

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDES

SPÉCIALITE : GENIE DE L'ENVIRONNEMENT



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie de l'environnement

THÈME

Les procédés de traitement des eaux usées et la valorisation des boues résiduaires

Soutenu le : 18 Octobre 2020

par : NABI Imane

Jury de soutenance :

Présidente :	N. OUAZENE	MCB	UMBB
Promoteur :	H. BALOUL	MCB	UMBB
Co-promotrice :	F. BOUMECHHOUR	MCA	UMBB
Examineur :	M. AMITOUCHE	MCA	UMBB

Année universitaire 2019/2020

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Ma famille avec ma profonde gratitude et grand amour,

Mes très chers parents, pour lesquels j'exprime ma sincère reconnaissance pour Leur soutien moral et leurs encouragements tout au long de mes études même dans Les moments difficiles, ils ont toujours été présents lorsque j'ai eu besoin d'eux, Que dieu les protège, je leur serai éternellement reconnaissante,

Mes très chers frères

Sans oublier mes très chers amis(es) et tous les collègues de la section Master

Option: génie de l'environnement

Et à tous ceux que j'ai oubliés

Et à tous ceux que j'aime

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Allah tout puissant pour nous avoir donné le privilège d'étudier et de suivre le chemin de la science et pour sa bénédiction.

Je tiens à remercier monsieur BALOUL Hakim et madame BOUMECHHOUR Fatima qui ont encadré ce travail, notamment pour la confiance et l'indépendance qu'ils m'ont accordé.

Je remercie les membres du jury pour avoir accepté de juger notre travail.

Ma reconnaissance ira aussi à ma chère famille et à mes amis pour leur amour et leur soutien dans les moments difficiles.

Sommaire

Résumé

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale..... 1

Chapitre I : Généralité sur les eaux usées

I.1. Définition des eaux usées 2

I.2. Origines des eaux usées 2

I.2.1. Origines domestique et urbaine 2

I.2.2. Origines industrielle 2

I.2.3. Origines agricole 3

I.2.4. Origines naturelle et l'eau de pluie..... 3

I.3. La composition des eaux usées..... 4

I.4. Définition de la pollution des eaux 4

I.5. Les différents types de pollution des eaux..... 4

I.5.1. Pollution physique..... 4

I.5.2. Pollution thermique 4

I.5.3. Pollution radioactive 4

I.5.4. Pollution chimique 5

I.5.5. Pollution microbiologique..... 5

I.6. Les paramètres de la pollution..... 6

I.6.1. Les paramètres organoleptiques 6

I.6.1.1. L'odeur 6

I.6.1.2. La couleur..... 6

I.6.2. Les paramètres physiques..... 6

I.6.2.1.	La température.....	6
I.6.2.2.	Les matières en suspension (MES)	6
I.6.2.3.	Le débit.....	7
I.6.2.4.	La turbidité	7
I.6.3.	Les paramètres chimiques	7
I.6.3.1.	Le potentiel d'hydrogène (pH).....	7
I.6.3.2.	L'oxygène dissous.....	7
I.6.3.3.	La demande biochimique en oxygène pendant 5 jours (DBO5)	7
I.6.3.4.	La demande chimique en oxygène (DCO).....	8
I.6.3.5.	La biodégradabilité.....	8
I.6.3.6.	La conductivité électrique	8
I.6.3.7.	Matières Azotées	9
I.6.3.8.	Le phosphore	10
I.6.4.	Paramètres microbiologiques	10
I.6.4.1	Protozoaires.....	10
I.6.4.2	Helminthes	10
I.6.4.3	Virus	11
I.6.4.4	Les bactéries.....	11
I.7.	Les déversements d'eaux usées dans le milieu naturel.....	11
I.8.	Normes de rejet.....	12
I.8.1.	Normes internationales.....	12
I.8.1.	Les normes algériennes de rejets d'effluents	13

Chapitre II : Les Procédés du traitement des eaux usées

II.1.	Historique sur l'épuration des eaux usées	15
II.2.	Nécessité de l'épuration d'eau usée.....	16

II.3.	Les systèmes d'assainissement.....	16
II.3.1.	Le système unitaire	16
II.3.2.	Le système séparatif.....	16
II.4.	Traitement des eaux usées	17
II.4.1.	Objectif du traitement des eaux usées.....	17
II.5.	Principaux procédés d'épuration.....	17
II.5.1.	Les procédés Physiques	17
II.5.2.	Les procédés physique et chimique	18
II.5.3.	Les procédés Biologiques	18
II.6.	Les différentes étapes de traitement dans une station d'épuration des eaux usées	18
II.6.1.	Le Prétraitement.....	19
II.6.1.1.	Le dégrillage	20
II.6.1.2.	Le tamisage.....	20
II.6.1.3.	Le dessablage.....	21
II.6.1.4.	Le déshuilage – dégraissage	21
II.6.2.	Les traitements primaires	22
II.6.2.1.	La décantation.....	22
II.6.2.2.	La coagulation- floculation.....	23
II.6.2.2.1.	Les particules colloïdales.....	23
II.6.2.2.2.	Coagulation.....	23
II.6.2.2.3.	Floculation	24
II.6.3.	Le traitement secondaire	25
II.6.3.1.	Traitement biologique.....	25
II.6.3.2.	Traitement par voie biologiques	25
II.6.3.3.	Mode de traitement	26
II.6.3.3.1.	Procèdes extensifs.....	26

II.6.3.3.2. Procèdes intensifs	30
II.6.4. Traitements tertiaires.....	36
II.7. Valorisation et réutilisation des eaux usées.....	36
II.7.1. Définition	36
II.7.2. Domaines de la réutilisation des eaux usées	37
II.7.3. Avantages et inconvénients de la réutilisation.....	38
II.7.3.1. Avantages	38
II.7.3.2. Inconvénients.....	38

Chapitre III : Valorisation des boues résiduares

III.1. Les stations d'épuration et la production de boues	39
III.2. La définition des boues.....	39
III.3. La composition des boues résiduares	39
III.3.1. La matière organique	40
III.3.2. Les éléments fertilisants et d'amendements.....	40
III.3.3. Les éléments chimiques organiques et inorganiques	40
III.3.4. Les micro-organismes pathogènes	41
III.4. Les types des boues	41
III.4.1. Les boues primaires	41
III.4.2. Les boues secondaires (autrement appelées boues activées)	41
III.4.3. Les boues mixtes.....	41
III.4.4. Les boues physico-chimiques	42
III.5. Les caractéristiques des boues.....	42
III.5.1. Les caractéristiques chimiques des boues.....	42
III.5.1.1. Les matières en suspension.....	42

III.5.1.2.	Les matières volatiles sèches	42
III.5.1.3.	Les matières minérales	42
III.5.1.4.	La fraction volatile (en % des matières sèches)	42
III.5.1.5.	La siccité.....	43
III.5.1.6.	L'indice de boue	43
III.5.1.7.	Définition de volume de décantation.....	43
III.5.2.	Les caractéristiques biologiques des boues.....	43
III.5.2.1.	Les bactéries	43
III.5.2.2.	Les virus	44
III.5.2.3.	Les parasites	44
III.5.2.4.	Les micropolluants	44
III.5.3.	Les caractéristiques physiques des boues	44
III.5.3.1.	La viscosité	44
III.5.3.2.	La masse volumique	44
III.5.3.3.	Le pouvoir calorifique	45
III.5.3.4.	Le pouvoir calorifique inférieur	45
III.6.	Le traitement des boues	45
III.6.1.	Définition	45
III.6.2.	Les objectifs du traitement des boues	45
III.6.3.	Filière de traitement des boues d'épuration urbaines.....	46
III.6.3.1.	L'épaississement.....	47
III.6.3.2.	La stabilisation.....	47
III.6.3.3.	Le conditionnement	47
III.6.3.4.	La déshydratation	48
III.7.	Les impacts des boues sur l'environnement	48
III.8.	La valorisation des boues	48

III.8.1. Amendement des sols	49
III.8.2. Récupération de produits	49
III.8.3. La décharge	50
III.8.4. Le rejet des boues en mer.....	50
III.8.5. Réinjection dans le sol	50
III.8.6. L'incinération.....	50
III.8.7. Utilisation agricole des boues	51
III.8.8. Le compostage	51
III.8.9. La méthanisation.....	51
III.8.10. Solutions alternatives	52
Conclusion générale	53
Références bibliographiques	54

Annexes

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو البحث في عمليات معالجة مياه الصرف الصحي وإمكانيات استعادة الحمأة المتبقية من محطات معالجة مياه الصرف الصحي.

الكلمات المفتاحية: عمليات معالجة مياه الصرف ، استعادة الحمأة المتبقية، محطات معالجة مياه الصرف الصحي.

Résumé

Le présent travail a pour but principale de rechercher les procédés de traitement des eaux usées et les possibilités de valorisation des boues résiduelles des stations d'épuration des eaux usées.

Mots clés : Les procédés des traitements des eaux usées, valorisation des boues résiduelles, stations d'épuration (STEP).

Abstract

The main purpose of this work is to research wastewater treatment processes and the possibilities for upgrading residual sludge from wastewater treatment plants.

Keywords: Wastewater treatment processes, recovery of residual sludge, purification stations (STEP).

Liste des tableaux

Tableau I. 1 : La nature de produits polluants et leurs origines [5].....	5
Tableau I. 2 : La relation entre la conductivité et la minéralisation.....	9
Tableau I. 3 : Normes de réutilisation des eaux usées épurées [20].....	12
Tableau I. 4 : Les normes de rejet des eaux usées en vigueur en Algérie sont [21]:	13
Tableau II. 1 : Les avantages et les inconvénients d'un traitement des eaux usées par le lit bactérien [32].....	32
Tableau II. 2 : Les avantages et les inconvénients d'un traitement des eaux usées par les disques biologiques [32].....	34
Tableau III. 1 : Les opérations de traitements des boues [7].....	46

Liste des figures

Figure II. 1 : Schéma des différentes étapes d'épuration des eaux usées.....	19
Figure II. 2 : Schéma d'un traitement préliminaire d'une station d'épuration.....	19
Figure II. 3 :Schéma d'un dégrilleur.	20
Figure II. 4 : Schéma d'un Tamisage.....	20
Figure II. 5 :Schéma de principe fonctionnement d'un dessableur /déshuileur-dégraisseur...	21
Figure II. 6 :Schéma d'un décanteur.	22
Figure II. 7 :Schéma d'un procédé de coagulation- floculation.	25
Figure II. 8 :Schéma d'un étang anaérobie [30].....	27
Figure II. 9 :Schéma d'un étang facultatif [30].....	28
Figure II. 10 :Schéma de principe du bio film [31].....	31
Figure II. 11 :Traitement des eaux usées par lits bactériens.	32
Figure II. 12 :Schéma d'un disque biologique [31].....	33
Figure II. 13 : L'immersion-émersion dans les biodisques.....	34
Figure II. 14 :Le traitement des eaux usées par le disque biologique.	34
Figure II. 15 :Schéma de principe d'une installation à boues actives.	35
Figure II. 16 : Réutilisation des eaux usées épurées dans le cycle d'assainissement [35].	37
Figure III. 1 :Schéma de principe d'une filière de traitement des boues [38].	46

Introduction générale

Introduction générale

L'eau consommée ou utilisée par l'homme à l'échelle domestique ou industrielle génère inévitablement des déchets. Ces eaux usées sont recueillies par les égouts et dirigées vers les stations d'épuration afin d'être purifiées avant leur réintroduction dans le milieu naturel. Leur traitement dans les stations permet de séparer une eau épurée d'un résidu secondaire (les boues).

Une station d'épuration existe pour protéger le milieu environnant notamment la ressource hydrique. La protection de la ressource hydrique est le rôle principal de la station à savoir eau souterraine, eau de surface, eau de baignade (zone côtière). Les rôles secondaires restent bien entendu la réutilisation des eaux épurées et la valorisation des boues produites.

Les caractéristiques d'une station d'épuration et le degré de traitement doivent être tels que les exigences des diverses utilisations ou activités (alimentation en eau des hommes et des animaux, utilisation agricole ou industrielles, production piscicole, navigation, baignades et autres activités sportives).

Les procédés de traitement des boues existants au niveau des stations d'épuration dépendent de l'origine et de la nature des boues produites par ces stations.

Notre travail consiste à rechercher les procédés des traitements des eaux usées et les possibilités de valorisation des boues résiduelles des stations d'épuration des eaux usées.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres : Le premier chapitre est un aperçu de l'eau usée.

Dans le deuxième chapitre est dédié une présentation des divers procédés des traitements des eaux usées et les domaines de leur réutilisation.

Sont décrites dans le troisième chapitre le traitement des boues résiduelles des stations d'épuration des eaux usées et la possibilité de leur valorisation.

Ce travail se termine par une conclusion.

Chapitre I :

Généralités sur les

eaux usées

Chapitre I : Généralité sur les eaux usées

I.1. Définition des eaux usées

Une eau usée, appelée encore eau résiduaire ou effluent. La pollution des eaux dans son sens le plus large est défini comme « Tout changement défavorable des caractéristiques naturelles (biologiques ou physico-chimiques) dont les causes sont directement ou indirectement en relation avec les activités humaines » [1].

L'aspect des eaux résiduaires fraîches est celui d'un liquide brun gris avec une odeur typique, mais faible. Durant leur transport, ces eaux se modifient d'autant plus vite que la température est élevée ; elles deviennent noires et dégagent une odeur d'œufs pourris, signe de la présence d'hydrogène sulfureux (H_2S), dangereux pour les égoutiers et corrosifs pour le béton et les aciers des égouts. Environ un tiers des matières contenues est en suspension, le reste est en solution [1].

I.2. Origines des eaux usées

Les ressources en eau au niveau des stations d'épuration proviennent de diverses sources, notamment les formes relatives aux activités humaines

I.2.1. Origines domestique et urbaine

Les eaux usées urbaines sont rejetées par les installations collectives (hôpitaux, écoles, commerces,...) et comportent les eaux ménagères (détergents, graisses, ...) et les eaux vannes (eaux sanitaires : matière organique et azotée, germes et matières fécales, ...). Les eaux résiduaires urbaines (ERU) peuvent être considérées comme la plus importante industrie en termes de masse de matériaux bruts à traiter [2].

I.2.2. Origines industrielle

Sont les rejets des usines, aussi les activités artisanales ou commerciales : blanchisserie, restaurant, laboratoire d'analyses médicales, etc. Les rejets industriels peuvent donc suivre trois voies d'assainissement :

- 1- Soit ils sont directement rejetés dans le réseau domestique.
- 2- Soit ils sont prétraités puis rejetés dans le réseau domestique.
- 3- Soit ils sont entièrement traités sur place et rejetés dans le milieu naturel

[3].

I.2.3. Origines agricole

Ce type de pollution s'intensifie depuis que l'agriculture est entrée dans un stade d'industrialisation. Les pollutions d'origine agricole englobent à la fois celles qui ont trait aux cultures (pesticides et engrais) et à l'élevage (lisiers et purins).

Néanmoins, le problème de la pollution agricole est un peu différent, dans la mesure où cette source de pollution n'arrive qu'indirectement à la station. C'est le cas en particulier des engrais et pesticides qui passent d'abord à travers les milieux naturels (nappes phréatiques, rivières...). C'est aussi le cas des déchets solides issus des industries agroalimentaires et des concentrations des élevages qui entraînent un excédent de déjections animales (lisiers de porc, fientes des volailles...) par rapport à la capacité d'absorption des terres agricoles ; celles-ci, sous l'effet du ruissellement de l'eau et de l'infiltration dans le sous-sol, enrichissent les cours d'eau et les nappes souterraines en dérivés azotés et constituent aussi une source de pollution bactériologique [2].

I.2.4. Origines naturelle et l'eau de pluie

La teneur de l'eau en substances indésirables n'est pas toujours le fait de l'activité humaine. Certains phénomènes naturels peuvent y contribuer (contact de l'eau avec les gisements minéraux, ruissellement des eaux de pluie, irruptions volcaniques,...). En ce qui concerne l'eau de pluie, bien que longtemps considérée comme propre, l'eau d'origine pluviale est en fait relativement polluée. L'origine de cette pollution peut provenir des gaz ou solides en suspension rejetés dans l'atmosphère par les véhicules, les usines ou les centrales thermiques. Ces polluants (oxyde de carbone, dioxyde de soufre, poussière) sont envoyés vers le sol à la moindre averse. Lorsqu'elle ruisselle, l'eau de pluie a un second effet nocif: elle transporte les hydrocarbures, les papiers, les plastiques et les débris végétaux accumulés sur la terre et les toitures. De plus, cette pollution est déversée sur de courtes périodes et peut atteindre des valeurs très élevées ce qui provoquent un effet de choc sur le milieu biologique.

