



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Amar Thelidji- Laghouat



FACULTE : TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT : GÉNIE DES PROCÉDÉS

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par :

DOUIDI ISSAM EDDINE & BENHARZALLAH ALI

DOMAINE : Sciences et Technologies

FILIERE : Génie des Procédés

OPTION : Génie des Procédés de l'environnement

Thème

**Approche pour un système optimal des traitements
des eaux usées**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
Boutasouna Nassima	MAA	Présidente
Bendahgane Soumia	MAA	Examinatrice
Boutasouna Djamal	MAA	Rapporteur

Promotion : octobre 2020

Remerciements

En premier lieu, nous tenons tout d'abord à remercier Dieu pour nous avoir donné la force et le courage pour pouvoir réaliser ce travail.

Au terme de ce modeste travail, nous tenons à remercier notre promoteur monsieur **BOUTTASOUNA DJAMAL** pour son aide appréciable, sa disponibilité, et ses conseils fructueux qui nous ont facilité la réalisation de ce travail.

Nous remercions également tout le corps enseignant du département du génie des procédés qui nous ont encadrés durant toutes les années d'études. Nous remercions encore tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin dans l'élaboration de ce modeste travail. Nos remerciements aussi à tous les membres de jury.

Merci à tous.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents. Ma mère pour m'avoir mis au monde et pour m'avoir accompagné tout le long de ma vie. Je lui dois une fière chandelle. Mon père qui sans lui je ne serais pas arrivé jusqu'ici. J'espère toujours rester fidèle aux valeurs morales que vous m'avez apprises. A tous mes sœurs, mes frères et toute ma famille. A tous mes amis et mes collègues.

DOUIDI ISSAM EDDINE

Dédicace

Je dédie ce mémoire à :

Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments les plus chaleureux et de mon éternelle gratitude.

Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Mes frères et sœurs qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

A toute ma famille ainsi qu'à mes amis.

BENHARZALLAH ALI

SOMMAIRE

Sommaire

Dédicaces	
Remerciements	
Liste des abréviations	
Liste des annexes	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I: GENERALITES SUR LES EAUX USEES	
I.1. Introduction	4
I.2. Origines des eaux usées	4
I.2.1. Eaux usées domestiques	4
I.2.2. Eaux usées industrielles	5
I.2.3. Eaux usées agricoles	5
I.2.4. Eaux de pluie et de ruissellement	5
I.3. Composition des eaux usées	6
I.3.1. Éléments microbiologiques	6
I.3.2. Matières en suspension MES	7
I.3.3. Substances nutritives	8
I.3.4. Les micropolluants organiques et non organiques	8
I.4. Risque et réglementation	9
I.4.1. La pollution des eaux usées	9
I.4.1.1. Définition	9
I.4.1.2. Origine et type de la pollution des eaux usées	9
I.4.1.3. Les principaux paramètres de la pollution	10
I.5. Normes de rejets des eaux usées	13
I.5.1. Normes internationales	13
I.6. Conclusion	13
CHAPITRE II: PROCEDES D'EPURATION DESEAUX USEES	
II.1. Introduction	16
II.2. Nécessité de l'épuration de l'eau	16
II.2.1. Définition d'une station d'épuration (STEP)	16

Sommaire

II.3. Etapes de traitement des eaux usées	17
II.3.1. Prétraitement	17
II.3.2. Traitement primaire.....	20
II.3.3. Traitement secondaire (traitement biologique)	21
II.3.3.1. Les boues activées.....	21
II.3.3.2. Le lagunage	25
II.3.4 Traitement tertiaire :.....	29
II.3.4.1. Traitement bactériologique par rayonnement UV.....	29
II.3.4.2. Traitement par voie physico-chimique.....	30
II.3.4.3. Traitement des odeurs	30
II.4. Conclusion	30

CHAPITRE III: L'OPTIMISATION TECHNIQUE ET ENERGETIQUE DES STATIONS D'EPURATION

III.1. Introduction	33
III.2 Évolution des charges polluantes à traiter	34
III.3 Évolution de la consommation énergétique	36
III.4 Conséquences d'un fonctionnement prolongé en sous-charge importante	37
III.4.1. Fonctionnement d'une station sous-chargée.....	37
III.4.2. Incidence sur l'aération.....	37
III.4.3. Incidence sur la déshydratation.....	38
III.4.4. Incidence sur la biologie et la clarification	39
III.4.5. Incidence du taux de charge appliqué sur l'efficacité énergétique d'une station d'épuration	40
III.5. Bonnes pratiques pour la conception	41
III.6. Bonnes pratiques pour l'exploitation	42
III.7. Conclusion	43

Conclusion général.....	45
--------------------------------	-----------

Annexe 1

Annexe 2

Références bibliographiques

LISTE DES ABREVIATIONS

ANRH : Agence national des ressources hydrauliques.

ASTM: American Society for Testing Material

ASU : Superficie agricole utile(ha).

C : Coefficient de colmatage.

[C'a] : Concentration en matière actives dans le bassin d'aération (mg/l).

Cb : La Concentration en boues (g/l).

Cm : la Charge Massique (Kg DBO5/KgMVS/j).

COT : Carbone total organique.

Cv : La Charge Volumique (Kg DBO5/m³/j).

D : Diamètre de décanteur (m).

DBO5 : Demande Biochimique d'Oxygène pendant 5 jours (mg/l).

DCO : Demande Chimique en Oxygène (mg/l).

E.T.P: L'évapotranspiration potentielle (mm).

E : L'énergie de l'aérateur (kW).

EH : Equivalent Habitant.

ERU : Les eaux résiduaires urbaines.

ET : Energie Totale (w/h).

He : la hauteur d'eau (m).

Im : Indice de Molhman (mg/l).

K : La biodégradabilité.

Kp : Coefficient de pointe.

L : la longueur (m).

l : largeur (m).

L0 : La charge en BDO5 à l'entrée (Kg/j).

Le : la charge éliminé (Kg/j).

Ls : la charge organique en DBO5 à la sortie (kg/j).

Mb : La Masse des boues (kg).

MES : Matière En Suspension (mg/l).

MVS : Matière Volatile en Suspension (mg/l).

N : Nombre d'habitants.

N0 : La quantité totale d'oxygène transférée par unité de surface ($\text{kgO}_2/\text{kw.h}$).

OMS : l'organisation mondiale de la santé.

P (t) : Pluie de durée t pour la même fréquence(mm).

P0 : Nombre d'habitants de l'année de référence.

Pa : puissance absorbée par m^2 de bassin d'aération (w/m^2).

PH : Potentiel d'Hydrogène.

Pjmax : Pluie de 24h pour une fréquence donnée(mm).

Pt : Nombre d'habitants à l'horizon.

PT : Puissance des aérateurs.

q : Dotation hydrique (l/j/hab).

Qd : Débit de la pompe doseuse (l/h).

Qjmoy : débit journalier moyen de consommation des eaux potables(m^3/j).

Qp : Les débits de point.

R : Rendement d'épuration (%).

REUE : réutilisation des eaux usées épurées.

S : Surface (m^2)

Sb : Surface du bassin (m^2).

STEP : Station d'épuration.

STR : Stations de relevage.

T : La Température ($^{\circ}\text{C}$).

t : Taux d'accroissement démographique l'horizon d'étude.

Ta : Temps d'aération (h).

Tc : temps de contact (min).

Ts : Temps de séjour (min).

UV : Ultra-Violets.

V : Volume (m^3).

V : Volume des déchets retenus (m^3/j).

Vba : Volume de bassin d'aération (m^3).

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1.....	48
Annexe 2.....	49

LISTE DES FIGURES

FIGURE II.1: SCHEMA D'UNE CHAINE DE TRAITEMENT DES EAUX USEES.....	17
FIGURE II.2: LAMELLES DE DEGRILLAGE	18
FIGURE II.3: DESSABLEUR-DEGRAISSEUR RECTANGULAIRE.....	20
FIGURE II.4: SCHEMA D'UN DECANTEUR PRIMAIRE.....	20
FIGURE II.5: DECANTEUR	21
FIGURE II.6: BASSIN D'AERATION (A GAUCHE) ET LES DECANTEURS SECONDAIRES (A DROITE)	22
FIGURE II.7: SCHEMA DE PRINCIPE D'UNE STATION D'EPURATION PAR BOUES ACTIVEE	22
FIGURE II.8: PHOTO D'UN BASSIN DE LAGUNAGE.....	26
FIGURE II.9: PHOTO DE BASSINS DE LAGUNAGE AERE	26
FIGURE II.10: SCHEMA DU LAGUNAGE A MACROPHYTES ET MICROPHYTES	29
FIGURE III.1: FREQUENCES CUMULEES EN FONCTION DE LA DEMANDE BIOCHIMIQUE EN OXYGENE (DBO) REÇUE POUR UNE STATION DONNEE	34
FIGURE III.2: EVOLUTION ANNUELLE DU TAUX DE REMPLISSAGE DES STATIONS ETUDIEES (MOYENNE DBO REÇUE/DBO NOMINALE)	35
FIGURE III.3: EVOLUTION DE LA CONSOMMATION D'ELECTRICITE ANNUELLE DES STATIONS D'EPURATION (STEP) ETUDIEES	36
FIGURE III.4: TAUX D'AUGMENTATION DE LA CONSOMMATION ELECTRIQUE DE L'AERATION EN FONCTION DE LA CONCENTRATION EN BOUE DANS LE BASSIN D'AERATION (G/L).....	38

FIGURE III.5: TEMPS DE FONCTIONNEMENT MACHINE EN FONCTION DE LA CONCENTRATION EN MATIERES EN SUSPENSION (MES) EN ENTREE MACHINE	39
FIGURE III.6: RATIO ENERGETIQUE (kWh/kgDBO) VERSUS TAUX DE REMPLISSAGE MOYEN ANNUEL (DBO REÇUE/DBO NOMINALE)	40
Figure annexe 1: Plan d'une station d'épuration	

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU I.1: CLASSIFICATION DES EAUX D'APRES LEUR pH.....	10
TABLEAU I.2: NORMES DE REJETS INTERNATIONALES	13
TABLEAU II.1: LES CLASSES DE BOUES ACTIVEES.....	23
TABLEAU II.2: AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU TRAITEMENT BIOLOGIQUE PAR BOUES ACTIVEES	25
TABLEAU II.3: AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU LAGUNAGE NATUREL ET LAGUNAGE AERE	27
TABLEAU ANNEXE 1: TABLEAU DES NORMES ALGERIEN DES EAUX USEES REJETE	

Introduction

générale

INTRODUCTION GENERALE

L'eau doit être classée comme un patrimoine universel qui doit être protégée, défendue et traitée. Elle est une ressource vitale pour l'homme, pour sa survie, sa santé, et son alimentation ; elle l'est également pour ses activités agricoles et la qualité de son environnement [1].

De nombreuses villes des pays en voie de développement connaissent une croissance démographique exponentielle. Leurs besoins en nourriture et en eau croissent continuellement. Ce qui engendre des problèmes multiples et complexes.

La pollution est l'un des plus graves problèmes auxquels est confronté notre monde moderne. L'écosystème aquatique est de plus en plus menacé par différentes sources de pollution qui risquent de diminuer ses potentialités économiques et d'avoir des répercussions néfastes sur la santé humaine. Elle reste l'une des principaux facteurs de transmission des maladies et de la dégradation de l'environnement [2].

Les eaux usées doivent être épurées avant d'être rejetées dans le milieu naturel. C'est pour cela que les eaux usées devraient être dirigées vers des stations d'épuration afin de concentrer la pollution qu'elles contiennent sous forme de résidu, de rejeter l'eau épurée et cela grâce à des procédés physico-chimiques et biologiques [3].

L'épuration doit permettre, au minimum, d'éliminer la majeure partie de la pollution carbonée ; certains procédés permettent même l'élimination de l'azote et du phosphore. Malheureusement, les systèmes de collecte et de traitement d'eaux usées en Algérie sont très peu développés voire inexistants [4].

Pour cette raison l'optimisation est nécessaire à la fois pour la conception des stations de traitement des eaux usées ainsi que leur fonctionnement pour un rendement économique plus efficace et une meilleure protection de l'environnement [5].

INTRODUCTION GENERALE

Notre travail d'étude qui a été axé dans ce cadre se présente en deux parties :

- Une partie bibliographique qui regroupe deux chapitres :
 - ✓ Le premier chapitre est consacré, d'une part, à la connaissance de l'origine et la constitution des eaux usées, et aux normes de rejets appliquées en Algérie.
 - ✓ Le second chapitre expose les divers procédés de traitement que doivent subir les eaux usées.
- Une partie pour l'optimisation d'une station d'épuration des eaux usées
 - ✓ Un chapitre fait l'étude pour l'optimisation technique et énergétique des stations d'épuration

CHAPITRE I : GENERALITES

SUR LES EAUX USEES

I.1. Introduction

Une eau usée, appelée encore eau résiduaire ou effluent est une eau qui a subi une détérioration après usage. La pollution des eaux dans son sens le plus large est définie comme tout changement défavorable des caractéristiques naturelles (biologiques ou physicochimiques) dont les causes sont directement ou indirectement en relation avec les activités humaines[6]. Les eaux usées urbaines sont d'abord formées par un mélange d'eaux usées domestiques et d'eaux usées industrielles. Il s'y ajoute une troisième composante formée par les eaux de pluie et les effluents des installations collectives (hôpitaux, commerces, casernes, etc.)[1]

La forte croissance des besoins en eau, induite par l'accroissement démographique, l'évolution industrielle, émanant des secteurs domestiques industriels engendre des quantités de rejets d'effluent d'eau usée. Ces dernières sont rejetées dans la nature sans traitement ni épuration. Le rejet d'eau usée peut entraîner une pollution aussi bien des sols agricoles et la nappe d'eau potable à long terme[7]

I.2. Origines des eaux usées

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

Les eaux résiduaires urbaines (ERU) sont constituées par [8]:

I.2.1. Eaux usées domestiques

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques, etc. et en eaux 'vannes' sont les rejets des toilettes, chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux[9]

I.2.2. Eaux usées industrielles

Tous les rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestique sont qualifiés de rejets industriels. Cette définition concerne les rejets des usines, mais aussi les rejets d'activités artisanales ou commerciales. Ces eaux ont une grande variété et peuvent être toxiques pour la vie aquatique, ou pour l'homme. Les liquides résiduels sont des liquides résultant des fabrications ; c'est le cas des solutions de produits chimiques, des solutions de sous-produits, ou le cas des liquides acides provenant de la vidange des cuves de décapage des métaux.

