REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHESCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Hygiène et sécurité industrielle

Spécialité : Hygiène et sécurité industrielle

Evaluation de l'élimination du risque biologique dans les procédés de traitement des eaux usées.

Préparé et présenté par :

- **REZAZI Zakaria**
- **RABHI Ahmed**

proposé et dirigé par :

Mr. Rahmani Ahmed Cherif

Année universitaire 2021/2022

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers tous ceux qui nous ont aidés et soutenus dans les moments difficiles.

Tout d'abord nous remercions ALLAH de nous avoir guidé et donné le courage et la force d'accomplir ce modeste travail.

Nos remerciements vont à notre promoteur Mr. **RAHMANI Ahmed Cherif** pour avoir eu la patience de répondre à nos questions.

Notre respect aux membres de jury qui ont bien voulu accepter de juger ce modeste travail, d'adopter leurs réflexions et leurs critiques scientifiques.

A la fin, nous aimerions exprimer notre gratitude à tous les enseignants et les employeurs de notre université YAHIA FARES.

A toute les personnes qui nous ont encouragé et soutenu du pré ou du loin durant la réalisation de ce travail.

Dédicacé

Avant toute chose je remercie ALLAH Tout Puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour accomplir cet humble travail, fruit de mes années de dur labeur.

Mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi, et qui m'ont donné un Magnifique modèle de labeur et de persévérance. J'espère qu'ils trouveront dans ce Travail toute ma reconnaissance et tout mon amour

A mes frères et sœurs et ceux qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail.

A monsieur RAHMANI Ahmed Cherif pour tout ce qu'il m'a apporté au long mon parcours d'étude

A tous mes amies qui m'ont toujours encouragé, et a qui souhaite plus De succès.

Zakaria

Dédicacé

Avant toute chose je remercie ALLAH Tout Puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour accomplir cet humble travail, fruit de mes années de dur labeur.

Mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi, et qui m'ont donné un Magnifique modèle de labeur et de persévérance. J'espère qu'ils trouveront dans ce Travail toute ma reconnaissance et tout mon amour

A mes frères et sœurs et ceux qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail.

A monsieur RAHMANI Ahmed Cherif pour tout ce qu'il m'a apporté au long mon parcours d'étude

A tous mes amies qui m'ont toujours encouragé, et a qui souhaite plus De succès.

Ahmed

ملخص

تؤثر مياه الصرف الصحي بشكل سلبي في الانسان والبيئة من خلال انتشار المكروبات ومسببات الامراض،مايؤثر سلبا على صحة الانسان وزيادة احتمالية اصابته بالامراض المستعصية،حيث تسبب البكتيريا الموجودة في مياه الصرف الصحي العديد من الامراض، ولذلك بات من الضروري الاستفادة من مياه الصرف الصحي في الاستعمالات اليومية، حيث ابتكر نظام خاص بمعالجة مياه الصرف الصحي ليصبح بالإمكان إعادة استخدامها في المصانع، او المنشات الزراعية او غيرها،ويمرنظام المعالجة للمياه بالراحل فيزيوكيميائية وبيولوجية لضمان الحصول على مياه نقية خالية من كافة الشوائب بدءا من المعالجة الأولية ثم العلاج الاولي ثم العلاج البيولوجي وصولا الى مرحلة التسريب النهائية للحمأ وستعادتها .

ومن خلال بعض النتائج لي طلب الاكسجين البيولوجي في 5 أيام، والطلب على الاكسجين الكيميائي و المواد المعلقة نستنتج أن المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي فعالة جدا.

Résumé

Les eaux usées affectent négativement les humains et l'environnement par la dispersion de microbes et d'agents pathogènes, ce qui affecte négativement la santé humaine et augmente la possibilité de contracter des maladies incurables, car les bactéries présentes dans les eaux usées causent de nombreuses maladies, et il est donc nécessaire de tirer parti des eaux usées dans les utilisations quotidiennes , où un système spécial de traitement des eaux usées a été conçu afin qu'il puisse être réutilisé dans les usines, les installations agricoles ou autres, et le système de traitement de l'eau passe par les étapes physico-chimiques et biologiques pour assurer l'obtention d'une eau pure exempte de toutes impuretés, dès le traitement initial , puis le traitement initial, puis le traitement biologique jusqu'à l'étape finale d'infusion des boues et seront restaurés.

A travers quelques résultats de DBO_5, DCO et MES, nous concluons que le traitement biologique des eaux usées est très efficace.

Abstract

Sewage negatively affects humans and the environment through the dispersal of microbes and pathogens, which negatively affects human health and increases the possibility of contracting incurable diseases, since bacteria in sewage cause many diseases, and therefore it is necessary to take advantage of wastewater in daily uses, where a special wastewater treatment system has been designed so that it can be reused in factories, agricultural or other facilities, and the system water treatment goes through physico-chemical and biological stages to ensure that pure water is obtained free of all impurities,

from the initial treatment, then the initial treatment, then the biological treatment up to the final sludge infusion and will be restored.
Through some results of BOD_5, COD and MES, we conclude that the biological treatment of wastewater is very effective.

Mots clés :

traitement physico-chimique ; traitement biologique ; coagulation ; floculation ; Filtration ; Pollution ; Métaux lords ; boues activée.

Liste des abréviation :

ERU : Eaux Résiduaires Urbaines

DBO5 : Demande biochimique en oxygène

MES : Matière en suspension

MVS : Matière Volatil en Suspension

MMS : Matière Minérale en Suspension

DCO : Demande chimique en oxygène

ONA : l'office national d'Assainissement

STEP : Station d'Epuration

ETM: Eléments traces métalliques

CTO : Composés traces organiques

pH : potentiel d'Hydrogène

Liste des tableaux

Chapitre II : Procédés Des Traitement Des Eaux Usées

Tableau II. 1. Les meilleurs coagulants utilisés. 19

Tableau II.2. Le rendement de réduction par décantation de la pollution (%). 21

Chapitre III : Etat de l'épuration des eaux usées et domaine de valorisation Des boues en Algérie

Tableau III.1. Répartition des stations d'épuration en Algérie selon procédé (2018). 30

Tableau III.2. différentes quantités épandues. 41

Tableau III.3. Résultats d'analyses du sol. 41

Tableau III.4. compositions du biogaz de la station d'épuration d'El Kerma**.** 43

Liste des figures

Chapitre I: Généralité sur les eaux usées.

Figure I.1: Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées (Sahnoun, A.2010). 10

Figure I.2. Dégrilleur 20mm. 11

Figure I.3. Dessaleur. 12

Figure I.4. Dessablage-Déshuilage. 13

Chapitre II : Procédés Des Traitement Des Eaux Usées.

Figure. II.1. Schéma de base du procédé de boues activées. 28

Figure II.2. Brassage et aération des eaux (STEP MEDEA). 28

Chapitre III : Etat de l'épuration des eaux usées et domaine de valorisation Des boues en Algérie.

Figure III.1. Production des boues à la station d'épuration de Mascara (2017). 31
Figure III.2. Production des boues à la station d'épuration d'Ain Témouchent (2017). 32
Figure III.3. Production des boues à la station d'épuration de Tlemcen (2017). 32
Figure III.4. Production des boues à la station d'épuration d'El Kerma (2017). 33
Figure III.5. Répartition des stations d'épuration dans l'ouest(ONA, SEOR, 2018). 36
Figure III.6. L'état de l'épuration dans la wilaya de Mascara (ONA, DRE, 2018). 37
Figure III.7. Site expérimental pour l'épandage de boues sur les terres agricoles. 40
Figure III.8. Production de biogaz de la station d'El Kerma (année 2014). 43
Figure III.9. Production du biogaz à la station d'El Kerma année 2016. 43
Figure III.10. Production du biogaz de la station d'El Kerma année 2017. 44
Figure III.11. Equivalence énergétique du méthane. 45
Figure III.12. Production du méthane (CH_4) à la station (année 2014). 45
Figure III.13. Production de méthane à la station d'épuration (2016). 46
Figure III.14. Production du méthane à la station (année 2017). 46
Figure III.15. Production du CO_2 (année 2014). 47
Figure III.16. Production de CO_2 de l'année 2016. 47
Figure III.17. Production du CO_2 a l'année 2017. 48
Figure III.18. Production du H_2S de la station de l'année 2014. 48
Figure III.19. Production de H_2S de la station d'épuration de l'année 2017. 49

Chapitre IV: Gestion de l'environnement et valorisation des boues.

Figure IV.1. Schéma de principe de fonctionnement d'un épaississeur gravitaire (JosephP.,2002). 61

Figure IV.2. Déshydratation mécanique par filtre à bandes (Joseph P.,2002) 63

Figure IV.3. Principe de filtre presse. 64

Figure IV.4. Coupe longitudinale d'une centrifugeuse à axe horizontal. 64

Figure IV.5. Le compostage. 67

Sommaire

Introduction Générale 1

Chapitre I: Généralité sur les eaux usées.

I.1 Généralité 2

I.2 Définition des eaux usées 2

I.3 Origine des eaux usées 2

I.3.1 Les eaux usées urbaines 3

I .3.1.1 Les eaux usées domestiques 3

I.3.1.2 Les eaux usées ruissellement 3

I.3.2 Les eaux industrielles 3

I.3.2.1 Eaux à caractère minéral dominant 4

I.3.2.2 Eaux à caractère organique dominant 4

I.3.2.3 Eaux à caractère mixte 4

I.3.2.4 Les eaux résiduaires résultant d'activité artisanales 4

I.3.3 Eaux d'origine agricole 5

I.3.3.1 Eaux issue des pesticides 5

I.3.3.2 Eaux issue des fertilisants 5

I.4 Evaluation de la pollution 5

I.4.1 Principaux polluants 5

I.4.1.1 Pollution minérale 6

I.4.1.2 Pollution microbiologique 6

I.4.1.3 Métaux lords 6

I.4.2 Pollution des eaux résiduaires urbaines 6

I.4.2.1 Matière en suspension 6

I.4.2.2 Matière organique 7

I.4.2.2.1 Demande biochimique en oxygène 7

I.4.2.2.2 Demande chimique en oxygène 7

I.4.2.2.3 Carbone organique total 7

I.4.3 Matière azotée 7

I.4.4 Matière phosphorée 8

I.4.5 Microorganismes 8

I.5 Procédés d'épuration des eaux usées 9

I.5.1 Prétraitement 10

I.5.1.1 Dégrillage 11

I.5.1.2 Le tamisage 11

I.5.1.3 Dessablage 12

I.5.1.4 Déshuilage – dégraissage 12

I.5.2 le traitement primaire 13

I.5.3 Le traitement secondaire 13

I.5.4 Le traitement tertiaire 14

I.5.4.1 La phosphations 14

I.5.4.2 La désinfection 14

I.5.4.3 Elimination de l'azote 15

Chapitre II : Procédés Des Traitement Des Eaux Usées.

