson	26
3.1.1. Réception et triage	26
3.1.2. Valorisation de la matière première	27
3.1.3. Services du personnel.....	27
3.1.4. Services techniques	28
3.1.5. Parties annexes	28
3.2. Unité de production de la farine et de l'huile de poisson	28
4. Consommation en eau	28
5. Energie utilisée	28
6. Rejets des usines	29
IV. ELABORATION DES BILANS MATIERES DES UNITES INDUSTRIELLES DE L'AMI	29
1. Quotas de pêche des unités industrielles projetées.....	29
2. Déroulement de l'activité de pêche pour les six unités industrielles.....	30
3. Déroulement de l'activité de traitement de poisson pour les six unités industrielles projetées.....	31
3.1. Réception et triage.....	31
3.2. Préparation de la matière première	32
3.3. Mise en boîte.....	32
3.4. Précuisson	33
3.5. Ajout des additifs	33
3.6. Sertissage	33
3.7. Stérilisation.....	33
3.8. Nettoyage de la chaine de production	33
3.9. Eaux sanitaires.....	34
V. DEBIT DES EAUX USEES ET LES CHARGES DE POLLUTION	34
1. Débit des eaux usées	34
2. Charges de pollution	38
VI. DEPOLLUTION DES REJETS LIQUIDES DES UNITES INDUTRIELLES DE L'AMI.....	40
1. Normes de rejets	40
2. Problématique liée à ce type de rejet	40

2.1. Traitement des eaux de forages avant leur utilisation dans le procédé de production de poisson.....	41
2.1.1. Débit des eaux de forage utilisées par les six unités industrielles projetées...	41
2.1.2. Caractéristiques des eaux de forage.....	42
2.1.3. Traitement des eaux de forage par Osmose Inverse	43
3. Evacuation des eaux usées.....	47
3.1. Description du procédé	47
3.2. Caractéristiques du procédé	48
4. Prédimensionnement de la station de pompage.....	48
4.1. Choix du diamètre économique.....	49
4.1.1. Calcul du diamètre et caractéristiques des diamètres nominaux	49
4.1.2. Vérification de la vitesse d'écoulement.....	49
4.1.3. Calcul du prix d'investissement	50
4.1.4. Calcul du coût d'amortissement.....	50
4.1.5. Calcul des frais d'énergie ou de fonctionnement.....	50
4.1.5.1. Calcul de la hauteur manométrique totale Hmt	50
4.1.5.1.1. La hauteur géométriques H_g	50
4.1.5.1.2. Les pertes de charge totale ΔH	50
4.1.5.2. Calcul de la puissance moteur	51
4.1.5.3. Calcul de l'énergie nécessaire	51
4.1.5.4. Calcul des frais d'énergie	52
4.1.6. Calcul des frais d'entretien	52
4.1.7. Calcul des frais totaux.....	52
4.1.8. Données nécessaires pour le calcul	52
4.1.9. Résultats du calcul du diamètre économique	53
4.2. Choix des pompes	54
4.2.1. Données nécessaires pour le choix des pompes	54
4.2.2. Choix de la marque des pompes Flygt VORTEX par Xylect.....	55
4.2.3. Calcul du prix des pompes utilisées.....	57
4.3. Calcul du volume de la bache.....	58
4.4. Calage de la conduite de refoulement (SP vers STEP)	59
5. Détermination de l'équivalent habitant de l'ensemble des unités industrielles projetées.....	60
6. Procédés d'épuration adoptés	60
7. Prétraitement.....	61
7.1. Dégrillage.....	62
7.2. Tamisage	64
7.3. Dessableur-Dégraisseur	66
7.4. Production des refus et des boues des MEH.....	66

7.5. Destination des boues produites.....	67
7.6. Caractéristiques des effluents après le prétraitement.....	67
8. Egalisation et homogénéisation par bassin tampon	67
9. Traitement primaire, traitement physico-chimique	70
9.1. Coagulation.....	71
9.1.1. Choix du coagulant.....	71
9.1.2. La dose du réactif utilisé	71
9.1.2.1. La dose du Chlorure de Fer.....	71
9.1.2.2. La dose de la Chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$	72
9.1.3. Débit des pompes doseuses.....	73
9.1.3.1. Débit de la pompe doseuse de FeCl_3	73
9.1.3.2. Débit de la pompe doseuse de $\text{Ca}(\text{OH})_2$	73
9.1.4. Volume de la cuve de conservation de réactif.....	73
9.1.5. Volume du bassin de coagulation	74
9.2. Flocculation.....	74
9.2.1. Choix du réactif	74
9.2.2. La dose du polymère nécessaire	74
9.2.3. Débit de la pompe doseuse du polymère.....	74
9.2.4. Volume de la cuve de conservation du polymère	75
9.2.5. Volume du bassin de flocculation.....	75
9.3. Consommation des réactifs	75
9.4. Flottation à Air Dissous (DAF).....	76
9.4.1. Débit de recirculation.....	76
9.4.2. Volume de la cellule de flottation (bassin de flottation).....	78
9.4.3. Boues produites après la flottation	79
9.5. Caractéristiques du traitement primaire.....	80
9.6. Pompes d'injection des réactifs et les agitateurs des effluents.....	81
9.7. Caractéristiques des effluents après le traitement primaire.....	82
10. Traitement secondaire, traitement biologique	83
10.1. Choix des procédés de traitement biologique compatibles avec ce type de rejet et les résultats voulus	83
10.2. Etude de la première variante (Procédé MBR).....	84
10.2.1. Caractéristiques du procédé MBR utilisé.....	84
10.2.2. Dimensionnement du procédé MBR	86
10.2.2.1. Détermination de la surface de filtration.....	86
10.2.2.2. Détermination du volume de bassin de filtration	88
10.2.2.3. Débit réel de pompage de perméat.....	89
10.2.2.4. Débit de recirculation.....	89
10.2.2.5. Dimensionnement du bassin biologique	90

10.2.2.6. Demande en Oxygène et Aération	92
10.2.2.7. Caractéristiques du procédé MBR.....	96
10.2.2.8. Caractéristiques des eaux usées après le traitement biologique par MBR.....	98
10.2.2.9. Traitement des boues	99
10.2.2.9.1. Estimation des boues produites.....	99
10.2.2.9.2. Epaississement gravitaire	99
10.2.2.9.3. Déshydratation des boues par centrifugation	100
10.2.2.9.4. Stabilisation chimique des boues	103
10.3. Etude de la deuxième variante (Procédé à boues activées BAC).....	104
10.3.1. Caractéristiques du procédé BAC utilisé	104
10.3.2. Dimensionnement du procédé BAC	104
10.3.2.1. Détermination du volume du bassin biologique.....	104
10.3.2.2. Débit de recirculation des boues.....	106
10.3.2.3. Dimensionnement du clarificateur.....	106
10.3.2.4. Demande en Oxygène et Aération	108
10.3.2.5. Caractéristiques du procédé BAC.....	110
10.3.2.6. Caractéristiques des eaux usées après traitement biologique par BAC....	111
10.3.2.7. Traitement tertiaire par Adsorption par Charbon Actif Granulé (GAC) ...	112
10.3.2.8. Caractéristiques des rejets après traitement tertiaire.....	113
10.3.2.9. Traitement des boues	114
10.3.2.9.1. Estimation des boues produites.....	114
10.3.2.9.2. Epaississement gravitaire	114
10.3.2.9.3. Déshydratation des boues par centrifugation	114
10.3.2.9.4. Stabilisation chimique des boues	115
10.4. La variante de traitement biologique choisie	116
11. CONDUITE D'EVACUATION DES EAUX EPUREES VERS L'OCEAN.....	116
VI. ETUDE CAPEX ET OPEX DU PROJET.....	117
1. La station de dessalement des eaux de forages	117
2. La station de pompage et conduite de refoulement.....	119
3. La station d'épuration des eaux usées	120
3.1. Les frais d'investissement.....	120
3.1.1. Le prétraitement.....	120
3.1.2. Le bassin tampon et l'unité de mesure de débit.....	120
3.1.3. Le traitement primaire.....	121
3.1.3. Le traitement secondaire (MBR).....	121
3.1.4. Le traitement des boues.....	121
3.1.6. L'évacuation des eaux épurées aux milieu naturel.....	122
3.2. Les frais d'exploitation.....	122

3.2.1. Prétraitement, bassin tampon, traitement primaire et traitement des boues.....	122
3.2.1.1. Les frais d'énergie.....	122
3.2.1.2. Les frais des réactifs.....	123
3.2.1.3. Les frais d'entretien et du personnel.....	124
3.2.2. Traitement biologique (MBR).....	124
4. Récapitulatif des coûts.....	125
5. La redevance de déversement des eaux usées industrielles au milieu naturel...	125
CONCLUSION GENERALE.....	127
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	128
Annexe 1 : Plan de la parcelle réservée, au sein de la zone industrielle portuaire aménagée de Dakhla, aux projets qui seront retenus dans le cadre de l'AMI.....	131
Annexe 2 : Plan parcellaire des lots de terrain réservés aux unités projetées de l'AMI	132
Annexe 3 : Plan de situation des unités industrielles projetées et existantes de la zone industrielle de Dakhla.....	133
Annexe 4 : Bilan des matières de l'unité ARTERE CONGEL (unité projetée)	134
Annexe 5 : Bilan des matières de l'unité FRED FISHERIES.....	135
Annexe 6 : Bilan des matières de l'unité CONSERVERIE DE OUED EDDAHAB.....	136
Annexe 7 : Bilan des matières de l'unité DERHEM HOLDING.....	137
Annexe 8 : Bilan des matières de l'unité CONSERVERIES PELAGIQUES DE DAKHLA.....	138
Annexe 9 : Bilan des matières de l'unité PELAGIQUE PRO.....	139
Annexe 10 : Caractéristiques des rejets de conserverie de poisson et unité de production de la farine et huile de poisson	140
Annexe 12 : Les caractéristiques de la pompe choisie DP 3127 HT-207	144
Annexe 13 : Les caractéristiques de l'élément ESPA-2540	147
Annexe 14 : Les caractéristiques du module membranaire MB5-2.....	148
Annexe 15 : L'emplacement du collecteur principal, de la station de pompage, de la STEP, la conduite de refoulement vers la STEP et la conduite d'évacuation dans l'océan	149

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2. 1: Les surfaces utiles des lots réservés aux projets de l'AMI.....	11
Tableau 4. 1: Evolution de la population de la province d'Oued Eddahab selon les trois derniers recensements.	21
Tableau 4. 2: Les précipitations mensuelles de la ville Dakhla.....	22
Tableau 4. 3: Les températures dans la ville Dakhla.....	22
Tableau 4. 4: L'évaporation dans la ville Dakhla.....	23
Tableau 4. 5: La répartition de la surface utile par lot et par catégorie de projets.	25
Tableau 4. 6: Tonnage brut de poisson traité par jour pour les unités industrielles projetées.	30
Tableau 4. 7: Répartition des quantités pêchées, usinables et non usinables des unités projetées.	30
Tableau 4. 8: Durées des procédés de production.	35
Tableau 4. 9: Les volumes d'eau utilisés dans la production.....	36
Tableau 4. 10: Les charges de pollution des unités industrielles existantes de la zone industrielle de Dakhla.	38
Tableau 4. 11: Les charges de pollution retenues pour le NTK, P total et le Chlorure.	38
Tableau 4. 12: Les charges de pollution calculées pour les six unités industrielles.	39
Tableau 4. 13: Le débit des eaux usées et les charges polluantes retenues.	39
Tableau 4. 14: Les valeurs limites des rejets pour H&G, MES, DBO ₅ et DCO.....	40
Tableau 4. 15: Les valeurs limites générales de rejets, Température, pH, NTK, Pt et Conductivité.	40
Tableau 4. 16: Le débit total des eaux de forages des unités industrielles projetées.....	42
Tableau 4. 17: Les caractéristiques des eaux de forage retenues.	42
Tableau 4. 18: Les longueurs des différents tronçons.	48
Tableau 4. 19: Les longueurs des différentes conduites.....	48
Tableau 4. 20: Caractéristiques des diamètres nominaux.....	49
Tableau 4. 21: Les données nécessaires pour le calcul du diamètre économique.	53
Tableau 4. 22: Les résultats du calcul du diamètre économique.	53
Tableau 4. 23: Les données nécessaires au choix des pompes.	54
Tableau 4. 24: Les données relatives au calcul du NPSH disponible.....	57
Tableau 4. 25: Le coût total des pompes choisies.	58
Tableau 4. 26: Les données nécessaires pour le calcul du volume de la bache.....	58
Tableau 4. 27: Les côtes du terrain naturel des points CP, SP, A, E.	59
Tableau 4. 28: Calage de la conduite de refoulement (SP vers STEP).	59
Tableau 4. 29: Les valeurs de l'équivalent habitant.	60
Tableau 4. 30: L'équivalent habitant des unités industrielles projetées.	60
Tableau 4. 31: Les données nécessaires pour le dimensionnement de la grille.....	63
Tableau 4. 32: Les données nécessaires pour le dimensionnement du tamis.	65
Tableau 4. 33: Caractéristiques de rejets à la fin de prétraitement.	67
Tableau 4. 34: Détermination du volume du bassin tampon.	68
Tableau 4. 35: Les données nécessaires pour le dosage du Chlorure de Fer.....	72
Tableau 4. 36: Les données nécessaires pour le débit de recirculation.	77
Tableau 4. 37: Les caractéristiques du traitement primaire.....	80
Tableau 4. 38: Les caractéristiques des effluents après traitement primaire.	83
Tableau 4. 39: Le choix des procédés de traitement biologique.	84
Tableau 4. 40: Les données nécessaires pour la détermination de la surface de filtration.	86
Tableau 4. 41: Les données nécessaires pour le calcul du débit de pompage de perméat.....	89

Tableau 4. 42: Les données nécessaires pour le calcul du volume du bassin biologique.....	90
Tableau 4. 43: Les données nécessaires pour la détermination des besoins journalier en Oxygène. ..	94
Tableau 4. 44: Les caractéristiques du traitement biologique MBR.	96
Tableau 4. 45: Les caractéristiques des eaux usées à la sortie du traitement biologique par MBR. ...	98
Tableau 4. 46: Les caractéristiques du réactif utilisé.	102
Tableau 4. 48: Les données nécessaires pour le dimensionnement du volume du bassin biologique.	105
Tableau 4. 49: Les valeurs de la vitesse ascensionnelle pour les station d'épuration à faible charge (Pour le calcul de la surface de décantation).	107
Tableau 4. 50: Les données nécessaires pour le calcul du besoin journalier en Oxygène.	109
Tableau 4. 51: Les caractéristiques du procédé Boues Activées Conventionnelles utilisé.	110
Tableau 4. 52: Les caractéristiques des eaux usées à la sortie du traitement biologique par BAC. ..	112
Tableau 4. 53: Les caractéristiques du procédé CAG selon Sundstrom and Klei, Waste water Treatment 1997 p.270 et Metcalf and Eddy, Waste Water Engineering 1991, p.753.	113
Tableau 4. 46: Les caractéristiques du réactif utilisé.	115
Tableau 4. 55: Les critères de comparaison entre les deux variantes.	116
Tableau 4. 56: Les frais d'exploitation de la station de dessalement des eaux de forages.....	119
Tableau 4. 57: Les frais d'investissement de la station de pompage et conduite de refoulement.....	119
Tableau 4. 58: Les frais d'exploitation pour la station de pompage et conduite de refoulement.....	119
Tableau 4. 59: Les frais d'investissement de la filière de prétraitement.....	120
Tableau 4. 60: Les frais d'investissement du bassin tampon et unité de mesure de débit.	120
Tableau 4. 61: Les frais d'investissement du traitement primaire.	121
Tableau 4. 62: Les frais d'investissement de traitement des boues.	121
Tableau 4. 63: Les frais d'investissement pour la conduite d'évacuation vers la mer.	122
Tableau 4. 64: Approche des frais d'exploitation.	122
Tableau 4. 65: Le bilan d'énergie et les frais d'énergie.	123
Tableau 4. 66: Les frais des réactifs.	123
Tableau 4. 67: Les frais d'entretien et du personnel.	124
Tableau 4. 68: Les frais d'exploitation et d'énergie pour le procédé MBR.	124

LISTE DES FIGURES

Figure 1. 1: Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable - Branche Eau.	4
Figure 1. 2: Organigramme de l'ONEE-BO [6].	5
Figure 1. 3: Evolution du nombre de STEP réalisées par l'ONEE-BO [6].	5
Figure 1. 4: Organigramme de la Direction Assainissement et Environnement [6].	6
Figure 4. 1: Procédés de traitement de poisson, les matières premières et les produits finis.	31
Figure 4. 2: La variation du volume des eaux usées pour un cycle de 48 heures.	37
Figure 4. 3: Les caractéristiques des eaux de forages à traiter.	43
Figure 4. 4: Les données de fonctionnement de l'unité de dessalement des eaux de forages.	44
Figure 4. 5: La configuration d'un train de l'unité de dessalement des eaux de forages.	44
Figure 4. 6: Les concentrations de perméat et du concentrat.	45
Figure 4. 7: Les concentrations en chaque point pour un train.	46
Figure 4. 8: La puissance de la pompe et l'énergie nécessaire.	46
Figure 4. 9: La courbe de la variation du coût total en fonction du diamètre nominal.	54
Figure 4. 10: Définition des données moyennes.	55
Figure 4. 11: Les données nécessaires au choix de la pompe.	55
Figure 4. 12: Les résultats des pompes.	56
Figure 4. 13: Les prix des pompes Flygt D 3127.181, [20].	57
Figure 4. 14: Les procédés d'épuration adoptés.	61
Figure 4. 15: Unité de prétraitement des eaux usées de la nouvelle STEP de la ville Bouznika.	61
Figure 4. 16: Le tamis rotatif à alimentation externe [13].	64
Figure 4. 17: Traitement primaire des effluents.	70
Figure 4. 18: Le rapport A/S en fonction de la concentration des H&G à la sortie du DAF.	77
Figure 4. 19: La variation de la charge hydraulique en fonction de la concentration en H&G après DAF.	78
Figure 4. 20: Le procédé réacteur biologique à membrane adopté.	85
Figure 4. 21: Les types de modules membranaires les plus utilisés pour le MBR.	85
Figure 4. 22: Caractéristiques géométriques d'une centrifugeuse.	100
Figure 4. 23: Représentation du procédé à boues activée conventionnelles appliqué.	104
Figure 4. 24: Les données nécessaires pour le calcul du prix de vente de l'eau et les frais d'exploitation.	118
Figure 4. 25: Le prix de vente de l'eau traitée et les frais d'exploitation.	118

LISTE DES ABREVIATIONS

ABH : Agences de Bassins Hydrauliques.
AMI : Appel à Manifestation d'Intérêt.
ASB : L'apport spécifique brut en eau claire.
BAC : Boues activées conventionnelles.
CAPEX : Capital expenditures (frais d'investissement).
CE : Conductivité électrique.
Cons. : Conserverie de poisson.
CP : Collecteur principale.
DAF (Dissolved Air Flotation) : La flottation à air dissous.
DBO₅ : demande biologique en oxygène à cinq jours.
DCO particulaire : La demande chimique particulaire.
DCO : La demande chimique en oxygène.
DPM : Le Département de la Pêche Maritime.
EH : L'équivalent-habitant.
F&H : Farine et huile de poisson.
FCG : le facteur correctif global.
FOG : Fat, Oil and Graisse.
GAC: Adsorption with Granular Activated Carbon.
H&G : Huiles et Graisses.
HRT : Temps de rétention hydraulique.
MBR : Bioréacteur à membrane.
MEH : Matières extractibles à l'hexane.
MES : Matières en suspension.
MS : Matières sèches.
NTK : Azote total Kjeldhal.
ONEE-BO : L'office national de l'électricité et de l'eau potable-Branche Eau.
OPEX : Operational expenditures (frais d'exploitation).
PNA : Le programme National d'Assainissement.
Prix HT : Prix hors taxes.
Prix TTC : Prix toutes taxes comprises.
Pt : Phosphore total.
SEEE : Le secrétariat d'État de l'eau et de l'environnement.
SP : Station de pompage.
SRT : Temps de rétention solide.
SSLM: Solides en suspension dans la liqueur mixte
STEP : Stations d'épuration des eaux usées.
Système RSW : Refrigerated sea water.

INTRODUCTION GENERALE

Le Maroc, où les ressources naturelles sont limitées, a connu un développement au niveau de ces activités industrielles et économiques et une amélioration du niveau de vie ce qui a augmenté son exploitation des ressources naturelles en affectant leur qualité et leur disponibilité.

L'industrie de conserve de poisson qui est devenue un facteur essentiel pour le développement de l'économie du Maroc suite aux richesses naturelles en poisson et en infrastructures assurant une amélioration continue de cette industrie au niveau national, constitue une partie importante au niveau de la pollution de la mer et du littoral le problème qui ne cesse pas d'influencer sur la qualité des ressources de la pêche et sur l'image de ces industries sans oublier les coûts sociales et économiques des dommages causés par cette dégradation de l'environnement.

Le diagnostic de l'état de l'environnement souligne la gravité de cet état au Maroc. Cette situation est marquée par une dégradation intense des ressources naturelles et du cadre de vie des populations due à la pollution des eaux continentales et marines et du littoral.

Le Maroc a développé, suite à la dégradation continue de l'environnement des réglementations législatives afin de contrôler les impacts des activités sur l'environnement, de diminuer la pollution et d'assurer le développement durable du pays.

CHAPITRE 1 : PRESENTATION GENERALE

I. GENERALITES

Depuis son indépendance en 1956, et pour faire face à des apports pluviométriques globalement insuffisants et spatialement hétérogènes, le Maroc a mené une politique de gestion des ressources en eau qui a permis durant le temps une mobilisation efficiente des ressources en eaux conventionnelles, surfaciques et souterraines dont dispose le Royaume [1].

Le système de gouvernance s'articulant autour de l'unité autonome des bassins hydrauliques devait constituer un atout majeur dans l'établissement d'une approche localisée de la gestion des ressources en eau, tout en adoptant des principes de solidarité inter-régionale et de soutien par subvention de l'Etat afin d'assurer une hétérogénéité spatiale prononcée. La stratégie de création de neufs agences de bassins hydrauliques (ABH) se voulait porteuse d'une gestion intégrée, décentralisée et concertée des ressources en eau, qui a eu pour effet une généralisation de l'accès à l'eau potable à un pourcentage de 94% de la population rurale et une couverture totale de la population urbaine [2].

Dans ce cadre et eu égard aux contraintes de rareté des ressources naturelles en eau et face aux enjeux et défis à relever en terme de gouvernance par la gestion intégrée des ressources en eau au Maroc, le Conseil Economique Social et Environnemental incite les pouvoirs publics à accélérer le rythme actuel de mise en œuvre des objectifs fixés par la Stratégie Nationale de l'Eau de 2009 et les programmes nationaux dans les domaines de l'assainissement liquide et de l'économie d'eau dans l'irrigation et à fixer de nouveaux objectifs liés à l'amélioration des rendements des réseaux de distribution et à la généralisation de l'économie d'eau à usage industrielle, touristique et domestique de manière à réaliser, à l'horizon 2020, une mobilisation d'eau supplémentaire annuelle de 6,4 milliards de m³ par an, représentant plus de 25% des ressources globales annuelles du pays et plus de 6 fois les prélèvements de ressources non-renouvelables actuelles [3],[4].

II. PRESENTATION DE L'ORGANISME ONEE-BO

1. Présentation générale



Figure 1. 1: Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable - Branche Eau.

L'ONEE est né du regroupement en 2012 de l'Office National de l'Electricité qui a été créé en 1963 et l'Office National de l'Eau Potable qui a été créé en 1972 [6].

L'ONNE-BO a pour mission la généralisation de l'accès à l'eau potable, la modernisation et l'élargissement des réseaux de production de l'eau potable, l'épuration des eaux usées et le développement du service de l'assainissement liquide. Dans certaines villes, il est le responsable à la distribution de l'eau potable et le réaménagement du réseau de l'assainissement. Il lutte contre le gaspillage et l'implémentation de nouveaux instruments et techniques d'économie pour l'exploitation des ressources en eau. Il assure la planification de l'approvisionnement en eau potable et la programmation des investissements en eau potable et assainissement liquide, le contrôle de la qualité des ouvrages et la gestion du service d'assainissement liquide dans les villes où il assure la distribution de l'eau potable [6].

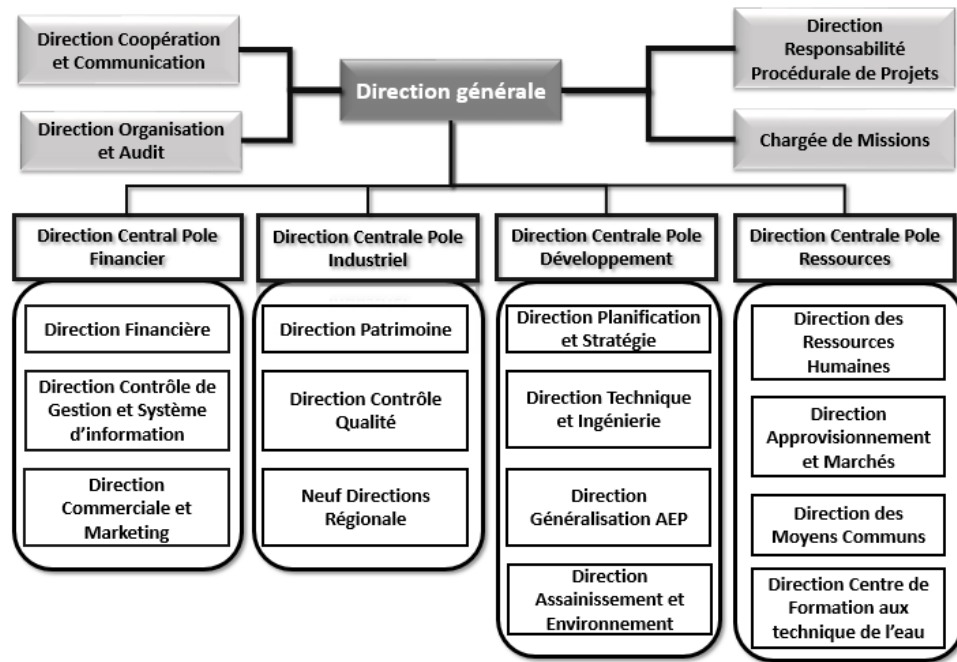


Figure 1. 2: Organigramme de l'ONEE-BO [6].

2. Assainissement liquide et protection des ressources en eau

L'ONEE-BO assure le service de l'assainissement dans 113 communes regroupent plus de 4,8 millions habitants. Face à l'amélioration des conditions sanitaires des populations, l'ONEE-BO intervient dans l'aménagement des réseaux d'assainissement et assure la protection des ressources en eau dans le cadre de gestion intégrée du cycle de l'eau.

A la fin de 2017, il a permis d'atteindre la construction de 93 stations d'épuration, intervenir dans 113 centres d'assainissement, assurer une capacité d'épuration de 353 000 m³ par jour, et le raccordement en assainissement de 4,8 millions habitants, et au sujet de la protection de l'environnement il a permis d'atteindre un taux de dépollution de 77,3% [6].

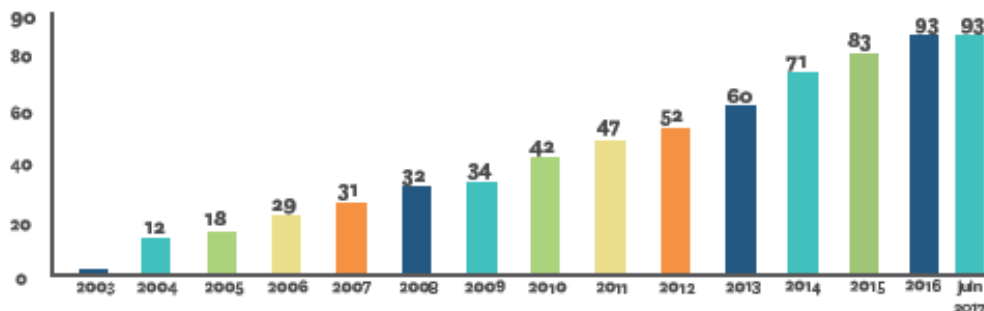


Figure 1. 3: Evolution du nombre de STEP réalisées par l'ONEE-BO [6].

3. La Direction de l'Assainissement et de l'Environnement (DAE)

La Direction de l'Assainissement et de l'Environnement (DAE) est une sous-direction de la direction centrale Pole et Développement de l'ONEE-BO. Ses missions se différencient de la planification, l'assistance des projets aux études de planification et protection de l'environnement [6].

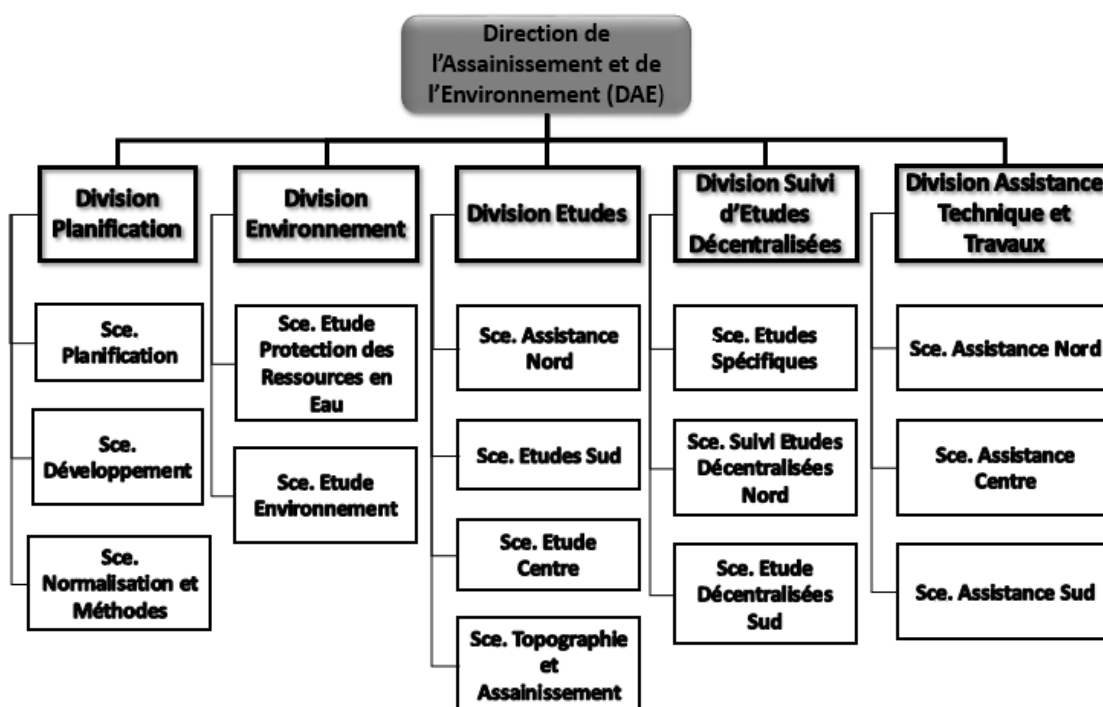


Figure 1. 4: Organigramme de la Direction Assainissement et Environnement [6].

4. Problèmes face à l'assainissement des zones industrielles

L'ONEE-BO s'occupe aussi de l'assainissement des zones industrielles vu la nécessité de l'épuration des rejets liquides issus des différentes industries. La problématique liée aux effluents des industries se concentre dans leurs caractéristiques et la complexité de leur épuration.

- Les industries de transformation de poissons, qui se situent dans la plupart des zones côtières du Maroc, sont caractérisées par des débits importants des effluents avec de fortes charges polluantes. Les opérations qui ont été appliquées qui ne dépassent pas le prétraitement ne permettent pas une dépollution efficace de ces rejets en influençant sur la qualité des ressources naturelles de la mer et sur les activités des industries de transformation de poissons. La solution qui s'applique, aujourd'hui, est un traitement physique et chimique avec une filière de traitement biologique de leurs rejets avant de les rejeter à la mer.

CHAPITRE 2 : PRESENTATION DU PROJET

I. PRESENTATION GENERALE ET PROBLIMATIQUE

1. Contexte des industries de transformation de poisson au Maroc

L'industrie de transformation et de valorisation des produits de la pêche occupe une place privilégiée dans l'économie marocaine en assurant 50% des exportations agro-alimentaires et 12% des exportations totales du Maroc. Cette industrie traite près de 70% des captures de la pêche côtière et exporte environ 85% de sa production pour plusieurs pays dans les cinq continents. En 2012, l'ensemble des industries de transformation de poisson ont réalisés un tonnage à l'export de 471 249 tonnes pour une valeur de 13,23 milliards de Dirhams [7].

Le Maroc constitue aujourd'hui une plate-forme régionale incontournable de valorisation et d'exportation de produits de la pêche et le secteur de pêche représente pour lui une source de développement et de richesse ainsi il a permis d'assurer le travail d'un grand nombre de population [7].

Le secteur des industries de la pêche regroupe les activités de la conserve de poisson, de la semi-conserve de poisson, du conditionnement à l'export des produits de la mer fraîche, de la congélation, de la fabrication de farine et huile de poisson et du traitement des algues marines.

L'industrie de farine et huile de poisson, installée au Maroc à partir des années 40, a pris son essor depuis une vingtaine d'années. Cette activité est assurée par une trentaine d'unités localisées essentiellement dans les ports sardiniers d'Agadir, Safi, Tan Tan, Essaouira, Laâyoune et Dakhla. Cette industrie fournit près de 1 000 postes d'emplois et, s'approvisionne auprès de la pêche sardinière, représentant environ 8 000 marins [7].

2. Problématique

Les activités de pêche et de transformation de produits de mer, de la ville Dakhla, ont connu un développement au niveau de la qualité et la quantité durant les années 2005 jusqu'à présent [8]. Leurs rejets liquides qui sont déversés directement au milieu naturel qui est la mer ou le littoral pour la ville Dakhla, vu leurs caractéristiques et leur débit important, représentent un danger pour la vie aquatique et ils ont des répercussions sur les richesses de la ville. La pollution du littoral représente un problème majeur pour la ville en affectant sa production et son économie et même son image touristique.

➤ Selon le cahier des charges établi avec l'ONEE, il faut trouver une solution.

II. OBJET DE L'ETUDE

1. Contexte général

Le groupement d'Ingénieurs a été déclaré adjudicataire du Marché n° 41/BR/2018 relatif à l'étude, assistance technique et contrôle des travaux de construction d'une station d'épuration pour les unités industrielles de Dakhla pour le compte de la Région de Dakhla Oued Eddahab (RDOE).

2. Objectif de l'étude

Ce projet consiste à l'étude de la station d'épuration qui va assurer la dépollution des rejets liquides des unités industrielles de transformation de poisson projetées dans le cadre du projet AMI (Appel à Manifestation d'intérêt) avant de les rejeter à la mer en assurant une conformité des eaux épurées aux normes de rejet. Les six unités de valorisation des petits pélagiques sont les suivantes :

- CONSERVERIE PELAGIQUE DE DAKHLA ;
- CONSERVERIE OUED EDDAHAB ;
- PELAGIC PRO ;
- DERHEM HOLDING ;
- FRED FISHERIES ;
- ARTERE CONGEL.

3. Les contraintes du projet

Ce projet qui est destiné à la dépollution des rejets liquides des usines de l'AMI qui ne sont pas en cours de fonctionnement représente les contraintes suivantes :

- L'indisponibilité des données de base dont les charges hydrauliques et polluantes.
- Les caractéristiques des rejets dont la salinité qui est importante et qui peut affecter les procédés de dépollution.
- Le terrain qui est cher pour l'implantation des ouvrages de l'épuration.
- Les normes des rejets dont les valeurs limites du rejet dans le littoral qui sont indisponibles.

III. Le contexte générale des unités projetées de la zone industrielle de Dakhla selon l'AMI

1. Objet de l'Appel à Manifestation d'Intérêt (AMI)

L'AMI est destiné à sélectionner des projets de valorisation des petits pélagiques au niveau de Dakhla. Ces projets consistent en la création de nouvelles unités de valorisation à terre associées à l'exploitation en frais de ressources de petits pélagiques dans l'Atlantique sud sous le nom de « Stock C », par des navires modernes, débarquant dans le port de Dakhla en fonction de la disponibilité des capacités de débarquement [9].

2. Projets de valorisation à développer

Le Département de la Pêche Maritime DPM lance un AMI pour la réalisation de :

- 6 projets à haut niveau de valorisation des petits pélagiques ;
- 1 projet de valorisation des sous-produits.

2.1. Projets à haut niveau de valorisation des petits pélagiques (Catégorie 1)

Les soumissionnaires intéressés par ces projets sont appelés à présenter tout projet d'un niveau de valorisation et d'intensité en main d'œuvre similaire ou supérieure aux projets types ci-après, [9] :

- Conserve de petits pélagiques ;
- Conserve de sardine et plats cuisinés congelés ;
- Conserve de sardine, barquettes et pâté de poisson ;
- Conserve de sardine et pâté de poisson.

2.2. Projet de valorisation des sous-produits (Catégorie 2)

Les soumissionnaires intéressés par la Catégorie 2 devront proposer un projet de valorisation des déchets de poisson issus des opérations de traitement qui seront réalisées par les unités sélectionnées dans le cadre de la Catégorie 1. En addition aux déchets de poisson, l'investisseur retenu dans la catégorie 2 pourrait bénéficier d'un approvisionnement en poisson entier dont les modalités et les conditions seront définies d'un commun accord avec le Département de la Pêche Maritime [9].

3. Localisation des projets de l'AMI

Les projets seront réalisés au sein de la zone industrielle aménagée du port de Dakhla. Les superficies et les emplacements des lots réservés aux unités de transformation de poisson et des coproduits sont représentés dans l'annexe 1, l'annexe 2 et l'annexe 3.

La répartition de la surface utile par lot et par catégorie de projets est la suivante :

Tableau 2. 1: Les surfaces utiles des lots réservés aux projets de l'AMI.

Lots	Surface utile
Lot n°1	13.615 m ²
Lot n°2	14.485 m ²
Lot n°3	13.177 m ²
Lot n°4	16.410 m ²
Lot n°5	14.686 m ²
Lot n°6	14.609 m ²
Total des lots de la Catégorie 1 (Projets à haut niveau de valorisation des petits-pélagiques) (1)	86.982 m²
Lot n°7	7.870 m ²
Total des lots de la Catégorie 2 (Projets de valorisation des sous-produits) (2)	7.870 m²
Total des lots (1) + (2)	94.852 m²

4. Dimensionnement des projets de l'AMI

4.1. Volet de la pêche

Chaque soumissionnaire retenu dans le cadre des projets de haut niveau de valorisation des petits pélagiques bénéficiera d'un quota annuel, en accès direct, de 20 000 tonnes en petits pélagiques dans le « Stock C ». Ce quota devra être exclusivement exploité par le bénéficiaire à partir du port de Dakhla et avec le type de navire autorisé dans la cadre de cet AMI.

4.2. Volet de la valorisation

La capacité de traitement par projet, selon les superficies réservées et les techniques utilisées, ne devrait pas excéder 25 000 tonnes de petits pélagiques par an. Les sources d'approvisionnement correspondant à ce niveau se répartissent comme suit :

- 20 000 tonnes provenant du quota ci-dessus ;
- 5 000 tonnes correspondant au volume pouvant être acquis auprès de la flotte côtière sardinière opérant à Dakhla.

➤ **La dépollution des rejets liquides des unités industrielles projetées de l'AMI va être faite selon les procédés usuels appliqués à ce type d'industries, d'où la nécessité d'une étude bibliographique sur le secteur de conserveries de poisson et les procédés de dépollution appliqués aux effluents des usines de transformation des produits de mer.**

**CHAPITRE 3 : GENERALITES SUR L'EPURATION DES
EAUX USEES DES USINES DE TRANSFORMATION DES
PRODUITS DE MER**

I. DEROULEMENT DE LA PRODUCTION AU NIVEAU DES USINES DE TRANSFORMATION DES PRODUITS DE MER

1. Secteur de transformation des produits de mer

Ce secteur inclut le traitement des poissons a chair blanche ou pélagiques, des poissons gras, des fruits de mer qui comprend des crustacés et mollusques, et des poissons d'eau douce. La transformation du poisson est une activité très répandue et variée dans la plupart des régions du monde.

Les poissons marins représentent 90 % de la production de poisson dans le monde. Les 10 % restant sont formés des poissons d'eau douce et des poissons d'élevage. **Environ 75 % de la production mondiale de poisson est destinée à la consommation humaine, les 25 % restants servant à fabriquer la farine de poisson et l'huile de poisson et ces pourcentages sont pris en considération dans la plupart des usines qui assurent la conserverie de poisson et la production de la farine et l'huile de poisson [10].**

Toutefois, certaines parties de la transformation telles que **l'éviscération, le nettoyage, le triage et parfois l'enlèvement de la tête des poissons peuvent avoir lieu en mer, à bord de bateaux de pêche, par exemple lorsqu'il s'agit de poisson blanc à faible teneur en huile ou quand les bateaux sont équipés d'un système RSW (Refrigerated sea water) (Eau de mer réfrigérée).** Ces poissons sont dans ce cas conservés dans de la glace ou congelés jusqu'à leur arrivée dans l'installation, lieu où on les décongèle ou recouvre à nouveau de glace et stocke jusqu'au moment venu de poursuivre leur transformation [10].

2. Conserve à base de poisson

Généralement, la plupart des usines de conserve de poisson qui traitent les petits pélagiques suivent les mêmes opérations de traitement de poisson. Les opérations essentielles de traitement de poisson selon [10] sont représentées comme suite :

- La réception et le triage qui consiste à la séparation des poissons usinables de bonne qualité et des poissons non usinables qui peuvent être utilisés pour la fabrication de la farine et de l'huile de poisson.
- La préparation de la matière première qui comprend l'étêtage l'éviscération et l'enlèvement des parties non consommables de poisson.
- La mise en boîte des poissons coupés, pour les poissons de petite taille ils sont directement mis dans les boîtes sans avoir été coupés.
 - Pré-cuisson dans des fours à vapeur.
 - Ajout des additifs qui comprend de la sauce et d'huile.
 - Sertissage qui consiste à la fermeture des boîtes.
 - Stérilisation qui permet la désinfection des boîtes.
 - Le refroidissement qui permet la conservation de poisson à l'intérieur de la boîte.
 - Le conditionnement et l'emmagasinage des boîtes.

II. CARACTERISTIQUES DES REJETS DE TRANSFORMATION DE POISSON

Les rejets des usines de transformation de poisson sont caractérisés par :

- Des débits importants est variables durant les heures de process de production.
- Une DBO₅ et une DCO élevées avec un rapport de DCO/DBO₅ inférieur à 2,5 ce qui désigne la possibilité de la biodégradabilité de ces effluents.
- Une concentration en NTK et en MES élevée.
- Une concentration importante en phosphore, d'où la nécessité d'un traitement par coagulation-floculation.
- Une concentration en H&G élevée qui perturbe l'aération au niveau du bassin biologique et réduit l'efficacité du traitement biologique, d'où la nécessité d'une flottation à air dissous.
- Une concentration en chlorure et en salinité élevée avec une conductivité plus importante affectant le rendement d'épuration et diminuant l'efficacité de traitement biologique.
- Un pH qui est en général basique avec une température inférieure à 30°.

