

UNIVERSITÉ CADI AYYAD

Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech
Département des Sciences de la Terre

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Licences Sciences et Technique :
Eau et environnement

Conception et dimensionnement de la station d'épuration des eaux usées de type boues activées de la ville d'Essaouira (Maroc)

Présentée par :

LTIF Hajar.
JEDOUANE Fathia.

Encadrée par :

Mr. CHAFIKI Driss (FSTG).
Mr. BENADDI Rabia (ABHT).

Soutenu le :

10 / 06 / 2024

Devant le jury :

Mr. CHAFIKI Driss (FSTG).
Mr. TOUIL Ahmed (FSTG).
Mr. ELAMARI Khalid (FSTG).

Remerciements

Nous exprimons d'abord nos profonds remerciements a Allah de nous avoir donné le courage, la patience et la volonté afin d'accomplir ce travail et sans lequel n'aurait jamais le mener a bonne fin.

Nous tenons a remercier en premier lieu notre encadrant interne Monsieur **Driss CHAFIKI**, et nous tenons compte a exprimer notre profondeur gratitude et nos sincères remerciements, pour leur expertise, leurs conseils et leur soutien tout au long de notre projet, ainsi nous avons eu l'honneur d'être parmi ses élèves ; et de bénéficier de leur riche enseignement.

Nos remerciements vont également désigner notre encadrant externe Monsieur **Rabia BENAADI**, pour leur générosité, et leur hospitalité ainsi qu'il s'est montré disponible pour nous guider avec des conseils et des commentaires rigoureux et qu'il nous a consacré de leurs temps pour réaliser ce travail.

En outre, nous remercions vivement les membres de jury qui ont eu l'amabilité de porter une appréciation a ce travail et de participer au jury de soutenance.

Un hommage éternel a tous les enseignants qui nous a encadre depuis nos premières années d'études jusqu' a aujourd'hui.

Nous tenons a remercier également la commune de la province d'Essaouira, la **société WATERLEAU**, de nous avoir donné l'accès au STEP d'Essaouira ainsi que tout le personnel de la station d'avoir été très aimables et serviables avec nous pendant la durée de notre VISITE.

On ne peut pas clôturer cette liste de remerciements et de reconnaissances, sans exprimer nos profondes gratitudes a nos parents pour leur soutien moral et leurs encouragements tout au long de nos études, nos très chers frères et sœurs, nos amis, nos collègues et tous ceux qui ont contribués de près ou de loin a l'élaboration de ce travail, Merci.

Table des matières :

	Page
Remerciements.....	2
Table des matières	3
Liste des figures	5
Liste des tableaux	6
Liste des abréviations.....	7
Introduction	8
Chapitre I : INTRODUCTION GENERALE.....	10
I. Présentation de l'Agence du bassin hydraulique de Tensift (ABHT).....	10
1. Définition.....	10
2. Zone d'action.....	11
3. Organigramme.....	11
II. Zone d'étude.....	13
1. Contexte géographique.....	13
2. Contexte géologique.....	14
3. Contexte géomorphologique	15
3.1. Etat des sols au site.....	15
4. Climatologie	16
4.1. Précipitations	16
4.2. Températures	17
4.3. Le vent dominant.....	17
5. Hydrographie.....	18
6. Qualité de l'air.....	18
6.1. Les sources de pollution	19
III. Généralités sur les eaux usées	19
1. Définition des eaux usées	19
2. Paramètres de pollution	19
IV. Station d'épuration des eaux usées utilisant le procédé de boues activées.....	20
1. L'historique	20
2. Caractéristiques générales	21
3. Définition d'une station d'épuration utilisant le procédé de boues activées	21
Chapitre II : Conception de la STEP d'ESSAOUIRA.....	23
I. Généralité	23
1. Cadre règlementaire.....	23
2. Conception générale	23

II.	Normes de rejet et de réutilisation	24
III.	Evaluation de la performance de la STEP actuelle (lagunage naturel).....	27
1.	Aspect quantitatif.....	27
2.	Aspect qualitatif.....	28
3.	Conformité aux normes de rejet et de réutilisation.....	30
IV.	Etude de la conversion de la STEP du système lagunage au système de boues activées:	32
1.	Estimation de la population aux différents horizons	32
2.	Estimation de volume des eaux usées et des charges polluantes à traiter aux différents horizons	33
2.1.	Calcul des débits	33
a.	Débit journalier.....	33
b.	Débit moyen horaire	34
c.	Débit de pointe	34
2.2.	Charges polluantes.....	35
V.	Chaine d'épuration	35
Chapitre III : Dimensionnement de la STEP d'Essaouira.....		37
I.	Le site choisi pour l'implantation de la STEP	37
II.	Les ouvrages de la station d'épuration	38
III.	Dimensionnement des ouvrages	38
1.	Le prétraitement.....	39
1.1.	Dégrillage	39
1.2.	Dessablage.....	42
1.3.	Déshuilage	44
2.	Ouvrage de traitement primaire.....	45
3.	Traitement biologique	47
3.1.	Bassin d'aération	48
3.2.	Clarificateur.....	50
4.	Traitement tertiaire:	51
4.1.	Filtre à sable	51
4.2.	Désinfection par UV	52
5.	Traitement des boues.....	53
5.1.	Bilan des boues.....	53
5.2.	Epaississement des boues par serre de séchage:.....	54
5.3.	Déshydratation des boues en lits de séchage (Fig.18)	56
Chapitre IV : Etude critique de la station d'épuration d'Essaouira.....		58
I.	Etude économique	58
II.	Les impacts environnementaux	59
Bibliographie.....		62

Liste des figures :

Figure 1: Carte illustrant la Zone d'action de l'ABHT. (ABHT)	11
Figure 2: Organigramme de l'ABHT. (ABHT)	12
Figure 3: La situation géographique de la province d'Essaouira au Maroc et la carte du découpage de cette province.....	13
Figure 4: Carte géographique d'Essaouira (APD).....	15
Figure 5: Pluviométrie moyenne mensuelle à Essaouira (2014).	16
Figure 6: Température moyenne mensuelle à Essaouira (2014).	17
Figure 7: Schéma des paramètres de pollution des eaux usées.	20
Figure 8 : Chaîne de filière d'épuration.	36
Figure 9: Carte de site de la STEP actuelle d'Essaouira (APD)	37
Figure 10: Les deux dégrilleurs fins.....	39
Figure 11: Le Bassins dessablages-déshuilages de la STEP étudiée.....	42
Figure 12 : La fosse septique de la STEP étudiée	46
Figure 13 : Les bassins biologiques d'aération de la STEP étudiée	48
Figure 14: Le clarificateur de la STEP étudiée.....	50
Figure 15 : Le filtre à sable de la STEP étudiée	51
Figure 16: Les Bassins de désinfection par UV de la STEP étudiée.....	52
Figure 17: L'épaisseur de la STEP étudiée	55
Figure 18: Les serres de séchage de la STEP étudiée.....	56

Liste des tableaux :

	Page
Tableau 1: Les principales caractéristiques de cours d'eau d'Essaouira.....	18
Tableau 2: Valeurs limites spécifiques de rejet applicables aux déversements d'eaux usées des agglomérations urbaines.....	24
Tableau 3: Les normes de qualité des eaux usées destinées à l'irrigation.	25
Tableau 4 : Les débits d'entrée et de la sortie de la STEP de l'année 2022.....	27
Tableau 5 : Mesures de quelques paramètres chimique de la STEP d'Essaouira (03/2020) ..	28
Tableau 6 : Fiche des charges polluantes.	29
Tableau 7 : prélèvements et analyses des eaux traitées à la sortie de la STEP de type lagunage naturel.....	30
Tableau 8: Evolution de la population de la ville d'Essaouira	32
Tableau 9: Estimation de la population d'Essaouira aux différents horizons.	33
Tableau 10: Nouvelle projection démographique d'Essaouira.....	33
Tableau 11 : Estimation des débits des eaux usées d'Essaouira aux différents horizons.	34
Tableau 12: Estimation de la charge polluante des eaux usées d'Essaouira aux différents horizons.	35
Tableau 13: Les ouvrages des filières de la STEP d'Essaouira	38
Tableau 14: Caractérisation de rejet liquide de la ville d'Essaouira en 2045	39
Tableau 15: Critères de conception des degriilleurs.....	40
Tableau 16 : les normes de qualité des eaux usées.	45
Tableau 17 : L'estimation du cout des travaux des trois lots de la STEP d'Essaouira réalisé par l'Office National de L'Électricité et de L'Eau potable.	58
Tableau 18: Quelques impacts environnementaux associés au fonctionnement de la station d'épuration.	59

Liste des abréviations :

STEP	: Station d'épuration des eaux usées.
ABHT	: Agence du bassin hydraulique de Tensift.
pH	: Potentiel hydrogène.
DBO₅	: Demande biologique en oxygène.
DCO	: Demande chimique en oxygène.
MES	: Matière en suspension.
MVS	: Matières volatile en suspension.
MM	: Matière minérale.
CP	: Charge polluante.
SAR	: Specific Absorption Rate.
OMS	: Organisation mondiale de la santé.
APD	: Avant projet détaillé.
PT	: Plomb total.
Ca²⁺	: calcium.
Mg²⁺	: Magnésium.
K⁺	: potassium.
NH₄⁺	: Ammonium.
CN⁻	: Cyanure.
Hg	: Mercure.
Mn	: Manganèse.
FeT	: Fer total.
Co	: Cobalt.
Cu	: Cuivre.
Zn	: Zinc.
Pb	: plomb.
CrT	: Chrome total.

Introduction :

L'eau est un précieux bien, souvent qualifié de « l'or bleu », qui joue un rôle vital dans la croissance et le développement socio-économique. Elle présente deux aspects distincts : l'un bénéfique pour les activités quotidiennes humaines, tandis que l'autre se manifeste lorsque ses propriétés sont altérées après utilisation, transformant ainsi l'eau en eaux usées qui sont rejetées dans l'environnement naturel.

En raison de l'industrialisation et de l'amélioration du niveau de vie de la population, la quantité de déchets d'eaux usées augmente.

Comme c'est le cas dans de nombreux pays en développement, l'assainissement et le traitement de ces rejets constituent l'un des plus grands défis environnementaux au Maroc. L'absence de réseau d'assainissement public, le manque de stations d'épuration, ainsi que le manque de contrôle et de sensibilisation environnementale contribuent à la propagation des maladies, à la dégradation du paysage et à la contamination des eaux de surface et souterraines.

Le volume total réel des eaux usées rejetées au Maroc est estimé à environ 750 millions de m³; 48% de ces eaux sont rejetées dans les rivières et le milieu naturel ; le reste est rejeté dans la mer sans aucun traitement préalable. La charge polluante des eaux usées est estimée à environ 131715 tonnes de charge organique, 42131 tonnes d'azote et 6230 tonnes de phosphore (Mandi et Ouazani, 2013).

Actuellement, le Maroc compte plus de 70 stations de traitement des eaux usées, dont 77% sont des lagunes naturelles, 15% utilisent d'autres techniques (lagunes aérées, filtres bactériens) et 8% utilisent des procédés de boues activées.

Le système de boues activées est largement reconnu pour sa capacité à traiter les eaux usées de manière plus efficace. Contrairement au lagunage, qui repose sur des processus naturels de purification, le système de boues activées utilise des microorganismes spécifiques pour décomposer les matières organiques présentes dans les eaux usées. Cela permet d'obtenir un traitement plus rapide et plus complet, réduisant ainsi la charge de pollution avant le rejet dans l'environnement.

Parmi les STEP de type lagunages, celle d'Essaouira qui a été confrontée à plusieurs problèmes, ce qui a exigé l'intervention des techniciens pour trouver des solutions.

Objectif du travail :

Le but de ce travail consiste en la conversion de la STEP d'Essaouira initialement de type lagunage naturel vers un système de boues activées. Ceci permettra de mieux contrôler et réguler le processus de traitement en ajustant et en optimisant quelques paramètres tels que l'oxygénation, le nitrate, le phosphore et la concentration des microorganismes pour obtenir des performances de traitement plus constantes et prévisibles. Ceci permettra par ailleurs de maintenir des niveaux de qualité de l'eau conformes aux normes réglementaires en vigueur.

En termes d'exploitation et de maintenance, les boues générées dans le processus de traitement peuvent être d'avantage valorisées, que ce soit par compostage, méthanisation ou autres méthodes de récupération d'énergie ou de nutriments. Cela contribue à une approche plus durable et économiquement viable du traitement des eaux usées.

La méthodologie proposée pour le travail de conception et de dimensionnement de la station de type boues activées de la ville d'Essaouira comprend plusieurs étapes. Tout d'abord, une évaluation de la performance de l'ancienne station sera réalisée. Cela implique une analyse qualitative et quantitative de son fonctionnement, ainsi qu'une vérification de sa conformité aux normes en vigueur. Suite à cette évaluation, il a été constaté que la station existante ne satisfaisait pas aux critères requis.

En conséquence, il est prévu de convertir la station de lagunage naturel en une station de boues activées. Pour cela, une étude de faisabilité sera effectuée afin d'évaluer les avantages et les inconvénients de cette conversion. Des objectifs clairs et des spécifications seront définis pour guider la conception de la nouvelle station.

La prochaine étape consistera à estimer la population future d'Essaouira selon différents horizons. Des estimations des débits d'eaux usées et de la charge polluante associée seront également réalisées. Ces informations serviront de base pour dimensionner les nouveaux ouvrages de la future station, en utilisant des relations telles que la surface, le volume et la hauteur pour déterminer les paramètres de conception nécessaires. Parallèlement, une étude des données climatiques et hydrologiques de la région sera menée pour une meilleure estimation.

Enfin, un rapport final détaillé sera élaboré, présentant les conclusions de l'étude ainsi que des recommandations pour la mise en œuvre et la gestion de la future station.