II.1. Procédés physico –chimiques 16

II.1.1. Coagulation-floculation 16

II.1.1.1. Phénomène de la coagulation 16

II.1.1.2. Phénomène de la floculation 19

II.1.2. Décantation 20

II.1.3. Flottation 21

II.1.3.1. Principe de base 21

II.1.3.2. Limite d'utilisation 21

II.1.4. Filtration et adsorption 22

II.1.4.1. Filtration 22

II.1.4.2. Adsorption 23

II. 2. Traitement biologique 24

II.2.1. Généralités sur les traitements biologiques 24

II.2.2. Les procédés extensifs 24

II.2.2.1. L'épandage 25

II.2.2.2. Le lagunage 25

II.2.3. Les procédés intensifs 26

II.2.3.1. Le lit bactérien 26

II.2.3.2. Le disque biologique 26

II.2.3.3. Epuration biologique par les boues activées 27

Chapitre III : Etat de l'épuration des eaux usées et domaine de valorisation Des boues en Algérie.

III.1. Etat des stations d'épuration en Algérie 30
III.2. Production des boues en Algérie 31
III.3. Etat des stations d'épuration en ouest 33
III.3.1. Efficacité de l'épuration 34
III.3.2. L'état actuel de l'épuration dans l'ouest 36
III.4. L'état de l'épuration dans la wilaya de Mascara 37
III.5. L'état de gestion des boues en Algérie 38
III.6. L'épandage 39
III.6.1. Présence des micropolluants avant et après épandage 39
III.6.2. Mesure de la présence dans la boue 39
III.6.3. Expérience d'épandage des boues de la stop d'EL KERMA 40
III.6.3.1. Quantités des boues épandues 41
III.7. Gestion de biogaz 42
III.7.1. Composition du Biogaz 42
III.7.2. Production du biogaz à la station 43
III.8. Valorisation énergétique 45
III.8.1. Production du méthane CH4 à la station 45
III.8.2. Production du CO2 à la station 45
III.8.3. Production du H2S à la station 48
III.9. Taux de satisfaction en énergie 49

Chapitre IV: Gestion de l'environnement et valorisation des boues .

IV.1. Origines des boues résiduaires urbaines 53
IV.2. Les différents types de boues résiduaires urbaines 53
IV.2.1. Etat physique d'une boue 54
IV.3. Composition des boues résiduaires 55
IV.3.1. Matière organique 55
IV.3.2. Eléments fertilisants et amendements 56
IV.3.3. Contaminants chimiques inorganiques et organiques 56
IV.3.3.1. Eléments traces métalliques (ETM) 56
IV.3.3.2. Composés traces organiques (CTO) 56
IV.3.4. Les micro-organismes pathogènes 57
IV.4. Techniques de traitement des boues 58
IV.4.1. L'épaississement des boues 60
IV.4.1.1 L'épaississement statique gravitaire 61
IV.4.1.2. L'épaississement dynamique 61
IV.4.2. La déshydratation des boues 61
IV.4.2.1. La déshydratation par filtration 62
IV.4.2.2. La centrifugation 64
IV.4.2.3. Le séchage 65
IV.5 Valorisation énergétique 65
IV.5.1. Le Compostage 66
IV.5.2. Valorisation agricole 67
IV.5.3. Valorisation industrielle 68
IV.5.4.valorisation en dépollution des rejets industriels 69
IV.5.5.Mise en décharge 69
Conclusion générale. 70
Référence bibliographiqu

Introduction Générale

La pollution des eaux est devenue de plus en plus préoccupante avec le développement économique et industriel dans le monde, notamment des pays développés ou en voie de développement. La contamination des lacs et des rivières est l'un des problèmes de pollution de l'eau que on rencontre le plus fréquemment, d'où la nécessité de traiter les eaux usées avant de les rejeter dans les milieux naturels.

Les eaux usées sont toutes les eaux chargées en différents éléments provenant de la population mais aussi des activités commerciales et industrielles du fait qu'elles ont été utilisées pour le lavage ou les toilettes et qui sont de nature à polluer les milieux dans lesquelles elles seront déversées. C'est pourquoi, dans un souci de respect de ces différents milieux, des traitements des effluents sont nécessaires par le réseau d'assainissement urbain.

L'objectif des traitements n'est pas toujours de rendre l'eau potable : certains usages ne nécessitent pas d'eau propre à la consommation. On parle alors de recyclage des eaux usées. Dans tous les cas, les traitements peuvent être réalisés de manière collective dans une station d'épuration ou de manière individuelle. La plupart des stations d'épuration fonctionnent selon les mêmes processus de base, mais des différences plus ou moins importantes peuvent exister dans la manière de mettre en place ces processus.

L'épuration consiste à éliminer ou à réduire les matières minérales et organiques en suspension et en solution, ainsi qu'un certain nombre de déchets divers afin d'obtenir une eau épurée conforme aux normes de rejets. Une grande majorité de ces polluants est transférée de la phase liquide vers une phase concentrée boueuse. Une station d'épuration comporte donc des installations de traitement des eaux et des dispositifs de traitement des boues produites.

Chapitre I

Origine, pollution et procédés d’épuration des eaux usées.

I.1 Généralité

Les eaux usées quelle que soit leur origine, sont généralement chargées en éléments indésirables, qui selon leur quantité et selon leur composition, représentent un danger réel pour les milieux récepteurs ou leurs utilisateurs. L'élimination de ces éléments toxiques exige de concevoir une chaine de traitement.

Toute fois, avant de concevoir tout procédé d'épuration, il est impératif de caractériser l'effluent à traiter, qualitativement et quantitativement.

Les eaux résiduaires et industrielles, séparées ou mélangées contiennent de nombreuses substances avec des titres différents qui peuvent constituer des dangers de diverses natures pour leur utilisateur et les milieux récepteurs. L'élimination de tous ou une partie de ces éléments constitutifs des eaux résiduaires est imposée par l'élimination des risques de nuisance associes à l'évacuation de ces éléments vers le milieu récepteur.

I.2 Définition des eaux usées

Les Eaux Résiduaires Urbaines (ERU) sont des eaux usées de provenances diverses, telles que L'activité domestique, l'activité industrielle, l'activité hospitalière ainsi que les précipitations dans le cas des réseaux unitaires (par opposition aux réseaux de collecte séparatifs).

Dans les ERU, différentes formes de pollutions sont identifiées et doivent être traitées dans les stations d'épuration. On distingue plusieurs formes de pollution : les matières carbonées, azotées et phosphorées, ainsi que les pollutions liées aux micropolluants minéraux et organiques. Les micropolluants sont ainsi définis comme des molécules minérales ou organiques, issues de l'agriculture, de la chimie ou de l'industrie, qui peuvent avoir, au-delà d'un certain seuil, des impacts négatifs sur les écosystèmes et l'environnement.

I.3 Origine des eaux usées

Les eaux usées appelées aussi eaux résiduaires urbaines (ERU), qui arrivent souvent à la station d'épuration sont classées selon leur origine et leur composition, on trouve :

I.3.1 Les eaux urbaines

Ces effluents ont eux-mêmes deux origines possibles:

I .3.1.1 Les eaux usées domestiques

Ces eaux ont plusieurs composantes correspondants aux diverses activités vitales:

- **Eaux de cuisines :**

Elles entrainent tous les débris correspondants à la préparation des aliments et aux eaux de vaisselles riches en graisses plus aux mois émulsionnés par des détergents.

- **Eaux de buanderie** : contenant principalement des détergents.
- **Eaux de salles de bains :** chargées en produits utilisés pour l'hygiène corporelle, généralement des matières grasses hydrocarbonées.
- **Eaux de vannes** : ces eaux très riches en matières hydrocarbonés apportent également l'azote, le phosphore et le potassium permettant de disposer d'un substrat équilibré à l'entrée des traitements biologiques. Elles sont très riches en microorganismes

I.3.1.2 Les eaux de ruissellement

Ces eaux proviennent des eaux de pluie, des eaux de lavages des routes et des eaux de drainage. Elles peuvent contenir des sables, des limons, des argiles, des hydrocarbures, des huiles et des fertilisants agricoles **[1]**, On y trouve aussi des polluants de l'atmosphère : poussières, SO_2, SO_3 .

I.3.2 Les eaux industrielles

Les besoins en eau sont considérables. Leur composition est extrêmement variable puisqu'elles sont susceptible de receler les résidus où les pertes de tout ce qui est possible de fabriquer. Par exemple :

- Les eaux de fabrication qui dépendent de la nature de l'industrie ;
- Les eaux de lavage des machines ;
- Les eaux de refroidissement qui dépendent du taux de recyclage.

On peut considérer quatre grands groupes :

I.3.2.1 Eaux à caractère minéral dominant

On trouve dans ce groupe :

- Les eaux d'exhaure de mine
- Les eaux de lavage de gravières
- Les eaux d'industries sidérurgiques (aciéries – haut fourneaux)
- Les eaux d'industries chimiques minérales

I.3.2.2 Eaux à caractère organique dominant

C'est surtout le cas des résidus d'industrie agro-alimentaire :

- Abattoirs
- Elevages industrielles
- Laiteries et fromageries
- Sucreries et distilleries
- Usine de farine de poissons etc…

I.3.2.3 Eaux à caractère mixte

Ce sont des eaux qui contiennent un ou plusieurs constituants plus ou moins facilement biodégradable mais qui constituent des milieux carencés ou inhibés par d'autres constituants, parmi elles :

- Des industries textiles
- Des papeteries et industrie de bois
- Des raffineries et usines pétrochimiques
- Des industries pharmaceutiques
- Des laveries industrielles
- Des industries mécaniques

I.3.2.4 Les eaux résiduaires résultant d'activité artisanales

Des rejets très divers provenant de petites entreprises ne disposants pas en propre de station de traitement spécifique à des entreprises de taille moyenne. Ceci fait évoluer ces rejets d'un profil purement domestique vers un profil mixte.

I.3.3 Eaux d'origine agricole

Les effluents agricoles renferment diverses substances d'origine agricole ou animale, il s'agit des solutions d'engrais lessive par les sols fortement fertilises, des pesticides et des déjections animales. **[2]** Cette catégorie se compose de deux types :

I.1.3.1.Eaux issue des pesticides

On regroupe sous cette appellation :

- Les herbicides totaux et sélectifs
- Les fongicides
- Les insecticides (DDT)
- Les rodenticides (raticides)

I.1.3.2. Eaux issue des fertilisants

L'utilisation des engrais est actuellement en accroissement très rapide. On attribue partiellement à ces produits qui sont lessivés et entraînés par les eaux de ruissellement.

I.4 Evaluation de la pollution

La pollution est toute substance physique, chimique ou biologique rejetée dans une eau naturelle qui perturbe l'équilibre de cette eau, induit d'importantes nuisances (mauvaise odeur, fermentations, inconforts divers, risques sanitaires) et qui se répercute, à court ou à long terme, sur notre organisme à travers, la chaîne alimentaire de laquelle nous dépendons.