Les rejets industriels peuvent suivre trois voies d'assainissement :

- Soit directement rejetés dans le réseau domestique.
- Soit prétraités puis rejetés dans le réseau domestique.
- Soit entièrement traités sur place et rejetés dans le milieu naturel[3]

I.2.3. Eaux usées agricoles

Ces sont des eaux qui ont été polluées par des substances utilisées dans le domaine agricole. Dans le contexte d'une agriculture performante et intensive, l'agriculteur est conduit à utiliser divers produits d'origine industrielle ou agricole dont certains présentent ou peuvent présenter, des risques pour l'environnement et plus particulièrement pour la qualité des eaux. Il s'agit principalement :

- Des fertilisants (engrais minéraux du commerce ou déjections animales produites ou non sur l'exploitation) ;
- Des produits phytosanitaires (herbicides, fongicides, insecticides...)[10].

I.2.4. Eaux de pluie et de ruissellement

Les eaux pluviales et de ruissellement sont prises en compte dans le cas où le système de collecte des eaux usées est unitaire, ceci lors du traitement en station d'épuration. Les eaux de pluie sont susceptibles d'entraîner les polluants atmosphériques et de contaminer par infiltration et ruissellement les eaux superficielles et souterraines. Les principaux polluants en cause sont le SO₂, le NO et ses dérivés, les poussières [11].

I.3. Composition des eaux usées

La composition des eaux usées, est extrêmement variable en fonction de leur origine (industrielle, domestique, ...etc.). La composition des eaux résiduaires urbaines brutes dépend essentiellement de :

- L'activité humaine (eaux ménagères et eaux de vannes) ;
- La composition des eaux d'alimentation en eau potable et accessoirement, de la constitution des canalisations d'eau, pour les composés chimiques ;
- La nature et de la quantité des effluents industriels éventuellement rejetés dans le réseau urbain.

Les eaux usées urbaines contiennent des matières solides, des nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute et des micro-organismes. Ces substances peuvent être classées en quatre groupes[9] .

I.3.1. Éléments microbiologiques

Les microorganismes, retrouvés dans les eaux usées se répartissent en 4 groupes : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes. Ils proviennent de l'environnement et des matières fécales. Ils ont des effets divers sur la santé : ils sont la cause d'infections bénignes (gastro-entérite par exemple) comme de maladies mortelles. Le pouvoir pathogène des microorganismes dépend de plusieurs facteurs qui seront brièvement décrits.[10]

I.3.1.1. Les bactéries

Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau. Leur taille est comprise entre 0,1 et 10 μm . La quantité moyenne de bactéries dans les fèces est d'environ 10¹² bactéries/g. La majorité de ces bactéries ne sont pas pathogènes. Cependant, chez un hôte infecté, le nombre de bactéries pathogènes peut être très important. Les bactéries entériques sont adaptées aux conditions de vie dans l'intestin, c'est-à-dire une grande quantité de matière carbonée et de nutriments, Leur temps de survie dans le milieu extérieur, où les conditions sont totalement différentes, est donc limité. Par ailleurs, les bactéries pathogènes vont se trouver en compétition avec les bactéries indigènes, ce qui limitera leur développement [12].

I.3.1.2. Les virus

Les virus sont des organismes de très petite taille (10 à 350 nm). Ils ne sont constitués que d'une molécule d'ADN ou d'ARN, entourée d'une capsid (coque protéique). Ne possédant ni noyau, ni capacité de synthèse, ce sont des parasites obligatoires d'une cellule vivante dont ils détournent, à leur profit, les systèmes enzymatiques, énergétiques et de synthèse. L'infection d'un individu par un virus hydrique se produit dans la majorité des cas par l'ingestion, sauf pour le Coronavirus où elle peut aussi avoir lieu par inhalation. Les virus sont relativement spécifiques d'un hôte. Il existe des virus adaptés à chaque type d'hôtes (animaux, hommes, plantes, champignons, algues, bactéries). Les virus entériques transmis par ingestion sont, avec les virus respiratoires transmis par inhalation d'aérosols, les plus importants pour la santé humaine [13].

I.3.1.3. Les protozoaires

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries. La plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes parasites c'est-à-dire qu'ils se développent aux dépens de leur hôte certains protozoaires adoptent au cours de leur cycle de vie une forme de résistance appelée kyste [12].

I.3.1.4. Les helminthes

Les helminthes sont des vers multicellulaires plats (plathelminthes) ou ronds (némathelminthes). Tout comme les protozoaires, ce sont majoritairement des organismes parasites. Ce sont, pour la plupart, des vers intestinaux, souvent rejetés avec les matières fécales sous forme d'œufs très résistants. La contamination se fait par ingestion ou par voie transcutanée (par fixation puis pénétration des larves à travers la peau [13]).

I.3.2. Matières en suspension MES

Les matières en suspension associées aux substances dissoutes sont à l'origine de la turbidité des eaux usées. La détermination des M.E.S. est essentielle pour évaluer la répartition entre la pollution dissoute et la pollution sédimentaire dont le devenir est pris en compte dans un système d'épuration. La méthode de référence pour déterminer les M.E.S est la méthode AFNOR n° 90-105, par filtration sur disque de verre. Elles sont exprimées en mg/l de matière sèche insoluble [11].

I.3.3. Substances nutritives

Leur présence dans les eaux usées peut avoir un impact négatif sur la santé humaine et la qualité des eaux superficielles et dans une moindre mesure un impact bénéfique sur les cultures dans le cas d'une réutilisation agricole [12]. L'azote, le phosphore, le potassium et les oligo-éléments indispensables à la vie des végétaux, se trouvent en quantités appréciables, mais en proportions très variables par rapport aux besoins de la végétation, dans les eaux usées traitées ou non.

Dans certaines circonstances, ces éléments peuvent être en excès par rapport aux besoins de la plante et provoquer des effets négatifs, aussi bien au niveau de la culture que des sols. Un contrôle périodique de la quantité de nutriments présents dans l'effluent est nécessaire afin d'en tenir compte lors du calcul des besoins en fertilisants des cultures irriguées [10].

I.3.4. Les micropolluants organiques et non organiques

Les micropolluants sont des éléments présents en quantité infinitésimale dans les eaux usées. Certains micropolluants, comme les métaux lourds ou les pesticides, peuvent s'accumuler dans les tissus des êtres vivants, et notamment dans les plantes cultivées [4].

I.3.4.1. Eléments traces

Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux ; les plus abondants sont le fer, le zinc, le cuivre et le plomb. Les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium, molybdène, nickel, etc.) sont présents à l'état de traces. Leur origine est multiple. Ils proviennent « des produits consommés au sens large par la population, de la corrosion des matériaux des réseaux de distribution d'eau et d'assainissement, des eaux pluviales dans le cas de réseaux unitaire, des activités de service (santé, automobile) et éventuellement de rejets industriels » [14].

I.3.4.2. Les micropolluants organiques

Les micropolluants d'origine organique sont extrêmement nombreux et variés, ce qui rend difficile l'appréciation de leur dangerosité. Ils proviennent de l'utilisation domestique de détergents, pesticides, solvants, et également des eaux pluviales : eaux de ruissellement sur les terres agricoles, sur le réseau routier, etc.. [4].

I.4. Risque et réglementation

Le rejet direct des eaux usées domestiques dans le milieu naturel perturbe l'équilibre aquatique en transformant les rivières en égouts à ciel ouvert. Pour lutter contre cette pollution et éviter les maladies d'origine hydrique, plusieurs normes de réglementation ont été établies au niveau national et international[9].

I.4.1. La pollution des eaux usées

I.4.1.1. Définition

La pollution de l'eau est une altération qui rend son utilisation douteuse et/ou perturbe l'écosystème ; elle peut concerner les eaux superficielles et/ou les eaux souterraines ayant pour origine principale l'activité humaine[15].

I.4.1.2. Origine et type de la pollution des eaux usées

a. Origine de la pollution

La pollution de l'eau peut être d'origine naturelle, ou provenir d'activités humaines. Suivant l'origine des substances polluantes. On distingue : la pollution d'origine domestique, industrielle, agricole et pluviale[9].

b. Types de pollution

Il existe plusieurs types de pollution des eaux parmi lesquelles on distingue :

- **Pollution organique** : La pollution organique constitue souvent la fraction la plus importante d'autant plus que dans son acceptation la plus large, cette forme de pollution peut être considérée comme résultant de diverses activités (urbaines, industrielles, artisanales et rurales) chaque activité rejette des composées spécifiques biodégradables ou pas [26].
- **Pollution minérale** : La pollution minérale des eaux peut provoquer le dérèglement de la croissance végétale ou trouble physiologique chez les animaux. Le polluant minéral ce sont principalement les métaux lourds et les éléments minéraux nutritifs [17].
- **Pollution microbiologique** : Les eaux d'égout contiennent une multitude d'organismes vivants apportés par les excréments d'origine humaine ou animale. L'eau peut contenir des micro-organismes pathogènes (virus, bactéries, parasites). Ils sont dangereux pour la santé humaine, et limitent donc les usages que l'on peut faire de l'eau [9].

- **Pollution toxique :** La toxicité présente dans les eaux usées peut être organique ou minérale, les substances organiques toxiques sont entrées autres les pesticides, les hydrocarbures et les produits organiques de synthèse industriels (aldéhydes, phénols, produits azotes ...etc.). Les substances minérales toxiques sont : les sels à fortes concentration, les ions métalliques rejetés par les effluents industriels [16] .
- **La pollution thermique :** Les eaux rejetées par les usines utilisant un circuit de refroidissement de certaines installations (centrales thermiques, nucléaires, raffineries, aciéries...) ; ont une température de l'ordre de (70 à 80) °C. Elle diminue jusqu' à (40 à 45) °C lorsqu'elle contacte les eaux des milieux aquatiques entraînant un échauffement de l'eau, qui influe sur la solubilité de l'oxygène [18].

I.4.1.3. Les principaux paramètres de la pollution

Les eaux usées sont des milieux extrêmement complexes, aussi se réfère-t-on à quelques paramètres pour les caractériser. Ils sont généralement exprimés en mg/L.

- **La température :** La température est un facteur écologique important des milieux aqueux. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique 'pollution thermique'. Elle joue un rôle important dans la nitrification et la dénitrification biologique. La nitrification est optimale pour des températures variant de 28 à 32 °C par contre, elle est fortement diminuée pour de températures variant de 12 à 15 °C et elle s'arrête pour des températures inférieures à 5°C [19].
- **Potentiel hydrogène (pH) :** Le pH représente l'acidité ou l'alcalinité d'une solution. Le pH d'une eau domestique ou urbaine se situe généralement entre 6.8 et 7.8. Au-delà, c'est l'indice d'une pollution industrielle [1].

Tableau I.1: Classification des eaux d'après leur pH [6].

PH < 5	Acidité forte présence d'acides minéraux ou organique dans les eaux naturelles
PH = 7	PH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée majorité de eaux de surface
5,5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
PH > 8	Alcalinité forte, évaporation intense

- **La turbidité** : La turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence de matières en suspension (MES) fines, comme les argiles, les limons, les grains de silice et les microorganismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale. Les unités utilisées pour exprimer la turbidité proviennent de la normalisation ASTM (American Society for Testing Material) [16].
- **Couleur** : La coloration d'une eau peut être soit d'origine naturelle (éléments métalliques, matières humiques, micro-organismes liés à un épisode d'eutrophisation...), soit associée à sa pollution (composés organiques colorés). La coloration d'une eau est donc très souvent synonyme de la présence de composés dissous. La mesure normalisée de la coloration a fait l'objet d'une révision récente. Elle s'effectue soit par comparaison avec une gamme de concentration comme de solutions colorées, soit par mesure Spectrophotométrie [6].
- **Les matières en suspension (MES)** : c'est la quantité de pollution organique et minérale non dissoute dans l'eau. Les MES sont responsables d'ensablement et de baisse de pénétration de la lumière dans l'eau, ce qui entraîne une diminution l'activité photosynthétique et une chute de la productivité du phytoplancton [20].
- **La demande biologique en oxygène (DBO)** : c'est un paramètre global qui exprime la quantité d'oxygène qu'une biomasse épuratrice va consommer pour décomposer les matières organiques contenues dans l'effluent. Elle est donc représentative de la somme des matières organiques biodégradables. Elle est généralement mesurée en 5 jours (DBO_5) [21].
- **La demande chimique en oxygène (DCO)** : c'est la quantité de matières organiques oxydables par voie chimique. Le rapport entre ces deux paramètres peut donner une idée de la biodégradabilité de l'effluent. La DBO et la DCO sont deux moyens d'apprécier la teneur en matières organiques oxydables. La dégradation de celles-ci dans le milieu naturel s'accompagne d'une consommation d'oxygène et peut entraîner un abaissement excessif de la concentration d'oxygène dissous [21].

- **La biodégradabilité (K) :** la biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les micro-organismes qui interviennent dans le processus d'épuration biologique des eaux.