Chapitre I : INTRODUCTION GENERALE

I. Présentation de l'Agence du bassin hydraulique de Tensift (ABHT)

1. Définition :

L'agence du bassin hydraulique du Tensift (ABHT) est une des dizaines d'agences créées par la loi **10-95** sur l'eau en tant qu'établissements publics, Elle est dotée de la personnalité morale et de l'autonomie financière, chargées du développement et la gestion de l'eau et du domaine public hydraulique d'un bassin ou groupement de bassins hydrographiques.

L'Agence du bassin est chargée :

- d'élaborer le plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau à l'intérieur de sa zone d'action ;
- de veiller à l'application des recommandations du plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau ;
- de délivrer les autorisations et concessions d'utilisation du domaine public hydraulique prévues dans le plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau à l'intérieur de sa zone d'action ;
- de fournir toute aide financière et prestation de service, notamment d'assistance technique, aux personnes publiques ou privées qui en feraient la demande, soit pour prévenir la pollution des ressources, soit en vue d'un aménagement ou d'une utilisation du domaine public hydraulique ;
- de réaliser toutes les mesures piézométriques et de jaugeages ainsi que les études hydrologiques et hydrogéologiques, de planification et de gestion de l'eau tant sur le plan quantitatif que qualitatif ;
- de réaliser toutes les mesures de qualité et d'appliquer les dispositions de la loi 36/15 et des lois en vigueur relatives à la protection des ressources en eau et à la restauration de leur qualité, en collaboration avec l'autorité gouvernementale chargée de l'environnement ;
- de proposer et d'exécuter les mesures adéquates, d'ordre réglementaire, notamment, pour assurer l'approvisionnement en eau potable des populations en période de pénurie déclarée et pour prévenir les risques d'inondation ;
- de gérer et contrôler l'utilisation des ressources en eau mobilisées ;

- de réaliser les infrastructures nécessaires à la prévention et à la lutte contre les inondations ;
- de tenir un registre des droits d'eau reconnus et des concessions et autorisations de prélèvement d'eau accordées ;
- et de réutilisation des eaux usées et des boues d'épuration ;

Extrait de la loi 36/15 (article 80)

2. Zone d'action :

Administrativement, cette zone s'étend sur huit préfectures et provinces, elle couvre totalement la préfecture de Marrakech et les provinces d'Al Haouz, de Chichaoua, d'Essaouira et partiellement les provinces de Rehamna , de Kelaâ des Sraghnas, de Safi et de Youssoufia .

La carte ci-dessous (Fig. 1) représente les provinces appartenant à la zone d'action del'ABHT :



Figure 1: Carte illustrant la Zone d'action de l'ABHT. (ABHT / 2024)

3. Organigramme :

Cette agence est gérée par le conseil d'administration présidée par le ministre de l'équipement et de l'eau, et elle se caractérise par l'organigramme suivant (Fig. 2)

Organigramme de l'ABHT :

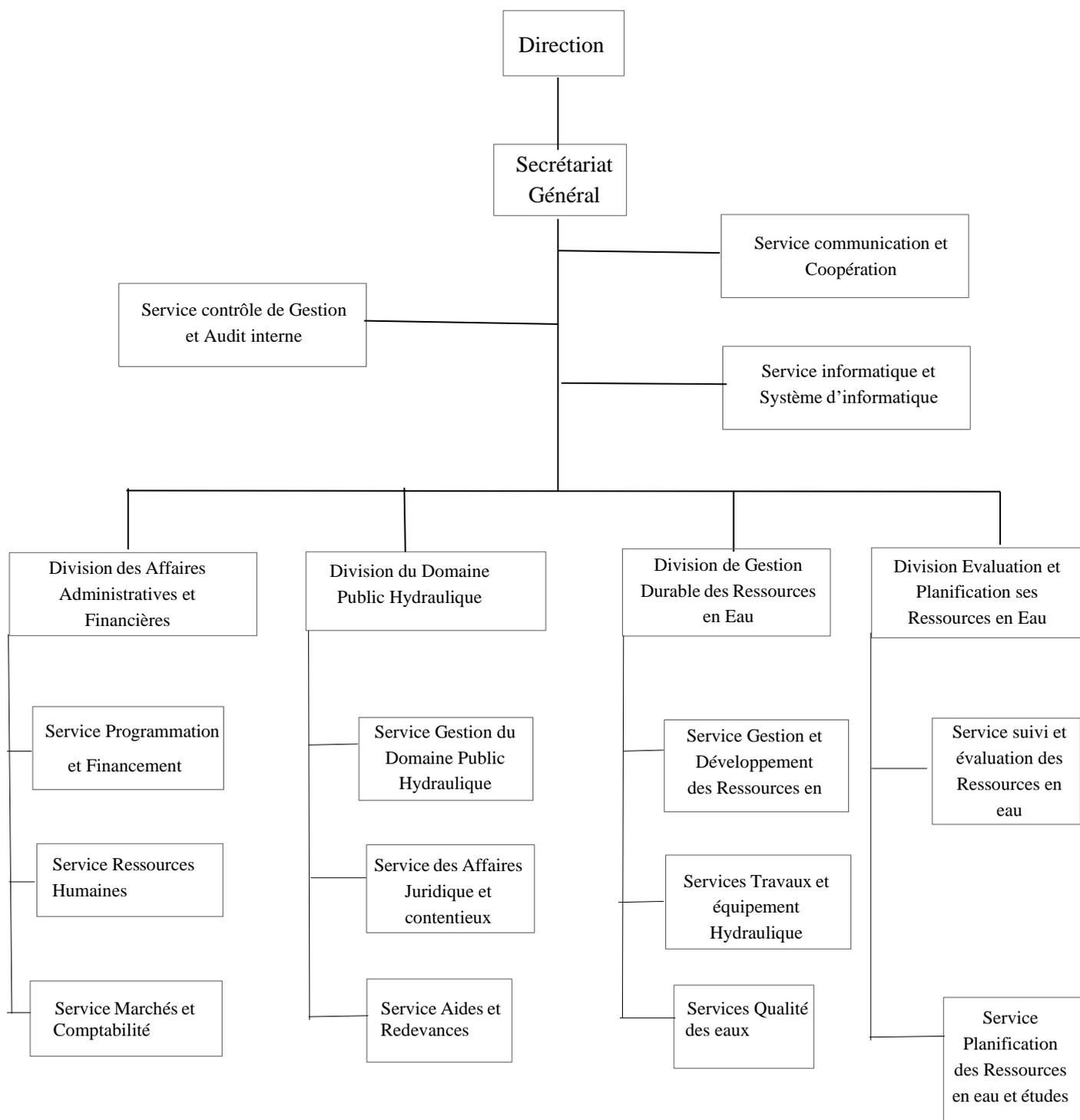


Figure 2: Organigramme de l'ABHT. (ABHT/2024)

II. Zone d'étude :

1. Contexte géographique :

La ville d'Essaouira se situe sur la façade atlantique du Maroc à **31°30'** de latitude Nord et **9°50'** de longitude Ouest. De par sa position duale (bordure océanique et proximité du Haut Atlas), elle appartient au secteur Nord-Ouest de l'Atlas atlantique, défini comme la région s'étirant d'est en ouest, du Haut Atlas occidental à l'océan Atlantique, et du sud au nord, de la plaine de l'oued Souss à celle de l'oued Tensift (Weisrock, 1980).

Essaouira est le centre administratif d'une province de **6335 Km²** où habitent environ **450.527** habitants (dont **78.390** à Essaouira). Sa médina s'étend sur une trentaine d'hectares. Elle a été construite sur une presqu'île rocheuse dans l'océan en une suite d'îlots éparpillés sur le littoral (fig.3).

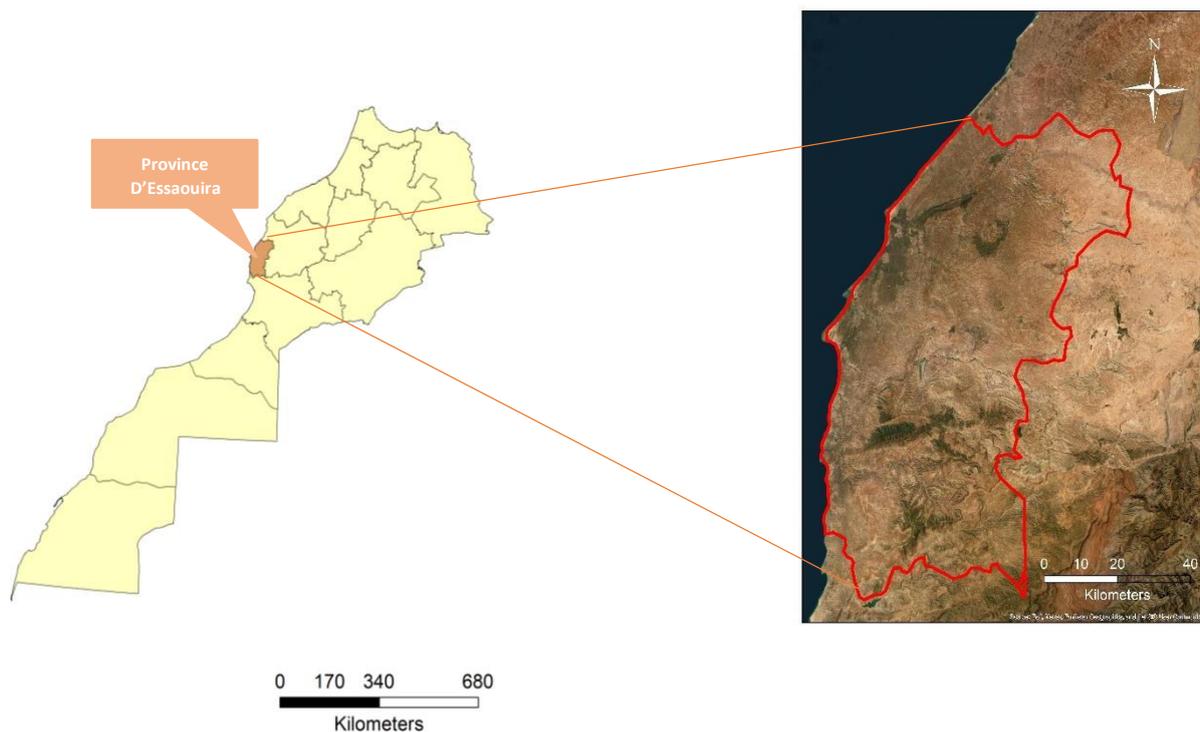


Figure 3: La situation géographique de la province d'Essaouira au Maroc et la carte du découpage de cette province.

2. Contexte géologique :

D'un point de vue géologique, la ville d'Essaouira relève de l'ensemble géologique du bassin d'Essaouira - Chichaoua et sa limite occidentale constituant la zone côtière d'Essaouira (Fig.4).

Cette zone côtière est presque partout recouverte par des formations dunaires du Pliocène et du Quaternaire, sur une bande parallèle à l'océan Atlantique et large d'une vingtaine de kilomètre.

Le faciès dominant y est constitué de formations à dominance carbonatée du Quaternaire et des formations grés-carbonatées du Pliocène. Au-dessous de cette couverture, se succèdent des couches à sédimentation variable, détritiques, carbonatées et/ou mixtes, d'âge allant du primaire jusqu'à Eocène.

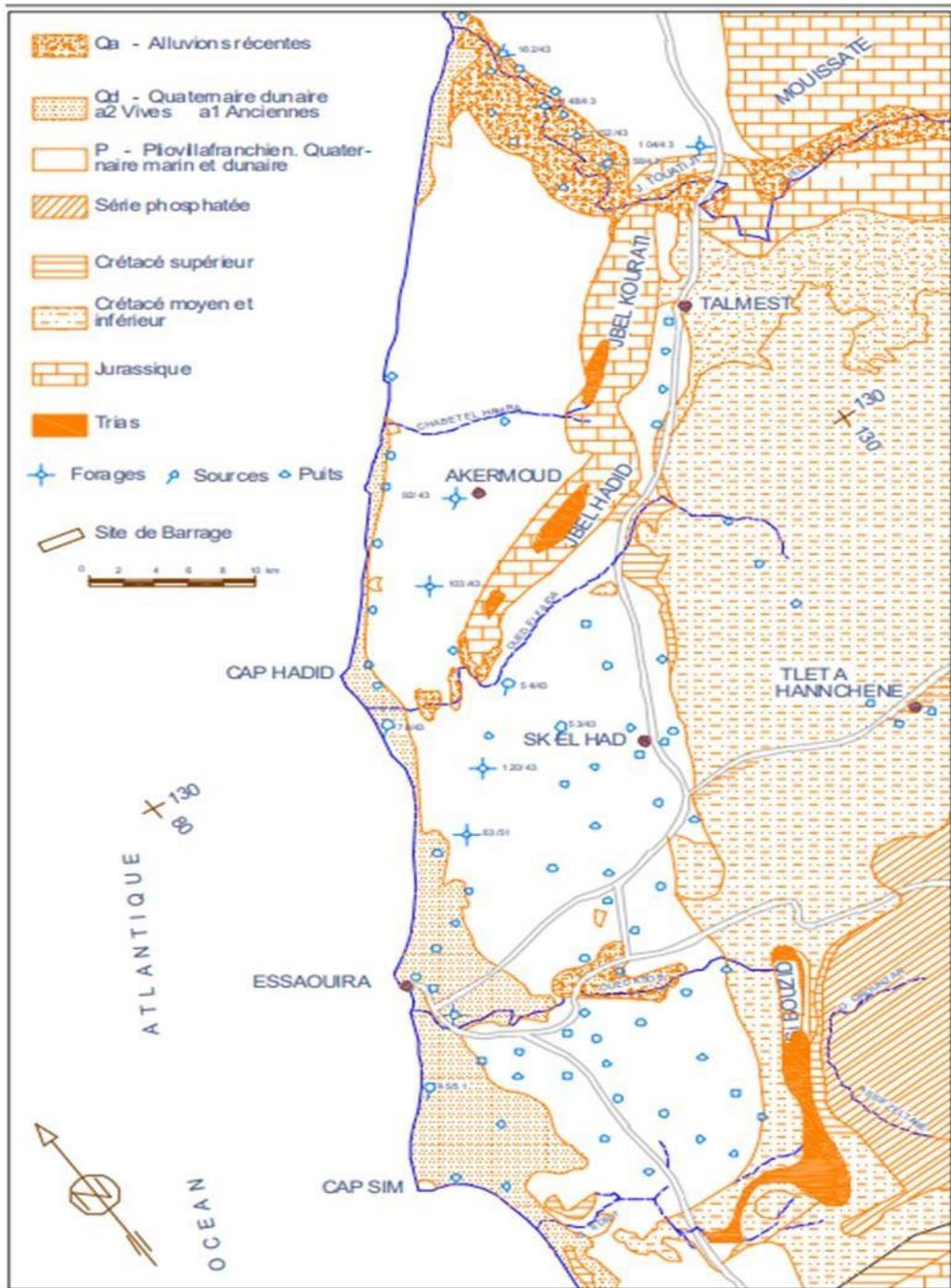


Figure 4: Carte géographique d'Essaouira (APD/2023).