Les paramètres assurant la définition de la nature des effluents sont exprimés généralement en Kilogramme par tonne de poisson traité (Kg/tonne).

III. PROCEDES COURANTS DE TRAITEMENT DES EFFLUENTS DES USINES DE TRANSFORMATION DES PRODUITS DE MER

1. Prétraitement

Le prétraitement permet l'élimination des matières de grande taille qui peuvent nuire au fonctionnement et à l'efficacité des ouvrages en aval. Il s'effectue généralement par criblage par dégrillage ou tamisage, dessablage et dégraissage.

1.1. Tamisage

Une fois que les solides de grande taille sont éliminés avec les techniques de dégrillage et ne peuvent pas pénétrer dans les eaux usées à épurer, d'autres solides peuvent encore être éliminés dans les eaux usées par tamisage. Il est possible d'enlever de grandes quantités des graisses et des huiles non émulsifiées si le tamisage est accompagné de mesures techniques et opératoires pour éviter le colmatage.

Les écrans statiques ou des dégrilleurs, peuvent comporter des barreaux verticaux ou une plaque perforée. Ce type d'écran statique doit être nettoyé manuellement ou automatiquement [10]. On distingue plusieurs types de dégrilleurs qui sont disponibles sur le marché [12]: des grilles à raclage manuel ou automatique, des grilles à raclage en amont ou en aval, ou des grilles droites, inclinées ou courbes.

Les tamis rotatifs reçoivent les eaux usées à une extrémité et rejettent les déchets à l'autre. Le liquide traverse l'écran et sort pour arriver dans une boîte collectrice pour être acheminé vers l'avant. Le nettoyage de ce tamis se fait par un jet continu produit par des buses de pulvérisation externes inclinées vers l'extrémité de rejet des solides [10].

Les écrans inclinés qui sont des grilles concaves. Elles permettent l'élimination de la plus grande partie des matières, puis le ralentissement des déchets, et leur égouttage [13].

1.2. Dessablage et dégraissage

Le dessableur-dégraisseur permet l'élimination d'une grande partie des particules les plus denses. Cet ouvrage assure une élimination des sables qui peuvent nuire aux équipements de la station d'épuration par effet abrasif ou formation de dépôts, de même il permet une élimination faible des graisses aux les MEH qui peuvent nuire au traitement biologique par diminution de l'oxygène dissous et formation de mousses [12].

1.3. Homogénéisation, Egalisation et Neutralisation

Les bassins d'égalisation ou de stockage intermédiaire sont normalement destinés à gérer les variations générales des flux et de la composition des eaux usées en assurant un débit constant des eaux usées à traiter au niveau de la station d'épuration, ainsi qu'à fournir un traitement correctif, comme le contrôle du pH ou la transformation chimique. Les usines de transformation de produits de mer ne fonctionnent pas en continu d'où la nécessité d'étudier le besoin d'égalisation des effluents liquides pour s'assurer que le flux et la composition des eaux usées sont conformes aux paramètres de traitement physico-chimique ou biologique [10].

Une agitation est nécessaire au niveau du bassin d'égalisation pour éviter la formation des dépôts, pour éviter la formation des odeurs et pour assurer un mélange des eaux usées afin d'avoir des eaux de mêmes caractéristiques.

La neutralisation a pour but d'éviter le rejet d'effluents fortement acides ou alcalins qui peuvent nuire au traitement biologique.

2. Traitement physico chimique

Cette filière de traitement permet d'éliminer de plus les matières en suspension, des huiles et des graisses avec une diminution de la DBO et la DCO.

Le traitement primaire des rejets de transformation des produits de mer s'effectue dans la plupart des cas par coagulation et floculation, vu la concentration élevée en MES, suivies d'une flottation à air dissous qui permet l'élimination des graisses et des huiles.

2.1. Coagulation

Les matières en suspension contenues par les effluents sont de taille fines ce qui rend leur décantation difficile. La coagulation assure l'agglomération de ces matières par ajout des coagulants qui sont des produits chimiques dont les plus utilisés pour ce type de rejets sont le sulfate de fer et le chlorure de fer qui permettent d'éliminer le phosphore, et parfois on ajoute l'hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (la chaux) qui permet la facilité de la coagulation et il est utilisé au cas des effluents qui ont une alcalinité faible et une concentration variable et élevée de phosphore [15].

2.2. Flocculation

La flocculation consiste en l'agglomération des particules déstabilisées par la coagulation en microflocs qui se transforment par leur agglomération en flocs de taille assurant leur décantation ou leur flottation. Elle se fait par l'ajout d'un flocculant ou adjuvant de flocculation qui est en général un polymère synthétique de structure linéaire et de haute masse moléculaire. On peut citer : les polymères non ionogènes, les polymères anioniques, les polyélectrolytes cationiques.

2.3. Flottation

La séparation des matières plus légères que l'eau, comme les huiles et les graisses comestibles, peut être améliorée en utilisant la flottation. Dans le secteur de transformation des produits de mer, les teneurs en graisses et huiles sont élevées et la technique la plus utilisée est la flottation à air dissous (DAF).

Cette technique consiste à introduire de petites bulles d'air dans les eaux usées contenant les solides en suspension, des flocs formés par coagulation et flocculation et les FOG qui devront flotter. Les minuscules bulles d'air adhèrent aux particules chimiquement traitées et, en montant à la surface, elles entraînent les solides avec elles. L'élimination des matières flottantes se fait par raclage de surface ou aspiration.

3. Traitement biologique

Le traitement biologique a pour objectif principal d'extraire les matières organiques biodégradables et les solides en suspension à l'aide de méthodes biologiques. L'adsorption de polluants vers des boues organiques obtenues enlèvera également les matières non biodégradables, par exemple les métaux lourds. L'azote organique et le phosphore peuvent aussi être partiellement retirés des eaux usées. Les options de traitement secondaire se mettent en œuvre séparément ou en groupe, selon les caractéristiques des eaux usées [10].

3.1. Procédés aérobies

3.1.1. Lagunes aérobies

Les lagunes aérobies sont de grands bassins en terre peu profonds destinées au traitement des eaux usées à l'aide de processus naturels. Ils fonctionnent avec des algues, des bactéries, du soleil et du vent. Le contenu des lagunes est normalement brassé à intervalles réguliers avec des pompes ou des aérateurs de surface. Un différent type de lagune aérobie est la lagune facultative, où la stabilisation est obtenue par une combinaison de bactéries aérobies, anaérobies et facultatives. Pour conserver l'oxygène dans la couche supérieure d'une lagune facultative, on peut utiliser la réaération de surface [10].

3.1.2. Boues activées conventionnelles (BAC)

La technique des boues activées produit une masse active de micro-organismes capables de stabiliser des déchets par présence d'oxygène. Cette biomasse est aérée et conservée en suspension dans une cuve de réaction. Les installations utilisent de l'air, de l'oxygène ou un mélange des deux. L'utilisation de l'oxygène pur permet d'augmenter l'efficacité de l'épuration. Ce procédé assure une baisse des taux de DBO/DCO, phosphore et azote [10].

3.1.3. Réacteur biologique séquentiel (SBR)

Le SBR (Sequential Bioreactor) est une variante du procédé des boues activées. Il suit le principe du remplissage-soutirage ; il comprend normalement deux cuves de réaction identiques. Les diverses étapes des procédés des boues activées sont toutes exécutées dans le même réacteur. Il assure une diminution de la DBO, la DCO, le phosphore et l'azote. Dans ce sens, le SBR offre une exploitation plus simple et plus robuste, par exemple le système remplissage-soutirage, que le procédé des boues activées traditionnel. Comme le remplissage par charge successive entraîne la formation de boues activées qui sédimentent facilement, ce procédé convient aux eaux usées industrielles qui ont tendance à contenir de la boue gonflée [10].

3.1.4. Réacteur biologique à membrane (MBR)

Ce procédé permet d'assurer l'épuration des eaux usées et la séparation des matières par leur membrane. La membrane consiste à retenir une grande partie des microorganismes et garder un temps de contact entre ces micro-organismes avec la matière organique ce qui augmente l'efficacité de l'épuration [13]. Il existe deux configurations de ce procédé :

- Une configuration dans laquelle les membranes sont directement immergées dans le réacteur biologique. Cette configuration pose généralement le problème du traitement de l'azote (impact de l'aération des membranes sur la dénitrification) et de la maintenance.
- Une configuration qui est la plus utilisée pour les eaux usées industrielles où les membranes sont installées dans un bassin de filtration séparé. Dans ce cas, une recirculation de liqueur biologique est prévue entre les deux bassins.

3.1.5. Lits bactériens

L'épuration par lits bactériens est un procédé à culture fixée. Les microorganismes se développent sur un matériau support qui est irrigué par l'effluent à traiter. Cette filière consiste à alimenter en eau un ouvrage contenant une masse de matériau, qui est généralement des roches ou du plastique, servant de support aux micro-organismes. La recirculation du mélange eau-boues en sortie du lit bactérien est essentielle pour le bon fonctionnement de ce procédé [12].

3.1.6. Disques biologiques

Les disques biologiques sont un procédé de traitement à culture fixée. Les micro-organismes se développent sur un matériau support, régulièrement irrigué par l'effluent à traiter. Cette filière consiste à alimenter en eau un ouvrage contenant une masse de matériaux plastiques qui est met en rotation et servant de support aux micro-organismes épurateurs. L'aération est assurée par rotation de la masse des matériaux plastiques [12].

3.2. Procédés anaérobies

En l'absence d'oxygène, les matières organiques ne sont pas totalement dégradées et génèrent une formation de méthane (CH_4). L'un des aspects fondamentaux du traitement anaérobie des eaux usées est que la plus grande partie du carbone organique associée à la DBO de l'influent est convertie en méthane au lieu de créer un nouveau développement cellulaire. Les procédés anaérobies génèrent beaucoup moins de boues résiduelles [11].

4. Traitement des boues

4.1. Epaississement

L'épaississement est la première étape, de la réduction de volume des boues extraites de la filière eau. Il permet en effet d'optimiser les étapes suivantes de traitement des boues. Les boues, très diluées à la sortie de la filière eau (99 à 99,8 % d'eau en général) y sont concentrées à 90-96 % d'eau mais restent fluides, donc pompables, deux procédés sont utilisés dont l'épaississement par décantation gravitaire et l'épaississement dynamique [13].

4.2. Tamisage

Tamisage performant des boues afin de retirer les refus pouvant perturber les traitements de boues en aval. Afin de pouvoir envoyer des boues en valorisation, il faut retirer ses débris solides [12].

4.3. Egouttage

Afin d'éviter les inconvénients des épaisseurs gravitaires il est préférable d'utiliser le procédé d'égouttage par des équipements qui peuvent se présenter de forme de grille, cylindre, table ou tambour [12].

4.4. Déshydratation

La déshydratation des boues revient à extraire l'eau contenu dans celle-ci. Cette opération de déshydratation est réalisée par un traitement mécanique qui peut être obtenu à partir de différentes machines tel que des centrifugeuses, les filtres à presse ou les filtres à bande [13].

4.5. Stabilisation

La stabilisation des boues a pour objectif de réduire la fermentescibilité des boues de station d'épuration pour atténuer ou supprimer les mauvaises odeurs. Pour cela, il existe plusieurs méthodes dont la stabilisation biologique, la stabilisation chimique, la stabilisation thermique et la stabilisation par compostage [5].

4.6. Lits de séchage

Les boues extraites sont épandues sur un massif filtrant sur une couche drainante qui permet le ressuyage de l'eau. L'évaporation permet d'assurer une siccité élevée [12].

5. Destination finale des eaux épurées

5.1. Evacuation dans le sol

L'évacuation dans le sol est le moyen le plus simple, séduisant et économique de traiter les effluents rejetés par les usines de transformation des produits alimentaires. Toutefois, l'application de cette méthode aux usines de transformation du poisson présente certaines difficultés, dont les principales sont la disponibilité et le coût des terres situées à proximité des usines, ainsi que le danger d'empoisonnement des sols par le sodium contenu dans les effluents à haute teneur en sel [11].

5.2. Evacuation dans la mer

Après l'épuration, les effluents résultant de la transformation du poisson sont déversés directement vers la mer après avoir satisfait les normes de rejet au milieu naturel [11].

- **La dépollution des rejets liquides du port Dakhla qui comprend les six unités industrielles de conserverie de poisson et de production de la farine et huile de poisson va être assurée en tenant compte des procédés usuels utilisés pour les effluents de ce type des industries. Une étude de fonctionnement de ces usines est essentielle afin de déterminer les charges hydrauliques et polluantes.**

CHAPITRE 4 : DEPOLLUTION DES REJETS LIQUIDES DU PORT DAKHLA : LES EFFLUENTS DE SIX UNITES PROJETEES

I. PRESENTATION

La stratégie Halieutis, adoptée en 2009, a pour ambition de valoriser de façon durable les ressources halieutiques marocaines, de doubler, au minimum, le PIB du secteur halieutique d'ici 2020 et ainsi, de faire du secteur halieutique un moteur de croissance pour l'économie nationale. Cette stratégie recouvre aussi la construction de six unités industrielles de transformation des petits pélagiques ainsi que l'unité de traitement des sous-produits aux niveau de la zone industrielle de Dakhla qui a été exprimé dans le rapport de l'AMI.

Vu la dégradation de l'environnement qui ne cesse d'augmenter à cause de développement de ce secteur industriel au Maroc et vu le développement des réglementations assurant le contrôle de ces industries, il est nécessaire de penser aux solutions assurant le traitement des rejets liquides et la protection du milieu naturel.

Le traitement des rejets liquides des projets de l'AMI va être assuré par la construction d'une station d'épuration (STEP). De ce fait, ce projet consiste au prédimensionnement de cette STEP qui va permettre d'avoir des rejets conformes aux normes de rejets à la mer.

II. ETAT DES LIEUX

1. Situation géographique et administrative

La ville de Dakhla est une péninsule de 40 km de longueur et de 2,5 km de largeur en moyenne. Elle est située au Sud-Ouest du Royaume du Maroc, à environ 530 km de Laâyoune et à 1 850 km de Rabat. Elle est desservie par la RP41 (la route RP41 reliant la ville d'Agadir à Laâyoune via Tarfaya).

Sa latitude est : 23°43 Nord et sa longitude est : 15°56 Ouest.

La ville de Dakhla est une Municipalité. Elle est le chef-lieu de la province d'Oued Eddahab et relève de la région de Dakhla Oued Eddahab. Elle est limitée à l'Est par la baie d'Oued Eddahab et à l'Ouest par l'océan atlantique.

2. Démographie

La population de la province d'Oued Eddahab et de la ville de Dakhla, selon les 3 derniers recensements officiels, est présentée dans le tableau suivant :

Tableau 4. 1: Evolution de la population de la province d'Oued Eddahab selon les trois derniers recensements.

Année	1994	2004	2014
Population de la Province de Oued Eddahab	34 244	78 854	126 765
Population de la Municipalité de Dakhla	29 831	58 104	106 277
Nombre de ménages de la Province de Oued Eddahab	6 740	15 675	28 609
Nombre de ménages de la Municipalité de Dakhla	5 855	13 715	25 469

3. Géologie et hydrogéologie

Selon les coupes des forages réalisés par l'ONEE-BO et les autres services (Secrétariat de l'Eau, ABH), la structure géologique de la ville de Dakhla comprend la succession des couches suivantes :

- Une dalle à lumachelles (type de roche) d'une longueur de 2 à 5 m ;
- Une couche de grès argileux d'une longueur de 5 m ;
- Une couche de sable fin à grossier à intercalation d'argiles et de marnes grises d'une longueur de 67 m ;
- Alternance de grès fins et de marnes à passage de silts et d'argiles dures et compactes d'une longueur de 148 m ;
- Argilite et marnes grises à silex et silexite noirs d'une longueur de 207 m ;
- Alternance de marnes grises et de grès fins à silex noir d'une longueur de 107 m ;
- Sables moyens à grossiers marneux d'une longueur de 11 m ;
- Alternance de marnes grises et de silts d'une longueur de 170 m.

4. Climatologie

4.1. Pluviométrie

Les précipitations moyennes annuelles à la station météorologique de Dakhla sont faibles et sont de l'ordre de 15 mm, leur répartition par mois est présentée dans le tableau suivant :

Tableau 4. 2: Les précipitations mensuelles de la ville Dakhla.

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Total
Précipitation (mm)	2,03	1,67	0,83	0,97	2,47	2,2	2,8	0,72	0,6	0,4	0,1	0,32	15,11

4.2. Température

Les températures moyennes sont élevées pendant toute l'année avec une moyenne mensuelle annuelle de 20,43 °C. L'hiver demeure chaud. En effet ; la proximité de l'océan s'oppose à la variation des amplitudes thermiques. Les écarts mensuels entre les maxima et les minima sont relativement constants et n'excèdent pas 8,11°C (pour le mois de janvier).

Tableau 4. 3: Les températures dans la ville Dakhla.

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Moyenne
T max (°C)	26,33	26,45	25,47	21,73	22,24	21,88	23,39	23,05	22,8	23,83	24,62	25,33	23,93
T min (°C)	19,36	19,05	17,8	14,49	14,13	14,42	16,01	16,25	16,48	17,61	18,58	19,02	16,93
T moy (°C)	22,85	22,75	21,64	18,11	18,19	18,15	19,7	19,65	19,64	20,72	21,6	22,18	20,43

4.3. Vent

Les vents dominants soufflent généralement de la direction Nord/Nord-Est. Les vitesses moyennes sont de l'ordre de 70 km/h. les vitesses maximales peuvent atteindre 100 à 120 km/h.

4.4. Evaporation

Une évaporation totale moyenne chaque année de 1 552,8 mm [16].

Tableau 4. 4: L'évaporation dans la ville Dakhla.

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Total
Evaporation (mm)	146,6	142,4	123,1	107,7	99,7	94,2	123,8	126,5	136,9	144,1	155,8	152	1 552,8

5. Secteur économique

5.1. Pêche et activités industrielles

Le secteur de la pêche est un atout majeur pour le développement de la ville de Dakhla. Sa situation sur la côte atlantique, avec 667 km de littoral, et des eaux très riches en poisson ont permis le développement de la production des produits de mer.

Les captures de la pêche (côtière et artisanale y compris apports des navires RSW (Refrigerated sea water)) enregistrés au port de Dakhla sont passés de 347 992 tonnes en 2011 à 602 724 tonnes en 2016.

L'arsenal de pêche (en 2016) est composé comme suit :

- Flotte artisanale : 3 393 unités ;
- Flotte côtière : 167 unités ;
- Flotte hauturière : 25 unités.

Les unités industrielles implantées dans la ville (en 2016) et qui font essentiellement du conditionnement et de la congélation sont comme suit :

- 1 unité de conserve ;
- 72 unités de congélation ;
- 6 unités de frais ;
- 4 unités de coquillage.

5.2. Secteur commercial

L'activité commerciale représente une part importante dans la vie économique de la ville, d'autant plus que le commerce fait partie des traditions ancestrales des populations de la province.

Le secteur n'a cessé de se développer depuis la récupération de la province et suivant le rythme de l'évolution démographique. Son essor est dû aussi à l'ouverture, en 1985, de la liaison routière Dakhla-Boujdour. Les commerces pratiqués sont : commerce des produits alimentaires, produits d'habillement et les matériaux de construction [16].

5.3. Secteur touristique

La conjugaison de la situation de la ville, la configuration de la baie d'Oued Eddahab, des plages illimitées avec un sable d'une fine granulométrie, un ensoleillement à longueur d'année, font de Dakhla et sa province un des sites touristiques les plus remarquables à l'échelon national [16].

5.4. Agriculture

La périphérie de la ville de Dakhla est le siège d'une activité agricole suite à la création et l'équipement par la DPA (Direction Provinciale de l'agriculture) des périmètres irrigués de Tawarta (qui consiste à la production fruits et agrumes frais à Dakhla) ayant une superficie totale de 37 ha [16].

6. Infrastructures d'eau potable et d'assainissement

6.1. Alimentation en eau potable

La ville de Dakhla est alimentée en eau potable à partir de 5 forages sondés dans la nappe captive du crétacé qui se trouve à partir d'une profondeur de 500 m sous le sol [16].

Vu sa température et sa teneur en soufre élevées, l'eau de la nappe est traitée dans une station de traitement ayant une capacité de 165 l/s [16].

La gestion du service de l'eau (production et distribution) dans la ville de Dakhla est assurée par l'ONEE-BO [16].

6.2. Assainissement liquide

La gestion du service d'assainissement liquide a été transférée à l'ONEE-BO par la municipalité de la ville de Dakhla en novembre 2007 dans le cadre d'une convention de gestion déléguée liant les deux parties [16].

Grace à l'intervention de l'ONEE-BO, des investissements importants ont été consentis (environs 250 millions de Dirham) dans le développement du réseau de collecte des eaux usées et du traitement des eaux usées municipales [16].

Une station d'épuration des eaux usées domestiques a été conçue par procédé boues activées à faible charge d'une capacité de 5 000 kg de DBO₅/j pour un débit moyen journalier de 10 000 m³/j. Elle a été mise en service en 2015 avec un objectif de réutiliser les eaux épurées pour l'irrigation de la ceinture verte projetée et les espaces verts de la ville afin de

réduire la pression sur la nappe captive qui a une capacité très limitée et qui doit être réservée à l'alimentation en eau potable de la ville et l'activité industrielle et économique de manière générale. Le projet de réutilisation a été réalisé pour 5 000 m³/j d'eau traitée qui est la moitié du débit traité par la STEP [16].

III. DONEES DE BASE DES UNITES INDUSTRIELLES de l'AMI

Vu l'indisponibilité des données de base dont les charges hydrauliques et polluantes, une étude sur le fonctionnement supposé pour les six unités est nécessaire afin de déterminer ces données à partir des bilans de matières de ces usines.

1. Superficies des unités projetées de la zone industrielle de Dakhla

Le rapport de l'AMI a réservé des lots pour l'emplacement des unités de transformation des petits pélagiques et de traitement des coproduits. Six lots sont réservés aux conserveries de poisson et le septième est destiné à abriter une unité de traitement des coproduits. L'annexe 2 représente le plan parcellaire des lots de terrain réservés aux unités projetées de l'AMI.

Tableau 4. 5: La répartition de la surface utile par lot et par catégorie de projets.

Unité industrielle	Lot réservé	Surface utile (m ²)
ARTERE CONGEL	Lot 1	13 615
CONSERVERIES PELAGIQUES DE DAKHLA	Lot 2	14 485
CONSERVERIE DE OUED EDDAHAB	Lot 3	13 177
PELAGIQUE PRO	Lot 4	16 410
FRED FISHERIES	Lot 5	14 686
DERHEM HOLDING	Lot 6	14 609
Unité de traitement des coproduits	Lot 7	7 870

La surface totale de la zone industrielle de Dakhla qui est réservée à recevoir la totalité des unités industrielles est de 94 852 m² et la situation des unités industrielles projetées de la zone industrielle de Dakhla est représentée au niveau de l'annexe 3.

Pour le prédimensionnement de la station d'épuration on prend en considération que :

- **Le lot 7 destiné à abriter une unité de traitement des coproduits n'a pas été attribué et les conserveries (situées dans les lots numérotés de 1 à 6) peuvent valoriser elles-mêmes leurs coproduits pour les transformer en farine et huile de poisson. Donc l'étude de la station d'épuration va être basée sur les consommations au niveau de six unités de transformation de poisson.**
- **Les usines de conserveries de poisson vont traiter des poissons de type : petits pélagiques. Donc l'estimation de la consommation en eau va être faite selon la comparaison avec des usines dont le type de poisson traité est le même.**
- **Les usines de conserverie de poisson ne sont pas en cours de fonctionnement donc il est nécessaire d'estimer les débits et les charges polluantes. L'estimation des**

données de bases dont les débits de rejets et les charges polluantes va être faite selon une comparaison entre les différentes caractéristiques des rejets des industries similaires au niveau national et international, et le choix des caractéristiques de bases va être fait selon les données les plus appliquées au Maroc.

2. Etablissements des unités industrielles

On considère que chaque usine va être constituée de deux unités industrielles :

- Une unité pour la production des conserves de poisson ;
- Une unité pour la production de la farine et de l'huile de poisson.

Les deux unités auront une conception automatisée très moderne, avec des appareillages qui peuvent travailler en continu selon un fonctionnement aisé et à faible consommation énergétique.

3. Procédés de production des unités industrielles

3.1. Unité de production des conserves de poisson

Cette unité consiste au traitement des poissons pêchés selon les filières suivantes :

3.1.1. Réception et triage

L'opération de réception et triage est la première étape dans le processus de transformation de poisson. Les objectifs de cette phase de traitement sont :

- Le refroidissement du poisson déchargé ;
- Tri et calibrages du poisson à valoriser en conserve;
- Récupération des coproduits et poissons non usinables;
- Stockage des produits dans une chambre froide positive (environ +2 °C).

➤ Il est à noter que deux usines sur les six usines projetées sont équipées des navires pélagiques dotés de système RSW (Refrigerated Sea Water) de ce fait ils peuvent traiter leurs produits sur mer puis les amener à l'usine pour les valoriser. Donc la consommation en eau du procédé de triage pour ces deux usines ne va pas être pris en considération dans l'étude de la station d'épuration.

➤ Les deux usines qui sont équipées de système RSW ne sont pas reconnues, de ce fait on considère que les usines qui ont les quantités minimales de poisson à traiter sont ceux qui sont équipés de ce système pour assurer une sécurité au niveau des calculs et de choisir la situation la plus défavorable.

3.1.2. Valorisation de la matière première

Le traitement des petits pélagiques va se faire au niveau d'un bâtiment de process qui est constitué de plusieurs parties, chacune assure une fonction particulière.

Le bâtiment de process abrite les installations de traitement du poisson, la filière de production est constituée de 5 lignes parallèles de production. Les 5 lignes ont la même procédure de fonctionnement :

- Le chargement du poisson manuellement dans la chaîne ;
- L'étêtage et l'écaillage du poisson, cette opération se fait automatiquement à l'aide d'une machine qui permet l'évacuation des déchets sous vide ;
- L'éviscération automatique : permet la séparation des viscères et le lavage du poisson ainsi que l'évacuation des déchets vers une citerne ;
- L'emboitage : cette opération consiste en le remplissage des boîtes par des unités de poissons selon le poids net qui sera spécifié sur l'étiquette ;
- La cuisson : consiste à cuire les boîtes remplies dans un four à vapeur pendant 30 minutes environ, puis les refroidir par la suite par ventilation ;
- Le jutage : selon la commande du client des additifs sont ajoutés aux boîtes avant d'être serties (sel, huiles, arômes, sauce, ...) ;
- Le sertissage : fermeture des boîtes en absence de l'air ;
- Le lavage : les boîtes sont souillées par les débris du poisson et d'additifs, après sertissage seront plongées dans un bassin d'eau chaude ;
- La stérilisation : les boîtes lavées sont mises dans des paniers métalliques puis introduites dans un autoclave pour stérilisation ;
- Le refroidissement : cette opération consiste en l'abaissement aussi rapidement que possible de la température interne des boîtes afin d'éviter une détérioration organoleptique des poissons en conserve ;
- Conditionnement : les boîtes reçoivent les étiquettes et seront mises en caisses et cartons de dimensions convenables et assez résistants pour protéger les poissons en conserve durant la distribution.
- Emmagasiner : c'est la dernière étape du processus. Elle consiste en l'entreposage et l'emmagasinage des caisses dans un local de manière à demeurer sèches et à ne pas être exposées à des températures extrêmes.

3.1.3. Services du personnel

Le service du personnel va être assuré au niveau d'un bâtiment de personnel. Ce bâtiment est constitué des locaux à usage domestique qui sont : restaurant et cafeteria, vestiaires, douches et toilettes, lingerie, centre médical et espace de prière.

3.1.4. Services techniques

Les services techniques vont assurer les travaux de réparation, d'entretien, contrôle et de nettoyage des machines.

3.1.5. Parties annexes

L'usine de conserverie de poisson doit abriter d'autres bâtiments et installations assurant le stockage des coproduits, la gestion et le contrôle de qualité. Ces différentes installations sont les suivantes : cuve de stockage des huiles végétales, atelier de préparation des sauces, hall de stockage de matières premières et de produits finis, bureaux administratifs, un laboratoire d'analyse et une unité de lavage des caisses.

3.2. Unité de production de la farine et de l'huile de poisson

Les farines de poisson sont en général des produits solides formés à base des poissons non usinables, des déchets des poissons issus de l'opération de triage, d'étêtage et d'éviscération. Les huiles sont formées par le biais d'un procédé qui vise à séparer les fractions solides, huileuses et aqueuses de la matière première, et à extraire une grande partie de l'eau et des huiles. La farine de poisson est utilisée pour les procédés d'élevage des poissons.

4. Consommation en eau

La production des conserves de poisson et la production de la farine et l'huile de poisson nécessitent l'utilisation de l'eau dans chaque étape. Pour les industries de transformation des produits de mer, on utilise généralement de l'eau potable issue de la ville et l'eau de forage.

Dans ce cas on considère que les six unités seront alimentées en eau à partir de deux sources :

- Réseau d'eau potable provenant de la ville de DAKHLA géré par l'ONEE ;
- Eau de forages.

5. Energie utilisée

Les six usines vont utiliser de l'énergie électrique pour les procédés de valorisation de poisson et pour les services annexes ainsi qu'une utilisation de fuel pour les chaudières.

Les unités seront alimentées en énergie électrique à partir du réseau ONEE. Chaque unité sera équipée de deux postes de transformation permettant de satisfaire son besoin en électricité.

6. Rejets des usines

Au niveau de ces unités industrielles on aura des rejets au niveau des différents procédés de production. Les rejets seront en général :

- Les rejets liquides à différents niveaux de la chaîne de production caractérisés par leurs fortes charges polluantes d'où la nécessité de leur épuration ;
- Les rejets solides provenant essentiellement des opérations d'étêtage et d'éviscération du poisson qui seront récupérés pour la fabrication de la farine et l'huile de poisson, de ce fait leur impact sur l'environnement est réduit ;
- Emissions gazeuses au niveau des chaudières pour les filières de cuisson et stérilisation. Ces émissions sont en générale de la vapeur d'eau.

IV. ELABORATION DES BILANS MATIERES DES UNITES INDUSTRIELLES DE L'AMI

Les six unités projetées de la zone industrielle de Dakhla consistent en la transformation de poisson frais en produits de conserve dans des boîtes métalliques. La matière première utilisée est du poisson avec introduction de l'eau dans les procédés de valorisation avec production des boîtes remplies en poisson et des déchets de poisson qui vont être utiles pour la fabrication de la farine et l'huile de poisson.

Le bilan des matières permet de définir la consommation en matière première au niveau de chaque filière de valorisation et de savoir les quantités de produits finis à la fin de chaque procédé de traitement. Le bilan des matières dépend de la quantité de matière traitée, des techniques utilisées et des procédés de valorisation.

1. Quotas de pêche des unités industrielles projetées

Selon le rapport de l'AMI, la capacité de traitement par projet ne doit pas excéder 25 000 tonnes de petits pélagiques par an et chaque projet aura :

- 20 000 tonnes provenant de la pêche ;
- 5 000 tonnes correspondant au volume pouvant être acquis auprès de la flotte côtière sardinière opérant à Dakhla.

La quantité totale de poisson de six unités industrielles traitée chaque jour est estimée à 415 tonnes, les unités vont fonctionner pendant la même durée, ce qui correspond à une durée de travail de :

$$\text{Durée de travail} = \frac{\text{Quotas de pêche totale de six unités}}{\text{Quantité totale traitée par jour}}$$

$$\text{Durée de travail} = \frac{25\,000 \times 6}{415} = 361,44 \text{ jours}$$

➤ **Donc soit une durée de travail pour chaque unité industrielle de 361 jours par an.**

Selon le document de référence sur les meilleures techniques disponibles (MTD), les usines de transformation des produits de mer où elles existent des unités de conserve de poisson et des unités de fabrication de la farine et l'huile de poisson, 75% de poisson pêché va être réservé à la conserve et le reste (25% de poisson pêché) va être réservé à la fabrication de la farine et l'huile de poisson. Pour ces unités industrielles projetées de Dakhla on va considérer la même répartition de la matière première.

Les 415 tonnes de poisson traitée en totalité pour les six unités industrielles projetées sont réparties comme suite, selon les capacités de chaque unité (Donnée par l'ONEE-BO) :

Tableau 4. 6: Tonnage brut de poisson traité par jour pour les unités industrielles projetées.

Nom de l'unité industrielle	Tonnage brut traité (tonne/j)		
	Total	Conserverie (75%)	Farine et huile de poisson (25%)
ARTERE CONGEL	50	37,5	12,5
FRED FISHERIES	130	97,5	32,5
CONSERVERIE DE OUED EDDAHAB	60	45	15
DERHEM HOLDING	50	37,5	12,5
CONSERVERIES PELAGIQUES DE DAKHLA	50	37,5	12,5
PELAGIQUE PRO	75	56,25	18,75
Total	415	311,25	103,75

2. Déroulement de l'activité de pêche pour les six unités industrielles

Pour la plupart des usines de transformation de poisson, l'activité de la pêche se déroule en 3 jours (72 heures). De ce fait on considère le même pour notre cas.

On considère que la quantité pêchée en 3 jours va être répartie en poisson usinable qui constitue 75% de la quantité totale et qui va être traitée en 10 heures chaque deux jours, le reste (25% de la quantité pêchée) va être de poisson non usinable réservé à la fabrication de la farine et l'huile de poisson. Le tableau suivant représente les quantités pêchées, les quantités usinables et les quantités non usinables de poisson pour les unités industrielles projetées.

Tableau 4. 7: Répartition des quantités pêchées, usinables et non usinables des unités projetées.

Nom de l'Unité industrielle	Tonnage brut pêché en 3 jours (tonne/3 jours)	Quantité usinable (75%)	Quantité non usinable (25%)	Quantité usinable traitée par jour (tonne/jour)	Quantité non usinable traitée par jour (tonne/jour)	Tonnage brut traité par jour (tonne/jour)
ARTERE CONGEL (unité projetée)	100	75	25	37,5	12,5	50
FRED FISHERIES	260	195	65	97,5	32,5	130
CONSERVERIE DE OUED EDDAHAB	120	90	30	45	15	60
DERHEM HOLDING	100	75	25	37,5	12,5	50
CONSERVERIES PELAGIQUES DE DAKHLA	100	75	25	37,5	12,5	50
PELAGIQUE PRO	150	112,5	37,5	56,25	18,75	75
Total	830	622,5	207,5	311,25	103,75	415

3. Déroulement de l'activité de traitement de poisson pour les six unités industrielles projetées

Pour chaque procédé de production, on détermine les matières premières utilisées, les produits finis et les émissions générées.

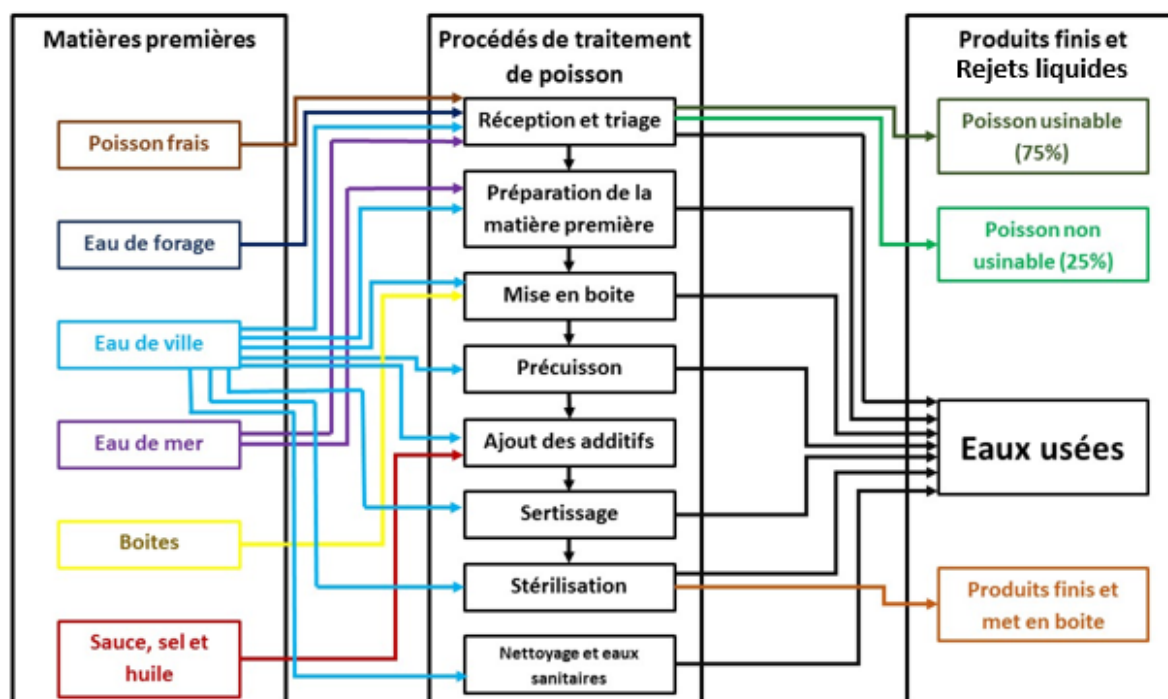


Figure 4. 1: Procédés de traitement de poisson, les matières premières et les produits finis.

➤ Selon le document de référence sur les meilleures techniques disponibles (MTD), la totalité des eaux utilisées pour les filières de production des usines de transformation des produits de mer va se transformer en eau usée. Pour le nettoyage et les eaux sanitaires on considère un pourcentage de 80%.

3.1. Réception et triage

Cette filière consiste en la réception des poissons pêchés et le triage afin de séparer la partie réservée à la conserve de poisson de la partie réservée à la production de la farine et l'huile de poisson.

La consommation en eau dépend de la quantité pêchée. Les bassins de poisson de système RSW (Refrigerated Sea Water) nécessitent de l'eau potable de la ville et l'eau de forage pendant leur démarrage et pendant les opérations de nettoyage et la fabrique de glace.

La consommation en eau est estimée de :

- Eau de forage : soit 0,54 m³/tonne de poisson pêché en trois jours.
- Eau de ville : soit 0,116 m³/tonne de poisson pêché en trois jours.
- Eau de mer : soit 0,16 m³/tonne de poisson pêché en trois jours.

- **L'utilisation de ces eaux dépend de leur disponibilité et de leur coût.**
- **Dans les différentes industries de transformation des produits de mer, l'utilisation de ces types des eaux est différente selon les capacités de chaque usine et selon les techniques utilisées, or pour notre cas on considère une utilisation de l'eau de forage de 66%, l'eau de ville de 14% et pour l'eau de mer 20% pour cette filière.**

A la fin de cette opération de traitement on aura une partie de poisson usinable (75% de poisson trié) et une partie non usinable destinée à la fabrication de la farine et l'huile de poisson (25% de poisson trié).

3.2. Préparation de la matière première

Cette opération consiste à l'étêtage et l'éviscération de poisson usinable.

Les quantités d'eau injectées à la tête de la file, sont de :

- Eau potable de la ville pour le ruissellement sur le tapis du travail : 0,13 m³/tonne de poisson usinable traité en un jour.
- Eau de mer destiné à la fabrication de la saumure : 0,26 m³/tonne de poisson usinable traité en un jour.

A l'issue de cette étape, on obtient les produits suivants :

- Un produit semi fini protégé par la saumure ;
- Les déchets solides qui sont transportés par l'eau douce qui sont estimés de l'ordre de 35% de la quantité de poisson usinable traité et qui vont servir à la production de la farine et l'huile de poisson.

3.3. Mise en boîte

Cette étape qui consiste à mettre le produit issu de l'étape de préparation de la matière première en boîtes, est accompagnée d'une opération de rinçage à l'aide de l'eau douce. Pour cette filière on aura besoin de :

- Boîtes qui vont être utilisées sont estimées de : 4 800 Boîtes/tonne de poisson usinable et traité en un jour.
- Eau de la ville destinée au rinçage de boîtes : 37 ml/Boîte.

3.4. Précuisson

L'opération a pour objet le contrôle des teneurs en eau et en graisse du produit par déshydratation partielle de la chair.

- La consommation en eau va dépendre du nombre de boites, elle est estimée de : 0,11 l/Boite.

3.5. Ajout des additifs

Cette étape consiste à ajouter un liquide de couverture dans la boite. Il s'agit de l'huile, marinade ou d'une sauce. Les eaux usées dans cette filière sont considérées négligeables car la sauce fabriquée à base de l'eau va être desservie au remplissage des boites. La quantité d'eau nécessaire pour la fabrication de la sauce va dépendre de la quantité de sauce nécessaires, cette dernière va dépendre du nombre de boite.

- La quantité de sauce nécessaire est estimée de : 18,52 ml/Boite (exprimée en tonne).
- La quantité d'eau (eau de ville) nécessaire est estimée de : 0,5 m³/tonne de sauce.

3.6. Sertissage

L'étape de sertissage permet la fermeture hermétique des boites métalliques.

- Lavage des grilles en utilisant l'eau de ville : 24 ml/Boite fermée.
- Lavage des boites : 37 ml/Boite fermée.

3.7. Stérilisation

Cette étape a pour but la stérilisation du produit à l'aide d'autoclave qui assure les deux fonctions suivantes :

- Le chauffage des boites qui sert à la fois à cuire le contenu des boites et à détruire les micro-organismes et les spores des bactéries ;
- Le refroidissement des boites.

A la sortie de l'autoclave, les boites de conserves sont prêtes pour être stockées et transportées. Le volume de l'eau nécessaire va dépendre du nombre de boites à stériliser.

- Le volume d'eau nécessaire pour la stérilisation est estimé de : 0,28 l/Boite.

3.8. Nettoyage de la chaine de production

Pour chaque unité industrielle, le nettoyage de la chaine de production va être estimé de 93 m³ d'eau.

3.9. Eaux sanitaires

En prenant en considération une dotation de 50 litres par personne. Le nombre de personnes est estimé de 500 personnes. Le besoin journalier est égal à 25 m³/j.

- **Pour chaque unité industrielle et selon les consommations en eau estimées précédemment, on détermine les bilans des matières.**
- **Les bilans des matières sont représentés dans les annexes de 4 à 9.**

V. DEBIT DES EAUX USEES ET LES CHARGES DE POLLUTION

La station d'épuration va être dimensionnée selon le débit des eaux usées produits au niveau de la totalité des usines.

- **Le débit des eaux usées va être déterminé suivant le déroulement des activités de production.**
- **Les charges polluantes, suite à l'impossibilité des mesures sur les eaux usées de ces unités industrielles car elles ne sont pas en cours en fonctionnement, vont être estimées selon les caractéristiques des rejets des unités industrielles similaires.**

1. Débit des eaux usées

Le traitement de poisson va se dérouler en deux jours. Les différents procédés de production ne se déroulent pas aux même temps, dans ce cas la première étape de triage déroule 15 heures pour le premier jour et le reste des étapes se faites en 10 heures chaque deux jour.

Le fonctionnement des usines est représenté dans le tableau suivant :

Tableau 4. 8: Durées des procédés de production.