La biodégradabilité est exprimée par un coefficient K, tel que $K = DCO/DBO_5$

- Si $K < 1.5$: cela signifie que les matières oxydables sont constituées en grande partie de matière fortement biodégradables.
- Si $1.5 < K < 2.5$: cela signifie que les matières oxydables sont moyennement biodégradables.
- Si $2.5 < K < 3$: les matières oxydables sont peu biodégradables.
- Si $K > 3$: les matières oxydables sont non biodégradables [22].
- **Carbone organique total (COT) :** La somme du carbone de nature organique dans les matières dissoutes et en suspension dans l'eau. Cyanates et thiocyanates sont également mesurés [23].

Les Principes des analyseurs de carbone :

- Oxyder complètement le carbone en CO_2 par : combustion, ajout d'un oxydant, UV ou autres.
- Le CO_2 formé est mesuré directement ou après réduction.

La détermination de la concentration en CO_2 peut être réalisée par spectrométrie Infra Rouge, conductivité thermique, conductimètre, colorimétrie[2].

- **Le phosphore :** Le phosphore est un élément nutritif essentiel aux organismes vivants qui entraîne une croissance excessive des végétaux aquatiques (eutrophisation accélérée) lorsqu'il est trop abondant. Permet de déterminer le niveau trophique des eaux d'un lac et de déceler la présence de pollution nutritive dans un tributaire[24].
- **L'azote :** L'azote présent dans l'eau peut avoir un caractère organique ou minéral. L'azote organique est principalement constitué par des composés tels que des protéines, des polypeptides, des acides aminés, de l'urée. Le plus souvent ces produits ne se trouvent qu'à de très faibles concentrations. Quant à l'azote minéral (ammoniacal, nitrate, nitrite), il constitue la majeure partie de l'azote total[16]

I.5. Normes de rejets des eaux usées

I.5.1. Normes internationales

La 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 ou un décret de loi. Les normes internationales selon l'organisation mondiale de la santé (OMS) pour les eaux usées [20].

Tableau I.2:normes de rejets internationales.

Caractéristiques	Normes utilisées (OMS)
PH	6.5-8.5
DBO ₅	<30mg/L
DCO	<90mg/L
MES	<20mg/L
NH ₄	<0.5mg/L
NO ₂	<1mg/L
NO ₃	<1mg/L
P ₂ O ₅	<2mg/L

I.6. Conclusion

Les eaux usées urbaines peuvent être rejetés directement dans le milieu naturel aboutissant à des stations d'épuration dont ils ne doivent pas perturber le fonctionnement. Pour cela on est appelé à préciser des normes de rejet pour protéger l'environnement contre impacts négative.

Les normes doivent tenir compte des sensibilités des méthodes de dosage et des possibilités techniques de traitement. La connaissance de la composition des eaux résiduaire et leur paramètre essentiel pour assurer la pertinence du choix et du dimensionnement des filières de traitement appropriées. Bien que les gammes de concentrations des paramètres typiques des eaux usées soient globalement connues.

CHAPITRE II : PROCÉDES D'ÉPURATION DES EAUX USEES

II.1. Introduction

Le traitement des eaux résiduaires urbaines représente la moitié des activités de traitement de l'eau dans le monde. Avec l'évolution démographique, le développement économique, ou encore l'extension et l'intensification de l'urbanisme, le volume des eaux résiduaires ne cesse de croître.

Conjugué à une exigence renforcée en matière de respect de l'environnement au travers de la réglementation et de confort de vie, le traitement des eaux usées représente un véritable défi environnemental pour les collectivités. Epurer des eaux usées de plus en plus polluées représente également un défi technologique et économique dont l'objectif commun est de préserver la biodiversité et protéger les ressources en eau, tout en garantissant le confort des riverains.

Pour accompagner les collectivités locales dans leur développement, nous concevons des filières de traitement plus ou moins complexes, en fonction de la qualité des effluents à dépolluer et de la sensibilité du milieu récepteur.

II.2. Nécessité de l'épuration de l'eau

L'épuration des eaux est un ensemble de techniques qui consistent à purifier l'eau soit pour recycler les eaux usées dans le milieu naturel, soit pour transformer les eaux naturelles en eau potable.

Les caractéristiques d'une station d'épuration et le degré de traitement doivent être tels que l'effluent n'altère pas l'état du milieu récepteur dans une mesure incompatible avec les exigences de l'hygiène et de la salubrité publique et d'une façon générale, avec les exigences des diverses utilisations ou activités (alimentation en eau des hommes et des animaux, utilisation agricole ou industrielles, production piscicole ou production de coquillages, navigation, baignades et autres activités sportives) [3].

II.2.1. Définition d'une station d'épuration (STEP)

C'est une installation qui sert à dépolluer les eaux usées pour éviter la destruction totale des écosystèmes aquatiques et naturelles du a l'effluents pollués, et au même temps éviter la rareté de la source en eau se faisant sentir au cours des prochaines années.

L'objectif d'une STEP est :

- Protection de la santé.
- Protection des sources d'eau potable.

CHAPITRE II PROCEDES D'EPURATION DESEAUX USEES

- Protection de système aquatique terrains adjacents.

II.3. Etapes de traitement des eaux usées

Un système type de traitement d'eaux usées fait appel à une série de procédés unitaires. Ces procédés se divisent en quatre catégories : les prétraitements, les traitements primaires, les traitements secondaires et les traitements tertiaires [26].

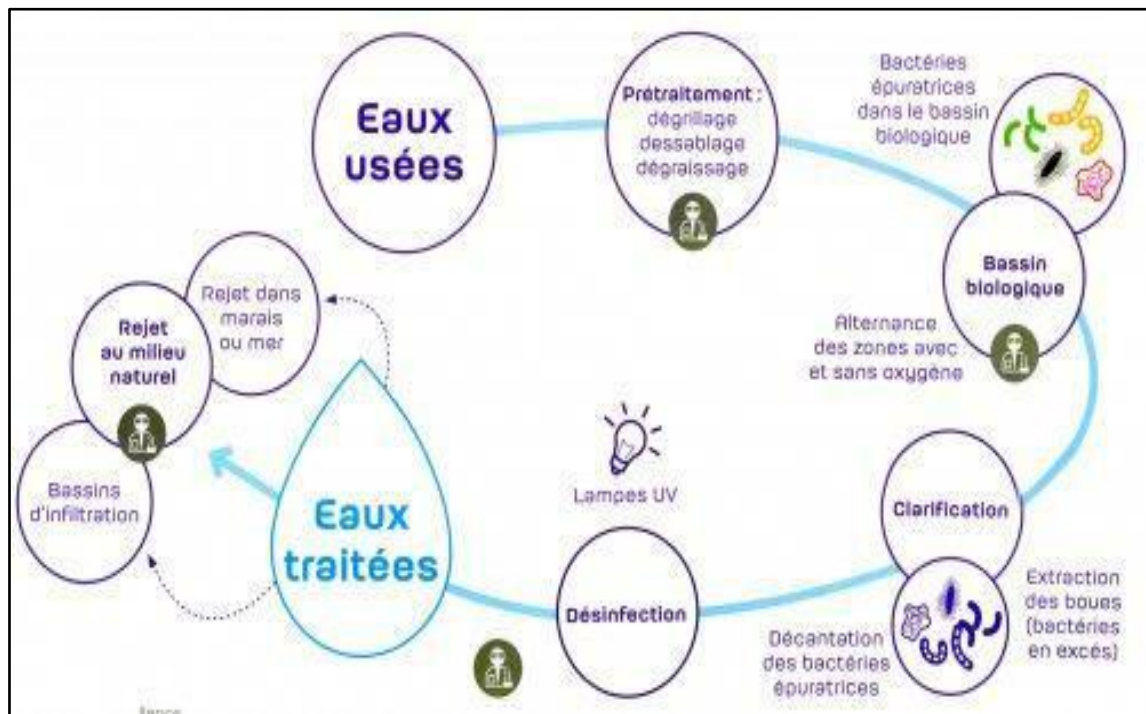


Figure II.1: Schéma d'une chaîne de traitement des eaux usées.

II.3.1. Prétraitement

Tout traitement de dépollution doit comporter ce qu'il est convenu d'appeler un prétraitement qui consiste en un certain nombre d'opérations mécaniques ou physiques destinées à extraire le maximum d'éléments dont la nature et la dimension constitueraient une gêne ultérieurement. Ces opérations sont : le dégrillage, le dessablage et le déshuilage[21].

CHAPITRE II PROCEDES D'EPURATION DESEAUX USEES

II.3.1.1. Le dégrillage

L'opération de dégrillage permet de protéger la station contre l'arrivée des gros objets susceptibles de provoquer des bouchages au niveau de différentes unités de l'installation et d'éliminer les matières volumineuses charriées par l'eau brute, qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements ultérieurs.

En fonction de l'espacement des barreaux on peut distinguer :

- Le dégrillage fin : écartement de 3 à 10 mm
- Le dégrillage moyen : écartement de 10 à 45 mm
- Le dégrillage grossier : écartement de 50 à 100 mm

Les dégrillages peuvent être verticale ; ou inclinées de 60° à 80° sur l'horizontale [28].



Figure II.2: Lamelles de dégrillage [29].

CHAPITRE II PROCÉDES D'ÉPURATION DE SEaux USEES

➤ Calcul du dégrilleur

Selon l'expression de Kirschmer, la largeur de la grille est :

$$L = \frac{S - \sin \alpha}{h_{max}(1 - \beta)\delta}$$

Où

L : largeur de la grille

h_{max} : hauteur maximum admissible sur une grille (m)

β : fraction de surface occupée par les barreaux

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

Où :

d : épaisseur des barreaux (cm)

e : espacement des barreaux . (5)

II.3.1.2. Le dessablage

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, les sables et les particules minérales plus ou moins fines, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduites, à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion et à éviter de surcharger les stades de traitements suivants.

L'écoulement de l'eau, à une vitesse réduite, dans un bassin appelé "dessableur" entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Les sables récupérés, par aspiration, sont ensuite essorés, puis lavés avant d'être soit envoyés en décharge, soit réutilisés selon la qualité du lavage[30].

II.3.1.3. Le dégraissage – déshuilage

Le déshuilage est une opération de séparation liquide-liquide, alors que le dégraissage est une opération de séparation solide-liquide (à la condition que la température de l'eau soit suffisamment basse, pour permettre le figeage des graisses). Ces deux procédés visent à éliminer la présence des corps gras dans les eaux usées, qui peuvent gêner l'efficacité du traitement biologique qui intervient ensuite [31].



Figure II.3: Dessableur-dégraisseur rectangulaire [32].

II.3.2. Traitement primaire

II.3.2.1. Décantation

Il s'agit le plus souvent d'une décantation qui permet d'éliminer les matières en suspension décantables en deux heures. L'utilisation de réactifs chimiques pour éliminer des particules plus fines constitue un traitement physico-chimique. Ce traitement permet donc essentiellement l'élimination de la pollution particulaire et d'une partie de la pollution organique sous forme particulaire (de l'ordre de 65 à 80% de la DCO avec un traitement physico-chimique) [33] [55].

Les matières en suspension ont souvent une teneur en matière organique importante (de 70 à 90%) et une densité légèrement supérieure à celle de l'eau. Elles vont se décarter naturellement dans un décanteur primaire en 1 à 2 heures. L'eau ainsi clarifiée s'écoulera par débordement et les MES qui ont décanté au fond du bassin (boues primaires) seront extraites et envoyées vers les ouvrages de traitement des boues [34][55].

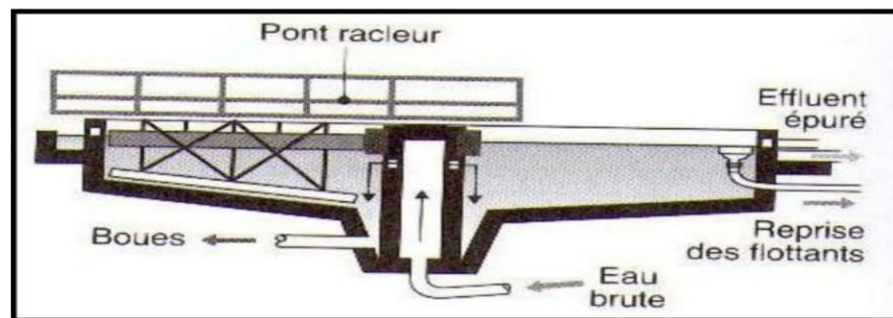


Figure II.4: Schéma d'un décanteur primaire.



Figure II.5: Décanteur.

II.3.2.2. Flottation

Par opposition à la décantation, la flottation est un procédé de séparation solide-liquide ou liquide-liquide qui s'applique à des particules dont la masse volumique est inférieure à celle du liquide qui les contient. Dans les eaux à forte charge en matières organiques, les matières solides sont rassemblées à la surface par insufflation d'air, sous forme d'écume qui est ensuite retirée par raclage à la surface de l'eau. Les bulles d'air fines s'accrochent aux particules fines à éliminer [17].

II.3.3. Traitement secondaire (traitement biologique)

Ces traitements sont biologiques et permettent d'éliminer les polluants dissous. Pour cela on utilise des populations de micro-organismes capables de les consommer. Dans les cas étudiés, le principe général est de favoriser la croissance de communautés de bactéries aérobies, c'est-à-dire qui prélève l' O_2 pour leur métabolisme [8]. On en distingue différents types :

II.3.3.1. Les boues activées

Les boues activées constituent le traitement biologique aérobie le plus répandu. Le procédé consiste à provoquer le développement d'une culture bactérienne dispersée sous forme de flocons (boues activées), dans un bassin brassé et aéré (bassin d'aération) et alimenté en eau à épurer. Dans ce bassin, le brassage a pour but d'éviter les dépôts et d'homogénéiser le mélange des flocons bactériens et de l'eau usée (liqueur mixte) ; l'aération peut se faire à partir de l'oxygène de l'eau, du gaz enrichi en oxygène, voire même d'oxygène pur, a pour

CHAPITRE II PROCEDES D'EPURATION DESEAUX USEES

but de dissoudre ce gaz dans la liqueur mixte, afin de répondre aux besoins des bactéries épuratrices aérobies [36].