3. Contexte géomorphologique :

3.1. Etat des sols au site :

La ville d'Essaouira se situe dans une région aride où les précipitations annuelles moyennes sont inférieures à 500mm. En conséquence, l'évolution du sol n'est pas très avancée. La proximité de

L'océan et son influence donnent lieu à des dépôts de sable. En raison de conditions climatiques du sol, il n'y a pas de couche végétale étendue dans la région.

4. Climatologie :

4.1. *Précipitations* :

La hauteur des précipitations augmente en hiver puis chute en été, avec des hauteurs de pluies très faibles. Le mois le plus pluvieux est décembre (Fig5).

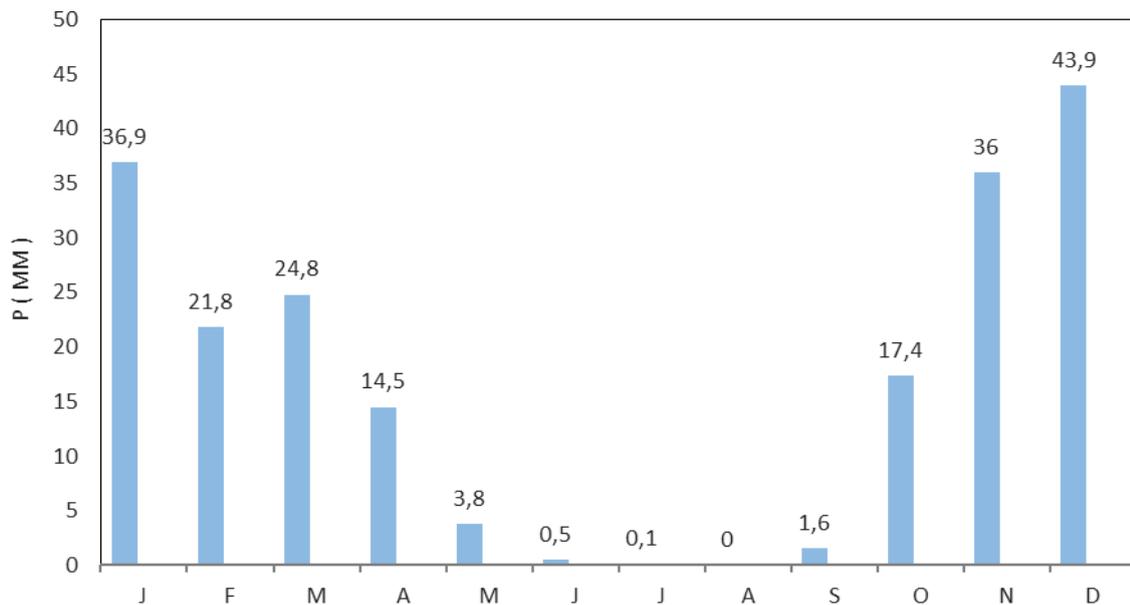


Figure 5: Pluviométrie moyenne mensuelle à Essaouira (APD /2014).

Ces précipitations se caractérisent par une faiblesse et une irrégularité dans le temps et dans l'espace.

La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 270 mm avec d'important écart interannuels. Plus de 85 % de la pluie annuel tombe sur les 5 mois hivernaux (de novembre à mars) avec des moyennes mensuelles d'environ 65 mm par mois.

Les pluies sont donc en général d'une intensité relativement faible. Toutefois, il peut occasionnellement subvenir des pluies courtes assez intenses.

4.2. Températures :

A partir des données de la station d'Essaouira-Port, les valeurs minimale, maximale et moyenne des températures enregistrées sont respectivement de l'ordre de 15.25°C, 20 et 17.66°C. Le mois le plus chaud est le mois de septembre. Le mois le plus froid étant janvier (Fig. 6).

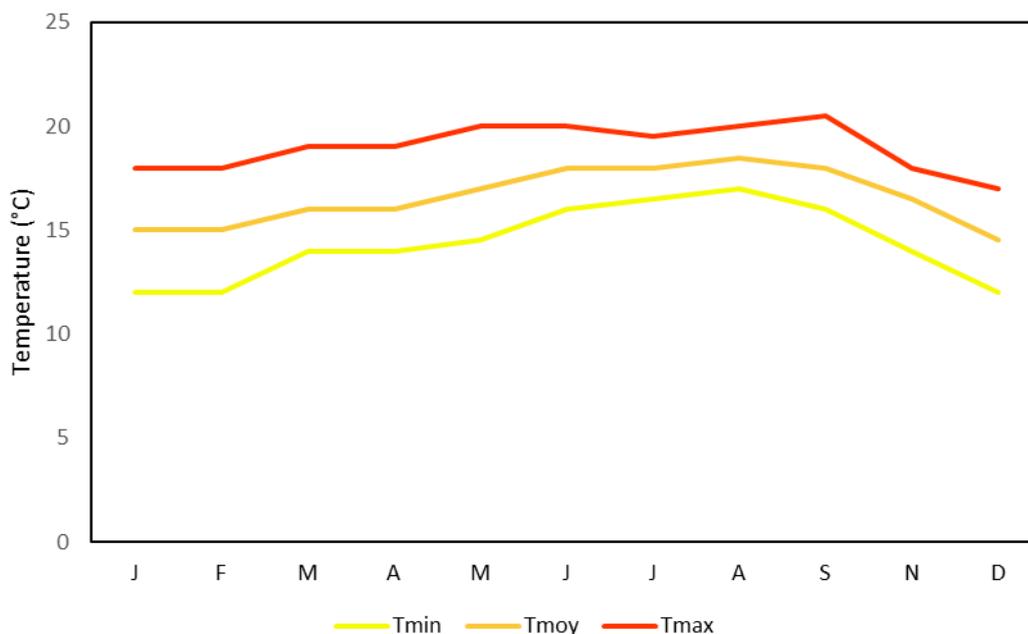


Figure 6: Température moyenne mensuelle à Essaouira (APD/2014).

Les températures sont donc très douces et de très faibles amplitudes entre les moyennes des extrêmes, conséquence directe de la forte influence océanique.

- La moyenne des maxima thermiques du mois le plus chaud (Août), est de **22,3°C**.
- La moyenne des minima thermiques du mois le plus froid (Janvier) est de **9,5°C**.
- L'amplitude thermique extrême étant de **12,8°C**.

4.3. Le vent dominant :

Les vents forts constituent une constante de la zone d'étude. Les directions dominantes sont le Nord avec une fréquence de 30% et le Nord - Est avec une fréquence de 24%.

Le nombre de jours de vent fort (plus de 16 m/s) a été estimé à 123 par an. La pointe élevée ayant dépassé 61m/s soit 220 km/h.

Ces vents forts sont responsables en grande partie du remaniement, transport et dépôts des sables marins et par conséquent la formation des dunes côtières.

5. Hydrographie :

La bande côtière est drainée essentiellement par les cours d'eau Igouzoulane et Ksob dont les chevelus hydrographiques forment les bassins côtiers d'Essaouira.

Ces cours d'eau prennent naissance à partir du Haut Atlas.

La médina d'Essaouira est située en rive droite de l'oued Ksob. Celui-ci débouche à plus de 2 Km de sa limite méridionale, dans la baie d'Essaouira. Il constitue le principal collecteur d'eau de la province d'Essaouira. Il est formé par l'union des oueds Igrounzar et Zeltene.

Les principales caractéristiques de ce cours d'eau sont dressées dans le tableau 1 ci-dessous

Tableau 1: Les principales caractéristiques de cours d'eau d'Essaouira (2014).

Superficie du bassin versant (Km ²)	Apport d'eau (mm ³)		
	Minimum	Moyenne	Maximum
1350	3	34,5	82

Ref : Les bassins Atlantiques d'Essaouira in « Les bassins Hydrauliques du Maroc »2014.

Aucun affluent ou confluents de l'oued Ksob ne draine la ville d'Essaouira.

6. Qualité de l'air :

Dans le cadre de cette étude, en ce qui concerne l'état initial de référence de la qualité de l'air, nous considérons les polluants atmosphériques suivants :

- Le SO₂: il résulte essentiellement de la combustion des matières fossiles contenant du soufre (charbons, produits pétroliers, etc.) et des procédés industriels ;
- Les Dioxydes d'Azote (NO, NO₂, NO_x) : Ils sont produits par des processus de combustion et émis principalement par les véhicules et les installations de combustion ;

- Les poussières ou matières particulaires (PM) : Elles proviennent de la circulation automobile, des industries et des processus de combustion. Les particules fines (PM2.5) proviennent en général des moteurs et les grosses particules (PM10) proviennent des effluents industriels.

6.1. Les sources de pollution :

Les principales sources de pollution à l'intérieur de l'aire d'étude sont : le trafic routier, la tannerie, l'artisanat et l'activité domestique (cuisson).

D'après le rapport « *Pollution Atmosphériques au Maroc : Situation en 2002* », seules les deux premières sources sont significatives en matière de pollution de l'air au Maroc et donc également dans la région ici considérée dans cette étude.

III. Généralités sur les eaux usées :

Lorsqu'il s'agit des eaux usées, il est important de comprendre leur définition, leur origine et leurs caractéristiques, ainsi que les différentes méthodes utilisées pour leur traitement.

1. Définition des eaux usées :

Les eaux usées classées comme étant d'origine urbaine sont des effluents pollués provenant de diverses utilisations, qui sont rejetés dans un système d'égouts. L'eau ainsi collectée dans ce réseau d'égouts apparaît comme un liquide trouble, généralement de couleur grisâtre, contenant des matières en suspension d'origine minérale et organique avec des concentrations extrêmement variables. En plus des eaux de pluie, les eaux résiduaires urbaines sont principalement d'origine domestique, mais elles peuvent également inclure une grande diversité d'eaux résiduaires d'origine industrielle ou même agricole.

2. Paramètres de pollution :

Les paramètres de pollution des eaux usées peuvent varier en fonction de l'origine et de la composition spécifique de ces eaux usées. Certains des paramètres couramment utilisés pour évaluer la pollution des eaux usées sont présentés sur la figure 7 ci-dessous :

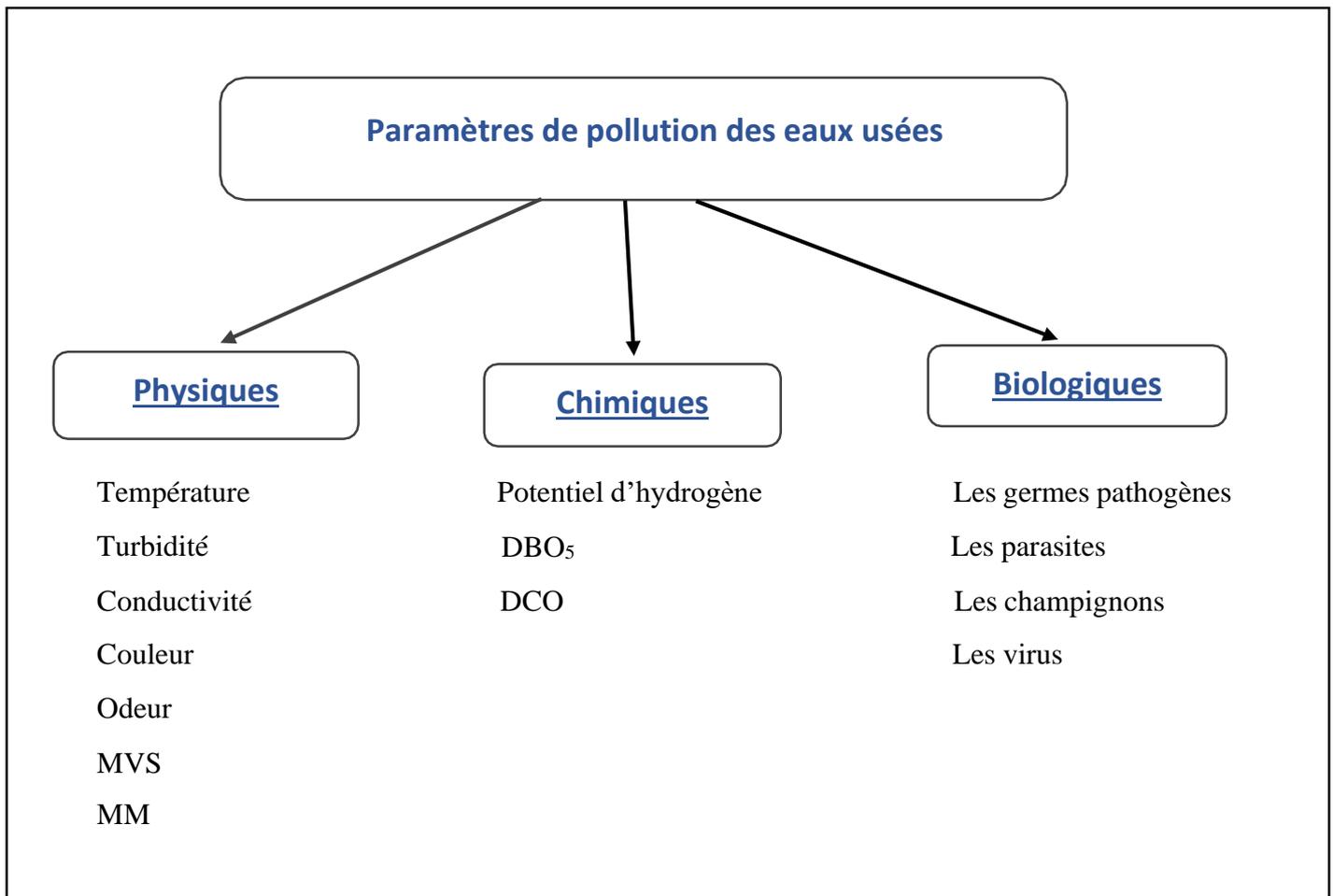


Figure 7: Schéma des paramètres de pollution des eaux usées.