I.4.1 Principaux polluants

La composition des eaux usées est fonction de nombreux paramètres:

- Des Propriétés physico-chimiques de l'eau potable distribuée.
- Du mode de vie des usagers.
- de l'importance et du type des rejets industriels.

D'une manière générale la pollution des eaux se manifeste sous les formes principales suivantes :

I.4.1.1 Pollution minérale

Il s'agit principalement d'effluents industriels contenant des substances minérales tels que les sels, les nitrates, les chlorures, les phosphates, les ions métalliques, le plomb, le mercure, le chrome, le cuivre, le zinc et le chlore. Ces substances peuvent causer des problèmes sur l'organisme de l'individu, perturber l'activité bactérienne en station d'épuration, affecter sérieusement les cultures (physiologique et rendement). **[3]**

I.4.1.2 Pollution microbiologique

Les eaux usées sont des milieux favorables au développement d'un très grand nombre d'organismes vivants, dont des germes pathogènes souvent fécaux. On les trouve dans les effluents hospitaliers, de lavage de linges et de matériels souilles, ou encore dans le déversement de nombreuses industries agro-alimentaires (abattoirs, élevage agricoles...) **[4]**

I.4.1.3 Métaux lords

Les métaux lourds se trouvent dans les eaux usées urbaines à l'état de trace. Des concentrations élevées sont en général révélatrices d'un rejet industriel accidentel ou volontaire.

I.4.2 Pollution des eaux résiduaires urbaines

En effet, les activités domestiques, industrielles, agricoles ou médicales entraînent le rejet de nombreux produits chimiques dans les stations d'épuration. La plupart de ces substances sont rejetées à de faibles concentrations et sont donc qualifiées de « micropolluants » (concentrations de l'ordre du mg/L au μg/L).

I.4.2.1 Matière en suspension

Elles représentent la fraction constituée par l'ensemble des particules, organiques (MVS) ou minérales (MMS), non dissoutes de la pollution. Elles constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou industriel. Les MES s'expriment par la relation **[5]** : MES=30%MMS+70%MVS

I.4.2.2 Matière organique

Les eaux usées contiennent des milliers de différentes matières organiques. La mesure de chaque matière est impossible, si la matière organique est oxydée la consommation de l'oxygène est traduite par la DBO_5 et la DCO. **[6]**

I.4.2.2.1 Demande biochimique en oxygène (DBO_5)

La demande est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder toutes les matières biologiques biodégradables pendant 5 jours à 20 °C. C'est de tous moyens d'évaluer une pollution, le plus ancien, le plus utilisé mais aussi le plus ambigu et par conséquent le plus controversé.

I.4.2.2.2 Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène représente la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder dans un certain contexte réactionnel toutes les matières biologiques et minérales pouvant l'être. **[7]**

I.4.2.2.3 Carbone organique total

Dans ce test le carbone organique est mesuré directement, avec des instruments de mesure, par contre les méthodes indirectes comme la mesure de la DBO5 et la DCO. Ce test mesure la teneur réelle du carbone organique.

I.4.3 Matière azotée

Comme la matière organique, l'azote dans les eaux usées est divisé en plusieurs fractions, les fractions d'azotes sont déterminés par des différents analyses (Azote de Kjeldahl, nitrite, ammonium). **[6]**

L'azote est un nutriment essentiel pour les microorganismes responsables du traitement les eaux usées.

Dans les stations d'épuration, l'ammonium peut subir des transformations. Dans le procédé de nitrification l'ammonium est oxydé en nitrite et le Nitrite en Nitrate. Dans le procédé de dénitrification les Nitrates sont réduits en gaz d'azote. **[8]**

I.4.4 Matière phosphorée

Le phosphore total dans les eaux usées domestique est présent sous forme de phosphates selon la distribution suivante :

• Inorganique : polyphosphates et orthophosphates, la source majeure est les détergents et le ménage.

• Organique : lié aux composés organiques des origines physiologique

Le phosphore peut être sous forme solide :

• Phosphore soluble (inorganique) : principalement polyphosphates et orthophosphate

• Phosphore particulaire : lié à la matière organique particulaire dans les eaux usées.

L'importance du phosphore peut être récapitulé dans :

Le phosphore est essentiel pour la croissance des microorganismes responsable de la stabilisation de la matière organique le phosphore est un nutriment essentiel pour les algues. **[8]**

I.4.5 Microorganismes

Certains microorganismes ont des noms communs et ils sont classés en utilisant

Les caractéristiques structurales.

Micro-organismes épurateurs : ces micro-organismes sont à la base de l'épuration biologique des eaux usées. Ce sont essentiellement les bactéries, des protozoaires, des levures et moisissures. Grâce à leurs structures simples et leur multiplication rapide, certaines de ces populations microbiologiques sont capables de dégrader les matières polluantes présentes dans les eaux usées :

-Les bactéries *:* ce sont des micro-organismes unicellulaires. Elles se multiplient et se croisent en général par fission binaire. Leur concentration dans les procédés biologiques est la plus élevée des autres populations. Elle peut atteindre jusqu'au 10^6 bactéries/ml.

-Les protozoaires : ils présentent des structures plus complexes que celle des bactéries. Ils sont classifiés selon leur mode de mouvement en trois catégories : nageurs, rampants ou sessiles **[9]**. Grâce à leurs interactions avec les bactéries épuratrices (compétition et prédation), ils peuvent jouer un rôle important au cours du processus d'épuration de l'eau.

-Les algues : ces micro-organismes sont multicellulaires ou photosynthétiques unicellulaires. En général les algues sont indésirables dans les ressources d'eau car elles affectent leur goût et leur odeur. Elles jouent un rôle bénéfique, seulement pour les lits bactériens ou les bassins de lagunage.

La population bactérienne consomment les polluants pour :

- La synthèse de cytoplasme (dont le composé principal est le carbone) à partir du carbone.
- La croissance par exemple synthèse de protéine en consommant de l'azote.
- La croissance cellulaire et les réactions biosynthétiques en consommant le phosphore par exemple.

Les mécanismes fondamentaux impliqués dans le traitement des eaux usées se basent sur la présence des micro-organismes, essentiellement les bactéries, qui dégradent les matières minérales et organiques pour leur métabolisme ou développement. On distingue principalement deux mécanismes métaboliques.

-Catabolisme : c'est la phase au cours de laquelle les substances nutritives grosses ou sous forme colloïdales sont dégradées en pyruvate (composés plus petits et plus simples). Elle représente l'ensemble des réactions de dégradation enzymatique et d'oxydation. De l'énergie est libérée au cours de cette phase.

-L'anabolisme: Contrairement au catabolisme, l'anabolisme est une activité endothermique qui utilise l'énergie libérée par le processus de catabolisme. Il correspond à l'ensemble des réactions d'oxydation et de dégradation enzymatique.

I.5 Procédés d'épuration des eaux usées

Le recyclage « non contrôlé » des eaux usées bien que peu reconnu existe pourtant. Il s'agit de la réutilisation des eaux usées comme ressource en eau mais de façon involontaire. Le principe est le suivant : les eaux usées d'une agglomération en amont d'un bassin versant sont rejetées dans le milieu aquatique après un traitement plus ou moins complet lors du passage dans une station d'épuration. Ce traitement vise principalement à éliminer les matières en suspension, la matière organique et de plus en plus souvent l'azote et le phosphore. Le milieu récepteur de ces eaux usées traitées est généralement un cours d'eau situé à proximité de la station. Ce cours d'eau est en relation hydraulique avec sa nappe d'accompagnement, qui elle, plus en l'aval, est exploitée pour alimenter d'autres collectivités en eau potable. **[10]**

Les eaux usées domestiques sont essentiellement responsables de pollutions organiques

La station d'épuration reste un outil fondamental pour la protection des milieux naturels. La valorisation de l'image de la station passe par un ensemble de dispositions qui sont à prendre. **[11]**

Une station d'épuration rassemble une succession de dispositifs, empruntés tour à tour par les eaux usées. Chaque dispositif est conçu pour extraire au fur et à mesure les différents polluants contenus dans les eaux. Le schéma ci-dessous présente la succession des étapes dans une station à boues activées. **[11]**

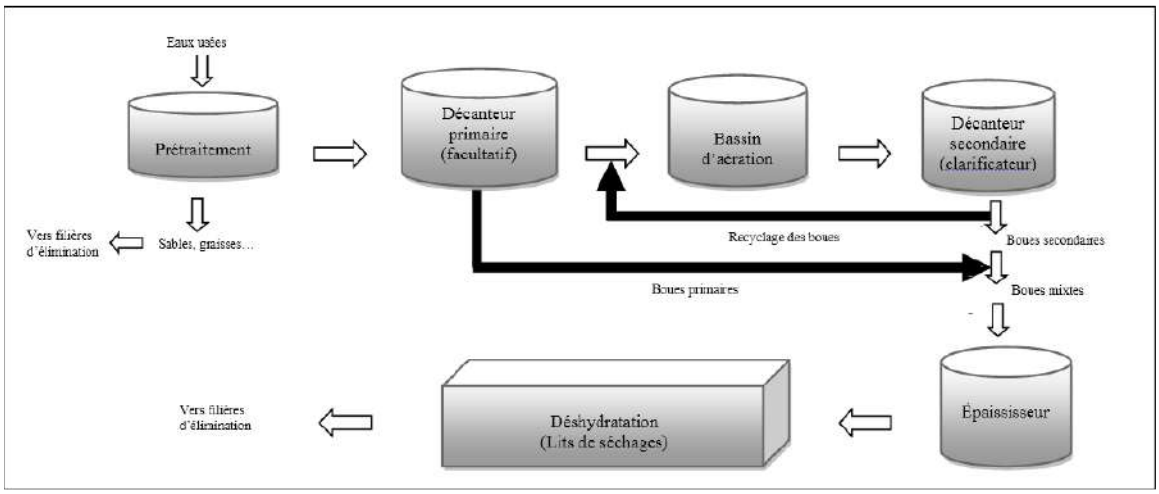


Figure I.1: Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées (Sahnoun, A.2010).

On retrouve quatre principaux modes de traitement des eaux usées à la station d'épuration : prétraitement, traitement mécanique, traitement physico-chimique et traitement biologique A ces modes de traitement viennent s'ajouter des traitements complémentaires ou "tertiaires" destinés à améliorer la qualité des eaux rejetées dans le milieu naturel. En parallèle des filières de traitement des eaux, le traitement de l'air et des boues est nécessaire pour réduire les nuisances olfactives mais aussi pour valoriser les déchets issus de ces traitements.

I.5.1 Les Prétraitement

Cette partie de traitement permet de retenir les déchets solides (papiers, Plastiques…etc.) ainsi qu'une partie des graisses et des sables contenues dans les eaux usées pour le but d'éliminer les éléments les plus grossiers susceptibles de gêner les processus des traitements ultérieurs ou d'endommager les équipements.