Dans le décanteur secondaire, la boue activée est séparée de l'eau purifiée. Une partie des boues activées séparée est réintroduite dans le bassin d'aération (boues de retour). La partie non réintroduite (boues en excès) est un résidu de ce procédé [37].



Figure II.6: Bassin d'aération (à gauche) et les décanteurs secondaires (à droite)[38]

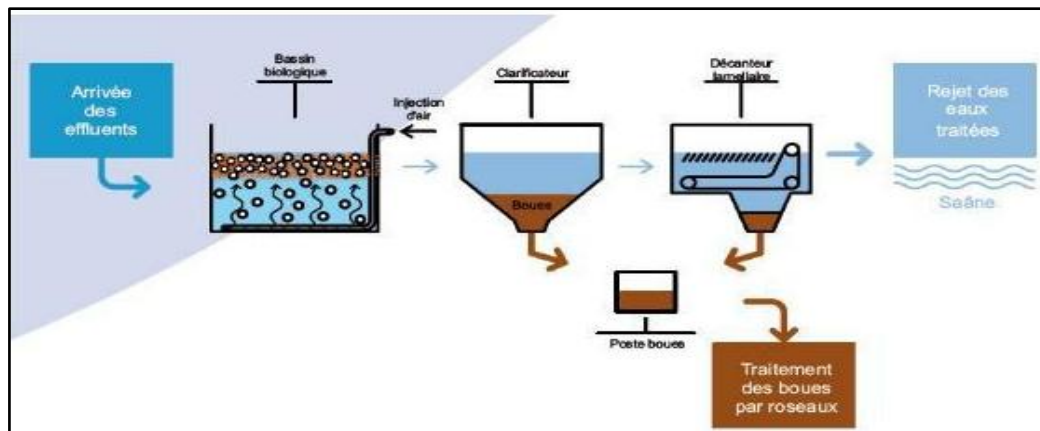


Figure II.7: Schéma de principe d'une station d'épuration par boues activées [39].

Quelques paramètres caractéristiques des boues activées :

- a. **La charge massique (Cm) :** C'est le rapport de la charge en DBO₅ reçue sur la quantité de boues présente dans le bassin d'aération

$$\text{➤ } C_m = \text{nourriture} / \text{boues} = \text{kg DBO}_5 \text{ reçue} / (\text{kg MVS (bassin d'aération)})$$

Elle caractérise l'équilibre biologique du traitement [40].

- b. **La charge volumique (Cv) :** C'est le rapport de la charge en DBO₅ reçue sur le volume du bassin d'aération. $C_v = \text{kg DBO}_5 \text{ reçue} / \text{m}^3 \text{ (bassin d'aération)}$.

CHAPITRE II PROCEDES D'EPURATION DESEAUX USEES

Cv permet d'estimer la capacité du bassin d'aération. Des charges massiques et volumiques faibles témoignent d'un ratio nourriture/boues favorable à une élimination poussée de la pollution carbonée et azotée[24]. On distinguera ainsi 5 classes de boues activées :

Tableau II.1: les classes de boues activées [40].

	Cv	Cm
Aération prolongée	< 0,36	<0,1
Faible charge	0,36 à 0,7	0,1à 0,2
Moyenne charge	0,7 à 1,7	0,2à 0,5
Forte charge	1,7à3	0,5à1
Très forte charge	> 3	>1

c. **L'Age des boues (A) :** Il est lié à la quantité de boue en excès. Si la boue est trop jeune, elle sera peu oxydée et ne sédimentera pas facilement. Au contraire, si la boue est âgée, elle sédimentera trop rapidement pour assurer une bonne clarification[41].

Il correspond au rapport de la quantité de boues présentes, en kg MS., dans le bassin d'aération (S) sur la quantité de boues en excès (E) à évacuer par jour, en kg MS/j.

$$A = S/E = VBA \times (MS)BA / QE \times (MS)E$$

Avec :

- VBA : Volume du bassin d'aération (m³).
- (MS) BA : Concentration des boues activées en kg / m³ en MS (Matières sèches).
- QE : Débit journalier (m³/j) d'extraction des boues.
- (MS)E : Concentration des boues en excès en kg/m³ MS.

Un âge des boues élevé témoigne d'une boue bien développée, ce qui est favorable à une bonne élimination de la pollution [40].

d. **Recyclage des boues :** Pour augmenter la masse de microorganismes dans le bassin d'aération, il est nécessaire d'assurer le recyclage des boues activées après leur décantation dans le clarificateur [42].

- Procédé faible charge → Recyclage des boues : 10 à 50 %
- Procédé moyenne charge → Recyclage des boues : 50 à 100 %

CHAPITRE II PROCÉDES D'ÉPURATION DE SÉAUX USEES

Procédé forte charge → Recyclage : jusqu'à 300 %[27]

e. **Indice de MOLHMAN** : L'indice de Mohlman renseigne sur la qualité des boues activées. L'indice de Mohlman est le rapport entre le volume des boues en $\text{ml} \cdot \text{L}^{-1}$ sur la teneur en matières en suspension du même échantillon de boues en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$. On obtient ainsi le volume occupé par 1 g de matières en suspension après 30 minutes de décantation pour les boues activées et après 2 heures pour l'effluent d'un lit bactérien. Cette valeur caractérise la capacité de décantation de boues activées[43].

En pratique, la détermination de l'indice de Mohlman revient à :

- Mesurer le volume de matières décantables (MD) en 30 minutes (boues activées) et l'exprimer en concentration volumique $\sigma(\text{MD}) = X \text{ ml} \cdot \text{L}^{-1}$.
- Mesurer la teneur en matières sèches en suspension à 105 °C et l'exprimer en concentration massique $\beta(\text{MSS}) = Y \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

L'indice est calculé sur la base de ces deux analyses :

$$\boxed{V_m(\text{IM}) = \sigma(\text{MD}) / \beta(\text{MSS}) \text{ en } \text{mL} \cdot \text{g}^{-1}} [43].$$

Signification de l'indice :

- Si : $80 < \text{IM} < 150$ ou $80 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1} < V_m(\text{IM}) < 150 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1} \Rightarrow$ Installation en bon état.
- Si : $V_m(\text{IM}) > 80 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1} \Rightarrow$ Boues en phase de minéralisation $\Rightarrow$ Phénomène physique dans le cas de :

- Stations recevant des eaux d'égout unitaires chargées de limon après de fortes pluies.
- Déphosphatation.

La présence de limon fait augmenter la masse des boues d'où une décantabilité plus grande et par suite une modification du rapport poids/volume.

- Si : $V_m(\text{IM}) > 150 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$: boues légères et filamenteuses suite à un manque d'aération [43].

Avantages et inconvénient des boues activées

Quelques avantages et inconvénients du traitement biologique par boues activées sont énumérés dans le tableau II.2.

CHAPITRE II PROCEDES D'EPURATION DESEAUX USEES

Tableau II.2: Avantages et inconvénients du traitement biologique par boues activées [44].

Avantages	Inconvénients
- Adaptée pour toute taille de collectivité (sauf les très petites). - Bonne élimination de l'ensemble des paramètres de pollution (MES, DCO, DBO5, N par nitrification et dénitrification). - Adapté pour la protection de milieux récepteurs sensibles. - Boues légèrement stabilisées. - Adaptée pour toute taille de collectivité. - Adapté pour la protection de milieux. - Facilité de mise en œuvre d'une déphosphatation simultanée.	- Coûts d'investissement assez importants. - Consommation énergétique importante. - Nécessité de personnel qualifié et d'une surveillance régulière. - Sensibilité aux surcharges hydrauliques. - Décantabilité des boues pas toujours aisées à maîtriser. - Forte production de boues qu'il faut concentrer.

II.3.3.2. Le lagunage

L'eau décantée est dirigée vers les lagunes où a lieu le traitement biologique. Celui-ci a pour but principal l'élimination des excédents d'azote, de phosphore et de matières organiques. Le lagunage recrée le processus naturel de l'autoépuration. L'épuration par lagunage est réalisée par un équilibre biologique auquel participent des bactéries, du zooplancton, des algues et parfois des plantes aquatiques [8].

Le lagunage est un procédé d'épuration qui consiste à faire circuler des effluents dans une série de bassins pendant un temps suffisamment long pour réaliser les processus naturels de l'autoépuration. Il est pratiqué dans les régions très ensoleillées, dans des bassins de faible profondeur. Le principe général consiste à recréer, dans des bassins, des chaînes alimentaires aquatiques. Le rayonnement solaire est la source d'énergie qui permet la production de matières vivantes par les chaînes trophiques. Les substances nutritives sont apportées par l'effluent alors que les végétaux sont les producteurs du système en matière consommables et en oxygène [45].

CHAPITRE II PROCÉDES D'ÉPURATION DE SEaux USEES



Figure II.8: Photo d'un bassin de lagunage [46].

Les différents types de lagunage

a) Le lagunage naturel

Le lagunage naturel est un procédé rustique de traitement des eaux usées domestiques. Les effluents sont dirigés dans des bassins étanches, à l'air libre. Sous l'action du soleil, les algues photosynthétisent leur matière première en fournissant de l'oxygène à la population bactérienne. La profondeur des lagunes naturelles est faible [21].

b) Le lagunage aéré

Constitué de 2 à 3 bassins avec un 1er bassin dans lequel un système d'aération électromécanique facilite le transfert de l'oxygène dans l'eau puis les autres bassins sont des lagunes de décantation : 1 pour des capacités inférieures à 1 000 EH ou 2, alimentés en alternance pour des capacités supérieures à 1000 EH. Les performances obtenues sont légèrement supérieures à celles attendues avec un lagunage naturel [47].



Figure II.9: Photo de bassins de lagunage aéré [48].

c) Le lagunage anaérobie

Il n'est applicable que sur des effluents très concentrés et, le plus souvent comme prétraitement avant un étage aérobique. La couverture de ces lagunes et le traitement des gaz produits sont nécessaires vu les risques de nuisances élevés (odeurs). Les temps de séjour

CHAPITRE II PROCEDES D'EPURATION DESEAUX USEES

sont souvent supérieurs à 50 jours. Une profondeur importante (5 à 6 m) est en principe un élément favorable au processus. Dans la réalité, la classification aéré-anaérobie des lagunes n'est pas superflue, car dans les zones amont ou profondes des lagunes aérobies, on observe souvent un fort déficit en oxygène. Un curage des bassins tous les 10 ans est nécessaire du fait de la production des boues [45].

Tableau II.3: Avantages et inconvénients du lagunage naturel et lagunage aéré [49].

Lagunage	Avantages	Inconvénients
Lagunage naturel	-Un apport d'énergie n'est pas nécessaire si le dénivelé est favorable. -L'exploitation reste légère mais, si le curage global n'est pas réalisé à temps, les performances de la lagune chutent très sensiblement. -Elimine une grande partie des nutriments : phosphore et azote (en été). -Faibles rejets et bonne élimination des germes pathogènes en été. -S'adapte bien aux fortes variations de charge hydraulique. -Pas de construction 'en dur', génie civil simple. - Bonne intégration paysagère bon outil pour l'initiation à la nature. - Absence de nuisance sonore. - Les boues de curage sont bien stabilisées sauf celles présentes en tête du premier bassin.	-Coût d'investissement dépendent de la nature du sous-sol. Dans un terrain sableux ou instable, il est préférable de ne pas se tourner vers ce type de lagune. -Performances moindres que procédés intensifs sur la matière organique. -Qualité du rejet variable selon les saisons. -La maîtrise de biologique et des processus épuratoires reste limité.

CHAPITRE II PROCEDES D'EPURATION DESEAUX USEES

Lagunage aéré	- Tolérant aux variantes de charges hydrauliques importantes. - Tolérant aux effluents très concentrés. - Tolérant aux effluents déséquilibrés en nutriments. - Boues stabilisées.	- Rejet d'une qualité moyenne sur tous les paramètres. - Présence de matériels électromécaniques nécessitent l'entretien par un agent spécialisé. - Forte consommation énergétique.
------------------	--	---

e) Le bassin à microphyte

Dans ce bassin, on y trouve les bactéries et les algues microscopiques. La minéralisation de la matière organique soluble en suspension est assurée par les bactéries qui la transforment en eau, gaz carbonique, nitrates et phosphates. Ces composés vont être assimilés par les algues qui grâce à la lumière du soleil vont effectuer la photosynthèse pour assurer leur métabolisme et libérer de l'oxygène pour la vie des bactéries. Cette photosynthèse aboutit à la production de biomasse dans laquelle sont captés les composés organiques et les minéraux qui sont en excès dans l'eau. L'eau est ainsi épurée. Les eaux restent environ 50 jours dans ce bassin. Pour que le bassin soit efficace, il faut que les surfaces soient larges et peu profondes[52].

f) Le bassin à macrophyte

Il est caractérisé par la présence de plantes visibles à l'œil nu. Il est constitué de plantes immergées ou émergées, enracinées ou non telles que les roseaux, les massettes, les joncs, les scirpes, les laïches, les lentilles d'eau ou les jacinthes d'eau... Les bassins sont alors généralement de plus faible surface et moins profond (0,6 à 0,8 m) où la charge polluante est plus faible [50].