		Procédé de production	
Premier jour	1 heure	Reception et triage (Etape 1)	Valorisation de poisson (de l'Etape 2 à l'Etape 7+ Nettoyage et sanitaire)
	2 heures		
	3 heures		
	4 heures		
	5 heures		
	6 heures		
	7 heures		
	8 heures		
	9 heures		
	10 heures		
	11 heures		
	12 heures		
	13 heures		
	14 heures		
	15 heures		
	16 heures		
	17 heures		
	18 heures		
	19 heures		
	20 heures		
	21 heures		
	22 heures		
	23 heures		
	24 heures		
Deuxième jour	25 heures		Valorisation de poisson (de l'Etape 2 à l'Etape 7+ Nettoyage et sanitaire)
	26 heures		
	27 heures		
	28 heures		
	29 heures		
	30 heures		
	31 heures		
	32 heures		
	33 heures		
	34 heures		
	35 heures		
	36 heures		
	37 heures		
	38 heures		
	39 heures		
	40 heures		
	41 heures		
	42 heures		
	43 heures		
	44 heures		
	45 heures		
	46 heures		
	47 heures		
	48 heures		

Avec :

Etape 1 : Réception et triage.

Etape 2 : Préparation de la matière première (Etêtage et Eviscération).

Etape 3: Mise en boite.

Etape 4: Précuisson.

Etape 5: Ajout des additifs.

Etape 6: Sertissage.

Etape 7: Stérilisation.

➤ Il est à noter que les bateaux de deux unités sur les six unités projetées sont équipés d'un système RSW (Refrigerated Sea Water) et peuvent assurer la première étape de triage sur mer. Donc les eaux usées issues de la première étape de ces deux unités ne sont pas pris en considération.

➤ On considère que ces deux unités sont celles qui ont la quantité de poisson minimale à traiter pour ne pas sous-dimensionner notre STEP. Donc soit :

- ✓ DERHEM HOLDING.
- ✓ CONSERVERIES PELAGIQUES DE DAKHLA.

- On considère que les six unités fonctionnent en parallèles (scénario le plus défavorable).
- Selon les activités de production qui ne se déroulent pas en continu, on considère un cycle de 48 heures.

Le tableau suivant représente le débit des eaux usées pour un cycle de 48 heures :

U1	ARTERE CONGEL(unité projetée)
U2	FRED FISHERIES
U3	CONSERVERIES DE OUED EDDAHAB
U4	DERHEM HOLDING
U5	CONSERVERIES PELAGIQUES DE DAKHLA
U6	PELAGIQUE PRO

Tableau 4. 9: Les volumes d'eau utilisés dans la production.

Heures de travail	Réception et triage (m³)				Valorisation de poisson (m³)						Total des 6 unités (m³)
	U1	U2	U3	U6	U1	U2	U3	U4	U5	U6	
1 heure	5,467	14,133	6,533	8,2	17,8	34,6	19,8	17,8	17,8	23,1	165,2
2 heures	5,467	14,133	6,533	8,2	17,8	34,6	19,8	17,8	17,8	23,1	165,2
3 heures	5,467	14,133	6,533	8,2	17,8	34,6	19,8	17,8	17,8	23,1	165,2
4 heures	5,467	14,133	6,533	8,2	17,8	34,6	19,8	17,8	17,8	23,1	165,2
5 heures	5,467	14,133	6,533	8,2	17,8	34,6	19,8	17,8	17,8	23,1	165,2
6 heures	5,467	14,133	6,533	8,2	17,8	34,6	19,8	17,8	17,8	23,1	165,2
7 heures	5,467	14,133	6,533	8,2	17,8	34,6	19,8	17,8	17,8	23,1	165,2
8 heures	5,467	14,133	6,533	8,2	17,8	34,6	19,8	17,8	17,8	23,1	165,2
9 heures	5,467	14,133	6,533	8,2	17,8	34,6	19,8	17,8	17,8	23,1	165,2
10 heures	5,467	14,133	6,533	8,2	17,8	34,6	19,8	17,8	17,8	23,1	165,2
11 heures	5,467	14,133	6,533	8,2	0	0	0	0	0	0	34,3
12 heures	5,467	14,133	6,533	8,2	0	0	0	0	0	0	34,3
13 heures	5,467	14,133	6,533	8,2	0	0	0	0	0	0	34,3
14 heures	5,467	14,133	6,533	8,2	0	0	0	0	0	0	34,3
15 heures	5,467	14,133	6,533	8,2	0	0	0	0	0	0	34,3
16 heures	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17 heures	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18 heures	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19 heures	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20 heures	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21 heures	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22 heures	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23 heures	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24 heures	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25 heures	0	0	0	0	17,8	34,6	19,8	17,8	17,8	23,1	130,9

26 heures	0	0	0	0	17,8	34,6	19,8	17,8	17,8	23,1	130,9
27 heures	0	0	0	0	17,8	34,6	19,8	17,8	17,8	23,1	130,9
28 heures	0	0	0	0	17,8	34,6	19,8	17,8	17,8	23,1	130,9
29 heures	0	0	0	0	17,8	34,6	19,8	17,8	17,8	23,1	130,9
30 heures	0	0	0	0	17,8	34,6	19,8	17,8	17,8	23,1	130,9
31 heures	0	0	0	0	17,8	34,6	19,8	17,8	17,8	23,1	130,9
32 heures	0	0	0	0	17,8	34,6	19,8	17,8	17,8	23,1	130,9
33 heures	0	0	0	0	17,8	34,6	19,8	17,8	17,8	23,1	130,9
34 heures	0	0	0	0	17,8	34,6	19,8	17,8	17,8	23,1	130,9
35 heures	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36 heures	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37 heures	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38 heures	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39 heures	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40 heures	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41 heures	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42 heures	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43 heures	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44 heures	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45 heures	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46 heures	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47 heures	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48 heures	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	82,005	211,995	97,995	123	356	692	396	356	356	462	3133

La courbe suivante représente la variation du volume des eaux usées issues du traitement de poisson :

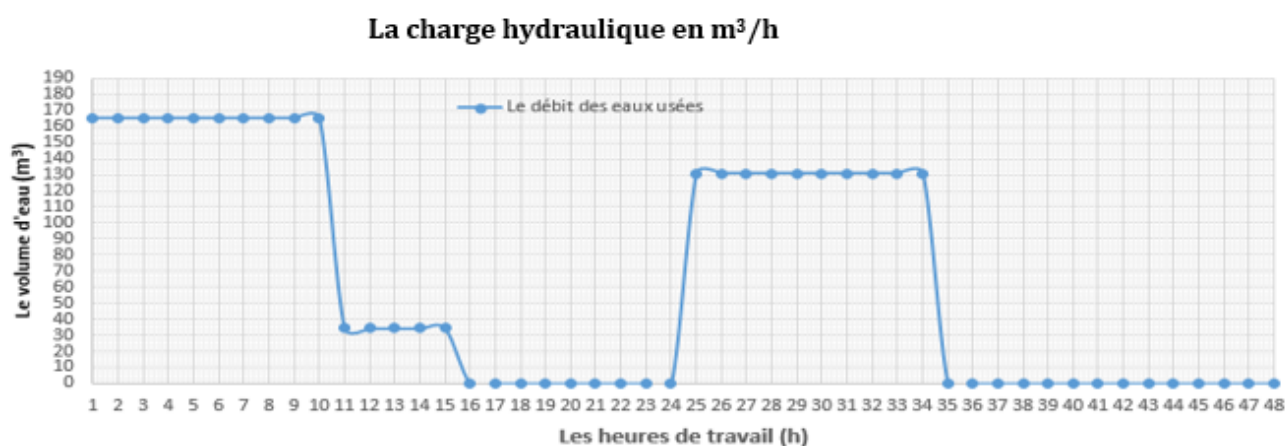


Figure 4. 2: La variation du volume des eaux usées pour un cycle de 48 heures.

A partir des résultats de la courbe on remarque que :

- ✓ Le volume total des eaux usées pour un cycle de 48 heures est de 3 133 m³.
- ✓ Le débit de pointe des eaux usées est de 165,2 m³/h.

2. Charges de pollution

Les charges de pollution vont être déterminées à partir des résultats obtenus à partir des mesures effectuées sur les unités industrielles existantes de la zone industrielle de Dakhla. Ces résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 4. 10: Les charges de pollution des unités industrielles existantes de la zone industrielle de Dakhla.

L'unité industrielle	Concentrations (mg/l)				Débit journalier total (m ³ /j)
	DBO ₅	DCO	MES	H & G	
ARTERE CONGEL (unité existante)	4 200	6 430	1 525	1 260	70
DIPLOMER III	4 500	6 850	1 730	1 350	70
LOTTE FISHING	3 100	4 687	1 810	930	10
ONP DAKHLA	160	415	124	48	20
CENTRALE ONEE	168	399	18	50,4	14
La concentration moyenne	3 508,5	5 382,4	1 351,5	1 052,53	184

➤ Pour le NTK et le Chlorure il est recommandé d'utiliser les ratios de pollution donnés par le FODEP. Pour le phosphore il est recommandé d'utiliser les paramètres donnés par l'établissement public du ministère chargé de développement durable de la France et l'agence Loire-Bretagne. Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 4. 11: Les charges de pollution retenues pour le NTK, P total et le Chlorure.

Nom de l'Unité industrielle	Tonnage brut traité (tonne/j)			Rejets liquide (m ³ /tonne)		NTK (kg/tonne)		P total (kg/tonne)		Chlorure (kg/tonne)	
	Total	Cons. (75%)	F & H (25%)	Cons.	F & H	Cons.	F & H	Cons.	F & H	Cons.	F & H
ARTERE CONGEL (unité projetée)	50	37,5	12,5	3,13	0,984	1,76	7,88	0,2	0,08	46,2	16,51
FRED FISHERIES	130	97,5	32,5	3,13	0,984	1,76	7,88	0,2	0,08	46,2	16,51
CONSERVERIE DE OUED EDDAHAB	60	45	15	3,13	0,984	1,76	7,88	0,2	0,08	46,2	16,51
DERHEM HOLDING	50	37,5	12,5	3,13	0,984	1,76	7,88	0,2	0,08	46,2	16,51
CONSERVIERIES PELAGIQUES DE DAKHLA	50	37,5	12,5	3,13	0,984	1,76	7,88	0,2	0,08	46,2	16,51
PELAGIQUE PRO	75	56,25	18,75	3,13	0,984	1,76	7,88	0,2	0,08	46,2	16,51

Tableau 4. 12: Les charges de pollution calculées pour les six unités industrielles.

Nom de l'Unité industrielle	Rejet liquide(m ³ /j)			NTK(mg/l)			P total(mg/l)			Chlorure(mg/l)		
	Total	Cons.	F&H	Total	Cons.	F&H	Total	Cons.	F&H	Total	Cons.	F&H
ARTERE CONGEL (unité projetée)	129,68	117,37	12,3	1268,55	562,3	8008,13	26,37	28,98	1,47	14951,8	14760,38	16778,46
FRED FISHERIES	337,16	305,17	31,98	1268,55	562,3	8008,13	26,37	28,98	1,47	14951,8	14760,38	16778,46
CONSERVERIE DE OUED EDDAHAB	155,61	140,85	14,76	1268,55	562,3	8008,13	26,37	28,98	1,47	14951,8	14760,38	16778,46
DERHEM HOLDING	129,68	117,37	12,3	1268,55	562,3	8008,13	26,37	28,98	1,47	14951,8	14760,38	16778,46
CONSERVERIES PELAGIQUES DE DAKHLA	129,68	117,37	12,3	1268,55	562,3	8008,13	26,37	28,98	1,47	14951,8	14760,38	16778,46
PELAGIQUE PRO	194,51	176,06	18,45	1268,55	562,3	8008,13	26,37	28,98	1,47	14951,8	14760,38	16778,46
Total	1076,3	974,21	102,09	1268,55	562,3	8008,13	26,37	28,98	1,47	14951,8	14760,38	16778,46

- Pour le pH, on considère la valeur moyenne dans l'annexe 10, soit : pH=8.
- Pour la conductivité, on considère une valeur moyenne des caractéristiques représentées dans l'annexe 10, soit : Conductivité = 22 000 µS/cm.
- La température est choisie de T = 24°C, qui est la température moyenne représentée dans l'annexe 10.

Le débit de dimensionnement et les charges de pollutions retenues sont exprimés dans le tableau suivant :

Tableau 4. 13: Le débit des eaux usées et les charges polluantes retenues.

Paramètre	Valeur
Les charges hydrauliques	
Débit des eaux usées pour un cycle de 48 heures (m ³ /2j)	3 133
Débit Journalier des eaux usées (m ³ /j)	1 566,5
Débit horaire des eaux usées (m ³ /h)	65,27
Débit de pointe (m ³ /h)	165,2
Les caractéristiques des rejets	
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	3 500
DCO (mg O ₂ /l)	5 400
MES (mg/l)	1 350
Huiles et Graisses (mg/l)	1 052
NTK (mg/l)	1 300
Pt (mg/l)	26,5
Chlorure (mg/l)	15 000
pH	8
Conductivité (µS/cm)	22 000
Température (°C)	24

VI. DEPOLLUTION DES REJETS LIQUIDES DES UNITES INDUSTRIELLES DE L'AMI

1. Normes de rejets

Les eaux usées épurées vont être évacuées au niveau de l'océan atlantique. Vu l'absence des valeurs limites des rejets (**VLR**) au niveau du littoral, les valeurs limites de rejets pour la DBO₅, la DCO, MES et H&G retenues sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 4. 14: Les valeurs limites des rejets pour H&G, MES, DBO₅ et DCO.

Paramètre	Valeur maximale
H&G (mg/l)	50
MES (mg/l)	150
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	120
DCO (mg O ₂ /l)	300

Pour la température, pH, NTK, Pt et la conductivité les valeurs limites générales de rejets sont prises en considération.

Tableau 4. 15: Les valeurs limites générales de rejets, Température, pH, NTK, Pt et Conductivité.

Paramètre	Valeur maximale
Température (°C)	<30
pH	5,5-9,5
NTK (mg/l)	60
Pt (mg/l)	15
Conductivité (μS/cm)	2 700

2. Problématique liée à ce type de rejet

Les effluents des usines de transformation des produits de mer sont caractérisés par leur forte teneur en sel qui est due, dans la plupart des cas d'étude, à l'utilisation des eaux de forages (le cas de la conserverie de poisson BELMA Agadir, la conserverie de poisson ASAT à Tan-Tan, ...). La teneur en sel de ces effluents est traduite par une forte concentration en chlorure et une conductivité élevée.

Les fortes teneurs en sel peuvent affecter le traitement biologique en influençant sur la vie des micro-organismes qui vont assurer la dégradation de la matière organique, or le type des eaux usées à traiter peut favoriser le développement des bactéries dites halotolérantes qui peuvent vivre dans une salinité qui peut atteindre 75 g/l, et des halophiles qui sont capables de vivre dans une salinité de l'ordre de 5 à 15 % pour les halophiles modérées, plutôt de 10 à 30 % pour les halophiles extrêmes [5].

Le traitement biologique peut être effectué par ce type de bactéries en choisissant un système convenable d'épuration. Les systèmes d'épuration qui peuvent être utilisés pour ce type de rejet, selon une étude faite par (**Olivier Basuyaux, Stéphanie Pétinay, Olivier Richard et Patrick Vincent**), consistent à l'utilisation d'un traitement physico-chimique et de la flottation suivi d'un traitement biologique par des réacteurs pilotes à lit bactérien ou les boues activées dont l'efficacité d'épuration est importante [27].

La teneur en Chlorure maximale qui peut être exister dans un bassin biologique et qui n'affecte pas l'efficacité de traitement biologique est considérée de l'ordre de 2 à 3 g/l [28].

Pour notre projet on considère une teneur maximale du Chlorure de 3g/l qui peut influencer sur le traitement biologique. Les eaux de mer utilisées pour le procédé de production vont subir une dilution quand elles vont se mélanger avec les eaux potables de la villes (utilisées aussi dans le procédé de production). Le développement des micro-organismes halophiles va être considéré faible devant le développement des micro-organismes non tolérables suite aux conditions atmosphériques des usines et suite à l'utilisation des eaux potables de la ville et les eaux de forages. De ce fait, la concentration en Chlorure des effluents des unités industrielles projeté qui est de 15 000 mg/l et la conductivité qui est de 22 000 $\mu\text{S/cm}$ sont susceptibles de réduire l'efficacité du traitement biologique.

Pour éviter l'influence du Chlorure sur le traitement biologique, des procédés dont l'électrolyse combiné avec le traitement biologique [29], la dilution et l'osmose inverse sont appliqués.

- **Pour notre cas, on va traiter les eaux de forages, avant leur utilisation dans le procédé de production, en utilisant l'osmose inverse en assurant une réduction de la salinité, de la concentration en Chlorure et de la conductivité.**

2.1. Traitement des eaux de forages avant leur utilisation dans le procédé de production de poisson

Cette solution consiste à installer une unité de traitement par osmose inverse de la totalité des eaux de forage qui seront utilisées par les six unités industrielles.

Pour le dimensionnement de l'unité de traitement par osmose inverse et le choix des modules de membranes utilisées, on aura besoin du débit des eaux de forages à traiter et leurs caractéristiques.

2.1.1. Débit des eaux de forage utilisées par les six unités industrielles projetées

Les bilans des matières des unités industrielles projetées représentés dans les annexes de 4 à 9, représentent les volumes des eaux de forages nécessaires pour la production. Les volumes d'eaux de forage sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 4. 16: Le débit total des eaux de forages des unités industrielles projetées.

Unité industrielle	Eau de forage		Débit horaire (m ³ /h)
	Durée de process (h)	Volume (m ³)	
ARTERE CONGEL (unité projetée)	15	54	3,6
FRED FISHERIES	15	140	9,33
CONSERVERIE DE OUED EDDAHAB	15	65	4,33
DERHEM HOLDING	15	54	3,6
CONSERVERIES PELAGIQUES DE DAKHLA	15	54	3,6
PELAGIQUE PRO	15	81	5,4
Total (Fonctionnement en parallèle)	15	448	29,87

2.1.2. Caractéristiques des eaux de forage

La détermination des caractéristiques des eaux de forage qui seront utilisées par les unités industrielles projetée, est faite selon une étude au laboratoire.

Les caractéristiques des eaux souterraines de la ville Dakhla qui seront utilisées dans le procédés de traitement des poissons sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 4. 17: Les caractéristiques des eaux de forage retenues.

Paramètre	La valeur retenue
Ca ²⁺ (mg/l)	800
Mg ²⁺ (mg/l)	650
Na ⁺ (mg/l)	2 600
K ⁺ (mg/l)	20
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,3
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	550
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	1 080
Cl ⁻ (mg/l)	6 500
NO ₃ ⁻ (mg/l)	100
PO ₄ ⁻ (mg/l)	18,55
CO ₃ ⁻ (mg/l)	9,49
TDS (mg/l)	12 328
pH	8
Conductivité (μS/cm)	20 585

2.1.3. Traitement des eaux de forage par Osmose Inverse

Le dimensionnement de l'unité de traitement par osmose inverse et le choix du module de membrane est effectué par le logiciel IMSDesign qui est le plus utilisé pour le dimensionnement des stations de dessalement et suite à sa précision des calculs. Ce logiciel permet aussi de calculer les frais d'investissement, les frais d'exploitation et les

Pour cette station de dessalement des eaux de forages, on choisit de mettre en place cinq trains identiques dont chacun peut offrir un débit de 5,98 m³/h, donc en total on aura un débit à la sortie de 29,9 m³/h suffisant pour le fonctionnement des unités industrielles. Pour chaque train on va mettre en place trois étages de traitement dont chaque étage est composé d'un nombre de tubes composés des membranes de l'osmose inverse.

Le logiciel IMSDesign permet de calculer la pression osmotique nécessaire pour le traitement et de déterminer les concentrations en sel et en chlore ainsi que la conductivité à la sortie de cette unité de traitement.

❖ Les données nécessaires pour les calculs :

Les caractéristiques des eaux à traiter sont nécessaires pour définir la qualité des eaux à traiter. L'étape première de calcul consiste à l'entrée de ces données :

The screenshot displays the IMSDesign software interface for water quality data entry. At the top, there are input fields for pH (8.00), CO3 (9.490 mg/l), CO2 (6.458 mg/l), and E Conductivité (20585.8 µs/cm). Below these are two main sections: 'Cations' and 'Anions', each with a table of ion concentrations in mg/l and mg/l CaCO3. At the bottom, there is a 'Saturations' section with fields for TDS, osmotic pressure, and various chemical species.

Cations			Anions		
	mg/l	mg/l CaCO3		mg/l	mg/l CaCO3
Ca	800.00	2000.00	HCO3	550.00	450.82
Mg	650.00	2663.94	SO4	1080.00	1125.00
Na	2600.00	5652.17	Cl	6500	9167.84
K	20.00	25.58	F	0.00	0.00
NH4	0.30	0.83	NO3	100.00	80.65
Ba	0.000	0.00	PO4	18.55	29.30
Sr	0.000	0.00	SiO2	0.00	
			B	0.00	
Total, meq/l: 206.85			Total, meq/l: 217.39		

Saturations		
TDS calculé	12328	mg/l
Pression osmotique	8.4	bar
Ca3(PO4)2 SI	2.16	
CCPP	272.63	mg/l
CaSO4	33.4	%
BaSO4	0.0	%
SrSO4	0.0	%
CaF2	0.0	%
silice	0.0	%

Figure 4. 3: Les caractéristiques des eaux de forages à traiter.

Il est nécessaire de définir le procédé de traitement, pour notre cas on a décidé d'utiliser 5 trains de traitement et chaque train va être composé de 3 étages. Le nombre de tubes utilisés pour chaque stage et le nombre des modules de membranes contenus dans chaque tube sont nécessaires pour le calcul des concentrations à la fin du traitement.

L'élément de membrane qui est compatible avec les caractéristiques des eaux à traiter est ESPA-2540 qui permet d'avoir de bonne efficacité de traitement pour un pH des eaux à traiter de 6,5 à 7. D'où la nécessité d'un dosage des eaux avant leur traitement. Le dosage va être effectué en utilisant le HCl, la dose nécessaire et calculée par le logiciel IMSDesign.

Les caractéristiques de l'élément ESPA-2540 sont représentées dans l'Annexe 13.

Les données nécessaires au fonctionnement de l'unité de traitement par osmose inverse sont représentées dans la figure suivante :

Trains		Pass1		Pass1		Système	
pH alimentation		7.00	Produit chimique	HCl		Débit de production total de l'usine	m3/h 29,90
Taux de conversion perméat	%	30.00	Concentration de la solution, %	40		Nombre de trains	5
flux / train perméat,	m3/h	5.98	taux de dosage de produits chimiques	mg/l	117		
Flux moyen	lmh	19.8	Âge membranes	années	5.0		
Débit alimentation,	m3/h	19.93	Perte de flux %, par an	10.0			
Débit rejet	m3/h	13.95	Coefficient de colmatage	0.590			
			% d'augmentation par an du passage en sels	7.0			

Spécifications du système			
Type d'élément	l'étage 1	l'étage 2	l'étage 3
	ESPA-2540	ESPA-2540	ESPA-2540
Éléments / Tube	5	5	5
Nombre de tubes	10	10	5

Etages Pass1 3

Recalc. Config

Figure 4. 4: Les données de fonctionnement de l'unité de dessalement des eaux de forages.

Le schéma d'un train de traitement est représenté dans la figure suivante :

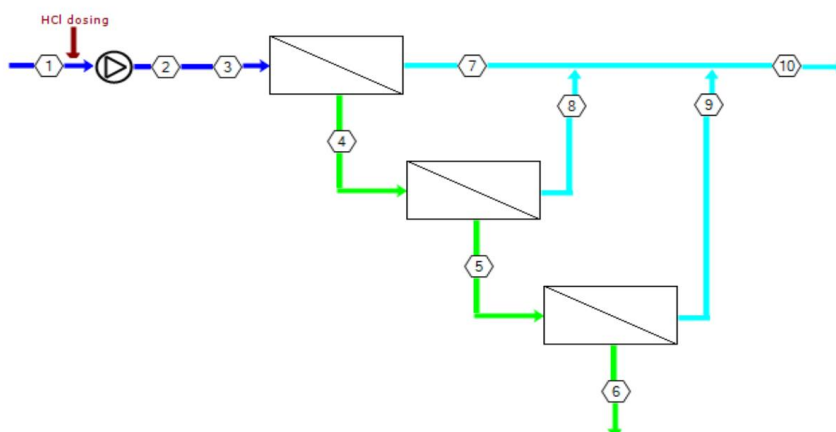


Figure 4. 5: La configuration d'un train de l'unité de dessalement des eaux de forages.

La dose de HCl est égale à 117 mg/l (calculée par le logiciel IMSDesign).

❖ **Les résultats des calculs :**

Les calculs sont faits par le logiciel IMSDesign et permettent de déterminer les concentrations du perméat et du concentrat. Les résultats sont représentés dans la figure suivante :

Résultats de calcul

(Flows are per vessel)

Arrangement	Tubes	Alimentation (bar)	Conc (bar)	Alimentation (m3/h)	Conc (m3/h)	Flux (lmh)	flux le plus élevé (lmh)	bêta le plus élevée
1-1	10	18.6	17.1	1.99	1.68	26.1	31.9	1.04
1-2	10	16.9	15.7	1.68	1.46	18.2	20.7	1.03
1-3	5	15.5	12.6	2.92	2.79	10.4	13.8	1.01

Concentration perméat

Ca	20.855	K	3.071	Sr	0.000	Cl	498.622	P04	0.356	CO2	56.215
Mg	16.944	NH4	0.046	HCO3	66.628	NO3	53.268	SiO2	0.000	CO3	0.009
Na	320.796	Ba	0.000	SO4	20.736	F	0.000	B	0.000	pH	6.2
										TDS	1001.33 mg/l

Saturations et paramètres concentrat

CaSO4, %	52	SrSO4, %	0	Pression osmotique	11.7 bar	pH	7.1
BaSO4, %	0	SiO2, %	0	CCPP	348.43 mg/l	TDS	17150.1 mg/l
Ca3(P04)2 SI	1.30	CaF2, %	0				

Figure 4. 6: Les concentrations de perméat et du concentrat.

On peut aussi estimer les concentrations au niveau de chaque point de notre installation (dans les différents points de chaque train). La figure suivante représente les concentrations pour un seul train :

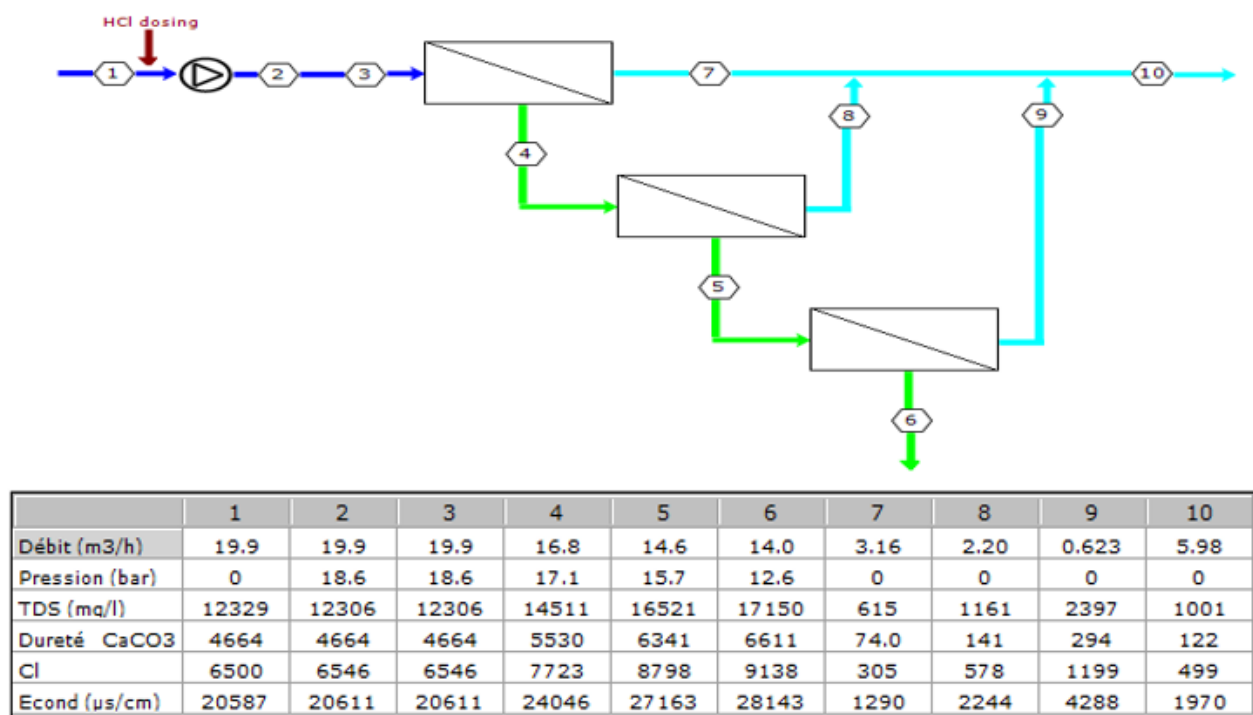


Figure 4. 7: Les concentrations en chaque point pour un train.

La puissance de la pompe utilisée pour pomper les eaux à travers chaque train et l'énergie consommée sont calculées selon la figure suivante :

Pass1		
Pression pompe / boost	bar	18.6
Débit production	m3/h	6.0
Débit de la pompe	m3/h	19.9
Rendement de la pompe	%	80.0
Rendement du moteur	%	85.0
Rendement variateur de fréquence	%	90.0
Puissance / Etage / Pass	kw	16.8
	BHP	22.6
Puissance totale de pompage	kw	16.8
Energie spécifique de pompage	kwh/m3	2.81

Figure 4. 8: La puissance de la pompe et l'énergie nécessaire.

❖ **Discussion des résultats :**

Le débit d'alimentation pour chaque train égale à 19,93 m³/h et pour un taux de conversion fixé égale à Y=30% on peut avoir un débit de perméat à la sortie égale à 5,98 m³/h.

Le traitement des eaux de forage par l'osmose inverse permet d'assurer une concentration en Chlore de perméat égale à 499 mg/l et une conductivité égale à 1 970 µS/cm. Donc les effluents des usines vont avoir des concentrations en sel et en chlorure ainsi qu'une conductivité qui n'affecteront pas le traitement biologique.

Le procédé de dessalement des eaux de forages avant leur utilisation dans le process de production va permettre de :

- ✓ Améliorer la qualité des eaux de forages utilisées pour le traitement de poisson en assistant à une élimination des micro-organismes qui peuvent être contenus par ces eaux.
- ✓ Eviter les problèmes de salinité importante au niveau des rejets liquides.
- ✓ Assister à la dilution des eaux de mer existant dans les filières de triage de poisson et préparation de la matière première.

3. Evacuation des eaux usées

3.1. Description du procédé

Les eaux usées de six unités industrielles projetées vont subir un traitement par dégrillage et tamisage grossiers dans chaque unité industrielle afin d'éviter la formation des dépôts au niveau du collecteur principal qui permet la collecte de l'ensemble des eaux usées issues de la totalité des usines projetées.

Suite au terrain accidenté qui ne permet pas d'assurer un écoulement gravitaire des eaux usées vers la STEP, une station de pompage (SP) est nécessaire afin de vaincre la différence d'altitude entre la STEP et le collecteur principale (CP).

La STEP va assurer l'épuration des eaux usées des unités industrielles en utilisant des opérations de traitement convenables à ce type de rejets.

Les eaux épurées sont évacuées vers l'océan après avoir vérifié les valeurs limites des rejets industriels des conserveries de poisson selon les normes de l'Espagne.

L'annexe 15 représente les emplacements prévus pour la station d'épuration des eaux usées, le collecteur principale, la station de pompage, la conduite de refoulement vers la STEP et la conduite d'évacuation vers l'océan.

3.2. Caractéristiques du procédé

Selon l'annexe 15, on détermine la longueur de la conduite de refoulement vers la STEP et la longueur de la conduite d'évacuation vers l'océan.

Tableau 4. 18: Les longueurs des différents tronçons.

Désignation	Désignation de points	Longueur (m)
Longueur de la conduite de refoulement (SP vers STEP)	SP--A	359,2
	A--E	718,34
Entrée/Sortie de la STEP	E--S	202,03
Longueur de la conduite d'évacuation vers l'océan (STEP vers Océan)	S--B	897,925
	B--C	1 481,57
	C--D	840,935

Tableau 4. 19: Les longueurs des différentes conduites.

Longuer de la conduite(SP vers océan) (Km)	4,5
Longuer de la conduite(SP vers STEP) (Km)	1,08
Longuer de la conduite(S vers océan) (Km)	3,22

4. Prédimensionnement de la station de pompage

En amont de la station de pompage, un dégrilleur d'espacement 3 cm sera installé afin de protéger les équipements hydromécaniques en aval.

On choisit de mettre en place des pompes submersibles dans une bache. Ce type de station de pompage permet une simplification au niveau de la conception de génie civil, l'élimination des pertes de charge liées à l'aspiration, la réduction du bruit et rendre souple le levage de l'eau.

Le choix des pompes qui vont assurer l'opération de pompage des eaux usées dépend des pertes de charges au niveau du système de pompage, et ces dernières dépendent du diamètre de la conduite de refoulement. D'où la nécessité de choisir un diamètre économique pour la conduite de refoulement vers la STEP.

4.1. Choix du diamètre économique

4.1.1. Calcul du diamètre et caractéristiques des diamètres nominaux

La station de pompage va être dimensionnée selon le débit de pointe qui est égale à :

$$Q_p = 165,2 \text{ m}^3/\text{h}$$

Le calcul du diamètre va être fait selon l'équation : $D_{\text{calculé}} = \sqrt{\frac{4 \times Q_p}{\pi \times v}}$ (4.1)

Avec : $D_{\text{calculé}}$: diamètre calculé de la conduite de refoulement en (m).

Q_p : Débit de pointe en (m³/s).

v : La vitesse d'écoulement (m/s).

Pour une première approche du diamètre, on fixe la vitesse à : $v = 1 \text{ m/s}$

$$D' \text{ où : } D_{\text{calculé}} = \sqrt{\frac{4 \times 165,2 / 3600}{\pi \times 1}} = 241,71 \text{ mm}$$

Le choix du diamètre économique va être effectué selon une étude économique des différents diamètres nominaux proches au diamètre calculé, puis on choisit le diamètre qui représente le moins de dépenses.

Les caractéristiques des diamètres nominaux choisis sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 4. 20: Caractéristiques des diamètres nominaux.

Diamètre Nominal DN (mm)	200	225	250	315	400
Diamètre intérieur (mm)	182	205	228	288	365
Prix unitaire (DH/m)	500	710	775	960	1280
Longueur de la conduite de refoulement (SP vers STEP) (m)	1 077,54	1 077,54	1 077,54	1 077,54	1 077,54

Les prix unitaires sont donnés par le Manuel de conception et de dimensionnement des ouvrages d'assainissement liquide de l'ONEE-BO, et le diamètre intérieur est près selon les caractéristiques des conduites d'assainissement en PVC à PAROIS STRUCTURÉES GRESINTEX PI-CO [18].

4.1.2. Vérification de la vitesse d'écoulement

La vitesse de l'écoulement doit être dans la tranche suivante :

$$0,5 \text{ m/s} < v < 2 \text{ m/s}$$

$v < 0,5 \text{ m/s}$: risque de formation de dépôt et acheminement de l'air difficile vers les points hauts.

$v > 2 \text{ m/s}$: risque de dégradation de la conduite et augmentation du coup de bélier.

Le calcul de la vitesse va être effectué par la formule :

$$v = \frac{4 \times Q_p}{\pi \times D_{\text{intérieur}}^2} \quad (4.2)$$

Avec : v : La vitesse d'écoulement (m/s).

$D_{\text{intérieur}}$: diamètre intérieur de la conduite de refoulement en (m).

Q_p : Débit de pointe en (m³/s).

4.1.3. Calcul du prix d'investissement

Le prix d'investissement va être calculé selon la méthode suivante :

$$\begin{aligned} \text{Prix d'investissement (DH)} & \quad (4.3) \\ &= \text{Prix unitaire (DH/m)} \times \text{La longueur de la conduite de refoulement (m)} \end{aligned}$$

4.1.4. Calcul du coût d'amortissement

Les frais d'amortissement vont être calculés par la formule :

$$\text{Frais d'amortissement (DH)} = \text{Prix d'investissement (DH)} \times \text{Annuité} \quad (4.4)$$

$$\text{Avec : Annuité} = \frac{a}{1 - (1+a)^{-n}} \quad (4.5)$$

a : Taux d'actualisation et n : nombre d'année de fonctionnement.

4.1.5. Calcul des frais d'énergie ou de fonctionnement

4.1.5.1. Calcul de la hauteur manométrique totale Hmt

On calcule d'abord la hauteur manométrique totale (Hmt) pour chaque diamètre nominal selon la relation suivante :

$$H_{mt} \text{ (m)} = H_g + \Delta H \quad (4.6)$$

Avec : H_g : La hauteur géométrique (m).

ΔH : Les pertes de charge totales (m).

4.1.5.1.1. La hauteur géométriques H_g

La hauteur géométrique est fixée à 4m.

4.1.5.1.2. Les pertes de charge totale ΔH

$$\Delta H = H_L + H_s \quad (4.7)$$

Avec : H_L : Les pertes de charge linéaires dues au frottement (m).

H_s : Les pertes de charge singulières (m).

❖ Les pertes de charge linéaires sont calculées par la formule suivante :

$$H_L(m) = j(m/m) \times L(m) \quad (4.8)$$

Avec : j : Pertes de charge unitaire (m/m).

L : La longueur de la conduite de refoulement (SP vers STEP)

Les pertes de charge unitaire j sont calculées par la formule de Darcy :

$$j = \frac{\lambda \times v^2}{2 \times g \times D} \quad (4.9)$$

Et selon la formule de Colebrook-White on a :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{K}{3,71 \times D} + \frac{2,51}{Re \times \sqrt{\lambda}} \right) \text{ avec } Re = \frac{v \times D}{\nu} \quad (4.10)$$

Avec : j : La perte de charge unitaire (m/m).

λ : Coefficient de perte de charge (sans unité).

D : Diamètre intérieur de la conduite (m).

v : vitesse d'écoulement (m/s).

g : Accélération de pesanteur (9,81 m/s²).

K : Rugosité (m), elle est choisie égale à 0,5mm [12].

Re : Nombre de Reynolds (sans unité).

ν : Viscosité cinématique (m²/s)= 1,31 × 10⁻⁶ m²/s.

❖ Les pertes de charge singulières sont estimées à 10% des pertes de charges linéaires :

$$H_s = 10\% \times H_L \quad (4.11)$$

4.1.5.2. Calcul de la puissance moteur

La puissance moteur est calculée par la formule suivante :

$$P = \frac{\rho \times g \times Q_p \times H_{mt}}{\eta} \quad (4.12)$$

Avec : P : Puissance moteur (w).

ρ : masse volumique de l'eau (Kg/m³).

H_{mt} : Hauteur manométrique totale (m).

Q_p : Débit de pointe en (m³/s).

g : Accélération de pesanteur (9,81 m/s²).

η : Le rendement de la pompe (%).

4.1.5.3. Calcul de l'énergie nécessaire

On utilise la formule suivante :

$$\text{Energie (Kw.h/an)} = P \times \text{Nombre d'heures de pompage(h)} \times 365 \quad (4.13)$$

Avec : P : Puissance moteur (Kw).

4.1.5.4. Calcul des frais d'énergie

On calcule les frais d'énergie annuels par la formule suivante :

$$\text{Frais d'énergie annuels}(DH/an) = \text{Energie}(Kw.h/an) \times \text{Prix unitaire}(DH/Kw.h) \quad (4.14)$$

$\text{Prix unitaire} = 1 DH/Kw.h$ Selon le manuel de conception et de dimensionnement des ouvrages d'assainissement liquide de l'ONEE-BO.

D'où les frais d'énergie actualisés vont être calculés par la formule :

$$\text{Frais d'énergie actualisés}(DH) = \text{Frais d'énergie annuels}(DH) \times \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+a)^t} \quad (4.15)$$

Avec : a : Taux d'actualisation et n : nombre d'année de fonctionnement.

4.1.6. Calcul des frais d'entretien

Les frais d'entretien de la conduite de refoulement sont estimés à 0,5% du prix de l'investissement de la conduite [12].

$$\text{Frais d'entretien} = 0,5\% \text{ Frais d'investissement} \quad (4.16)$$

$$\text{Frais d'entretien actualisés} = \text{Frais d'entretien} \times \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+a)^t} \quad (4.17)$$

Avec : a : Taux d'actualisation et n : nombre d'année de fonctionnement.

4.1.7. Calcul des frais totaux

$$\begin{aligned} \text{Frais totaux} = & \text{Frais d'investissement} + \text{Frais d'amortissement} + \\ & \text{Frais d'énergie actualisés} + \text{Frais d'entretien actualisés} \end{aligned} \quad (4.18)$$

4.1.8. Données nécessaires pour le calcul

La station de pompage va assurer le pompage des eaux usées pendant une durée de 40 ans qui correspond à la durée de vie du projet, et elle va fonctionner pendant 15 heures chaque jour qui correspond à la durée maximale de fonctionnement des unités industrielles et on choisit une hauteur géométrique maximale de 4 m qui correspond à la différence de niveau de l'eau entre le point d'aspiration des pompes de la station de pompage et la hauteur d'eau à l'entrée de la station d'épuration. Pour les pompes on fixe un rendement moteur maximal de 50% qui correspond au rendement maximal des pompes à roue VORTEX.

La conduite de refoulement va être en PVC qui est le plus utilisé dans le cas des eaux usées domestiques et industrielles, suite à son coût faible et sa résistance à l'H₂S et aux agents chimiques contenus par les eaux usées [12].

On choisit un taux d'actualisation de 10% [12].

Le prix unitaire d'énergie est fixé à 1 DH/Kw.h [12].

Le tableau suivant résume les données nécessaires pour le calcul du diamètre économique :

Tableau 4. 21: Les données nécessaires pour le calcul du diamètre économique.

Nombre d'années de fonctionnement n (ans)	40
Taux d'actualisation a(%)	10
Annuité	0,102
Débit (m ³ /s)	0,05
Hauteur géométrique Hg(m)	4
Prix unitaire de l'énergie DH/Kw.h	1
Rendement moteur η (%)	50
Nombre d'heures de pompage (h/j)	15

4.1.9. Résultats du calcul du diamètre économique

Tableau 4. 22: Les résultats du calcul du diamètre économique.