À partir de ce qui précède, il est nécessaire d'épurer les eaux usées par un ensemble de techniques qui sert à purifier l'eau soit pour les recycler soit pour leur réutilisation.

IV. Station d'épuration des eaux usées utilisant le procédé de boues activées :

1. L'historique :

Le principe de traitement des eaux usées par boues activées est connu depuis le début du XXe siècle. *Ardern et Lockett* ont mis au point le procédé en 1913 pour le département de Manchester Corporation Rivers aux installations de *Davyhulme*. Devant la performance

élevée du système, ces ingénieurs ont pensé avoir activé la boue présente dans le réacteur, d'où le nom du procédé.

Ce procédé est récemment commencé à se développer au Maroc qu'ailleurs dans le monde. On compte environ une dizaine d'installations de type boues activées.

2. Caractéristiques générales :

En principe, un système de traitement biologique des eaux usées vise à reproduire les processus de décomposition des polluants qui se produisent naturellement dans le milieu récepteur. Le système de traitement est un endroit confiné qui offre des conditions favorables à une dégradation rapide de ces contaminants.

Le traitement se fait en différentes étapes, Dans la première étape, les contaminants solubles ou colloïdaux sont consommés par les microorganismes qui les transforment en constituants cellulaires. Ensuite, ces microorganismes et d'autres matières en suspension peuvent être séparés mécaniquement de l'eau épurée.

Le système de boues activées est donc une grande culture de microorganismes en suspension qui consomment les polluants pour les transformer en masse cellulaire et partiellement en CO₂. Afin d'accélérer le processus de dégradation des contaminants organiques, la biomasse est concentrée par le processus de séparation solide-liquide, puis recyclée dans le système, Ceci entraîne une différenciation entre le temps de résidence hydraulique (τ) et le temps de résidence des boues (âge des boues : θ_C). Cela confère au traitement une bonne stabilité et une grande efficacité.

La séparation solide-liquide se fait selon divers processus de décantation ou de filtration.

La réduction de certains nutriments, comme le phosphore lors de la déphosphatation biologique ou encore l'azote lors de la nitrification et de la dénitrification, est effectuée en exposant la biomasse à différents cycles oxiques.

3. Définition d'une station d'épuration utilisant le procédé de boues activées :

Une station d'épuration des eaux usées, également appelée « STEP », est une installation qui regroupe différentes techniques visant à rassembler et à purifier les eaux polluées avant de les rejeter dans la nature ou de les réutiliser. Elle est généralement située à l'extrémité d'un réseau de collecte.

Les STEP peuvent utiliser divers principes, à la fois physiques et biologiques, mais le processus le plus couramment utilisé est le traitement biologique, qui implique l'utilisation de bactéries capables de décomposer les matières organiques.

Une station d'épuration est composée d'une séquence de dispositifs spécialement conçus pour extraire, à différentes étapes, les différents polluants présents dans les eaux. La pollution capturée par la station d'épuration est ensuite transformée en boues. La configuration des dispositifs est calculée en fonction de la nature des eaux usées collectées dans le réseau et des types de pollutions à traiter.

Chapitre II : Conception de la STEP d'ESSAOUIRA

I. Généralité :

1. Cadre réglementaire :

La loi de l'eau 36-15, qui est en vigueur actuellement, soumet les stations d'épuration à des normes strictes concernant les rejets dans les milieux naturels. Ces normes visent à protéger les ressources en eau et l'écosystème, en garantissant que les rejets soient conformes aux standards de qualité, ce qui nécessite une attention particulière aux effets des produits chimiques et des micro-organismes présents dans les rejets.

Le Maroc est confronté à un stress hydrique croissant, ce qui signifie que les ressources en eau sont de plus en plus limitées par rapport à la demande. Dans ce contexte, la réutilisation des eaux usées traitées est devenue une solution importante en travaillant à l'adaptation de la filière tertiaire, à l'amélioration des processus de traitement et à la minimisation des impacts environnementaux.

Les stations d'épuration au Maroc sont donc obligées de répondre aux normes de réutilisation des eaux usées. Cela permet de garantir la disponibilité d'une source d'eau supplémentaire tout en préservant les ressources en eau douce limitées du pays et en réduisant la pression sur l'environnement.

2. Conception générale :

La STEP projetée aura une capacité de 140 794 équivalents habitant à l'horizon 2045. La STEP comportera une étape de prétraitement, un traitement biologique de type boues activées à faible charge, une filtration à sable suivi d'une désinfection par UV, un traitement des boues ainsi que séchage solaire des boues déshydratées. Elle est conçue en deux files de traitement en parallèle.

Le projet tient compte de l'éventualité d'une extension future pour l'horizon 2045. Les ouvrages qui ne seront pas réalisés en étape seront mis en œuvre pour cet horizon. Le projet a été conçu pour réutiliser les bassins existants anaérobies. Cette conception offre l'avantage d'optimiser et réduire les ouvrages futurs en cas d'éventuelle extension mais surtout offrir plus de flexibilité d'exploitation en cas de surcharge ponctuelle de la station.

La conception générale, respecte les exigences en termes de fiabilité de l'installation, d'optimisation et flexibilité de maintenance et d'entretien, respect des aspects hydrauliques, protections des Équipements, optimisation de l'implantation, protection du personnel exploitant et les principes de dimensionnement de la Boue activée.

II. Normes de rejet et de réutilisation :

Une norme est représentée par un chiffre qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser ou une limite inférieure à respecter. Un critère donné est rempli lorsque la norme est respectée pour un paramètre donné. Une norme est fixée par une loi, une directive, un décret de loi.

Afin de préserver l'environnement, le Gouvernement marocain et le Ministère de l'Équipement et de l'eau ont préparé plusieurs lois et décrets relatifs à la préservation des ressources en eaux à savoir les normes de rejet (Tab.2).

Tableau 2: Valeurs limites spécifiques de rejet applicables aux déversements d'eaux usées des agglomérations urbaines (25 juillet 2006).

Paramètres	Valeurs limites spécifiques de rejet domestique
DBO5 mg O ₂ /l	120
DCO mgO ₂ /l	250
MES mg/l	150

Ref : Arrêté des valeurs limites spécifiques de rejet domestique n° 1607-06. Article 7

La situation de stress hydrique actuelle a conduit à une prise de conscience accrue de la nécessité de préserver les ressources en eau, tant d'un point de vue qualitatif que quantitatif. Face à cette réalité, le ministre a pris une décision interdisant l'irrigation par l'eau potable. Cependant, afin de garantir le respect de cette mesure tout en répondant aux besoins agricoles, des normes strictes de réutilisation de l'eau ont été mises en place. Ces normes permettent de maximiser l'utilisation des ressources en eau déjà disponibles en favorisant leur recyclage et leur réutilisation dans les activités agricoles. Ainsi, tout en préservant la qualité de l'eau potable pour les besoins essentiels, ces mesures assurent une utilisation rationnelle et durable des ressources hydriques.

Le tableau 3 représente les valeurs limites actuellement en vigueur au Maroc pour la réutilisation des eaux usées traitées

Tableau 3: Les normes de qualité des eaux usées destinées à l'irrigation (17 octobre 2002).

Catégorie	Conditions de réalisation	Groupe exposé	Nématodes intestinaux (moyennes arithmétique du nombre d'œufs par litre)	Coliformes fécaux (moyenne géométrique du nombre par 100 ml)	Procédés de traitement des eaux usées susceptibles d'assurer la qualité microbiologique voulu
A	Irrigation de cultures destinées à être consommées crues, des terrains de sport, des jardins publics	Ouvriers agricoles, Consommateurs Public	Absence	0111	Une série de bassins de stabilisation conçus de manière à obtenir la qualité microbiologique voulue ou tout autre traitement équivalent.
B	Irrigation de cultures céréalières, industrielles et fourragères, des pâturages et des plantations d'arbres	Ouvriers agricoles	Absence	Aucune norme n'est recommandée	Rétention en bassin de stabilisation pendant 8-10 jours ou tout autre procédé permettant une élimination équivalent des helminthes et des coliformes fécaux
C	Irrigation localisée des cultures de la catégorie B si les ouvriers agricoles et le public ne sont pas exposés	Aucun	Sans objet	Sans objet	Traitement en fonction de la technique d'irrigation, mais au moins une décantation primaire

Ref : Arrêté conjoint du ministre de l'équipement

Article 4

Paramètres	Valeurs limites
PARAMETRES BACTERIOLOGIQUES	
Coliformes fécaux	1000/100 ml
Salmonelle	Absence dans 51
Vibrion Cholérique	Absence dans 450 ml
PARAMETRES PARASITOLOGIQUES	
Parasites pathogènes	Absence
Œufs, Kystes de parasites	Absence
Larves d'Ankylostomides	Absence
Fluocercaires de Schistosoma hoematobium	Absence

PARAMETRES TOXIQUES (1)	
Mercure (Hg) en mg/l	0,001
Cadmium (Cd) en mg/l	0,01
Arsenic (As) en mg/l	0,1
Chrome total (Cr) en mg/l	1
Plomb (Pb) en mg/b	5
Cuivre (Cu) en mg/l	2
Zinc (Zn) en mg/l	2
Sélénium (Se) en mg/l	0,02
Fluor (F) en mg/l	1
Cyanures (Cn) en mg/l	1
Phénols en mg/l	3
Aluminium (Al) en mg/l	5
Béryllium (Be) en mg/	0,1
Cobalt (Co) en mg/l	0,5
Fer (Fe) en mg/l	5
Lithium (Li) en mg/l	2,5
Manganèse (Mn) en mg/l	0,2
Molybdène (Mo) en mg/l	0,01
Nickel (Ni) en mg/l	2
Vanadium (V) en mg/l	0,1
PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES	
SALINITE	
Salinité totale (STD) mg/l **	7680
Conductivité électrique (CE) mS/cm à 25°C*	12
Infiltration	
le SAR*** = 0 -3 et CE =	< 0,2
3 -6 et CE =	< 0,3
6 – 12 et CE =	< 0,5
12 -20 et CE =	< 1,3
20 -40 et CE =	< 3
IONS TOXIQUES (affectant les cultures sensibles)	
Sodium (Na)	
. Irrigation en surface (SAR***)	69
. Irrigation par aspersion (mg/l)	9
Chlorure (Cl)	
. Irrigation de surface (mg/l)	350
. Irrigation par aspersion (mg/l)	15
Bore (B) (mg/l)	3
EFFETS DIVERS (affectant les cultures sensibles)	
Température (°C)	35
pH	6,5 – 8,4
Matières en suspension en mg/l Irrigation gravitaire Irrigation par aspersion et localisée	200 100
Azote nitrique (N-NO3) en mg/l	30
Bicarbonate (HCO3) [Irrigation par aspersion en mg/l]	518
Sulfates (SO24) en mg/l	250

Ref : (Décret n° 2-97-787 du 6 Chaoual (4 février 1998)

Bien que ces valeurs soient encore relativement restreintes, et dans le contexte de stress hydrique croissant auquel le Maroc fait face, le ministère de l'Eau et de l'Équipement cherche à adapter la réglementation pour permettre une utilisation plus souple et étendue des eaux usées traitées, tout en maintenant des critères de qualité appropriés.

III. Evaluation de la performance de la STEP actuelle (lagunage naturel) :

Avant d'étudier la conversion de la STEP d'Essaouira d'un système lagunage en un système de boues activées, il convient d'étudier les performances de la STEP actuelle (Tab.4).

1. Aspect quantitatif :

Tableau 4 : Les débits d'entrée et de la sortie de la STEP de l'année 2022.

Date	Période	Débit entrée STEP (m ³ /h)	Débit sortie STEP (m ³ /h)
14 /12/2022	10H-11H	363	353
	11H-12H	427	341
	12H-13H	411	325
	13H-14H	396	311
	14H-15H	312	296
	15H-16H	332	289
	16H-17H	346	252
	17H-18H	357	319
	18H-19H	391	383
	19H-20H	378	375
	20H-21H	371	371
	21H-22H	364	374
	22H-23H	353	369
23H-00H	344	363	

15 /12/2022	00H-01H	411	383
	01H-02H	391	355
	02H-03H	376	340
	03H-04H	366	327
	04H-05H	353	320
	05H-06H	343	311
	06H-07H	311	383
	07H-08H	303	267
	08H-09H	348	300
	09H-10H	371	344
Volume journalier	(m ³)	8720	7950
	Min	303	252
	Moyen	363	331
	Max	427	383

Ref : Analyses réalisé par l'ABHT en (2022)

Le débit journalier de la station d'épuration est très élevé, atteignant 9000 m³, ce qui peut avoir des conséquences néfastes pour les citoyens et l'environnement. donc il faut avoir un système de traitement plus performant que lagunage naturel.

Ce débit va nous servir de calculer les charges polluantes et d'évaluer la performance de la station d'épuration.

2. Aspect qualitatif :

Afin d'évaluer la performance de la STEP actuelle, plusieurs mesures ont été réalisés à l'entrée et à la sortie de la STEP, les résultats trouvés sont mentionnés dans le tableau 5 ci-après.

Tableau 5 : Mesures de quelques paramètres chimique de la STEP d'Essaouira (03/2020).