En ne parlant que de la pollution de l'eau, ce bilan est loin d'être exhaustif puisqu'il faudrait lui rajouter tous les déchets solides, constitués d'ordures ménagères, des déchets ménagers encombrants (mobilier, cuisinières, réfrigérateurs,...), des déchets automobiles (carcasses, batteries, huiles et pneus usagés), des déchets provenant de l'entretien des espaces verts urbains, des déchets d'assainissement des eaux usées (boues), des déchets inertes (les 2/3 des déchets solides industriels), et enfin des déchets produits ou recyclés dans l'agriculture et les industries agro-alimentaires [2].

I.3. La composition des eaux usées

La composition des eaux usées est extrêmement variable en fonction de leur origine (industrielle, domestique, agricole...etc.). Elle est variable et dépend essentiellement de l'activité humaine. Les eaux usées peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes. En fonction de leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et du danger sanitaire qu'elles représentent, les eaux usées urbaines contiennent également des matières solides, des substances dissoutes et des micro-organismes [4].

I.4. Définition de la pollution des eaux

On appelle pollution de l'eau toute modification chimique, physique ou biologique de la qualité de l'eau qui perturbe l'équilibre de cette eau induit d'importantes nuisances, mauvaise odeur, fermentation, inconfort divers, risque sanitaire [5].

I.5. Les différents types de pollution des eaux

Les causes de la pollution se sont étendues avec l'accroissement de la population et le développement accéléré des techniques industrielles modernes. Selon leur nature on distingue divers types de pollution :

I.5.1. Pollution physique

C'est une pollution due aux agents physiques (tout élément solide entraîné par l'eau), elle est d'origine domestique, essentiellement industrielle. [6] On peut la répartir en deux classes: thermique et radioactive.

I.5.2. Pollution thermique

Ce type de pollution est causé par les rejets d'eaux chaudes provenant des systèmes de refroidissement des centres thermiques ou nucléaires. Ces eaux chaudes provoquent la réduction de la teneur en oxygène dissous de l'eau et peut avoir des actions néfastes sur la faune en modifiant leur référendum thermique [7].

I.5.3. Pollution radioactive

C'est celle occasionnée par une éventuelle radioactivité artificielle des rejets qui trouvent leur source dans l'utilisation de l'énergie nucléaire sous toutes ces formes (installations et centrales d'exploitation de mine d'uranium, traitement des déchets radioactifs).

Les éléments radioactifs s'incorporent dans les molécules des organismes vivants. Plus on s'élève dans la chaîne alimentaire plus les organismes sont sensibles aux rayonnements [5].

I.5.4. Pollution chimique

Elle résulte des rejets chimiques, essentiellement d'origine industrielle. La pollution chimique des eaux est regroupée dans deux catégories :

- Organiques (hydrocarbures, pesticides, détergents, phénols...)
- Minérales (métaux lourds, cyanure, azote, phosphore...) [8].

I.5.5. Pollution microbiologique

Un grand nombre de micro-organismes peut proliférer dans l'eau, qui sert d'habitat naturel ou comme un simple moyen de transport pour ces micro-organismes. Les principaux organismes pathogènes qui se multiplient dans l'eau sont : [5]

- Les bactéries; - les champignons ; - les virus; - les parasites.

Tableau I.1 : La nature de produits polluants et leurs origines [5].

Polluant	Nature	Source
Physique	Rejets d'eau chaude	Centrale thermique
	Radio-isotopes	Installations nucléaires
Microbiologique	Bactéries	Effluent urbains et d'élevage
	Virus	
	Champignons	
Chimique	Nitrates, Phosphore	Agriculture
	Métaux lourds	Industrie Effluents domestique
	Pesticides	
	Hydrocarbures	Pisciculture Pluies acides
	Matières organiques	

I.6. Les paramètres de la pollution

La pollution est évaluée selon plusieurs paramètres:

I.6.1. Les paramètres organoleptiques

I.6.1.1. L'odeur

En effet, toute odeur dans l'eau est un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décompositions [9].

L'eau d'égout fraîche a une odeur fade qui n'est pas désagréable, par contre en état de fermentations, elle dégage une odeur nauséabonde [10].

I.6.1.2. La couleur

La couleur de l'eau d'égout d'origine domestique est normalement grisâtre ou de couleur noire indiquant une décomposition partielle. Les autres teintes indiquent un apport d'eau résiduaire industrielle.

I.6.2. Les paramètres physiques

I.6.2.1. La température

La température est un facteur écologique important du milieu. Elle permet de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température.

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la détermination du pH pour l'identification de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels. La température agit également comme un facteur physiologique agissant sur le métabolisme de croissance des micro-organismes vivant dans l'eau [11].

I.6.2.2. Les matières en suspension (MES)

Théoriquement, il s'agit des matières qui ne sont ni solubilisées, ni à l'état colloïdale.

Cependant, Les matières en suspension comportent des matières organiques et des matières minérales. Toutes les MES ne sont pas décantables, en particulier les colloïdes retenus par filtration. Les MES se subdivisent en matières volatiles (MVS) et en matières minérales (M.M). Les charges en matière solide apportées par les eaux brutes par habitant et par jour peuvent être estimées, en première approximation à :

- 60 à 80 g dont environ 70% de matière volatile (réseau séparatif).
- 70 à 90 g dont environ 65 % de matières volatiles sèches (réseau unitaire) [12].

I.6.2.3. Le débit

Le principal intérêt de la mesure du débit est de quantifier la pollution rejetée par l'intermédiaire de «l'habitant équivalent» qui exprime le volume d'eau usée moyen déversé par habitant et par jour. En effet, le débit constitue un élément de base pour la détermination de l'habitant équivalent.

I.6.2.4. La turbidité

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, Notamment colloïdales : argiles, limons, grains de silice, matières organiques, etc. L'appréciation de l'abondance de ces particules mesure son degré de turbidité [9].

I.6.3. Les paramètres chimiques

I.6.3.1. Le potentiel d'hydrogène (pH)

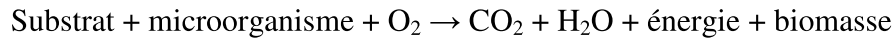
Le pH mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau [13].

I.6.3.2. L'oxygène dissous

L'oxygène, toujours présent dans l'eau, n'en est pas un élément constitutif, sa solubilité dépend de la température, de la pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité.

I.6.3.3. La demande biochimique en oxygène pendant 5 jours (DBO5)

La demande biochimique en oxygène est la quantité d'oxygène exprimée en milligramme par litre (mg/l) et consommée dans la condition de l'essai d'incubation à 20°C et à l'obscurité, pendant 5 jours pour assurer par voie biologique l'oxydation des matières organiques biodégradables présentes dans l'eau usée. Ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques grâce aux phénomènes d'oxydation par voie aérobie. Pour la mesure, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommée au bout de 5 jours. Elle se résume à la réaction chimique suivante :



I.6.3.4. La demande chimique en oxygène (DCO)

Elle est représentative de la quantité de matière organiques oxydables par voie chimique. En d'autres termes, elle correspond effectivement à la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder dans des conditions opératoires définies, les matières organiques présentes dans un échantillon donné.

L'oxydation est réalisée ici par un réactif ayant un pouvoir d'oxydation puissant (le bichromate de potassium à chaud en milieu acide). La quantité de réactif consommé pour l'oxydation des matières organiques présentes, rapportée en mg/l d'oxygène, correspond à la DCO. Généralement la valeur de la DCO est estimée comme suite:

- DCO = 1.5 à 2 fois DBO: pour les eaux urbaines.
- DCO = 1 à 10 fois DBO : pour tout l'ensemble des eaux résiduares.
- DCO > 2.5 fois DBO : pour les eaux usées industrielles [7].

I.6.3.5. La biodégradabilité

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent aqueux à être décomposé ou oxydé par les microorganismes qui interviennent dans les processus d'épurations biologique des eaux, la biodégradabilité est exprimée par un coefficient k :

$$K = \text{DCO} / \text{DBO}_5 ; \text{ Si :}$$

- $K < 1.5$ l'effluent est biodégradable.
- $1.5 < k < 2.5$ l'effluent est moyennement biodégradable.
- $K > 2.5$ l'effluent n'est pas biodégradable [14].

I.6.3.6. La conductivité électrique

La conductivité est la propriété que possède une eau à favoriser le passage d'un courant électrique. Elle fournit une indication précise sur la teneur en sels dissous (salinité de l'eau).

La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau.

Le tableau suivant donne la relation entre la conductivité et la minéralisation [7].

Tableau I.2 : la relation entre la conductivité et la minéralisation

Conductivité ($\mu\text{s/cm}$)	Appréciation
Conductivité $< 100 \mu\text{s/cm}$	Minéralisation très faible
$100 \mu\text{s/cm} < \text{Conductivité} < 200 \mu\text{s/cm}$	Minéralisation faible
$200 \mu\text{s/cm} < \text{Conductivité} < 333 \mu\text{s/cm}$	Minéralisation moyenne accentuée
$333 \mu\text{s/cm} < \text{Conductivité} < 666 \mu\text{s/cm}$	Minéralisation moyenne
$666 \mu\text{s/cm} < \text{Conductivité} < 1000 \mu\text{s/cm}$	Minéralisation importante
Conductivité $> 1000 \mu\text{s/cm}$	Minéralisation excessive

Il existe une relation linéaire entre la teneur en sels dissous d'une eau et sa conductivité.

La mesure de la conductivité est influencée par le pH de la pollution, la valence des ions et le degré d'ionisation [9].

I.6.3.7. Matières Azotées

L'azote rencontré dans les eaux usées peut avoir un caractère organique ou minéral, il se présente sous quatre formes:

L'azote organique se transforme en azote ammoniacal.

L'azote ammoniacal (N-NH_4^+) traduit un processus d'ammonification de la matière organique azotée. Les ions ammoniums subissent une nitrification par action

Des bactéries nitrifiantes.

L'azote nitreux (N-NO_2^-) provient d'une oxydation incomplète de l'azote ammoniacal ou par une réduction des nitrates par dénitrification. Les nitrites sont instables et sont rapidement transformés en nitrates.

L'azote nitrique (N-NO_3^-) est produit par nitrification de l'azote ammoniacal.

Il joue un rôle important dans le développement des algues et participe au phénomène d'eutrophisation.

En plus de la toxicité de la forme ammoniacale et nitrique l'azote intervient dans le phénomène de l'eutrophisation. Donc, sa caractérisation et sa quantification sont primordiales pour les rejets liquides dans le milieu naturel [15].

I.6.3.8. Le phosphore

Le phosphore peut exister dans les eaux en solution ou en suspension à l'état minéral ou organique. Les composés phosphorés qui, sans hydrolyse ou minéralisation répondent au test de spectrophotométrie sont considérés comme étant des ortho phosphates. L'hydrolyse en milieu acide fait apparaître le phosphore hydrolysable et la minéralisation le phosphore organique. Chaque fraction (phosphore en solution ou en suspension) peut être séparée analytiquement en ortho phosphates, phosphore hydrolysable et phosphore Organique. Suivant les cas, la teneur en phosphates peut être exprimée en mg/L de PO_4^{-3} ou de P_2O_5 [16].

I.6.4. Paramètres microbiologiques

Les eaux usées contiennent de nombreux germes (champignons, amibes, protozoaires, bactéries, virus). Dont certains sont pathogènes, la présence de coliformes et de streptocoques témoigne d'une contamination fécale de ces eaux qu'il est impératif de les épurer pour préserver le milieu naturel [17].

I.6.4.1 Protozoaires

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexe et plus gros que les bactéries. La plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes parasites [17].

Certains protozoaires adoptent au cours de leur cycle de vie une forme de résistance, appelée kyste. Cette forme peut résister généralement aux procédés des traitements des eaux usées [17].

I.6.4.2 Helminthes

Les helminthes sont des vers pluricellulaires. Tout comme les protozoaires, ce sont majoritairement des organismes parasites. Les œufs d'helminthes sont très résistants et peuvent notamment survivre plusieurs semaines voir plusieurs mois sur les sols ou les plantes cultivées [12].

La concentration en œufs d'helminthes dans les eaux usées est de l'ordre de 10 à 10^3 œufs par litre [12].

I.6.4.3 Virus

Ce sont des organismes infectieux de très petite taille (10 à 350 nm) qui se reproduisent en infectant un organisme hôte. Les virus ne sont pas naturellement présents dans l'intestin, contrairement aux bactéries. Ils sont présents soit intentionnellement (après une vaccination contre la poliomyélite par exemple), soit chez un individu infecté accidentellement.

L'infection se produit par ingestion de la majorité des cas, sauf pour le coronavirus où elle peut aussi avoir lieu par inhalation [17].

On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines comprises entre 10^3 et 10^4 particules par litre. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées sont difficiles, ce qui conduit vraisemblablement à une sous estimation de leur nombre réel [17].

I.6.4.4 Les bactéries

Les bactéries sont des organismes unicellulaire simple et sans noyau. Leur taille est comprise entre 0,1 et 10 μm . La quantité moyenne de bactéries dans les fèces est d'environ 10^{12} bactéries /g [18].

La majorité des bactéries ne sont pas pathogènes, cependant, chez un hôte infecté, le nombre de bactéries pathogènes peut être très important, les bactéries entériques sont adaptés aux conditions de vie dans l'intestin, c'est-à-dire une grande quantité de matières carboné et de nutriments, et une température relativement élevée (37C°), leur temps de survie dans le milieu extérieur, ou les conditions sont totalement différente est donc limité par ailleurs, les bactéries pathogènes vont se trouver en compétition avec les bactéries indigènes ce qui limitera leur développement [18].

Les eaux usées urbaines contiennent environ 10^6 à 10^7 bactéries/100 ml dont 10^5 proteus et entérobactéries, 10^3 à 10^4 streptocoques et 10^2 à 10^3 clostridiums [17].

I.7. Les déversements d'eaux usées dans le milieu naturel

Le rejet direct des eaux usées domestiques dans le milieu naturel perturbe l'équilibre aquatique en transformant les rivières en égouts à ciel ouvert. Cette pollution peut aller jusqu'à la disparition de toute vie. Il faut retirer des eaux usées un maximum de déchets, avant de les rejeter dans l'environnement, pour que leur incidence sur la qualité de l'eau, en tant que milieu naturel aquatique, soit la plus faible possible [17].

Quant les eaux usées ou les eaux résiduaires industrielles ne sont pas épurées avant rejet dans le milieu naturel, l'altération de ce dernier et les déséquilibres qui s'y produisent ont non seulement des effets immédiats sur les utilisations de l'eau, mais aussi des effets à long terme, parfois irréversibles dans le domaine de la vie humaine [17].

I.8. Normes de rejet

I.8.1. Normes internationales

La norme est représentée par un chiffre qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser ou une limite inférieure à respecter. Les normes internationales selon l'organisation mondiale de la santé respective pour les eaux usées sont indiquées sur le tableau suivant [19].

Tableau I.3 : Normes de réutilisation des eaux usées épurées [20].

Caractéristiques	Normes utilisées OMS (1989)
pH	6.5-8.4
CE (ds/m)	<0.7 Aucune restriction 0.7 – 3.0 restriction légère a modérée >3.0 forte restriction
DBO ₅	<10 mg/L
DCO	<40 mg/L
MES	<30 mg/L
NH ₄₊	<2 mg/L
NO ₂ -	<1 mg/L
NO ₃ -	50 mg/L
P ₂ O ₄ 3-	< 0.94 mg/L
Température	< 30 °C
Couleur	Incolore
Odeur	Inodore

I.8.1. Les normes algériennes de rejets d'effluents

La législation en Algérie qui traite la réutilisation des eaux épurées conformément au décret N° 07-149 du 20 mai 2007 fixant les modalités de concession d'utilisation des eaux épurées à des fins agricoles et l'Arrêté interministériel du 02/01/2012 fixant les spécifications des eaux épurées utilisées à des fins d'irrigation. Les textes législatives sont donnés à partir :

- Du décret N° 07-149 du 20 mai 2007 fixant les modalités de concession d'utilisation des eaux épurées à des fins agricoles.
- Arrêté interministériel du 02/01/2012 fixant les spécifications des eaux épurées utilisées à des fins d'irrigation.

Les normes de rejets avant ou après traitement sont destinées à la protection du milieu récepteur naturel.