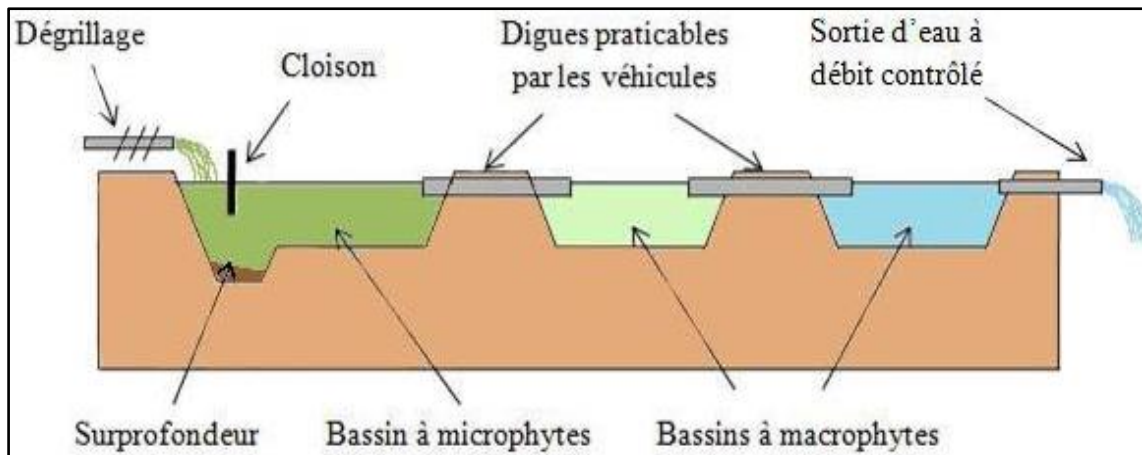


Figure II.10 schéma du lagunage à macrophytes et microphytes[51]

II.3.4 Traitement tertiaire

Les traitements tertiaires permettent donc d'éliminer les substances non voulues pour répondre à un objectif de qualité prédéfini. Par exemple, lors d'une réutilisation en irrigation maraîchère (production de fruits et légumes sans traitement thermique industriel) il faut éliminer en priorité les pathogènes et garder des éléments nutritifs, alors que lors d'une réutilisation en milieu urbain ou pour une recharge de nappe, l'azote et le phosphore doivent être éliminés afin d'éviter tout risque d'eutrophisation. Dans la plupart des cas, la qualité d'eau requise pour une réutilisation des eaux usées traitées[50].

A l'issue des procédés décrits précédemment, les eaux sont normalement rejetées dans le milieu naturel. Dans le cadre d'une réutilisation des eaux usées épurées (REUE), les eaux usées nécessitent des traitements supplémentaires, essentiellement pour éliminer les microorganismes qui pourraient poser des problèmes sanitaires. Ce ne sont pas des traitements d'épuration « classiques » (mis à part le lagunage) ; par contre ils sont fréquemment utilisés dans les usines de production d'eau potable.

Les traitements tertiaires comprennent les procédés destinés à enlever les matières résiduelles non extraites lors des traitements précédents. Les principaux traitements tertiaires sont la déphosphatation chimique, la filtration et la désinfection [26].

II.3.4.1. Traitement bactériologique par rayonnement UV

La désinfection aux ultraviolets tend à se développer de façon plus intense car elle présente un certain nombre d'avantages comme des temps de contacts très courts, pas d'utilisation de produits chimiques, une bonne efficacité sur les bactéries et sur les virus. Le principe

CHAPITRE II PROCEDES D'EPURATION DESEAUX USEES

d'action des UV repose sur le fait que les rayons ultraviolets sont des ondes électromagnétiques qui correspondent à une gamme de longueur d'onde comprise entre 100 et 400 nm. L'absorption de ces rayons par les micro-organismes provoque une modification de leur ADN qui bloque toute réplication du matériel génétique et engendre leur mort. Il existe des lampes basses pression qui émettent des UV sur la longueur d'onde de 254 nm. Elles ont un rendement énergétique optimal (27 à 32 %), mais sont mal adaptées aux gros débits (grand nombre de lampes, nettoyage manuel...) ou à une dégradation de la qualité de l'eau brute [8].

II.3.4.2. Traitement par voie physico-chimique

Le traitement tertiaire inclut un ou plusieurs des processus suivants :

- Désinfection par le chlore ou l'ozone (pour éliminer les germes pathogènes).
- Neutralisation des métaux en solution dans l'eau : en faisant varier le pH de l'eau dans certaines plages, on obtient une décantation de ces polluants [53].

II.3.4.3. Traitement des odeurs

Les eaux usées, chargées en matières organiques particulières et dissoutes, en composés azotés et phosphorés, peuvent dégager des odeurs désagréables suivant un processus biologique bien connu qui se déclenche en milieu réducteur. Par ailleurs, certains rejets industriels contiennent des composés très volatils utilisés dans les procédés de fabrication comme des sulfures, des aldéhydes, des alcools ou encore de l'ammoniaque. Les principaux composés odorants rencontrés dans les stations d'épuration font partie essentiellement des familles des produits soufrés et azotés, ainsi que des composés organiques tels les acides gras volatils [51].

II.4. Conclusion

Les eaux usées sont toutes les eaux qui sont de nature à contaminer les milieux dans lesquelles elles seront déversées. C'est pourquoi, dans un souci de respect de ces différents milieux, des traitements sont réalisés sur ces effluents (collectés par le réseau d'assainissement). Ces derniers sont débarrassés de leurs plus grands déchets, au cours des prétraitements, jusqu'aux infimes polluants, au cours des traitements tertiaires. Les

CHAPITRE II PROCEDES D'EPURATION DESEAUX USEES

traitements secondaires biologiques, boues activées, lagunage naturel et aéré sont les traitements les plus fréquemment utilisés en Algérie.

Le recours aux traitements tertiaires reste minoritaire et réservé aux traitements poussés des effluents, du fait qu'il présente de nombreux inconvénient, à savoir :

- ✓ Des coûts d'investissement importants ;
- ✓ Les ultraviolets (UV) ne sont applicables que pour de faibles quantités d'eau ;
- ✓ La sur chloration peut s'avérer cancérigène.

Enfin, le lagunage naturel est un mode épuratoire écologique, rustique et peu onéreux du fait de son fonctionnement non mécaniser, qui donne des résultats satisfaisants et qui s'avère adapter pour la réutilisation des eaux épurées [54].

CHAPITRE III :
L'OPTIMISATION TECHNIQUE ET
ENERGETIQUE DES
STATIONS D'EPURATION

III.1. Introduction

L'effort consenti par les collectivités pour répondre aux exigences internationales s'est traduit par la construction, la réhabilitation, l'extension de très nombreuses stations d'épuration au cours des 20 dernières années. Ces efforts de rajeunissement du parc et de mise en œuvre de technologies plus performantes permettent une meilleure protection des milieux récepteurs et une meilleure acceptation sociale de ces installations en zone urbaine. Ces stations d'épuration sont souvent intégrées dans un tissu urbain, très sensible aux nuisances olfactives et sonores. Ces contraintes nouvelles génèrent des besoins énergétiques croissants avec la mise en place de solutions techniques efficaces mais plus coûteuses en exploitation (désodorisation, couverture des bassins...).

Ces nouvelles stations d'épuration sont en général largement dimensionnées par rapport aux évolutions démographiques pressenties, alors que globalement les charges reçues et traitées sont bien inférieures aux charges nominales, sur des périodes couvrantes souvent plusieurs années.

En contrepartie, la consommation énergétique des stations d'épuration croît régulièrement et s'est amplifiée ces deux dernières années, malgré les innovations en matière de réduction de la consommation des équipements électriques (pompes, centrifugeuses...) et malgré la mise en service de nouveaux systèmes de régulation ou d'automatisation.

Le présent travail s'adresse à tous les acteurs décisionnels (depuis la maîtrise d'ouvrage jusqu'à l'exploitation) qui dans un contexte de crise souhaitent maîtriser les besoins énergétiques de leur station d'épuration dans la durée.

La méthode retenue est fondée sur une analyse globale des données recueillies dans le cadre de l'autosurveillance d'un échantillon de plus de 600 stations d'épuration. L'objectif recherché étant de trouver le meilleur compromis entre efficacité épuratoire et efficacité énergétique.

À partir du constat réalisé, des recommandations sont proposées :

- Pour une conception répondant à l'évolution des charges à traiter ;
- Pour un fonctionnement des stations d'épuration alliant performances techniques et énergétiques.

III.2. Évolution des charges polluantes à traiter

Il est bien évident que la charge polluante journalière traitée par une station d'épuration varie au cours du temps, en générale on s'approche du modèle indiqué dans la figure III.1.

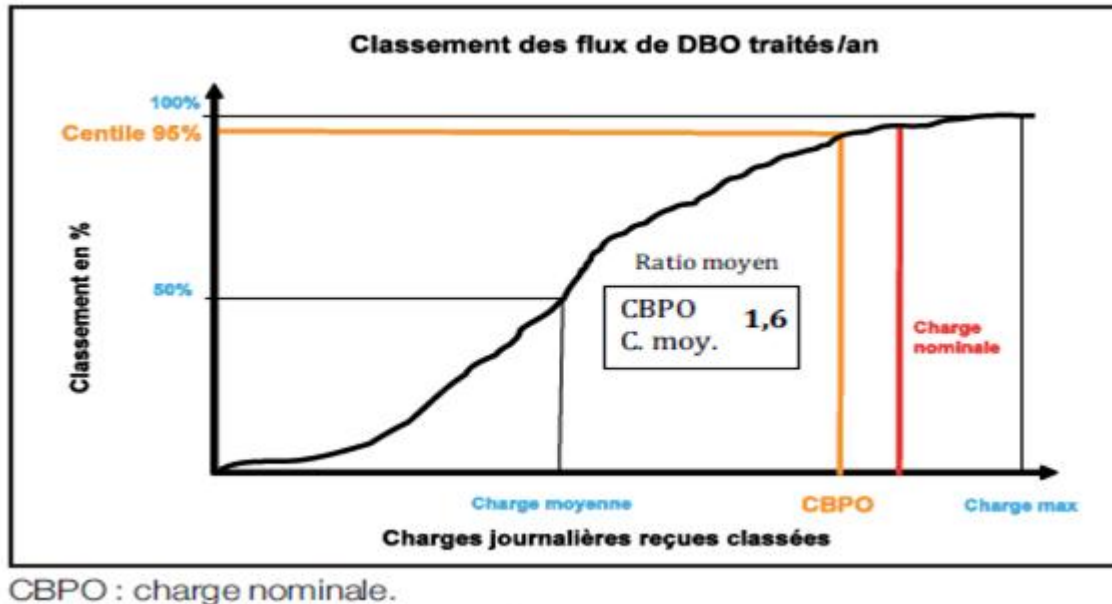


Figure III.2: fréquences cumulées en fonction de la demande biochimique en oxygène (DBO) reçue pour une station donnée

Cette courbe illustre les fréquences cumulées en fonction des charges polluantes journalières reçues.

Dans la pratique, le ratio entre la charge moyenne et la valeur du centile 95 est proche de 1,6. Ce constat est tout à fait sécuritaire et les stations d'épuration sont dimensionnées pour couvrir cette gamme de charge.

Néanmoins, on voit qu'une station ne travaille que très rarement au voisinage de sa charge nominale (ou CBPO), et que son mode de fonctionnement doit être adapté à la charge moyenne reçue sur une période donnée. Dans le cas contraire, la surconsommation énergétique est inévitable. Le cas extrême correspond à la station d'épuration dont la consommation électrique reste la même, quelles que soient les conditions appliquées (été, hiver, variations de charge ou pas).

Ces stations ne sont absolument pas optimisées du point de vue énergétique.

L'analyse des données étudiées montre que le taux de charge organique moyen (charge reçue/charge nominale) diminue régulièrement chaque année.

Ce ratio représente en fait le taux de remplissage d'une station d'épuration par rapport à sa capacité nominale. En 5 ans, ce ratio est passé de 53 à 47 % (figure III.2) accusant une baisse significative de plus de 6 points.

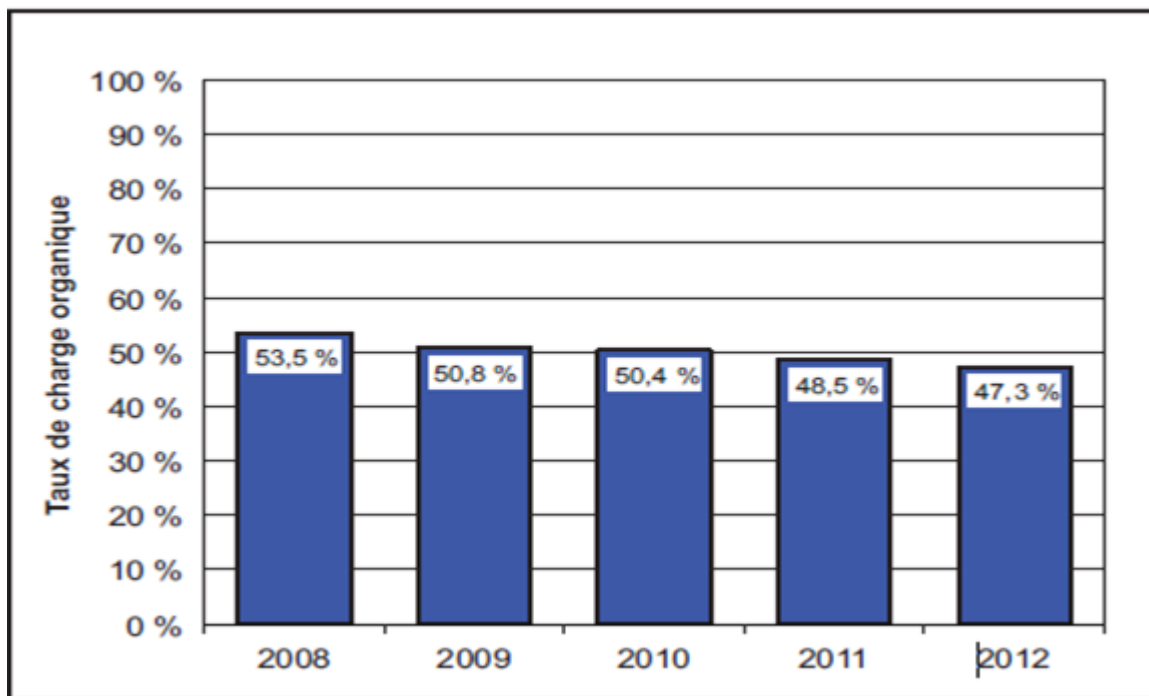


Figure III.3: Evolution annuelle du taux de remplissage des stations étudiées (moyenne DBO reçue/DBO nominale)

On constate par ailleurs que les stations d'épuration récentes sont nombreuses (40% du parc étudié a moins de 10 ans), et fonctionnent souvent à des valeurs proches ou inférieures à 30 % de leur charge nominale de dimensionnement. Cette réalité induit des conséquences négatives sur le fonctionnement des filières eau et boues, le plus souvent non adaptées pour traiter des charges aussi faibles. Ces conditions de sous-charge fortes et permanentes pénalisent un peu plus la consommation énergétique et les coûts d'exploitation ; elles ont aussi des conséquences techniques négatives sur des postes clés de la station d'épuration.