Paramètres	Température de l'eau (C°)	pH	Conductivité à 20°C (µs/cm)	O ₂ dissous (mgO ₂ /l)	Turbidité (NTU)	MES (mg/l)	DBO ₅ (mgO ₂ /l)	DCO (mgO ₂ /l)
Entrée STEP	16	7,85	2164	0	204	196	275	614

Sortie STEP	15	8,05	2435	0	172	94,5	125	283
La performance	-	-	-	-	15%	51%	54%	53%

Mesures réalisées par l'ABHT en 2020.

L'interprétation des résultats montre un abattement des plusieurs paramètres, notamment une réduction de 50% de la matière organique, et une diminution de 15% de la turbidité, ce qui montre clairement que la performance de la méthode actuelle de traitement des eaux usées se révèle insatisfaisante, Par conséquent, il est nécessaire d'installer une nouvelle station d'épuration de types boues activées. Pour répondre aux normes de rejets et permettra de la réutilisation des eaux usées, garantissant ainsi la préservation de notre environnement et la santé de notre communauté.

Pour mieux étudier l'impact de ses eaux usées mal traitées sur les ressources en eau, on va calculer par la suite la charge polluante.

Les charges polluantes à traiter par la STEP (Tab.6), retenues en mission précédente sont calculées par la relation suivante :

$$CP \text{ (kg/j)} = [C] \text{ (mg/l)} \times Q \text{ (m}^3\text{/J)}$$

Avec :

CP : Charge polluante

Q : Débit moyen journalier

C : Concentration

Exemple de calcul : la charge polluante en terme de DBO₅ à l'entrée de la STEP

$$CP_{(DBO_5)} = (275 \times 9000) / 1000 = 2475 \text{ KgO}_2\text{/j}$$

Tableau 6 : Fiche des charges polluantes.

Paramètres		MES (kg/j)	DBO ₅ (KgO ₂ /j)	DCO (KGO ₂ /j)
Concentration	A l'entrée	196	275	614
	A la sortie	94,5	125	283
Débit m ³ /J	A l'entrée	8720		
	A la sortie	7950		
Charge Polluante	A l'entrée	1764	2475	5526
	A la sortie	756	1000	2264

Les résultats obtenus pour ces différentes mesures de paramètres qualitatifs indiquent clairement que le système actuel n'est pas efficace pour le traitement des eaux usées.

Le traitement ne dépasse pas 54 % donc la charge polluante rejetée dans le milieu naturel est environ 1000 Kg/j en terme de DBO₅.

Dans le but d'approfondir l'étude du système, une comparaison sera effectuée entre les résultats des analyses qualitatives et les normes établies. Cette comparaison permettra d'évaluer la conformité du système aux critères et aux standards définis, offrant ainsi une meilleure compréhension le fonctionnement de la STEP.

3. Conformité aux normes de rejet et de réutilisation :

Tableau 7 : prélèvements et analyses des eaux traitées à la sortie de la STEP de type lagunage naturel(Voir la liste des abréviations).

Les paramètres	Résultats d'analyses	Valeur limites de réutilisation	Valeur limites de Rejet
DCO (mgO ₂ /l)	371		250
DBO ₅ (mgO ₂ /l)	123		120
MES (mg/l)	188		150
pH	7,82	6,5 – 8,4	
Température (eau)	19	35	
Conductivité à 20°C (µS/cm)	1914	12 000	
Turbidité (NTU)	39,5		
NTK (mgN/l)	77,8		
PT (mgP/l)	8,19		
Ca ²⁺ (mg/l)	104		
Mg ²⁺ (mg/l)	55,9		
K ⁺ (mg/l)	29		
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	4,24		
NH ₄ ⁺ (mg/l)	65,5		
CN ⁻ (mg/l)	<0,04	1	
Détergent	8,70		
Hg (mg/l)	4,25	0,001	
Mn (mg/l)	0,060	0,2	
FeT (mg/l)	0,393	5	
Co (mg/l)	<0,0101	0,5	
Cu (mg/l)	0,022	2	
Zn (mg/l)	0,033	2	
Pb (mg/l)	<0,010	5	
CrT (mg/l)	<0,010	1	

Ni (mg/l)	<0,010	2	
As (mg/l)	<0,010	0,1	
Se (mg/l)	<0,010	0,02	
F ⁻ (mg/l)	0,367	1	
Phénol	0,075	3	
Cl ⁻	379	En surface : 350 mg/l Par aspersion : 15 mg/l	
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	81,1	250	
NO ₃ ⁻ (mg/l)	<0,221	30	
Na ⁺	244	En surface : 69 SAR Par aspersion: 15 mg/l	
CF (UFC/100ml)	6,8 x 10 ⁵	1000	
O ₂ dissous (mgO ₂ /l)	0		

Ref : Analyses réalisée par l'ABHT en 2020

Légende :

 : Supérieur à la valeur limite.

 : Inférieur à la valeur limite.

L'analyse du tableau 7 comparatif des eaux usées par rapport aux normes de rejets et de réutilisation met en évidence des observations significatives. Les valeurs **des coliformes fécaux**, en particulier, qui constituent le principal problème en termes de bactériologie, dépassent les normes de réutilisation, soulignant ainsi un défi en matière de traitement des eaux usées. De même, les niveaux de **Na²⁺**, **Hg** et de **Cl⁻** dépassent également les normes de réutilisation, mettant en lumière la nécessité d'une gestion plus efficace de ces éléments dans le processus de traitement.

Cependant, il est intéressant de noter que certains résultats concernant **les métaux lourds** respectent les normes de réutilisation, ce qui suggère que ces contaminants pourraient être d'origine domestique plutôt qu'industrielle. En outre, la non-conformité des niveaux de matière organique aux normes de rejets indique une possible nécessité d'améliorer les processus de traitement pour garantir une élimination plus efficace de cette composante organique.

Comme on a signalé précédemment, il a été constaté que le traitement ne dépasse pas **54%** et il ne respecte pas les normes établies, il est donc impératif de trouver une solution plus performante pour assurer un traitement adéquat de ces matières et garantir ainsi la qualité de l'eau traitée.

Pour cette raison, les gestionnaires d'Essaouira ont pris la décision de convertir le système lagunage naturel en un système de boues activées.

IV. Etude de la conversion de la STEP du système lagunage au système de boues activées :

1. Estimation de la population aux différents horizons :

Dans le futur, il est probable que la relation entre le débit des eaux usées et l'évolution de la population deviendra de plus en plus importante. En effet, avec une croissance démographique, le besoin en eau potable et en assainissement augmentera également. Cela signifiera que les systèmes d'égout et d'épuration des eaux usées devront être améliorés et modernisés pour répondre aux besoins croissants de la population. De plus, l'utilisation efficace et responsable des ressources en eau sera une préoccupation croissante pour les gouvernements et les individus, ce qui entraînera des mesures de conservation et de réduction des pertes d'eau. Ainsi, il est important de développer des stratégies à long terme pour garantir l'approvisionnement en eau et l'assainissement adéquats pour la population mondiale croissante.

L'évolution du taux d'accroissement de la population de la ville d'Essaouira est présentée dans le tableau 8 suivant :

Tableau 8: Evolution de la population de la ville d'Essaouira.

Année	1994	2004	2014
Taux d'accroissement en %	2,17 %		1,16 %
Population	56 074	69 493	77 966

Ref : statistiques RGPH : 1994, 2004 et 2014

Lors du dimensionnement de la station, il est nécessaire d'estimer la population prévue à l'horizon 2045.

Pour estimer la population (Tab.9), il faut utiliser la formule suivante :

$$\mathbf{P_{estimée} = P_{initiale} + (P_{initiale} \times \text{Taux d'accroissement})}$$

Avec le Taux d'accroissement est donnée par la relation :

$$\varphi = \left(\frac{P_n}{P_{n-1}} \right)^{1/(N-N-1)} - 1$$

Tableau 9: Estimation de la population d'Essaouira aux différents horizons.

Année	2004	2014	2024	2034	2044
Le taux d'accroissement en %	1,16	0,36	1,10	1,04	
Équivalent habitants	69 493	77 966	87 010,05	96 581,16	100 625,60

La projection démographique proposée et validée par l'ONEE et le comité de suivi de l'étude est présentée dans le tableau 10 suivant :

Tableau 10: Nouvelle projection démographique d'Essaouira en 2024 (ONEE /2024) .

Année	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045
Le Taux d'accroissement en %	2	1,8	1,6	1,6	1,5	1,5	
Population	86 500	94 600	103 400	111 900	121 100	130 728	140 794

Réf: analyses réalisé par l'ONEP.

D'après les données présentées dans le tableau 10, il est évident que la population prévue par l'ONEP pour l'horizon 2045 est supérieure à notre estimation initiale. Cette différence s'explique par la prise en compte de divers facteurs tels que le taux d'aménagement prévu, les futurs projets de la ville d'Essaouira et les recommandations du comité de suivi.

Pour des raisons de sécurité, nous allons utiliser les estimations de population fournies par l'ONEP.

2. Estimation de volume des eaux usées et des charges polluantes à traiter aux différents horizons :

2.1. Calcule des débits :

a. Débit journalier :

Le volume de retour à l'égout par les habitants est estimé à 80 % de la dotation d'approvisionnement en Eau potable (AEP). Nous avons adopté une dotation journalière de 100 L/hab/J pour la ville d'Essaouira, Le débit total journalier est définie par :

$$Q_{\text{moyen}} = N \times D \times 10^{-3} \times R$$

Avec :

N : Nombre d'habitant à l'horizon considéré ;

D : Dotation journalier par (L/hab/J);

R : Coefficient de rejet (Avec R=0,8).

b. Débit moyen horaire :

Le débit moyen horaire est donné par la relation :

$$Q_{\text{moyen}} = Q_{\text{journalier}} / 24$$

c. Débit de pointe :

Par définition le débit de pointe horaire est défini par la relation :

$$Q_p = C_p \times Q_{\text{moyen}}$$

Avec :

$$\begin{cases} C_p = 1,5 + 2,5 / \sqrt{Q_{\text{moyen}}} & \text{Si } Q_m \geq 2,8 \text{ L/s} \\ C_p = 3 & \text{Si } Q_m < 2,8 \text{ L/s} \end{cases}$$

En appliquant ces relations, nous pouvons calculer les débits par rapport à la population pour différents horizons. Les résultats de ces calculs sont présentés dans le tableau 11 ci-dessous :

Tableau 11 : Estimation des débits des eaux usées d'Essaouira aux différents horizons.

Année	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045
Population (hab)	85 500	94 600	103 400	111 900	121 100	130 700	140 800
Débit moyen journalier (m ³ /j)	6930	7570	8270	8950	9690	10 456	11 264
Débit moyen horaire (m ³ /h)	288,75	315,41	344,58	372,92	403,75	435,66	469,33
Débit de pointe horaire (m ³ /h)	476,44	517,29	561,66	607,86	654,07	705,77	755,62

Il est notable que le débit calculé en fonction de l'estimation de la population à l'horizon **2025** est de **8270 m³**, ce qui est proche à celle mesuré par l'ABHT qui égal à **8720m³**, Cette Observation démontre la fiabilité de notre raisonnement.

2.2. Charges polluantes :

Le tableau 12 ci-après caractérise l'estimation des débits et des charges polluantes à l'horizon 2045 nécessaires au dimensionnement :

Tableau 12: Estimation de la charge polluante des eaux usées d'Essaouira aux différents horizons.

Année	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045
Populations	86 500	94 600	103 400	111 900	121 100	130 728	140 794
Débit Moyen journalier (m ³ /j)	6930	7570	8270	8950	9690	10 456	11 264
MES (Kg/j)	2702,7	2952,3	3225,3	3490,5	3779,1	4077,84	4392,96
DCO (KgO ₂ /j)	5405,4	5904,4	6450,6	6981	7558,2	8155,62	8785,92
DBO ₅ (KgO ₂ /j)	2182,95	2384,55	2605,05	2819,25	3052,35	3293,64	3548,16

Avec :

- La Concentration en DBO₅ à la sortie =315 mgO₂ / l ;
- La Concentration en DCO à la sortie =780 mgO₂/l ;
- La Concentration en MES à la sortie =390 mg/l.

Il est essentiel de bien évaluer ces éléments lors du dimensionnement afin de garantir une conception adaptée et une performance optimale de la station d'épuration. La population desservie permet de déterminer la charge hydraulique et organique à prendre en compte. Les débits d'eaux usées attendus sont estimés en fonction des projections démographiques et des activités économiques de la zone concernée.