Les valeurs limites maximales des paramètres de rejet sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau I.4 : les normes de rejet des eaux usées en vigueur en Algérie sont [21]:

Paramètres	Unités	Valeurs limites	Tolérance des valeurs limites des anciennes installations
Température	C°	30	30
pH	-	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5
MES	Mg/L	30	40
Azote	Mg/L	30	40
Phosphore total	Mg/L	10	15
DCO	Mg/L	90	130
DBO ₅	Mg/L	30	40
Aluminium	Mg/L	3	5
Substance toxique bio	Mg/L	0.005	0.01

cumulable			
Cyanures	Mg/L	0.1	0.15
Fluore et composés	Mg/L	15	20
Indice de phénol	Mg/L	0.3	0.5
Hydrocarbures totaux	Mg/L	10	15
Huiles et graisses	Mg/L	20	30
Cadmium	µg/L	0.2	0.25
Cuivre total	µg/L	0.5	1
Mercure totale	µg/L	0.01	0.05
Plomb total	µg/L	0.5	0.75
Chrome total	µg/L	0.5	0.75
Manganèse	µg/L	1	1.5
Nickel total	µg/L	0.5	0.75
Zinc total	µg/L	3	5
Fer	µg/L	3	5

Chapitre II : Les Procédés de traitement des eaux usées

Chapitre II : Procédés de traitement des eaux usées

II.1. Historique sur l'épuration des eaux usées

Traitement des eaux usées a été pratiqué depuis plus de 3000 ans.

La première installation de traitement aux Etats-Unis, à partir d'une base historique, était à San Antonio, Texas, en 1901 (Morel, 1996). Cette opération a utilisé un système de bassins dans le procédé de traitement primaire.

A partir de 1920, on a assisté à un large développement du lagunage à travers le monde (Etats Unis, Canada, Australie, Suède). Toute fois pour la construction des différents bassins, il n'y avait aucun calcul, aucune étude préalable. On aménagea les lagunes en fonction de la topographie du sol existant et de configuration du terrain disponible.

En 1964, une enquête d'une organisation mondiale révèle que sur les 39 pays qui utilisent les bassins de stabilisation du monde seulement sept pays d'Europe utilisent le système d'épuration par lagunage (parmi lesquels : Finlande, pays bas, Roumanie). Les états unis détiennent le plus grand nombre d'installations de lagunage, en 1962, on en comptait environ 3250 et plus de 7500 en 1984 dont la moitié traite les eaux domestiques, le reste les rejets industriels.

En Algérie, peu d'importance est accordée à la couverture des services d'assainissement, comparée à la couverture des services d'approvisionnement en eau et encore moins d'importance est accordée à l'épuration. En effet, pour un taux de couverture du réseau d'assainissement de l'ordre de 85 %. Le volume annuel des eaux usées est estimé à 532 millions de m³ correspondent aux agglomérations de taille supérieure à 9.621.714 habitants. Au cours de ces dernières années, le Ministère des Ressources en Eau (MRE) à entrepris la mise en œuvre d'un important programme d'investissement concernant la réalisation de 100 stations d'épuration (STEP) et la réhabilitation de 42 autres, dont deux en exploitation. Ceci a porté le nombre actuel des STEP existantes et en exploitation de 142 avant la fin de Juillet 2017, le volume mensuel des eaux épurées est de 19,6 Millions de m³. À noter aussi que 50 STEP sont actuellement en cours d'étude ou en étude de réhabilitation, ce qui a permis d'atteindre un parc de 180 STEP à l'horizon 2030 [3].

II.2. Nécessité de l'épuration d'eaux usées

L'épuration des eaux est un ensemble des techniques qu'assistent 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 santé 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).

II.3. Les systèmes d'assainissement

Les principaux systèmes de collecte utilisés en assainissement sont :

- Le système unitaire.
- Le système séparatif.

II.3.1. Le système unitaire

Dans le système unitaire, les eaux pluviales et les eaux usées urbaines sont évacuées dans la STEP par une canalisation commune. L'avantage de ce système est le coût plus faible que le système séparatif pour la gestion des connections vers la STEP.

L'inconvénient est que le dimensionnement des canalisations doit être suffisamment important pour éviter les inondations et permettre d'évacuer un débit pluvial important au moins jusqu'au bassin d'orage. De plus, lors d'évènements pluvieux importants dans un tel système, le volume d'eau drainé vers la STEP peut devenir trop important et ainsi dépasser la capacité de celle-ci. Le trop-plein, composé d'eaux usées et d'eaux de ruissellement est détourné vers le déversoir d'orage puis est traité partiellement, soit directement rejeté dans le cours d'eau récepteur provoquant une pollution ponctuelle du milieu récepteur. La dilution des eaux usées avec les eaux de pluie a un effet sur l'efficacité du traitement [22].

II.3.2. Le système séparatif

Dans le système séparatif, l'évacuation des eaux usées urbaines (ménages privés, artisans et industries) se fait dans une canalisation distincte de celle des eaux pluviales.

Ces dernières sont rejetées directement dans le récepteur aquatique sans passer par la station d'épuration. Le système séparatif permet de pallier aux problèmes de surcharge de la STEP lors d'évènement pluvieux [22].

II.4. Traitement des eaux usées

Avant tout procédé d'évacuation ou réutilisation des eaux usées, le traitement de ces dernières est nécessaire pour protéger l'environnement et la santé publique ainsi que la santé animale de tout danger. L'épuration des eaux usées consiste à décanter les éléments polluants particuliers et à extraire les éléments dissous qui sont transformés en matière sédimentable suite à un traitement approprié. Ainsi, à la sortie de la station, il résulte d'une part une eau épurée rejetée dans le milieu naturel et d'autre part, il reste des sous-produits désignés sous le terme des boues résiduelles [23].

II.4.1. Objectif du traitement des eaux usées

L'objectif principal du traitement des eaux usées est de produire des effluents traités à un niveau approprié et acceptable du point de vue risque pour la santé humaine et l'environnement. Les stations d'épuration des eaux résiduelles, indépendamment du type de traitement, réduisent la charge organique et les solides en suspension et enlèvent les constituants chimiques des eaux usées qui peuvent être toxiques aux récoltes ainsi que la santé publique en général [24].

II.5. Principaux procédés d'épuration

Les principaux procédés d'épuration peuvent être classés en trois (03) catégories :

- procédés Physique.
- procédés Physique et chimique.
- procédés Biologique.

II.5.1. Les procédés Physiques

Les traitements physiques visent essentiellement à conditionner l'eau en vue d'un traitement ou en vue d'un rejet dans le milieu naturel récepteur cela est tolère ces procédés regroupent :

- Les prés Traitements.

- Les traitements primaires.

II.5.2. Les procédés physiques et chimiques

On regroupe sous le vocable des procédés physico-chimiques, les prétraitements chimiques, électrochimiques et même thermiques utilisés pour différentes opérations allant de la coagulation floculation à la précipitation et l'adsorption.

II.5.3. Les procédés Biologiques

Les procédés biologiques permettent la transformation des éléments présents sous forme soluble ou colloïdale en éléments floculables permettant leurs séparations de la phase liquide.

Cette technique d'épuration est utilisée couramment dans le cas des effluents urbains caractérisés par une grande biodégradabilité [25].

II.6. Les différentes étapes de traitement dans une station d'épuration des eaux usées

D'une manière générale, on peut distinguer dans une station d'épuration des eaux usées

Les traitements suivants :

- Prétraitement.
- Traitement primaire.
- Traitement secondaire.
- Traitement tertiaire.

Nous examinons. Ci-après d'une façon plus détaillée. La mise en œuvre des principaux procédés envisageables pour une station d'épuration des eaux usées complète.

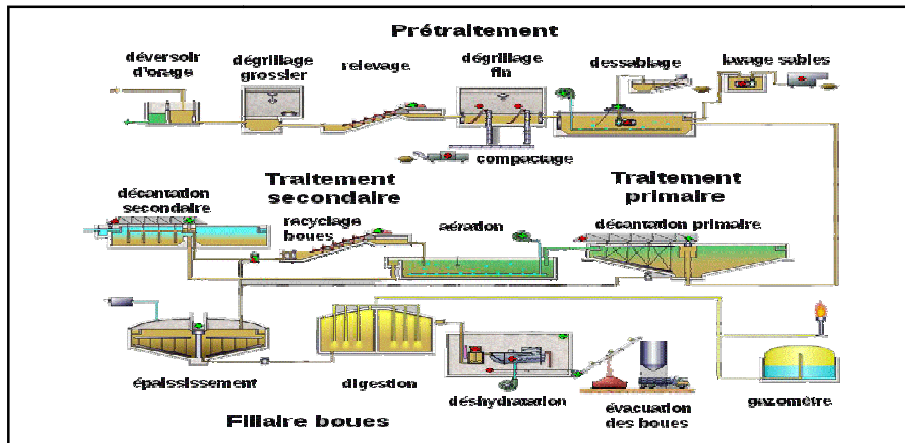


Figure II.1 : Schéma des différentes étapes d'épuration des eaux usées.

II.6.1. Le Prétraitement

Le prétraitement consiste à extraire des eaux usées la plus grande quantité d'éléments par:

- Leur taille: débris grossiers.
- Leur pouvoir abrasif: sable, argile.
- Leur masse spécifique: huile, graisses flottantes.

Risquent de perturber le fonctionnement des ouvrages. Sous cette dénomination seront regroupés:

- Le dégrillage.
- Le tamisage
- Le dessablage.
- Le déshuilage – dégraissage.

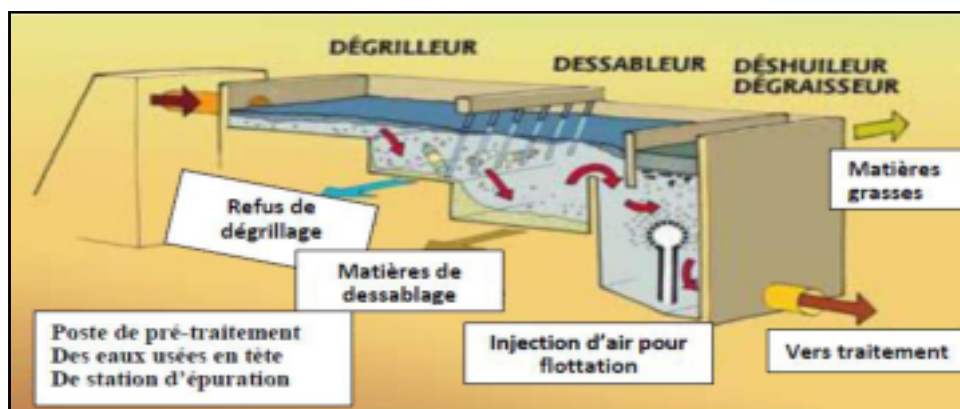


Figure II.2 : Schéma d'un traitement préliminaire d'une station d'épuration.

II.6.1.1. Le dégrillage

Le dégrillage consiste à séparer les matières les plus volumineuses charriées par l'eau brute, en faisant passer l'effluent d'entrée à travers des barreaux dont l'écartement est bien calculé. L'efficacité du dégrillage est en fonction de l'écartement entre les barreaux de la grille ; on distingue :

- Pré dégrillage pour écartement 30 à 100mm
- Dégrillage moyen pour écartement 10 à 25 mm
- Dégrillage fin pour écartement 3 à 10 mm

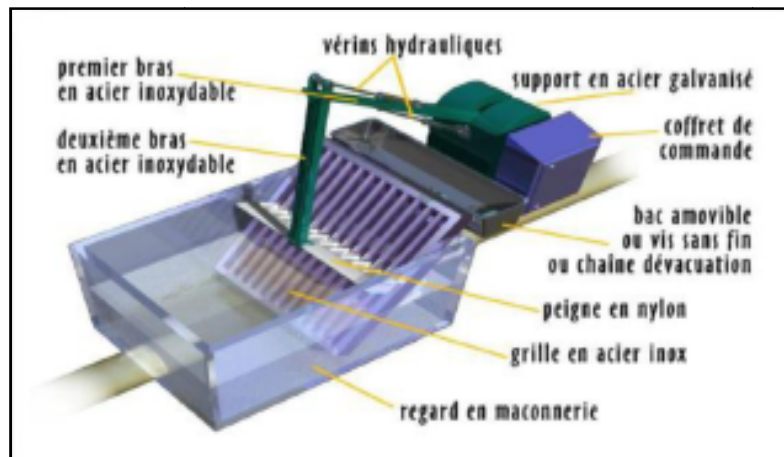


Figure II.3 : Schéma d'un dégrilleur.

II.6.1.2. Le tamisage

Le tamisage est un dégrillage poussé utilisé dans les stations d'épuration industrielles. Il consiste en une filtration sur toile mettant en œuvre des mailles de différentes dimensions. Il existe un macro-tamisage (mailles > 0.3mm) et un tamisage (mailles < 100µm) [26].

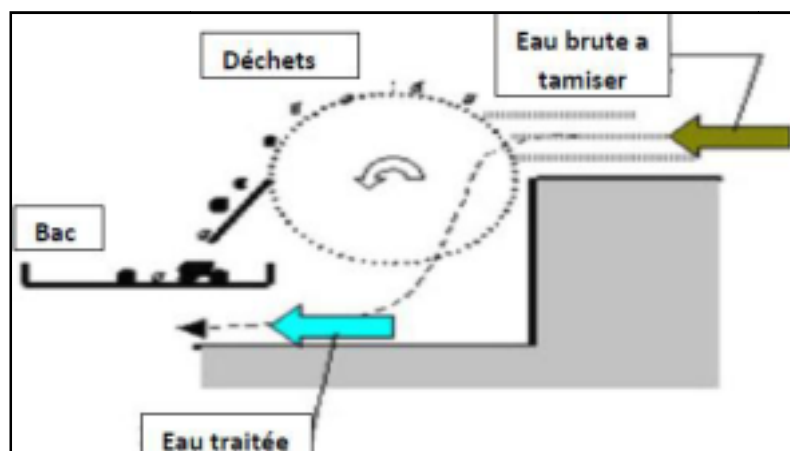


Figure II.4 : Schéma d'un Tamisage.

II.6.1.3. Le dessablage

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

Le domaine usuel du dessablage porte sur les particules dont le granulaire est supérieur à 200 microns.

II.6.1.4. Le déshuilage – dégraissage

Les graisses et les huiles issues des industries de restauration, des garages et des chaussées sont susceptibles de gagner le réseau des eaux usées. Quelles soient l'origine. Organique ou minérale, elles constituent une charge qu'il est utile de réduire car elles présentent plusieurs inconvénients à différents niveaux:

- Difficile à dégrader, elles diminuent le rendement de traitement biologique.
- Mauvaise sédimentation et envahissement des décanteurs.
- Risque de bouchage des canalisations et des pompes.

L'élimination est basée sur la séparation gravitaire. Elle peut être améliorée par insufflation d'air ou les graisses émulsionnées remontent en surface.

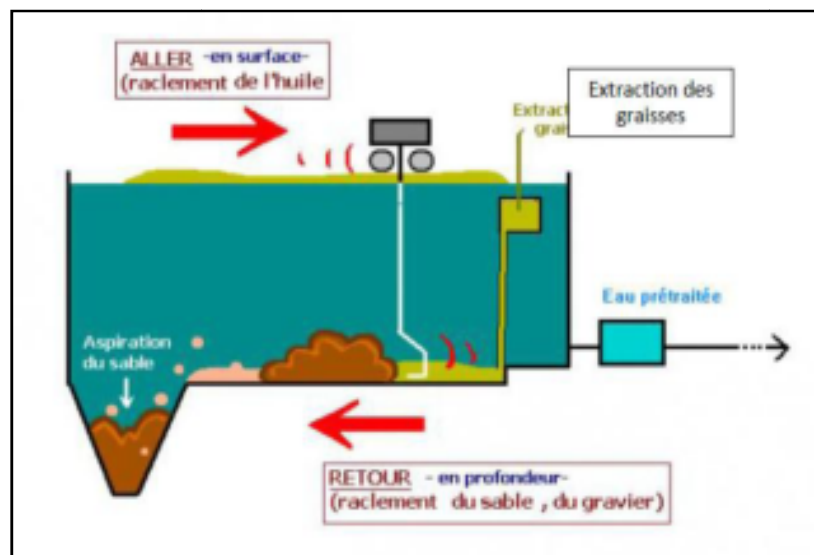


Figure II.5 : Schéma de principe fonctionnement d'un dessableur /déshuileur-dégraisseur.

II.6.2. Les traitements primaires

Le traitement primaire est un traitement physico-chimique qui consiste à éliminer [27]

- la matière décantable par une simple décantation.
- la turbidité qui est traitée par la coagulation-floculation.
- Certaines matières en solution par la précipitation chimique.

II.6.2.1. La décantation

La décantation se distingue du dessablement en ce sens qu'elle enlève toutes les matières en suspension, alors que le dessablement arrête seulement le sable et les autres matières (plus lourd que les matières organiques). Dans les décanteurs, les eaux résiduaires circulent à une vitesse réduite à un point tel que les matières décantables peuvent se rassembler au fond sous forme de boues. Le mécanisme de sédimentation est du type partiellement floculé, c'est-à-dire que la vitesse d'une particule va en croissant, par suite de son agglomération avec des particules voisines. La vitesse de sédimentation n'est plus calculable, mais se détermine par des essais. Il existe de nombreux types de décanteurs qui se distinguent, d'une part d'après le sens d'écoulement des eaux, et d'autre part d'après les dispositions adoptées pour l'évacuation des boues [27].