Les origines de cet état de sous charge des installations sont diverses :

- Évolution démographique en baisse ou inférieure aux prévisions ;
- Retard dans les branchements au réseau d'assainissement ;
- Surdimensionnement de certains ouvrages (prétraitements...) ;
- Variations saisonnières liées à l'activité économique (zones touristiques, par exemple).

Il va de soi que les dispositions à prendre pour faire face à un état de sous-charge devront tenir compte du caractère permanent ou transitoire de cette sous-charge.

III.3. Évolution de la consommation énergétique

Des stations d'épuration pour l'échantillon de stations d'épuration étudié, et les suivis de la consommation énergétique au cours des dernières années sont représentés dans la figure III.3.

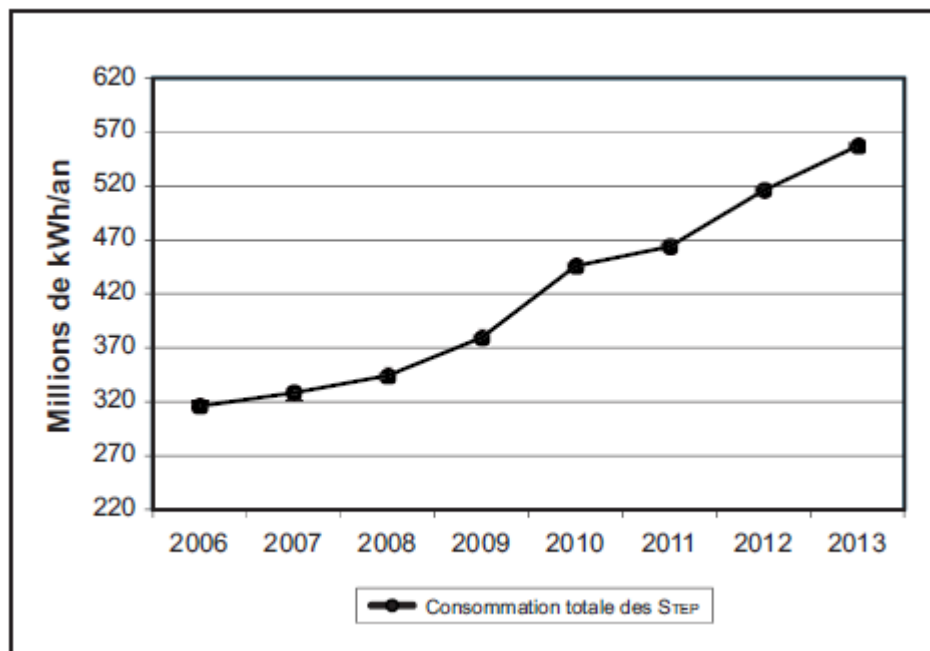


Figure III.4: Evolution de la consommation d'électricité annuelle des stations d'épuration (STEP) étudiées.

Une analyse rapide et sommaire de ces chiffres pourrait laisser penser que cette augmentation est logique, car plus la pollution à traiter augmente, plus la consommation électrique augmente de plus, les nouvelles stations sont plus performantes et plus complexes (désodorisation, ventilation, ateliers boues...).

Mais cette logique trouve ses limites au regard de la pollution traitée par les stations d'épuration. Sur le périmètre représentatif et stable des stations d'épuration étudiées (plus de 600), on observe qu'au cours des 3 dernières années écoulées, la charge totale de pollution entrante globale ne varie pas.

La conséquence immédiate se fait sentir sur le ratio énergétique global et moyen de l'ensemble du parc.

Fin 2012, le ratio dépasse désormais la barre symbolique des 3 kWh/kg de demande biochimique en oxygène (DBO) traitée, en augmentation de 11% entre 2011 et 2012.

La principale raison réside dans le fait que beaucoup de stations d'épuration sont récentes, largement dimensionnées et fonctionnent très largement en sous-charge pendant de très longues périodes.

Cet état de fait a des conséquences multiples souvent négatives tant sur le plan technique qu'économique.

III.4. Conséquences d'un fonctionnement prolongé en sous-charge importante

Les conséquences sont fort nombreuses et nous nous limiterons dans le cadre de cette présentation comme exemple des boues activées à quelques exemples concrets et courants touchant aussi bien la conception que l'exploitation.

Lors de l'élaboration d'un projet de station d'épuration, l'appel d'offres fixe les données de base du dimensionnement de la station d'épuration et les modèles de dimensionnement aujourd'hui disponibles conduisent à des volumes de bassin sensiblement les mêmes. L'agencement des différentes zones constituant l'ensemble du traitement varie en fonction des conditions locales et des constructeurs.

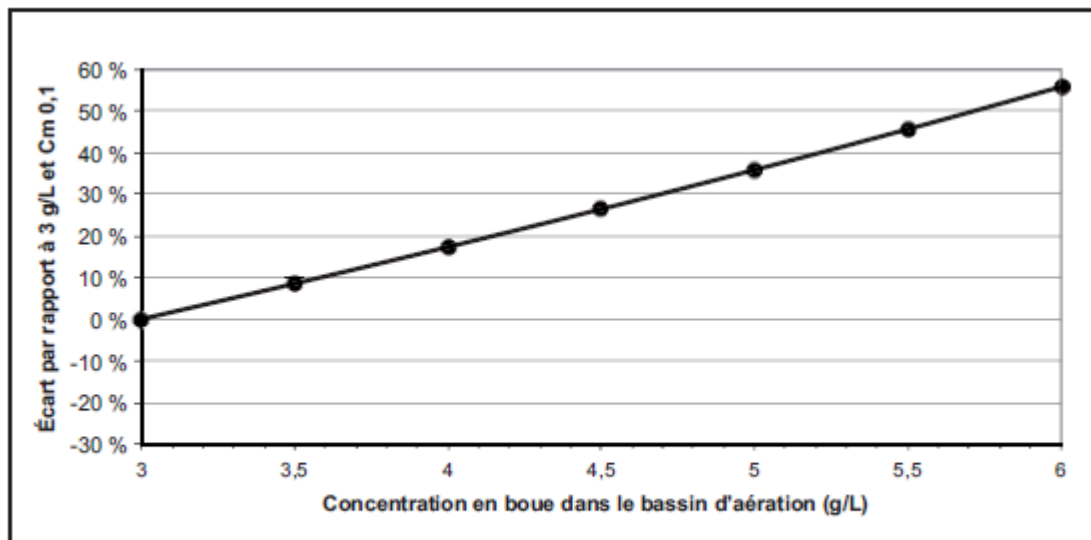
III.4.1. Fonctionnement d'une station sous-chargée

Un fonctionnement optimal de la boue activée implique de maintenir un poids de boue stable dans l'ensemble du système biologique, pour une charge massique de 0,1 kg de DBO/kg de MVS/jour. Ces données conduisent en général à un poids de boue dans les bassins de 4 à 5 g/L pour un taux de matières volatiles en suspension (MVS) courant de 75 %. Si le taux de remplissage de la station d'épuration est en étudemoyenne de 30%, cela signifie que le poids de boue à respecter doit être de l'ordre 1,5 g/L. Si cette règle n'est pas appliquée ou applicable pour cause d'un élément de conception ou d'exploitation défaillant (impossibilité d'évacuer les boues en hiver, par exemple), alors le gaspillage énergétique est inévitable ; ce qui est malheureusement fréquent.

III.4.2. Incidence sur l'aération

Il a été démontré à plusieurs reprises [GERMAIN *et al.*, 2007] que le transfert de l'oxygène dans la boue est négativement affecté par l'augmentation de la concentration en boue dans le bassin d'aération. De surcroît, une augmentation du poids de boue induit une

augmentation des besoins en oxygène liée à la respiration endogène des boues. Il en résulte un accroissement de la consommation électrique de l'aération des boues (figure III.4) [55].



Cm : charge massique en kg de demande biochimique (DBO)/kg de matières volatiles en suspension (MVS)/j.

Figure III.5: taux d'augmentation de la consommation électrique de l'aération en fonction de la concentration en boue dans le bassin d'aération (g/l)

Pour ce type de station d'épuration, l'aération représente le poste principal de consommation énergétique (de l'ordre de 60 %), et le non-respect de la consigne calée sur la charge moyenne reçue induit une augmentation d'environ 10 % de l'énergie consacrée à l'aération, pour chaque gramme de boue excédentaire.

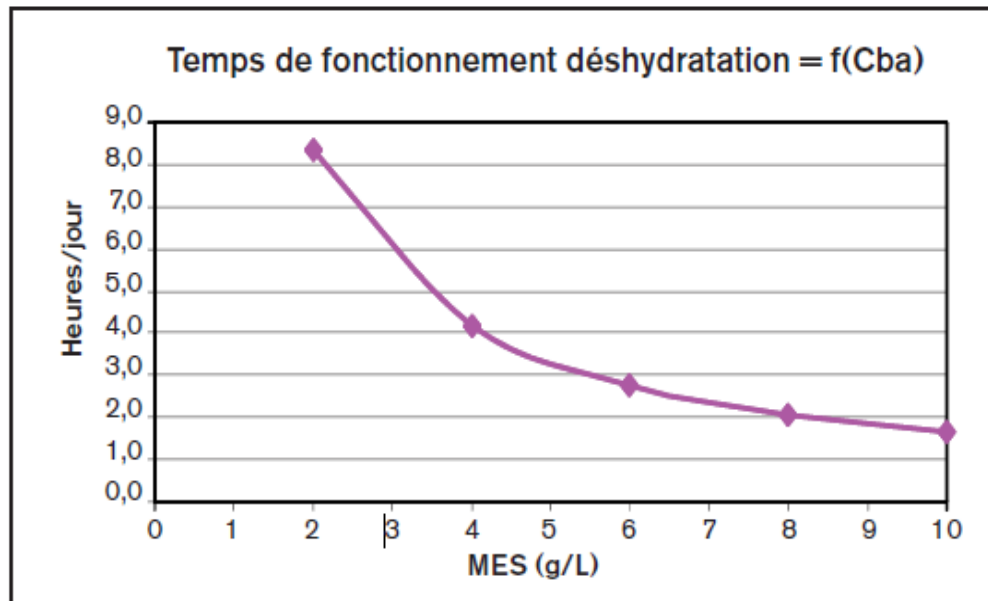
III.4.3. Incidence sur la déshydratation

Si l'on reprend l'exemple de la station chargée à 30% de sa capacité nominale, avec un nécessaire et suffisante concentration en boue dans le bassin de 1,5 g/L, conçue avec une seule file de traitement et sans équipement d'épaississement (ce qui est notamment le cas des unités de taille < 20 KEH), il devient impossible de la faire fonctionner correctement et sans surcoût.

La pratique montre que les bassins d'aération sont alors utilisés comme variable d'ajustement du poids de boue afin que l'unité de déshydratation puisse fonctionner correctement.

En effet, le temps de fonctionnement de l'atelier déshydratation diminue avec l'augmentation des matières en suspension (MES) en entrée machine (figure III.5—calé sur

les limites hydrauliques de la machine). La pratique en exploitation est de réduire les temps de fonctionnement machine, ce qui est légitime pour réduire les coûts.



Cba : concentration des boues du bassin d'aération.

Figure III.6: Temps de fonctionnement machine en fonction de la concentration en matières en suspension (MES) en entrée machine

III.4.4. Incidence sur la biologie et la clarification

Il est courant d'observer sur la station d'épuration en « surpoids de boue » des phénomènes de moussage liés à des développements de bactéries filamenteuses (Nocardioformes, Microthrix...) qui nécessitent des traitements particuliers et coûteux : chloration, évacuation des flottants, déshydratation plus difficile et coûteuse...

Tout excès de boues a une incidence négative sur le fonctionnement des clarificateurs avec des risques de pertes de boue plus ou moins graves en période de temps de pluie et donc une dégradation de la qualité du rejet.