V. Chaîne d'épuration :

Les étapes d'épuration des eaux usées comprennent généralement plusieurs processus distincts, visant à éliminer les contaminants et à rendre l'eau propre et sûre pour être rejetée dans l'environnement ou réutilisée. Ces étapes peuvent inclure le prétraitement, le traitement primaire, le traitement secondaire et le traitement tertiaire. Chacune de ces étapes vise à éliminer différents types de polluants, tels que les solides en suspension, les matières organiques, les nutriments, les substances toxiques et les agents pathogènes, afin de produire une eau de qualité

acceptable selon les normes environnementales et sanitaires. Voici un schéma qui résume ces différentes étapes (Fig. 8) :

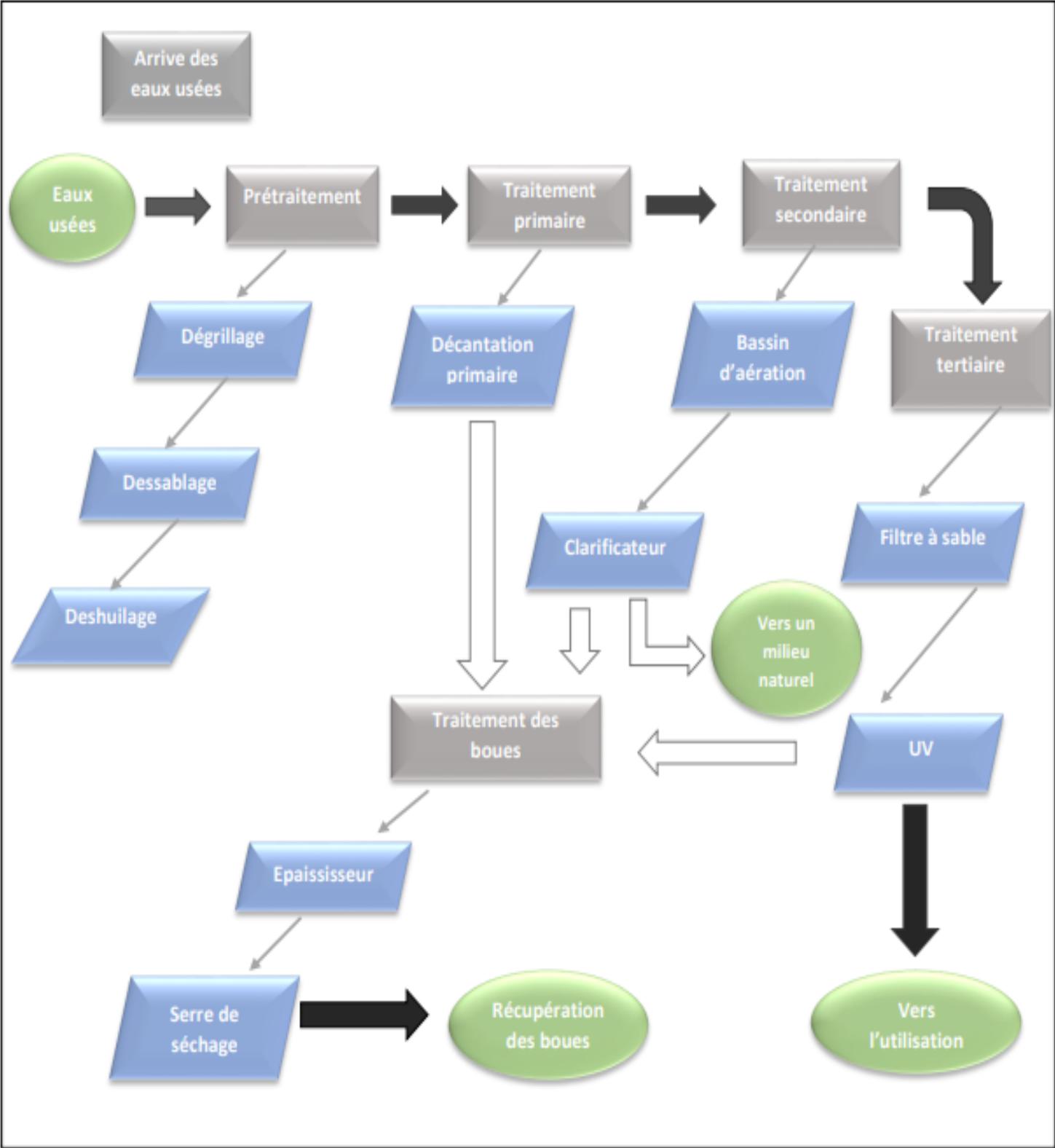


Figure 8 : Chaine de filière d'épuration.

Chapitre III : Dimensionnement de la STEP d'Essaouira.

I. Le site choisi pour l'implantation de la STEP :

Avant d'entamer le dimensionnement de différentes infrastructures d'une STEP Il est recommandé de sélectionner l'emplacement pour l'installer.

Le site d'implantation de la station d'épuration vérifié et approuvé par la commission compétente est celui de la station existante de type lagunage naturel située au Nord-Ouest de la ville d'Essaouira (Fig.9).

Cette commission a effectué une évaluation approfondie de plusieurs critères afin de garantir que le site réponde à toutes les conditions requises pour le bon fonctionnement de la station d'épuration. Parmi ces critères figuraient la disponibilité de l'espace nécessaire, l'accessibilité aux sources d'eau usée, les contraintes environnementales, la proximité des zones résidentielles et la conformité aux réglementations en vigueur. Grâce à cette sélection rigoureuse, nous pouvons être assurés que le site choisi offre les conditions de travail optimales pour la future station d'épuration, permettant ainsi une gestion efficace des eaux usées et une protection adéquate de l'environnement.



Figure 9: Carte de site de la STEP actuelle d'Essaouira (APD /2023).

II. Les ouvrages de la station d'épuration :

Les ouvrages de la STEP d'Essaouira des eaux usées sont divisés en deux filières principales la filière eaux et la filière boues projetée seront comme suit (Tab.13):

Tableau 13: Les ouvrages des filières de la STEP d'Essaouira.

Filière eau	Filière boues
<ul style="list-style-type: none">- Une chambre de réception des effluents ;- 2 dégrilleurs fins et 2 grossiers ;- 2 dessableurs – déshuileur ;- Un décanteur primaire ;- 4 bassins d'aération ;- Un clarificateur ;- 2 filtres à sable ;- 2 installations de désinfection UV.	<ul style="list-style-type: none">- Un épaisseur ;- Une serre de séchage.

III. Dimensionnement des ouvrages :

Ce chapitre aborde en détail le dimensionnement des ouvrages de traitement des deux filières eau et boues pour la future station d'épuration d'Essaouira. Le processus de dimensionnement vise à déterminer la capacité requise de la station d'épuration en fonction du volume d'eaux usées à traiter. Cette étape prend en considération divers facteurs tels que la population desservie, les débits d'eaux usées prévus, les caractéristiques des effluents à traiter, ainsi que les normes environnementales et réglementaires en vigueur.

Le dimensionnement des ouvrages de la station se fait à partir du débit de pointe et des charges polluantes en DBO₅ et en MES

Le tableau 14 ci-dessous caractérise l'estimation des débits et des charges polluantes nécessaires au dimensionnement à l'horizon 2045 :

Tableau 14: Caractérisation de rejet liquide de la ville d'Essaouira en 2045.

Paramètres	Unité	Valeur
Population en 2045	hab	140 800
Débit moyen journalier	m ³ /j	11 264
Débit moyen horaire	m ³ /h	469,33
Débites de pointe en temps sec	m ³ /h	755,62
Débit de pointe par secondes	m ³ / s	0,210
Charge en DBO ₅	kg/j	3548,16
Charge en MES	kg/j	4392,96

1. Le prétraitement :

Les eaux usées brutes à leur arrivée à la station doivent généralement subir, un prétraitement qui composé d'un certain nombre d'opérations successives, uniquement physiques ou mécaniques. Il est destiné à extraire de l'eau usée, la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature ou la dimension constitueront une gêne pour les traitements ultérieurs. Selon la nature des eaux à traiter et la conception des installations, le prétraitement peut comprendre les opérations :

1.1. Dégrillage :

Lors de l'opération de dégrillage, les eaux usées passent au travers d'une grille, dont l'espacement est déterminé de sorte qu'il puisse retenir matières grossières les plus volumineuses et flottantes charriées par l'eau brute, qui pourraient obstruer ou provoquer des bouchages dans conduites d'alimentation de l'installation, et nuire à l'efficacité de la station. Le dégrillage permet aussi de protéger la station contre l'arrivée intempestive des gros objets, les éléments retenus sont, ensuite, éliminés avec les ordures ménagères (Fig.10).



Figure 10:Les deux dégrilleurs fins.

- **Critères de conception des dégrilleurs**

Les critères de conception d'un dégrilleur mécanique sont présentés sur le tableau 15 suivant :

Tableau 15: Critères de conception des dégrilleurs.

Diamètre des barreaux (mm)	8 – 10
Espacement entre les barres (mm)	10 – 50
Pente par rapport à l'horizontal (°)	70– 85
Vitesse à travers les grilles (m/s)	0,6 – 0,9
Pertes de charges admissibles (mm)	150

- **Dimensionnement des dégrilleurs**

✓ La superficie ouverte :

La superficie ouverte (surface verticale) de la grille est donnée par la formule :

$$S = Q \div (V \times a \times c)$$

Avec :

Q : Débit de point par seconds à travers la grille (m³/s) ;

V : Vitesse de l'écoulement à travers la grille (m/s) ;

a : Coefficient de passage libre donné par la relation (sans unité):

$$a = \frac{\text{Diamètre des barreaux}}{\text{Diamètre des barreaux} + \text{Espacement entre les barreaux}}$$

c : Coefficient de colmatage dépendant de la qualité de l'eau et du système de reprise des résidus.

Généralement : {

- 0.1 < C < 0.3 pour une grille manuelle.
- 0.4 < C < 0.5 pour une grille automatique.

Q = 0,210 m³/s ; V = 0.8 m/s ; C = 0,5 (grille automatique) ; Diamètre des barreaux = 9 mm.

Grille grossière : Espacement entre les barreaux = 50 mm

$$a = \frac{9}{9+50} = 0.47$$

S = 3,5 m²

Grille fine : Espacement entre les barreaux = 10 mm

$$a = \frac{9}{9+10} = 0,15$$

$$\mathbf{S = 1,12 \text{ m}}$$

✓ La largeur de la grille :

La largeur de la grille est calculée par la Méthode de KIRSCHMER :

$$L = \frac{QP \times \sin \alpha}{V \times h_{\max} \times a \times C}$$

Où:

L: largeur de la grille (m).

α : Angle d'inclinaison de la grille avec l'horizon.

h_{\max} : hauteur maximum d'eau admissible sur une grille(m).

a: Fraction de surface occupée par les barreaux.

V: vitesse d'écoulement (m/s).

C: Coefficient de colmatage dépendant de la qualité de l'eau et du système de reprise des résidus.

$\alpha=70^\circ$; $Q_p=0.210 \text{ m}^3/\text{s}$; $V=0.8 \text{ m/s}$; $h_{\max} = 1 \text{ m}$; $C = 0.3$ (grille automatique).

Grille grossière : $a=0.47$

$$L_g = \frac{0,210 \times \sin(70)}{0,8 \times 1 \times 0,47 \times 0,3} = 3,29 \text{ m}$$

$$\mathbf{L_g = 3,29 \text{ m}}$$

Grille fine : $a = 0,15$

$$L_g = \frac{0,210 \times \sin(70)}{0,8 \times 1 \times 0,15 \times 0,3} = 1,05 \text{ m}$$

$$\mathbf{L_g = 1,05 \text{ m}}$$

✓ La hauteur de la grille :

La hauteur de la grille est donnée par la relation :

$$\text{hauteur de la grille} = \frac{\text{Superficie ouverte}}{\text{Largeur de la grille}}$$

Grille grossière :

$$H = \frac{3,5}{3,29} = 1,06 \text{ m}$$

$$H = 1,06 \text{ m}$$

Grille fine :

$$H = \frac{1,12}{1,05} = 1,06 \text{ m}$$

$$H = 1,06 \text{ m}$$

1.2. Dessablage :

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, les sables, les verres brisés, les coquilles d'œufs, et les particules minérales plus ou moins fines ayant une vitesse de sédimentation sensiblement supérieure à la matière organique. Le dessablage est prévu pour protéger les équipements mécaniques à l'abrasion et à l'usure, de réduire la formation de dépôts dans les canalisations et les canaux, et de réduire la fréquence de nettoyage du digesteur qui est nécessaire en raison des particules accumulés.

Un but secondaire, mais cependant pas le moins extrêmement souhaitable du système d'élimination du sable est de séparer les grains de la matière organique dans les eaux usées.

Cette séparation permet à la matière organique d'être traité dans les processus subséquents (Fig.11).



Figure 11: Le Bassins dessablages-déshuilages de la STEP étudiée.

- **Les critères de conception :**

Les critères de dimensionnement d'un dessableur aéré sont :

- Le temps de séjour de l'eau (T_s) dans le dessableur est de 1 à 5 minutes,

- La hauteur de dessableur est de 1 à 3 m,
- La quantité d'air à injecter est estimée de 1 à 1,5 m³ par m³ d'eau usée.

- **Dimensionnement**

✓ Volume du dessableur :

Le volume du dessableur est donné par :

$$V = Q_p \times T_s$$

Avec :

$T_s = 5 \text{ min}$

Q_p : le débit de pointe = 755,62 m³/h

$$V = 63 \text{ m}^3$$

On prend une longueur de 1,5 m hauteur 3 m donc $S = 1,5 \text{ m}^2$

✓ La longueur :

On prend une largeur de 1,5 m et une hauteur de 1m

La surface sera $S = L \times h = 1,5 \text{ m}^2$

D'où la largeur $l = \frac{V}{S} = \frac{63}{1,5} = 42 \text{ m}$

$$l = 42 \text{ m}$$

✓ Débit volumique d'air injecté

La quantité d'air à injecter est donnée par la relation :

$$Q_{\text{air}} = Q_p \times V$$

Avec

V : volume d'air à injecter

$$V = 1,25 \text{ m}^3 / \text{m}^3$$

Q_p : le débit de pointe secondaire

$$Q_p = 0,210 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{air}} = 1,25 \times 0,210 = 0,26 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{air}} = 0,262 \text{ m}^3/\text{s}$$

✓ La perte de charge dans un dessableur :

Le dessableur élimine 80% de la matière minérale existant dans les eaux usées. La matière minérale représente 20% de la charge en matière en suspension (MES), les 80% restants, représentent les matières volatiles en suspension (MVS).

Partant de ces hypothèses, et avec CP en MES = 4392,96 kg/j s'ensuit :

- Les matières minérales totales = $0,20 \times 4392,96 = 878,59$ kg/j
- Les matières volatiles en suspension totales = $0,80 \times 4392,96 = 3514,36$ kg/j
- Les matières minérales éliminées par le dessableur = $0,80 \times 878,59 = 702,87$ kg/j
- Les matières minérales restantes = $878,59 - 702,87 = 175,72$ kg/j
- MES sortant du dessableur = $0,80 \times 4392,96 + 175,72 = 3690,08$ kg/j

1.3. Déshuilage :

Le déshuilage est une opération de traitement qui permet de séparer les matières flottantes des eaux usées (Fig.11).

Q_p : le débit de pointe = 755,62 m³/h ; Diamètre des bulles : **d** = 150 microns ; **g** = 9.81m/s.

Le régime hydraulique est laminaire et la vitesse ascensionnelle est donnée par la loi de Stokes :

$$U_{mg} = \frac{g(\rho_c - \rho_d) \times d^2}{18 \times \mu}$$

g : accélération de la pesanteur:9.81 m/s²

ρ_c: masse volumique de l'eau 1000 kg/m³.