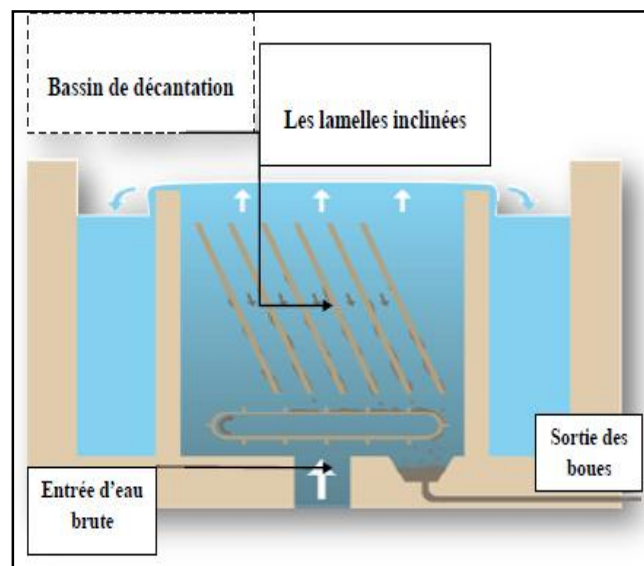


Figure II.6 : Schéma d'un décanteur.

Les boues primaires soutirées en pied du décanteur sont composées à la fois de matières minérales et organiques. Dans certains cas, un traitement de coagulation-floculation

est effectué pour améliorer la décantation. On parle alors de boues primaires physico-chimiques.

II.6.2.2. La coagulation- floculation

Les processus de coagulation et floculation sont employés pour séparer les solides en suspension de l'eau lorsque la vitesse de décantation naturelle est trop lente pour obtenir une clarification efficace [26]. Est utilisé pour le traitement de potabilisation ou le traitement d'eau usée.

II.6.2.2.1. Les particules colloïdales

Les particules colloïdales sont caractérisées par deux points essentiels :

- D'une part, elles ont un diamètre très faible (de 1 nm à 1 µm).
- D'autre part, elles ont la particularité d'être chargées électro-négativement, engendrant des forces de répulsions inter-colloïdales.

Ces deux points confèrent aux colloïdes une vitesse de sédimentation extrêmement faible (que l'on peut même considérer comme nulle dans le cadre du traitement de l'eau). La coagulation-floculation est un procédé permettant, en deux temps, de s'affranchir de cette absence de sédimentation. Cette technique permet de s'attaquer aux deux caractéristiques mentionnées précédemment qui rendent impossible une élimination naturelle des particules colloïdales [26].

II.6.2.2.2. Coagulation

Dans un premier temps, la coagulation, par un ajout de sels métalliques (généralement de fer ou d'aluminium), permet de supprimer les répulsions inter-colloïdales : les cations métalliques (Al^{3+} et Fe^{3+}) se lient aux colloïdes et les neutralisent. Les particules colloïdales peuvent désormais se rencontrer. Elle a pour but la déstabilisation des colloïdes et l'agglomération des particules fines en suspension. Elle agit également par adsorption sur les substances et les grosses molécules organiques hydrophiles en suspension stable [26]. Elle est utilisée pour la clarification, la décoloration, l'agglomération des précipités résultant d'un adoucissement calcosodique, l'amélioration de goûts et d'odeurs. Les coagulants utilisés pour le traitement des eaux destinées à l'alimentation doivent :

- Etre peu coûteux.

- Etre totalement inoffensif par eux-mêmes et par les produits qu'ils forment.
- Pouvoir être mis en œuvre aisément.
- Avoir être dispersés sans difficultés.
- Avoir un pouvoir flocculant vis-à-vis des colloïdes hydrophiles.

II.6.2.2.3. Flocculation

Dans un second temps, la flocculation permet de s'attaquer au problème du faible diamètre des colloïdes. Le véritable souci est en fait la masse, qui ne permet pas une sédimentation naturelle et exploitable dans le cadre d'un traitement.

La solution exploitée par la flocculation est de provoquer, grâce à l'ajout de flocculant, une agglomération des particules colloïdales. Par la suite, cet agglomérat de colloïdes appelé floc dispose d'une masse suffisante pour pouvoir se décanter. Le flocculant ajouté est généralement un polymère, qu'il soit organique ou naturel, qui va jouer le rôle de colle entre les colloïdes. La flocculation a pour but d'accroître par agglomération, le volume, le poids et la cohésion de l'agglomération formé des floccs [26]. Le grossissement des floccs est favorisé par l'emploi de certains produits flocculant (les adjuvants). On peut distinguer les flocculants par :

- Leur nature (minérale ou organique).
- Leur origine (synthétique ou minérale).
- Le signe leur charge électrique (anionique, cathodique, non ionique).

Les flocculants les plus couramment utilisés sont :

- La silice activée.
- Le polyamide.
- L'argile.
- Le charbon actif.
- Le sable fin.

Pour obtenir une bonne flocculation, il est nécessaire de créer une agitation. Ce type de traitement primaire n'est pas généralisé à toutes les STEP mais la coagulation - flocculation, suivie d'une décantation permet d'éliminer jusqu'à 90% de MES et de 40 à 65% de la DBO₅ des effluents résiduels urbains.

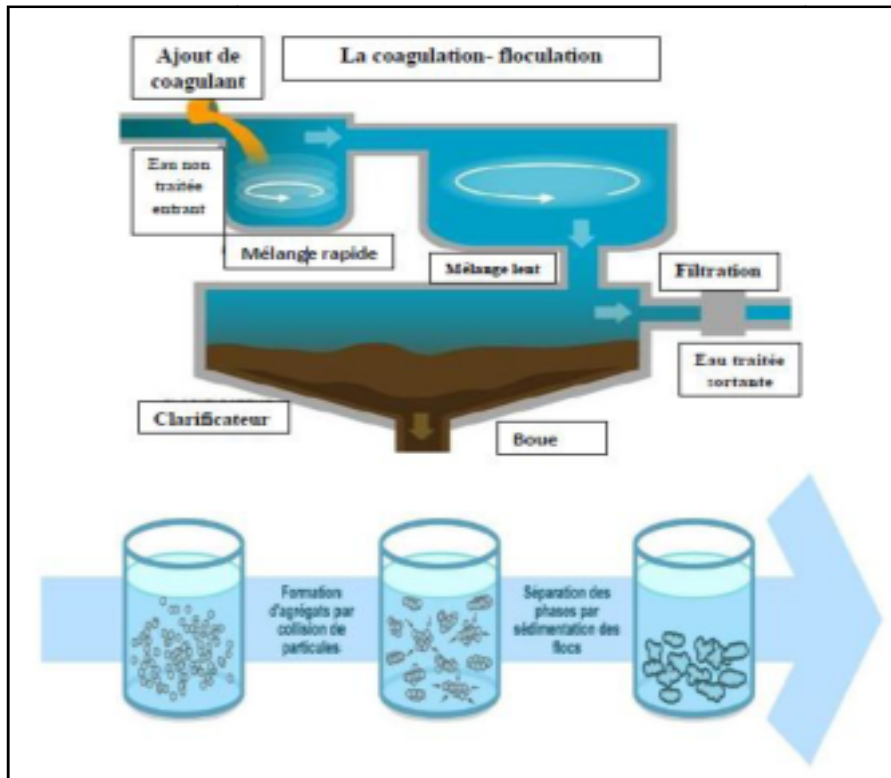


Figure II.7 : Schéma d'un procédé de coagulation- floculation.

II.6.3. Le traitement secondaire

II.6.3.1. Traitement biologique

L'épuration par voie biologique est réalisé par l'activité des micro-organismes capables de métaboliser la matière organique et donc conduire à l'épuration des eaux résiduaires chargées en matières organiques biodégradables.

II.6.3.2. Traitement par voie biologiques

– Le traitement des eaux résiduaires urbaines met en œuvre le processus de métabolisme. La pollution organique est retenue par les micro-organismes. Elle est alors utilisée par ces derniers pour leur croissance et leur multiplication.

– La biodégradation des matières organiques présentes dans l'eau usée peut se faire suivant deux (02) voies :

1- Voie aérobie

L'action des microorganismes aérobies provoque la biodégradation (ou l'oxydation) de la matière organique avec formation de CO_2 , PO_4^{3-} , NO_3^- , SO_4^{2-} (En plus de la formation de nouvelles cellules et sous-produits).

2- Voie anaérobie

Lorsque la dégradation se fait en l'absence d'oxygène, en milieu réducteur donc, le rôle des micro-organismes anaérobies est alors essentiel.

Ceci conduit ainsi à la fermentation avec formation de CH_4 , H_2S , HNO_3 .

L'épuration biologique aérobie demeure le mode de traitement le plus utilisé actuellement, les traitements anaérobies sont généralement réservés à la réduction de la teneur en matière fermentescible des boues, il est envisagé dans certains cas particuliers tels des rejets industriels à très haute concentration en pollution [28].

II.6.3.3. Mode de traitement

L'épuration des eaux usées par voie biologique utilise deux types de procédés extensifs et intensifs.

II.6.3.3.1. Procédés extensifs

Les diverses techniques utilisent des moyens plus proches de la nature. Elles nécessitent en générale d'importantes superficies et d'assez long temps de séjour.

Parmi celles-ci, on distingue deux techniques :

a. Le lagunage

Une station de lagunage est une succession de bassins ou d'étangs de rétention peu profonds et imperméables, dans lesquels l'eau s'écoule lentement par gravité.

Dans chacun de ces bassins, stagne une tranche d'eau où évolue un écosystème particulier dans lesquels différents organismes interviennent afin d'éliminer la charge polluante.

Il existe plusieurs types d'étangs selon le mode d'auto épuration réalisé et qui caractérise par la suite le mode de traitement par lagunage [29].

a. 1 . Les types des étangs

a.1.1 . Les étangs anaérobies

Ils reçoivent des charges organiques très élevées qui sont exprimées en DBO par unité de volume qui explique l'absence d'oxygène dissous à cause de la profondeur (de 2 à 5m) et la charge organiques plus élevée, il n y a aucune couche aérobie et toute l'activité biologique est anaérobie .

Ce type de bassin est montré dans la figure II.8 et fonctionne un peu comme une fosse septique.

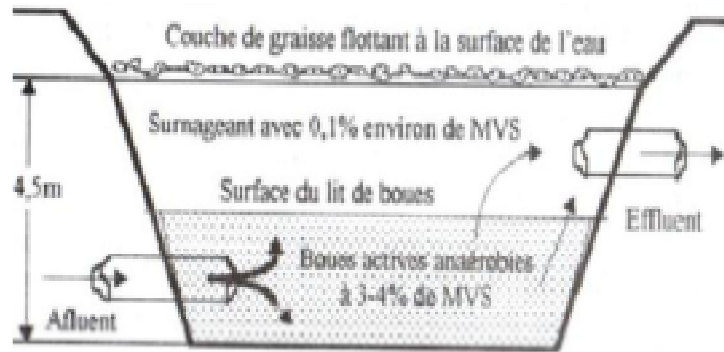


Figure II.8 : Schéma d'un étang anaérobie [30].

Les matières décantables se déposent sur le fond pour former les boues et subissent une digestion anaérobie, ce processus consiste à transformer la matière organique en gaz. Ce type d'étang permet la formation d'une couche superficielle de plusieurs centimètres qui forme une couverture naturelle capable de retenir la chaleur, les mauvaises odeurs et de maintenir des conditions anaérobies. Ce processus actif pour une température supérieure à 15°C, produit un dégagement de biogaz (70% de méthane et 30% de dioxyde de carbone).

Les inconvénients majeurs des bassins anaérobies sont le dégagement d'une odeur désagréable, Cette odeur est due à la réduction bactérienne des sulfates en sulfure d'hydrogène, et la stabilisation incomplète qui nécessite une étape supplémentaire aérobie [30].

a.1.2 . Les étangs facultatifs (aérobie – anaérobie)

Ce sont de simples bassins de grandes dimensions, mais dans la profondeur ne doit pas dépasser 1 à 2 m afin de préserver les conditions d'aérobiose. La charge entrante ne doit pas être trop élevée. Dans ce bassin, l'élimination des déchets passe par deux voies :

- La voie physico-chimique :

Naturellement des réactions chimiques ont lieu dans l'eau entre les différents éléments minéraux déjà présents. Ces réactions tendent vers une certaine neutralité entre les différents composés.

- La voie microbiologique :

C'est le moyen le plus efficace où les déchets organiques sont progressivement dégradés par les bactéries (le processus de minéralisation).

Elles comportent deux parties :

- Une partie supérieure aérobie, riche en algues et en microorganismes aérobies.
- Le fond couvert de sédiments organiques, siège de fermentations anaérobies.

Les fermentations du fond produisent du (CO_2 , H_2S , CH_4 , NH_3 ...) et des composés organiques de faible poids moléculaire. Les composés produits alimentent la flore bactérienne et les algues de zones supérieures.

Dans ces bassins il se développe une relation symbiotique entre les algues et les bactéries (figure II.9). Les matières dissoutes et colloïdales sont oxydées par des bactéries aérobies, utilisant l'oxygène provenant de l'absorption naturelle (les vents) et celle qui produit par les algues. Les matières décantables entrent dans la décomposition anaérobie, avec production de méthane et d'autres composés réduits. Ces derniers migrent vers la couche aérobie où ils sont oxydés. Les composés produits alimentent la flore bactérienne [30].

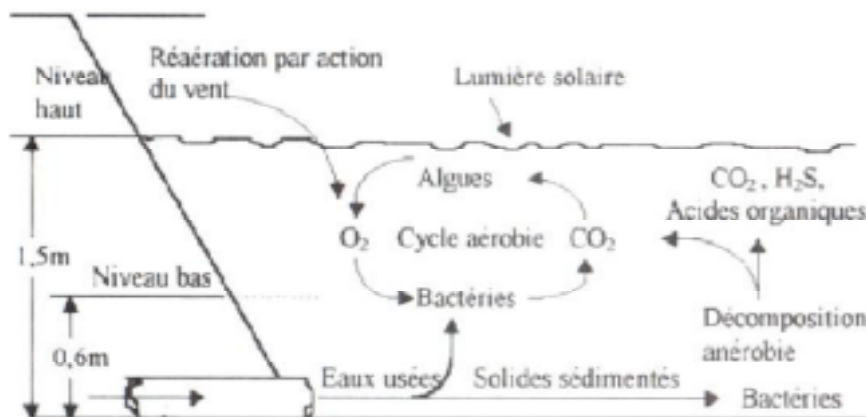


Figure II.9 : Schéma d'un étang facultatif [30].

a.1.3 . Les étangs de maturation

Les bassins de maturation reçoivent un effluent très peu chargé, ils sont entièrement aérobies de faible profondeur de 1 à 1,5 m, afin de maintenir le bassin en conditions d'aérobiose et de permettre aux rayons du soleil de pénétrer jusqu'au fond du bassin. Leur objectif est de détruire les microorganismes pathogènes.

L'enlèvement de ces dernières repose sur la sédimentation et sur le soleil.

Les bactéries et autres microorganismes pathogènes sont très sensibles aux rayons ultra-violet (UV) provenant du soleil. En plus de fournir ces UV, le soleil accentue la

photosynthèse algale, ce qui a pour effet de consommer rapidement le dioxyde de carbone et d'augmenter le pH du bassin.

Les rayons UV combinés à un pH élevé sont donc responsables de l'élimination des pathogènes.

La taille et le nombre de bassins de maturation dépend des normes de rejet ou de la qualité microbiologique souhaitée [30].

a. 2 . Type de Lagunage

a.2.1 . Lagunage naturel

Le lagunage naturel est composé de plusieurs bassins en série, généralement trois bassins, à faible profondeur, dont le premier est conçu peut être facultatif et les suivants sont des lagunes de maturation, le temps de séjour est de 60 à 90 jours.

La décomposition de la pollution est principalement réalisée par l'action de bactéries aérobies se développant naturellement, l'oxygène étant apporté par l'air qui se trouve au-dessus de la surface de l'eau, ou par émission par les algues par photosynthèse.

a.2.2 . Lagunage à macrophytes

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 lentilles d'eau ou les jacinthes d'eau etc... Les bassins sont alors généralement de plus faibles surfaces et moins profonds (0,6 à 0,8 m) où la charge polluante est plus faible.

Ce type a un bon rendement épuratoire en ce qui concerne l'élimination de la matière organique, de la matière en suspension, des sels nutritifs et des métaux lourds. Mais il augmente le coût de fonctionnement du fait d'un entretien plus lourd.

a.2.3 . Lagunage à microphytes

Les plantes sont représentées par le phytoplancton, algues microscopiques de (1/100) ème de mm en moyenne, mais jouant le même rôle que les macrophytes dans la fixation des nutriments.