Caractéristiques des diamètres nominaux choisis					
Diamètre DN(mm)	200	225	250	315	400
Diamètre intérieur (mm)	182	205	228	288	365
Prix unitaire (DH/m)	500	710	775	960	1280
Longueur de la conduite(m)	1077,54	1077,54	1077,54	1077,54	1077,54
Frais d'investissement (Conduite)					
Prix d'investissement (DH)	538770,00	765053,40	835093,50	1034438,40	1379251,20
Frais d'Amortissement					
Amortissement (DH)	54954,54	78035,45	85179,54	105512,72	140683,62
Calcul des pertes de charge					
Vitesse (m/s)	1,76	1,39	1,12	0,70	0,44
λ	0,026	0,025	0,025	0,024	0,023
Perte de charge unitaire j(m/m)	0,023	0,012	0,007	0,002	0,001
Perte de charge linéaire H_L (m)	24,417	12,941	7,607	2,274	0,668
Perte de charge singulière H_s (m)	2,442	1,294	0,761	0,227	0,067
Perte de charge totale ΔH (m)	26,86	14,24	8,37	2,50	0,73
Hmt=Hg+pdc totale (m)	30,86	18,24	12,37	6,50	4,73
Puissance (Kw)	27,85	16,46	11,16	5,87	4,27
Energie (Kw.h/an)	152484,23	90107,55	61117,43	32121,83	23394,68
Frais de fonctionnement					
Frais d'énergie annuels (DH)	152484,23	90107,55	61117,43	32121,83	23394,68
Frais d'énergie totaux actualisés (DH)	1491150,97	881166,3	597670,4	314120,96	228777,71
Frais d'entretien					
Conduite (0.5% Investissement)(DH)	269,39	382,53	417,55	517,22	689,63
Frais d'entretien actualisés(DH)	2641,08	3750,29	4093,63	5070,78	6761,08
Coût total					
Coût total	2087516,59	1728005,44	1522037,07	1459142,86	1755473,61

La figure suivante représente la courbe de la variation du coût total en fonction du diamètre nominal :

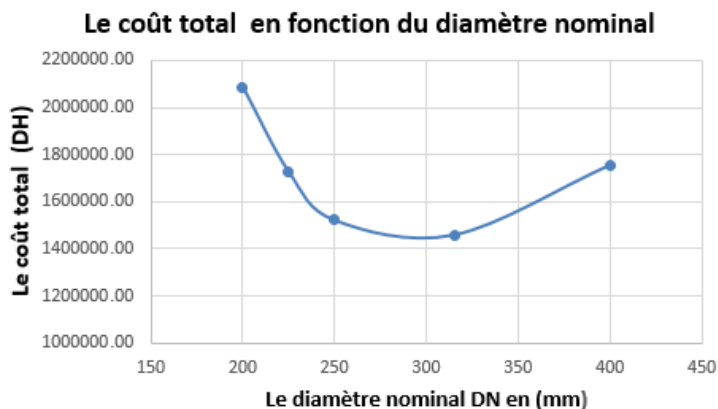


Figure 4. 9: La courbe de la variation du coût total en fonction du diamètre nominal.

➤ Selon les résultats de l'étude économique du diamètre nominal, le diamètre économique choisi est le DN 315 avec un diamètre intérieur de 288 mm.

4.2. Choix des pompes

Le choix des pompes qui vont assurer le pompage des eaux usées et leur refoulement vers la station d'épuration va être assuré par des pompes submersibles.

On choisit entre les différents types des pompes, des pompes à roue VORTEX de la société Flygt caractérisées par leur fonctionnement souple, la diminution des risques de colmatage, la diminution des risques d'usure et des vibrations au niveau de la station de pompage et elles sont les plus efficaces pour ce type de rejets [19].

On choisit de mettre en place deux pompes submersibles placées en parallèle avec une autre pompe pour le secours.

Le choix de la marque des pompes va être fait selon l'application en ligne Xylect.com.

4.2.1. Données nécessaires pour le choix des pompes

Les données nécessaires pour le choix des pompes sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 4. 23: Les données nécessaires au choix des pompes.

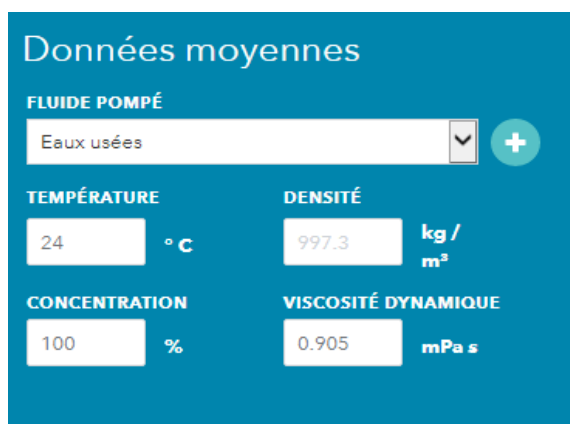
Débit de pointe $Q_p(m^3/h)$	165,2
Diamètre nominal de la conduite de refoulement DN315 (mm)	315
Diamètre intérieur (mm)	288
Hauteur géométrique $H_g(m)$	4
Hauteur manométrique totale $H_{mt}(m)$	6,5

4.2.2. Choix de la marque des pompes Flygt VORTEX par Xylect

Pour le choix de la marque de la pompe on suit les étapes suivantes :

Etape 1 : Définition des données moyennes correspondantes au type des eaux à pomper, leur concentration et leur température :

Pour notre cas les eaux usées auront une température de 24°C et de concentration de 100%.



Données moyennes

FLUIDE POMPÉ
Eaux usées

TEMPÉRATURE
24 °C

DENSITÉ
997.3 kg / m³

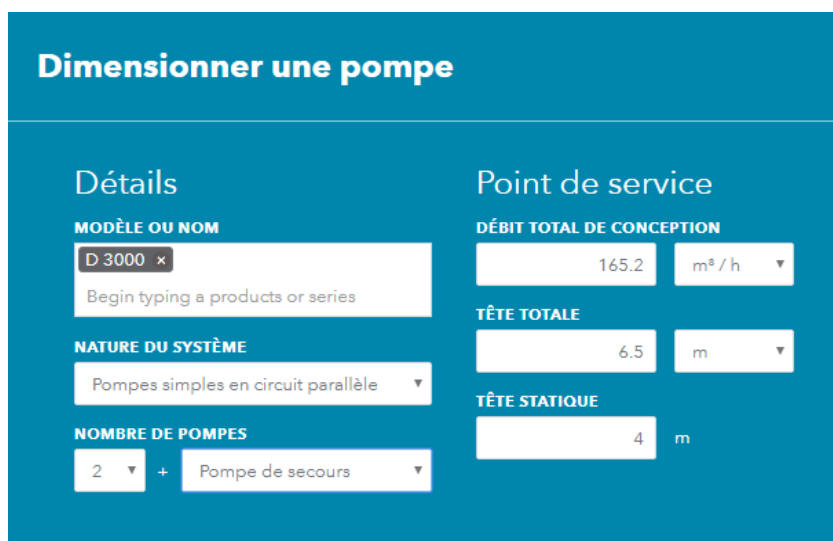
CONCENTRATION
100 %

VISCOSITÉ DYNAMIQUE
0.905 mPa.s

Figure 4. 10: Définition des données moyennes.

Etape 2 : Entrée des données pour le dimensionnement de la pompe :

Cette étape consiste à la saisie des données relatives à la station de pompage, on donne la valeur du débit pompé ($Q_p=165,2 \text{ m}^3/\text{h}$), le modèle de la pompe (pour notre cas la pompe Flygt VORTEX correspond à D 3000), la valeur de la hauteur manométrique totale ($H_{mt}= 6,5 \text{ m}$), la valeur de la hauteur géométrique ($H_g= 4 \text{ m}$) et la nature de système avec le nombre de pompes utilisées (pour notre cas on choisit de mettre en place deux pompes en parallèles avec une pompe de secours).



Dimensionner une pompe

Détails

MODÈLE OU NOM
D 3000
Begin typing a products or series

NATURE DU SYSTÈME
Pompes simples en circuit parallèle

NOMBRE DE POMPES
2 + Pompe de secours

Point de service

DÉBIT TOTAL DE CONCEPTION
165.2 m³ / h

TÊTE TOTALE
6.5 m

TÊTE STATIQUE
4 m

Figure 4. 11: Les données nécessaires au choix de la pompe.

Etape 3 : Détermination des marques de pompes adaptées :

Pour notre cas on a trois marques adaptées aux données de notre station de pompage.

PRODUIT		DIFF. [%]	Q [m³ / h]	SPÉC. ÉNERGIE [kWh / m³]	η [%]
	D 3127 HT 3 ~ 2p 2 à palette	0.0			
	D 3127 MT 3 ~ 4p 6 à palette	-2,7	160,8	0,0522	40,4
	D 3127 HT 3 ~ 2p 6 à palette	3.7	171,3	0,0751	27,6

PRODUIT		N [rpm]	PUISSANCE NOMI... [kW]	DIAMÈTRE DE SORTIE [mm]	NOM...	NPSH [m]
	D 3127 HT 3 ~ 2p 2 à palette	2910	7,4	80,0	2	
	D 3127 MT 3 ~ 4p 6 à palette	1450	4,7	100,0	6	3,50
	D 3127 HT 3 ~ 2p 6 à palette	2910	7,4	80,0	6	6,17

Figure 4. 12: Les résultats des pompes.

Etape 4 : Choix de la pompe :

Le choix de la pompe convenable à notre projet va être effectué selon une comparaison entre les trois marques de pompes choisies par Xylect.

La première pompe (D 3127 HT-2p à 2 palettes), selon le tableau son point de fonctionnement pour le fonctionnement d'une seule pompe n'est pas compatible avec la moitié du débit pompé, donc on peut avoir plus de risque de non fonctionnement si une des pompes ne fonctionne pas.

La deuxième pompe (D 3127 MT-4p 6 à palettes), a une différence de débit pour son point de fonctionnement de -2,7% donc il va y avoir des difficultés pour le pompage des eaux usées pendant les heures de pointe.

La troisième pompe (D 3127 HT-2p 6 à palettes), avec une différence de débit de 3,7% donc on peut pomper des débits supérieurs aux débit de pointe ce qui est plus sécuritaire pour le fonctionnement de notre station de pompage.

Donc la marque choisie est la pompe **D 3127 HT-2p à 6 palettes**. Les caractéristiques de cette marque de pompe sont représentées dans l'annexe 12.

Etape 5 : Vérification du NPSH :

Le phénomène de cavitation augmente l'usure des palettes de la roue et diminue l'efficacité de pompage et la durée de vie des pompes.

Le NPSH requis de cette marque de la pompe est de : $NPSH_{requis} = 6,17m$

On calcule le NPSH disponible et on le compare avec le NPSH requis.

Le calcul du NPSH disponible est effectué selon la formule suivante :

$$NPSH_{disponible} = \frac{Pression\ atmosphérique - Pression\ de\ vapeur\ saturante}{\rho \times g} - (Hauteur\ d'aspération + pertes\ de\ charge\ totales) \quad (4.19)$$

Les données relatives à ce calcul sont représentées dans le tableau suivant:

Tableau 4. 24: Les données relatives au calcul du NPSH disponible.

NPSH requis (m)	6,17
Hauteur d'aspiration (pompes submersibles) (m)	0
Pression atmosphérique (Pa)	101 325
Température (T°C)	24
Pression de vapeur saturante (Pa)	2 982
Perte de charge totale $\Delta H(m)$	2,50
ρ (Kg/m ³)	1 000

Le calcul du NPSH disponible :

$$NPSH_{disponible} = \frac{101325 - 2982}{1000 \times 9,81} - (0 + 2,5) = 7,52 m$$

On a : NPSH disponible > NPSH requis donc pas de risque de cavitation.

4.2.3. Calcul du prix des pompes utilisées

Le prix des pompes Flygt est donné par le document de tarification de Xylem (qui est une entreprise américaine de gestion de l'eau). Les prix des pompes D 3127 sont représentés dans la figure suivante :

D 3127.181	N° de roue	Installation type	Sortie de volute	Moteur		DP	
				kW	tr/min	Référence	Prix
HT	275	DP	80	7,4	2900	31271812462	6 954,53 €
	276					31271814302	6 954,53 €
	277					31271811087	6 954,53 €

Figure 4. 13: Les prix des pompes Flygt D 3127.181, [20].

Les pompes HT 3127 DP ont toutes le même prix, donc on considère le même prix pour notre marque de pompe.

Le calcul du prix est résumé dans le tableau suivant :

Tableau 4. 25: Le coût total des pompes choisies.

Prix unitaire d'une pompe (DH)	69 545,3
Nombre de pompe	3
Coût total des pompes (DH)	208 636

4.3. Calcul du volume de la bache

On calcule du volume utile de la bache selon la formule suivante :

$$V_u = \frac{0,9 \times Q_p}{(N - 1) \times Z} \quad (4.20)$$

Avec : V_u : Volume utile de la bache (m^3).

Q_p : Débit de pointe (m^3/h).

N : Nombre de pompes (dont une pompe de secours) de la station de pompage.

Z : Nombre de démarrage par heure autorisé par moteur.

Le nombre de démarrage autorisé par heure est donné par le fournisseur, pour notre cas pour cette marque de pompe on choisit un nombre de démarrage maximale de 30 démarrages par heure [21].

Les données nécessaires pour ce calcul sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 4. 26: Les données nécessaires pour le calcul du volume de la bache.

Débit de pointe $Q_p(m^3/h)$	165,2
Z Nombre de démarrage par heure par moteur	30
N Nombre de pompes	3

Le volume utile de la bache est :

$$V_u = \frac{0,9 \times 165,2}{(3 - 1) \times 30}$$

$$V_u = 2,48 m^3 \text{ Soit un volume de } 2,5 m^3$$

On choisit une bache de forme rectangulaire avec :

$$\text{Une profondeur } h = 2 m$$

$$\text{La surface } S = \frac{2,5}{2} = 1,25 m^2$$

$$\text{Donc soit une Longueur de } 1,25 m \text{ et une largeur de } 1 m$$

La surface de la base de la bâche doit être suffisante pour installer les trois pompes. Chaque pompe va occuper une surface de 0,279 m² (selon l'annexe 12), qui en totale pour les trois pompes 0,837 m², donc la surface de la base de la bâche va être suffisante pour la pose de ces pompes.

4.4. Calage de la conduite de refoulement (SP vers STEP)

On aura besoin de déterminer les côtes du terrain naturel pour chaque point de la conduite de refoulement. Suite à l'absence d'une étude sur les côtes des points particuliers de la conduite de refoulement (Les côtes des points hauts et des points bas de la conduite) on va étudier juste les grands points de la conduite de refoulement (Les points CP, SP, A, E représentés dans l'annexe 15). Les côtes du terrain naturel de ces points ont été déterminées par Google Earth.

Les côtes du terrain naturel de ces points sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 4. 27: Les côtes du terrain naturel des points CP, SP, A, E.

Emplacement	La côte de terrain naturel CTN(m)
Collecteur principal des usines (Point CP)	9
Station de pompage (Point SP)	8
Point A	8
Point d'entrée de la STEP (Point E)	9

On calcule les paramètres essentiels pour le calage :

$$La\ pente\ TN = \frac{z\ aval - z\ amont}{Longueur\ du\ tronçon\ (aval_amont)} \quad (4.21)$$

$$Côte\ projet = CTN - 1,2\ m \quad (La\ profondeur\ de\ pose\ de\ la\ conduite\ est\ 1,2m) \quad (4.22)$$

$$Côte\ Radier = Côte\ projet - DN\ de\ la\ conduite + épaisseur\ de\ la\ conduite \quad (4.23)$$

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 4. 28: Calage de la conduite de refoulement (SP vers STEP).

Désignation des tronçons	CTN(m)		Pente TN (%)	Longueur (m)	Côte projet (m)		DN(mm) choisi	Diamètre intérieur (mm)	Côte Radier(m)	
	Amont	Aval			Amont	Aval			Amont	Aval
CP--SP	9	8	9	112,24	7,8	6,8	315	288	7,5	6,5
SP--A	8	8	0	359,2	6,8	6,8	315	288	6,5	6,5
A--E	8	9	-1,4	718,34	6,8	7,8	315	288	6,5	7,5

5. Détermination de l'équivalent habitant de l'ensemble des unités industrielles projetées

L'équivalent-habitant (EH) est une unité conventionnelle de mesure de la pollution moyenne rejetée par habitant et par jour. La charge polluante rejetée par les ménages, les industries, les artisans est exprimée en EH, autrement dit une industrie de 100 EH pollue autant que 100 personnes [17].

Au Maroc et selon les données de l'ONEE-BO, les correspondances utilisées sont exprimées dans le tableau suivant :

Tableau 4. 29: Les valeurs de l'équivalent habitant.

1 Equivalent habitant EH=	1 EH MES (gMES/j)	32
	1 EH DBO₅ (gO₂/j)	30
	1 EH DCO (gO₂/j)	65
	1 EH NTK (gN/j)	32
	1 EH Pt (gP/j)	0,9

Les résultats de l'équivalent habitant de six unités industrielles projetées sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 4. 30: L'équivalent habitant des unités industrielles projetées.

Equivalent habitant EH des unités industrielles	MES	66 087
	EH DBO₅	182 758
	EH DCO	130 140
	EH NTK	63 639
	EH Pt	46 122

6. Procédés d'épuration adoptés

Premièrement, les eaux usées vont passer par une filière de prétraitement qui est constituée d'un dégrillage, tamisage suivi d'un dessablage-dégraissage afin d'éliminer une partie de la DBO, une partie de la DCO, une partie des MES et une portion des H&G.

Après le prétraitement, un bassin d'égalisation et d'homogénéisation est nécessaire afin d'assurer un débit constant pour alimenter les filières en aval.

Les eaux usées sont caractérisées par leur forte concentration en MES, en phosphore et en huiles et graisses, d'où la nécessité de mettre en place un traitement primaire assurant l'élimination du phosphore et des MES par coagulation-floculation et la flottation à air dissous qui va assurer l'élimination des huiles et des graisses. Un traitement biologique est nécessaire afin d'éliminer la DBO, la DCO, les MES et le NTK.

Les boues produites à partir du traitement primaire et secondaire vont être traitées par épauississement gravitaire suivi d'une déshydratation par centrifugation puis à la fin elles vont subir une stabilisation chimique.

L'épuration va être assurée selon la figure suivante :

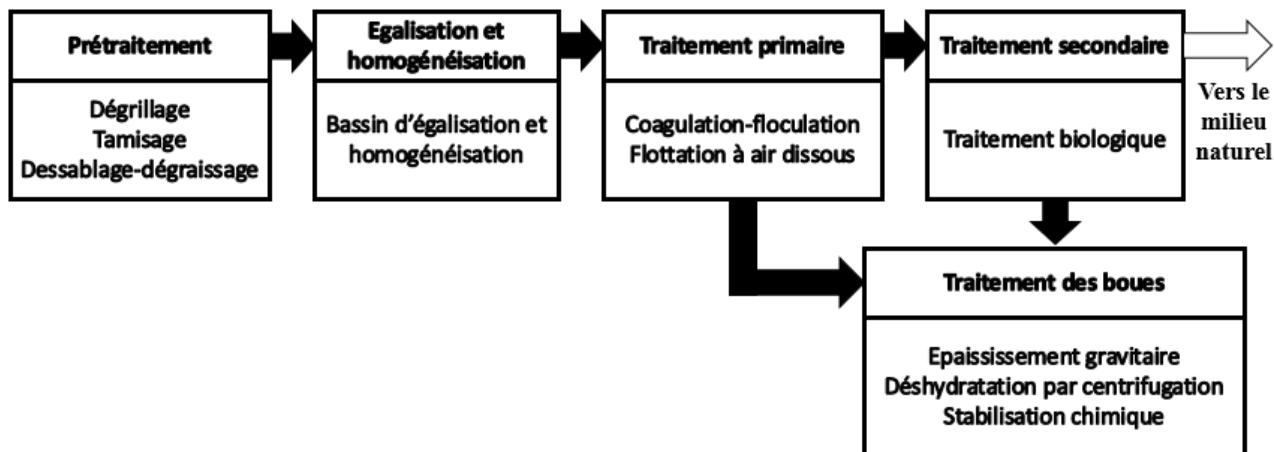


Figure 4. 14: Les procédés d'épuration adoptés.

7. Prétraitement

Les eaux usées entrant à la STEP vont subir un prétraitement pour l'élimination des matières grossières, des sables et la réduction de leur teneur en graisses. Cette filière d'épuration va être assurée par un dégrillage moyen suivi d'un tamis rotatif fin qui va permettre de pousser le taux de rétention des matières de taille importante, et à la fin les eaux vont subir un dessablage et dégraissage au niveau d'un dessableur-dégraisseur.

Ces opérations de prétraitement peuvent être assurées par des système combinés en INOX 316 L (L : Low Carbon qui signifie acier inoxydable avec un pourcentage en Carbone faible de l'ordre de 1%) contenant un dégrilleur avec un dessableur-dégraisseur qui sont choisis selon leur capacité de débit traité.

La figure suivante représente un système de dégrilleur-dessableur-dégraisseur combiné de la société HUBER utilisé dans la nouvelle STEP de la ville BOUZNKA.



Figure 4. 15: Unité de prétraitement des eaux usées de la nouvelle STEP de la ville Bouznika.

- Pour notre cas on va dimensionner les ouvrages de prétraitement.

7.1. Dégrillage

Le dégrillage va être assuré par une grille droite moyenne à raclage automatique (les grilles droites sont appliquées pour les fils d'eau en dessous du niveau de sol et quel que soit la capacité de la STEP), d'où l'espacement entre les barreaux a été choisi de 2 cm [12] .

La grille qui va être utilisée sera en INOX 316 L.

Le dimensionnement de dégrilleur va être effectué comme suivant :

- La surface de la grille :

$$S = \frac{Q_p}{V_{deg} \times o \times c} \quad (4.24)$$

Avec : S : La surface de la grille (m^2).

Q_p : Le débit de pointe en (m^3/s).

V_{deg} : La vitesse de passage de l'eau à travers le grille (m/s).

o : Le ratio entre l'espace libre de la grille et la largeur de la grille (sans unité).

c : Le coefficient de colmatage de la grille (sans unité).

- Le ratio entre l'espace libre de la grille et la largeur de la grille est calculé par :

$$o = \frac{e}{e' + e} \quad (4.25)$$

Avec : e : L'espacement entre deux barreaux (cm).

e' : L'épaisseur des barreaux (cm).

- La largeur de la grille :

$$l = \frac{S}{t} \quad (4.26)$$

Avec : l : La largeur de la grille (m).

S : La surface de la grille (m^2).

t : tirant d'eau en amont du canal de dégrilleur (m).

- Nombre de barreaux verticaux :

$$\text{Nombre de barreaux verticaux} = \frac{l - e}{e + e'} \quad (4.27)$$

Avec : l : La largeur de la grille (m).

e : L'espacement entre deux barreaux (m).

e' : L'épaisseur des barreaux (m).

Les données nécessaires pour le dimensionnement :

Le choix d'une grille moyenne droite à raclage mécanique nous a amené à poser l'espacement des barreaux de $e = 2$ cm, l'épaisseur des barreaux a été choisi de $e' = 1$ cm.

Le calcul de l'équivalent habitant de l'ensemble des unités industrielles nous a amené à avoir un équivalent habitant pour la DBO₅ de 377 004 EH d'où le tirant d'eau en amont du canal dégrilleur est fixé à $t = 0,6$ m [12].

Le coefficient de colmatage est choisi pour les grilles à raclage mécanique de 0,5 [13].

La vitesse de l'eau à travers la grille est fixée à 0,6 m/s [12].

Le tableau suivant résume l'ensemble des données nécessaires pour le calcul :

Tableau 4. 31: Les données nécessaires pour le dimensionnement de la grille.

Débit de pointe Qp(m³/h)	165,2
Vitesse d'eau à travers le dégrilleur (m/s)	0,6
Coefficient de colmatage c	0,5
Espacement des barreaux e(cm)	2
Epaisseur des barreaux e'(cm)	1
$\alpha = e/(e+e')$	0,667
Tirant d'eau en amont du canal du dégrillage t(m)	0,6

Les résultats de calcul de la surface de la grille :

- La surface de la grille :

$$S = \frac{165,2/3600}{0,6 \times 0,667 \times 0,5} = 0,23 \text{ m}^2$$

- La largeur de la grille :

$$l = \frac{0,23}{0,6} = 0,4 \text{ m}$$

- Le nombre de barreaux verticaux :

$$\text{Nombre de barreaux verticaux} = \frac{0,4 - 2/100}{2/100 + 1/100} = 13 \text{ barreaux}$$

Calcul des pertes de charge dans le dégrilleur :

Selon la formule de Kvischmer on a :

$$\Delta H = \beta \times \left(\frac{e'}{e}\right)^{\frac{4}{3}} \times \frac{V_{deg}^2}{2g} \quad (4.28)$$

Avec : ΔH : Les pertes de charge dans le dégrilleur (m).

e : L'espacement entre deux barreaux (cm).

e' : L'épaisseur des barreaux (cm).

V_{deg} : La vitesse de passage de l'eau à travers la grille (m/s).

g : Accélération de pesanteur (9,81 m/s²).

β : Un coefficient qui est égale à 1,79 pour les barreaux circulaires, et 2,42 pour les barreaux rectangulaires.

Pour notre cas on choisit des barreaux de section circulaire car ils représentent une facilité pendant le nettoyage donc on aura $\beta = 1,79$.

La perte de charge admissible est de l'ordre de 15 cm, d'où il est nécessaire de vérifier que les pertes de charge sont inférieures à 15 cm.

La valeur des pertes de charge est :

$$\Delta H = 1,79 \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{4}{3}} \times \frac{0,6^2}{2 \times 9,81} = 0,013 \text{ m} = 1,3 \text{ cm} < 15 \text{ cm}$$

La condition de pertes de charge est vérifiée, donc on peut utiliser cette grille.

7.2. Tamisage

Le tamisage va être effectué par un tamis rotatif à alimentation externe qui sont les plus utilisés et selon leur facilité d'exploitation et d'entretien.

L'eau usée arrive en surface de l'appareil et traverse le tamis rotatif sur le quart supérieur du tambour. Les déchets vont être accumulés en surface et récupérés à l'aide d'une lame raclante. L'eau tamisée est évacuée gravitairement après passage au travers du tamis dans sa partie inférieure, assurant ainsi le nettoyage du tamis en raison de la circulation inversée par rapport à l'eau brute. Un système de nettoyage automatique (rampe orientée verticalement) fonctionnant sur des cycles de lavage bien précis est installé au centre du tambour. Les déchets raclés sont récupérés soit directement dans un bac soit évacués à l'aide d'une vis de convoyage assurant à son extrémité le compactage du produit avant son stockage (avec ou sans ensachage automatique) [38]. Le fonctionnement de ce tamis est représenté dans la figure suivante :

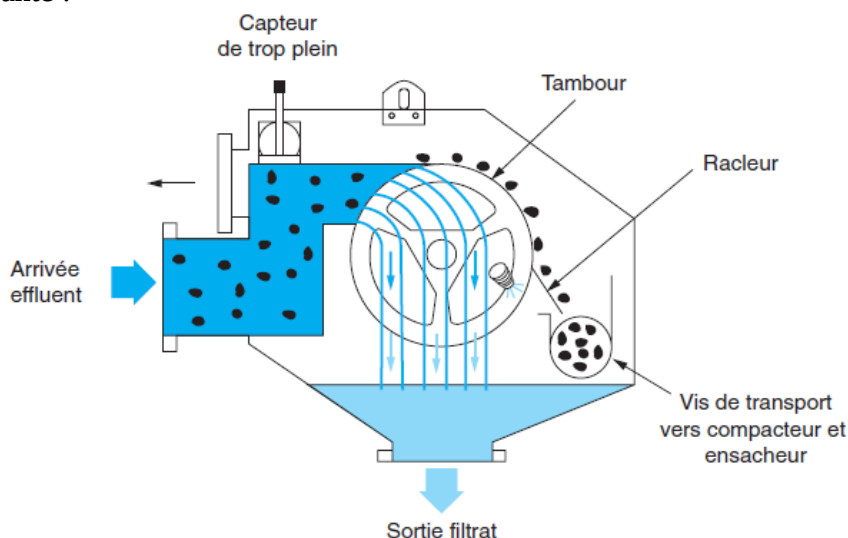


Figure 4. 16: Le tamis rotatif à alimentation externe [13].

Le dimensionnement du tamis s'effectue en déterminant la surface de filtration, la largeur du cylindre à partir du débit des eaux usées à traiter, de la maille de tamis, de la vitesse ascensionnelle de filtration et du diamètre de tamis.

On dimensionne le tamis selon le débit de pointe des eaux usées qui est de 165,2 m³/h.

Pour notre cas, il est recommandé de choisir un tamis rotatif de maille 600 µm qui est caractérisé par une vitesse ascensionnelle de filtration de 30 à 40 m³/m² de tamis/h et un diamètre de 630 mm. Pour la vitesse ascensionnelle de filtration on choisit 35 m³/m² de tamis/h [38], [12]. Les données nécessaires pour le dimensionnement sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 4. 32: Les données nécessaires pour le dimensionnement du tamis.

Débit de pointe (m³/h)	165,2
Maille de tamis (µm)	600
Vitesse ascensionnelle de filtration (m³/m²/h)	35
Diamètre de tamis (mm)	630

On détermine la surface de filtration du tamis par la formule :

$$S_{tamis} = \frac{Q_p}{V_{asc}} \quad (4.29)$$

Avec : S_{tamis} : La surface de filtration du tamis (m²).

Q_p : Le débit de pointe (m³/h).

V_{asc} : La vitesse ascensionnelle de filtration (m³/m² de tamis/h).

Donc la surface de tamis est égale à :

$$S_{tamis} = \frac{165,2}{35} = 4,72 \text{ m}^2$$

La longueur du cylindre du tamis rotatif est calculée par :

$$L_{cylindre \text{ de tamis}} = \frac{S_{tamis}}{\pi \times D_{tamis}} \quad (4.30)$$

Avec : $L_{cylindre \text{ de tamis}}$: La longueur du cylindre de tamis (m).

S_{tamis} : La surface de filtration du tamis (m²).

D_{tamis} : Le diamètre de tamis (m).

La longueur du cylindre de tamis est :

$$L_{cylindre \text{ de tamis}} = \frac{4,72}{\pi \times 0,63} = 2,4 \text{ m}$$

7.3. Dessableur-Dégraisseur

Les effluents ont une teneur importante de graisses et d'huile, donc on va utiliser un dessableur-dégraisseur aéré.

Calcul de la surface nécessaire et le volume du canal de dessableur-dégraisseur :

$$S = \frac{Q_p}{V_{asc}} \quad (4.31)$$

$$V = Q_p \times Ts \quad (4.32)$$

Avec : S : La surface du dessableur-dégraisseur (m^2).

V_{asc} : La vitesse ascensionnelle de l'écoulement des eaux usées à travers le dessableur-dégraisseur (m/h).

Q_p : Le débit de pointe (m^3/h).

V : Le volume du dessableur-dégraisseur (m^3).

Vu les effluents qui sont trop chargés en huiles et graisses la vitesse ascensionnelle d'écoulement de l'eau est fixée à 10 m/h et le temps de séjour a été choisi de 20 minutes [12].

Les résultats de calcul :

$$S = \frac{165,2}{10} = 16,52 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{165,2}{60} \times 20 = 55,07 \text{ m}^3 \text{ soit une hauteur de } 3,5\text{m} \text{ et un diamètre de } 4,6\text{m}$$

7.4. Production des refus et des boues des MEH

La quantité de refus dus à l'élimination des MES au niveau de la filière de prétraitement est déterminée par :

$$Refus = ([MES]_i - [MES]_f) \times Q \quad (4.33)$$

Avec : $Refus$: La quantité de refus produite (Kg/j).

$[MES]_i$: La concentration en MES à l'entrée de prétraitement (Kg/l).

$[MES]_f$: La concentration en MES à la sortie de prétraitement (Kg/l).

Q : Le débit des rejets (l/j).

La production des refus au niveau du prétraitement est :

$$Refus = (1\,350 - 1\,080) \times \frac{1\,566,5}{1\,000} = 423 \text{ Kg/j}$$

La quantité des MEH éliminée est calculée par :

$$Boues \text{ des MEH} = ([H\&G]_i - [H\&G]_f) \times Q$$

Avec : $Boues \text{ des MEH}$: La quantité de refus produite (Kg/j).

$[H\&G]_i$: La concentration en H&G à l'entrée de prétraitement (Kg/l).

$[H\&G]_f$: La concentration en H&G à la sortie de prétraitement (Kg/l).

Q : Le débit des rejets (l/j).

$$Boues \text{ des MEH} = (1\,052 - 841,6) \times \frac{1\,566,5}{1\,000} = 329,6 \text{ Kg/j}$$

7.5. Destination des boues produites

Les refus de dégrilleur et du tamis et les boues produites au niveau de dessableur-dégraisseur sont constitués de matières qui sont généralement biodégradables et ne présentent pas de danger pour l'environnement. De ce fait ils peuvent être évacués vers une décharge contrôlée ou traiter au niveau de la filière de traitement des boues.

7.6. Caractéristiques des effluents après le prétraitement

Le tableau suivant représente les caractéristiques de rejets espérées à la fin de la filière de prétraitement.

Tableau 4. 33: Caractéristiques de rejets à la fin de prétraitement.

Paramètre	Pourcentage d'abattement (%)	Référence	Pourcentage d'abattement retenu (%)	Concentration avant prétraitement (mg/l)	Concentration après prétraitement (mg/l)
DBO ₅	10-50	Metcalf and Eddy (p.323), Document de référence sur les meilleures techniques disponibles(p.432)	20	3 500	2 800
DCO	10-50	Document de référence sur les meilleures techniques disponibles(p.432)	20	5 400	4 320
MES	10-50	Document de référence sur les meilleures techniques disponibles(p.432)	20	1 350	1 080
H&G	20	Manuel ONEE-BO	20	1 052	841,6
NTK	0	-	0	1 300	1 300
Pt	0	-	0	26,5	26,5

8. Egalisation et homogénéisation par bassin tampon

Les eaux usées, après avoir subi un traitement primaire permettant de protéger les ouvrages en aval, sont acheminées vers le bassin tampon.

Le bassin tampon a pour rôle de donner un débit constant pour les filières d'épuration en aval, ainsi qu'à l'homogénéisation des effluents afin d'avoir presque une concentration constante. Le bassin tampon doit être équipé d'un système permettant l'agitation des effluents afin d'éviter la formation de dépôts et des odeurs.

Le bassin tampon va être dimensionné selon un débit en sortie constant assurant le fonctionnement de la STEP pendant 18 heures chaque jour.

Le débit journalier qui va être assuré par le bassin tampon est :

$$Q(m^3/h) = \frac{\text{Volume des eaux usées pour un cycle (pour 2 jours)}(m^3)}{2 \times 18 (h)}$$

$$Q = \frac{3\,133 (m^3)}{2 \times 18 (h)} = 87,03 \, m^3/h$$

Le volume du bassin tampon va être calculé selon le volume maximal des eaux usées retenu par le bassin, donc il est calculé comme suite :

Tableau 4. 34: Détermination du volume du bassin tampon.

Heures de travail des usines	Volume total des eaux usées (m³)	Volume d'eau entrant au bassin (m³)	Volume d'eau sortant du bassin (m³)	Volume d'eau restant dans le bassin (m³)
1 heure	165,2	165,2	87,03	78,17
2 heures	165,2	165,2	87,03	156,34
3 heures	165,2	165,2	87,03	234,51
4 heures	165,2	165,2	87,03	312,68
5 heures	165,2	165,2	87,03	390,85
6 heures	165,2	165,2	87,03	469,02
7 heures	165,2	165,2	87,03	547,19
8 heures	165,2	165,2	87,03	625,36
9 heures	165,2	165,2	87,03	703,53
10 heures	165,2	165,2	87,03	781,72
11 heures	34,3	34,3	87,03	728,97
12 heures	34,3	34,3	87,03	676,24
13 heures	34,3	34,3	87,03	623,51
14 heures	34,3	34,3	87,03	570,78
15 heures	34,3	34,3	87,03	518,05
16 heures	0	0	87,03	431,02
17 heures	0	0	87,03	343,99
18 heures	0	0	87,03	256,96
19 heures	0	0	0	256,96
20 heures	0	0	0	256,96
21 heures	0	0	0	256,96
22 heures	0	0	0	256,96
23 heures	0	0	0	256,96
24 heures	0	0	0	256,96
25 heures	130,9	130,9	87,03	300,83
26 heures	130,9	130,9	87,03	344,7
27 heures	130,9	130,9	87,03	388,57
28 heures	130,9	130,9	87,03	432,44
29 heures	130,9	130,9	87,03	476,31

30 heures	130,9	130,9	87,03	520,18
31 heures	130,9	130,9	87,03	564,05
32 heures	130,9	130,9	87,03	607,92
33 heures	130,9	130,9	87,03	651,79
34 heures	130,9	130,9	87,03	695,66
35 heures	0	0	87,03	608,63
36 heures	0	0	87,03	521,6
37 heures	0	0	87,03	434,57
38 heures	0	0	87,03	347,54
39 heures	0	0	87,03	260,51
40 heures	0	0	87,03	173,48
41 heures	0	0	87,03	86,45
42 heures	0	0	86,45	0
43 heures	0	0	0	0
44 heures	0	0	0	0
45 heures	0	0	0	0
46 heures	0	0	0	0
47 heures	0	0	0	0
48 heures	0	0	0	0

Le volume utile du bassin tampon est choisi égale au volume maximal des eaux usées restant dans le bassin.

Donc : *Volume utile du bassin tampon* = 781,72 m³

Le bassin tampon va être de forme rectangulaire avec :

Une hauteur h = 4,5m ; Une longueur L = 20m et une largeur l = 10m

Le volume installé du bassin est égal à :

Volume installé du bassin tampon = 900 m³

La hauteur d'eau dans le bassin tampon est de : $h_{eau} = 4m$

Une agitation rapide est assurée par des moteurs asynchrones. La puissance moteur est déterminée par les formules suivantes :

$$P_{absorbée} = \mu \times V \times G^2 \quad (4.34)$$

$$P_{moteur} = \frac{P_{absorbée}}{\eta} \quad (4.35)$$

Avec : $P_{absorbée}$: La puissance absorbée (w).

μ : La viscosité dynamique qui est égale à : 1,0087×10⁻³N.s/m²

V : Le volume du bassin tampon (m³).

G : Le gradient de vitesse, il est fixé à 100 s⁻².

P_{moteur} : La puissance moteur (Kw).

η : Le rendement moteur, il est choisi de 85%.

Donc la puissance du moteur choisie est égale à :

$$P_{absorbée} = 1,0087 \times 10^{-3} \times 900 \times 100^2 = 9,078 \text{ Kw}$$
$$P_{moteur} = \frac{9,078}{85\%} = 10,68 \text{ Kw}$$

On choisit de mettre en place 8 agitateurs rapides dont la puissance cumulée est 10,68Kw.

9. Traitement primaire, traitement physico-chimique

Les eaux usées générées par le procédé de conserverie de poisson et production de la farine et l'huile de poisson sont caractérisées par leur forte concentration en MES, en H&G, en DBO₅, en NTK, en DCO et en phosphore d'où la nécessité d'un traitement primaire qui comprend la coagulation et la floculation suivi d'un système de flottation.

La coagulation et la floculation vont permettre d'éliminer une portion des MES, de la DBO₅, de la DCO et de l'azote. L'élimination du phosphore dépend essentiellement, dans le procédé de coagulation-floculation, du type de réactif ajouté, d'où la nécessité d'effectuer un bon choix du coagulant.

Pour la flottation, il est nécessaire de choisir un système permettant une élimination presque totale des huiles et des graisses afin d'éviter les problèmes au niveau du traitement biologique.

Le traitement primaire va être effectué selon la représentation de la figure suivante :

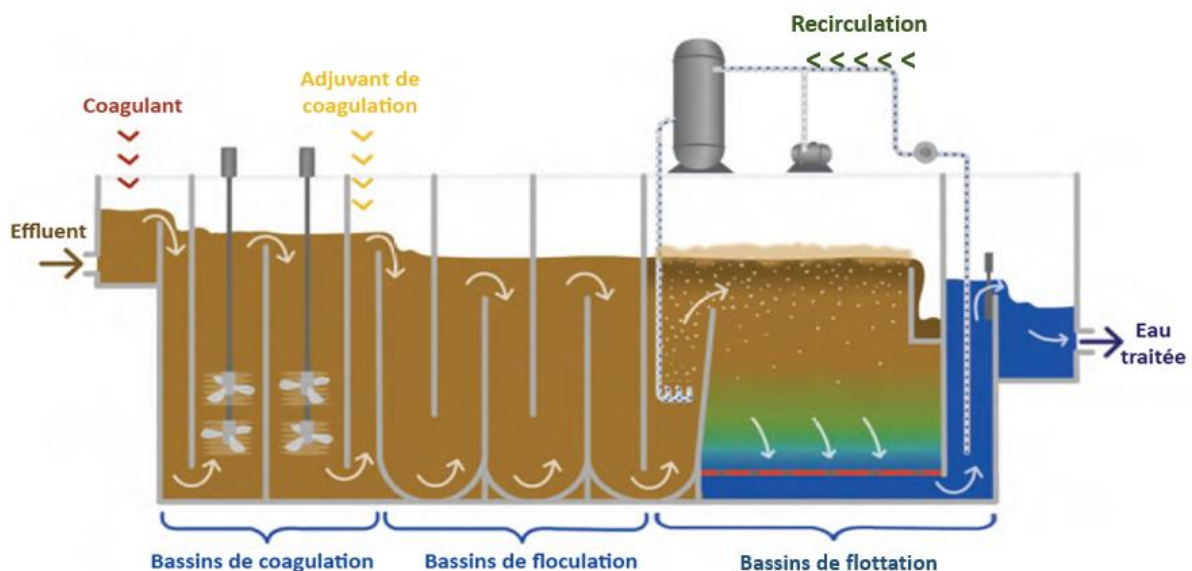


Figure 4. 17: Traitement primaire des effluents.

9.1. Coagulation

9.1.1. Choix du coagulant

L'Alun, Chlorure d'Aluminium, Hydroxyde de calcium, Chlorure de fer, Sulfate de fer, Aluminate de sodium sont les plus utilisés pour le procédé de coagulation [14].

Pour notre cas, selon la concentration en phosphore élevée on a choisi comme coagulant le Chlorure de Fer (FeCl_3) avec de la Chaux ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) qui permet d'améliorer l'efficacité de la coagulation [14].

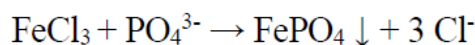
9.1.2. La dose du réactif utilisé

La détermination de la dose du coagulant à ajouter s'effectue par des essais Jar-Tests.

Pour notre cas on va estimer la dose nécessaire des réactifs suivant les méthodes exprimées par le Ministère de l'Environnement et Lutte contre le changement climatique du Québec [22] et selon Metcalf and Eddy (p.503).

9.1.2.1. La dose du Chlorure de Fer

L'élimination de phosphore, en utilisant le Chlorure de Fer, s'effectue par la formation d'un précipité l'Orthophosphate de Fer FePO_4 selon la formule suivante :



❖ Les données nécessaires pour le calcul :

On aura besoin de la concentration en PO_4^{3-} dans les rejets. Cette concentration est déterminée à partir de la concentration en Phosphore et selon le rapport de : $\text{PO}_4^{3-}/\text{P}$ qui est calculé par :

$$\frac{\text{PO}_4^{3-}}{\text{P}} = \frac{M(\text{PO}_4^{3-})}{M(\text{P})} = \frac{94,971}{30,975} = 3,1$$

Le rapport molaire entre le Fe^{3+} et le PO_4^{3-} , ce rapport est donné par Smith et al. (2007) cité par US EPA (2010) :

$$\frac{C(\text{Fe}^{3+})}{C(\text{PO}_4^{3-})} = 2 \text{ pour un taux d'élimination du Phosphore de 80\%}.$$

On aura besoin aussi de la masse molaire de FeCl_3 et PO_4^{3-} .