I.5.1.1 Dégrillage

Le principe du dégrillage consiste à faire passer les eaux usées au travers d'une grille dont les barreaux, plus ou moins espaces, retiennent les éléments les plus grossiers. Leurs principaux objectifs sont : l'élimination des matières volumineuses qui pourrait nuire à l'efficacité des traitements suivants et amener des risques de bouchage dans les différentes unités de l'installation. **[12]**

Selon l'écartement des barreaux ou le diamètre des mailles, on distingue

- Dégrillage grossier : pour grille a barreaux espaces de 30 à 100 mm.
- Dégrillage moyen : pour grille a barreaux espaces de 10 à 25 mm.
- Dégrillage fin : pour grille a barreaux espaces de 3 à 10 mm.



Figure I.2. Dégrilleur 20mm.

I.5.1.2 Le tamisage

Il constituer un dégrillage fin maile de quelque mm a quelque dizaine de micro a fin de retenir les MES selon la dimension de passage des supports. On distingue trois (03) types de tamis :

- Tamis statiques.
- Tamis rotatifs.
- Tamis vibrants.

Il existe aussi:

- Macro-tamisage : mailles de 250 à 300 µ m.
- Micro-tamisage : mailles de 30 à 100 µ m.

I.5.1.3 Dessablage

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes, les gravies, sables et particules minérales plus ou moins fines.

L'élimination du sable est indispensable pour protéger les conduits et les pompes contre l'brasions et corrosion et éviter le colmatage de canalisation. Les sables décantent et sont récupérés par pompage.

Il existe différents types de dessaleurs :

- Dessaleurs à canaux.
- Dessaleurs rectangulaires à couloir.
- Dessaleurs circulaires.



Figure I.3. Dessableur.

I.5.1.4 Déshuilage – dégraissage

Il consiste à l'extraction des corps flottant moins denses que l'eau c'est toujours pour but à éliminer le colmatage. Généralement combinées avec le dessablage, on pour but de collecter des matières huileuses déjà rassemblées à la surface de l'effluant.



Figure I.4. Dessablage-Déshuilage.

I.5.2 Le traitement primaire

Regroupent les procèdes physiques ou physico-chimiques visant à éliminer par décantation une forte proportion de matières minérales ou organiques en suspension. A l'issue du traitement primaire, seules 50 à 60 % des matières en suspension sont éliminées. Ces traitements primaires ne permettent d'obtenir qu'une épuration partielle des eaux usées. Ils ont d'ailleurs tendance à disparaitre en tant que seul traitement, notamment lorsque l'élimination de la pollution azotée est requise. Pour répondre aux exigences réglementaires, une phase de traitement secondaire doit être conduite **[13].**

I.5.3 Le traitement secondaire

La matière organique dissoute restante subira un traitement biologique, aussi appelé traitement secondaire. On injecte d'abord de l'air dans des **bassins d'aération** afin que le dioxygène favorise la croissance des micro-organismes. Ceux-ci décomposent alors une partie de la matière organique en dioxyde de carbone et en eau. Ensuite, des bactéries décomposent l'excédent de matière organique lors de **la filtration biologique**. Par décantation, les matières solides se déposent au fond du bassin et forment des **boues secondaires** qui seront aussi traitées comme l'étaient les boues primaires. Au cours de cette étape du traitement des eaux usées, 75% à 95% de la matière organique est éliminé.

A la suite de cette étape, les eaux sont assez propres pour être retournées dans les cours d'eau, mais elles peuvent aussi subir des traitements complémentaires. **[14]**

I.5.4 Le traitement tertiaire

I.5.4.1La déphosphatation: Le principal inconvénient de la forte teneur en phosphore dans les eaux est de favoriser l'eutrophisation des cours d'eau, des lacs et des milieux marins.

Les techniques de déphosphatation qui sont généralement appliquées font appel à des réactions de précipitation (procédés physico-chimiques) ou à des micro-organismes épurateurs qui assurent une sur-élimination du phosphore (procédés biologiques).

-**La déphosphatation chimique :** se fait grâce à l'utilisation de réactifs (tels que les sels de fer et d'aluminium ou la chaux) qui donnent naissance à des précipités ou complexes insolubles séparés de l'eau par des techniques de séparation solide-liquide.

-La déphosphatation biologique : repose sur un transfert de phosphore de la phase liquide (eaux usées à épurer) vers la phase solide (boues) par stockage intracellulaire. Cette accumulation conduit à la formation de granules de polyphosphates (poly-P) et entraîne un enrichissement progressif de la boue en phosphore jusqu'à des teneurs très importantes. Il est alors aisé d'assurer l'élimination du phosphore de l'eau par simple soutirage des boues en excès après une étape de décantation.

I.5.4.2 La désinfection

Les eaux usées urbaines, parce qu'elles représentent les déchets de la vie individuelle et collective des agglomérations, contiennent des micro-organismes pathogènes susceptibles d'être à l'origine de maladies (bactéries, virus, parasites...). La désinfection a pour but de détruire les micro-organismes pathogènes. Les différents procédés de désinfection susceptibles d'être mis en œuvre utilisent:

•Le chlore (à l'état gazeux ou sous forme d'hypochlorite de sodium : eau de Javel). Ce moyen de désinfection et de stérilisation est le plus utilisé et le mieux maîtrisé ;

•Le bioxyde de chlore (ClO_2) qui est un réactif très performant mais dont la mise en œuvre est délicate et nécessite une surveillance importante ;

•l'ozonation : Il est très performant et très efficace pour l'élimination des virus mais il est encore actuellement peu utilisé en raison du coût élevé de sa mise en œuvre ;

•les rayons ultraviolets .

I.5.4.3 L'élimination de l'azote

-La nitrification : c'est la transformation de l'azote organique par des organismes dits nitrifiant. Ce processus peut être décrit principalement par l'ensemble de ces deux équations: $NH_4^+ + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow NO_2^- + H_2O + 2H^+$

$NO_2^- + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow NO_3^-$

D'après ces deux équations, l'ammoniac n'est pas directement oxydé en nitrate. Il doit être premièrement transformé en nitrite et après en nitrate.

-La dénitrification: c'est la deuxième étape, qui consiste à une conversion de nitrate par les hétérotrophes facultatifs sous les conditions d'anoxie. Ce processus peut être résumé par l'équation chimique suivante.

$$4NO_3^- + 5CH_2O + 4H^+ \rightarrow 2N_2 + 5CO_2 + 7H_2$$

Chapitre II

Procédés Des Traitement Des Eaux Usées.

II.1. Procédés physico-chimiques

II.1.1. Coagulation-floculation

La couleur et la turbidité d'une eau de surface sont dues à la présence de particules de très faible diamètre : les colloïdes, leur élimination ne peut se baser sur la simple décantation.

En effet, leur vitesse de sédimentation est extrêmement faible. Le temps nécessaire pour parcourir 1m en chute libre peut être de plusieurs années. La coagulation et la floculation sont les processus qui permettent l'élimination des colloïdes. La coagulation consiste à les déstabiliser. Il s'agit de neutraliser leurs charges électrostatiques de répulsion pour permettre leur rencontre. La floculation rend compte de leur agglomération en agrégats élimines par décantation et/ou filtration. **[5]**

II.1.1.1. Phénomène de la coagulation

a. Principes de base

La difficulté de séparation des colloïdes présents dans une eau par simple décantation ou filtration provient du fait que ces particules, qui sont d'origine minérale (argiles), végétale (acides humiques ou fulviques, algues), animale (zooplancton), humaine (suspensions. graisseuses, rejets ERU) ou industrielle (eaux résiduaires diverses), se trouvent dans l'eau à l'état de particules chargées électriquement (toujours négativement dans les eaux naturelles).

La répulsion mutuelle exercée par ces particules les empêche de s'agglutiner sous l'effet des forces d'attraction naturelle (appelées à cette échelle forces de Van der Waals) et d'acquérir ainsi une dimension suffisante pour devenir décantables ou filtrables.

On dit alors que la suspension est stable ; le mécanisme de sa déstabilisation va être rapidement décrit dans ce qui suit ; on trouvera de plus amples explications dans l'article relatif aux traitements physico-chimiques de dépollution des eaux industrielles.

La coagulation consiste à ajouter à l'eau un électrolyte permettant de neutraliser les charges négatives qui sont à l'origine du maintien en suspension stable. On utilise généralement des sels d'un métal trivalent, Fe^{+3} ou Al^{+3}

Les charges positives de l'ion métallique neutralisant les charges négatives du colloïde,

les particules peuvent alors se rassembler sous l'effet des forces attractives de Van der Waals et il se produit une précipitation simultanée et conjointe, sous forme d'un gel d'hydroxyde de fer ou d'aluminium, qui adsorbe le colloïde naturel coagule. Ce gel amorphe se présente sous la forme de flocons que l'on va ensuite s'efforcer de faire grossir progressivement (§ 3) pour le séparer efficacement de l'eau dans les phases ultérieures de décantation et de filtration.

L'ensemble de ces flocons est appelé le floc.

La coagulation est optimale pour une introduction de charges électriques positives correspondant à l'annulation du potentiel zêta, potentiel que l'on mesure en observant la vitesse de déplacement des particules colloïdales sous l'action d'un champ électrique dans un appareil d'électrophorèse dit zêta-mètre.

Il faut noter que la coagulation n'est correcte qu'a l'intérieur d'une zone de pH bien déterminée (pH supérieur a 4 pour le chlorure ferrique, compris entre 6 et 7 pour le sulfate d'aluminium). De plus, a l'intérieur même de cette zone, il existe toujours une plage de pH optimal, a doses égales de coagulant. Cette plage est parfois très étroite (de l'ordre de 0,2 unité de pH) et ne peut être déterminée qu'expérimentalement sur chaque type d'eau.

b. Stratégies théoriquement possibles

Les solutions théoriquement possibles pour annuler le potentiel zêta, sont nombreuses :

- Ajustement de pH pour atteindre le point isoélectrique des groupements fonctionnels portes par les colloïdes.
- Augmentations de la salinité pour obtenir une compression de la couche diffuse.
- Neutralisation chimique de la charge primaire par des cations polyvalents ou polymères.
- Adsorption et pontage par des polymères a long chaine.

Les deux premières possibilités ne sont pas applicables au niveau industriel. On n'ose imaginer les flocs d'acide ou de base, les montagnes de sels nécessaires au traitement de millions de mètre cubes d'eau. Néanmoins, la limpidité de l'eau de mer est due à sa forte salinité qui permet la déstabilisation et la décantation des colloïdes.