Malgré ces excellentes adaptations à leur milieu, la mortalité est élevée (par sédimentation, prédation, compétition, diminution des ressources...).

Les espèces de micro algues présentes dans les bassins sont adaptées à des conditions spécifiques (physico-chimiques et climatiques).

Aussi, les variations de ces conditions (arrivée de l'hiver, changement de la composition des eaux usées,...) entraînent des changements importants dans la composition des différentes espèces d'algues.

a.2.4 . Lagunage aéré

Le lagunage aéré est composé de plusieurs bassins, dont le premier est équipé d'un dispositif d'aération artificiel soit en surface (aérateurs), soit en immersion (insufflation d'air), qui fournissent la majorité des besoins en oxygène.

a.2.5 . Lagunage anaérobie

Les principes fondamentaux de ce système d'épuration, surtout utilisé en climat tropical, sont les suivants :

- Une profondeur d'eau importante (supérieur à 4m) pour éviter la prolifération algale.
- Des effluents à charge organique élevée : DBO₅ 500 à 700 kg/ha/jour.
- Températures élevées supérieur à 25°C.
- Le pH doit être maintenu aux environs de 7.

a.2.6 . Lagunage à haut rendement

Constitué de bassins à faible profondeur (0.3 à 0.5 m) dans lesquels un courant empêche la décantation des algues.

Ce type est particulièrement intéressant pour l'élimination des sels nutritifs.

Utilisée pour le traitement des rejets piscicoles et des matières de vidange. Le temps de séjour est de 10 à 15 jours [30]

b. L'épandage des ruissellements contrôlés

Les techniques d'épuration et de ruissellement contrôlés utilisent le passage des eaux dans le sol et les possibilités auto épuratrices de ce dernier, l'épuration par le sol s'effectue généralement en deux stades :

- Fixation des matières sur les particules de terre.
- Dégradation sous l'action des microbes du sol.

II.6.3.3.2. Procédés intensifs

Ceux-ci comprennent des dispositifs qui permettent de localiser sur des surfaces relativement réduites, et d'intensifier les phénomènes de transformation et de destruction des

matières oxydables tels qu'ils se produisent en milieu tout en réduisant le temps de séjour dans les ouvrages. Les procédés intensifs peuvent se classer en :

- Procédés à culture fixes.
- Procédés à culture libre.

a) Procédés à culture fixes

Ce type de procédé fait appel à deux techniques :

- a).1 lits bactériens.
- a).2 Disque biologique

a).1 Le lit Bactérien

Le lit bactérien est un réacteur biologique aérobie, où les microorganismes sont fixés sur un support inerte et forment un bio film. Ils reproduisent industriellement l'effet épurateur du sol. On les appelle également « lits percolateurs », mais l'appellation « bio filtres » est à déconseiller car elle fait référence erronément au processus physique de filtration. On peut représenter comme suit un élément de lit bactérien, avec le mouvement des divers composés :

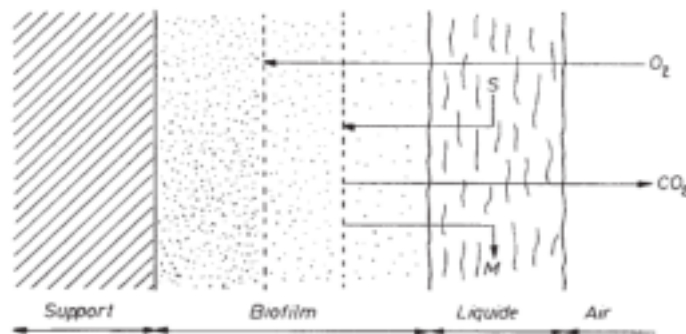


Figure II.10 : Schéma de principe du bio film [31].

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

La formation et l'adhérence des biofilms ont été étudiées par COSTERTON (1978) et CHARAKLIS (1982). La bactérie possède une membrane constituée d'une double couche lipidique, dont sortent de courts filaments liposaccharidiques, et ces derniers émettent (grâce à un enzyme polymérase) de longs filaments polysaccharidiques. Ceux-ci constituent un feutrage collant appelé glycocalyx, qui amarre très fermement un groupe de bactéries au support inerte. Ce glycocalyx est chargé négativement et constitue un micromilieu relativement abrité et renouvelé en O₂, en S, etc [31].

Les lits bactériens sont constitués par accumulation, sur une hauteur convenable, de matériaux poreux tels que les pouzzolanes, cokes. Ces matériaux arrosés d'eau brute, se recouvrent après quelques semaines de maturation de pellicule membraneuse très riches en colonies microbiennes qui assurent l'épuration des eaux usées.

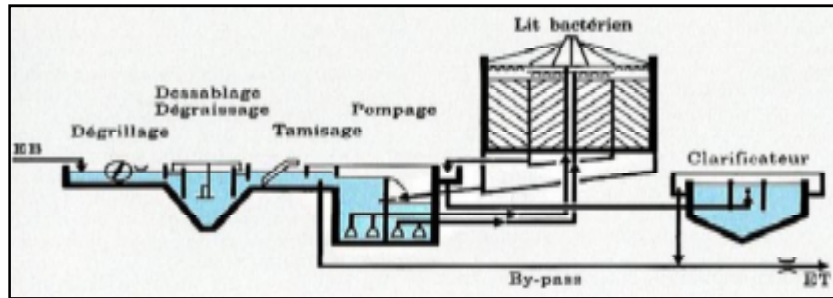


Figure II.11 : Traitement des eaux usées par lits bactériens.

Tableau II.1 : Les avantages et les inconvénients d'un traitement des eaux usées par le lit bactérien [32].

Avantages	Inconvénients
<p>généralement bien adapté pour des collectivités de taille inférieure à 10.000 EH.</p> <p>faible consommation d'énergie.</p> <p>fonctionnement simple demandant peu d'entretien et de contrôle.</p> <p>peut être installé en amont d'une station à boues activées afin de déconcentrer les effluents du type agroalimentaire.</p> <p>bonne décantabilité des boues.</p> <p>plus faible sensibilité aux variations de charge et aux toxiques que les boues activées.</p>	<p>performances généralement plus faibles qu'une technique par boues activées.</p> <p>coûts d'investissement assez élevés.</p> <p>nécessité de prétraitements.</p> <p>sensibilité au colmatage et au froid.</p> <p>source de développement d'insectes.</p> <p>boues fermentescibles.</p>

a).2 Disque biologiques

Ce sont généralement des disques de 2 ou 3 m, d'une épaisseur de 2 ou 3 cm, enfilés par batteries de 20 ou 40 sur un même axe, avec un intervalle de 1 à 2 cm (figure II.12).

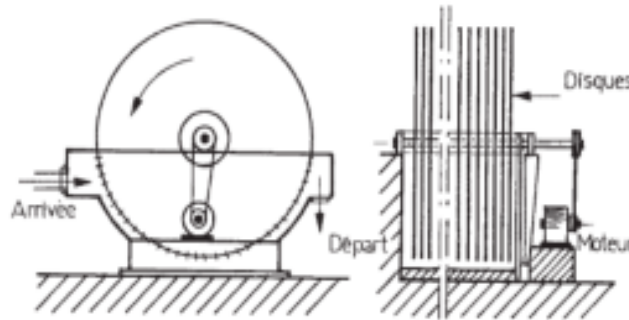


Figure II.12 : Schéma d'un disque biologique [31].

La surface utile des grands disques (recto + verso) vaut à peu près 13 m^2 , celle des petits $5,9 \text{ m}^2$. On ne peut donc dire que le système se caractérise par une grande surface spécifique ni par une grande porosité. Ils tournent dans une auge semi-cylindrique alimentée en eau usée. La rotation n'exige que $0,25 \text{ W/m}^2$ (LOHR, 1967). Il n'y a presque pas de perte de hauteur d'eau.

La répartition des durées d'immersion et d'émersion n'est pas la même au centre qu'à la périphérie mais vaut à peu près $50\% + 50\%$. La rotation des disques vise à mélanger l'eau, à transférer de l'oxygène à l'eau, et à empêcher les courts-circuits.

Pour obtenir un mélange correct, il faut tourner d'autant plus vite que la charge hydraulique est forte. On ne peut toutefois dépasser une vitesse périphérique de 20 m/min sous peine d'arrachement du film. En pratique, on adopte 13 m/min (soit $2,05 \text{ t/m}$ pour les petits disques et $1,37 \text{ t/m}$ pour les grands). Les arrêts de rotation sont à éviter absolument, car le bio film sèche rapidement et il se crée un fort déséquilibre capable d'user ou même de griller le moteur lors de la remise en marche. Il est parfois nécessaire à forte charge d'accélérer la rotation d'un premier étage, afin d'améliorer le transfert du polluant au bio film. Le transfert d' O_2 pendant l'émersion est très rapide, et la provision d' O_2 prise est toujours suffisante pour couvrir les besoins pendant l'immersion, quelle que soit la vitesse. L'alternance immersion émersion décourage les mouches [31].

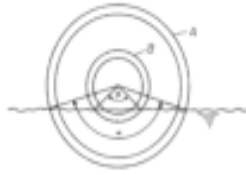


Figure II.13 : L'immersion-émersion dans les biodisques.

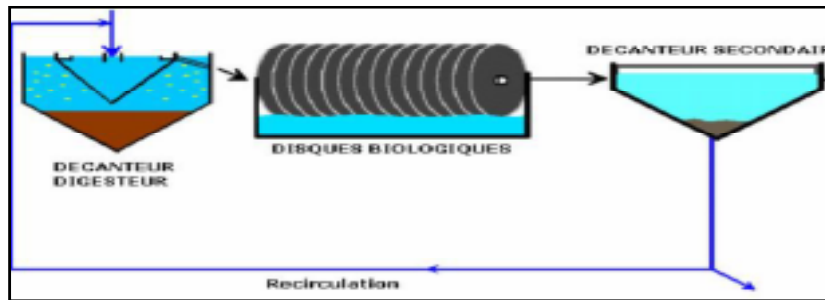


Figure II.14 : Le traitement des eaux usées par le disque biologique.

Tableau II.2 : Les avantages et les inconvénients d'un traitement des eaux usées par les disques biologiques [32].

Avantages	Inconvénients
<p>bonne décantation des boues.</p> <p>généralement adaptés pour les petites collectivités.</p> <p>faible consommation d'énergie.</p> <p>fonctionnement simple demandant peu d'entretien et de contrôle.</p> <p>plus faible sensibilité aux variations de charge que la technique des boues activées.</p>	<p>performances généralement plus faibles qu'une technique par boues activées, qui tient en grande partie aux pratiques anciennes de conception.</p> <p>Un dimensionnement plus réaliste doit par conséquent permettre d'atteindre des qualités d'eau traitée satisfaisantes.</p> <p>coûts d'investissement importants.</p> <p>grande sensibilité aux variations de température ce qui crée une obligation de couverture.</p> <p>boues putrescibles.</p>

b) Les procédés à culture libre

Les procédés à culture libre reproduisent industriellement l'effet épurateur des rivières et des étangs.

Les procédés, dont le principe est le maintien en suspension de micro-organismes chargés de l'épuration, font appel à la technique des boues activées.

b).1 Les boues activées

Le procédé à boues activées consiste en un réacteur biologique aérobie où des micro-organismes flottent sous forme de flocons (bio flocons) dans un bassin brassé, aéré et alimenté en prétraitée (bassin d'aération).

Après un temps de contact suffisant, la liqueur mixte (eaux usées flocculées) est envoyée dans le clarificateur, ouvrage destiné à séparer l'eau épurée des boues. Une partie de ces dernières est recyclée dans le bassin d'aération pour y maintenir une concentration suffisante en bactéries épuratrices.

L'autre partie des boues ou boues en excès est extraite du clarificateur et évacuées vers le traitement des boues [28].

Le procédé, inventé à Manchester en 1914, reproduit industriellement l'effet épurateur des rivières. Il est devenu le principal procédé actuel d'épuration. Le schéma de base figure II.15 connaît de nombreuses variantes dont les principales seront examinées ultérieurement. Les flocons de boue activée ont un diamètre apparent pouvant atteindre 3-5 mm, et sont composés des mêmes microorganismes que le bio film des lits bactériens : c'est une biocénose bactérienne avec prédateurs. Il lui faut au moins deux semaines pour atteindre sa concentration usuelle de 3-4 g/l (valeurs extrêmes : de 1 à 8 g/l) en matières de suspension volatiles (MSV) [31].

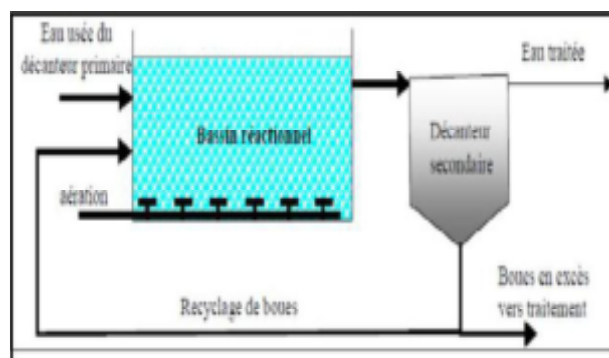


Figure II.15 : Schéma de principe d'une installation à boues actives.

II.6.4. Traitements tertiaires

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. La déphosphatation chimique constitue une méthode d'enlèvement du phosphore par précipitation. Les réactifs les plus courants sont l'alun et le chlorure ferrique. On a recours à la filtration lorsque les normes de rejets sur les matières en suspension (MES) et le phosphore (Pt) sont très restrictives. Enfin, la désinfection sert au contrôle des coliformes à l'effluent. Elle peut être effectuée à l'aide d'une ozonation ou, plus couramment, par radiation aux ultraviolets (UV).

II.7. Valorisation et réutilisation des eaux usées

Plus d'un tiers des terres du globe sont actuellement arides ou semi-arides et manquent d'eau. Des changements climatiques importants sont à craindre dans un contexte de réchauffement global de la planète. L'explosion démographique et économique entraîne une augmentation de la consommation d'eau telle que, d'ici 2050, 40% de la population mondiale souffrira de stress hydrique.

Le stress hydrique, sorte de dernière étape avant la pénurie, est un réel obstacle au développement, avec des impacts sur la sécurité alimentaire, la pollution, les pertes économiques, sans compter les conflits éventuels pour garder la maîtrise de la ressource. Dans ce contexte, la problématique de la dépollution de l'eau gagne en importance. Afin de préserver la qualité des masses d'eau et pour diminuer les prélèvements dans le milieu naturel, il convient de chercher des approvisionnements alternatifs. La réutilisation des eaux usées épurées, ou REUE, peut constituer l'un de ces approvisionnements [33].

La REUE qui est en plein essor depuis 1997, s'inscrit dans la logique du développement durable. Elle constitue à la fois une solution d'économie pour les ressources en eau et une politique environnementale. Cette dernière conduit à la réduction de la pollution résiduelle engendrée par l'activité de l'assainissement et à l'amélioration de la qualité des milieux récepteurs, notamment les plages et les zones humides [34].

II.7.1. Définition

La REUE recouvre deux notions complémentaires : le traitement puis la réutilisation proprement dite d'eaux usées. Les eaux usées sont les eaux rejetées par les collectivités et les

industries et qui sont acheminées par les égouts en station d'épuration afin d'être traitées. Après traitement, on les appelle des eaux usées épurées. Dans le cycle d'assainissement de l'eau «classique », celles-ci sont rejetées dans le milieu naturel. La REUE propose de récupérer directement ces eaux usées épurées, de les traiter éventuellement une nouvelle fois et de s'en servir pour toutes sortes d'usages (figure II.16).

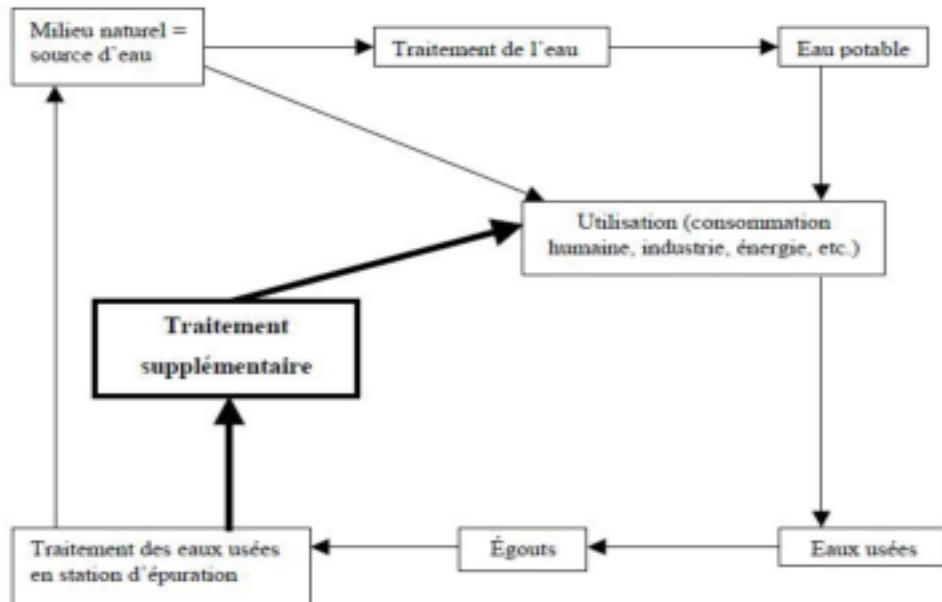


Figure II.16: Réutilisation des eaux usées épurées dans le cycle d'assainissement [35].