Les données sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 4. 35: Les données nécessaires pour le dosage du Chlorure de Fer.

[Pt] (mg/l)	26,5
[PO ₄ ³⁻] (mg/l)	82,15
Le rapport C(Fe ²⁺)/C(PO ₄ ³⁻)	2
M(PO ₄ ³⁻) (g/mol)	94,97
M(FeCl ₃) (g/mol)	162,2
M(Fe ³⁺)	55,85

❖ **La dose nécessaire du Chlorure de Fer :**

On calcule la concentration molaire du PO₄³⁻, C(PO₄³⁻).

$$C(PO_4^{3-})(mol/l) = \frac{[PO_4^{3-}](mg/l)}{M(PO_4^{3-})(g/mol) \times 1000}$$

$$C(PO_4^{3-}) = \frac{82,15}{94,97 \times 1000} = 8,65 \times 10^{-4} mol/l$$

On calcule la concentration molaire du Fe³⁺ à partir le rapport molaire entre le Fe³⁺ et le PO₄³⁻, donc :

$$C(Fe^{3+}) = 2 \times C(PO_4^{3-}) = 1,73 \times 10^{-3} mol/l$$

La concentration de Fe³⁺ est calculée par :

$$[Fe^{3+}](mg/l) = 1000 \times C(Fe^{3+})(mol/l) \times M(Fe^{3+})(g/mol)$$

$$[Fe^{3+}] = 1000 \times 1,73 \times 10^{-3} \times 55,85 = 96,62 mg/l$$

On a le rapport entre FeCl₃ et Fe³⁺ est :

$$\frac{FeCl_3}{Fe^{3+}} = \frac{M(FeCl_3)}{M(Fe^{3+})} = \frac{162,2}{55,85} = 2,9$$

La dose de FeCl₃ nécessaire est :

$$[FeCl_3] = 2,9 \times [Fe^{3+}] = 2,9 \times 96,62 = 280,2 mg/l$$

9.1.2.2. La dose de la Chaux Ca(OH)₂

Elle est estimée à 1/3 de la concentration de FeCl₃, donc :

$$[Ca(OH)_2] = \frac{1}{3} \times [FeCl_3] = 93,4 mg/l$$

9.1.3. Débit des pompes doseuses

Le débit des pompes doseuses dépend du débit des eaux usées à traiter et des caractéristiques dont la densité et la pureté du réactif commercialisé donner pour le fournisseur.

Le débit des eaux à traiter est fixé à 87,03 m³/h.

9.1.3.1. Débit de la pompe doseuse de FeCl₃

Le fournisseur nous a donné les caractéristiques suivantes de FeCl₃, [23] :

- Une densité de 1,43 Kg/l.
- Une pureté de 99%.

La concentration de FeCl₃ commercialisé est calculée par :

$$[FeCl_3]_{commercialisé} = \frac{Densité}{Pureté} = \frac{1,43 \times 1\,000}{99\%} = 1\,444,44 \text{ g/l}$$

Le débit de la pompe doseuse :

$$Q(FeCl_3) = \frac{[FeCl_3]_{solution}}{[FeCl_3]_{commercialisé}} \times \text{Débit des eaux usées}$$
$$Q(FeCl_3) = \frac{280,2}{1\,444,44} \times 87,03 = 16,88 \text{ l/h}$$

9.1.3.2. Débit de la pompe doseuse de Ca(OH)₂

Le fournisseur nous a donné les caractéristiques suivantes, [24] :

- Une densité de 2,3 Kg/l.
- Une pureté de 90%.

La concentration et le débit de la pompe doseuse de Ca(OH)₂ commercialisé sont : (On suit la même méthode de calcul utilisée pour FeCl₃)

$$[Ca(OH)_2]_{commercialisé} = 2\,555,55 \text{ g/l}$$

$$Q(Ca(OH)_2) = 3,18 \text{ l/h}$$

9.1.4. Volume de la cuve de conservation de réactif

Le volume des cuves va être calculé par la formule suivante :

$$\text{Volume utile de la cuve} = \text{Débit de la pompe doseuse} \times \text{Temps de conservation de réactif}$$

Pour le calcul du volume installé de la cuve de conservation de réactif, il faut une majoration d'environ la moitié du volume utile [22], donc :

$$\text{Volume installé de la cuve} = 1,5 \times \text{Volume réel}$$

Dans la plupart des cas, la durée de conservation est de 10 jours à 30 jours. Pour notre cas on choisit 10 jours pour la conservation de FeCl_3 et 30 jours pour la conservation de Ca(OH)_2 [22].

$$\text{Volume installé de la cuve}(\text{FeCl}_3) = 6,08 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume installé de la cuve}(\text{Ca(OH)}_2) = 3,43 \text{ m}^3$$

9.1.5. Volume du bassin de coagulation

Le volume du bassin de coagulation dépend du débit des eaux usées à traiter et du temps de séjour (temps de contact).

Le temps de contact va être fixé à 4 minutes pour ne pas sur-dimensionner notre bassin.

Le volume de bassin est calculé par :

$$V = Q \times Ts \quad (4.36)$$

Avec : V : Le volume du bassin (m^3).

Q : Le débit des eaux usées (m^3/min).

Ts : Le temps de contact (min).

Le volume du bassin de coagulation est :

$$V = \frac{87,03}{60} \times 4 = 5,8 \text{ m}^3 \text{ soit } V = 6 \text{ m}^3$$

On choisit de mettre en place un bassin de forme rectangulaire de dimensions :

Une hauteur $h = 2\text{m}$; Une longueur $L = 2,5\text{m}$ et une largeur $l = 1,2\text{m}$

9.2. Flocculation

9.2.1. Choix du réactif

Pour ce type de rejet, on choisit le flocculant cationique polyacrylamide (flocculant de polymère ou polyélectrolyte).

9.2.2. La dose du polymère nécessaire

La dose du polymère a été fixée à 5 mg/350 mg des MES entrée, ce qui fait que la dose va être égale à :

$$[\text{Polymère}] = \frac{5 \times [\text{MES}]_{\text{entrée}}}{350} = \frac{5 \times 1\,080}{350}$$
$$[\text{Polymère}] = 15,43 \text{ mg/l}$$

9.2.3. Débit de la pompe doseuse du polymère

Les caractéristiques du flocculant utilisé sont données par le fournisseur, [25] :

- Une densité de 1,1 Kg/l.
- Une pureté de 100 %.

Le calcul du débit de la pompe doseuse va être effectué de la même manière comme pour la coagulation, donc :

$$[\text{Polymère}]_{\text{commercialisé}} = 1\,100 \text{ g/l}$$

$$Q(\text{Polymère}) = 1,22 \text{ l/h}$$

9.2.4. Volume de la cuve de conservation du polymère

Selon la même méthode utilisée pour la coagulation on calcule ce volume. La durée de conservation est choisie égale à 30 jours.

Donc le volume de la cuve est :

$$\text{Volume installé de la cuve (Polymère)} = 1,32 \text{ m}^3$$

9.2.5. Volume du bassin de floculation

Le temps de contact est choisi égale à 20 minutes pour que les particules puissent s'agglomérées et pour favoriser la formation des floes. Le volume est calculé selon la formule suivante :

$$V = Q \times Ts \quad (4.37)$$

Avec : V : Le volume du bassin (m^3).

Q : Le débit des eaux usées (m^3/min).

Ts : Le temps de contact (min).

Donc le volume est :

$$V = \frac{87,03}{60} \times 20 = 29,01 \text{ m}^3 \text{ soit } V = 30 \text{ m}^3$$

On choisit de mettre en place un bassin de forme rectangulaire de dimensions :

$$\text{Une hauteur } h = 2\text{m} ; \text{ Une longueur } L = 4\text{m} \text{ et une largeur } l = 3,75\text{m}$$

9.3. Consommation des réactifs

La masse des réactifs consommée et qui est transformée en boue est calculée selon la formule suivante :

$$\begin{aligned} \text{Masse du réactif consommée (Kg/j)} \\ = \text{Débit pompé du réactif (l/h)} \times \text{Densité du réactif (g/ml)} \times 24 \end{aligned}$$

Les quantités des réactifs consommées chaque jour sont :

$$\text{Masse du réactif consommée (FeCl}_3\text{)} = 579,32 \text{ Kg/j}$$

$$\text{Masse du réactif consommée (Ca(OH)}_2\text{)} = 175,6 \text{ Kg/j}$$

$$\text{Masse du réactif consommée (Polymère)} = 32,21 \text{ Kg/j}$$

9.4. Flottation à Air Dissous (DAF)

Les bulles sont produites par détente subite du liquide sursaturé, le débit de recirculation est celui qui reçoit la pressurisation, de ce fait il est nécessaire de déterminer ce débit.

Le volume de la cellule de flottation (bassin de flottation) dépend du volume des eaux usées à traiter et du volume de recirculation.

9.4.1. Débit de recirculation

La détermination du débit de recirculation va être effectuée selon la méthode exprimée par W. Wesly Eckenfelder (le dimensionnement est exprimé dans les pages à partir de p.110 à p.120).

❖ Les données nécessaires :

Le débit des eaux usées à traiter, qui est égale à : $87,03 \text{ m}^3/\text{h}$.

La concentration en Huiles et Graisses à l'entrée du traitement primaire qui est égale à $S_a = 841,6 \text{ mg/l}$. [La notation S_a , selon la formule de calcul exprimée par W. Wesly Eckenfelder].

La concentration en Huiles et Graisses qui est égale, pour un taux d'élimination de 94% à 50 mg/l [10].

La température des rejets qui est fixée à 24°C .

La pression de pressurisation qui est d'environ 3 bar à 6 bar [10]. On choisit une pression de pressurisation de 5 bar.

La fraction de saturation en air dissous dans la solution traitée f , qui est donnée de 86% à 90% selon [15], on choisit une forte saturation de l'air dissous, donc $f=90\%$.

La solubilité de l'air $C_s(\text{mg/l})$ (s_a) à $T=24^\circ\text{C}$ qui est rapprochée à la solubilité à $T=20^\circ\text{C}$ selon W. Wesly Eckenfelder, donc elle est égale à : $C_s=24,3 \text{ mg/l}$. [$s_a=24,3 \text{ mg/l}$, la notation s_a exprimée selon la formule de W. Wesly Eckenfelder].

Le rapport Air-Solide A/S , qui est égal à 0,012. Il est déterminé selon la courbe suivante exprimée par W. Wesly Eckenfelder qui représente le rapport Air-Solide en fonction de la concentration des Huiles et des Graisses en sortie du DAF, [15] :

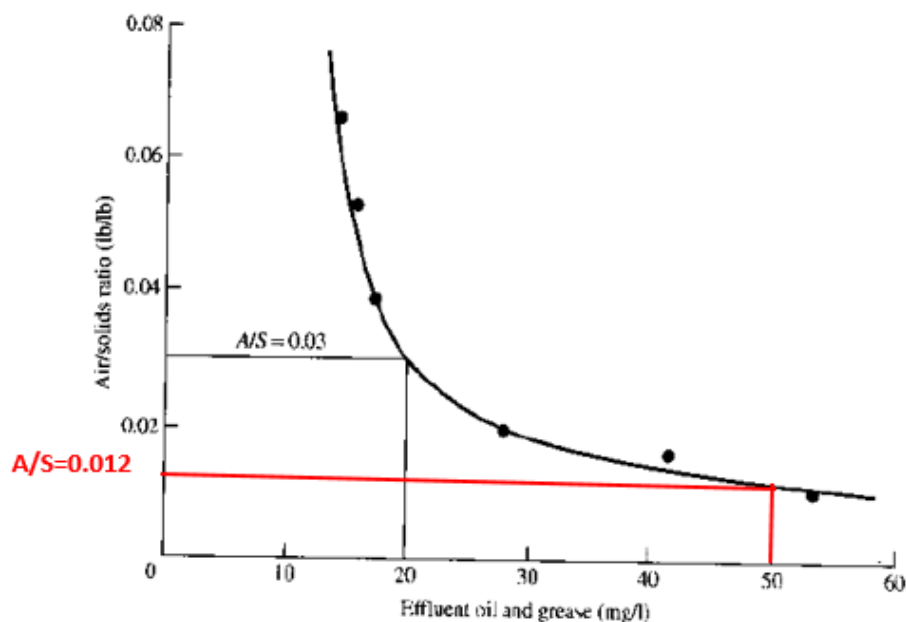


Figure 4. 18: Le rapport A/S en fonction de la concentration des H&G à la sortie du DAF.

Les données sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 4. 36: Les données nécessaires pour le débit de recirculation.

Débit des rejets $Q(m^3/h)$	87,03
Concentration finale en H&G (S_a) (mg/l)	50
Concentration H&G à l'entrée du traitement primaire (mg/l)	841,6
Température ($^{\circ}C$)	24
Pression de pressurisation (bar)	5
Pression atmosphérique(bar)	1,01325
Fraction de saturation en air dissous dans la solution traitée f	0,9
Solubilité de l'air $C_s(mg/l)$ à $T=20^{\circ}C$	24,3
Rapport Air-Solide A/S	0,012

❖ Le débit de recirculation :

W. Wesly Eckenfelder a exprimé une formule pour le calcul de ce débit (exprimée aussi par Metcalf and Eddy) qui est :

$$R = \frac{(A/S) \times Q \times S_a}{s_a \times (f \times P/P_a - 1)} \quad (4.38)$$

Avec : R : Le débit de recirculation (m^3/h).

A/S : Le rapport Air-Solide.

Q : Le débit des eaux usées (m^3/h).

S_a : La concentration en Huiles et Graisses à l'entrée du traitement primaire (mg/l).

s_a : La solubilité de l'air à la température des rejets (mg/l).

f : La fraction de saturation en air dissous dans la solution traitée (%).

P : La pression de pressurisation (bar).

P_a : La pression atmosphérique (bar).

Le débit de recirculation est :

$$R = \frac{0,012 \times 87,03 \times 841,6}{24,3 \times (0,9 \times 5/1,01325 - 1)} = 10,51 \text{ m}^3/\text{h}$$

9.4.2. Volume de la cellule de flottation (bassin de flottation)

Le volume de la cellule de flottation dépend du débit entrant au DAF et du temps de séjour. La surface de la cellule dépend du débit entrant (débit des eaux usées + débit de recirculation) et de la charge hydraulique.

❖ La surface de la cellule de flottation :

La surface de la cellule est calculée selon la formule exprimée par W. Wesly Eckenfelder :

$$S = \frac{(Q + R)}{CH} \quad (4.39)$$

Avec : S : La surface de la cellule de flottation (m^2).

Q : Le débit des eaux usées (m^3/h).

R : Le débit de recirculation (m^3/h).

CH : La charge hydraulique ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$).

La charge hydraulique est exprimée par W. Wesly Eckenfelder par une courbe qui représente la variation de la charge hydraulique en fonction de la concentration en Huiles et Graisses à la sortie du DAF.

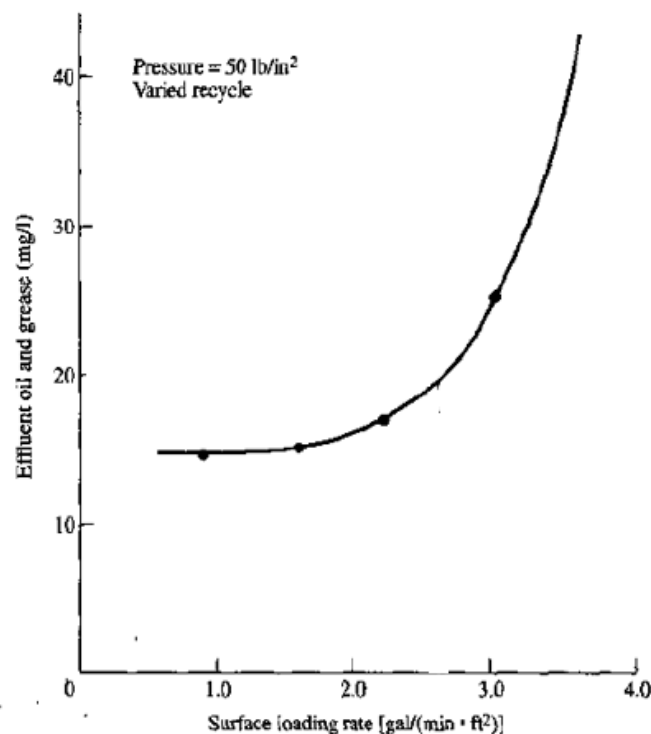


Figure 4. 19: La variation de la charge hydraulique en fonction de la concentration en H&G après DAF.

Selon la courbe, la charge hydraulique pour une concentration en huiles et graisses à la sortie du DAF de 50 mg/l est égale à :

$$CH = 3,6 \text{ gal/ft}^2/\text{min} = 8,8 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$$

Donc la surface de la cellule est :

$$S = \frac{(87,03 + 10,51)}{8,8} = 11,08 \text{ m}^2$$

❖ **Le volume de la cellule de flottation :**

Le volume de la cellule de flottation est calculé par :

$$V = (Q + R) \times Ts$$

Avec : V : Le volume de la cellule de flottation (m^3).

Q : Le débit des eaux usées (m^3/h).

R : Le débit de recirculation (m^3/h).

Ts : Le temps de séjour (h).

Le temps de séjour est généralement égal à 20 min selon W. Wesly Eckenfelder.

Le volume de la cellule de flottation est égal à :

$$V = (87,03 + 10,51) \times 20/60 = 32,51 \text{ m}^3$$

❖ **Les dimensions de la cellule de flottation :**

$$\text{La hauteur de la cellule} = \frac{V}{S} = \frac{32,51}{11,08} = 3 \text{ m}$$

$$\text{La largeur de la cellule} = 3 \text{ m}$$

$$\text{La longueur de la cellule} = 4 \text{ m}$$

$$\text{Le volume installé de la cellule} = 36 \text{ m}^3$$

9.4.3. Boues produites après la flottation

Les boues produites sont dues généralement par l'élimination des Huiles et des Graisses. Pour un taux d'élimination de 98 % et pour une concentration des Huiles et des Graisses à l'entrée du traitement primaire de 841,6 mg/l, on a une concentration à la fin du traitement primaire de 50 mg/l.

La quantité des boues produites des graisses par jour est calculée par :

$$\text{Boue produite des graisses (Kg/j)} = ([H\&G]i - [H\&G]f) \times (Q + R) \quad (4.40)$$

Avec : $[H\&G]i$: La concentration en Huiles et Graisses à l'entrée du traitement primaire (Kg/m^3).

$[H\&G]f$: La concentration en Huiles et Graisses à la sortie du traitement primaire (Kg/m^3).

Q : Le débit des eaux usées (m^3/j).

R : Le débit de recirculation (m^3/j).

Les boues produites des graisses sont estimées de :

$$\text{Boue produite des graisses (Kg/j)} = (841,6 - 50) \times (87,03 + 10,51) \times \frac{24}{1\,000}$$

$$\text{Boue produite des graisses} = 1\,853,1 \text{ Kg/j}$$

Les boues totales

$$\begin{aligned} &= \text{Boue produite des graisses} + \text{Masse du réactif consommée(FeCl}_3\text{)} \\ &+ \text{Masse du réactif consommée(Ca(OH)}_2\text{)} \\ &+ \text{Masse du réactif consommée(Polymère)} \\ &= 1\,853,1 + 579,32 + 175,59 + 32,21 = 2\,640,22 \text{ Kg/j} \end{aligned}$$

9.5. Caractéristiques du traitement primaire

Les caractéristiques des ouvrages du traitement primaire sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 4. 37: Les caractéristiques du traitement primaire.

La coagulation	
FeCl ₃	
[FeCl ₃]solution (mg/l)	280,2
Densité de (FeCl ₃)commercial (g/ml)	1,43
Pureté de (FeCl ₃) (%)	99
[FeCl ₃]commercial (g/l)	1 444,44
Débit de la pompe doseuse (l/h)	16,88
Durée de conservation (h)	240
Volume de la cuve pour FeCl ₃ (m ³)	6,08
Ca(OH) ₂	
[Ca(OH) ₂] (mg/l)	93,4
Densité de (Ca(OH) ₂)commercial (g/ml)	2,3
Pureté de (Ca(OH) ₂) (%)	90
[Ca(OH) ₂]commercial (g/l)	2 555,56
Débit de la pompes doseuse (l/h)	3,181
Durée de conservation (h)	720
Volume de la cuve pour Ca(OH) ₂ (m ³)	3,435
Le bassin de coagulation	
Temps de séjour Ts(min)	4
Volume utile du bassin V(m ³)	5,8
Hauteur H(m)	2
Longueur L(m)	2,5
Largeur l(m)	1,2
Volume installé du bassin (m ³)	6
La floculation	
Le polymère	
Dose de polyélectrolyte (mg/l)	15,43
Densité de (Polymère)commercial (g/ml)	1,1

Pureté de (Polymère) (%)	100
[Polyélectrolyte]commercial (g/l)	1 100
Débit de la pompe doseuse (l/h)	1,22
Durée de conservation (h)	720
Volume de la cuve pour Polymère (m³)	1,32
Le bassin de floculation	
Temps de séjour Ts(min)	20
Volume utile du bassin V(m³)	29,01
Hauteur H(m)	2
Longueur L(m)	4
Largeur l(m)	3,75
Volume installé du bassin (m³)	30
La flottation à air dissous	
Débit de recyclage R(m³/h)	10,51
La pression de pressurisation P(bar)	5
Surface de la cellule Scellule(m²)	11,08
Volume utile de la cellule Vcellule(m³)	32,51
Hauteur h(m)	3
Longueur L(m)	4
Largeur l(m)	3
Volume installé du bassin (m³)	36
Les boues produites	
m(FeCl ₃) (Kg/j)	579,32
m(Ca(OH) ₂) (Kg/j)	175,59
m(Polymère) (Kg/j)	32,21
H&G (Kg/j)	1 853,1
Boues totale (Kg/j)	2 640,22

9.6. Pompes d'injection des réactifs et les agitateurs des effluents

Pour la coagulation : on aura besoin de 2 pompes pour l'injection du Chlorure de Fer dont une pour le secours, la puissance des pompes est 0,2 Kw. Et deux pompes pour l'injection de la Chaux dont une de secours de puissance de 0,2 Kw, dont le débit de pompage peut être variable. [26]

Une agitation rapide est assurée par un moteur asynchrone. La puissance moteur est déterminée par les formules suivantes :

$$P_{absorbée} = \mu \times V \times G^2$$

$$P_{moteur} = \frac{P_{absorbée}}{\eta}$$

Avec : $P_{absorbée}$: La puissance absorbée (w).

μ : La viscosité dynamique qui est égale à : $1,0087 \times 10^{-3} \text{ N.s/m}^2$

V : Le volume du coagulateur (m³).

G : Le gradient de vitesse, il est fixé à 800 s^{-2} .

P_{moteur} : La puissance moteur (Kw).

η : Le rendement moteur, il est choisi de 85%.

Donc la puissance du moteur choisie est égale à :

$$P_{\text{absorbée}} = 1,0087 \times 10^{-3} \times 6 \times 800^2 = 3,873 \text{ Kw}$$

$$P_{\text{moteur}} = \frac{3,873}{85\%} = 4,55 \text{ Kw}$$

Pour la floculation : on aura besoin de deux pompes pour l'injection du Polymère dont une de secours. La puissance de ces pompes est de 0,2 Kw [26].

Une agitation lente est assurée par un moteur asynchrone dont la puissance est déterminée par la même formule utilisée pour la coagulation :

$$P_{\text{absorbée}} = \mu \times V \times G^2$$

$$P_{\text{moteur}} = \frac{P_{\text{absorbée}}}{\eta}$$

Avec : $P_{\text{absorbée}}$: La puissance absorbée (w).

μ : La viscosité dynamique qui est égale à : $1,0087 \times 10^{-3} \text{ N.s/m}^2$

V : Le volume du floculateur (m^3).

G : Le gradient de vitesse, il est fixé à 60 s^{-2} .

P_{moteur} : La puissance moteur (Kw).

η : Le rendement moteur, il est choisi de 85%.

$$P_{\text{absorbée}} = 1,0087 \times 10^{-3} \times 30 \times 60^2 = 0,109 \text{ Kw}$$

$$P_{\text{moteur}} = \frac{0,1}{85\%} = 0,128 \text{ Kw}$$

9.7. Caractéristiques des effluents après le traitement primaire

Le traitement physico-chimique avec la flottation à l'air dissous permet une élimination presque totale des huiles et des graisses qu'elle peut atteindre jusqu'à 98% et une élimination du phosphore qui peut atteindre 85% [10].

Les caractéristiques des effluents après le traitement primaire sont espérées à atteindre les valeurs suivantes :

Tableau 4. 38: Les caractéristiques des effluents après traitement primaire.

Paramètre	Pourcentage d'abattement %	Référence	Valeur du taux retenue %	Concentration avant traitement primaire (mg/l)	Concentration après traitement primaire (mg/l)
DBO₅	50-60	Document de référence sur les meilleures techniques disponibles (p.437) , Metcalf and Eddy , W. W. Eckenfelder	55	2 800	1 260
DCO	50-60	Document de référence sur les meilleures techniques disponibles (p.437) , Metcalf and Eddy , W. W. Eckenfelder	55	4 320	1 944
MES	70-90	Document de référence sur les meilleures techniques disponibles (p.437)	80	1 080	216
H&G	90-98	Document de référence sur les meilleures techniques disponibles (p.437)	94	841,6	50
NTK	45	Document de référence sur les meilleures techniques disponibles (p.437)	45	1 300	715
Pt	70-85	Document de référence sur les meilleures techniques disponibles (p.437)	80	26,5	5,3

10. Traitement secondaire, traitement biologique

10.1. Choix des procédés de traitement biologique compatibles avec ce type de rejet et les résultats voulus

Le procédé de traitement biologique à adopter va être choisi selon une comparaison entre les différents procédés d'épuration utilisés pour les effluents des usines de transformation des produits de mer. Cette comparaison a été effectuée selon une étude des caractéristiques des procédés biologiques représentées dans les références [10], [12], [14], [15] et [30].

Les résultats de la comparaison entre les différents procédés biologiques utilisées sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 4. 39: Le choix des procédés de traitement biologique.

Critère de comparaison	Les procédés aérobies				
	Boues Activées Conventionnelles	Lagunes aérobies	MBR	Lits Bactériens	Disques biologiques
Efficacité et performance d'épuration des eaux usées (selon l'objectif de qualité)	Très efficace	Efficace	Très efficace	Efficace	Efficace
Surface requise (selon la surface disponible)	Très réduite	Très grande	Très réduite	Très grande	Très grande
Coût d'investissement	Moyen	Faible	Moyen	Moyen	Moyen
Coût d'exploitation	Elevé	Faible	Elevé	Moyen	Moyen

Selon cette comparaison, on décide de retenir le procédé du réacteur biologique à membrane (MBR) (la première variante) et le procédé à boues activées conventionnelles (BAC) (la deuxième variante).

10.2. Etude de la première variante (Procédé MBR)

10.2.1. Caractéristiques du procédé MBR utilisé

Un bioréacteur à membrane est une variation du système à boues activées classique où plusieurs modules à membrane, ou cartouche, sont placés dans un bassin de filtration qui est parfois combiné avec le bassin biologique ou séparé. Après le traitement biologique, le liquide brassé est pompé sous pression statique et envoyé dans le module à membrane. Les solides et les liquides sont ensuite séparés, les eaux usées propres sont rejetées et le mélange concentré est renvoyé sous pression dans le réacteur biologique [10].

L'aération quasi-permanente des membranes utilisée pour limiter leur encrassement, rend difficile le traitement complet de l'azote d'où la nécessité de prévoir une zone d'anoxie en cas de forte concentration en azote. Pour l'élimination poussée du phosphore il est préférable d'avoir un bassin d'anaérobie afin de limiter les injections de réactifs spécifiques dont l'utilisation en excès augmente les risques de colmatage des membranes. Le débit de filtration des membranes est limité et conditionné aux surfaces de membranes installées, à leur usure et leur état de colmatage [31].

Le traitement biologique va être assuré par un procédé de MBR dont le bassin biologique est séparé du bassin de filtration appelé alimentation en boucle externe avec application d'une recirculation des boues afin d'améliorer l'efficacité d'épuration. Le système adopté est représenté dans la figure suivante :

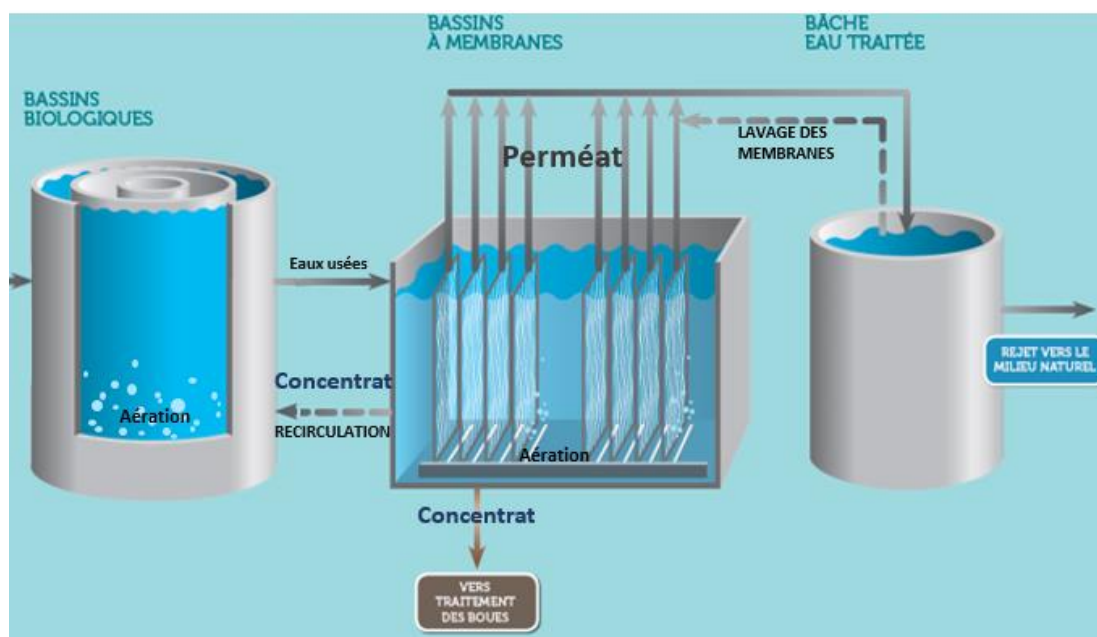


Figure 4. 20: Le procédé réacteur biologique à membrane adopté.

Les deux types de module membranaires existants sont les plaques et les fibres creuses, représentés dans la figure ci-dessous. Pour notre cas on choisit d'utiliser les plaques caractérisées par leur efficacité et le résistance face au colmatage [31].

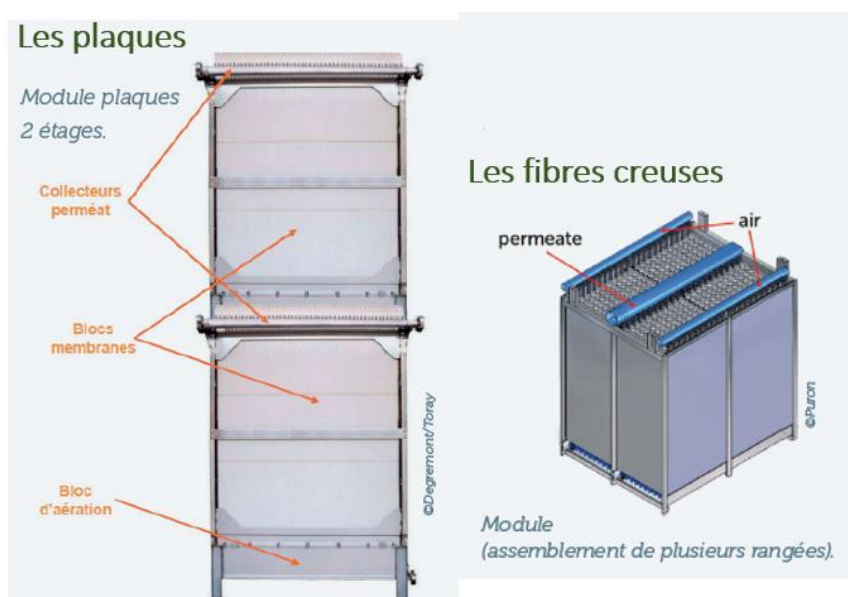


Figure 4. 21: Les types de modules membranaires les plus utilisés pour le MBR.

10.2.2. Dimensionnement du procédé MBR

10.2.2.1. Détermination de la surface de filtration

La surface de filtration désigne la surface totale des plaques ou des fibres selon le module utilisé (pour notre cas c'est la surface totale des plaques constituées par module).

La surface de filtration dépend du débit des eaux usées à traiter, du débit de perméat nominal (c'est le flux net en l/m²h) et de la surface de filtration unitaire d'un module.

❖ Les données nécessaires :

Le débit horaire des eaux usées à traiter est 87,03 m³/h équivalent à un débit quotidien moyen de 1 566,5 m³/j.

La température minimale des rejets est égale à 20°C, est le rapport de correction de la température est égale à 1 suite aux caractéristiques des membranes utilisées.

La gamme du flux brut à 20°C est entre 15 à 30 l/m²h, pour notre cas on choisit une valeur du flux brut de 20 l/m²h [31].

Le rapport du flux net/flux brut (le flux net désigne le débit de perméat nominal) pour les membranes plaques est généralement supérieur à 70% et il peut aller jusqu'à 85%. Pour notre cas on fixe une valeur de ce rapport de 80% [31].

$$\text{Débit perméat nominal} = \text{Rapport } \frac{f_{\text{flux net}}}{f_{\text{flux brut}}} \times \text{Flux brut} \quad (4.41)$$

La durée de la filtration par jour est de 18h/j.

Le tableau suivant représente les données nécessaires pour le calcul :

Tableau 4. 40: Les données nécessaires pour la détermination de la surface de filtration.

Données nécessaires	Unité	Valeur
Débit nominal	m ³ /j	1 566,5
Débit horaire	m ³ /h	87,03
Température minimale des eaux à traiter	°C	20
Facteur de correction de la température	Sans unité	1
Flux brut	l/m ² h	20
Rapport Flux net/Flux brut	%	80
Flux net (Débit de perméat nominal)	l/m ² h	16

❖ **La détermination de la surface de filtration nécessaire :**

La surface de filtration au débit quotidien est calculée par :

$$\begin{aligned} \text{La surface de filtration au débit nominal}(m^2) &= \frac{\text{Débit nominal (des eaux usées)}(l/j)}{\text{Débit perméat nominal } (l/m^2h) \times \text{Nombre d'heure de filtration } (h/j)} \\ \text{La surface de filtration au débit nominal}(m^2) &= \frac{1\,566,5 \times 1\,000}{16 \times 18} \\ \text{La surface de filtration au débit nominal} &= 5\,439,4\,m^2 \end{aligned} \quad (4.42)$$

❖ **Le choix du module membranaire :**

Le module membranaire choisi est le MB5-2 qui est constitué de 50 plaques ou cassettes fabriqué par la société MicroClear. Chaque module est caractérisé par une surface de filtration totale de 400 m² (La surface unitaire).

Les caractéristiques de ce module membranaire sont représentées dans l'Annexe 14.

❖ **Le nombre de modules membranaires nécessaires :**

$$\begin{aligned} \text{Nombre de modules membranaires nécessaires} &= \frac{\text{La surface de filtration au débit nominal}(m^2)}{\text{La surface unitaire d'un module}(m^2)} \\ \text{Nombre de modules membranaires nécessaires} &= \frac{5\,439,4}{400} \\ \text{Nombre de modules membranaires nécessaires} &= 13,6\,modules \end{aligned} \quad (4.43)$$

On choisit un nombre de modules membranaires de :

$$\text{Nombre de modules membranaires} = 14\,modules$$

❖ **La surface réelle de filtration:**

La surface réelle de filtration dépend du nombre de modules choisis :

$$\begin{aligned} \text{La surface réelle de filtration}(m^2) &= \text{Nombre de modules membranaires} \\ &\times \text{Surface unitaire d'un module}(m^2) \\ \text{La surface réelle de filtration} &= 14 \times 400 \\ \text{La surface réelle de filtration} &= 5\,600\,m^2 \end{aligned} \quad (4.44)$$

❖ **Le débit de perméat nominal :**

$$\begin{aligned} \text{Débit perméat nominal (l/m}^2\text{h)} & \quad (4.45) \\ &= \frac{\text{Débit nominal (des eaux usées)(l/j)}}{\text{La surface de filtration au débit nominal(m}^2\text{)} \times \text{Nombre d'heure de filtration (h/j)}} \\ \text{Débit perméat nominal (l/m}^2\text{h)} &= \frac{1\,566,5 \times 1\,000}{5\,600 \times 18} \\ \text{Débit perméat nominal} &= 15,54 \text{ l/m}^2\text{h} \end{aligned}$$

10.2.2.2. Détermination du volume de bassin de filtration

Les dimensions du bassin de filtration vont dépendre de la surface occupée par l'ensemble des modules à installer.

❖ **La surface unitaire occupée par un module MB5-2 :**

Les dimension d'un module MB5-2 sont : 130×112×295 (cm).

Donc la surface unitaire occupée par un module est égale à :

$$\text{Surface occupée par un module} = 1,30 \times 1,12 = 1,456 \text{ m}^2$$

❖ **Le volume minimal du bassin de filtration :**

La surface minimale du bassin de filtration est calculée par :

$$\begin{aligned} \text{Surface minimale du bassin de filtration(m}^2\text{)} & \quad (4.46) \\ &= \text{Surface occupée par un module} \times \text{Nombre de modules} \end{aligned}$$

$$\text{Surface minimale du bassin de filtration} = 1,456 \times 14$$

$$\text{Surface minimale du bassin de filtration} = 20,4 \text{ m}^2$$

La hauteur du bassin est choisie égale à 3 m.

Donc le volume minimal du bassin de filtration est égal à :

$$\begin{aligned} \text{Volume minimal du bassin de filtration(m}^3\text{)} & \quad (4.47) \\ &= \text{La hauteur du bassin(m)} \\ &\quad \times \text{Surface minimale du bassin de filtration(m}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$\text{Volume minimal du bassin de filtration(m}^3\text{)} = 3 \times 20,4$$

$$\text{Volume minimal du bassin de filtration} = 61,2 \text{ m}^3$$

Il est à souligner qu'il est prévu un marnage de 50 cm.

10.2.2.3. Débit réel de pompage de perméat

Le débit réel de pompage de perméat dépend du débit de perméat nominal, du temps de filtration, du temps de pause et du temps de retro-lavage.

❖ **Les données nécessaires pour le calcul du débit de pompage du perméat:**

Les données nécessaires sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 4. 41: Les données nécessaires pour le calcul du débit de pompage de perméat.

Les données nécessaires	Unité	Valeur
Temps Cycle filtration	min	8,5
Temps Cycle pause	min	1
Temps Cycle Retro-lavage	min	0,5
Temps Cycle Total	min	10
Débit perméat nominal	l/m ² h	15,54

❖ **Le calcul du débit de pompage du perméat :**

Pour chaque heure de fonctionnement, une durée de filtration de 8,5 minutes pour un cycle total de 10 minutes, est équivalente à 51 minutes de filtration par heure.

Le débit instantané du perméat en l/min est calculée par :

$$\begin{aligned} \text{Débit instantané de perméat (l/min)} &= \text{Débit perméat nominal (l/m}^2\text{h)} \times \text{La surface réelle de filtration(m}^2\text{)} \div 51 \text{ (min/h)} \end{aligned} \quad (4.48)$$

$$\text{Débit instantané de perméat (l/min)} = 15,54 \times 5\,600 \div 51$$

$$\text{Débit instantané de perméat} = 1706,35 \text{ l/min}$$

$$\text{Débit instantané de perméat} = 1,71 \text{ m}^3/\text{min}$$

10.2.2.4. Débit de recirculation

Le débit de recirculation des eaux vers le bassin biologique est considéré généralement de l'ordre de 200% à 400% du débit des eaux usées à traiter. [14], [31], [34]

Pour notre cas on choisit un taux de recirculation de 400%, donc :

$$\text{Débit de recirculation (m}^3/\text{j)} = 400\% \times \text{Débit des eaux usées (m}^3/\text{j)} \quad (4.49)$$

$$\text{Débit de recirculation (m}^3/\text{j)} = 400\% \times 1\,566,5$$

$$\text{Débit de recirculation} = 6\,266 \text{ m}^3/\text{j}$$

10.2.2.5. Dimensionnement du bassin biologique

Le procédé MBR permet d'avoir une concentration en DBO₅ dans la plupart des cas inférieure à 5 mg/ selon Metcalf and Eddy [14] et selon Suez Memento degrement [13]. Les modules membranaires de la société MicroClear permettent d'avoir une concentration en DBO₅ inférieure à 2 mg/l [32]. Le pourcentage d'élimination de la DBO₅ selon une étude des procédés MBR à Provence-Alpes-Côte d'Azur est de 99,5 % à 99,9 % [31].

Pour notre cas on espère d'avoir une concentration de DBO₅ à la sortie du procédé MBR de 5 mg/l, ce qui équivalent à un pourcentage d'abattement de 99,6 %.

Le dimensionnement du bassin biologique du procédé MBR va être s'effectué selon les procédures de dimensionnement du bassin biologique pour le procédé Boues Activées [14].

❖ Les données nécessaires pour le dimensionnement du bassin biologique:

Les données sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 4. 42: Les données nécessaires pour le calcul du volume du bassin biologique.

Données nécessaires	Unité	Valeur
Débit nominal	m ³ /j	1 566,5
S ₀ ([DBO ₅] à l'entrée du procédé MBR)	mg/l	1 260
C _m Charge massique ou F/M	g DBO ₅ /gMVES / j	0,2
X ou Concentration des MLSS	mg MES/l	12 000
K _d (Coefficient de mortalité)	j ⁻¹	0,04
Y (mg VSS/mgDBO ₅)	mg VSS/mg DBO ₅	0,6
S ([DBO ₅] à la sortie du procédé MBR)	mg/l	5
Efficacité d'enlèvement de la DBO ₅	%	99,6

La charge massique d'une station d'épuration nitrifiante/dénitrifiante est de l'ordre de 0,07 à 0,2 gDBO₅/gMVES/j [12].

La valeur de C_m choisie est de 0,2 gDBO₅/gMVES/j pour une station d'épuration nitrifiante/dénitrifiante pour le procédé MBR selon [14].

La valeur des solides en suspension dans la liqueur mixte SSLM (X) et la valeur de Y est choisie selon les caractéristiques du bassin biologique pour le traitement à boues activées, données par Metcalf and Eddy.

❖ Le dimensionnement du bassin biologique :

On calcule le temps de rétention solide SRT selon la formule suivante :

$$\frac{1}{SRT} = Y \times E \times C_m - K_d \quad (4.50)$$

Avec : SRT : Le temps de rétention solide exprimé en (j).

Y : en mgVSS/mgDBO₅.

E : Efficacité d'élimination de la DBO_5 en (%).

C_m : La charge massique en (g DBO_5 /gMVES/j).

K_d : Le coefficient de mortalité en (j^{-1}).