Les mécanismes d'action des coagulants s'interprètent par la neutralisation de la charge primaire suivie par le piégeage dans les précipités.

c. Réactifs utilisés

L'efficacité des coagulants est directement liée à la valence des cations utilises. Les ions monovalents sont moins efficaces que les bi ou trivalents. La référence étant le Na^{+}, le Ca^{2+} d'une part et les ions trivalents Al^{3+} et Fe^{3+} d'autre part, présentent respectivement une efficacité 7 à 200 et 500 à 10000 fois plus importante.

Il est évident que les doses de coagulant à mettre en œuvre sont fonction de leur efficacité relative. Dans le cas des ions monovalent, la quantité nécessaire est de 100 pour une

dose de 1 pour les ions trivalents. En conséquence, les coagulants utilises sont des sels cationiques trivalents.

La mise en solution d'un coagulant se déroule en deux étapes. Le cas de sulfate d'alumine est très significatif. Les réactions peuvent être représentées de la façon suivante :

$Al_2(SO4)3 \longrightarrow Al_x(OH)\,y(SO4)z \longrightarrow Al(OH)3$

étape 1 — intermédiaires polychargés — étape 2

L'étape 1 est une phase hydrolyse et dépend de la température et nécessaire un pH compatible avec l'existence de ces intermédiaires polycharges. Le temps de formation de ces composes est de l'ordre de 0,1s.

L'étape 2 permet la formation du précipite Al(OH) 3. Cette réaction dépond de l'agitation du milieu. Ce précipite est l'élément qui assure le pontage et la coalescence entre les colloïdes déstabilises : c'est la forme floculante.

Les critères de choix d'un coagulant sont nombreux. Son efficacité à réduire la couleur, la turbidité et les matières organiques d'une eau essentielle. Le traitement d'eau chargée en matière organique exige du chlorure ferrique. Les coagulants à base de sels d'aluminium permettent d'obtenir une eau traitée très faible en turbidité. La vérification de la dose de coagulant à mettre en œuvre passe par le Jar-Test. **[5]**

	Masse molaire	densité	forme	formule	remarque
Sel d'aluminium					
Sulfate d'alumine	**666**	-	solide	$Al_2(SO_4)$,18H2O	Poudre irritante
Sulfate d'alumine	**645**	**1,45**	Liquide		Liquide corrosif
Polychloro sulfate basique d'alumine	-	**1,2**	Liquide	$Al_2(SO_4)$,$18H_2O$	Réactif acide
Sels de fer					
Chlorure ferrique	**162,5**	**1,45**	Liquide	$FeCl_3$	Réactif acide
Sulfate ferreux	**278**	-	Poudre	$FeSO_4$,$7H_2O$	
Chlorosulfate ferrique	**187**	**1,5**	liquide	$FeClSO_4$	Réactif acide

Tableau II. 1. Les meilleurs coagulants utilisés. **[5]**

Les sels d'alumine sont très utilisés dans le domaine de l'eau potable. Les sels de fer sont plutôt destines aux eaux résiduaires et en particulier pour l'élimination physico-chimique du phosphore.

II.1.1.2. Phénomène de la floculation

a. Principe de base

Après avoir été déstabilisées par le coagulant, les particules colloïdales s'agglomèrent lorsqu'elles entrent en contact : c'est la floculation. Le floc ainsi forme peut décanter, flotter ou filtrer, suivant le procède choisi. Pour améliorer encore la qualité des flocs, on ajoute des floculants. Ces floculants sont des composes agissant par pontage, généralement des polymères présentant des groupes réactionnels de charge inverse de celle de la suspension à traiter. **[15]**

La stratégie pour obtenir une bonne floculation se résume en une augmentation des facteurs temps de contact t, des volumes de particules, et le gradient de la vitesse. **[16]**

Elle a pour but d'augmenter la probabilité des contacts entre les particules colloïdales déstabilisées et leur agglomération, pour accroitre son volume, sa masse et sa cohésion. Une bonne floculation est favorisée par :

- Une coagulation préalable aussi parfaite que possible ;
- Une augmentation de la quantité du floc dans l'eau ;
- Un brassage homogène et lent pour tout le volume d'eau.
- L'emploi de certains produits appelés floculants ou adjuvants de coagulation. **[17-18]**

b. Type de floculation

On distingue trois types de floculation selon le type de mouvement qui anime les particules dans la suspension :

-Floculation rapide ou pré cinétique (mouvement brownien)

Les contacts entre les particules sont causés par le mouvement aléatoire de celles-ci, dit mouvement brownien qui est fonction de la température de l'eau **[19].**

-Floculation lente ou ortho cinétique (brassage mécanique)

C'est la floculation provoquée par l'agitation de l'eau. Elle est donc causée par le brassage de l'eau qui permet d'augmenter les chances de contacts entre les particules. **[18**, **20]**

-Floculation par entraînement

Elle se produit dans une solution qui décante quand les grosses particules, tombant plus vite, entrainant les plus petites avec eux. **[16]**

c. Floculants (adjuvants de coagulation) et processus de floculation

On injecte les floculants à la suite du coagulant. Leur rôle est d'accélérer la floculation ou d'améliorer la consistance et la densité des flocons.

Les adjuvants les plus communément utilisés sont : floculants minéraux (la silice) ou des floculants organiques (polymères a haut poids moléculaires) naturels tel que l'alginate extrait des algues marines ou synthétiques (poly-électrolytes anioniques, cationiques ou non ioniques). Ils se définissent par leur poids moléculaire qui est caractéristique de polymères a longue chaine, et également par leur densité de charge. **[19**,**20**, **21**,**22]**

II.1.2.Décantation

La décantation est utilisée dans pratiquement toutes les usines d'épuration et de traitement des eaux, c'est un procède de séparation des matières en suspension et des

colloïdes rassembles en floc dont la densité est supérieure à celle de l'eau ; elle s'effectue selon un processus dynamique, en assurant la séparation des deux phases solide-liquide de façon continue. Les particules décantées s'accumulent au fond du bassin, d'ou on les extrait périodiquement. L'eau récoltée en surface est dite clarifiée.

Elle est dirigée vers un autre stade d'épuration. La décantation a un rôle épuratoire non négligeable c'est ce que représente le tableau – II.2. **[23,24]**

Il apparait néanmoins vis-à-vis de MES, DCO et DBO5. **[5**, **7]**

Paramètres	MES	DCO	DBO5	NTK	Hydrocarbures	Pb
Réduction de la pollution (%)	80 à 90	60 à 90	75 à 90	40 à 70	35 à 90	65 à 80

Tableau II.2. Le rendement de réduction par décantation de la pollution (%) **[5]**

II.1.3. Flottation

II.1.3.1. Principe de base

La flottation est un procède de séparation liquide-solide base sur la formation d'un ensemble appelé attelage, forme des particules à éliminer, de bulles d'air et des réactifs, moins dense que l'eau. Cette technique convient principalement pour éliminer les particules de diamètre compris entre 1 et 400 μm. Les solides sont transportés à la surface, fixes a des bulles, et sont ensuite écumes. Cette méthode permet d'éliminer des particules plus petites qu'avec la sédimentation. Elle convient davantage aux eaux présentant une haute teneur en algues, une faible turbidité naturelle ou une forte coloration.

La flottation n'est pas aussi efficace que la sédimentation pour éliminer les particules et réduire la turbidité. Ce procède est sensible à la température et affiche un piètre (négligeable) rendement par temps très froid. **[25,19]**

Les particules de floc doivent entrer en contact avec les bulles d'air. L'adhésion ne peut se faire que si les bulles ont plus d'affinité pour le solide que pour l'eau.

II.1.3.2. Limite d'utilisation

La flottation est supérieure a la décantation dans le cas de clarification d'eaux de surface peu chargées en MES, riches en planton ou en algues et produisant un floc léger décantant mal.

Elle est préconisée dans le traitement des boues. Ce procède est très souple d'emploi. Il

permet un épaississement simultané des boues directement deshydratables. De plus, la forte vitesse de l'eau autorisée des débits importants pour une surface au sol réduite.
L'efficacité de la flottation et de la décantation peuvent être évalues par le pourcentage de boues retenues, la quantité de matières organiques éliminées et par la mesure de la turbidité**. [5]**

II.1.4. Filtration et adsorption

II.1.4.1. Filtration

- Principe de base

La filtration est un procède physique de séparation d'un mélange solide-liquide a travers un milieu poreux, qui retient les particules et laisse passer le liquide.
Ce procède est destiné à clarifier un liquide qui contient des matières en suspension (MES) en le faisant passer à travers un milieu poreux constitue d'un matériau granulaire. La rétention des fines particules qui subsistent après la décantation se déroule à la surface des grains grâce à des forces physiques. La plus ou moins grande facilite de fixation dépend du type de matériau utilise et des conditions d'utilisation du filtre.
L'espace inter-granulaire définit la capacité de rétention du filtre qui diminue au cours du passage de l'eau. Les pertes de charge augmentant avec le temps, il faut déclencher le lavage du filtre.
Une biomasse se développe généralement sur le matériau filtrant et peut efficacement réduire le taux d'ammonium par nitrification. La filtration, précédée d'une coagulation - floculation - décantation permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries,
de la couleur, de la turbidité et indirectement de certains gouts et odeurs issus de MES de petite taille.

La rétention des particules se fera par deux principaux mécanismes :

- Tamisage dans la partie supérieure du filtre pour les grosses particules,
- Adsorption (effet de paroi) a différents niveaux à l'intérieur pour les particules plus
- fines.

Les filtres peuvent être ouverts ou fermes. On distingue :

• **Les filtres à sable rapides :** les plus utilises en eau potable avec des vitesses

de 5 à 10

m3.m-2.h-1 ils s'appliquent à des eaux préalablement traitées.

• **Les filtres à sable lents :** la filtration lente (0,08 à 0,4 m3.m-2.h-1) constitue à elle seule un traitement quasi complet de l'EB, grâce au développement d'une biomasse importante.

• **Les filtres sous pression :** Le principe de fonctionnement est le même que celui des filtres rapides. Le plancher et le matériel filtrant sont situés dans des cylindres supportant des pressions allant jusqu'à 1 000 kPa. Leur exploitation est plus difficile que celle des filtres ouverts. Leur utilisation est limitée aux petites installations.

• **Les filtres à terre de diatomée :** Ils permettent une bonne clarification des eaux de turbidité faible et éliminent efficacement les MES et les microorganismes, sans nécessite de coagulation. Pour des eaux plus chargées, ils se colmatent très rapidement. Les filtres sous pression et à terre de diatomées sont surtout utilises pour le traitement des eaux des piscines. **[26]**

II.1.4.2. Adsorption

L'adsorption définit la propriété de certains matériaux de fixer à leur surface des ions ou des molécules de façon plus ou moins réversible.

Les médias utilises ont une structure poreuse leur procurant une grande surface spécifique. Les éléments indésirables sont alors liés de façon chimique et physique aux ports du media de filtration.