II.7.2. Domaines de la réutilisation des eaux usées

On peut distinguer cinq catégories de réutilisation :

- Réutilisation pour l'irrigation : cultures fourragères ou maraîchères, céréales, prairies, etc.

Les normes de réutilisation des eaux épurées à des fins agricoles sont détaillées en annexe.

- Réutilisation industrielle : circuit de refroidissement, construction, papeteries, industries textiles, etc.

- Réutilisation en zone urbaine : lutte contre l'incendie, lavage de voirie, recyclage des eaux usées d'un immeuble, arrosage de parcs, golfs, cimetières, l'échange de chaleur pour la climatisation des locaux ou la fusion des neiges.

- Recharge des nappes phréatiques.

- Production d'eau potable [36].

II.7.3. Avantages et inconvénients de la réutilisation

II.7.3.1. Avantages

Par ailleurs, l'utilisation des eaux usées traitées présente plusieurs avantages dont :

- L'économie des ressources en eau conventionnelle et son utilisation dans d'autres secteurs plus exigeants en termes de qualité.
- Protection des milieux récepteurs en particulier le littoral, le milieu naturel et les ouvrages hydrauliques (barrages) contre une eau riche en nutriments.
- Préservation de certaines zones humides en manque d'eau.
- Stabilité de la ressource par rapport à celle liée à la pluviométrie.
- Réduction des quantités d'engrais utilisés en agriculture si les agriculteurs prennent en compte cet aspect [37].

II.7.3.2. Inconvénients

La sécurité hygiénique des eaux usées après une épuration conventionnelle en deux phases, est donc appropriée à l'utilisation agricole certes pour les céréales, les plantations, les plantes fourragères, etc. Par contre, pour les plantes qui se consomment crues (comme les légumes et les herbes directement broutées) la sécurité ne serait vraiment plus assurée.

En outre, il existe pour les utilisateurs des eaux usées d'autres sérieux inconvénients :

- A certains endroits, l'offre des eaux usées est trop faible et beaucoup moins fiable que les sources hydriques conventionnelles. Cela entraîne pour les agriculteurs une augmentation de risque de production.
- Les eaux usées sont souvent très salées de sorte qu'il faut s'attendre à des pertes de revenus sur les types de plantes cultivées. En plus, il y a le risque d'un excès de salification des sols si on ne prend aucune mesure d'aménagement particulière.

Le risque résiduel de santé et d'agro-écologie est très difficile à évaluer pour les agriculteurs car les agriculteurs ne sont pas conseillés concernant l'utilisation des eaux usées traitées [37].

Chapitre III :

Valorisation des

boues résiduaires

Chapitre III : Valorisation des boues résiduelles

III.1. Les stations d'épuration et la production de boues

Les traitements réalisés en station d'épuration consistent à dégrader et séparer les polluants de l'eau (particules, substances dissoutes, microorganismes) par des procédés physiques, chimiques et biologiques pour ne restituer au milieu aquatique qu'une eau de qualité suffisante au regard du milieu récepteur. Le résultat de ces opérations est la production de boues qui est le principal sous-produit du cycle de traitement de l'eau. Une station d'épuration est généralement installée à l'extrémité d'un réseau de collecte, sur l'émissaire principal. Elle agrège une succession de dispositifs ayant chacun pour objet d'extraire les différents polluants présents dans les eaux. Sont ainsi d'abord effectués des prétraitements puis une succession de traitements qui par étapes successives produisent les boues d'épuration [38]. Les objectifs principaux d'une filière boue sont la réduction des volumes et des nuisances. En effet, telles qu'elles ont été évacuées de la filière eau, les boues sont constituées à 99% d'eau [39]. Le traitement des eaux usées par boues activées est le procédé biologique le plus communément utilisé, le bon fonctionnement de ce type de procédé est conditionné en large partie par l'aptitude à la séparation entre la boue et l'eau traitée [40].

III.2. La définition des boues

Les boues d'épuration sont les principaux déchets issus du traitement biologique des eaux usées et sont constituées des matières organiques plus ou moins minéralisées, de la matière minérale issue de l'effluent, de bactéries et de leurs résidus.

III.3. La composition des boues résiduelles

La composition exacte des boues varie en fonction de l'origine des eaux usées, de la période de l'année, du type de traitement et de conditionnement pratiqués dans les stations d'épurations. Les boues résiduelles représentent avant tout une matière première composée de différents éléments (matière organique, éléments fertilisants (N, P, etc.), d'éléments traces métalliques, d'éléments traces organiques et d'agents pathogènes) [23].

III.3.1. La matière organique

La concentration en matière organique (MO) peut varier de 30 à 80 % de la matière sèche (MS). La MO des boues est constitué de matières particulières éliminées par gravité dans les boues primaires, des lipides (6 à 19 % de la matière organique), des polysaccharides, des protéines et des acides aminés (jusqu'à 33 % de la matière organique), de la lignine, ainsi que des produits de métabolisation et des corps microbiens résultant des traitements biologiques (digestion, stabilisation) [23].

III.3.2. Les éléments fertilisants et d'amendements

Selon la dose appliquée, les boues peuvent couvrir, en partie ou en totalité, les besoins des cultures en azote, en phosphore, en magnésium, calcium et en soufre ou peuvent aussi corriger des carences à l'exception du potassium [23]. Les éléments en traces tels que le cuivre, le zinc, le chrome et le nickel présents dans les boues sont aussi indispensables au développement des végétaux et des animaux [23].

III.3.3. Les éléments chimiques organiques et inorganiques

Les éléments traces métalliques (cuivre, le zinc) indispensables au développement des végétaux et des animaux, qui peuvent se classer dans la catégorie des éléments chimiques inorganiques, présentent de la toxicité à trop fortes doses [42]. En effet, un polluant peut être défini comme un élément ou un composé chimique ordinaire dont la nocivité n'apparaît qu'à partir d'une certaine concentration. Noté aussi que les éléments, tels que le cadmium et plomb sont des toxiques potentiels [23].

Aussi, dans les boues, une multitude de polluants organiques (hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), etc....) peuvent se trouver en concentrations en général de l'ordre de $\mu\text{g}/\text{kg}$ de matière sèche (MS). La nature et la concentration des eaux usées en polluants organiques et inorganiques sont très dépendantes des activités raccordées au réseau.

L'essentiel des contaminations chimiques vient des rejets industriels et dans une moindre mesure des rejets domestiques (utilisation de solvants, déchets de bricolage...). Du fait de la décantation lors du traitement, ces contaminants chimiques se retrouvent dans les boues à de très grandes concentrations par rapport aux eaux usées [42,23].

III.3.4. Les micro-organismes pathogènes

Les boues contiennent des milliards de microorganismes vivants qui jouent un rôle essentiel dans les processus d'épurations. Seule une infime partie est pathogène (virus, bactéries, protozoaires, champignons, helminthes, etc.) et provient en majorité des excréments humains ou animaux [42,23].

La concentration d'une eau usée en germes pathogènes dépend du secteur d'activité d'origine : les eaux provenant d'abattoirs ou de toute industrie traitant de produits d'animaux sont très largement contaminées. Ainsi, par mesure de précaution, et afin d'éviter de propager la maladie de la vache folle, il est interdit d'utiliser les boues d'épuration provenant des eaux usées des abattoirs ou des équarrissages pour fabriquer de la fumure ou du compost.

De ce fait, d'une façon générale, les boues doivent subir un prétraitement avant leur utilisation en agriculture [42,23].

III.4. Les types des boues

Lors de l'épuration des eaux usées, en fonction des différentes étapes du prétraitement, différents types de boues sont produites.

III.4.1. Les boues primaires

Elles sont issues du traitement primaire et sont produites par simple décantation, en tête de station d'épuration [43]. Ces boues sont fraîches, c'est-à-dire non stabilisées (forte teneur en matière organique) et fortement fermentescibles [43].

III.4.2. Les boues secondaires (autrement appelées boues activées)

Issues du traitement secondaire et récupérées après le décanteur secondaire (clarificateur), elles sont des boues fraîches biologiques, essentiellement sous forme de floccs de bactéries [43,44]. Leur pouvoir fermentescible dépend du temps de séjour dans le bassin d'aération [43].

III.4.3. Les boues mixtes

Le mélange de boues primaires et secondaires conduit à l'obtention des boues mixtes, dont la composition est dépendante de la quantité de boues primaires et secondaires produites

[43,44]. Très fermentescibles, ces boues subissent un traitement de stabilisation [43,44].

III.4.4. Les boues physico-chimiques

Ces boues sont issues d'un traitement utilisant des flocculants minéraux (sel de fer ou d'aluminium). Le traitement physico-chimique est principalement utilisé sur des boues industrielles ou pour l'élimination du phosphore en complément au traitement biologique [43].

III.5. Les caractéristiques des boues

III.5.1. Les caractéristiques chimiques des boues

III.5.1.1. Les matières en suspension

Elles représentent la fraction constituée par l'ensemble des particules organiques ou minérales, non dissoutes de la pollution. Elles constituent un paramètre important qui marque le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel [45].

III.5.1.2. Les matières volatiles sèches

Elles représentent la fraction organique des matières sèches et sont obtenus par calcination de ces matières sèches à 525 °C/2 h, la différence de poids entre les matières sèches à 105 °C et les matières sèches à 525 °C donne la (perte au feu) et correspondant à la teneur en matières volatiles sèches en (mg /l) d'une eau [45].

III.5.1.3. Les matières minérales

Elle représente le résultat d'une évaporation totale de l'eau, c'est-à-dire son (extrait sec) constitué à la fois par les matières en suspension et les matières solubles telles que les chlorures, les phosphates. Ce phénomène peut être accéléré par la présence d'une forte proportion de matière organiques consommatrices d'oxygène [45].

III.5.1.4. La fraction volatile (en % des matières sèches)

C'est le rapport des matières volatiles (en g/l) sur les matières sèches (en g/l). Elle donne une précieuse indication sur le degré de stabilisation de la boue et son aptitude à divers traitements (déshydratation, incinération....) [45].

III.5.1.5. La siccité

Les boues sont constituées d'eau et de matière sèche. La siccité est le pourcentage massique de matière sèche. Ainsi une boue avec une siccité de 10 % présente une humidité de 90%.

- Boues liquide : siccité de 0-10%.
- Boues pâteuses : siccité de 10 -25%.
- Boues solides : siccité de 25 -85%.
- Boues sèches : siccité supérieure à 85% [45].

III.5.1.6. L'indice de boue

L'indice de boue est défini à partir de tests de décantation permettant d'obtenir des volumes de boues compris entre 100 et 250 ml [9]. Si:

IB < 100 : correspondent à des boues qui sédimentent facilement.

100 < IB < 200 : décantation difficile (quelques filament).

IB > 200 : mauvaise décantation (boue riche en filament) [45].

III.5.1.7. Définition de volume de décantation

Le volume décanté pendant 30 min, doit impérativement être inférieur à 300 ml, au-delà, y a nécessité d'opérer une dilution des boues par de l'eau avant la réalisation du test [9].

III.5.2. Les caractéristiques biologiques des boues

Les boues résiduares contiennent une grande quantité de microorganismes (virus, bactéries et parasites), ils sont éliminés de l'eau avec les boues qui décantent. La concentration de pathogènes peut être réduite significativement par les procédés de traitement des boues, comme la digestion anaérobie, aérobie et compostage.

III.5.2.1. Les bactéries

On dénombre différents types de bactéries dans les boues, une partie de celle-ci est d'origine fécale et certaines sont porteuse de germe, elles peuvent donc être pathogènes.

On peut les classer en quatre types:

- Aérobie stricte qui ne se développent qu'en présence d'air, elles sont nombreuses dans les boues activées.

- Aérobies facultatives qui peuvent se développer en anaérobiose par consommation de l'oxygène contenue dans la matière organique (aéromonase).
- anaérobies facultatives qui peuvent supporter la présence de l'air mais ne se développent que grâce à des processus anaérobies (lactobacillus).
- anaérobies strictes dont le développement ne s'effectue qu'en anaérobiose (Clostridium) [45].

III.5.2.2. Les virus

On trouve des entérovirus, des adénovirus adsorbés sur la matière organique solide des boues dans une proportion non négligeable environ 30% des échantillons de boues. Leur élimination n'est pas facile à mener à bien mais selon l'utilisation ultérieure des boues, il faut s'en préoccuper.

III.5.2.3. Les parasites

On trouve de très nombreux parasites dans les boues d'origine fécale ou tellurique. Les cas les plus fréquents sont les œufs d'ascaris.

III.5.2.4. Les micropolluants

Les boues contiennent, en faible quantité de nombreux produits qui peuvent être soit toxiques pour les plantes, présentant des inconvénients ou même des dangers pour l'homme par l'intermédiaire des plantes.

III.5.3. Les caractéristiques physiques des boues

III.5.3.1. La viscosité

Les boues ne sont pas des liquides newtoniens, on mesure leur viscosité en fonction de la contrainte de cisaillement, cette viscosité permet de définir leur caractères thixotropes qui est important pour leur transport.

III.5.3.2. La masse volumique

Elle permet de calculer le volume de boue à convoyer, en l'absence de mesure pour une boue liquide ou pâteuse.

III.5.3.3. Le pouvoir calorifique

Les teneurs en matières organique des boues leur donne une aptitude à la combustion non négligeable qui permet de l'incinérer.

III.5.3.4. Le pouvoir calorifique inferieur

Son importance est primordiale en incinération, généralement exprime par rapport aux MV, il est reliev au C, H, N, O, S, par écriture de la stœchiométrie de combustion.

III.6. Le traitement des boues

III.6.1. Définition

Le traitement des boues est défini comme l'ensemble des opérations visant à modifier les caractéristiques des boues en excès afin de rendre leur destination finale faible et sans nuisances .Les boues subissent des traitement de déshydratation et de stabilisation avant d'être rejetées dans le milieu naturel ou réutilisation à des fins agricoles ou énergétique [7].

III.6.2. Les objectifs du traitement des boues

Les traitements spécifiques des eaux usées engendrent une matière organique hautement fermentescible. Trois principaux objectifs de traitements des boues seront distingués:

- 1 - Des traitements d'épaississement et/ou déshydratation et le séchage, des traitements de réduction de la teneur en eau pour améliorer leurs caractéristiques physiques, et de concentrer et diminuer le volume des boues à stocker et à épandre.
- 2 - Des traitements de stabilisation (réduction de nuisance olfactive) pour réduire la fermentescibilité des boues afin de limiter ou d'annuler les mauvaises odeurs.
- 3 - Des traitements d'hygiénisation qui visent à éliminer la charge des microorganismes pathogènes [7].

Les opérations de traitements des boues sont représentées dans le tableau **III.1** (voir ci-dessous)

Tableau III.1 : Les opérations de traitements des boues [7].

Opération	Objectif
Stabilisation	Limiter les évolutions ultérieures qui s'accompagnant de nuisances.
Concentration	Eliminer une partie de l'eau interstitielle afin d'éviter son transport.
Stockage	Assurer une capacité tampon harmonisant les besoins d'extraction et les possibilités d'évacuation à l'extérieur.
Homogénéisation	Donner au destinataire finale un produit connu et relativement constant.
Conditionnement	Modifier les caractéristiques de la boue afin de faciliter la séparation des phases solides et liquides.
Déshydratation	Augmenter la siccité afin de rendre le produit solide ou pâteux

III.6.3. Filière de traitement des boues d'épuration urbaines

Une fois collectées, les boues doivent subir différents traitements avant leur rejet. Ces traitements ont trois objectifs majeurs : la réduction du pouvoir fermentescible, la réduction de la masse des boues et la réduction des risques sanitaires [38].