Donc le temps de rétention solide égale à :

$$\frac{1}{SRT} = 0,6 \times 0,996 \times 0,2 - 0,04 = 0,07952 j^{-1}$$

$$SRT = 12,57 j$$

On calcule le temps de rétention hydraulique HRT :

$$HRT = \frac{Y (S_0 - S) \times SRT}{X (1 + K_d \times SRT)} \quad (4.51)$$

Avec : HRT : Le temps de rétention hydraulique en (j).

Y : en mgVSS/mg DBO_5 .

S_0 : La concentration de DBO_5 à l'entrée du procédé MBR (mg O_2 /l).

S : La concentration de DBO_5 à la sortie du procédé MBR (mg O_2 /l).

SRT : Le temps de rétention solide exprimé en (j).

X : La concentration Solides en Suspension dans la Liqueur Mixte (mg/l).

K_d : Le coefficient de mortalité en (j^{-1}).

Donc le temps de rétention hydraulique égale à :

$$HRT = \frac{0,6 (1\,260 - 5) \times 12,57}{12\,000 (1 + 0,04 \times 12,57)}$$

$$HRT = 0,525 j = 12,6 h$$

Le volume du bassin biologique est calculé par :

$$V = HRT \times Q \quad (4.52)$$

Avec : V : Le volume du bassin biologique en (m^3).

HRT : Le temps de rétention hydraulique en (j).

Q : Le débit des eaux usées entrant au bassin biologique en (m^3 /j).

Donc :

$$V = 0,525 \times 1\,566,5$$

$$V = 822,41 m^3$$

Pour une hauteur $h = 3,5$ m, la surface du bassin est égale à :

$$S = \frac{822,41}{3,5} = 234,97 m^2$$

Le diamètre du bassin est : $D = 17,3 m$

Il est à souligner qu'il est prévu un marnage de 50 cm.

❖ **Le dimensionnement du bassin d'anoxie :**

Le bassin d'anoxie permet une élimination poussée de l'azote. Son volume est déterminé selon la formule suivante, [12] :

$$V = T_s \times Q \quad (4.53)$$

Avec : V : Le volume du bassin d'anoxie en (m^3).

T_s : Le temps de séjour dans le bassin d'anoxie en (j).

Q : Le débit des eaux usées entrant au bassin biologique en (m^3/j).

Le temps de séjour est généralement de l'ordre de 6 à 7 heures. Pour notre cas on fixe le temps de séjour à 7 heures [12].

Donc le volume du bassin d'anoxie est égal à :

$$V = \frac{7}{24} \times 1\,566,5 = 457\, m^3$$

Il est à souligner qu'il est prévu un marnage de 50 cm.

10.2.2.6. Demande en Oxygène et Aération

Le besoin journalier en Oxygène dans une station d'épuration nitrifiante/dénitrifiante dépend de la DBO_5 éliminée, de la concentration de l'azote à nitrifier et l'azote à dénitrifier. D'où la nécessité de faire un bilan de l'azote.

❖ **Bilan préliminaire sur l'azote :**

Le bilan préliminaire sur l'azote consiste à déterminer la concentration de l'azote à nitrifier et celle à dénitrifier.

La concentration en azote à nitrifier est calculée selon la formule suivante, [12] :

$$N_{\text{à nitrifier}} = N_{\text{entrée}} - N_{\text{assimilé}} - N_{\text{rejeté}} \quad (4.54)$$

Avec : $N_{\text{à nitrifier}}$: Le flux de l'azote à nitrifier (KgN/j).

$N_{\text{entrée}}$: Le flux de l'azote à l'entrée du traitement biologique (Kg/j).

$N_{\text{assimilé}}$: Le flux de l'azote assimilé (KgN/j).

$N_{\text{rejeté}}$: Le flux de l'azote rejeté (KgN/j).

Le flux de l'azote assimilé est déterminé selon la formule suivante, [12] :

$$N_{\text{assimilé}} = 5\% \times Le \quad (4.55)$$

Avec : $N_{\text{assimilé}}$: Le flux de l'azote assimilé (KgN/j).

Le : Le flux en DBO_5 éliminer (KgO_2/j).

La valeur de 5% est donnée par le rapport d'assimilation des nutriments C/N/P qui égale à 100/5/1. [12]

La concentration de l'azote rejeté est calculé par la formule suivante :

$$[N_{rejeté}] = 50\% [N_{objectif\ de\ rejet}] \quad (4.56)$$

Avec : $[N_{rejeté}]$: La concentration de l'azote rejeté (mg/l).

$[N_{objectif\ de\ rejet}]$: La concentration de l'azote maximale objectif de rejet. Elle est fixée à 60 mg/l définit par la norme de l'Espagne.

Le flux de l'azote entrant au traitement biologique est calculé par :

$$N_{entrée} = \frac{Q}{1\ 000} \times [N_{entrée}] \quad (4.57)$$

$$N_{entrée} = \frac{1\ 566,5}{1\ 000} \times 715 = 1\ 120,05\ Kg/j \quad (4.58)$$

Avec : $N_{entrée}$: Le flux de l'azote à l'entrée du traitement biologique (Kg/j).

$[N_{entrée}]$: La concentration de l'azote à l'entrée du traitement biologique (mg/l).

Q : Le débit des eaux usées entrant au traitement biologique (m³/j).

Le flux de la DBO₅ éliminée est calculé par :

$$Le = ([DBO_5]_{entrée} - [DBO_5]_{sortie}) \times \frac{Q}{1\ 000} \quad (4.59)$$

$$Le = (1\ 260 - 5) \times \frac{1\ 566,5}{1\ 000} = 1\ 965,96\ Kg/j$$

Avec : Le : Le flux en DBO₅ éliminer (KgO₂/j).

Q : Le débit des eaux usées entrant au traitement biologique (m³/j).

$[DBO_5]_{entrée}$: La concentration de la DBO₅ entrante au traitement biologique (mg/l).

$[DBO_5]_{sortie}$: La concentration de la DBO₅ sortante du traitement biologique (mg/l).

Le flux de l'azote à dénitrifier est généralement égale au flux de l'azote à nitrifier.

Donc :

$$N_{à\ nitrifier} = N_{à\ dénitrifier} \quad (4.60)$$

On calcule le flux de l'azote à nitrifier et le flux de l'azote à dénitrifier par la formule :

$$N_{à\ nitrifier} = N_{à\ dénitrifier} = N_{entrée} - 5\% \times Le - \frac{Q}{1\ 000} \times 50\% [N_{objectif\ de\ rejet}] \quad (4.61)$$

Avec : $N_{à\ nitrifier}$: Le flux de l'azote à nitrifier (KgN/j).

$N_{à\ dénitrifier}$: Le flux de l'azote à nitrifier (KgN/j).

$N_{entrée}$: Le flux de l'azote à l'entrée du traitement biologique (Kg/j).

Le : Le flux en DBO₅ éliminer (KgO₂/j).

Q : Le débit des eaux usées entrant au traitement biologique (m³/j).

$[N_{objectif\ de\ rejet}]$: La concentration de l'azote maximale objectif de rejet (mg/l).

On calcule le flux de l'azote à nitrifier et l'azote à dénitrifier :

$$N_{à\ nitrifier} = N_{à\ dénitrifier} = 1\ 120,05 - 5\% \times 1\ 965,96 - \frac{1\ 566,5}{1\ 000} \times 50\% \times 60$$

$$N_{à\ nitrifier} = N_{à\ dénitrifier} = 974,76\ Kg/j$$

❖ Les besoins journaliers en Oxygène :

Les besoins journaliers en Oxygène sont calculés par la formule, [12] :

$$BO_2 \text{ journalier} = a' \times Le + b' \times \%MVS_a \times [MES]_a \times V_{ba} + 4,3 \times N_{\text{à nitrifier}} - 2,85 \times c' \times N_{\text{à dénitrifier}} \quad (4.62)$$

Avec : $BO_2 \text{ journalier}$: Les besoins journaliers en Oxygène (KgO₂/j).

a' : Le coefficient d'oxydation de la DBO₅ (KgO₂/KgDBO₅ éliminée).

Le : Le flux en DBO₅ éliminée (KgO₂/j).

b' : Le coefficient de respiration endogène (KgO₂/KgMVS/j).

$\%MVS_a$: Le pourcentage des matières volatiles sèches dans le bassin biologique (%).

$[MES]_a$: La concentration en MES dans le bassin biologique (g/l).

V_{ba} : Le volume du bassin biologique (m³).

$N_{\text{à nitrifier}}$: Le flux de l'azote à nitrifier (KgN/j).

c' : Le taux de récupération de l'oxygène par dénitrification (sans unité).

$N_{\text{à dénitrifier}}$: Le flux de l'azote à nitrifier (KgN/j).

Pour les stations d'épuration de faible à très faible charge (le même pour notre cas), les valeurs de a' , b' et c' sont prises égales à, [14] :

- $a' = 0,7$ KgO₂/KgDBO₅ éliminée.
- $b' = 0,07$ KgO₂/KgMVS/j.
- $c' = 0,7$.

Le pourcentage des matières volatiles sèches dans le bassin biologique dépend de la nature des eaux usées à traiter. Pour les effluents agroalimentaires, ce pourcentage est égal à 80%.

La concentration des MES à l'intérieur du bassin biologique est égale à 4 g/l pour les stations d'épuration à faible charge [12], [13].

Les données nécessaires au calcul sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 4. 43: Les données nécessaires pour la détermination des besoins journalier en Oxygène.

Données nécessaires	Unité	Valeur
Flux de DBO ₅ éliminée Le	Kg O ₂ /j	1 965,96
a' Coefficient d'oxydation de la DBO ₅	Kg O ₂ /Kg DBO ₅ éliminée	0,7
b' Coefficient de respiration endogène	kg O ₂ /Kg MVS/j	0,07
$\%MVS$ de la matière sèche volatile dans le Bioréacteur	%	80
Concentration des MES dans le bassin biologique $[MES]_a$	g/l	4
Volume du bassin biologique V_{ba}	m ³	830,25
$N_{\text{à nitrifier}}$	Kg N/j	974,76
c' Taux de récupération de l'oxygène par dénitrification	Sans unité	0,7
$N_{\text{à dénitrifier}}$	Kg N/j	974,76

Les besoins journaliers en Oxygène sont :

$$BO_2 \text{ journalier} = 0,7 \times 1\,965,96 + 0,07 \times 80\% \times 4 \times 830,25 + 4,3 \times 974,76 - 2,85 \times 0,7 \times 974,76$$
$$BO_2 \text{ journalier} = 3\,808,97 \text{ KgO}_2/\text{j}$$

❖ **Les besoins horaires en Oxygène :**

Les besoins horaires en Oxygène dépendent du temps cumulé de marche des aérateurs. Pour les bassins biologiques assurant la nitrification et la dénitrification, le temps cumulé de marche des aérateurs est égal à 14 heures [12].

Les besoins horaires en Oxygène sont calculés par la formule :

$$BO_2 \text{ horaire} = \frac{BO_2 \text{ journalier}}{T_c} \quad (4.63)$$

Avec : $BO_2 \text{ horaire}$: Les besoins horaires en Oxygène (KgO_2/h).

$BO_2 \text{ journalier}$: Les besoins journaliers en Oxygène (KgO_2/j).

T_c : Le temps cumulé de marche des aérateurs (h). Pour notre cas on choisit un temps de 14 heures.

Donc les besoins horaires en Oxygène sont :

$$BO_2 \text{ horaire} = \frac{3\,808,97}{14}$$

$$BO_2 \text{ horaire} = 272,07 \text{ KgO}_2/\text{h}$$

❖ **La puissance des systèmes d'aération :**

La puissance des aérateurs dépend de la puissance absorbée et du rendement moteur des aérateurs. La puissance absorbée est calculée à partir des besoins horaires en Oxygène et de l'apport spécifique brut en eau claire et du facteur correctif global [12].

L'apport spécifique brut en eau claire ASB et le facteur correctif global FCG dépendent du type des aérateurs utilisés. Pour notre cas on choisit une aération par des diffuseurs membranaires, donc les valeurs de ASB et FCG sont, [12] :

- ASB= 2,5 $\text{KgO}_2/\text{Kw.h}$ absorbé.
- FCG= 0,5 (sans unite).

On calcule la puissance absorbée cumulée des aérateurs selon la formule :

$$P_{\text{absorbée}} = \frac{BO_2 \text{ horaire}}{ASB \times FCG} \quad (4.64)$$

Avec : $P_{\text{absorbée}}$: La puissance absorbée cumulée des aérateurs (Kw).

$BO_2 \text{ horaire}$: Les besoins horaires en Oxygène (KgO_2/h).

ASB : l'apport spécifique brut en eau claire ($\text{KgO}_2/\text{Kw.h}$ absorbé).

FCG : Le facteur correctif global, pour passer des conditions standards aux conditions dans notre bassin biologique (sans unité).

La puissance absorbée cumulée des aérateurs est égale à :

$$P_{absorbée} = \frac{272,07}{2,5 \times 0,5}$$

$$P_{absorbée} = 217,66 \text{ Kw}$$

La puissance installée est calculée selon la formule :

$$P_{installée} = \frac{P_{absorbée}}{\eta} \quad (4.65)$$

Avec : $P_{installée}$: La puissance installée (Kw).

η : Le rendement moteur (%). Il est fixé à 80%.

La puissance installée est égale à :

$$P_{installée} = \frac{217,66}{80\%}$$

$$P_{installée} = 272,08 \text{ Kw}$$

10.2.2.7. Caractéristiques du procédé MBR

Tableau 4. 44: Les caractéristiques du traitement biologique MBR.

Le procédé utilisé: Réacteur biologique à membrane (MBR)		
Le paramètre	Unité	Valeur
La surface de filtration		
Débit nominal	m ³ /j	1 566,5
Débit horaire	m ³ /h	87,03
Température min des eaux à traiter	°C	20
Facteur de correction température	Sans unité	1
Flux brut	l/m ² h	20
Rapport Flux brut/Flux net	%	80
Flux net (Débit du perméat nominal)	l/m ² h	16
Nombre d'heure d'opération quotidien (filtration)	h/j	18
Surface de filtration au débit moyen	m ²	5 439,4
Nombre de module par bassin de filtration	nombre	14
Module	marque	MB5-2
Surface de filtration par bassin de filtration	m ²	5 600
Le bassin de filtration		
Débit du perméat nominal	l/m ² h	15,54
Dimensions d'un module	cm	130×112×295
Surface minimum du bassin de filtration	m ²	20,4
Hauteur d'eau du bassin de filtration	m	3
Volume minimal du bassin de filtration	m ³	61,2
Le débit réel de la pompe de la pompe de perméat		
Temps Cycle filtration	min	8,5
Temps Cycle pause	min	1
Temps Cycle Retro-lavage	min	0,5

CHAPITRE 4 : DEPOLLUTION DES REJETS LIQUIDES DU PORT DAKHLA : LES EFFLUENTS DE SIX UNITES PROJETEES

Temps Cycle Total	min	10
Débit instantané réel de perméat	l/min	1 706,35
Débit de recirculation		
Taux de recirculation	%	400
Débit de recirculation quotidien	m ³ /j	6 266
Le bassin biologique		
S ₀ ([DBO ₅] à l'entrée du procédé MBR)	mg/l	1 260
C _m Charge massique ou F/M	g DBO ₅ /gMVES / j	0,2
X ou Concentration des SSLM	mg MES/L	12 000
K _d (Coefficient de mortalité)	j ⁻¹	0,04
Y (mg VSS/mgDBO ₅)	mg VSS/mg DBO ₅	0,6
S ou DBO ₅ finale	mg/l	5
Efficacité d'enlèvement de la DBO ₅	%	99,81
SRT (Age des boues)	j	12,58
HRT (Temps de rétention hydraulique)	j	0,53
HRT (Temps de rétention hydraulique)	h	12,72
Volume effectif du bassin biologique V _{ba}	m ³	822,41
Profondeur du bassin biologique	m	3,5
Surface du bassin biologique	m ²	234,97
Diamètre du bassin biologique	m	17,3
Le bassin d'anoxie		
Débit Quotidien moyen	m ³ /j	1 566,5
Temps de séjour (6 à 7 heures)	h	7
Volume du Bassin d'Anoxie	m ³	457
Aération et demande en Oxygène		
Le bilan préliminaire de l'azote		
N _{entrée}	Kg N/j	1 120,05
Flux de DBO ₅ éliminé Le	Kg O ₂ /j	1 965,96
N _{assimilé}	Kg N/j	98,3
N _{objectif de rejet}	mg N/L	60
N _{rejeté}	mg N/L	30
N _{à nitrifier}	Kg N/j	974,76
N _{à dénitrifier}	Kg N/j	974,76
Les besoins journalier en Oxygène		
Flux de DBO ₅ éliminé Le	Kg O ₂ /j	1 965,96
a' Coefficient d'oxydation de la DBO ₅	Kg O ₂ /Kg DBO ₅ éliminée	0,7
b' Coefficient de respiration endogène	kg O ₂ /Kg MVS/j	0,07
%MVS de la matière sèche volatile dans le bassin biologique	%	80
Concentration des MES dans le bassin biologique [MES] _a	g/l	4
Volume du bassin biologique V _{ba}	m ³	822,41
N _{à nitrifier}	Kg N/j	974,76
c' Taux de récupération de l'oxygène par dénitrification	Sans unité	0,7
N _{à dénitrifier}	Kg N/j	974,76
Besoin journalier en O ₂	Kg O ₂ /j	3 808,97
Les besoins horaires en Oxygène		
T _c Temps cumulé de marche des aérateurs	h/j	14

Besoin en O ₂ horaire	Kg O ₂ /h	272,07
La puissance des système d'aération		
Besoin en O ₂ horaire	Kg O ₂ /h	272,07
ASB Apport spécifique brut en eau claire	Kg O ₂ /Kw.h	2,5
FCG Facteur correctif global	Sans unité	0,5
P _{absorbée} Puissance absorbée	Kw	217,66
η Rendement	%	80
P _{installée} Puissance installée	Kw	272,08

10.2.2.8. Caractéristiques des eaux usées après le traitement biologique par MBR

Les caractéristiques des eaux usées à la sortie du traitement biologique par MBR comparées avec les normes de rejet de l'Espagne représentées dans le tableau suivant :

Tableau 4. 45: Les caractéristiques des eaux usées à la sortie du traitement biologique par MBR.

Paramètre	Concentration en entrée du MBR (mg/l)	Concentration à la sortie du MBR (mg/l)	Référence	Concentration en sortie du MBR (mg/l)	Pourcentage d'élimination retenu (%)	Normes de rejet au milieu naturel (mg/l)
DBO ₅	1 260	<5	Metcalf and Eddy (p.858), Provence-Alpes-Côte d'Azur, Newterra-MicroClear Membrans	5	99,6	120
DCO	1 944	<30	Metcalf and Eddy (p.858), Provence-Alpes-Côte d'Azur, Newterra-MicroClear Membrans	30	99,46	300
MES	216	<2	Metcalf and Eddy (p.858), Provence-Alpes-Côte d'Azur, Newterra-MicroClear Membrans	2	99,07	150
H&G	50	-	-	50	-	50
NTK	715	<20	Provence-Alpes-Côte d'Azur, Newterra-MicroClear Membrans	20	97,2	60
Pt	5,3	<4	Provence-Alpes-Côte d'Azur, Newterra-MicroClear Membrans	4	24,53	15

Le traitement biologique par le procédé MBR permet d'assurer une dépollution parfaite des eaux usées et d'avoir des concentrations de pollution très inférieures aux normes de rejet.

Les eaux usées épurées par le procédé MBR ne nécessitent pas de désinfection car ce procédé permet une élimination presque totale des virus et des bactéries contenues par les eaux usées. En plus le type de module utilisé, selon la société MicroClear, permet d'avoir des eaux à la fin de l'épuration qui sont réutilisables.

10.2.2.9. Traitement des boues

10.2.2.9.1. Estimation des boues produites

La grande partie des boues qui seront produites est constituée des matières organiques dégradées. La détermination des boues produites va se faire selon le flux de la DBO₅ éliminée.

Les boues produites par le traitement biologique vont se calculer selon la formule, [13] :

$$\text{Les boues produites (KgMS/j)} = k \times Le \quad (4.66)$$

Avec : k : Coefficient de production de boues, il dépend du type de la charge C_m (Kg MS/Kg DBO₅). [13]

Le : Le flux en DBO₅ éliminée (KgO₂/j).

Pour notre cas on choisit : $k=0,9$ Kg MS/Kg DBO₅ pour les stations d'épuration à faible charge [13], les boues produites sont :

$$\text{Les boues produites par le traitement biologique (KgMS/j)} = 0,9 \times 1\,965,96$$

$$\text{Les boues produites par le traitement biologique} = 1\,769,36 \text{ KgMS/j}$$

Les boues totales produites

$$\begin{aligned} &= \text{Les boues produites par le traitement physicochimique} \\ &+ \text{Les boues produites par le traitement biologique} \end{aligned}$$

$$\text{Les boues totales produites} = 2\,640,22 + 1\,769,36 = 4\,409,58 \text{ KgMS/j}$$

10.2.2.9.2. Epaissement gravitaire

Il est recommandé de choisir un épaisseur gravitaire suite à sa faible consommation d'énergie, l'absence de consommation des réactifs, son coût d'exploitation faible et sa simplicité d'entretien [14].

Les boues liquides extraites vont s'épaissir sous l'effet de leur propre densité. Les boues, préférentiellement hersées, sont introduites au sein d'une cuve cylindro-conique. Les boues épaissies sont extraites en fond de la cuve pour être dirigées vers les filières de déshydratation et stabilisation. L'excès de l'eau résultant de l'épaississement est récupérée par surverse en partie haute de l'épasseur gravitaire pour être en tête de la file eau [12].

On détermine la surface de l'épaississeur gravitaire selon [12] et [14] par la relation :

$$S_{\text{épaississeur}} = \frac{P_B}{C_S} \quad (4.67)$$

Avec : $S_{\text{épaississeur}}$: La surface de l'épaississeur gravitaire (m^2).

P_B : Les boues totales produites ($Kg \text{ MS/j}$).

C_S : La charge surfacique ($Kg \text{ MS/m}^2/\text{j}$).

La charge surfacique dépend de la nature des boues à traiter, pour les boues mixtes provenant du traitement primaire et traitement secondaire, la charge surfacique est de l'ordre de 30 à 50 $Kg \text{ MS/m}^2/\text{j}$. Pour notre cas, il est recommandé de choisir 40 $Kg \text{ MS/m}^2/\text{j}$.

La surface de l'épaississeur gravitaire est égale à :

$$S_{\text{épaississeur}} = \frac{4\,409,58}{40}$$

$$S_{\text{épaississeur}} = 110,24 \text{ m}^2$$

Soit un diamètre de l'épaississeur gravitaire de $D_{\text{épaississeur}} = 12 \text{ m}$

10.2.2.9.3. Déshydratation des boues par centrifugation

Le dimensionnement de l'unité de centrifugation s'effectue selon le débit des boues à traiter et selon les caractéristiques géométriques de la centrifugeuse utilisée.

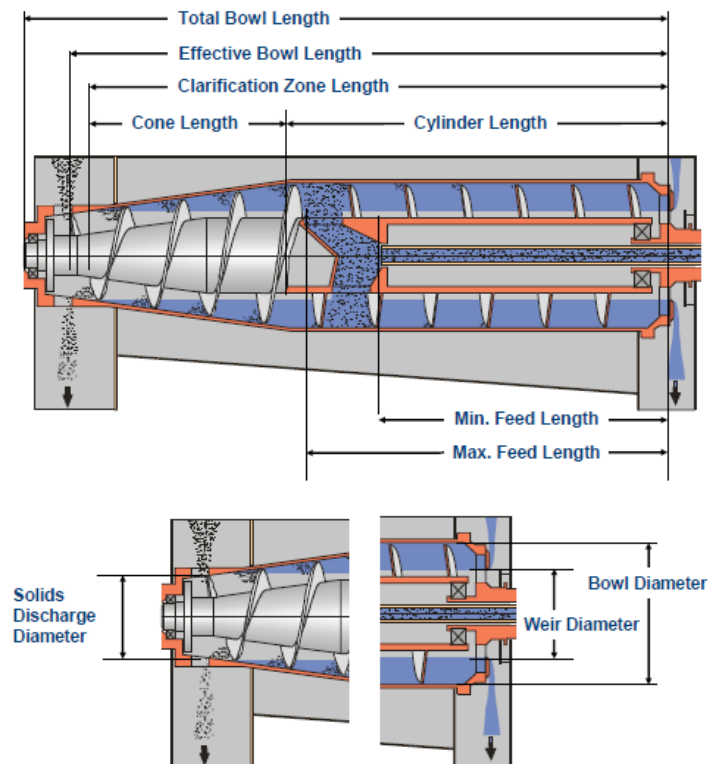


Figure 4. 22: Caractéristiques géométriques d'une centrifugeuse.

❖ **Calcul de la capacité unitaire maximale :**

La déshydratation des boues va être s'effectuée en cinq jours par semaine (5j/7j) et selon une durée de cinq heures par jours (5h/j).

La masse journalière des boues à traiter en 5 jours est calculée par :

$$\text{Masse journalière à traiter en 5 jours (KgMS/j)} = \text{Masse journalière (KgMS/j)} \times \frac{7}{5} \quad (4.68)$$

$$\text{Masse journalière à traiter en 5 jours (KgMS/j)} = 4\,409,58 \times \frac{7}{5}$$

$$\text{Masse journalière à traiter en 5 jours} = 6\,173,4 \text{ KgMS/j}$$

Il est recommandé d'utiliser trois centrifugeuses qui vont fonctionner 5 heures par jour.

La capacité unitaire maximale par centrifugeuse est calculée par :

$$\begin{aligned} \text{Capacité unitaire maximale par centrifugeuse (KgMS/h)} \\ = \frac{\text{Masse journalière à traiter en 5 jours (KgMS/j)}}{\text{Nombre d'heures de fonctionnement (h)} \times \text{Nombre de centrifugeuses}} \end{aligned} \quad (4.69)$$

$$\text{Capacité unitaire maximale par centrifugeuse (KgMS/h)} = \frac{6\,173,4}{5 \times 3}$$

$$\text{Capacité unitaire maximale par centrifugeuse (KgMS/h)} = 411,6 \text{ KgMS/h}$$

❖ **Calcul de débit de pompage des boues :**

Le débit de pompage des boues dépend de la capacité unitaire maximale par centrifugeuse et de la concentration des boues à traiter.

Le débit unitaire des pompes dépend du nombre de pompes par centrifugeuse, de la concentration de boues et de la capacité unitaire maximale par centrifugeuse.

Il est recommandé d'utiliser une pompe par centrifugeuse.

Le débit unitaire de pompage est calculé par :

$$\begin{aligned} \text{Débit unitaire de pompage (l/h)} \\ = \frac{\text{Capacité unitaire maximale par centrifugeuse (KgMS/h)}}{\text{Concentration des boues totales (Kg/l)} \times \text{Nombre de pompes par centrifugeuse}} \end{aligned} \quad (4.70)$$

$$\text{Débit unitaire de pompage (l/h)} = \frac{411,6 \times 1\,000}{80}$$

$$\text{Débit unitaire de pompage} = 5,14 \text{ m}^3/\text{h}$$

On peut atteindre une siccité à la sortie de la centrifugeuse de 17 à 20% et un taux de capture supérieur à 95% [12].

❖ **Le conditionnement :**

Les boues issues de l'épaississeur gravitaire ont une résistance à la filtration et un facteur de compressibilité trop élevés pour assurer une séparation correcte de l'eau et de la matière et rendre exploitables les différents équipements de déshydratation. Il faut donc préalablement casser la cohésion colloïdale de la boue et augmenter artificiellement la taille des particules qui la constitue par le conditionnement selon des procédés chimiques par des réactifs minéraux ou de polymère ou des procédés thermiques [13]. Pour notre cas, il est recommandé d'effectuer le conditionnement des boues par ajout du polymère.

Pour la centrifugation, le taux de conditionnement est de 5 à 11 g de polymère / Kg MS, pour notre cas on va prendre un taux de 8 g de polymère / Kg MS, donc la quantité de polymère à ajouter pour le conditionnement chaque jour est de :

$$\begin{aligned} \text{Quantité de polymère (Kg/j)} & \\ &= \text{Masse journalière à traiter en 5 jours (KgMS/j)} \\ &\times \text{Taux de conditionnement} \end{aligned} \quad (4.71)$$

Avec : Taux de conditionnement est de 8 g de polymère / Kg MS.

Les caractéristiques du réactif chimique utilisé sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 4. 46: Les caractéristiques du réactif utilisé.

Paramètre	Unité	Valeur
Taux de traitement	kg/t MS	8
Concentration de la solution	g/l	3
Nombre de pompes doseuses au total	u	3
Débit unitaire pompe doseuse	l/h	800

La quantité de polymère à ajouter est égale à :

$$\begin{aligned} \text{Quantité de polymère (Kg/j)} &= 4\,409,58 \times \frac{8}{1\,000} \\ \text{Quantité de polymère} &= 49,4 \text{ Kg/j} \end{aligned}$$

10.2.2.9.4. Stabilisation chimique des boues

La stabilisation chimique consiste à l'ajout d'un réactif (généralement de la chaux) aux boues après déshydratation qui provoque l'augmentation du pH et bloque l'activité des bactéries anaérobies pour éviter la production des odeurs.

L'unité de chaulage des boues est composée de :

- Un silo pour le stockage de la chaux.
- Un dispositif de reprise des boues chaulées vers le stockage des boues.
- Un malaxeur pour mélanger les boues après ajout de la chaux.

La quantité de chaux à ajouter est calculée par la formule, [12] :

$$Q_{chaux} = P_B \times \%_{chaux} \quad (4.72)$$

Avec : Q_{chaux} : La quantité de chaux à ajouter (Kg chaux/j).

P_B : La production de boues extraite (Kg MS/j).

$\%_{chaux}$: Le pourcentage de chaux par rapport au MS ($\%Ca(OH)_2/MS$).

$\%_{chaux}$: 30 à 40% $Ca(OH)_2/MS$. On choisit 35%.

La quantité de chaux à ajouter est égale à :

$$\begin{aligned} Q_{chaux} &= 4\,409,58 \times 35\% \\ Q_{chaux} &= 1\,543,35 \text{ Kg chaux/j} \end{aligned}$$

La production des boues après chaulage est majorée par 30 à 40% de la proportion d'ajout de la chaux ($\%_{chaux}$).

Les boues produites après chaulage sont estimées à :

$$P_{B \text{ après chaulage}} = P_B \times (1 + \%_{chaux}) \quad (4.73)$$

Avec : $P_{B \text{ après chaulage}}$: La production de boues après chaulage (Kg MS/j).

P_B : La production de boues extraites (Kg MS/j).

$\%_{chaux}$: Le pourcentage de chaux par rapport au MS ($\%Ca(OH)_2/MS$).

Les boues produites après chaulage sont égales à :

$$P_{B \text{ après chaulage}} = 4\,409,58,43 \times (1 + 35 \%)$$

$$P_{B \text{ après chaulage}} = 5\,952,93 \text{ KgMS/j}$$

Après chaulage on peut atteindre une siccité de 25% validée par la décharge contrôlée de Dakhla [14].

10.3. Etude de la deuxième variante (Procédé à boues activées BAC)

10.3.1. Caractéristiques du procédé BAC utilisé

Ce procédé de traitement biologique des eaux usées vise à reproduire les processus de décomposition des polluants qui se produisent naturellement dans le milieu récepteur.

Le traitement se fait par des micro-organismes qui consomment la matière organique soluble dans l'eau et la transforment en constituants cellulaires. A l'aide d'un système de décantation, ces microorganismes et d'autres matières en suspension peuvent être séparés mécaniquement de l'eau épurée.

Ce procédé est très efficace au sujet de l'élimination de la DBO₅, la DCO et les MES. Le rendement d'élimination de l'azote n'est pas élevé pour un procédé à boues activées d'où la nécessité de prévoir une zone d'anoxie assurant l'élimination de l'azote. Pour assurer une élimination poussée du phosphore il est conseillé de prévoir une zone d'anaérobie.

Pour notre cas, on recommande de placer un bassin d'anoxie en aval du bassin de filtration pour assurer une nitrification suivi d'une dénitrification de l'azote en se profitant des micro-organismes existant au niveau du bassin biologique qui est aéré et pour éviter la recirculation des boues vers le bassin d'anoxie, selon la figure suivante :

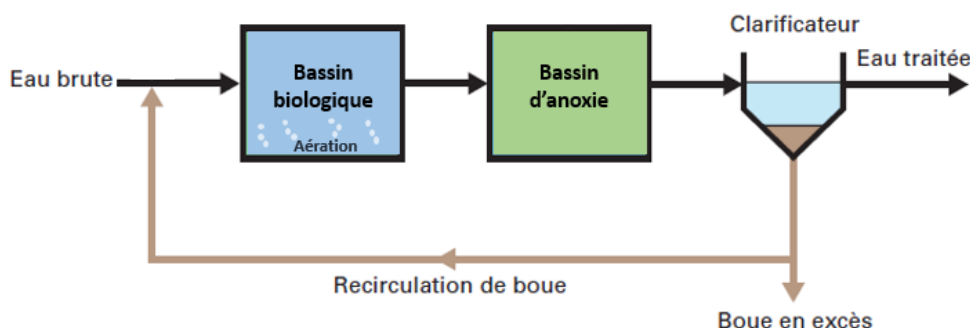


Figure 4. 23: Représentation du procédé à boues activée conventionnelles appliqué.

10.3.2. Dimensionnement du procédé BAC

10.3.2.1. Détermination du volume du bassin biologique

Le dimensionnement du bassin biologique est fait selon la même procédure appliquée au procédé MBR (la première variante).

Le procédé à boues activées permet d'avoir une concentration de la DBO₅ de 15 à 25 mg/l pour l'épuration des rejets des industries agroalimentaires ce qui équivaut à un taux d'élimination supérieur à 90% [10].

Selon une étude faite par le ministère de l'environnement et lutte contre les changements climatiques du Québec, le procédé à boues activées peut atteindre un pourcentage d'élimination des MES et de la DBO₅ supérieur à 90% [34].

Selon Suez Memento degrement, pour les stations d'épuration à faible charge, l'efficacité d'élimination de la DBO₅ peut atteindre un pourcentage de 95% [13]. Pour notre cas, on considère une efficacité d'élimination de la DBO₅ de 90%.

❖ **Les données nécessaires pour le dimensionnement du bassin biologique:**

Tableau 4. 47: Les données nécessaires pour le dimensionnement du volume du bassin biologique.

Données nécessaires	Unité	Valeur
Débit nominal	m ³ /j	1 566,5
S ₀ ([DBO ₅] à l'entrée du procédé BAC)	mg/l	1 260
C _m Charge massique ou F/M	g DBO ₅ /gMVES / j	0,2
X ou Concentration des SSLM	mg MES/l	5 000
K _d (Coefficient de mortalité)	j ⁻¹	0,06
Y (mg VSS/mgDBO ₅)	mg VSS/mg DBO ₅	0,6
Efficacité d'enlèvement de la DBO ₅	%	90
S ([DBO ₅] à la sortie du procédé BAC)	mg/l	126

La charge massique C_m est choisie selon les valeurs données pour les stations d'épuration de faible charge [10], [12], [13], [14], [34].

La valeur de X ou la concentration des solides en suspension dans la liqueur mixte et Y sont choisis selon les caractéristiques des stations d'épuration à faible charge [14], [34].

❖ **Le dimensionnement du bassin biologique :**

Le calcul du SRT, HRT et le volume, la surface et le diamètre du bassin biologique sera fait selon les formules (4.50), (4.51) et (4.52).

Donc on a les résultats suivants :

$$SRT = 20,83 \text{ j}$$

$$HRT = 1,26 \text{ j} = 30,24 \text{ h}$$

$$\text{Le volume du bassin biologique } V = 1\,973,79 \text{ m}^3$$

Pour une hauteur h = 3,5 m, la surface du bassin est égale à :

$$S = \frac{1\,973,79}{3,5} = 563,94 \text{ m}^2$$

Le diamètre du bassin est : $D = 26,8 \text{ m}$

Il est à souligner qu'il est prévu un marnage de 50 cm.

❖ **Le dimensionnement du bassin d'anoxie :**

Le temps de séjour est généralement de l'ordre de 6 à 7 heures. Pour notre cas on fixe le temps de séjour à 7 heures [12]. Le calcul du volume du bassin d'anoxie sera fait selon la formule (4.53). Donc : $V = 457 \text{ m}^3$ Il est à souligner qu'il est prévu un marnage de 50 cm.

10.3.2.2. Débit de recirculation des boues

Le débit de recirculation des boues est de l'ordre de 50% à 350%. [13], [14], [34]

Pour notre cas on prend un taux de recirculation de 150%.

Donc le débit de recirculation égale à :

$$\text{Débit de recirculation (m}^3/\text{j)} = 150\% \times \text{Débit des eaux usées (m}^3/\text{j)}$$

$$\text{Débit de recirculation (m}^3/\text{j)} = 150\% \times 1\,566,5$$

$$\text{Débit de recirculation} = 2\,349,75 \text{ m}^3/\text{j}$$

10.3.2.3. Dimensionnement du clarificateur

Le clarificateur sera de forme cylindrique et sa surface dépend essentiellement de la surface nécessaire pour la décantation et la surface de la jupe de répartition appelée aussi le Clifford.

❖ **La surface de décantation :**

La surface de décantation dépend du débit des eaux usées à traiter et de la vitesse ascensionnelle.

La vitesse ascensionnelle dépend de l'indice des boues et de la concentration des MES dans le bassin biologique.

Selon le manuel de l'ONEE-BO et Suez Memento degrement, la vitesse ascensionnelle est de l'ordre de :

$$V_{asc} \leq \frac{500}{I_b \times [MES]_a} \quad (4.74)$$

Avec : V_{asc} : La vitesse ascensionnelle (m/h).

I_b : L'indice de boue (ml/g MSS).

$[MES]_a$: La concentration en MES dans le bassin biologique (g/l).

L'indice de boue, selon [13] égale à 150 ml/g MSS pour les stations d'épuration à faible charge.

La concentration en MES dans le bassin biologique est égale à 4 g/l pour les stations d'épuration à faible charge [12], [13].

Donc la vitesse ascensionnelle est de l'ordre de :

$$V_{asc} \leq \frac{500}{150 \times 4}$$

$$V_{asc} \leq 0,83 \text{ m/h}$$

Selon les différentes références, la vitesse ascensionnelle pour les stations d'épuration à faible charge, est représentée dans le tableau suivant :

Tableau 4. 48: Les valeurs de la vitesse ascensionnelle pour les station d'épuration à faible charge (Pour le calcul de la surface de décantation).

La vitesse ascensionnelle (m/h)	La référence
0,3 - 0,66	Document de référence sur les meilleures techniques disponibles
0,8	ONEE-BO
0,6 - 0,8	Suezwaterhandbook
0,6	Ministère de l'environnement et lutte contre les changements climatiques-Québec

Pour notre cas on prend une valeur de la vitesse ascensionnelle de :

$$V_{asc} = 0,6 \text{ m/h}$$

La surface de décantation est calculée par la formule :

$$S_{décantation} = \frac{Q}{V_{asc}} \quad (4.75)$$

Avec : $S_{décantation}$: La surface de décantation (m²).

Q : Le débit des eaux usées à traiter (m³/h).

V_{asc} : La vitesse ascensionnelle (m/h).

La surface de décantation est égale à :

$$S_{décantation} = \frac{1\,566,5}{0,6 \times 24}$$

$$S_{décantation} = 108,78 \text{ m}^2$$

❖ La surface du Clifford (Surface de la jupe de répartition) :

Le rôle du Clifford est de dissipé au mieux l'énergie hydraulique afin d'éviter tout phénomène de turbulence.

La surface du Clifford est calculée par la formule : [12]

$$S_{Clifford} = \frac{Q + R}{V_{passage}} \quad (4.76)$$

Avec : $S_{Clifford}$: La surface du Clifford (m²).

Q : Le débit des eaux usées à traiter (m³/h).

R : Le débit de recirculation (m³/h).

$V_{passage}$: La vitesse de passage (m/h).

La vitesse de passage qui est conseillée selon [12] est égale à :

$$V_{\text{passage}} = 90 \text{ m/h}$$

Donc, la surface du Clifford est égale à :

$$S_{\text{Clifford}} = \frac{1\,566,5 + 2\,349,75}{90 \times 24}$$

$$S_{\text{Clifford}} = 1,81 \text{ m}^2$$

❖ **Les dimensions du clarificateur :**

La surface du clarificateur est calculée par la formule, [12] :

$$S_{\text{clarificateur}} = S_{\text{Clifford}} + S_{\text{décantation}} \quad (4.77)$$

Avec : $S_{\text{clarificateur}}$: La surface du clarificateur (m^2).

S_{Clifford} : La surface du Clifford (m^2).

$S_{\text{décantation}}$: La surface de décantation (m^2).

La surface du clarificateur est égale à :

$$S_{\text{clarificateur}} = 1,81 + 108,71$$

$$S_{\text{clarificateur}} = 110,59 \text{ m}^2$$

La profondeur du clarificateur d'une station d'épuration à faible charge est de l'ordre de 4,35 m selon Suez Memento degrement [13] et selon le ministère de l'environnement et lutte contre le changement climatique au Québec la profondeur est de l'ordre de 3,5 m à 6m.

Pour notre cas on choisit une profondeur de 4,5 m.

Le clarificateur va être de forme cylindrique, donc son diamètre est égal à :

$$D = 11,87 \text{ m}$$

10.3.2.4. Demande en Oxygène et Aération

La détermination de la demande en Oxygène et la puissance à installer pour l'aération seront faites selon la même procédure appliquée à la première variante (MBR).

❖ **Bilan préliminaire sur l'azote :**

Le bilan préliminaire sera fait selon la même procédure appliquée à la première variante (MBR), selon les équations de (4.54) à (4.61). On a les résultats suivants :

$$N_{\text{à nitrifier}} = N_{\text{à dénitrifier}} = 1\,120,05 - 5\% \times 1\,776,41 - \frac{1\,566,5}{1\,000} \times 50\% \times 60$$

$$N_{\text{à nitrifier}} = N_{\text{à dénitrifier}} = 984,24 \text{ Kg/j}$$

❖ Les besoins journaliers en Oxygène :

Selon la même procédure appliquée à la première variante (MBR) par l'équations (4.62).

Les données nécessaires pour le calcul sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 4. 49: Les données nécessaires pour le calcul du besoin journalier en Oxygène.

Données nécessaires	Unité	Valeur
Flux de DBO ₅ éliminée Le	Kg O ₂ /j	1 776,41
a' Coefficient d'oxydation de la DBO ₅	Kg O ₂ /Kg DBO ₅ éliminée	0,7
b' Coefficient de respiration endogène	kg O ₂ /Kg MVS/j	0,07
%MVS de la matière sèche volatile dans le Bioréacteur	%	80
Concentration des MES dans le Bioréacteur [MES] _a	g/l	4
Volume du Bioréacteur V _{ba}	m ³	1 973,79
N _a nitrifier	Kg N/j	984,24
c' Taux de récupération de l'oxygène par dénitrification	Sans unité	0,7
N _a dénitrifier	Kg N/j	984,24

Les besoins journaliers en Oxygène sont :

$$BO_{2 \text{ journalier}} = 0,7 \times 1\,776,41 + 0,07 \times 80\% \times 4 \times 1\,973,79 + 4,3 \times 984,24 - 2,85 \times 0,7 \times 984,24$$

$$BO_{2 \text{ journalier}} = 3\,954,29 \text{ KgO}_2/\text{j}$$

❖ Les besoins horaires en Oxygène :

Les besoins horaires en Oxygène sont déterminés selon la même procédure appliquée à la première variante (MBR) et suivant l'équation (4.63). Le temps cumulé de marche des aérateurs est égal à 14 heures [12].