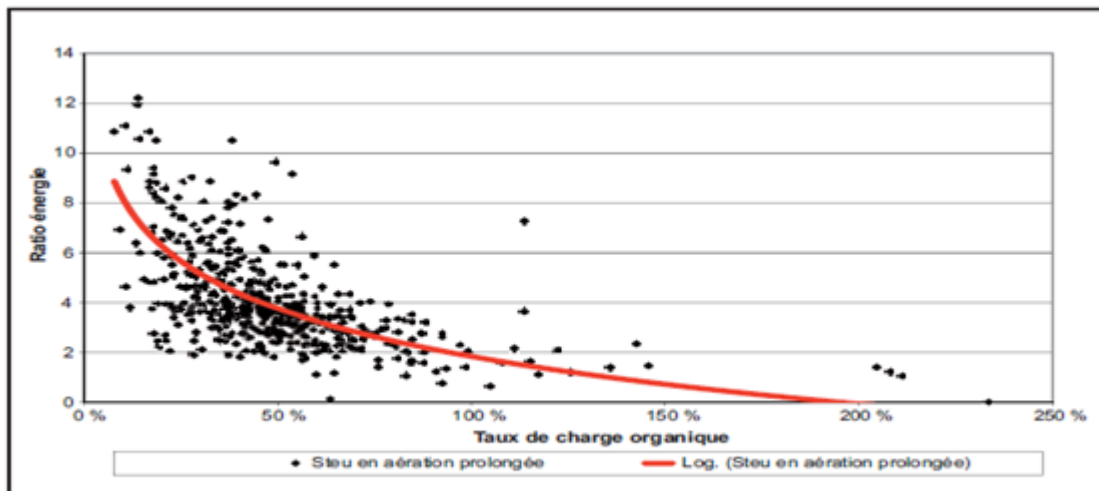
Les conséquences de la sous-charge sont donc nombreuses et la liste ci-dessus n'est pas exhaustive (coût des équipements...) [56].

III.4.5. Incidence du taux de charge appliqué sur l'efficacité énergétique d'une station d'épuration

Sur la base des seules boues activées en aération prolongée, le graphe de la figure III.6 illustre l'impact du taux de charge appliqué par rapport à l'efficacité énergétique d'une station d'épuration. La variabilité des situations explique la dispersion des points, néanmoins il est clair que le taux de remplissage de la station d'épuration influe directement sur l'efficacité énergétique. On retiendra le ratio spécifique de 4 kWh/kg DBO/j pour une station d'épuration ne recevant que 50 % de sa charge de dimensionnement. La figure III.6 confirme bien que plus la sous-charge n'est forte, plus l'efficacité énergétique de la station ne diminue. Comment faire face à la diminution pérenne du taux de remplissage de la station d'épuration ? Comment réduire les surcoûts générés par cet état de sous-charge tout en conservant une efficacité de haut niveau dans le respect de la réglementation en vigueur ?

L'expérience acquise dans l'exploitation des stations d'épuration permet de dresser une liste de bonnes pratiques/recommandations à appliquer :

- Dès la conception et à la réalisation d'un projet ;
- Pendant la phase d'exploitation courante et lors des renouvellements ou de travaux.



Steu : station de traitement des eaux usées; DBO : demande biochimique en oxygène.

Figure III.7: Ratio énergétique (kWh/kg DBO) versus taux de remplissage moyen annuel (DBO reçue/DBO nominale)

III.5. Bonnes pratiques pour la conception

La conception d'une station d'épuration est très dépendante du cahier des charges auquel le constructeur doit répondre. Si des éléments importants n'ont pas été pris en compte lors de son élaboration, il sera plus difficile et plus coûteux de les intégrer une fois la station construite.

Il existe même des cas de figure où un constructeur remarque des anomalies ou des oublis dans un cahier des charges, mais ne peut pas les intégrer dans son offre s'il veut rester compétitif et respecter le cahier des charges.

D'une manière générale, les spécifications liées au fonctionnement d'une installation en sous-charge notable ne sont pas explicitées lors de l'élaboration d'un projet.

Cette situation doit évoluer si l'on souhaite avoir à terme des usines qui puissent fonctionner avec la meilleure efficacité technique et énergétique [55].

En préambule, la détermination du bon débit de référence de la station d'épuration (base réglementaire) passe par une bonne connaissance du réseau et des déversements au droit des principaux déversoirs d'orage. La lutte contre les eaux claires parasites est impérative quand elles sont facilement décelables.

Au niveau de la station, la première recommandation concerne l'élaboration du cahier des charges qui doit intégrer la possibilité de fonctionner en sous-charge notable prolongée « permanente » (< 50 %). Ce point est encore plus d'actualité lors d'un renouvellement de contrat d'exploitation, car l'on sait pertinemment quel est l'état réel de fonctionnement de la station d'épuration.

En second lieu, la sous-charge de l'usine va de pair avec modularité de la conception et maillage des ouvrages pour faire face à toutes les évolutions possibles. Bien souvent cet aspect est mal traité ou incomplet. De ce point de vue, certaines filières de traitement se prêtent plus facilement à cette contrainte que d'autres [56].

Parmi les autres dispositions importantes, il convient de demander/exiger :

- L'isolement hydraulique de tous les ouvrages, notamment des bassins de tête (anaérobie, anoxie...) qui pourront être by-passés en cas de nécessité. Cela implique aussi que les dispositifs de vidange rapides soient positionnés aux bons endroits ;
- La mise en place d'une étape d'épaississement des boues avant leur déshydratation, cette étape du traitement étant de plus en plus « oubliée » ;

- La mise en place d'équipements avec variateurs, et à basse consommation d'énergie (recirculation notamment) ;
- La mise en place d'outils de régulation de l'air ;
- Des automates permettant la souplesse dans la gestion des temps de fonctionnement des équipements ;
- Des taux de renouvellement de l'air adaptables pour la ventilation des postes à désodoriser, ce qui nécessite là aussi des équipements avec variateurs, ou plusieurs équipements en parallèle ;
- Des consignes d'exploitation claires fournies par le constructeur pour fonctionner en sous-charge ;
- Des compteurs divisionnaires pour les postes principaux avec télé relève afin de pouvoir suivre leurs consommations spécifiques ;
- La mise en place impérative des équipements nécessaires pour préparer la biomasse à la montée en charge des stations touristiques en hiver (bio augmentation pour la nitrification, par exemple) ;
- L'archivage des données de la supervision permettant une exploitation historique des données.

III.6. Bonnes pratiques pour l'exploitation

L'exploitant d'une station d'épuration doit rechercher l'optimum technico-économique de l'unité dont il a la charge tout en respectant les obligations réglementaires qui lui sont assignées.

Lorsque la station est déjà en service depuis plusieurs années et que le constat de sous-charge a été identifié, on peut intervenir pour remédier aux anomalies, améliorer des dispositifs, lors de la rénovation des équipements ou en réalisant des travaux d'aménagements dans le cadre des contrats d'exploitation ou lors de leur renouvellement.

Les coûts afférents à ces travaux d'optimisation sont généralement couverts après quelques années d'exploitation, ce qui se vérifie à l'heure où la crise énergétique évite et renchérit sans cesse les dépenses de ce poste [57].

Sans vouloir rechercher l'exhaustivité, les recommandations principales se résument à :

- Adapter le nombre de files en service à la charge à traiter (quand la conception le permet) ;

- Adapter le nombre d'ouvrages en service à la charge à traiter, par exemple : by-pass de l'étape de traitement primaire (partiel ou total). En ce qui concerne ce point important et fréquent, le fonctionnement en sous-charge d'un décanteur primaire induit des performances excellentes sur les MES et la DBO, mais a pour conséquence, à l'aval, un appauvrissement en carbone à l'entrée de l'étape biologique qui va nécessiter une complémentation par une source de carbone extérieur pour assurer correctement la dénitrification (apport de méthanol nécessaire) ;
- Réduire le nombre de bassins en service (by-pass de la zone anoxique) ou diminution des hauteurs d'eau dans les bassins pour réduire les volumes réactionnels ;
- Conserver dans tous les cas la sécurité hydraulique, c'est-à-dire garder la totalité des ouvrages de décantation secondaire en service pour faire face au temps de pluie (maillage de ces ouvrages et recirculations associées impératifs) ;
- Travailler au taux de boue le plus bas possible dans les bassins d'aération pour minimiser la consommation électrique (2 g/L est souvent suffisant) ;
- Utiliser correctement la fonction épaissement (durée stockage < 48 h) ou rajouter un dispositif d'épaississement quand celui-ci a été « oublié » ;
- Moduler le fonctionnement des capacités des équipements les plus énergivores pour les postes aération, recirculation) par la mise en place de variateurs ;
- Remplacement des roues de pompes, voire de la pompe elle-même quand elle est « surdimensionnée » par rapport aux besoins réels de la sous-charge ;
- Réguler autant que faire se peut les apports en air et en réactifs (capteurs en ligne, automates...).

III.7. CONCLUSION

De par la fréquence de leur mise en œuvre, les mesures immédiates suivantes ressortent plus particulièrement de l'évaluation des neuf analyses énergétiques menées.

Les mesures permettant l'exploitation intermittente d'un entraînement électrique sont généralement utiles et facilement réalisables. L'efficacité énergétique des équipements à acquérir ou remplacer doit être prise en compte et minutieusement étudiée. Il convient en outre d'éviter le surdimensionnement d'installations, car des équipements fonctionnant à faible charge induisent souvent des pertes d'efficacité notables.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de cette étude est de faire une approche pour un system optimal des traitements des eaux usées et améliore des valeurs techniques et énergétique de ces stations.

Les stations d'épuration construites fonctionnent bien en deçà de leur capacité nominale, en baisse régulière avec l'arrivée de nouvelles stations d'épuration.

Dans le même temps, on voit un accroissement de la consommation électrique qui ne s'explique pas vraiment par une pollution traitée plus importante sur l'ensemble de ce parc.

Il va de soi que les nouvelles usines sont plus complexes et plus énergivores, mais cela n'explique pas tout.

Depuis l'élaboration du cahier des charges d'un projet, en passant par la conception et la réalisation de l'unité de traitement et jusqu'à l'exploitation, des efforts doivent être réalisés si l'on veut adapter les apports énergétiques aux besoins réels d'une station d'épuration en sous-charge.

Si rien n'est fait dans ces domaines, il faut s'attendre à voir les consommations énergétiques augmenter significativement dans les années prochaines.

Cette prise de conscience passe par la prise en compte de recommandations essentielles rappelées dans ce document, et qui pour la plupart relèvent des règles de l'art.

Les recommandations proposées concernent principalement les boues activées, rappelons notamment :

- Importance du maillage des ouvrages ;
- Adaptation du nombre de files de traitement ou d'ouvrages à la charge réelle à traiter ;
- Importance de l'étape d'épaississement quand il faut travailler au poids de boue le plus bas...

Gageons que la prise en compte des principales recommandations édictées permettra aux stations d'épuration sous-chargées sur de longues périodes de fournir les meilleures performances, au meilleur coût.

Durant la réalisation de ce travail, ce mémoire nous a permis d'approfondir nos connaissances théoriques et pratiques et de comprendre le fonctionnement d'une station de traitement des eaux usées avec les étapes nécessaires pour avoir un bon fonctionnement et résultat fiable.

Conclusion générale

Nous recommandons de faire d'autres essais pour mieux améliorer les stations de traitement des eaux usées et appliquer ces améliorations au niveau des stations en Algérie pour avoir plus de rendement et efficacité.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1]. **Daho AetBrek A**, lagunage aère en zone aride performance épuratoires cas de (région d'Ouargla), mémoire de master, Université d'Ouargla, 2013.
- [2]. **Solène M et David et Milena S**, Traitement des eaux usées, CERES-ERTI ; 24 rue Lhomond 75005 Paris, 2013.
- [3]. **Zeghoud M**, Etude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village de méghibra, mémoire de master, Université D'EL –OUED, 2014.
- [4]. **Djeddi H**, d'Utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines, Diplôme de Magistère en Ecologie et Environnement, 2007.
- [5]. **El alaoui R et Taoussi I**, L'impact du Chrome VI sur le traitement des eaux usées dans la station d'épuration de Marrakech, Eau et Environnement, licence en sciences et techniques, 2013.
- [6]. **ATTAB S**, Amélioration de la qualité microbiologique des eaux épurées par boues activées de la station d'épuration haoudberkaoui par l'utilisation d'un filtre à sable local, mémoire de magister, Université kasdiMerbah-Ouargla, 2013.
- [7]. **Badi H**, Influence de papyrus et de tamarix sur l'élimination du phosphate et de l'azote des eaux usées urbaines, mémoire de master, Université Mohamed Khider – Biskra, 2013.
- [8]. **BENMOUSSA S et GASMI I**, Etude de faisabilité de l'épuration des eaux usées par un lagunage naturel (Cas de la région de M'rara), Université de Echahid Hamma Lakhdar El Oued, 2015.
- [9]. **Catherine Bet Alain Het Jean-M**, Technologies d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées (REUT) Rapport final, convention de partenariat ONEMA-Cemagref Domaine : Ecotechnologies et pollutions Action : 28, Réutilisation des eaux traitées, 2008.
- [10]. **Yao Akpo, Evaluation** de la pollution des eaux usées domestiques collectées et traitées à la station d'épuration de Camberene (dakar), Université Cheikhanta Diop de Dakar, 2006.
- [11]. **Baumont S**, Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France, stagiaire ; École nationale supérieure agronomique de Toulouse (ENSAT),

Références bibliographiques

- [12].**Vandermeersch S**, Etude comparative de l'efficacité des traitements d'épuration des eaux usées pour l'élimination des micro-organismes pathogènes, master de l'environnement, Université libre de Bruxelles, 2006.
- [13].**Cauchi**, la réutilisation des eaux usées après épuration, techniques, sciences et méthodes, 81-118, 1996.
- [14].**Boulahal H** et **Smaili O** et **Zerrouki S**, Inventaire des normes existantes en matière de Réutilisation des eaux usées en pisciculture, Mémoire de master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2014.
- [15].**Abibsi N**, Réutilisation des eaux usées épurées par filtres plantes (phyto-épurations) pour l'irrigation des espaces verts application à un quartier de la ville de Biskra, mémoire de master, Université Mohamed Khider – Biskra, 2011.
- [16].**Bouchenak K** et **Racha M**, Comparaison qualitative entre filtration sur sable et filtration sur charbon actif l'application aux eaux usées épurées de la STEP de Ain El Houtz', Mémoire de master, Université de Tlemcen, 2015.
- [17]. **A. MIZI**, Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps gras région de BEJAIA et valorisation des déchets oléicoles, Thèse de doctorat, Université de Badji Mokhtar Annaba, 2006.
- [18].**Rodier.J**, L'analyse de l'eau naturelle, eaux résiduaires eaux de mer, 8ème Edition DUNOD technique, Paris, 2005.
- [19].**Rahou K**, Evaluation des performances des aérateurs de surface de la STEP d'El Kerma ORAN, mémoire de master, Université d'Oran, 2014.
- [20]. **GAÏD A**, Traitement des eaux résiduaires, Techniques de l'Ingénieur l'expertise technique et scientifique de référence, 2008.
- [21].**Baha S** et **Bensari F**, Epuration des eaux usées domestiques par boues activées étude de la performance de la STEP d'Ain el Houtz, mémoire de master, Université de Tlemcen, 2014.
- [22]. **Sandrine D**, Carbone Organique Total (COT), Cellule Mesures et Analyses – LGC Site UPS -, Laboratoire de génie chimique, Toulouse, 2012.
- [23]. <http://www.rappel.qc.ca/publications/informations-techniques/lac/qualite-eau.html>
- [24]. Journal Officiel de la République Algérienne, 2006.