La figure III.1 représente une ligne de traitement des boues. La filière de traitement des boues comprend quatre étapes principales :

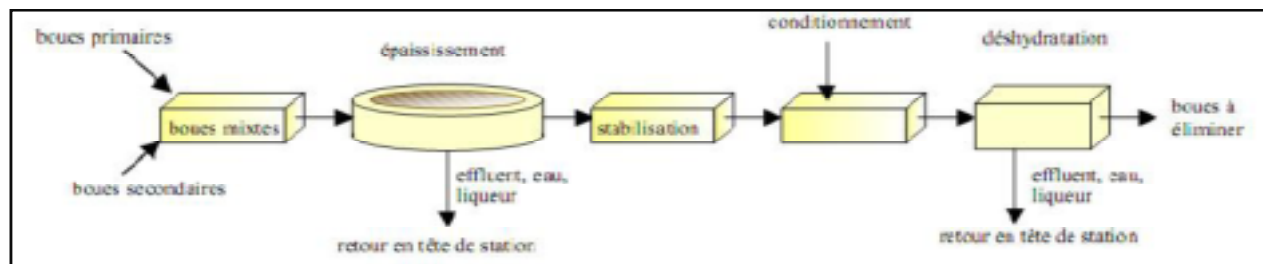


Figure III.1 : Schéma de principe d'une filière de traitement des boues [38].

III.6.3.1. L'épaississement

Cette étape permet de concentrer les boues, et donc de réduire leur volume. Selon la nature des boues, cette opération se fait généralement par décantation gravitaire (statique) ou par flottation. Elle peut aussi être réalisée par égouttage ou centrifugation.

Les boues sont épaissies, et l'eau retirée est renvoyée en tête de station, afin d'éliminer la pollution dissoute dans la fraction soluble. A ce stade, la siccité obtenue (teneur en matière sèche) est de l'ordre de 1 à 10%, selon les installations [46].

III.6.3.2. La stabilisation

Les boues de stations, en grande proportion à caractère organique, sont instables dans la mesure où des fermentations s'y développent, qui sont l'origine d'une mauvaise qualité des eaux et de nuisances olfactives. La stabilisation vise donc à réduire le taux de matières organiques de manière à empêcher ou tout du moins limiter les fermentations [42].

Cette étape permet de réduire le pouvoir fermentescible des boues, ainsi que les nuisances olfactives. Il existe trois grands types de stabilisation : la stabilisation biologique (digestion aérobie ou anaérobie, compostage), la stabilisation chimique (chaulage, stabilisation aux nitrites, oxydation) ou la stabilisation physique (séchage poussé) [38].

Les techniques biologiques permettent de dégrader les matières organiques, et conduisent à une réduction de la matière. En revanche, les techniques chimiques et physiques bloquent l'action des micro-organismes par inhibition de leur métabolisme [42].

III.6.3.3. Le conditionnement

Cette étape permet de préparer les boues à la déshydratation. En effet, afin de libérer l'eau contenue dans les boues, il est nécessaire de réduire la stabilité des colloïdes et de faciliter leur agrégation. Les procédés utilisés peuvent être physiques (traitement thermique) ou chimiques (ajout de sels minéraux ou de poly électrolytes). Le traitement thermique à 150°C – 200°C pendant 30 à 60 minutes est le plus efficace pour réduire l'hydrophile particulaire, mais il induit un fort problème d'odeur. Ainsi, et en raison d'un coût plus faible, la floculation chimique est plus souvent utilisée. Elle fait appel à des agents coagulants (de charge opposée à celle des particules contenues dans les boues) et/ou à des agents flocculant (formation de complexes hydratés). Généralement, les réactifs utilisés sont des sels de fer ou d'aluminium, de la chaux ou des polymères [38].

III.6.3.4. La déshydratation

Cette étape permet de réduire le volume des boues en éliminant le maximum d'eau. Il existe trois grands types de déshydratation : la déshydratation par filtration (sous pression, sur bandes), la déshydratation par évaporation (lits de séchage) et la déshydratation par centrifugation. Dans la pratique, à l'exception de certaines petites installations, la déshydratation est principalement réalisée par filtration ou centrifugation. L'eau retirée est renvoyée en tête de station, afin d'être traitée. A ce stade, la siccité obtenue est de l'ordre de 15 à 40%, selon les boues et les installations utilisées [46].

III.7. Les impacts des boues sur l'environnement

Les boues d'épuration sont considérées comme des déchets dangereux, qui tendent à concentrer les métaux lourds et les composés organiques faiblement biodégradables ainsi que, des organismes pathogènes (virus, bactéries...etc.) présent dans les eaux usées.

La plupart des polluants présents dans les boues d'épuration sont adsorbés par les particules du sol. Les modifications de la composition du sol vont essentiellement dépendre des propriétés du sol récepteur (sol de décharge), le substratum de la décharge, de situation géographique dans laquelle s'y trouve, et de climat du milieu.

Les lixiviats ou jus de décharge constituent le principal contaminant de la nappe phréatique. Les boues contiennent notamment des eaux et des éléments polluants les lixiviats qui peuvent percoler dans les nappes phréatiques, lors d'une période fortement pluvieuse et suivant l'écoulement des eaux, ils vont affecter les eaux de surface.

Le transport des quantités importantes des boues d'épuration et la mise en décharge présentent l'impact le plus important à cause de la dispersion des substances toxiques dans l'atmosphère et principalement l'émission gazeuse de sulfure et de l'azote qui peuvent être dangereuses pour la santé humaine et animale [45].

III.8. La valorisation des boues

La valorisation des boues a pour objectifs de limiter les frais de leur traitement et de leur transport. Elle dépend des conditions d'écoulement du produit, des besoins en énergie et du coût de celle -ci, du prix de la main d'œuvre , des réactifs de conditionnement, etc. la

protection de l'environnement imposent le développement de solutions avec le minimum de nuisances tout en restant économiquement supportable [7].

Les principales destinations des boues et sous –produit issus de leur traitement sont les suivantes :

III.8.1. Amendement des sols

Les boues sont généralement plus intéressantes par les matières humiques qu'elles apportent et par l'amélioration du pouvoir de rétention d'eau du sol que par le seul apport de matières nutritives. La forme sous laquelle se présentent ces matières nutritives est également importante car la vitesse d'assimilation en dépend: l'azote par exemple n'est assimilable qu'en partie la première année environ 30à50 pour les boues liquides et 20à40 pour les boues déshydratées. Les taux d'assimilation annuelle vont ensuite en décroissant.

III.8.2. Récupération de produits

La récupération n'est envisageable que sur certains éléments contenus dans les boues. La récupération concerne les éléments suivants:

- Les fibres issues des industries du papier-carton et du bois.
- Les protéines issues des industries de la viande à des fins de production d'aliments du bétail, ou pour la pisciculture.
- Les produits coagulants dans les boues provenant de la clarification d'eaux de rivière (par exemple acidification de boues).
- Réutilisation du carbonate de calcium et de la chaux des boues provenant d'un traitement massif à la chaux .tel est le cas ,par exemple des boues de décarbonatation d'eau potable utilisées pour le conditionnement avant déshydratation de boues à prédominance organique provenant du traitement biologique d'eau.
- Les éléments tels que le Zinc, Chrome, cuivre (Zn, Cu, Cr) dans les boues provenant d'une épuration d'eaux de traitements de surfaces métalliques.
- la réutilisation des boues minérales après séchage thermique ou des cendres d'incinération dans la construction des revêtements routiers, des produits stabilisations de sol ou de béton mais, une telle réutilisation n'a jusqu'à ce jour reçu que des applications limitées [7].

III.8.3. La décharge

En raison du volume important des boues, une solution est envisagée, en particulier sur les boues toxiques, est avant décharge, d'incorporer aux boues liquides des produits solidifiant (silicates, ciments, etc). Ce mode de traitement présente l'inconvénient de condamner définitivement des surfaces au sol important. De plus, les risques de lixiviation par les eaux de ruissellement ne semblent pas totalement écartés. Enfin, la mise en décharge commune des boues avec les ordures ménagères est une pratique encore fréquente. Les législations en matière varient suivant les pays. Il convient de ne pas dépasser une teneur maximale en eau du produit, de veiller à son homogénéité et de prendre les dispositions nécessaires à la protection de la nappe, avec collecte et traitement de la lixiviation [7].

III.8.4. Le rejet des boues en mer

Cette solution expéditive consiste le plus souvent en un déversement discontinu au large au moyen de barrages. Dans quelques cas cette évacuation est réalisée par un émissaire sous-marin suffisamment long et immergé en profondeur. Le choix d'un rejet en mer nécessite au préalable un examen minutieux et prolongé des courants ainsi que des études bactériologiques et piscicoles de qualité. La destruction des germes pathogènes et la dégradation des matières organiques en milieu marin sont lentes. Ainsi, les boues déversées en mer doivent être débarrassées des matières flottantes. La digestion anaérobie est le prétraitement préalable le plus souvent adopté [7].

III.8.5. Réinjection dans le sol

Cette solution envisagée essentiellement sur les boues toxiques ou des eaux très concentrées consiste à injecter les boues à l'état liquide à grande profondeur dans les poches poreuses du sous-sol isolées entre des couches continues perméables. Une étude géologique très sérieuse est évidemment indispensable [7].

III.8.6. L'incinération

L'incinération est une oxydation poussée à haute température de la matière organique volatile en un mélange gazeux ($\text{CO} + \text{H}_2\text{O} + \text{AO} + \text{CO} + \text{SO}$) et en eau. La matière minérale peut faire l'objet d'une oxydation mais reste minérale [41].

a- Avantages

L'incinération peut offrir certains avantages par rapport aux autres moyens d'élimination, comme la réduction à environ 20 du volume que constituent les solides des boues. Elle élimine aussi quelques problèmes environnementaux potentiels comme la présence de micro – organisme pathogène et des substances organiques toxiques.

b- Inconvénients

Cependant, il s'agit d'un procédé coûteux par le fait qu'il consomme une grande quantité d'énergie, en plus des problèmes de contamination de l'air par l'émission de substances toxiques (mercure et cadmium) à la suite de la combustion et l'enfouissement des cendres générées [7].

III.8.7. Utilisation agricole des boues

La valorisation agricole des boues résiduaires peut être considérée comme un mode de recyclage le plus adapté pour rééquilibrer les cycles biogéochimiques (cycle de carbone, cycle d'azote, cycle de phosphore) pour la protection de l'environnement. La valorisation des boues est d'un très grand intérêt économique .Elle vise à ménager les ressources naturelles et à éviter tout gaspillage de matière organique dû à l'incinération ou à l'enfouissement dans les décharges. Les boues résiduaires peuvent ainsi remplacer ou réduire l'utilisation excessive d'énergie [23].

III.8.8. Le compostage

Le compostage est un procédé prometteur de valorisation de déchets. Il permet d'obtenir, à partir de déchets organiques, un produit stable, hygiénisé. Ce produit peut être utilisé comme amendement agricole.

Le compostage des boues consiste à mélangée des boues fraîches et des coproduits de types cellulosique (déchets verts, copeaux de bois broyés). Le compostage permet une stabilisation, une hygiénisation et un séchage partiel de la boue. Il transforme la boue en un amendement organique proche d'un terreau [7].

III.8.9. La méthanisation

La méthanisation (ou fermentation anaérobie) est un procédé biologique permettant de valoriser des matières organiques qui sont dégradées partiellement en l'absence de l'oxygène (digestion anaérobie), par l'action combinée de plusieurs types de microorganismes qui

conduit à la formation du biogaz qui est source d'énergie renouvelable et d'un digeste utilisé comme fertilisant [47].

III.8.10. Solutions alternatives

- Oxydation par voie humide (OVH) :

Les boues épaissies (3 à 4% MS) sont éliminées par oxydation à chaud (220- 230°C) en présence d'air ou d'oxygène pur, sous pression (4000 à 13000 K Pa). Pour éviter une évaporation de l'eau. Le temps de séjour varie entre 30 et 60 minutes. La réaction détruit jusqu'à 95% de la matière organique en la transformant principalement en dioxyde de carbone et en ammoniac [45].

- La Co-incinération en cimenterie :

Cette technique offre une possibilité d'élimination des boues d'épuration déshydratées ou séchées [48].

- _ La gazéification :

Elle peut convertir à forte température (900- 1100°C) une énergie contenue dans un matériau solide en un résidu inerte et un gaz calorifique valorisable sous forme de chaleur ou d'électricité, avec des rendements énergétiques et un bilan environnemental favorable [49].

- _ Thermolyse :

La thermolyse ou pyrolyse des boues (> 85% MS) est obtenue en absence d'air (O₂ <2%), à moyenne (400- 500°C) ou haute (500- 700°C) température.

Cette distillation thermique nécessite un apport externe d'énergie et produit du gaz [45].

Conclusion générale

Conclusion générale

Compte tenu du volume d'eaux usées que produisent nos agglomérations et tous les risques épidémiologiques qu'elles peuvent engendrer, de part leurs composition en éléments pathogènes et leur nuisances, qu'elles soient olfactives visuelle ou sanitaire, il est plus que nécessaire de réagir pour diminuer les risque de pollutions qui y sont liées.

Pour le traitement des eaux, les méthodes et moyens existent tels que les stations d'épuration qui rejettent dans les lits des cours d'eau une eau épurée à 95% après traitement, mais ce traitement génère des résidus qui sont les boues. Celles-ci peuvent être source de pollution et posent des problèmes de stockage.

Le risque de pollution nous pousse vers la gestion des boues, il se repose sur la volonté de réduire au maximum la mise en décharge et développer par conséquent les modes de valorisation en équilibre avec le milieu naturel.

Dans cette recherche, nous avons trouvé des nombreuses façons de valorisation des boues résiduaires comme la valorisation agricole, le compostage, la méthanisation qui sont parmi les meilleures solutions au problème de pollution par les boues.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] ATTAB.S, Amélioration de la qualité microbiologique des eaux épurées par boues activées de la station d'épuration HAUD BERKAOUI par l'utilisation d'un filtre à sable local, Université Kasdi Merbah Ouargla ,2011.
- [2] QUEINNEC.I, Contribution à la Commande de Procédés Biotechnologiques : Application au Traitement Biologique de la Pollution. Habilitation à Diriger des Recherches, Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes du CNRS, Thèse de doctorat, Université paul sabatier (Sciences) habilitation a diriger des recherches, 2000.
- [3] ROUIN.N, BOUNEDJAR.W, Traitement des eaux usées par boues activée «Cas de la station d'épuration de la ville de Ain Defla», Université djilali bounaama khemis miliana. 2019.
- [4] HARZALLAH.B, Etude de la biodégradation du 2,5-diméthylphénol par le micro- biote des effluents d'entrée et de sortie de la station d'épuration des eaux usées d'IBN ZIAD. Mémoire de Magister. Microbiologie Appliquée. Université Mentouri Constantine. 102p. 2011.
- [5] BENAHCENE.A, BENZINA.H, Contribution à l'évaluation de la performance épuratoire de la station d'épuration des eaux usées de la station d'Ain Defla. Mémoire de Master. Ecologie et Environnement, Université djilali bounaama khemis miliana .2018.
- [6] Mizi.A, 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. Anaba.2006.
- [7] BOUTRIG.A, MAYOUF.A, Contribution à l'étude des eaux usées et caractérisation des boues résiduelles a la station d'épuration de SOUR EL GHOZLANE. Mémoire de Master. Science et gestion d'environnement, Université akli mohand oulhadj Bouira .2017.
- [8] Benelmouaz.A, Performances épuratoires d'une station d'épuration de Maghnia, Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaid.Tlemsen .2015.
- [9] RODIER.J, L'analyse de l'eau, 9^e édition, Dunod, Paris. 2009.
- [10] PAUL JEAN, BEADRY. Chimie des eaux le griffen d'argile. 1992.
- [11] RODIER.J, L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduelles, eau de mer.1996.

- [12] FABY.J, A.BRISSAUDF, L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation, Office international de l'eau, 76p. 1997.
- [13] BOUAZZA.L, Effet de la coagulation –floculation sur la qualité des eaux épurées de la STEP de Ain El Houtz, mémoire de magister en chimie, Université de Tlemcen ,106p. 2011.
- [14] LEZOUL.S, BENKADI.O Etude de l'efficacité de la station d'épuration de Réghaia et l'impact de la pollution sur Le lac de Réghaia, mémoire de master en génie des procédés Université Mohamade bougra Boumerdes .2017.
- [15] Rodier.J, L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8^e édition, Dunod, Paris.2005.
- [16] Grosclaude.G, L'eau : usage et polluants. Edition INRA, 210p. 1999.
- [17] DJEDDI.H, utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines. Mémoire de Magistère en Ecologie et Environnement, Université Mentouri Constantine .2007.
- [18] ALOUANE. N, BOUCHIFAT.M, Gestion des sous produits de l'épuration des eaux usées urbaines de la station d'épuration de la ville de Bouira, Mémoire de master en Sciences et gestion de l'environnement, Université akli mohand oulhadj Bouira .2017.
- [19] Centre d'expertise et de référence en santé publique, institut national de santé publique QUEBEC (INSPQ).
- [20] L'Organisation mondiale de la santé (OMS) .1989.
- [21] Journal officiel de la république algérienne .2006.
- [22] Aoulmi S, Conception de la station d'épuration dans la ville d'Eddine (W. Ain Defla), thèse de l'école nationale supérieure de l'hydraulique. 2007.
- [23] Amir.S, Contribution à la valorisation de boues de stations d'épuration par compostage : devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost. Thés. Doctorat., Institut nationale de polytechnique de Toulouse. 341p. 2005.
- [24] Irrigation avec les eaux usées traitées. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (F.A.O). Bureau Régional pour le Proche Orient et Bureau sous régional pour l'Afrique du Nord. 73p .2003.
- [25] GAGNON. J, Les égouts domestiques, un engrais valable en foresterie environnement Canada. Centre de recherches forestières des Laurentides. Québec. Rapport Q - F - X -.1972.