Différents produits naturels (argiles, charbon, etc.) ou de synthèse peuvent être utilise pour le traitement par adsorption. Le charbon actif est un media connu pour ses propriétés adsorbants sur plusieurs éléments organiques et minéraux. Le charbon actif est le résultat d'un traitement thermique en atmosphère contrôlée de divers matériaux naturels (houille, lignite, bois…). Ce traitement ne laisse que le squelette carbone des matériaux et la structure

microporeuse résultante est idéale pour le traitement de par sa surface interne très grande (500 à 1500 m/g).

Le phénomène physique mis en œuvre est l'ADSORPTION : il s'agit d'un transfert d'une phase liquide (contenant des substances) vers une phase solide avec rétention des

molécules en solution et en suspension dans l'eau sur la surface de contact du charbon actif **[27].**

II. 2. Traitement biologique

Quel que soit le procède mis en œuvre, le principe de l'épuration par voie biologique consiste, à utiliser des micro-organismes pour réaliser la métabolisation de la pollution organique soluble et colloïdale. Selon le type de microorganismes présents l'épuration biologique s'effectue par un processus aérobie (ce qui nécessite la fourniture d'oxygène) ou anaérobie. Le choix dépend essentiellement d'une part de la charge polluante admise sur l'installation, et d'autre part, du degré de la technicité acceptable. Pour des effluents caractérises par de gros débit et de faibles concentrations de pollution organiques, le processus aérobie et le plus approprie : l'intensité du transfert d'oxygène est alors l'un des paramètres essentiels.

II.2.1. Généralités sur les traitements biologiques

Le traitement biologique des eaux usées est le procédé qui permet la dégradation des polluants grâce à l'action de micro-organismes. Ce processus existe spontanément dans les milieux naturels tels que les eaux superficielles suffisamment aérées. Une multitude d'organismes est associée à cette dégradation selon différents cycles de transformation. Parmi ces organismes, on trouve généralement des bactéries, des algues, des champignons et des protozoaires. Cette microflore, extrêmement riche, peut s'adapter à divers types de polluants qu'elle consomme sous forme de nourriture (substrats). Il est ainsi possible d'utiliser systématiquement cette microflore dans un processus contrôle pour réaliser l'épuration des eaux résiduaires.

Les techniques d'épuration biologique utilisent l'activité des bactéries dans l'eau, qui dégradent la matière organique. Ces techniques peuvent être anaérobies, c'est-à-dire se déroulant en absence d'oxygène, ou aérobies c'est à dire nécessitant un apport oxygène. Parmi les traitements biologiques, on distingue les procédés biologiques extensifs et les procédés biologiques intensifs. **[27]**

II.2.2. Les procédés extensifs

Les traitements extensifs sont souvent préférés aux traitements conventionnels pour

assurer l'épuration des eaux usées des petites et moyennes collectivités. La raison de cette préférence est leur fiabilité, la simplicité de leur gestion et la modestie des couts de fonctionnement. Parmi ces procédés on distingue :

II.2.2.1. L'épandage

C'est le procédé le plus ancien, Il consiste à déverser directement sur le sol perméable des eaux usées, ou les granulats constituant le sol sont alors un matériau de support de micro–organismes, ces derniers servent à dégrader la matière organique. Ce procédé peut être dangereux dans la mesure ou les eaux qui s'infiltrent à travers le sol peuvent contaminer les nappes. **[27]**

L'épuration par épandage présente un certain nombre de risques tel que L'intoxication a travers la chaine alimentaire, la contamination des nappes et le risque de colmatage des sols.

Elle présente par contre l'avantage d'être un procédé simple et très économique.

N'exigeant pas de grands moyens de mise en œuvre ou d'exploitation et permettant la fertilisation des sols pauvres par un apport de substances nutritives contenues dans l'effluent.

II.2.2.2. Le lagunage

On distingue principalement deux types de lagunage :

- Le lagunage naturel ;
- Le lagunage aéré.
- Le lagunage naturel est un procédé de traitement des eaux usées fonde sur un écosystème constitue principalement d'algues et des bactéries aérobies et anaérobies.
- Le rayonnement solaire est utilise comme source énergétique pour la production de l'oxygène par photosynthèse par les algues microscopiques.

Ce type de lagunage se caractérise essentiellement par un temps de séjour très élevé des effluents, plusieurs dizaines de jours et par des mécanismes de fonctionnement biologique fortement lies à la température et aux saisons, Les principaux processus sont :

- La décantation de MES, digestion anaérobie des matières décantées,

- L’oxydation des matières organiques biodégradables par les bactéries hétérotrophes,
- La synthèse des algues elle-même productrice d'oxygène.
- L'élimination de la DBO_5 est significative mais une partie importante de la DCO incidente se retrouve dans les effluents du lagunage sous forme d'algues.

Dans le lagunage aéré, un rapport supplémentaire d’oxygène nécessaire a l’assimilation des matières organiques par les bactéries est fourni par brassage en surface grâce à des aérateurs mécaniques.

Le lagunage naturel présente les avantages suivants :

- Il est bien adapte au réseau unitaire (charge hydraulique - dilution) ;
- Une bonne intégration dans environnement ;
- Une bonne élimination des germes pathogènes ;
- Une bonne élimination de l'azote (70 %) et du phosphore (60 %).

Par contre, il présente les inconvénients suivants :

- Une emprise au sol importante ;
- Une élimination de l'azote et du phosphore incomplète ;
- Des difficultés d'extraction des boues ;
- Il n’y pas de réglage possible en exploitation.

II.2.3. Les procédés intensifs

II.2.3.1. Le lit bactérien

Le procédé lit bactérien ou filtre percolateur est un procédé d’épuration des eaux usées à lit fixe, dans lequel la biomasse n’est pas maintenue en suspension dans l’eau, mais forme un biofilm sur des surfaces de croissance. Ce biofilm transforme les composants organiques des eaux usées en milieu aérobie. Les matériaux de remplissage sont soit pierreux, soit en plastique et leur superficie varie par m3. Dans le cas de volumes d’eaux usées importants, les surfaces de croissance en plastique sont à préférer, étant donné leur plus grande porosité, ce qui permet aux lits bactériens d’être plus petits.

II.2.3.2. Le disque biologique

Dans le procédé à biorisque, le support est constitue par des disques parallèles régulièrement espaces sur un axe horizontal, tournant à faible vitesse et immerges sur la

moitie de leur hauteur. Ce mouvement induit une oxygénation de la culture pendant la période d'immersion.

Les performances de ce procédé sont liées à :

- La profondeur d'immersion des disques (généralement deux mètres) ;
- La vitesse de rotation de l'arbre qui doit être optimale pour permettre une aération.
- une fixation des bactéries convenable.
- La température qui doit être comprise entre 15 et 29° C.

II.2.3.3. Epuration biologique par les boues activées

Le procédé dit ≪ a **boues activées** ≫ utilise l'épuration biologique dans le traitement des eaux usées. C'est un mode d'épuration par cultures libres. Dans une filière de traitement des eaux (i.e. les différentes phases d'épuration pour une station donnée), le procédé a boues activées fait partie des traitements secondaires.

-Principe : Ce traitement a pour but d'éliminer les matières organique biodégradables (solides, colloïdales ou dissoutes) contenues dans une eau usée par l'action de microorganismes, essentiellement des bactéries, en présence d'oxygène dissous.

De plus, il peut (dans la mesure où il est conçu pour cela) transformer l'azote organique et ammoniacal en nitrates (nitrification).

Le procédé consiste à alimenter un bassin brassée et aérée (bassin d'aération appelle généralement bassin décantation) avec l'eau à épurer (effleurent préalablement prétraite et décante) L'aération peut être assurée en surface par des turbines, ou par le fond par des procédés de rampe de distribution de bulles d'air. Une culture bactérienne, dispersée sans forme des flocons (boues activées) se développe et forme avec l'eau usée une liqueur mixte.

Apres un temps de contact suffisant, permettant la fixation et l'assimilation de la matière organique, cette liqueur mixte est envoyée dans un clarificateur (ou décanteur secondaire) ou s'effectue la séparation de l'eau épurée et des boues. Les boues décantées sont réintroduites en partie dans le bassin d'aération (recirculation des boues) pour maintenir un équilibre constant entre la quantité de pollution a traiter et la masse de bactéries épuratrice .

les boues sont évacuées du système vers le traitement des boues (extraction des boues en excès).**[28]**

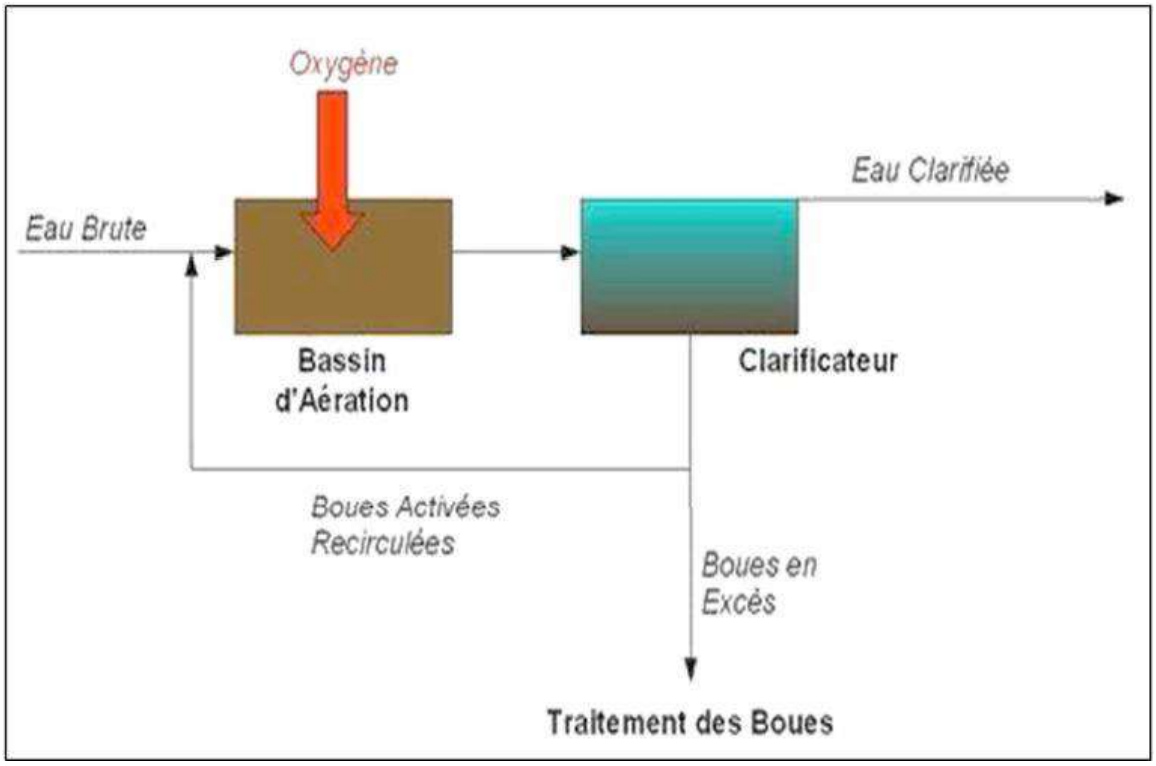


Figure. II.1. Schema de base du procédé de boues activées.