ρ_d: masse volumique des gouttes d'huile : 890kg/m³.

μ: viscosité de l'eau=0.001 pascal/s.

La norme API fixe le rapport $\frac{\text{Hauteur}}{\text{Largeur}}$ qui est compris entre 0.3 et 0.5

La surface géométrique du plan d'eau :

$$S = L \times l$$

$$F = F_d \times F_t$$

Avec : **F_d**: facteur de distribution des bulles

F_t: facteur de turbulence

Le tableau 16 qui suit permet de calculer ces 2 facteurs :

Tableau 16 : les normes de qualité des eaux usées.

$\frac{V_h}{U_{mg}}$	3	6	10	15	20
F_t	1,07	1,14	1,27	1,37	1,45
F_d	1,17	1,37	1,52	1,64	1,74

Avec :

V_h : vitesse horizontale

U_{mg} : vitesse ascensionnelle

La section du déshuileur est :

$$\Omega = l \times H = \frac{Q}{v_h}$$

✓ Calcul d' U_{mg} :

$$U_{mg} = \frac{9,81 \times ((1-0,89) \times 1000) \times (0,15)^2}{18 \times 0,001} = 1348 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

$$U_{mg} = 0,0014 \text{ m/s}$$

✓ Rapport V_h/U_{mg} :

La vitesse horizontale générale adoptée pour le calcul est V_h 40m/h

$$\frac{V_h}{U_{mg}} = \frac{40}{3600 \times 0,0014} = 7,93 \approx 8$$

$$\frac{V_h}{U_{mg}} = 8$$

✓ Détermination de F (correction de la surface) :

D'après le tableau 16 $F_t = 1.27$ et $F_d = 1.52$

Donc $F = 1.27 \times 1.52 = 1.93$

$$F = 1,93$$

✓ Surface du déshuileur : S

$$S = \frac{F \times Qp}{U_{mg}} = \frac{1,93 \times 755}{0,0014 \div 3600} = 289,35$$

$$S = 289,35 \text{ m}^2$$

✓ Longueur de déshuileur L

$$l = \sqrt{\frac{Q}{V \times 0,4}} = 6,87 \text{ m} \quad \text{avec } S = L \times l \quad \text{donc } L = \frac{S}{l} = \frac{289,35}{6,87}$$

$L = 42,12 \text{ m}$

2. Ouvrage de traitement primaire :

Le traitement primaire (optionnel en fonction de la filière de traitement retenue), séparation physique liquide-solide par décantation, ne porte que sur les matières en suspension (MES) présentes dans les eaux usées. L'élimination complémentaire des colloïdes s'effectue par un traitement physico-chimique mettant en œuvre une coagulation-floculation en amont d'une séparation liquide-solide par décantation ou flottation.

Durant la phase de traitement primaire, une quantité importante de la pollution totale est éliminée (abattement des matières en suspension pouvant atteindre 90% et de la demande biochimique en oxygène de l'ordre de 35%) (Fig.12).



Figure 12 : La fosse septique de la STEP étudiée.

- **Les critères de conception de décanteur (fosse septique)**

Les éléments de conception du décanteur sont :

- Le temps de rétention (T_r) égale à 1,5h.
- le décanteur primaire élimine 35% de la DBO5 et 95% de la matière minérale.

✓ Surface du décanteur :

La surface totale de décantation est donnée par la relation :

$$S_{\text{totale}} = \frac{Q_p}{\varphi}$$

Avec : Débit de pointe $Q_p = 755,62 \text{ m}^3/\text{h}$

$$S_{\text{totale}} = 377,81 \text{ m}^3$$

$$\tau = 2 \text{ m}^3$$

/h/m²

✓ Volume du décanteur

Le volume total est : $V_{\text{totale}} = Q_p \times T_r$

Avec : Débit de pointe $Q_p = 755,62 \text{ m}^3/\text{h}$

Temps de rétention $T_r = 1,5\text{h}$.

$V_{\text{tot}} = 1133,43 \text{ m}^3$
--

✓ Calcul des charges polluantes

Le décanteur primaire élimine 35% de la DBO₅ et 95% de matière minérale.

DBO₅ = 3726,58 kg/j , **Les matières minérales restantes = 175,72 kg/j.**

- Charge en DBO₅ éliminée = $0,35 \times 3548,16 = 1241,85 \text{ kg/j}$
- Charge en MM éliminée = $0,95 \times 175,72 = 166,93 \text{ kg/j}$
- Charge en DBO₅ restante = $3548,16 - 1241,85 = 2306,06 \text{ kg/j}$
- Charge en MM restante = $175,72 - 166,93 = 8,79 \text{ kg/j}$

✓ Volume des boues par jour

La quantité totale des boues produites (BT) dans le décanteur est :

$$BT_{\text{MES}} = \text{DBO}_5 (\text{éliminée}) + \text{MM} (\text{éliminée}) = 1241,85 + 166,93 = 1408,78 \text{ kg/j}$$

3-Traitement biologique

Ce type de traitement implique l'aération du bassin des eaux usées afin d'assurer les conditions adéquates (O₂) pour le développement des micro-organismes qui s'agglomèrent et forment le floc bactérien. Les matières organiques polluantes vont être captées par ces floes et former des boues activées qui sont brassées et assurent l'épuration des eaux usées dans le bassin. A l'aval de ce traitement, un clarificateur (ou décanteur secondaire) permet l'isolation des boues. Pour conserver un stock constant et suffisant de bactéries dans le bassin de boues activées, une partie des boues extraites du clarificateur est renvoyée en tête de bassin. L'autre partie est évacuée du circuit et dirigée vers les unités de traitement des boues.

3.1. Bassin d'aération :

Les bassins d'aération sont des réacteurs biologiques dans lesquels s'effectue l'élimination de la matière organique par les microorganismes aérobies. Ils constituent un élément fondamental de la filière boues activées (Fig.13).

Nous allons supposer que le traitement par les boues activées sera à faible charge.

Le traitement à boues activées à faible charge est régi par :

$$\text{Charge massique } C_m : \quad 0,1 \leq C_m \leq 0,2 \quad \text{kg DBO}_5 / \text{m}^3 \text{j}$$

$$\text{Charge volumique } C_v : \quad 0,35 \leq C_v \leq 0,6 \quad \text{kg DBO}_5 / \text{m}^3 \text{j}$$

- Longueur / largeur = 1,5 et une hauteur du bassin d'aération comprise entre 3 et 5m

- La concentration en DBO5 à la sortie doit être inférieure à 30mg /l (normes de rejets établies par l'OMS).



Figure 13: Les bassins biologiques d'aération de la STEP étudiée.

✓ Charges polluantes en DBO5

Les charges polluantes en DBO5 à l'entrée du bassin d'aération seront notées :

$$(L_0)_{\text{DBO}_5} = 2422,28 \text{ kg/j}$$

La concentration en DBO5 à l'entrée est S_0 :

$$S_0 = \frac{L_0}{Q_{moy j}} = 200 \text{ mg/l}$$

La concentration en DBO5 à la sortie doit répondre aux normes de rejet établies au Maroc, qui sont actuellement fixées à 120 mg/l. Cependant, nous avons souhaité concevoir un système de traitement plus performant. Donc nous nous sommes basés sur les recommandations de l'OMS qui préconise une concentration limite de 30 mg/l en DBO5. D'où la charge à la sortie :

$$(L_s) = S_s \times Q_j = 30 \times 10^{-3} \times 11\,264 = 337,92 \text{ kgDBO}_5/\text{j}$$

✓ Volume du bassin

Le volume du bassin est déduit de la charge volumique C_v :

$$C_v = \frac{\text{la charge en DBO}_5 \text{ à l'entrée}}{\text{Volume du bassin}}$$

$$\text{Avec : } C_v = 0,6 \text{ kg DBO}_5/\text{m}^3\text{j}$$

Charge en DBO5 à l'entrée du bassin d'aération égale à 2422,28 kg/j

$$V = \frac{2422,28}{0,6} = 4037,13 \text{ m}^3$$

• Dimensionnement

Pour dimensionner le bassin d'aération nous prendrons comme base de calcul la relation suivante $L=1,5 \times l$ et une hauteur du bassin d'aération comprise entre 3 et 5 m.

✓ Surface horizontale :

$$V = 4037,13 \text{ m}^3$$

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

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

$$\boxed{S_h = 807,42 \text{ m}^2}$$

✓ Largeur de bassin :

$$l = \sqrt{\frac{S_h}{1,5}}$$

$$\boxed{l = 23,20 \text{ m}}$$

✓ Longueur de bassin :

$$\text{Avec } l = 23,20 \text{ m}$$

$$L = l \times 1,5$$

$$\boxed{L = 34,80 \text{ m}}$$

✓ Temps de séjour :

Le temps de séjour est de :

$$t_s = \frac{V}{Q_p} = \frac{4037,13}{755,62}$$

$$\boxed{t_s = 5,34 \text{ h}}$$

✓ Masse des boues dans le bassin :

$$X_t = \frac{L_0}{C_m} = \frac{2422,28}{0,2} = 12\ 111,4 \text{ kg}$$

3.2. Clarificateur :

- **Conception de clarificateur :**

Après aération, le mélange (eaux + boues activées) appelé également liqueur mixte est envoyé dans le décanteur secondaire où s'effectue la sédimentation des boues et la collecte des eaux épurées (Fig.14).

Une partie des boues décantée sera recyclée vers le bassin d'aération et l'autre (boues en excès) sera acheminée vers les ouvrages de traitement des boues (digesteur ou épaisseur).

Le temps de séjour : $t_s = (1,5 \leq t_s \leq 2)$ heure. On prend $t_s = 1,5$ h.



Figure 14: Le clarificateur de la STEP étudiée.

- **Dimensionnement du clarificateur:**

En période de pointe, le débit arrivant au clarificateur est de $755,62 \text{ m}^3/\text{h}$

✓ Volume de clarificateur :

$$V = Q_p \times t_s = 755,62 \times 1,5$$

$$V = 1133,43 \text{ m}^3$$

✓ Hauteur de clarificateur :

Cette hauteur est comprise entre 3 et 5m et on prend $h = 4 \text{ m}$ avec une revanche de 0,75

$$h = 4,75\text{m}$$

✓ Surface horizontale

$$Sh = \frac{V}{h} = \frac{1133,43}{4,75}$$

$$Sh = 238,61 \text{ m}^2$$

✓ Le rayon :

$$R = \sqrt{\frac{Sh}{\pi}} = \sqrt{\frac{238,61}{3,14}}$$

$$R = 8,71 \text{ m}$$

4. Traitement tertiaire:

4.1. Filtre à sable :

Ce type de traitement apporte une élimination quasi totale de MES, ce qui assure un bon fonctionnement pour l'étape de désinfection. Un filtre à sable gravitaire (Fig.15) est retenu, avec les critères de conception suivants :

- Epaisseur de la couche filtrante comprise entre 0,7 à 1,5 m ;
- Une taille effective des matériaux filtrante de 0,4 mm à 1,2 mm selon le degré de traitement désiré et la qualité d'eau de rejet ;
- La hauteur d'eau suffisante pour la percolation comprise entre 0,8 à 2 m ;
- La vitesse de filtration courante est de 2 à 10 m/h ;
- Hauteur de filtre doit tenir compte de l'épaisseur du filtre, de la hauteur d'eau et du support du filtre sur lequel repose et elle est comprise entre 3 et 4 m.

On choisit : Epaisseur de filtre = 1,0 m, hauteur d'eau = 1,5 m, vitesse de filtration = 10 m/h, et largeur du bassin = 5 m.



Figure 15 : Le filtre à sable de la STEP étudiée.

✓ Surface horizontale :

$$Sh = \frac{Q_{\text{moyj}} - Q_{\text{bexcès}}}{\text{vitesse de filtration}}$$

$$Sh = \frac{11\,264 - 108,22}{10 \times 24}$$

$$Sh = 46,48 \text{ m}^2$$

✓ Volume du bassin :

$$V = Sh \times H$$

(Avec H=3,5)

$$V = 46,48 \times 3,5$$

$$V = 162,68 \text{ m}^3$$

4.2. Désinfection par UV :

Le principe de la désinfection par ultraviolet repose sur l'effet bactéricide des rayons UV. On peut en effet distinguer différentes gammes d'ondes électromagnétiques comprises entre 10 et 400 nm (longueur d'onde du rayonnement UV). L'action germicide des rayons UV est maximum à la longueur d'onde de 254 nm. La dose de rayonnement ou quantité transférée aux microorganismes est le paramètre principal du système UV. Cette dose est assurée par des lampes immergées à basse pression de 100 à 120 W (Fig.16).



Figure 16: Les Bassins de désinfection par UV de la STEP étudiée.

✓ Dose moyenne de la dose UV

$$D = I \times t_s = 100 \times 15$$

$$D = 1500 \text{ mw.s/cm}^2$$

✓ Le volume du bassin d'UV :

$$V = Q_p \times t_s = 0,210 \times 15$$

$$V = 3,15 \text{ m}^3$$

(Avec : temps de contact, soit égal à 15s)

5. Traitement des boues :

5.1. *Bilan des boues :*

✓ Quantité des boues en excès :

Les boues en excès sont proportionnelles à la quantité de la DBO5 éliminée et dépend de la charge massique dans le bassin d'aération. La quantité des boues en excès est déterminée par la relation suivante :

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

Avec :

ΔB : Boues en excès exprimé en kg/j

X_{\min} : boues minérales

X_{dur} : boues difficilement biodégradables

a' : coefficient de rendement cellulaire (cellulaires formées /g DBO5 éliminées), varie entre 0, 55 < a_m < 0, 65. (On prend $a_m = 0, 6$)

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

b' : coefficient cinétique de respiration endogène $b' = 0,075$

$b_m = \frac{b'}{1,44}$: fraction de la masse cellulaire éliminée par jour en respiration endogène

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

X_{eff} : fuite de MES avec l'effluent (30 mg /L)

Avec $a' = 0.6$ $b' = 0.080$ et $b = \frac{b'}{1,44}$ et $L_e = L_0 - L_s = 2422,28 - 337,92 = 2084,36$ kg/j

D'où:

$$X_{\min} = 0.3 \times 2084,36 = 625,30 \text{ kg/j}$$

$$X_{\text{dur}} = 0.5 \times 0.7 \times 2084,36 = 729,52 \text{ kg/j}$$

$$b X_a = 0.080 \times 12\ 111,4 = 968,91 \text{ kg/j}$$

$$a' L_e = 0.6 \times 2084,36 = 1250,61 \text{ kg/j.}$$

$$X_{\text{eff}} = 0.03 \times Q_{j \text{ moy}} = 0.03 \times 11264 = 337,92 \text{ kg/j}$$

$$\text{Alors} \quad \Delta B = 625,30 + 729,52 + 968,91 - 1250,61 - 337,92 = 1298,63 \text{ kg/j}$$

✓ Concentration de boues en excès:

$$X_m = \frac{1,2 \times 1000}{IM}$$

Avec :

X_m : Concentration de boues en excès.