- [26] TELLI .S, Etude sur la valorisation par séchage solaire des boues d'épuration des eaux urbaines – cas de la station d'Office Nationale d'Assainissement (ONA) Tlemcen , Mémoire de Master en génie énergétique et environnement , Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen .2013.
- [27] Léonard. A, Etude du séchage convectif de boues de station d'épuration suivi de la texture par micro tomographie à rayons x, thèse de doctorat, Faculté des Sciences Appliquées Université de Liège .2002.
- [28] YOUB.O, Epuration des eaux usées par lagunage naturel Etude de la performance du dispositif de traitement des eaux usées par Lagunage naturel d'Ain Ouarka Naama , mémoire de Magister , Science de l'Environnement et Climatologie, Université D'Oran .2008.
- [29] F. R. Spellman, Hand book of water and wastewater treatment plant operations, Lewis Publishers, Boca Raton London .2003.
- [30] NEDJAH.N, Déphosphatation physico-chimique et biologique des eaux usées, Doctorat en sciences, Université badji mokhtar-Annaba .2016.
- [31] Edeline. F, L'épuration biologique des eaux, 4^e édition entièrement revue et complétée 5^e tirage. 1993.
- [32] ALLAOUI.K, Modélisation hydraulique d'un bassin d'aération des stations d'épuration des eaux usées, mémoire de magister, Hydraulique Urbaine et Construction Hydraulique, Université Badji mokhtar Annaba .2009.
- [33] ANGELAKIS A.N, MARECOS DO MONTE M.H.F, BONTOUX. L. ET ANSANO.T, The status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin: need for guidelines. Elsevier Science Ltd. PII: S0043-1354(98)00465-5.17p.1998.
- [34] TAMRABET.L, Contribution à l'étude de la valorisation des eaux usées en maraichage. Thèse de doctorat en sciences. Hydraulique, Université Hadj Lakhdar –Batna. Institut de Génie Civil, d'Hydraulique et d'Architecture 147p. 2011.
- [35] BAUMONT, S., CAMARD, J.P., LEFRANC, A. et FRANCONI, A., Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Observatoire Régional de Santé d'Île-de-France, 176 p. 2004.
- [36] ROTBARDT.A, Réutilisation des eaux usées traitées-Perspectives opérationnelles et recommandations pour l'action. Rapport final. Agence Française De Développement.2011.

- [37] NEUBERT S. et BENABDALLAH S, La réutilisation des eaux usées traitées en Tunisie, Études et rapports d'expertise, Institut Allemand de Développement. 2003.
- [38] CHIBANI. S, Analyses physico-chimique et rhéologique des boues d'épuration des eaux usées de la ville de Guelma, mémoire de magister, génie des procédés, Université 08 Mai 1945 de Guelma .2010.
- [39] TIXIER. N, Approche des propriétés rhéologiques de suspensions biologiques flocculées, thèse de doctorat, Chimie et Microbiologie de l'Eau, université de Limoges, p 177.2003.
- [40] BOUGRIER. C, Optimisation du procédé de méthanisation par mise en place d'un Co-traitement physico-chimique : Application au gisement de biogaz représenté par les boues d'épuration des eaux usées, thèse de doctorat. Génie des procédés, université Montpellier II.2005.
- [41] DAGOT CH LAURENT. J Module d'enseignement ASTEP, Version 1.0, 88p .2014.
- [42] Amadou. H Modélisation de séchage solaire sous serre des boues de station d'épuration urbain. Thèse de doctorat, Université louis pasteur Strasbourg, 355p. 2007.
- [43] Mefth. A Valorisation énergétique par la méthanisation de boues de station d'épuration (STEP), Cas d'étude station Est de la ville Tizi-Ouzou (pont de bougie), mémoire de mastère, énergétique, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [44] Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, Méthanisation des boues de stations : règle de l'art et état des lieux sur les bassins Rhône-Méditerranée Corse.2012.
- [45] MAZOUNI. A, RAMDANI. A Traitement et valorisation des boues de station d'épuration d'Oued D'Hous la ville de Bouira. Mémoire de master, Eau, Santé et Environnement, Université akli Mohand Oulhadj-Bouira.2017.
- [46] Pernin. C, Épandage de boues d'épuration en milieu sylvo-pastoral. Étude des effets in situ et en mésocosmes sur la mésofaune du sol et la décomposition d'une litière de chêne liège (*Quercus suber* L.) .p 220. 2003.
- [47] CHARABI. M, Possibilités de réutilisation des eaux épurées et valorisation des boues de la station d'épuration de Boumerdes , Mémoire de master, Hydraulique, MAI 2016.
- [48] BOEGLIN. J, Traitements et destinations finales des boues résiduelles, (en ligne) disponible sur <<http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie->

bioagroth2/genie-des-procedes-et-protection-de-l-envirennement-42327210/traitements-et-destinations-finales-des-boues-rèsiduaires-j3944/>. septembre 2020.

[49] Xylowatt. Gazéifications de boues de STEP, p5.septembre 2020.

Annexes

Annexes

SPECIFICATIONS DES EAUX USEES EPUREES UTILISEES A DES FINS D'IRRIGATION

1. PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES

GROUPES DE CULTURES	PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES	
	Coliformes fécaux (CFU/100ml) (moyenne géométrique)	Nématodes intestinaux (œufs/l) (moyenne arithmétique)
Irrigation non restrictive. Culture de produits pouvant être consommés crus.	<100	Absence
Légumes qui ne sont consommés que cuits. Légumes destinés à la conserverie ou à la transformation non alimentaire.	<250	<0,1
Arbres fruitiers (1). Cultures et arbustes fourragers (2). Cultures céréalières. Cultures industrielles (3). Arbres forestiers. Plantes florales et ornementales (4).	Seuil recommandé <1000	<1
Cultures du groupe précédent (CFU/100ml) utilisant l'irrigation localisée (5) (6).	pas de norme recommandée	pas de norme recommandée

(1) L'irrigation doit s'arrêter deux semaines avant la cueillette. Aucun fruit tombé ne doit être ramassé sur le sol. L'irrigation par aspersion est à éviter.

(2) Le pâturage direct est interdit et il est recommandé de cesser l'irrigation au moins une semaine avant la coupe.

(3) Pour les cultures industrielles et arbres forestiers, des paramètres plus permissifs peuvent être adoptés.

(4) Une directive plus stricte (<200 coliformes fécaux par 100 ml) est justifiée pour l'irrigation des parcs et des espaces verts avec lesquels le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels.

(5) Exige une technique d'irrigation limitant le mouillage des fruits et légumes.

(6) A condition que les ouvriers agricoles et la population alentour maîtrisent la gestion de l'irrigation localisée et respectent les règles d'hygiène exigées. Aucune population alentour.

2. PARAMETRES PHYSICO – CHIMIQUES

PARAMETRES		UNITÉ	CONCENTRATION MAXIMALE ADMISSIBLE
Physiques	pH	—	$6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$
	MES	mg/l	30
	CE	ds/m	3
	Infiltration le SAR = 0 - 3 CE	ds/m	0.2
	3 - 6		0.3
	6 - 12		0.5
12 - 20	1.3		
20 - 40	3		
Chimiques	DBO5	mg/l	30
	DCO	mg/l	90
	CHLORURE (Cl)	meq/l	10
	AZOTE (NO ₃ - N)	mg/l	30
	Bicarbonate (HCO ₃)	meq/l	8.5
Eléments toxiques (*)	Aluminium	mg/l	20.0
	Arsenic	mg/l	2.0
	Béryllium	mg/l	0.5
	Bore	mg/l	2.0
	Cadmium	mg/l	0.05
	Chrome	mg/l	1.0
	Cobalt	mg/l	5.0
	Cuivre	mg/l	5.0
	Cyanures	mg/l	0.5
	Fluor	mg/l	15.0
	Fer	mg/l	20.0
	Phénols	mg/l	0.002
	Plomb	mg/l	10.0
	Lithium	mg/l	2.5
	Manganèse	mg/l	10.0
	Mercuré	mg/l	0.01
	Molybdène	mg/l	0.05
	Nickel	mg/l	2.0
	Sélénium	mg/l	0.02
	Vanadium	mg/l	1.0
Zinc	mg/l	10.0	

(*) : Pour type de sols à texture fine, neutre ou alcalin.

QUELQUES PARAMETRES CARACTERISTIQUES DES BOUES ACTIVEES

Le Débit (Q) :

C'est un volume par unité de temps (m^3/j - m^3/h - l/s).

Đ Débit de pointe : débit horaire maxi reçu par la station.

Đ Débit moyen 24 h : débit moyen horaire reçu par la station ($\frac{Q \text{ jour}}{24}$)

La Concentration (C) :

C'est une masse par unité de volume (mg/l - g/l = kg/m^3)

Ce paramètre renseigne sur la qualité de l'effluent.

Le Flux (ou charge) (F) :

C'est le produit du débit (Q) par la concentration (C) (kg/j)

$F = C \times Q$ (maintenir des unités identiques : $kg/j = kg/m^3 \times m^3/j$).

C'est un paramètre important qui renseigne sur la quantité de pollution.

Exemple : une concentration en matières de suspension de 300 mg/l, et un débit de 100 m^3/j , donnera un flux de matières en suspension de :

$(C = 300mg/l = 300 g/m^3 = 0,3 kg/m^3)$

$F = C \times Q = 0,3 \times 100 = 30 kg/j$.

La charge hydraulique de la station :

C'est le rapport du débit reçu sur la capacité hydraulique nominale de la station. Elle s'exprime en % de la capacité nominale.

Exemple : une station de capacité nominale 1000 m^3/j reçoit un débit de 200 m^3/j .

La charge hydraulique : $\frac{200}{1000} = 20 \%$

La charge organique de la station :

C'est le rapport de la pollution reçue sur la capacité nominale de la station elle s'exprime en % du flux nominal en DBO5.

Exemple : une station de capacité nominale 1000 kg DBO5/j reçoit une charge en pollution de 300 kg/j (DBO5)

La charge organique = $\frac{300}{1000} = 30 \%$

Le rendement épuratoire de la station ;

C'est le rapport de la pollution éliminée dans la station sur la pollution reçue. Il définit les performances de la station.

Exemple : une station reçoit une charge en matières en suspension de 200 kg/j (DBO5). Elle rejette une charge de 10 kg/j.

Le rendement épuratoire sera : $\frac{200 - 10}{200} = 0,95 = 95 \%$

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.

$$C_m = \frac{\text{nourriture}}{\text{boues}} = \frac{\text{kg DBO5 reçue}}{\text{kg MVS (bassin d'aération)}}$$

elle caractérise l'équilibre biologique du traitement

Exemple : une station équipée d'un bassin d'aération de 5 150 m³ avec une concentration en boues activées de 4,3 g/l et un taux de MVS (matières organiques = matières actives des boues) de 75 %, reçoit une charge polluante de 1000 kg DBO5/j :

quantité de boues = volume du bassin x concentration en MVS =
5 150 x 4,3 x 0,75 = environ 16 610 kg MVS

$$C_m = \frac{1000}{16610} = 0,06 \text{ kg DBO5 /kg MVS / jour}$$

La charge volumique : Cv :

C'est le rapport de la charge en DBO5 reçue sur le volume du bassin d'aération.

$$C_v = \frac{\text{kg DBO5 reçue}}{\text{m}^3 \text{ (bassin d'aération)}}$$

→ **permet d'estimer la capacité du bassin d'aération**

Exemple : Une station équipée d'un bassin d'aération de 5 150 m³, reçoit une charge polluante de 1000 kg DBO5/j.

$$C_v = \frac{1000}{5150} = 0,195 \text{ kg DBO5 /m}^3 \cdot \text{j}$$

Des charges massique et volumique faibles témoignent d'un ratio nourriture/boues favorable à une élimination poussée de la pollution carbonée et azotée.

On distinguera ainsi 5 classes de boues activées :

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

Le temps de séjour : Ts :

C'est le temps de séjour hydraulique de l'eau dans un bassin, il correspond au rapport du volume du bassin (V) sur le débit de l'effluent entrant (Q).

$$Ts = \frac{V \text{ (m}^3\text{)}}{Q \text{ (m}^3\text{/h)}}$$

On distinguera le temps de séjour sur le débit moyen 24 h et celui sur le débit de pointe.

Exemple : une station équipée d'un bassin d'aération de 5 150 m³, reçoit un débit moyen 24 h (Q24) de 160 m³/h et un débit de pointe (Qp) de 250 m³/h.

Le temps de séjour dans le bassin d'aération sera :

- sur le Q24 : Ts moyen = $\frac{5\ 150}{160} = 32,2$ heures
- sur le Qp = Ts pointe = $\frac{5\ 150}{250} = 20,6$ heures

Un temps de séjour élevé dans le bassin d'aération permettra une élimination poussée de la pollution carbonée et azotée.

L'Age des boues : A :

L'Age des boues représente le temps de séjour des boues dans le bassin d'aération : celui-ci est plus important que le temps de séjour de l'eau à traiter du fait de la recirculation des boues décantées.

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.

$$A = \frac{S}{E} = \frac{V_{BA} \times \{MS\}_{BA}}{QE \times \{MS\}_E}$$

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/m^3 MS

Exemple : une station est équipée d'un bassin d'aération de $5\,150\,m^3$

concentration des boues activées : $3g/l$

Concentration des boues en excès : 6

g/l Débit d'extraction : $100\,m^3/j$

$$\text{Age des boues} = \frac{VBA \times \{MS\}_E}{QE \times \{MS\}_E} = \frac{5\,015 \times 3}{100 \times 6} = 25,8 \text{ jours}$$

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

La vitesse ascensionnelle : VA :

Appelée aussi charge hydraulique, elle traduit la vitesse de remontée de l'eau dans le clarificateur qui s'oppose à la vitesse de décantation des particules de boues (VD) - VA doit être largement inférieure à VD . Elle correspond au rapport du débit de l'effluent reçu (Q) sur la surface horizontale du clarificateur S (surface miroir du plan d'eau, compte non tenu de la jupe d'alimentation).

$$VA \text{ (m/h)} = \frac{Q \text{ (m}^3\text{/h)}}{S \text{ (m}^2\text{)}}$$

On distinguera la vitesse ascensionnelle sur le débit moyen 24 h et celle sur le débit de pointe.

Exemple : une station équipée d'un clarificateur de volume $4\,200\,m^3$ et de surface $S = 962\,m^2$, reçoit un débit moyen 24 h (Q_{24}) de $160\,m^3/h$ et un débit de pointe (Q_p) de $250\,m^3/h$.

La vitesse ascensionnelle dans le clarificateur sera :

$$\text{Sur le } Q_{24} : \quad VA \text{ moyen} = \frac{160}{962} = 0,17 \text{ m/h}$$

$$\text{Sur le } Q_p : \quad VA \text{ pointe} = \frac{250}{962} = 0,26 \text{ m/h}$$

Dans la pratique, on dimensionnera les ouvrages de clarification pour une vitesse ascensionnelle maxi de $0,6\,m/h$

La Production de boues (P) :

Dans le cas d'effluents domestiques et pour les stations à aération prolongée, on retiendra une production de boues égale à 80 % de la charge en DBO5 éliminée (L_e)

$$P = 0,8 \times L_e$$

P = Production journalière de boues (kg MS)

L_e = Masse journalière de DBO5 éliminée (kg DBO5/j).

Exemple : une station reçoit 1000 kg de DBO5/j et a un rendement épuratoire de 95 % sur ce paramètre.

Masse de DBO5 éliminée/j :

$$L_e = 1000 \times 0,95 = 950 \text{ kg DBO5/jour}$$

Production de boues :

$$P = 0,8 \times L_e = 0,8 \times 950 = 760 \text{ kg MS.}$$

En pratique, on calculera la production de boues sur la quantité de DBO5 reçue (1000 kg/j dans l'exemple).