Donc les besoins horaires en Oxygène sont :

$$BO_{2 \text{ horaire}} = \frac{3\,954,29}{14} = 282,45 \text{ KgO}_2/\text{h}$$

❖ La puissance des systèmes d'aération :

La puissance absorbée est calculée selon la même procédure faite pour la première variante (MBR) par les équations (4.64) et (4.65) en appliquant les mêmes valeurs de ASB, FCG et le rendement que la première variante (MBR). On a les résultats suivants :

$$P_{\text{absorbée}} = \frac{282,45}{2,5 \times 0,5} = 225,96 \text{ Kw}$$

$$P_{\text{installée}} = \frac{225,96}{80\%} = 282,45 \text{ Kw}$$

10.3.2.5. Caractéristiques du procédé BAC

Tableau 4. 50: Les caractéristiques du procédé Boues Activées Conventionnelles utilisé.

Le procédé utilisé: Boues Activées Conventionnelles (BAC)		
Le paramètre	Unité	Valeur
Le bassin biologique		
Débit nominal	m ³ /j	1 566,5
S ₀ ([DBO ₅] à l'entrée du procédé BAC	mg/l	1 260
C _m Charge massique ou F/M	g DBO ₅ /gMVES/ j	0,2
X ou Concentration des SSLM	mg MES/l	5 000
Âge des boues	j	30
K _d (Coefficient de mortalité)	j ⁻¹	0,06
Y (mg VSS/mgDBO ₅)	mg VSS/mg DBO ₅	0,6
Efficacité d'enlèvement de la DBO ₅	%	90
S ou DBO ₅ finale	mg/l	126
SRT (Age des boues)	j	20,83
HRT	j	1,26
HRT	h	30,24
Volume effectif du bassin biologique V _{ba}	m ³	1 973,79
Profondeur du bassin biologique	m	3,5
Surface du bassin biologique	m ²	563,94
Diamètre du bassin biologique	m	26,8
Le bassin d'anoxie		
Débit nominal	m ³ /j	1 566,5
Temps de séjour (6 à 7 heures)	h	7
Volume du Bassin d'Anoxie	m ³	457
Le débit de recirculation		
Taux de recirculation	%	150
Débit de recirculation quotidien	m ³ /j	2 349,75
Le clarificateur		
La surface du décantation		
Débit nominal	m ³ /j	1 566,5
Vitesse ascensionnelle	m/h	0,6
Surface de décantation	m ²	108,78
La surface du Clifford		
Débit nominal	m ³ /j	1 566,5
Débit de recirculation quotidien	m ³ /j	2 349,75
La vitesse de passage	m/h	90
Surface du Clifford	m ²	1,81
Les dimensions du clarificateur		
Surface de décantation	m ²	108,78
Surface du Clifford	m ²	1,81
Surface de clarificateur	m ²	110,59
Profondeur du clarificateur	m	4,5
Diamètre du clarificateur	m	11,87
L'aération et la demande en Oxygène		

Bilan préliminaire sur l'Azote		
$N_{entrée}$	Kg N/j	1 120,05
Flux de DBO ₅ éliminé Le	Kg O ₂ /j	1 776,41
$N_{assimilé}$	Kg N/j	88,82
$N_{objectif\ de\ rejet}$	mg N/l	60
$N_{rejeté}$	mg N/l	30
$N_{à\ nitrifier}$	Kg N/j	984,24
$N_{à\ dénitrifier}$	Kg N/j	984,24
Besoin journalier en Oxygène		
Flux de DBO ₅ éliminé Le	Kg O ₂ /j	1 120,05
a' Coefficient d'oxydation de la DBO ₅	Kg O ₂ /Kg DBO ₅ éliminée	0,7
b' Coefficient de respiration endogène	kg O ₂ /Kg MVS/j	0,07
%MVS de la matière sèche volatile dans le bassin biologique	%	80
Concentration des MES dans le bassin biologique[MES] _a	g/l	4
Volume du Bioréacteur V _{ba}	m ³	1 973,79
$N_{à\ nitrifier}$	Kg N/j	984,24
c' Taux de récupération de l'oxygène par dénitrification	Sans unité	0,7
$N_{à\ dénitrifier}$	Kg N/j	984,24
Besoin journalier en O ₂	Kg O ₂ /j	3 954,29
Besoin horaire en Oxygène		
Besoin journalier en O ₂	Kg O ₂ /j	3 954,29
Tc Temps cumulé de marche des aérateurs	h/j	14
Besoin en O ₂ horaire	Kg O ₂ /h	282,45
Puissance des système d'aération		
Besoin en O ₂ horaire	Kg O ₂ /h	282,45
ASB Apport spécifique brut en eau claire	Kg O ₂ /Kw.h	2,5
FCG Facteur correctif global	Sans unité	0,5
P _{absorbée} Puissance absorbée	Kw	225,96
η Rendement	%	80
P _{installée} Puissance installée	Kw	282,45

10.3.2.6. Caractéristiques des eaux usées après traitement biologique par BAC

Les caractéristiques des eaux usées à la sortie du traitement biologique par BAC comparées avec les normes de rejet de l'Espagne représentées dans le tableau suivant :

Tableau 4. 51: Les caractéristiques des eaux usées à la sortie du traitement biologique par BAC.

Paramètre	Concentration en entrée du BAC (mg/l)	Pourcentage d'élimination (%)	Référence	Pourcentage d'élimination retenu (%)	Concentration en sortie du BAC (mg/l)	Normes de rejet au milieu naturel (mg/l)
DBO ₅	2 599,2	>90	Document de référence sur les meilleures techniques disponibles , Suezwaterhandbook, MELCCC Québec, Metcalf and Eddy, W.W.Eckenfelder	90	259,92	120
DCO	7 321,5	>90	Office international de l'eau, MELCCC Québec, Metcalf and Eddy	90	732,15	300
MES	770	>90	Office international de l'eau, MELCCC Québec, Metcalf and Eddy	95	38,5	150
H&G	50	-	-	-	50	50
NTK	715	>95	MTD, Office international de l'eau, MELCCC Québec, Metcalf and Eddy, Suezwaterhandbook	95	35,75	60
Pt	5,3	>50	Office international de l'eau, MELCCC Québec, Metcalf and Eddy	50	2,65	15

Le procédé boues activées conventionnelles ne permet pas de vérifier les normes de rejets au milieu naturel pour la DBO₅ et le DCO d'où la nécessité d'un traitement tertiaire.

Le traitement tertiaire est effectué par un procédé d'adsorption du charbon actif granulé (Adsorption with Granular Activated Carbon) (GAC).

10.3.2.7. Traitement tertiaire par Adsorption par Charbon Actif Granulé (GAC)

Toutes les préparations de charbon actif fonctionnent selon un processus appelé adsorption. Lors de l'absorption, les composés sont répartis uniformément dans le produit absorbant, comme une éponge absorbant de l'eau. Cependant, en adsorption, les composés ne se lient qu'aux molécules de surface, créant un film.

Les molécules de carbone sont naturellement attractives. C'est-à-dire qu'ils recherchent activement d'autres molécules avec lesquelles ils peuvent se lier. L'immense surface et la nature hautement poreuse du charbon actif permettent aux composés adsorbés de pénétrer complètement dans le matériau, en recherchant tous les points de liaison disponibles.

Des réactions chimiques ont également lieu, transformant certains composés offensifs en variations moins indésirables. Bien que le charbon actif ne soit pas efficace contre tous les composés, il a la capacité de se lier aux composés des trois phases: liquide, solide et gazeux.

❖ **Caractéristiques du procédé :**

Les caractéristiques des procédés appliqués selon [39], sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 4. 52: Les caractéristiques du procédé CAG selon Sundstrom and Klei, Waste water Treatment 1997 p.270 et Metcalf and Eddy, Waste Water Engineering 1991, p.753.

Paramètre	Unité	Valeur
Hauteur de l'emballage	m	3-9
Dimensions des particules	mm	0,4-2,38
Vitesse ascensionnelle	l/m ² /s	1,4-6,8
Charbon nécessaire Prétraitement Traitement tertiaire	g charbon/m ³ eaux usées	60-200 25-50
Pression nécessaire	kPa/m de filtre	<20

Pour ce cas d'étude, il est recommandé de choisir une hauteur d'emballage de 6 m, une vitesse ascensionnelle de 4 l/m²/s et un taux de charbon nécessaire pour le traitement tertiaire de 40 g charbon/m³ des eaux usées.

La surface totale des lits utilisés est calculée par la formule, selon [40], par :

$$La\ surface\ totale\ des\ lits\ (m^2) = \frac{Débit\ des\ eaux\ usées\ (l/s)}{Vitesse\ ascensionnelle\ (l/m^2/s)} \quad (4.78)$$

$$La\ surface\ totale\ des\ lits\ (m^2) = \frac{1\ 450,5(l/s)}{4\ (l/m^2/s)} = 362,63\ m^2$$

10.3.2.8. Caractéristiques des rejets après traitement tertiaire

Paramètre	Concentration en entrée du GAC (mg/l)	Pourcentage d'élimination (%)	Référence	Pourcentage d'élimination retenu (%)	Concentration en sortie du BAC (mg/l)	Normes de rejet au milieu naturel (mg/l)
DBO ₅	2 59,92	>90	Devi et al. (2008), Healy et al.(2006), Syafalni s.(2012)	90	26	120
DCO	7 32,15	>90	Devi et al. (2008), Healy et al.(2006), Syafalni s.(2012)	90	73,2	300
MES	38,5	-	-	-	38,5	150
H&G	50	-	-	-	50	50
NTK	35,75	>50	Syafalni s.(2012)	50	17,8	60
Pt	2,65	-	-	-	2,65	15

10.3.2.9. Traitement des boues

Selon la même procédure appliquée à la première variante (MBR).

10.3.2.9.1. Estimation des boues produites

L'estimation des boues produites va se faire selon la même procédure appliquée à la première variante (MBR) et suivant l'équation (4.66) avec $k=0,9$ Kg MS/Kg DBO₅ pour les stations d'épuration à faible charge [13].

$$\text{Les boues produites par le traitement biologique (KgMS/j)} = 0,9 \times 1\,776,41$$

$$\text{Les boues produites par le traitement biologique} = 1\,598,77 \text{ KgMS/j}$$

Les boues totales produites

$$\begin{aligned} &= \text{Les boues produites par le traitement physicochimique} \\ &+ \text{Les boues produites par le traitement biologique} \end{aligned}$$

$$\text{Les boues totales produites} = 2\,640,22 + 1\,598,77 = 4\,239 \text{ KgMS/j}$$

10.3.2.9.2. Epaissement gravitaire

On détermine la surface de l'épaisseur par la même procédure appliquée au procédé MBR suivant l'équation (4.67). La charge massique est égale à 40 Kg MS/m²/j.

La surface de l'épaisseur gravitaire est égale à :

$$S_{\text{épaisseur}} = \frac{4\,239}{40} = 106 \text{ m}^2$$

$$\text{Soit un diamètre de l'épaisseur gravitaire de } D_{\text{épaisseur}} = 12 \text{ m}$$

10.3.2.9.3. Déshydratation des boues par centrifugation

Le dimensionnement de l'unité de centrifugation est effectué selon les équations (4.68) à (4.71).

❖ Calcul de la capacité unitaire maximale :

La déshydratation des boues va être effectuée en cinq jours par semaine (5j/7j) et selon une durée de cinq heures par jour (5h/j).

$$\text{Masse journalière à traiter en 5 jours} = 5\,934,6 \text{ KgMS/j}$$

Il est recommandé d'utiliser trois centrifugeuses qui vont fonctionner 5 heures par jour.

$$\text{Capacité unitaire maximale par centrifugeuse (KgMS/h)} = 395,6 \text{ KgMS/h}$$

❖ **Calcul de débit de pompage des boues :**

Le débit de pompage des boues dépend de la capacité unitaire maximale par centrifugeuse et de la concentration des boues à traiter.

$$\text{Débit unitaire de pompage} = 4,95 \text{ l/h}$$

On peut atteindre une siccité à la sortie de la centrifugeuse de 17 à 20% et un taux de capture supérieur à 95% [12].

❖ **Le conditionnement :**

Pour la centrifugation, le taux de conditionnement est de 5 à 11 g de polymère / Kg MS, pour notre cas on va prendre un taux de 8 g de polymère / Kg MS, donc la quantité de polymère à ajouter pour le conditionnement chaque jour est de :

Les caractéristiques du réactif chimique utilisé sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 4. 53: Les caractéristiques du réactif utilisé.

Paramètre	Unité	Valeur
Taux de traitement	kg/t MS	8
Concentration de la solution	g/l	3
Nombre de pompes doseuses au total	u	3
Débit unitaire pompe doseuse	l/h	800

La quantité de polymère à ajouter est égale à :

$$\text{Quantité de polymère} = 47,5 \text{ Kg/j}$$

10.3.2.9.4. Stabilisation chimique des boues

La stabilisation chimique des boues déshydratées va se faire par ajout de la chaux.

La détermination de la quantité de chaux nécessaire va se faire selon la même procédure appliquée à la première variante (MBR) selon l'équation (4.72) et (4.73) avec un %_{chaux} de 35%. La quantité de chaux à ajouter est égale à :

$$Q_{chaux} = 4\,239 \times 35\% = 1\,483,65 \text{ Kg chaux/j}$$

La production des boues après chaulage est majorée par 30 à 40% de la proportion d'ajout de la chaux (%_{chaux}).

$$P_{B \text{ après chaulage}} = 4\,239 \times (1 + 35\%)$$

$$P_{B \text{ après chaulage}} = 5\,722,65 \text{ KgMS/j}$$

Après chaulage on peut atteindre une siccité de 25% validée par la décharge contrôlée de Dakhla [14].

10.4. La variante de traitement biologique choisie

Les critères de comparaison entre les deux variantes sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 4. 54: Les critères de comparaison entre les deux variantes.

	MBR	BAC
[DBO ₅] à la sortie (mg/l)	5	26
[DCO] à la sortie (mg/l)	30	73,2
[MES] à la sortie (mg/l)	2	38,5
[H&G] à la sortie (mg/l)	50	50
[NTK] à la sortie (mg/l)	20	17,87
[Pt] à la sortie (mg/l)	4	2,65
La surface requise (m ²)	388,15	805,07
Besoin en oxygène (Kg O ₂ /j)	3 808,97	3 954,29
Production de boues (Kg/j)	4 409,58	4 239

La variante du procédé MBR permet une vérification des normes de rejet au milieu naturel. De plus il n'y a pas une grande différence entre les deux variantes au sujet de l'aération et traitement des boues d'où les frais de l'aération et du traitement des boues pour les deux variantes seront presque égaux.

La surface requise par le procédé de bioréacteur à membrane (MBR) est de 388,15 m², et pour le procédé à boues activées conventionnelles (BAC) on a une surface de 805,07 m².

- **Pour des raisons de l'efficacité et selon des contraintes foncières limitées selon le plan d'aménagement proposé, on choisit le procédé de bioréacteur à membrane (MBR) occupant le moindre de surface.**

11. CONDUITE D'EVACUATION DES EAUX EPUREES VERS L'OCEAN

L'évacuation des eaux épurées vers l'océan va être effectué par écoulement gravitaire selon une longueur de 3,22 km. La conduite de refoulement va être en PVC, son diamètre est calculé par :

$$D_{calculé} = \sqrt{\frac{4 \times Q_{perméat}}{\pi \times v}}$$

Avec : $D_{calculé}$: diamètre calculé de la conduite de refoulement en (m).

$Q_{perméat}$: Débit de perméat en (m³/s).

v : La vitesse d'écoulement (m/s).

Pour une première approche du diamètre, on fixe la vitesse à : $v = 1 \text{ m/s}$

$$\text{D'où : } D_{\text{calculé}} = \sqrt{\frac{4 \times 87,02}{\pi \times 1}} = 175,43 \text{ mm}$$

Donc soit un diamètre nominale : DN 200 avec un diamètre intérieur de :

$$D_{\text{intérieur}} = 182 \text{ mm}$$

On calcule la vitesse d'écoulement des eaux épurées :

La vitesse de l'écoulement doit être dans la tranche suivante :

$$0,5 \text{ m/s} < v < 2 \text{ m/s}$$

Le calcul de la vitesse va être effectué par la formule :

$$v = \frac{4 \times Q_{\text{perméat}}}{\pi \times D_{\text{intérieur}}^2}$$

Avec : v : La vitesse d'écoulement (m/s).

$D_{\text{intérieur}}$: diamètre intérieur de la conduite de refoulement en (m).

$Q_{\text{perméat}}$: Débit de perméat en (m³/s).

Donc la vitesse est égale à :

$$v = \frac{4 \times 87,02 / 3\,600}{\pi \times (182 / 1\,000)^2}$$

$$v = 0,94 \text{ m/s}$$

Donc la vitesse d'écoulement est vérifiée et on peut effectuer l'évacuation des eaux usées épurées vers l'océan par une conduite en PVC de diamètre nominal DN 200 et un diamètre intérieur de 182 mm.

VI. ETUDE CAPEX ET OPEX DU PROJET

Les prix d'investissement adoptés sont donnés par les différents fournisseurs contactés des équipements commercialisés. Les prix d'exploitation sont donnés par l'ONEE-BO selon les différents projets similaires déjà réalisés.

Pour chaque filière d'épuration on détermine les coûts d'investissement des ouvrages utilisés et les coûts d'exploitation.

1. La station de dessalement des eaux de forages

Les frais d'investissement d'une station de dessalement par Osmose Inverse est de l'ordre de : 1 000 000 DHTTC/l/s selon l'ONEE-BO. (2 777 777,78 DHTTC/m³/h).

Pour un débit par train de 5,98 m³/h on a les frais d'investissement sont de :

$$1\,661\,111 \text{ DHTTC}$$

Pour un débit total de la station de 29,9 m³/h on a les frais d'investissement sont de l'ordre de :

8 305 555 DHTTC

Les frais d'exploitation de la station de traitement par Osmose Inverse sont calculés par l'application IMSDesign. Les données nécessaires pour le calcul, [12] :

- Le prix de l'énergie est de : 1 DH/Kw.h.
- Les frais de maintenance : 3% du coût total d'investissement.
- Le prix de l'acide ajouté (HCl) est choisi de l'ordre de 50 DH/Kg, et le prix d'une membrane ESPA-2540 est de l'ordre de 1 000 DH.
- La durée de vie de la station de dessalement est de 15 ans.
- La durée de vie des membranes est de 5 ans.
- Le taux d'intérêt est de 10%.
- Le facteur de l'usine est de 90%.

Calcul des coûts				
Capacité usine	m ³ /h	5.98	Durée de vie usine, années	15.0
Investissement spécifique, MAD/m ³ /h		277777.78	Durée de vie membrane, années	5.0
Investissement, MAD		1661111	Coût membrane, MAD/Elément	1000
Taux d'intérêt, %		10.0	Nombre d'éléments	125
Facteur de l'usine, %		90.0	Coût séquestrant	MAD/kg 0.00
Coût de l'énergie, MAD/kwhr		1.000	Dosage séquestrant	mg/l 0.0
Consommation énergétique	kwhr/m ³	2.81	Coût acide	MAD/kg 50.00
Maintenance (% de l'investissement)		3.0	Dosage acide	mg/l 117.0

Figure 4. 24: Les données nécessaires pour le calcul du prix de vente de l'eau et les frais d'exploitation.

Les résultats du calcul du prix de vente d'eau traitée et les frais d'exploitation par m³ d'eau traitée sont représentées dans la figure suivante :

Résultats de calcul des coûts		
Coût en capital	MAD/m ³	3.09
Coût de l'énergie	MAD/m ³	2.81
Coût des produits chimiques	MAD/m ³	19.50
Coût de remplacement membrane	MAD/m ³	0.53
Coût de la maintenance	MAD/m ³	1.06
Coût total de l'eau	MAD/m³	26.99

Figure 4. 25: Le prix de vente de l'eau traitée et les frais d'exploitation.

- Le prix de vente de l'eau traitée aux usines est de 27 DH/m³.

Pour un débit d'eau traité de 29,9 m³/h et une durée de fonctionnement de 15 h/j, les frais d'exploitation sont :

Tableau 4. 55: Les frais d'exploitation de la station de dessalement des eaux de forages.

Désignation	Prix TTC
Frais d'énergie (DH/an)	460 004
Frais des produits chimique (DH/an)	3 192 199
Frais de maintenance (DH/an)	173 525
Frais d'exploitation totaux (DH/an)	3 825 728

2. La station de pompage et conduite de refoulement

Les frais d'investissement hors taxes pour la station de pompage sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 4. 56: Les frais d'investissement de la station de pompage et conduite de refoulement.

Désignation	Référence	Prix HT
Coût total de la station de pompage (DH)	ONEE-BO	1 022 621
Coût Génie Civil (DH) (35% Coût total de la station de pompage)	ONEE-BO	357 917
Coût des équipements (DH) (65% Coût total de la station de pompage)	ONEE-BO	664 704
Coût des pompes choisies (DH)	Flygt	208 636
Coût de la conduite de refoulement (DH)	ONEE-BO	1 034 438
Coût total (Conduite de refoulement + Station de pompage) (DH)		2 057 059

Les frais d'exploitation sont composés des frais d'énergie et des frais d'entretien. Il est recommandé d'utiliser les données suivantes, [12] :

- Le prix de l'énergie est de : 1 DH/Kw.h.
- Les frais d'entretien de conduite : 0,5% du coût total.
- Les frais d'entretien génie civil : 0,5% du coût total.
- Les frais d'entretien des équipements : 3% du coût total.
- Les frais d'entretien de la ligne électrique : 1% du coût total.

Les frais d'exploitation pour la station de pompage sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 4. 57: Les frais d'exploitation pour la station de pompage et conduite de refoulement.

Désignation	Prix HT
Frais d'énergie	
Frais d'énergie (DH/an)	32 122
Frais d'entretien	
Conduites (DH/an) (0,5% Coût total)	10 285
Génie Civil (DH/an) (0,5% Coût total)	10 285
Equipements (DH/an) (3% Coût total)	61 712
Ligne électrique (DH/an) (1% Coût total)	20 571
Les frais d'exploitation totaux pour la station de pompage (DH/an)	134 975

3. La station d'épuration des eaux usées

3.1. Les frais d'investissement

3.1.1. Le prétraitement

Les frais d'investissement de prétraitement hors taxes sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 4. 58: Les frais d'investissement de la filière de prétraitement.

Désignation	Référence	Prix HT
Dégrillage		
Dégrilleur automatique (20 mm) (DH)	Hydranet	300 000
Tamisage		
Tamis rotatif (600 µm) (DH)	Hydranet	750 000
Compacteur associé au tamis (DH)	Hydranet	300 000
Dessablage et dégraissage		
Dessableur-dégraisseur aéré (DH)	Hydranet	500 000
Coût total de la filière de prétraitement (DH)		1 850 000

3.1.2. Le bassin tampon et l'unité de mesure de débit

Les frais d'investissement du bassin tampon choisi et l'unité de mesure de débit sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 4. 59: Les frais d'investissement du bassin tampon et unité de mesure de débit.

Désignation	Référence	Prix HT
Bassin Tampon		
Bassin tampon acier vitrifié (DH)	Hydranet	800 000
Génie Civil (DH)	Hydranet	600 000
Equipements (DH)	Hydranet	500 000
Coût total du bassin tampon (DH)		1 900 000
Unité de mesure de débit		
Débitmètre (ISMADLK 103) (DH)	ISMA	200 000
Canal Venturi ISMA (type IV) (DH)	ISMA	75 000
Coût total de l'unité de mesure de débit (DH)		275 000

3.1.3. Le traitement primaire

Les frais d'investissement du traitement primaire sont représentés dans la tableau suivant :

Tableau 4. 60: Les frais d'investissement du traitement primaire.

Désignation	Référence	Prix HT
Coagulation-Floculation		
2 pompes d'injection de chlorure de fer		
2 pompes d'injection de la chaux		
2 pompes d'injection de polymère		
Moteur d'agitation pour la coagulation		
Moteur d'agitation pour la floculation		
Cuve de stockage du chlorure de fer		
Cuve de stockage de la chaux		
Cuve de stockage du polymère		
Coût total de coagulation-floculation (DH)	Hydranet	800 000
Flottation		
Flottateur à air dissous (DH) (avec équipements)	Hydranet	1 421 000

3.1.3. Le traitement secondaire (MBR)

Les frais d'investissement du procédé du bioréacteur à membrane sont donnés par l'ONEE-BO. Ils sont estimés de 600 DHHT/m³/j.

Pour un débit des eaux usées traitées de 1 566,5 m³/j, le prix d'investissement est de :

9 399 900 DHHT

3.1.4. Le traitement des boues

Les frais d'investissement du traitement des boues sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 4. 61: Les frais d'investissement de traitement des boues.

Désignation	Référence	Prix HT
Epaississeur gravitaire (DH)	ONEE-BO	600 000
Centrifugeuse (3 centrifugeuses) (DH)	HUBER	2 100 000
Pompe à boues (3 pompes à boues) (DH)	Flygt	1 050 000
Coût total du traitement des boues (DH)		3 750 000

3.1.6. L'évacuation des eaux épurées aux milieu naturel

Le prix d'investissement de la conduite d'évacuation aux milieu naturel est représenté dans le tableau suivant :

Tableau 4. 62: Les frais d'investissement pour la conduite d'évacuation vers la mer.

Désignation	Référence	Prix HT
Conduite de refoulement au milieu naturel		
Prix unitaire de DN 200 (mm) (DH/m)	ONEE-BO	500
Conduite DN 200(mm) et de longueur de 3,2Km		1 600 000

3.2. Les frais d'exploitation

3.2.1. Prétraitement, bassin tampon, traitement primaire et traitement des boues

Les frais d'exploitation de la station d'épuration se composent des frais d'énergie consommée par les différentes installations, des frais d'entretien des équipements, des frais d'entretien des ouvrages génie civil, des frais de l'achat des réactifs et les frais du personnel. Pour la détermination des frais d'exploitation on considère les frais suivant donnés par l'ONEE-BO :

Tableau 4. 63: Approche des frais d'exploitation.

Frais de maintenance	Génie civil : 0,5% par an du montant des investissements Equipement : 3% par an du montant des investissements
Frais d'énergie	1 DH/KWh
Evacuation des boues	0,05 DH/m ³
Frais du Personnel	Laborantin : 145 000 DH/agent/an Agents STEP : 110 000 DH/agent/an Electromécaniciens : 145 000 DH/gent/an
Frais d'analyse	150 000 DH/an
Frais des réactifs	Dépendent du réactif utilisé et du fournisseur

3.2.1.1. Les frais d'énergie

Les frais d'énergie sont calculés à partir un bilan d'énergie effectué pour les différents équipements installés dans la STEP. Le tableau suivant représente le bilan d'énergie effectué pour les procédés de prétraitement jusqu'au traitement primaire.

Tableau 4. 64: Le bilan d'énergie et les frais d'énergie.

Désignation	Puissance (Kw)	Nombre	Durée de fonctionnement		Frais d'énergie consommée HT (DH/an)
			h/j	h/an	
Prétraitement					
Dégrilleur automatique (20mm)	0,35	1	15	5 415	1 895,25
Tamis rotatif (600 µm)	0,55	1	15	5 415	2 978,25
Bassin Tampon					
Agitateur	10,68	1	24	8 664	92 531,52
Coagulation-Floculation-Flottation à air dissous					
Agitateur pour la coagulation	4,55	1	18	6 498	29 565,9
Agitateur pour la floculation	0,128	1	18	6 498	831,74
Pompe doseuse pour le chlorure ferrique	0,2	2	18	6 498	2 599,2
Pompe doseuse pour la chaux	0,2	2	18	6 498	2 599,2
Pompe doseuse pour le polymère	0,2	2	18	6 498	2 599,2
Flottateur à air dissous (Hydranet)	0,55	1	18	6 498	3 573,9
Traitement des boues					
Centrifugeuse	2,3	3	18	6 498	44 836,2
Pompe à boues	0,1	3	18	6 498	1 949,4
Les frais totaux d'énergie					
Les frais totaux d'énergie (DH/an)					185 959

3.2.1.2. Les frais des réactifs

Les frais des réactifs sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 4. 65: Les frais des réactifs.

Désignation	Quantité journalière (Kg/j)	Quantité annuelle (tonne/an)	Prix unitaire (DH/tonne)	Montant HT (DH/an)
Chlorure ferrique commercialisé (pour la coagulation)	579,32	209,13	2 000	418 260
Polymère commercialisé (pour la floculation et le conditionnement des boues)	81,61	29,46	1 000	29 460
La Chaux commercialisée (pour traitement primaire et traitement de boues)	1 718,94	620,54	1 000	620 540
Les frais des réactifs (DH/an)				1 068 260

3.2.1.3. Les frais d'entretien et du personnel

Les frais totaux d'entretien et du personnel sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 4. 66: Les frais d'entretien et du personnel.

Désignation	Montant HT
Frais de maintenance (DH/an)	Génie civil : 42 230
	Equipement : 235 380
Evacuation des boues (DH/an)	1 065
Personnel	Laborantin : 145 000 DH/agent/an
	Agents STEP : 110 000 DH/agent/an
	Electromécaniciens : 145 000 DH/agent/an
Frais d'analyse (DH/an)	150 000

3.2.2. Traitement biologique (MBR)

Les frais d'exploitation du procédé du bioréacteur à membrane sont donnés par l'ONEE-BO. Ils sont estimés de 140 DHHT/an/m³/j.

La consommation énergétique du système membranaire est de l'ordre de 0,3 à 0,4 Kw.h/m³ d'eau traitée pour les stations d'épuration dont EH supérieur à 5 000 selon la revue mensuelle des spécialistes de l'environnement.

Pour les frais d'énergie, le procédé MBR va consommer une énergie de 0,35 Kw.h/m³.

Les frais d'exploitation et d'énergie sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 4. 67: Les frais d'exploitation et d'énergie pour le procédé MBR.

Désignation	Référence	Prix HT
Frais d'exploitation (DH/an)		
Prix unitaire (DH/an/m ³ /j)	ONEE-BO	140
Débit des eaux usées traitées (m ³ /j)		1 566,5
Frais d'exploitation (DH/an)		219 310
Frais d'énergie (DH/an)		
Energie consommée (Kw.h/m ³)	La revue mensuelle des spécialistes de l'environnement	0,35
Débit des eaux usées traitées (m ³ /j)		7 220
Energie consommée totale (Kw.h/an)		912 247
Prix unitaire (DH/Kw.h)	ONEE-BO	1
Frais d'énergie (DH/an)		912 247

4. Récapitulatif des coûts

Le projet qui comprend la construction d'une station de pompage, la construction d'une station de dessalement des eaux de forage et la construction d'une station d'épuration des eaux usées va être réalisé par un investissement de :

29 973 355 DHHT ce qui correspond à 35 968 026 DHTTC.

Les frais d'exploitation de l'ensemble du projet qui comprennent les frais d'énergie, les frais d'entretien et les frais des réactifs sont de l'ordre de :

5 685 511 DHHT/an ce qui correspond à 6 822 613 DHTTC/an.

5. La redevance de déversement des eaux usées industrielles au milieu naturel

Au cas de non traitement des eaux usées de six unités projetées de la zone industrielle de Dakhla, la redevance de déversement des eaux usées industrielles au milieu naturel est déterminée par la formule exprimée dans [36] :

$$R = T \times N \quad (4.79)$$

Avec : R : La redevance du déversement des eaux usées industrielles (DH).

T : Le taux de redevance qui est égal (DH/unité de pollution), il est de 0,7 DH/unité de pollution.

N : Le nombre d'unité de pollution.

Le nombre d'unités de pollution N visé à l'article 16 du décret n° 2-04-553 est calculé selon la formule suivante, [37] :

$$N = 0,6 \times MO + 0,15 \times MES + 6,5 \times ML \quad (4.80)$$

Avec : N : Le nombre d'unité de pollution.

MES : La quantité des matières en suspension (Kg/an).

ML : La quantité des métaux lourds (Kg/an).

MO : La quantité des matières oxydables (Kg/an). Elle est égale à :

$$MO = \frac{2 \times DBO_5 + DCO}{3} \quad (4.81)$$

Avec : DBO_5 : La quantité de la demande biologique en oxygène après 5 jours (Kg/an).

DCO : La quantité de la demande chimique en oxygène (Kg/an).

$$DBO_5 = 1\,979\,272,75 \text{ Kg/an}; DCO = 3\,053\,735 \text{ Kg/an}; MES = 763\,435,58 \text{ Kg/an};$$

$$ML = 28\,275,325 \text{ Kg/an}$$

La quantité des matières oxydables est égale à :

$$MO = \frac{2 \times 1\,979\,272,75 + 3\,053\,735}{3} = 2\,337\,426,83 \text{ Kg/an}$$

Le nombre d'unités de pollution N est égale à :

$$N = 0,6 \times 2\,337\,426,83 + 0,15 \times 763\,435,58 + 6,5 \times 28\,275,325$$

$$N = 1\,700\,761,05 \text{ unités de pollution}$$

La redevance de déversement des eaux usées industrielles au milieu naturel est égale à :

$$R = 0,7 \times 1\,700\,761,05$$

$$R = 1\,190\,532,74 \text{ DH}$$

Les six unités industrielles projetées de la zone industrielle de Dakhla doivent payer 1 190 533 DH/an au cas de déversement des rejets liquides au milieu naturel.

CONCLUSION GENERALE

Ce projet consiste en l'élaboration d'un avant-projet pour la conception d'une station d'épuration des effluents liquides des usines de conserverie de poisson et de production de la farine et l'huile de poisson des unités industrielles projetées de la zone industrielle de Dakhla. Une estimation des débits des eaux usées et des caractéristiques des rejets a été faite en vue d'avoir une idée sur les dimensions des ouvrages d'épuration et de traitement des eaux. Vue les caractéristiques de ces rejets qui ne sont pas conformes aux normes de rejets à la mer, représentent un impact sur le développement des ressources en poisson de la ville Dakhla. Les effluents générés sont difficiles à être biodégradables à cause de la qualité d'eau utilisée dans le processus de production, pour éviter ce problème une station de dessalement des eaux de forages avant leur utilisation pour le traitement de poisson a été projetée.

L'épuration des eaux usées générées par ces usines va être assurée par un traitement physico-chimique constitué d'une coagulation-floculation et flottation à air dissous suivi d'un traitement biologique par le procédé de bioréacteur à membrane. Les caractéristiques des eaux épurées à la fin de ce traitement satisfaites aux exigences des normes de rejet à la mer selon la réglementation de l'Espagne.

Malgré le prix d'investissement et les frais d'exploitation qui sont supérieurs à la redevance des rejets industriels au milieu naturel, l'impact sur les ressources de poisson de la ville Dakhla va être éliminé et les unités industrielles garderont une image de marque pour leur respect de l'environnement.

Pour compenser les frais d'exploitation il est recommandé d'assurer une réutilisation des boues traitées et une réutilisation des eaux épurées. Pour que le projet sera réalisé, il est recommandé de réaliser une étude d'impact afin de déterminer les impacts négatifs du projet sur l'environnement et de proposer des mesures d'élimination des impacts et de compensation.

L'ONEE-BO représenté par sa Direction de l'Assainissement et de l'Environnement déploie des efforts énormes afin de fixer la conscience environnementale chez les industries pour assurer un développement durable et une protection des ressources naturelles.

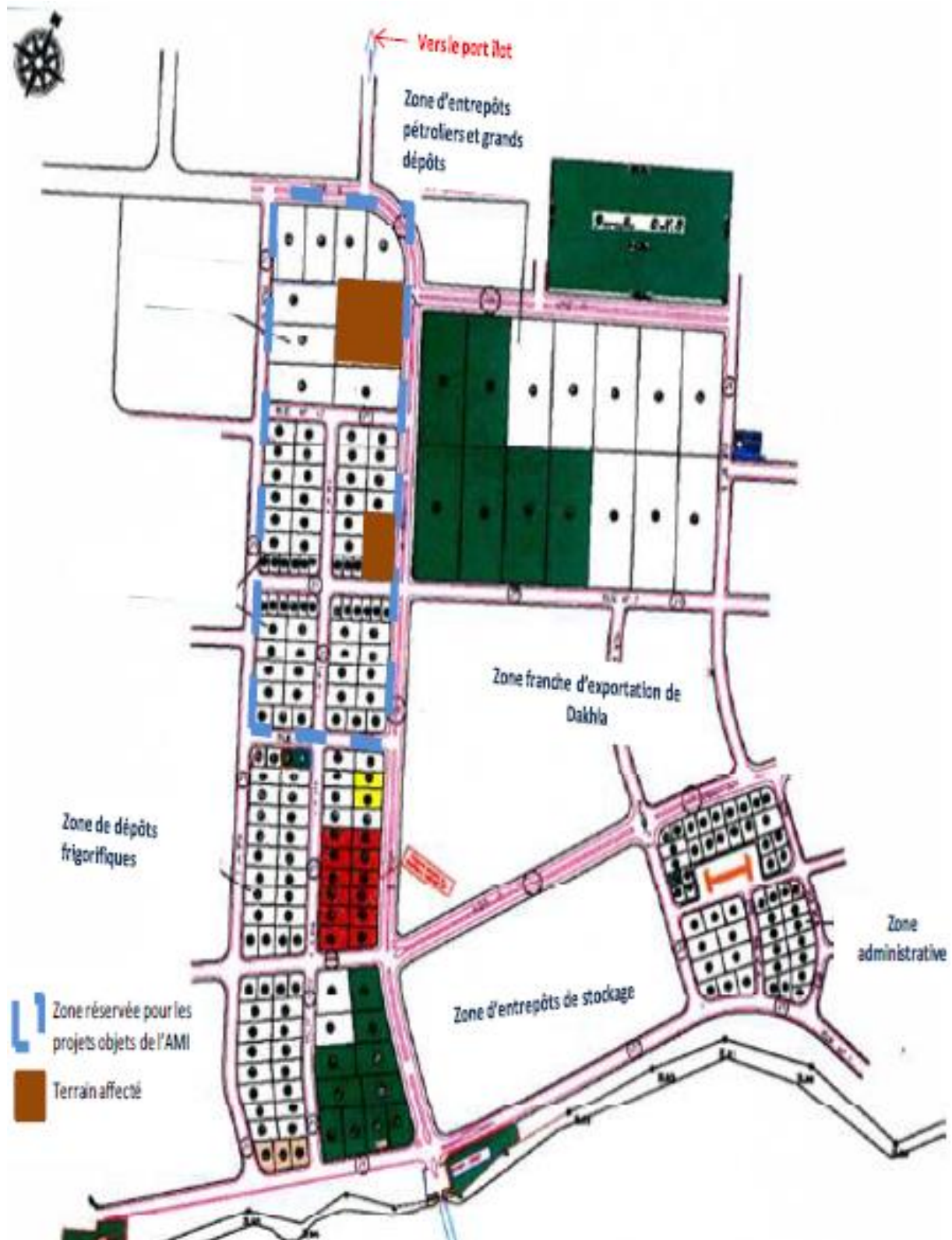
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] www.ces.ma
- [2] www.water.gov.ma
- [3] www.lydec.ma
- [4] www.pncl.gov.ma
- [5] [Fr.wikipedia.org](http://fr.wikipedia.org)
- [6] www.onep.ma
- [7] www.fenip.com
- [8] www.sahara-developpement.com
- [9] Appel à Manifestation d'Intérêt
- [10] Document de référence sur les meilleures techniques disponibles (Industries agro-alimentaires et laitières)
- [11] Bulletin de l'office-des recherches sur les pêcheries du Canada
- [12] Manuels de conception et de dimensionnement des ouvrages d'assainissement liquide-ONEE-BO
- [13] www.suezwaterhandbook.fr
- [14] Waste water engineering treatment and reuse Metcalf and Eddy fourth edition.
- [15] W. Wesly Eckenfelder, Jr. Industrial Water Pollution Control (Third edition)
- [16] Rapport mission I provisoire réaliser par l'ONEE-BO : Etude de la station d'épuration des eaux usées du port Dakhla
- [17] Définition et calcul des équivalents-habitants- Notice d'information 4.2.024 - Direction de l'aménagement, de l'environnement et des constructions DAEC- France.
- [18] Tuyaux en PVC pour l'assainissement- SIRCI CRESINTEX
- [19] Xylect.com
- [20] TARIFICATION en Euros 2013.01.CE En vigueur au : 01.01.2013-Pompes 3000 C-D-H-N – Xylem Flygt
- [21] Notice technique-Flygt 3127, 50Hz-LENNTECH Water treatment solution
- [22] www.mddep.gouv.qc.ca
- [23] www.3v-tech.cn/fr/technologies-and-solutions/12/chlorure-ferrique

- [24] French.alibaba.com
- [25] Bluwat:french.waterpurifyingchemicals.com
- [26] Référentiel de conception et de dimensionnement des ouvrages d'assainissement liquide collectif, ONEE, Edition 2013
- [27] Épuration de la matière organique en milieu salin-Olivier Basuyaux, Stéphanie Pétinay, Olivier Richard, Patrick Vincent
- [28] GisBioSTEP - l'Effet des Chlorures sur le fonctionnement biologique d'une station biologique urbaine
- [29] PROCEDES INTEGRES COUPLANT L'ELECTRODIALYSE ET LE TRAITEMENT BIOLOGIQUE : INFLUENCE DE LA COMPOSITION IONIQUE ET APPLICATION AU TRAITEMENT DES EFFLUENTS SALINS-Elodie Singlande
- [30] Etude comparative de l'efficacité des traitements d'épuration des eaux usées pour l'élimination des micro-organismes pathogènes - Directeur : Mr Servais - Université Libre de Bruxelles
- [31] Les Bioréacteurs à Membranes (BRM) en Provence-Alpes-Côte d'Azur-Une technologie performante mais exigeante-ARPE
- [32] Newterra-MicroClear Membrans
- [33] www.huber.fr
- [34] Ministère de l'environnement et lutte contre les changements climatiques-Québec.
- [35] Office national de l'eau
- [36] Décret n° 2-04-553 du 13 hijra 1425 (24 janvier 2005) relatif aux déversements, écoulements, rejets, dépôts directs ou indirects dans les eaux superficielles ou souterraines-Article 16.
- [37] Bulletin officiel- n°5440 –24 joumada II 1427 (20-07-2006).
- [38] Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires rurales Étude des prétraitements compacts basés uniquement sur le tamisage fin, Jean-Pierre Canler, Jean-Marc Perret—Cemagref.
- [39] Adsorption with Granular Activated Carbon (GAC)-Piero M.Armenante.