Figure II.2.Brassage et aération des eaux (STEP MEDEA).

-Domaine d'application :

La technique des boues activées est approprie pour des eaux usées domestiques d'agglomérations à partir d'environ 400 équivalent-habitants, jusqu'aux plus grandes villes. Elle existe néanmoins pour des installations individuelles, quoique le procède ne soit pas Assez éprouve. Les effluents industriels ou agroalimentaires sont très variables, et peuvent Selon les cas être traites par ce processus, avec souvent une adaptation à leur nature et Caractéristiques. **[5]**

Chapitre III

Etat de l’épuration des eaux usées et domaines De valorisation des boues en Algérie.

III.1. Etat des stations d'épuration en Algérie

Dans une optique de protection des ressources hydriques et du littoral par une législation de plus en plus ambitieuse, quant à la qualité des eaux usées déversées dans le milieu naturel, l'Algérie compte actuellement 156 unités de traitement (tableau 1) implantées sur le territoire national.

l'ensemble de ces installations traite annuellement environ 18 660 000 de mètre cube par jour d'eaux usées et produit plus de 225 000 tonnes de matière sèche de boues (IONA , SEAAL, SEOR, SEACO, 2017).

Cette production est appelée à augmenter avec les futurs projets de mise en place de nouvelles installation de traitement des eaux usées.

C'est pourquoi le recyclage des boues longtemps considéré comme un aspect secondaire du traitement des eaux usées ,révèle maintenant toute son importance et doit être pris en considération pour trouver des voix réglementaire d'élimination de ces tonnes de boues produites [29].

Stations d'épuration	**Nombre**
Boues activées	79
Lagunage naturel	44
Lagunage aéré	29
Filtre planté de roseaux	3
Monobloc	1
Totale	156

Tableau III.1 : Répartition des stations d'épuration en Algérie selon procédé (2018)

III.2. Production des boues en Algérie

L'Algérie possède un système d'épuration formé de 04 organismes :

-ONA, SEAAL, SEOR, SEACO.

couver la quasi-totalité du tissu urbain qui a atteint un taux de 87% en 2012 (ONA,2012). Avec une capacité d'épuration qui touche les 14 million éq-hab, L'Algérie traite annuellement environ 17 500 000 de mètre cube d'eaux usées et produit plus de 225 000 tonnes de matière sèche de bouse (ONA, SEAAL, SEOR, SEACO, 2017).

Vu le manque de donné de la production des boues à travers le pays nous avons sélectionné les quatre stops en ouest.

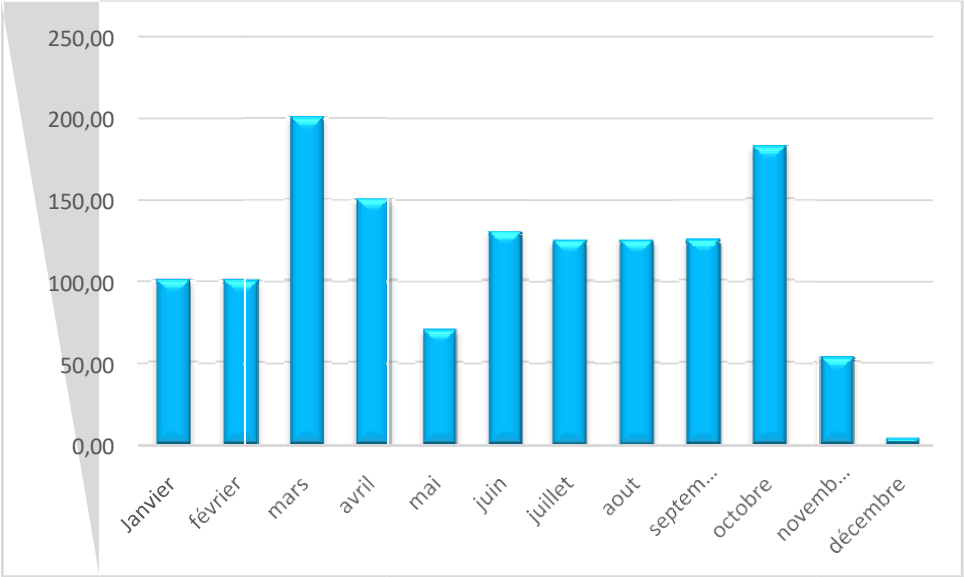


Figure III.1 Production des boues à la station d'épuration de Mascara (2017).

La figures ci-dessus reflète la quantité de boue produite par le stop de Mascara, en comparant avec celle de l'année 2008 une grande quantité produite était enregistré durant la période estivale mais cette année (2017) a connu des pannes au niveau des pompes de soutirage qui a réduit la production.

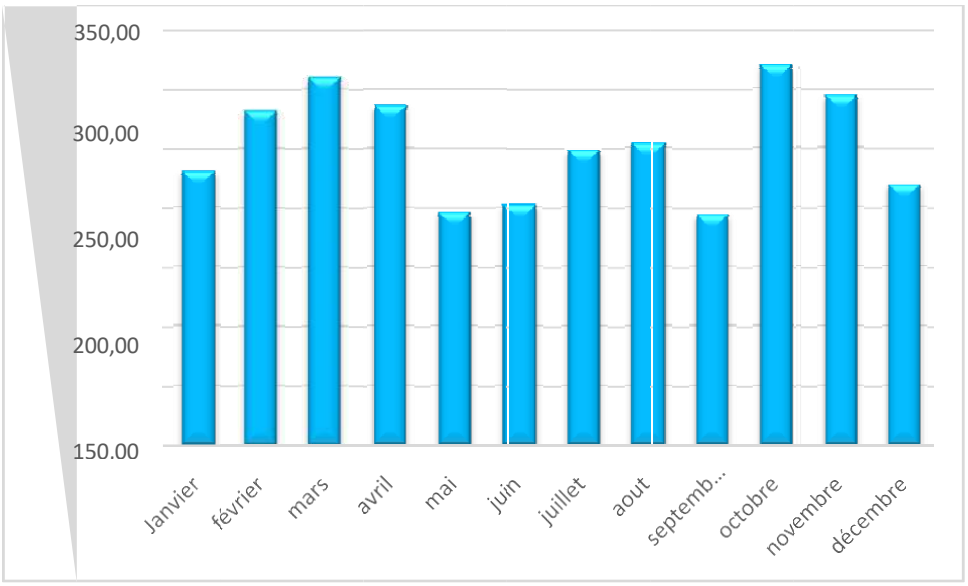


Figure III.2: Production des boues à la station d'épuration d'Ain T'émouchent (2017).

La figure III.5 indique le même problème rencontré par la sep de Mascara, mais la production reste importante à celle de la sep de Mascara.

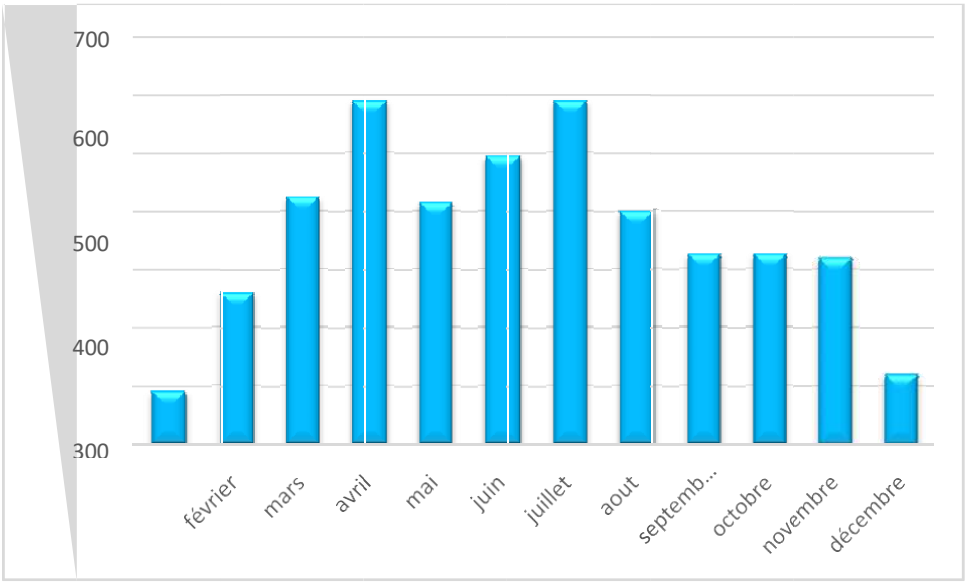


Figure III.3. Production des boues à la station d'épuration de Tlemcen (2017).

Moyennement la production de boue au niveau de la sep de Tlemcen connait des valeurs proches de la réalité et présente une production importante par rapport à celle de Mascara et d'Ain T'émouchent. Environs 4355 de M3 pour l'année 2017, une quantité reflétant le rendement avancé de la station en comparant avec celle des deux autres.

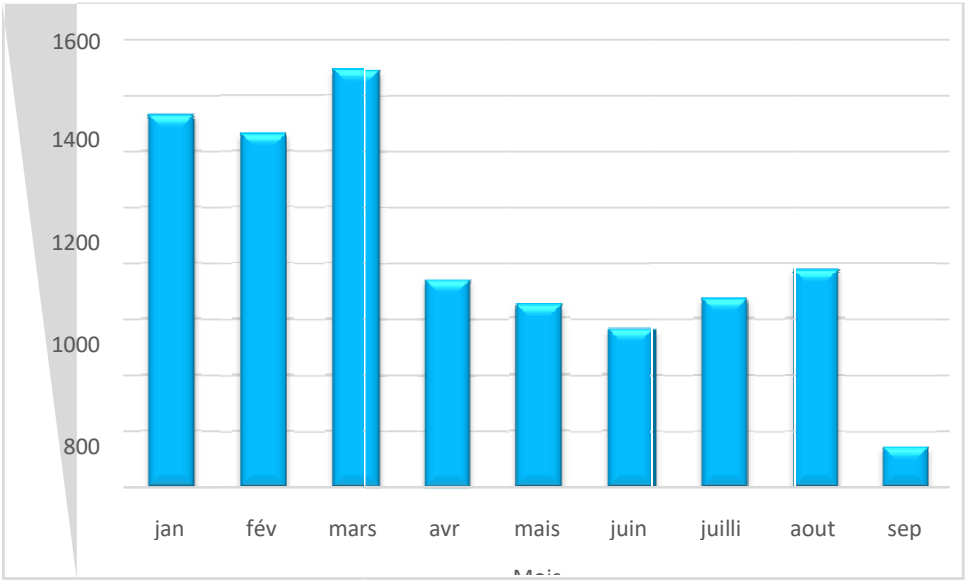


Figure III.4. Production des boues à la station d'épuration d'El Kerma (2017).