Références bibliographiques

- [25]. **Allaoui K**, Modélisation hydraulique d'un bassin d'aération des stations d'épuration des eaux usées, mémoire de magister, Université Badji Mokhtar-Annaba, 2009.
- [26]. <http://etab.ac-poitiers.fr/coll-acamus-la-rochelle/spip.php?article603>
- [27]. **Mimeche L**, Etude de faisabilité de l'installation de station d'épuration des rejets urbains par les filtres plantés en milieu aride-Application à la région de Biskra, Thèse de Doctorat, université Mohamed Khider – Biskra, 2014.
- [28] : <http://tpe-jouaud-protain-ribac.e-monsite.com/pages/i-l-assainissement-de-l-eau.html>
- [29]. **Cherif L**, l'influence de la coagulation-floculation et décantation sur le prétraitement des eaux saumâtres, mémoire de master, université de Tlemcen, 2012.
- [30]. **DEGREMONT**, Mémento technique de l'eau, Ed. Technique et Documentation Lavoisier, 8ème édition, 1978.
- [31] : <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/book/export/html/1217>
- [32] **Resjeck.F**, Analyse des eaux, aspects réglementaires et techniques, Edition SCERENE, 2002.
- [33]. **Gros Claude. G**, L'eau : usage et polluant, Tome II. 4ème Edition : INRA, Paris, 1999.
- [34]. <http://slideplayer.fr/slide/1137648/>
- [35]. **PNUE / OMS**, Recommandation pour la surveillance sanitaire des zones côtières à usage récréatif et des zones conchylicoles, Bureau régional de l'OMS pour l'Europe, Copenhague, 1979.
- [36]. **Gerätebau GmbH Hanskampring**, La gamme complète des équipements GUNT pour les opérations unitaires de traitement de l'eau, étude et conseil ; service technique, mise en service et formation, Barsbüttel · Allemagne.
- [37]. <http://theses.ulaval.ca/archimede/fichiers/24963/apb.html>
- [38]. <http://www.siaepa-yerville.fr/l-assainissement-collectif/les-stations/le-fonctionnement-de-la-station-depuration-de-yerville-bourdainville/>
- [39]. **Fiche d'exploitation n°1**, Quelques paramètres caractéristiques des boues activées, 2006.
- [40]. **Agence de l'Eau Seine-Normandie**, Guides des procédés épuratoires intensifs proposés aux petites collectivités, Nanterre, 1999.

Références bibliographiques

- [41]. **Marc D**, méthodes analytiques pour influents / effluents de bioréacteurs ou destinations d'épuration, Laboratoire de Biotechnologie environnementale, EPFL-LBE, 113/132, 2013.
- [42]. **Document procédés extensifs d'épuration**, Office International de l'Eau, Année 2001.
- [43]. **Hatem D**, Traitement des eaux usées urbaines, les procédés biologiques d'épuration, Université Virtuelle de Tunis, 2008.
- [44]. www.epnac.irstea.fr
- [45]. **Fiche technique sur l'assainissement collectif n° 6**, Le Lagunage naturel, Conseilgénéral de Seine-et-Marne, Fiche AC / filière lagunage naturel.
- [46]. <http://www.hellopro.fr/images/produit-2/4/0/9/traitement-biologique-des-effluentspar-lagunage-77904.jpg>
- [47]. **Sophia B et Zineb T**, Dimensionnement de la station d'épuration de type lagunage de laville de Chemaia (Province d'El Youssoufia), Eau et Environnement, Office national del'eau potable direction de l'assainissement et de l'environnement Rabat, 2012.
- [48]. **Brice B, Guillaume L, Vincent D, Claire L, Julie M et Mélanie P**, Les traitementstertiaires : Pour quoi faire STEP5, 2015.
- [49]. <http://www.caue60.com>
- [50]. **Dossier épuration**, lagunage Fiche ressource n°1, l'épuration de l'eau, ASCO TP.
- [51]. **Allouche F et Lamri.DetZahf F**, Surveillance de la qualité bactériologique et physicochimique des eaux de contamination niveau des trois communes : Ali boussid, Saby, BenBadis, wilaya de Sidi Bel Abbes, mémoired'ingénieur d'état en biologie, Université de Sidi Bel Abbes, 1999.
- [52]. **TarmoulFateh**, Détermination de la pollution résiduelle d'une station d'épuration parl lagunage naturel, cas de la lagune de béni-messous DEUA, Institut des Sciences de la Mer etde l'Aménagement du Littoral, 2007.
- [55]. **CANLER J.P., CAUCHI A., DUCHÈNE P., FERNANDES P., LARIGAUDERIEA., LEBOUCHER G., PUJOL R.** (2002) : « L'épaississement des boues : les règles de bonne gestion ». TSM ; 4 : 27-37.
- [53]. **FNDAE** (1990) : Guide sur le foisonnement des boues. Guide technique n° 8.

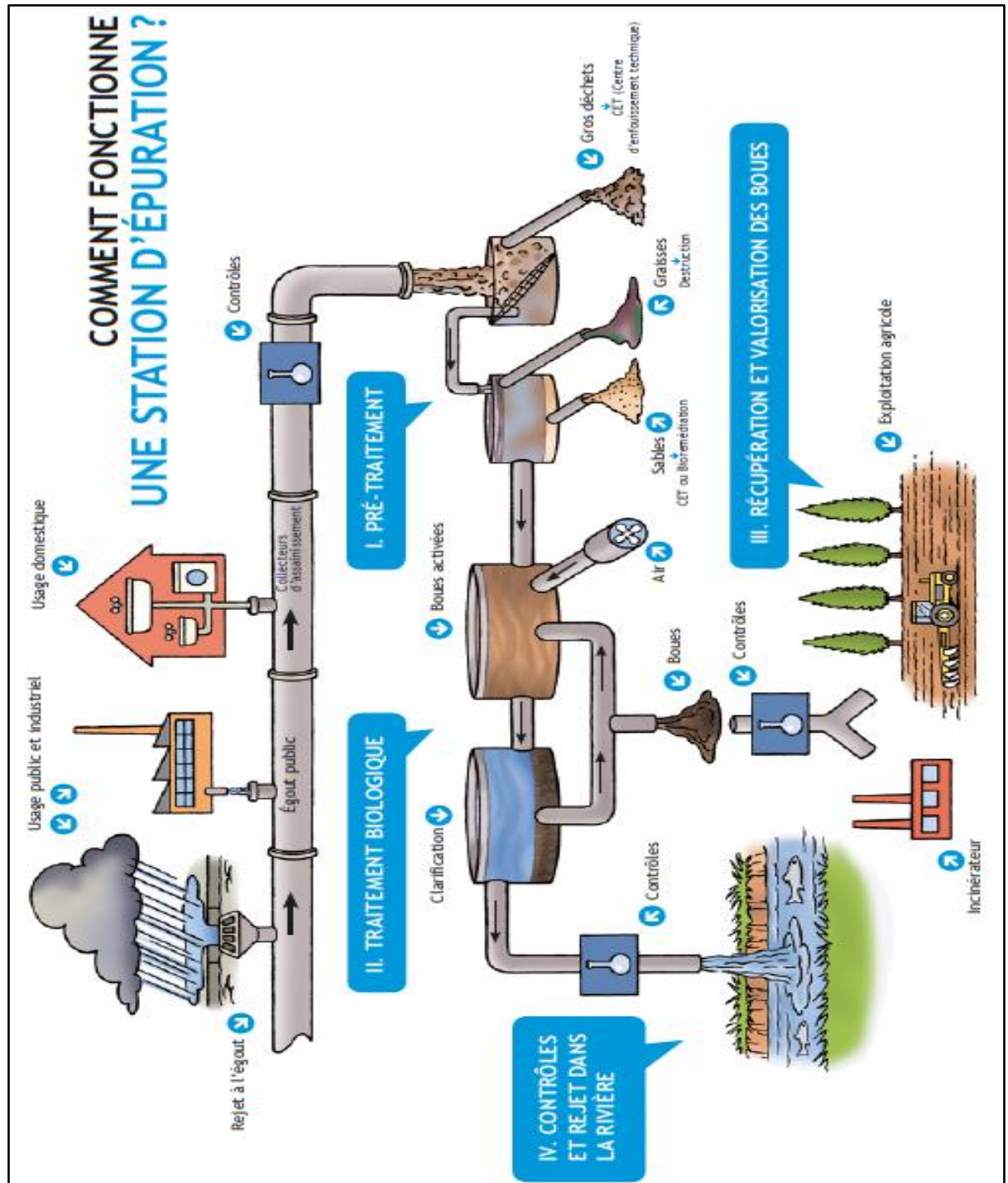
Références bibliographiques

[54]. GIS BIOSTEP (2009) : Augmentation de la quantité de biomasse autotrophe par ajout d'alcali. Téléchargeablesur :http://gisbiostep.irstea.fr/wp-content/uploads/2013/12/ajout_d_alcali.pdfGERMAIN E., NELLESB F., DREWS A., PEARCE P., KRAUME M., REID E., et al. (2007): « Biomass effects on oxygen transferring membrane bioreactors ». Water Research; 1038-1044.

Annexe

Annexe

Annexe 1 : Plan d'une station d'épuration



Annexe

Annexe 2 : Tableau des normes algérien des eaux usées rejeté.

Paramètre	Normes	Unités
Température	30	(C°)
PH	6,5-8,5	/
O2	5	Mg/l
DBO5	30	/
DCO	90	/
MES	30	/
Chrome	0.1	Mg/l
Zinc	2	/
Azote	50	/
Phosphates	2	/
Huiles et graisses	20	/
Détergents	1	/
Hydrocarbures	10	/

Annexe

ملخص :

معالجة مياه الصرف الصحي هي عملية إزالة الملوثات من مياه الصرف الصحي ، والتي تحتوي بشكل أساسي على مياه الصرف الصحي المنزلية بالإضافة إلى بعض مياه الصرف الصناعي. تُستخدم العمليات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية لإزالة الملوثات وإنتاج مياه الصرف المعالجة (أو النفايات السائلة المعالجة) الآمنة بدرجة كافية ليتم إطلاقها في البيئة. المنتج الثانوي لمعالجة مياه الصرف هو نفايات أو حمأة شبه صلبة تسمى حمأة الصرف الصحي. يجب أن تخضع الحمأة إلى معالجة إضافية قبل أن يمكن التخلص منها أو تصريفها في الأرض. قد يشار إلى معالجة مياه الصرف الصحي أيضًا بمعالجة مياه الصرف الصحي. ومع ذلك ، فإن الأخير مصطلح أوسع يمكن أن يشير أيضًا إلى مياه الصرف الصناعي. يشتمل الجزء الأول من تنقية مياه الصرف الصحي عادةً على حاجز لتصفية المواد الصلبة والمواد الضخمة ، والتي يتم جمعها بعد ذلك في مدافن النفايات والتخلص منها في مدافن النفايات. يتم أيضًا إزالة الشحوم وإزالة الشحوم قبل المعالجة الأولية لمياه الصرف الصحي.

Résumé:

Le traitement des eaux usées est le processus d'élimination des polluants des eaux usées, qui contiennent principalement des eaux usées domestiques en plus d'un peu d'eaux usées industrielles. Des processus physiques, chimiques et biologiques sont utilisés pour éliminer les polluants et produire des eaux usées traitées (ou des effluents traités) suffisamment sûres pour être rejetées dans l'environnement. Le sous-produit du traitement des eaux usées est un déchet semi-solide ou une boue, appelée boue d'épuration. Les boues doivent subir un traitement supplémentaire avant de pouvoir être éliminées ou rejetées dans le sol. Le traitement des eaux usées peut également être appelé traitement des eaux usées. Cependant, ce dernier est un terme plus large qui peut également désigner les eaux usées industrielles. La première partie de la purification des eaux usées comprend généralement une barrière pour filtrer les solides et les objets encombrants, qui sont ensuite collectés dans des décharges et éliminés dans des décharges. La graisse et la graisse sont également éliminées avant le traitement initial des eaux usées.

Abstract:

Wastewater treatment is the process of removing pollutants from wastewater, which mainly contains domestic wastewater in addition to some industrial wastewater. Physical, chemical and biological processes are used to remove pollutants and produce treated wastewater (or treated effluent) that is safe enough to be released into the environment. The by-product of wastewater treatment is a semi-solid waste or sludge, called sewage sludge. The sludge must undergo additional treatment before it can be disposed of or discharged into the ground. Wastewater treatment can also be referred to as wastewater treatment. However, the latter is a broader term that can also refer to industrial wastewater. The first part of wastewater purification usually includes a barrier to filter out solids and bulky items, which are then collected in landfills and disposed of in landfills. Grease and grease are also removed before the initial wastewater treatment.