ANNEXES

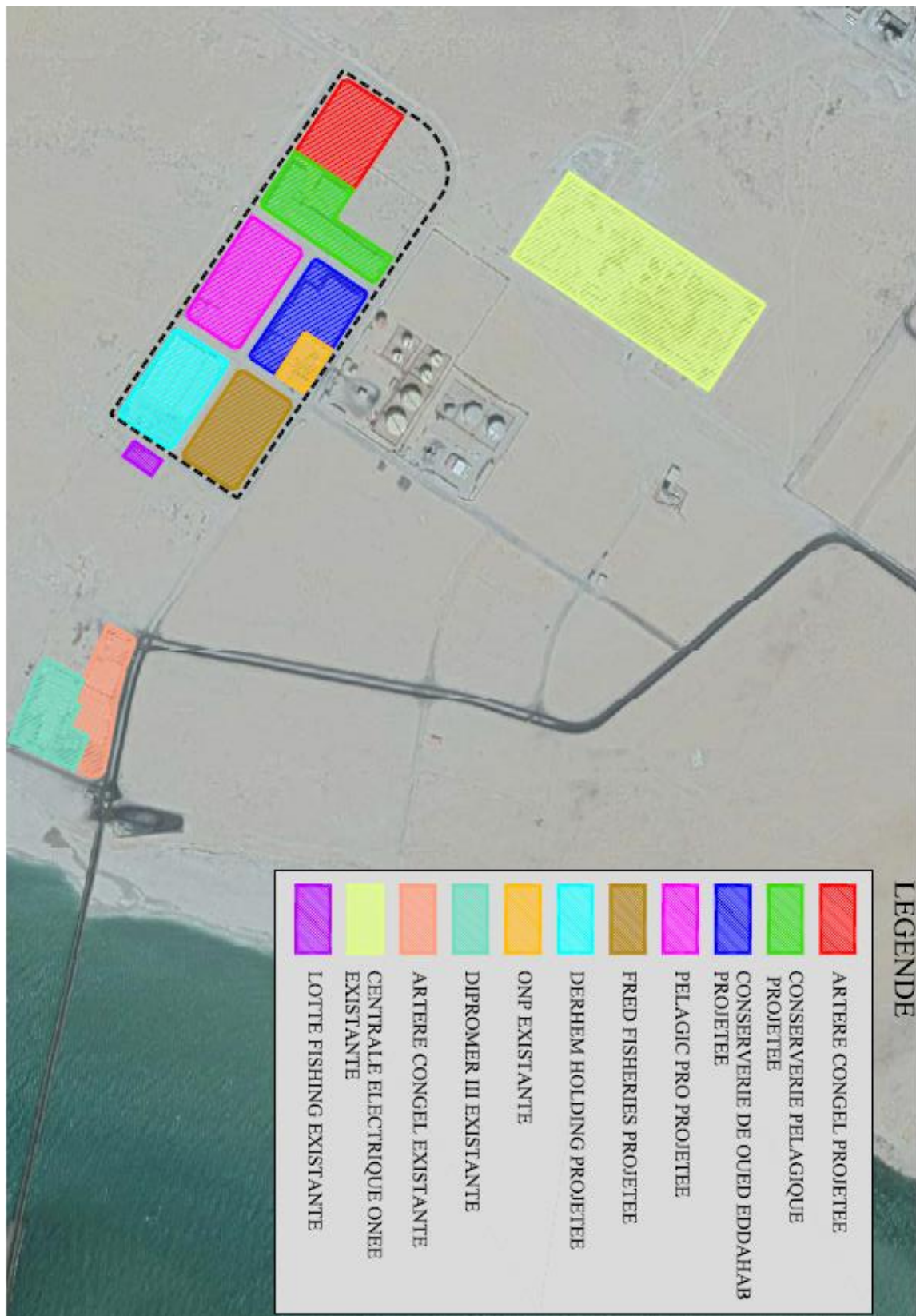
Annexe 1 : Plan de la parcelle réservée, au sein de la zone industrielle portuaire aménagée de Dakhla, aux projets qui seront retenus dans le cadre de l'AMI



Annexe 2 : Plan parcellaire des lots de terrain réservés aux unités projetées de l'AMI



Annexe 3 : Plan de situation des unités industrielles projetées et existantes de la zone industrielle de Dakhla



Annexe 4 : Bilan des matières de l'unité ARTERE CONGEL (unité projetée)

ARTERE CONGEL (unité projetée)					
Bilan matière					
Matière première et triage			Produite et sous-produits		
La filière	Unité	Quantité	Les produits et sous produites	Unité	Quantité
<u>Etape1: Réception et triage</u>					
Poisson frais	Tonne	100	Poisson usinables(75%)	Tonne	75
			Poisson non usinables(25%)	Tonne	25
<u>Consommation en eau:</u>					
Eau de forage	m ³	54	Eau usée	m ³	54
Eau de ville	m ³	12	Eau usée	m ³	12
Eau de mer	m ³	16	Eau usée	m ³	16
<u>Etape 2: Préparation de la matière première(Etétage et Eviscération)</u>					
Poisson	Tonne	37.5	Déchets de poisson(35%)	Tonne	13
Eau de ruissellement sur le tapis de travail	m ³	5	Eau usée	m ³	5
Saumure	m ³	10	Eau usée	m ³	10
<u>Etape 3: Mise en boîte</u>					
Boîtes	Unité	180000			
Eau de lavage des boîtes	m ³	7	Eau usée	m ³	7
<u>Etape 4: Précuisson</u>					
Eau de cuisson	m ³	20	Eau usée	m ³	20
<u>Etape 5: Ajout des additifs</u>					
Sauce	Tonne	3			
Eau	m ³	2			
<u>Etape 6: Sertissage</u>					
Lavage des grilles	m ³	4	Eau usée	m ³	4
Lavage des boîtes	m ³	7	Eau usée	m ³	7
<u>Etape 7: Stérilisation</u>					
Eau de chauffage	m ³	50	Eau usée	m ³	50
			Produits finis:		
			en boîte	Unité	180000
			en tonne	Tonne	42
<u>Nettoyage + Eaux sanitaire</u>					
Eau de nettoyage et sanitaire	m ³	93	Eau usée(80%)	m ³	75
Total	m ³	280	Total	m ³	260

Annexe 5 : Bilan des matières de l'unité FRED FISHERIES

FRED FISHERIES					
Bilan matière					
Matière première et triage			Produite et sous-produits		
La filière	Unité	Quantité	Les produits et sous produites	Unité	Quantité
<u>Etape1: Réception et triage</u>					
Poisson frais	Tonne	260	Poisson usinables(75%)	Tonne	195
			Poisson non usinables(25%)	Tonne	65
<u>Consommation en eau:</u>					
Eau de forage	m ³	140	Eau usée	m ³	140
Eau de ville	m ³	30	Eau usée	m ³	30
Eau de mer	m ³	42	Eau usée	m ³	42
<u>Etape 2: Préparation de la matière première(Etétage et Eviscération)</u>					
Poisson	Tonne	97.5	Déchets de poisson(35%)	Tonne	34
Eau de ruissellement sur le tapis de travail	m ³	13	Eau usée	m ³	13
Saumure	m ³	26	Eau usée	m ³	26
<u>Etape 3: Mise en boîte</u>					
Boites	Unité	468000			
Eau de lavage des boites	m ³	21	Eau usée	m ³	21
<u>Etape 4: Précuisson</u>					
Eau de cuisson	m ³	52	Eau usée	m ³	52
<u>Etape 5: Ajout des additifs</u>					
Sauce	Tonne	9			
Eau	m ³	5			
<u>Etape 6: Sertissage</u>					
Lavage des grilles	m ³	11	Eau usée	m ³	11
Lavage des boites	m ³	17	Eau usée	m ³	17
<u>Etape 7: Stérilisation</u>					
Eau de chauffage	m ³	131	Eau usée	m ³	131
			Produits finis:		
			en boîte	Unité	468000
			en tonne	Tonne	108
<u>Nettoyage + Eaux sanitaire</u>					
Eau de nettoyage et sanitaire	m ³	93	Eau usée(80%)	m ³	75
Total	m³	581	Total	m³	558

Annexe 6 : Bilan des matières de l'unité CONSERVERIE DE OUED EDDAHAB

CONSERVERIE DE OUED EDDAHAB					
Bilan matière					
Matière première et triage			Produite et sous-produits		
La filière	Unité	Quantité	Les produits et sous produits	Unité	Quantité
<u>Etape1: Réception et triage</u>					
Poisson frais	Tonne	120	Poisson usinables(75%)	Tonne	90
			Poisson non usinables(25%)	Tonne	30
<u>Consommation en eau:</u>					
Eau de forage	m ³	65	Eau usée	m ³	65
Eau de ville	m ³	14	Eau usée	m ³	14
Eau de mer	m ³	19	Eau usée	m ³	19
<u>Etape 2: Préparation de la matière première(Etétage et Eviscération)</u>					
Poisson	Tonne	45	Déchets de poisson(35%)	Tonne	16
Eau de ruissellement sur le tapis de travail	m ³	6	Eau usée	m ³	6
Saumure	m ³	12	Eau usée	m ³	12
<u>Etape 3: Mise en boîte</u>					
Boîtes	Unité	216000			
Eau de lavage des boîtes	m ³	8	Eau usée	m ³	8
<u>Etape 4: Précuisson</u>					
Eau de cuisson	m ³	24	Eau usée	m ³	24
<u>Etape 5: Ajout des additifs</u>					
Sauce	Tonne	4			
Eau	m ³	2			
<u>Etape 6: Sertissage</u>					
Lavage des grilles	m ³	5	Eau usée	m ³	5
Lavage des boîtes	m ³	8	Eau usée	m ³	8
<u>Etape 7: Stérilisation</u>					
Eau de chauffage	m ³	60	Eau usée	m ³	60
			<u>Produits finis:</u>		
			en boîte	Unité	216000
			en tonne	Tonne	50
<u>Nettoyage + Eaux sanitaire</u>					
Eau de nettoyage et sanitaire	m ³	93	Eau usée(80%)	m ³	75
Total	m³	316	Total	m³	296

Annexe 7 : Bilan des matières de l'unité DERHEM HOLDING

DERHEM HOLDING					
Bilan matière					
Matière première et triage			Produite et sous-produits		
La filière	Unité	Quantité	Les produits et sous produits	Unité	Quantité
<u>Etape1: Réception et triage</u>					
Poisson frais	Tonne	100	Poisson usinables(75%)	Tonne	75
			Poisson non usinables(25%)	Tonne	25
<u>Consommation en eau:</u>					
Eau de forage	m ³	54	Eau usée	m ³	54
Eau de ville	m ³	12	Eau usée	m ³	12
Eau de mer	m ³	16	Eau usée	m ³	16
<u>Etape 2: Préparation de la matière première(Etétage et Eviscération)</u>					
Poisson	Tonne	37.5	Déchets de poisson(35%)	Tonne	13
Eau de ruissellement sur le tapis de travail	m ³	5	Eau usée	m ³	5
Saumure	m ³	10	Eau usée	m ³	10
<u>Etape 3: Mise en boîte</u>					
Boîtes	Unité	180000			
Eau de lavage des boîtes	m ³	7	Eau usée	m ³	7
<u>Etape 4: Précuisson</u>					
Eau de cuisson	m ³	20	Eau usée	m ³	20
<u>Etape 5: Ajout des additifs</u>					
Sauce	Tonne	3			
Eau	m ³	2			
<u>Etape 6: Sertissage</u>					
Lavage des grilles	m ³	4	Eau usée	m ³	4
Lavage des boîtes	m ³	7	Eau usée	m ³	7
<u>Etape 7: Stérilisation</u>					
Eau de chauffage	m ³	50	Eau usée	m ³	50
			<u>Produits finis:</u>		
			en boîte	Unité	180000
			en tonne	Tonne	42
<u>Nettoyage + Eaux sanitaire</u>					
Eau de nettoyage et sanitaire	m ³	93	Eau usée(80%)	m ³	75
Total	m ³	280	Total	m ³	260

Annexe 8 : Bilan des matières de l'unité CONSERVERIES PELAGIQUES DE DAKHLA

CONSERVERIES PELAGIQUES DE DAKHLA					
Bilan matière					
Matière première et triage			Produite et sous-produits		
La filière	Unité	Quantité	Les produits et sous produits	Unité	Quantité
<u>Etape1: Réception et triage</u>					
Poisson frais	Tonne	100	Poisson usinables(75%)	Tonne	75
			Poisson non usinables(25%)	Tonne	25
<u>Consommation en eau:</u>					
Eau de forage	m ³	54	Eau usée	m ³	54
Eau de ville	m ³	12	Eau usée	m ³	12
Eau de mer	m ³	16	Eau usée	m ³	16
<u>Etape 2: Préparation de la matière première(Etétage et Eviscération)</u>					
Poisson	Tonne	37.5	Déchets de poisson(35%)	Tonne	13
Eau de ruissellement sur le tapis de travail	m ³	5	Eau usée	m ³	5
Saumure	m ³	10	Eau usée	m ³	10
<u>Etape 3: Mise en boîte</u>					
Boîtes	Unité	180000			
Eau de lavage des boîtes	m ³	7	Eau usée	m ³	7
<u>Etape 4: Précuisson</u>					
Eau de cuisson	m ³	20	Eau usée	m ³	20
<u>Etape 5: Ajout des additifs</u>					
Sauce	Tonne	3			
Eau	m ³	2			
<u>Etape 6: Sertissage</u>					
Lavage des grilles	m ³	4	Eau usée	m ³	4
Lavage des boîtes	m ³	7	Eau usée	m ³	7
<u>Etape 7: Stérilisation</u>					
Eau de chauffage	m ³	50	Eau usée	m ³	50
			<u>Produits finis:</u>		
			en boîte	Unité	180000
			en tonne	Tonne	42
<u>Nettoyage + Eaux sanitaire</u>					
Eau de nettoyage et sanitaire	m ³	93	Eau usée(80%)	m ³	75
Total	m ³	280	Total	m ³	260

Annexe 9 : Bilan des matières de l'unité PELAGIQUE PRO

PELAGIQUE PRO					
Bilan matière					
Matière première			Produite et sous-produits		
La filière de production et les matières premières	Unité	Quantité	Les produits et sous produites	Unité	Quantité
<u>Etape1: Réception et triage</u>					
Poisson frais	Tonne	150	Poisson usinables(75%)	Tonne	112.5
			Poisson non usinables(25%)	Tonne	37.5
<u>Consommation en eau:</u>					
Eau de forage	m ³	81	Eau usée	m ³	81
Eau de ville	m ³	18	Eau usée	m ³	18
Eau de mer	m ³	24	Eau usée	m ³	24
<u>Etape 2: Préparation de la matière première(Etétage et Eviscération)</u>					
Poisson	Tonne	56.25	Déchets de poisson(35%)	Tonne	20
Eau de ruissellement sur le tapis de travail	m ³	8	Eau usée	m ³	8
Saumure	m ³	15	Eau usée	m ³	15
<u>Etape 3: Mise en boîte</u>					
Boites	Unité	270000			
Eau de lavage des boites	m ³	10	Eau usée	m ³	10
<u>Etape 4: Précuisson</u>					
Eau de cuisson	m ³	30	Eau usée	m ³	30
<u>Etape 5: Ajout des additifs</u>					
Sauce	Tonne	5			
Eau	m ³	3			
<u>Etape 6: Sertissage</u>					
Lavage des grilles	m ³	7	Eau usée	m ³	7
Lavage des boites	m ³	10	Eau usée	m ³	10
<u>Etape 7: Stérilisation</u>					
Eau de chauffage	m ³	76	Eau usée	m ³	76
			<u>Produits finis:</u>		
			en boîte	Unité	270000
			en tonne	Tonne	63
<u>Nettoyage + Eaux sanitaire</u>					
Eau de nettoyage et sanitaire	m ³	93	Eau usée(80%)	m ³	75
Total	m ³	375	Total	m ³	354

Annexe 10 : Caractéristiques des rejets de conserverie de poisson et unité de production de la farine et huile de poisson

Rapporté par:	Type de production	Débit				DBO5(mg/L)			La référence
		Unité	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	
Roy et al (Roy E., Carawan James V., Chambers Robert R., Zail, 1978) (En général)	Farine de poisson	m3/j	38.8	197.65	356.5	100	12050	24000	Roy et al
Salghi (2003) (En général)	Poisson-conserve								Shitrit et al(1972)
	Poisson-conserve						1400		Ziminska(1985)
	Farine de poisson						66400		Ziminska(1965)
	Farine de poisson: eau d'ébullition						4600		Del val & Aguilera(1990)
	Farine de poisson: eau mêlée de sang								Del val & Aguilera(1990)
Quebec selon l'UNEP et MDDEFP	Conserverie	m3/tonne		15			3466.667		UNEP et MDDEFP
FODEP (2002) (Internationaux)	Traitement des produits de mer	m3/tonne		3.5			2142.857		FODEP International
L'établissement public du ministère chargé de développement durable de la France et l'Agence Loire-Bretagne	Traitement des produits de mer	m3/tonne		9.3			1365.591		Ratios polluant en industrie dans le bassin de Loire-Bretagne
	Farine de poisson	m3/tonne		1.3			4153.846		
Maroc	Conserverie d'Agadir(2003)	m3/tonne	29.618	32.1245	34.631		1242.043		CARACTÉRISATION DES REIETS LIQUIDES D'UNE CONSERVERIE DE POISSONS(Mohammed BENYAKHLEF, Saïd NAJJ, Driss BEIGHYTI)
	FODEP(2002) pour le Maroc-conserve de poisson et fruits de mer	m3/tonne		3.5			1971.429		
	Unité BELMA Agadir	m3/j		380.4			2700		
	Conserverie d'Agadir-étude de Ziani et al (résultats prélevés de 8h à 20h)					1500	11000	20500	
Manuel ONEF-Branche Eau	Conserverie de poisson et de fruits de mer	m3/tonne		3.5			657.1429		DRPE (Octobre 2009)
	Farines et huiles de poisson	m3/tonne		1.6			33868.75		
	Conserverie de poisson, fruits de mer	m3/tonne		3.13			2204.473		
	Farine et huiles de poisson	m3/tonne		0.984			55071.14		
CONSENIOR	Conserverie de poisson	m3/j		342			3264		Rapport STEP AMACOPOD
ATLANTIC CONSERVE	Conserverie de poisson						2780		
AVEIRO	Conserverie de poisson	m3/j		800			6400		
SILVER FOOD	Conserverie de poisson	m3/j		220			7100		
BELMA	Conserverie de poisson	m3/j		500			8000		
ASAT	Conserverie de poisson	m3/j		385			4750		

Rapporté par:	Type de production	DCO(mg/L)			MES(mg/L)			La référence
		Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	
Roy et al (Roy E., Carawan James V., Chambers Robert R., Zail. 1978) (En général)	Farine de poisson	150	21075	42000	70	10035	20000	Roy et al
Salghi (2003) (En général)	Poisson-conserve		2560			1360		Shtirin et al(1972)
	Poisson-conserve		2900			1900		Ziminska(1985)
	Farine de poisson		19100			19000		Ziminska(1965)
	Farine de poisson: eau d'ébullition		35200					Del val & Aguilera(1990)
	Farine de poisson: eau mêlée de sang		93000					Del val & Aguilera(1990)
Quebec selon l'UNEP et MDDEP	Conserve		7733.333					UNEP et MDDEP
FODEP (2002) (Internationaux)	Traitement des produit de mer		4285.714			2000		FODEP International
L'établissement public du ministère chargé de développement durable de la France et l'agence Loire-Bretagne	Traitement des produits de mer		2451.613			655.914		Ratios polluant en industrie dans le bassin de Loire-Bretagne
	Farine de poisson		5692.308			846.1538		
Maroc	Conserve d'Agadir(2003)		2596.149			494.9493		CARACTÉRISATION DES REJETS LIQUIDES D'UNE CONSERVERIE DE POISSONS(Mohammed BENYAKHLEF, Saïd NAJJ, Driss BELGHYTI)
	FODEP(2002) pour le Maroc-conserve de poisson et fruits de mer		7028.571			2651.429		FODEP (2002) pour le Maroc
	Unité BELMA Agadir		5453			1809		Bulletin d'analyses sur un échantillon moyen effectuées par LPEE-RAMSA en Février
	Conserve d'Agadir-étude de Ziani et al (résultats prélevés de 8h à 20h)	3500	13000	22500	955	4815	8675	Oxydation électrochimique des rejets de conserve de poisson(F. Ziani, A. Bendou, R. Salghi, L. Bazzi, A. Ait Boughtrous, M. A. Aboulhassan)
	Conserve de poisson et de fruits de mer		1485.714			642.8571		DRPE (Octobre 2009)
Manuel ONEE-Branche Eau	Faines et huiles de poisson		61568.75			16981.25		
	Conserve de poisson, fruits de mer		7859.425			2964.856		Fiche signalétique des ratios de rejets DRPE
	Farine et huiles de poisson		100111.8			29644.31		
	Conserve de poisson		5727			3200		
	Conserve de poisson		5680			1250		
CONSERNOR	Conserve de poisson							
ATLANTIC CONSERVE	Conserve de poisson							
AVERO	Conserve de poisson		13229			610		
SILVER FOOD	Conserve de poisson		12040			1784		
BELMA	Conserve de poisson		12000			2600		
ASAT	Conserve de poisson		10455			5880		
Rapport STEP AMACOPOD								

Rapporté par:	Type de production	Phosphore total(mg/L)			pH			La référence
		Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	
Roy et al (Roy E., Carawan James V., Chambers Robert R., Zall, 1978) (En général)	Farine de poisson							Roy et al
Salghi (2003) (En général)	Poisson-conserve							Shitritin et al(1972)
	Poisson-conserve							Ziminska(1985)
	Farine de poisson							Ziminska(1965)
	Farine de poisson: eau d'ébullition							Del val & Aguilera(1990)
	Farine de poisson: eau mêlée de sang							Del val & Aguilera(1990)
Quebec selon l'UNEP et MDDEFP	Conserve		26.667					UNEP et MDDEFP
FODEP (2002) (Internationaux)	Traitement des produit de mer		428.571					FODEP international
L'établissement public du ministère chargé de développement durable de la France et l'agence Loire-Bretagne	Traitement des produits de mer		21.505					Ratios polluant en industrie dans le bassin de Loire-Bretagne
	Farine de poisson		61.538					
Maroc	Conserve d'Agadir(2003)							CARACTÉRISATION DES RELETS LIQUIDES D'UNE CONSERVE DE POISSONS(Mohammed BENYAKHLEF, Saïd NAJJ, Driss BELGHYTI)
	FODEP(2002) pour le Maroc-conserve de poisson et fruits de mer							FODEP (2002) pour le Maroc
	Unité BELMA Agadir		19.25			8.56		Bulletin d'analyses sur un échantillon moyen effectuées par LPEE-RAMSA en Février
	Conserve d'Agadir-étude de Ziani et al (résultats prélevés de 8H à 20H)	21.98	182.12	342.26	6.5	8.015	9.53	Oxydation électrochimique des rejets de conserve de poisson(F. Ziani, A. Bendou, R. Salghi, L. Bazzi, A. Ait Bougrours, M. A. Aboulhassan)
Manuel ONEE-Branche Eau	Conserve de poisson et de fruits de mer							DRPE (Octobre 2009)
	Farines et huiles de poisson							
	Conserve de poisson, fruits de mer							
	Farine et huiles de poisson							
DRPE								Fiche signalitique des ratios de rejets DRPE
CONSENIOR	Conserve de poisson		69			6.8		Rapport STEP AMACOPD
ATLANTIC CONSERVE	Conserve de poisson		45.5					
AVERO	Conserve de poisson				7	7.5	8	
SILVER FOOD	Conserve de poisson		30			7.4		
BELMA	Conserve de poisson		410		7	8	9	
ASAT	Conserve de poisson		5.13			6.03		

Rapporté par:	Type de production	Chlorure(ng/L)			Conductivité(µS/cm)			Température(°C)			La référence
		Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	
Roy et al (Roy E., Carawan James V., Chambers Robert R., Zaili, 1978) (En général)	Farine de poisson										Roy et al
Salghi (2003) (En général)	Poisson-conserve										Shitrit et al(1972)
	Poisson-conserve										Ziminska(1985)
	Farine de poisson										Ziminska(1965)
	Farine de poisson: eau d'ébullition										Del val & Aguilera(1990)
	Farine de poisson: eau mêlée de sang										Del val & Aguilera(1990)
Quebec selon l'UNEP et MDDEFP	Conservation										UNEP et MDDEFP
FODEP (2002) (Internationaux)	Traitement des produit de mer										FODEP international
L'établissement public du ministère chargé de développement durable de la France et l'agence Loire-Bretagne	Traitement des produits de mer										Ratios polluant en industrie dans le bassin de Loire-Bretagne
	Farine de poisson										
Maroc	Conserverie d'Agadir(2003)										CARACTÉRISATION DES REJETS LIQUIDES D'UNE CONSERVIERIE DE POISSONS(Mohammed BENYAKHLEF, Saïd NAJJ, Driss BELGHYTI)
	FODEP(2002) pour le Maroc-conservie de poisson et fruits de mer		12200								FODEP (2002) pour le Maroc
	Unité BELMA Agadir				41500			27.9			Bulletin d'analyses sur un échantillon moyen effectuées par LPEE-RAMSA en Février
	Conserverie d'Agadir-étude de Ziari et al (résultats prélevés de 8H à 20H)	2942.35	22656.1	42369.84	3360	49830	96300	17.3	26.15	35	Oxydation électrochimique des rejets de conserverie de poisson(F. Ziari, A. Bendou, R. Salghi, L. Bazzi, A. Alt Boughrouss, M. A. Aboulhassan)
Manuel ONEE-Branche Eau	Conserverie de poisson et de fruits de mer										DRPE (Octobre 2009)
	Farines et huiles de poisson										
	Conserverie de poisson, fruits de mer		14760.38								Fiche signalétique des ratios de rejets DRPE
	Farine et huiles de poisson		16778.46								
	Conserverie de poisson		2714			12100			27.3		Rapport STEP AMACOPOD
	ATLANTIC CONSERVE		335			3470		21	23.5	26	
	AVERO					3620			20		
	SILVER FOOD								20		
BELMA	Conserverie de poisson										
ASAT	Conserverie de poisson								20		

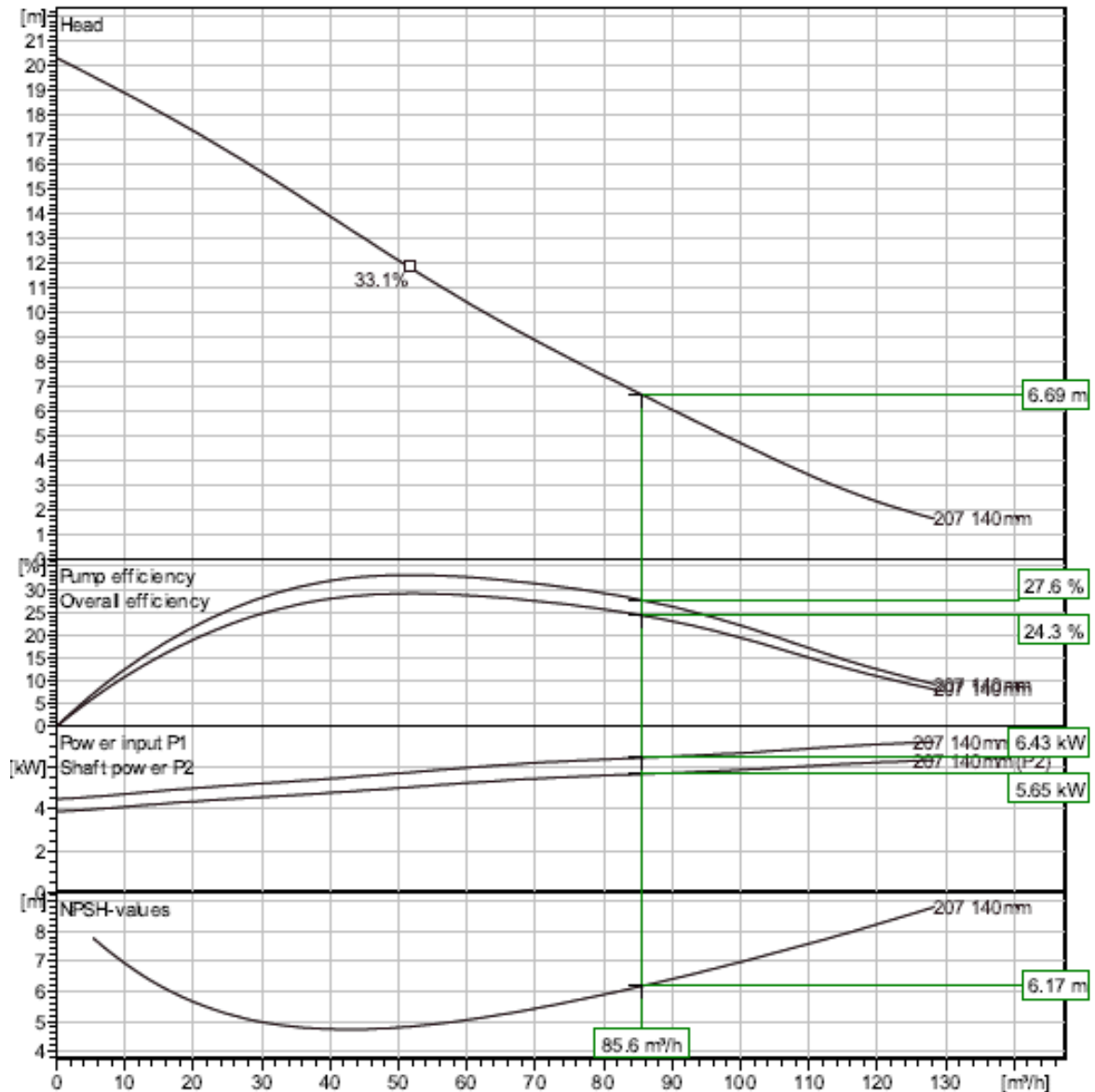
Annexe 12 : Les caractéristiques de la pompe choisie DP 3127 HT-207

DP 3127 HT 3~ 207

Technical specification



Caractéristiques de fonctionnement pour la pompe



Performance curve

Pump

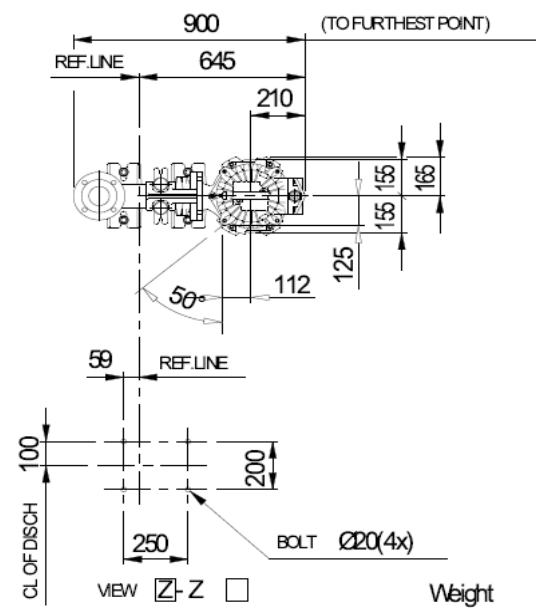
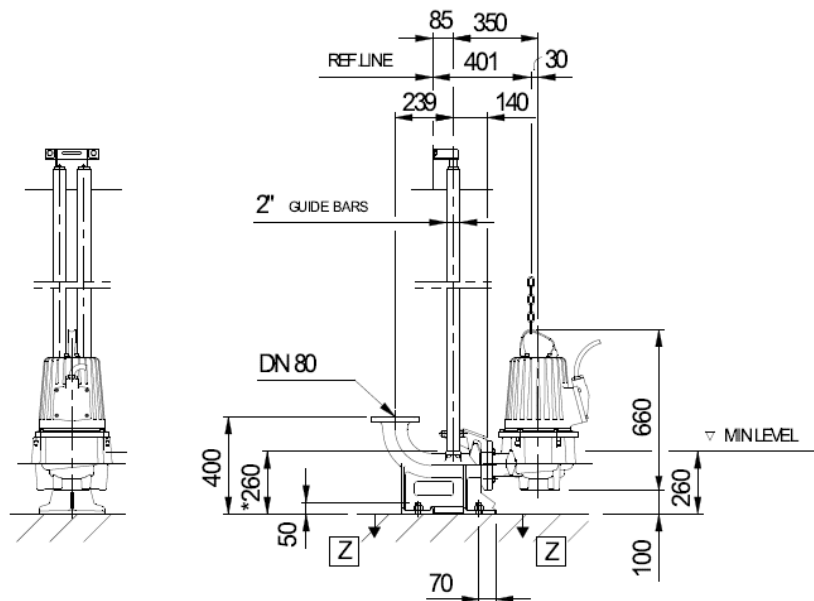
Discharge Flange Diameter 80 mm
 Suction Flange Diameter 80 mm
 Impeller diameter 140 mm
 Number of blades 6
 Throughlet diameter 76 mm

Motor

Motor # D3127.182 21-11-2AL-W 7.4KW
 Stator variant 28
 Frequency 50 Hz
 Rated voltage 190 V
 Number of poles 2
 Phases 3~
 Rated power 7.4 kW
 Rated current 30 A
 Starting current 274 A
 Rated speed 2910 rpm

Power factor
 1/1 Load 0.85
 3/4 Load 0.79
 1/2 Load 0.69
 Motor efficiency
 1/1 Load 87.5 %
 3/4 Load 87.9 %
 1/2 Load 86.7 %

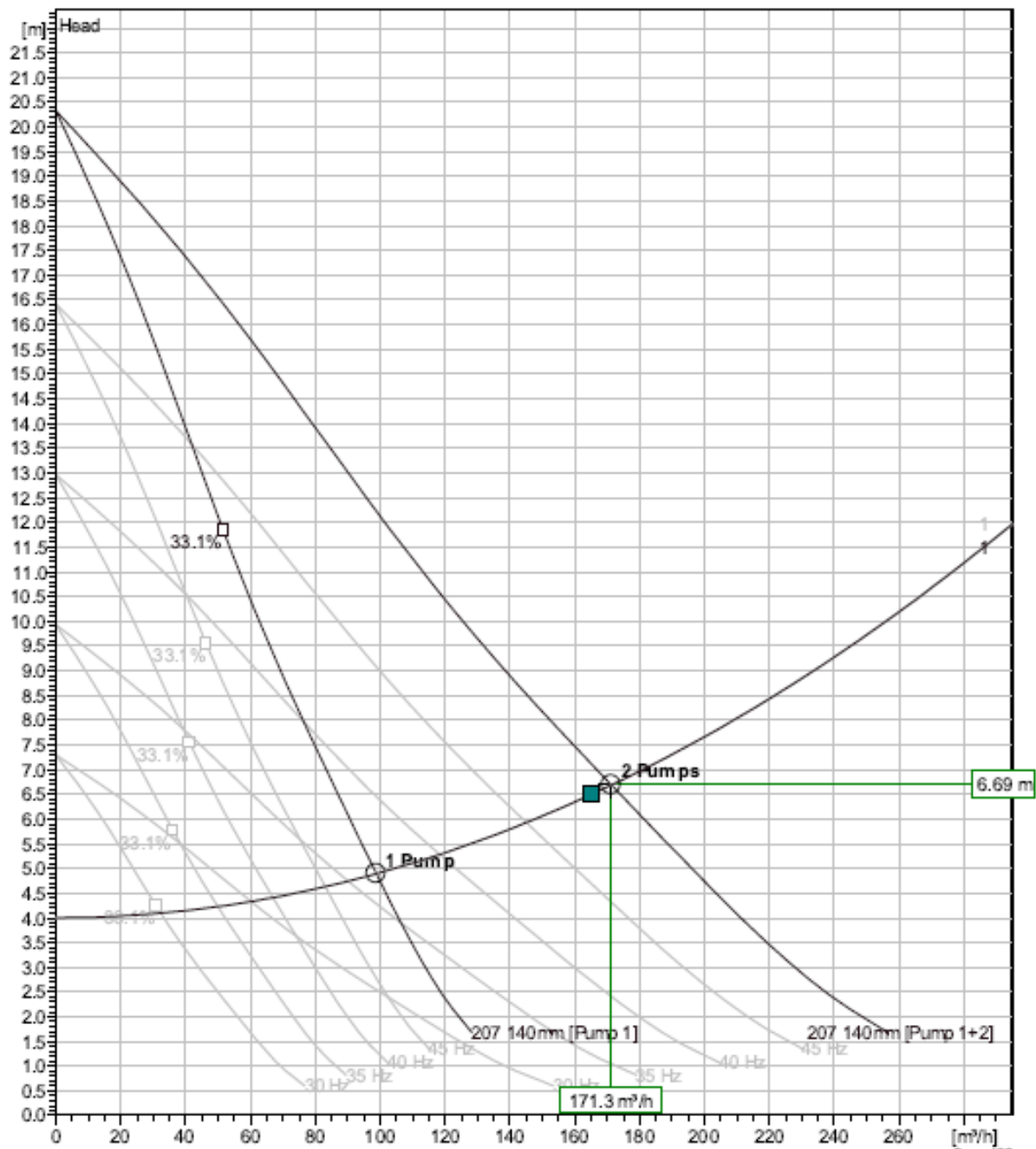
Dimensions de la pompe choisie :



* DIMENSION TO ENDS OF GUIDE BARS

Dimensional dwg
DP 3127 HT

Caractéristiques de fonctionnement des deux pompes :



Annexe 13 : Les caractéristiques de l'élément ESPA-2540



ESPA-2540

Specified Performance*

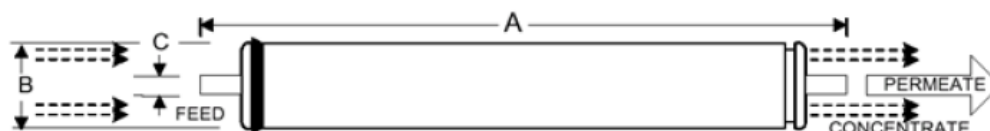
Permeate Flow:	750 gpd (2.84 m ³ /d)
Salt Rejection:	99.4% (98.0% minimum)
Test Conditions:	1500 ppm NaCl solution
	150 psi (1.03 MPa) Applied Pressure
	77 °F (25 °C) Operating Temperature
	10% Permeate Recovery
	6.5 - 7.0 pH Range

*The Specified Performance is based on data taken after approximately 30 minutes of operation. Actual testing of elements may be done at conditions which vary from these exact values; in which case, the performance is normalized back to these standard conditions. Permeate flow for individual elements may vary ± 15 percent from the value specified. A percentage of element are wet-tested for statistical analysis and performance validation using the above conditions.

General Product Description**

Configuration:	Spiral Wound
Membrane Polymer:	Composite Polyamide
Membrane Active Area**:	25.5 ft ² (2.37 m ²)

Packaging: All membrane elements are supplied with a brine seal, interconnector, and O-rings. Elements are enclosed in a sealed polyethylene bag containing less than 1.0% sodium meta-bisulfite solution, and then packaged in a cardboard box.



Element Details**

A, inches (mm)	B, inches (mm)	C, inches (mm)	Weight, lbs. (kg)
40.0 (1016)	2.4 (61)	0.75 (19.1)	4 (1.8)

Core tube extension = 1.10" (27.9 mm)

**Values listed are indicative, not specified. For more detailed specifications, see our Technical Service Bulletin documents or contact Hydranautics Technical Department. Element weight values are as shipped from factory. Elements that are used and then gravity drained may still contain at least an additional 2 lbs (1 kg) of liquid.

Product Use and Restrictions^

Maximum Applied Pressure:	300 psig (2.1 MPa)
Maximum Chlorine Concentration:	< 0.1 ppm
Maximum Operating Temperature:	113 °F (45 °C)
pH Range, Continuous (Cleaning):	2-10 (1-12)
Maximum Feedwater Turbidity:	1.0 NTU
Maximum Feedwater SDI (15 mins):	4.0
Maximum Feed Flow:	6 gpm (23 l/m)
Maximum Pressure Drop for Each Element:	10 psi (0.07 MPa)

^ The limitations shown here are for general use. For specified projects, operation at more conservative values may ensure the best performance and longest life of the membrane. See Hydranautics Technical Bulletins for more details.

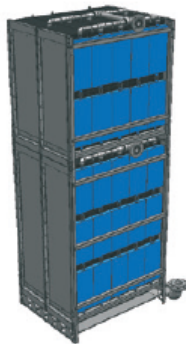
Annexe 14 : Les caractéristiques du module membranaire MB5-2

MicroClear®

Technical Data Sheet **FILTER HOUSING MB5-2** Article-No. 80200052

Complete assembled units for biological wastewater treatment with submerged membrane cassettes, including:

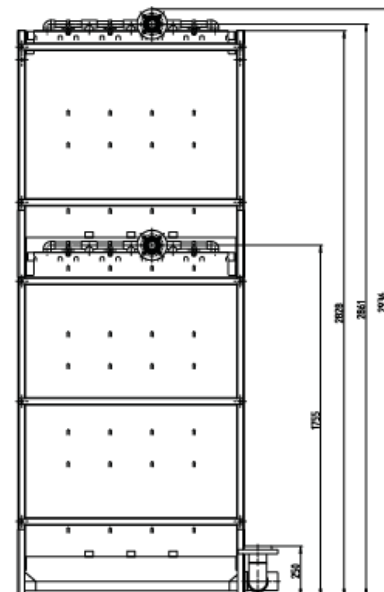
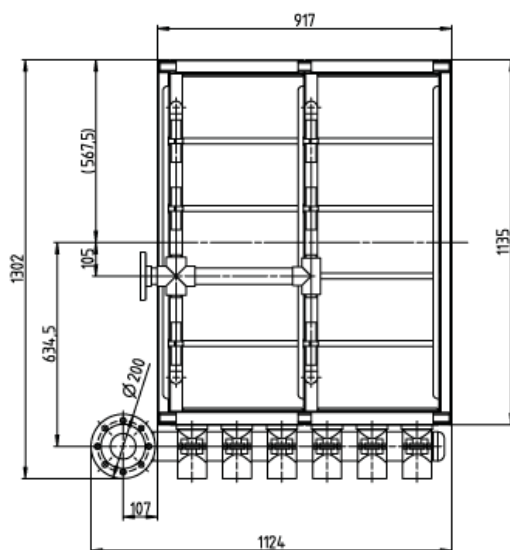
- Membrane cassettes MicroClear® MCXL2
- Filter housing made of stainless steel 1.4571
- Membrane tube diffuser for medium bubble aeration in the filtration tank optimized for the plate distance of the MicroClear® filters



Parameter	Unit	Value
dimension of filter housing (incl. flange for aeration)	L x W x H cm	130 x 112 x 295
air connection	DN/NPS	80/3"
filtrate connection	DN/NPS	40/1½"
total number of MicroClear® MCXL2 cassettes		50
total membrane surface area	m ²	400
possible flow ¹	m ³ /day	250
2 chemical cleanings/year		125
1 chemical cleaning/year		
membrane material ²		PES/PVDF
pore size nom. ²	µm	0.04-0.3
filtration pressure	bar	0.1-0.25
backflush pressure	bar	0.1
filter housing material		stainless steel 1.4571
medium bubble aeration membrane		EPDM
total required air flow for scouring	Nm ³ /h	50-100
weight	kg	approx. 860

¹ depending on wastewater characteristics

² membrane material selectable for specified applications or customers



Annexe 15 : L'emplacement du collecteur principal, de la station de pompage, de la STEP, la conduite de refoulement vers la STEP et la conduite d'évacuation dans l'océan