IM : Indice de Mohiman (sa valeur est entre 120 et 90) on travaille avec $Im = 100$ mg/l

Si on suppose que les boues décantent bien, indice de Mohiman se trouve entre 100 et 150.

Cet indice représente le volume occupé par un gramme de poids sec des boues après la décantation d'une demi-heure dans une éprouvette de 1 litre.

$$X_m = \frac{1200}{100}$$

$X_m = 12 \text{ kg/m}^3$

✓ Débit des boues en excès :

$$Q_{\text{bexcès}} = \frac{\Delta B}{X_m} = \frac{1298,63}{12}$$

$Q_{\text{bexcès}} = 108,21 \text{ m}^3/\text{j}$

5.2. Epaissement des boues par serre de séchage :

La réduction de volume est classiquement obtenue à travers des opérations de séparation de phases liquide/solide par décantation, filtration ou évaporation rencontrées dans les techniques d'épaississement, de déshydratation et de séchage thermique. La dégradation des matières organiques de la boue par des procédés biologiques (digestion, compostage) ou thermiques (incinération à 850 °C, oxydation par voie humide de boues liquides épaissies sous 45 bar à 250 °C) conduira également à un volume final moindre.

La stabilisation sera concrètement obtenue en ralentissant, voire en supprimant, la biodégradation putride des matières organiques de la boue, à travers différentes voies, biologique, chimique ou physique avant (phase liquide) ou après (phase pâteuse) l'étape de déshydratation.

Le dimensionnement de l'épaississeur (Fig.17) est toujours fait pour les besoins à long terme. Les boues en excès sont refoulées vers l'épaississeur par pompage. L'ouvrage choisi est de forme cylindro-conique de type raclé. Le dimensionnement est basé sur les charges polluantes éliminées de décanteur secondaire

L'épaississeur reçoit des boues d'une concentration de 12 Kg/m^3 et d'une quantité totale journalières : $\Delta B = 654,12 \text{ Kg/j}$

Le débit journalier des boues entrant dans l'épaississeur correspond aux débits de boues en excès, tel que : $Q_{\text{excès}} = 54,51 \text{ m}^3/\text{j}$



Figure 17: L'épaississeur de la STEP étudiée.

✓ Volume de l'épaississeur :

$$E_{\text{paississeur}} = Q_{\text{excès}} \times t_s \quad \text{Avec } (t_s = 2 \text{ jours})$$

$$V = 108,21 \times 2$$

$$V = 216,44 \text{ m}^3$$

✓ Surface horizontale :

Pour une profondeur de $H = 4 \text{ m}$, on calcule la surface :

$$S_h = \frac{V}{H} = \frac{216,44}{4}$$

$$S_h = 54,11 \text{ m}^2$$

✓ Diamètre :

$$D = \sqrt{\frac{4 \times S_h}{\pi}}$$

$$D = 8,30 \text{ m}$$

✓ Débit des boues épaissies :

La concentration des boues après épaississement par décantation est de l'ordre de 20 à 30 g/L

On adopte une concentration de 30 g/L

$$Q_{\text{épaissi}} = \frac{\Delta B}{30} = \frac{1298,63 \times 1000}{0,003} \quad \boxed{Q_{\text{épaissi}} = 43,28 \text{ m}^3/\text{j}}$$

✓ Calcul du débit à la sortie de l'épaississeur :

$$Q_{\text{se}} = 108,22 - 43,28 \quad \boxed{Q_{\text{se}} = 64,94 \text{ m}^3}$$

5.3. Déshydratation des boues en lits de séchage:

La déshydratation (Fig.18) constitue souvent l'étape ultime de la filière de traitement des boues:

Une siccité minimale peut en effet être imposée contractuellement (généralement > 30 %) en vue de l'évacuation de la boue ou être requise en vue d'une incinération dans des conditions d'auto combustibilité.

Les principaux débouchés des boues produites par les STEP restent la possibilité d'une valorisation agricole.



Figure 18: Les serres de séchage de la STEP étudiée.

- **Conception de serre de séchage :**

Pour calculer le volume de serre de séchage nous avons basés sur les critères de conception suivante :

e: épaisseur maximale des boues comprise entre 20 à 40 cm,

L: longueur du bassin est comprise entre 20 à 30 m,

l: largeur du bassin est comprise entre 6 à 8

- **Dimensionnement des serres de séchage :**

Débit sortant de l'épaississeur (entrant dans la serre de séchage) $Q_1 = 2.173 \text{ m}^3/\text{j}$

✓ Volume de boues par jour :

Le temps de séjour dans la serre de séchage varie entre 8 et 12 jours, nous prenons $T_s = 8$ jours. Donc le volume des boues sera :

$$V_b = QI \times T_s = 8 \times 28,28$$

$$V_b = 346,24 \text{ m}^3$$

✓ La surface horizontale remplie par la boue S_b :

$S_b = \frac{V_b}{e}$ (e est l'épaisseur de la boue dans la serre de séchage, e varie entre 15 et 40 cm nous prenons $e = 0.4 \text{ m}$)

$$S_b = \frac{346,24}{0,4}$$

$$S_b = 865,6 \text{ m}^2.$$

Chapitre IV : Etude critique de la station d'épuration d'Essaouira.

L'étude critique d'une station d'épuration est liée à son étude économique et à ses impacts environnementaux. Il s'agit d'analyser les effets de la station d'épuration sur les écosystèmes locaux et de minimiser les impacts négatifs sur l'environnement et de promouvoir des pratiques durables dans la gestion des eaux usées. Cela permet de prendre des décisions éclairées en tenant compte à la fois des considérations financières et environnementales.

I. Etude économique :

Les travaux de mise à niveau de la STEP d'Essaouira sont répartis en 3 lots suivants :

- Lot1 : Réhabilitation des ouvrages existants ;
- Lot2 : Réalisation de la STEP de type boues activées ;
- Lot3 : Lutte contre l'ensablement.

Avant de commencer les travaux des trois lots, l'estimation des coûts s'est récapitulée dans le tableau 17 suivant :

Tableau 17 : L'estimation du cout des travaux des trois lots de la STEP d'Essaouira réalisé par l'Office National de L'Électricité et de L'Eau potable.

	Lot1	Lot2	Lot3
Total HT (DH)	4 294 500	23 702 63	-
TVA (DH)	858 900	4740527	-
Total TTC (DH)	5 153 400	28 443 162	3 120 000

Ref : APD (2023)

D'autres estimations sont prises en considération :

- Programme de formation: **300 000 DH** ;
- Campagne de sensibilisation: **100 000 DH** ;
- Les coûts environnementaux estimatifs: **1 087 000 DH**.

Les coûts et les estimés ci-dessus sont basés sur des données préliminaires et peuvent être sujets à modification en fonction de diverses contraintes et facteurs.

En somme le coût du projet sera de : **117 M DH TTC**

Malgré le fait que la conception d'une station d'épuration de type boues activées soit plus, coûteuse, elle demeure le choix judicieux.

Toutes les considérations prises en compte démontrent que cette option offre des avantages significatifs. Bien que les coûts initiaux puissent être plus élevés, la technologie de boues activées permet une meilleure élimination des polluants, une réduction plus efficace des matières organiques, et une qualité de traitement supérieure des eaux usées. Ces bénéfices à long terme en matière de protection de l'environnement et de santé publique justifient les investissements supplémentaires requis.

II. Les impacts environnementaux :

Une station d'épuration est un élément très important grâce à ces bénéfices surtout sa capacité de la réutilisation des eaux usées et sa participation de la dégradation de la pollution dans l'environnement. Malgré ces avantages, il existe également certains inconvénients qu'il convient de prendre en compte. Le tableau 18 ci-dessous présente quelques-uns des principaux impacts environnementaux potentiels liés à la station d'épuration.

Tableau 18: Quelques impacts environnementaux associés au fonctionnement de la station d'épuration.

	Origine	Description
Les impacts environnementaux de la STEP	Rejet des eaux épurées	Contamination des ressources en eau par l'infiltration des eaux usées brutes ou épurées
	Travail dans la STEP et Risque	Sécurité des ouvriers et personnels de la station
	Sur l'hygiène et la sécurité	Prolifération des insectes, mouches et rongeurs
	Implantation de la STEP	Impact paysager et d'occupation des sols
	Dysfonctionnement de la STEP	Pollution des sols, des ressources en eau et problèmes d'hygiène publique
	Installation de prétraitement	Résidus de l'installation de prétraitement sont sources d'odeurs nauséabondes
	Aérateurs des Bassins d'aération	Dégradation des performances épurationnaires

Bien que la station d'épuration présente certains inconvénients environnementaux, il est essentiel de souligner qu'elle respecte les exigences de la loi 12-03 en matière de traitement des eaux usées. Ainsi les efforts soutenus des gestionnaires permettront de continuer à améliorer la performance environnementale de cette infrastructure essentielle

Conclusion

Afin de remédier aux problèmes générés par les eaux usées et leurs effets néfastes sur l'environnement, les plages et la santé publique, la conception de la station d'épuration au sein de la ville d'Essaouira semble être la meilleure alternative.

En effet, ce projet en question s'inscrit dans le contexte relevé ci-dessus. Il vise à concevoir une station d'épuration à boues activées vu que les eaux rejetées sont biodégradables.

Après avoir examiné l'état du lieu et recenser toutes les données sur la région, on a commencé notre travail d'une part avec l'estimation du débit des eaux usées à évacuer aux années futures dans la base de vie de la ville d'Essaouira est réalisé avec par ailleurs l'identification de la qualité physicochimiques de ces eaux et la charge polluante en termes de matière organique. L'étude des différents ouvrages de la nouvelle station d'épuration et leur dimensionnement sont établies sur la base des débits de pointe, afin de répondre aux éventuelles brusques variations des débits dans la station.

En plus de l'aspect technique l'accent est mis sur l'aspect économique notamment l'estimation du coût total de fonctionnement de la station pour pouvoir la comparer avec celui du lagunage naturel. Hormis son rôle protectif de l'environnement, la station d'Essaouira pourra être d'une grande utilité agricole par la valorisation des boues et la réutilisation des eaux épurées.

En guise de conclusion, le traitement des eaux commence par une épuration physique des eaux usées arrivant à la station suivie d'une épuration biologique (boues activées à faible charge) et qui s'achève par une désinfection.

Enfin, il reste à signaler que le rendement d'une station d'épuration et même sa durée de vie sont étroitement liées à l'entretien et à la gestion de celle-ci, raison pour laquelle beaucoup de stations sont aujourd'hui inexploitées à cause de ce problème.

Bibliographie :

ABHT, (2023) – LPEE/CEREP, rapport caractérisation des eaux usées à l'entrée et à la sortie de la STEP d'Essaouira, Marrakech, Rapport interne.

Arrêté conjoint du ministre de l'intérieur, du ministre de l'aménagement du territoire, de l'eau et de l'environnement et du ministre de l'industrie, du commerce et de la mise à niveau de l'économie n° 1607-06 du 29 jourmada II 1427 (25 juillet 2006) portant fixation des valeurs limites spécifiques de rejet domestique, Article 7.

Arrêté conjoint du ministre de l'équipement et du ministre chargé de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme, de l'habitat et de l'environnement n° 1276-01 du 10 chaabane 1423 (17 octobre 2002) portant fixation des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation, Article 4, 2p.

(Décret n° 2-97-787 du 6 Chaoual (4 février 1998) relatif aux normes de qualité des eaux, Arrêté n°1276-01 du 17 octobre 2002 portant fixation des normes de qualité des eaux destinées à L'irrigation).

DAHIR N°1-16-113 du 6 kaada 1437 (10 aout 2016) La loi N° 36-15 relative à l'eau, Article 80,87p

DIMANE F. HABOUBI K. HANAFI I & EL HIMRI A (2016) : Étude de la Performance du Dispositif de Traitement des Eaux Usées par Boues Activées de la ville d'Al Hoceima, Article en un journal scientifique européen, El Hoceima, 273p.

Directive pour la réalisation d'une étude d'impact sur l'environnement d'un projet d'une station d'épuration des eaux usées et ouvrages annexes, (2012) – Rapport l'étude d'impact sur l'environnement, Patrick Michel, BCEOM – Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 2001,13p.

HACINI H (2022) : Dimensionnement des ouvrages d'une nouvelle station d'épuration biologique des eaux usées domestiques de la base de vie de gassi touil, Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master, Algérie, 64p.

ONEE, (2016) - Groupement SAFED/SUPET/HOLINGER, L'APD (Avant-Projet Détaillé), rapport Etude de mise à niveau du système d'assainissement liquide de la ville d'Essaouira, Rapport interne.7p.

ONEE, (2023) – rapport du projet de la Station d'épuration de la ville d'Essaouira, Plan de Gestion Environnemental et Social. Rapport interne,4p.

WATERLEAU, (2023) - Rapport des notes dimensionnement de la STEP d'ESSAOUIRA, Rapport interne

YAGOUB H CHELGHOUM N (2022) : Dimensionnement d'une station d'épuration des eaux usées - Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master, Algérie, 45p.