La figure III.7 illustre l'énorme chiffre de production de boue de la sep d'el Kerma qui Atteint presque 1500 tonnes par moi de boue sèche, cela revient à la modernité de la sep et la quantité d'eau usée entrante.

III.3. Etat des stations d'épuration en ouest

Trois types de traitements sont prépondérants:
boue activées (08 stations (19%)), Lagunage aéré (13 stations (31%)) et Lagunage naturel (21 stations (50%)). Parmi les 42 stations, trois sont à l'arrêt depuis 2014 : El Karma (type boue activée), Ahana et sharia (Type Lagunage naturel). L'inconvénient majeur de ces procédés biologiques est la production excessive des boues et l'inexistence de traitement adéquat. Les boues produites sont épaissies, séchées puis transportées vers les décharges (ONA, 2014).

Le mode d'épaississement et de séchage des boues dans certaines stations est l'épaississement dynamique et la centrifugation. C'est le cas de la station de Cap Falcon.

Par ailleurs et jusqu'en 1995, seulement 41 000 m3/j des débits journaliers des eaux usées ont été épurés. Cette valeur tend à s'accroitre avec le renforcement du réseau par l'implantation de nouvelles STEP depuis 2005. Le débit épuré passe donc de 126 620 m3/j en 2005 à 283 518 m3/j en 2013 (ONA, 2014) (Figure 10). En 2014 il y'a eu une baisse de production des eaux épurées à cause de l'arrêt de certaines stations : sharia et Ahana (W. de Mascara) et El kerma (W. d'Oran). Cette situation s'est traduite par une baisse de production de 82 376 m3/j, ce qui représente un taux d'environ 29.06 % considéré comme la quantité d'eaux usées non traitées et rejetées directement dans les milieux récepteurs et ce, par rapport à l'année 2013.

III.3.1. Efficacité de l'épuration

La performance des stations d'épuration existantes doit être déterminée par l'analyse des eaux prélevées régulièrement à l'entrée et à la sortie de chaque station. La réglementation algérienne exige des teneurs bien déterminées des paramètres de pollution dans les rejets. Le tableau 2, rassemble les valeurs des paramètres MES, DBO5 et DCO des affluents et des effluents des stations fonctionnelles. Nous constatons que les stations utilisant le procédé à boue activé : Mascara, Cap Falcon, Sidi Bel Abbes, Tlemcen, Saida et Ain El Hodja ; Lagunage aéré : El Hache, Moussa, Ain Noisy, Sidi Assa, Sidi Amar et Mamoré ainsi que le procédé à lagunage naturel : Fornara et Sidi Senoussi présentent toutes des rejets qui respectent les normes algériennes.

En effet, les valeurs dans les cas précités ne dépassent pas 30 mg/L pour les matières en suspension (MES), 40 mg/L pour la demande biologique en oxygène (DBO5) et 120 mg/L pour la demande chimique en oxygène (DCO). Par ailleurs, les quelques stations qui donnent des eaux traitées hors normes, sont celles utilisant les procédés de lagunage aéré et naturel. Cela est dû à plusieurs raisons qui sont résumées dans le tableau 3.

Wilaya	Station d'épuration	MES (30mg/L)* (30mg/L)**		DBO_5 (40mg/L)* (30mg/L)**		DCO (120mg/L)* (90mg/L)**	
		Entrée	Sortie	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie
Mascara	Mascara	236	16	206	10	1035	29
	Mohammadia Est	146	20	109	85	386	217
	Tizi	473	50	312	56	460	87
	Oued Tarai	355	43	342	90	1178	156
	Bouhanifia	61	12	184	35	514	77
	Gris	177	36	423	61	1159	100
	Haine	412	27	227	97	2411	118
	El Hache	350	12	132	4	797	97
	sharia	-	-	-	-	-	-
	Ogar	422	453	1978	285	4837	688.5
	Kalouga	213	48	113	4	923	247
	Frôla	267	74	233	58	704	147
	Sidi Kadar	863	22	248	68	2477	815
	EL Ghor	297	61	210	64	681	169
	Moussa	204	17	200	11	781	78
	Bou henni	290	43	567	160	1320	468
	Ahana	-	-	-	-	-	-
Mostaganem	Fornara	107	5	175	9	270	81

III.3.2. L'état actuel de l'épuration dans l'ouest

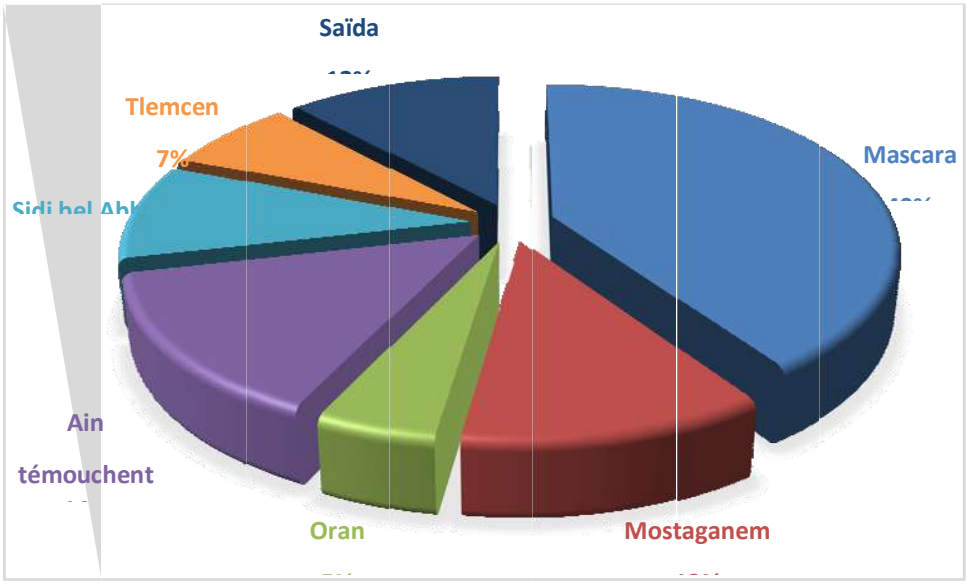


Figure III.5. Répartition des stations d'épuration dans l'ouest[29].

L'état actuel de l'épuration peut être résumé dans cette figure qui nous permet d'en sortir avec lesconstats suivant :

La wilaya de mascara prime la série par 40 % du taux des stations dans l'ouest et cela revient à l'activité agricole qui domine la wilaya entièrement. Puis la wilaya d'Ain T'émouchent, Saida et Mostaganem qui sont connu par leur diversité de production agricole.

III.4. L'état de l'épuration dans la wilaya de Mascara

La wilaya de Mascara est située au Nord – ouest de l'Algérie à 2°,11 de longitude occidentale et 35°,26 de latitude, s'étend sur une superficie de 5962,08 Km2.

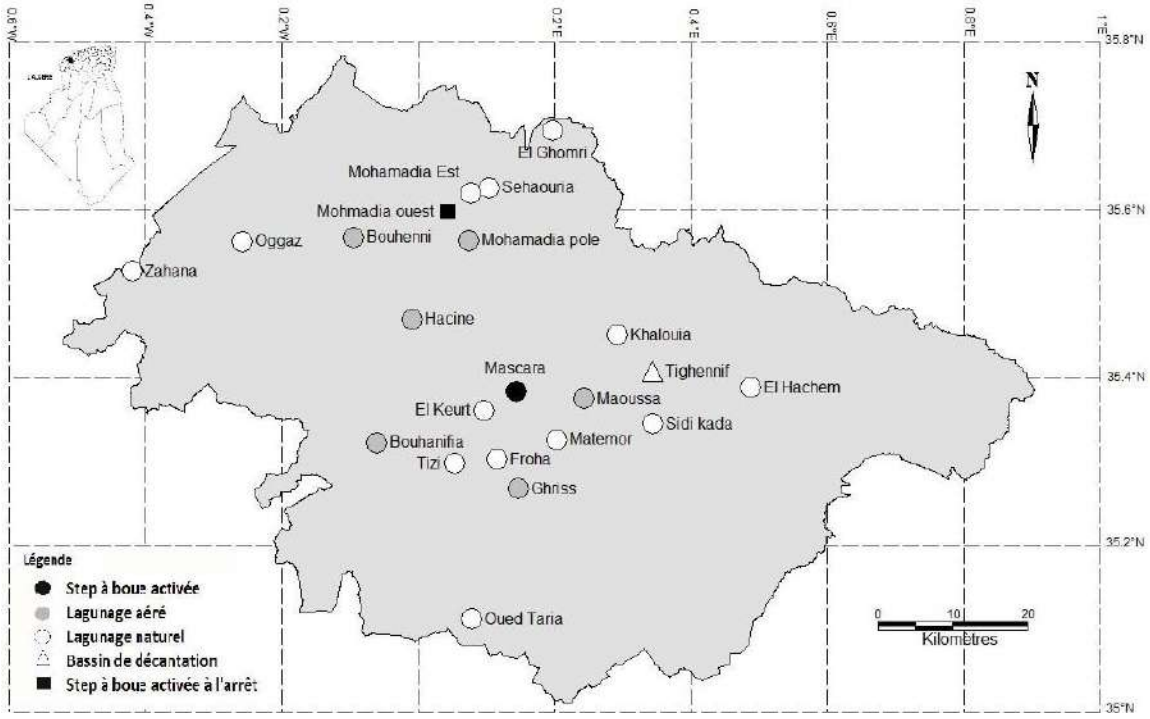


Figure III.6. L'état de l'épuration dans la wilaya de Mascara [30]

D'après la figure 12, le procédé de lagunage naturel représente le procès le plus trouvé dans la wilaya ensuite le lagunage aéré et enfin le procédé à boue activé par une seule station opérationnelle, cela revient peut-être à la simplicité de ces premiers et la quantité des eaux usées réduite collecté en comparant par celle de la ville de Mascara.

Concernant l'état de l'épuration dans la wilaya de Mascara on note :

•Vingt et un (21) stations d'épuration opérationnelles :

Steph à boue activée : Mascara ;

Lagunages aérés : Gris, Haine, Bouhanifia, Moussa, Mohammedia pole et Bou henni.

Lagunages naturels : Mohammedia est, Oued Tarai, Saoura, Tizi, El Hache, Frôla, Matamore, Sidi Kadar, El Kurt, Kalouga, Ogar, El Ghor et Ahana ;

Bassin de décantation : Tighennif.

•une (01) station d'épuration à l'arrêt: Mohammedia Ouest ;

•Dix-sept (17) stations d'épuration à l'étude :

Trois (03) seps par boues activées à faible charge (Sigg, Tighennif, Mascara sud) ;
Deux(02) lagunages aéré (Ain pékan, Oued el Atal) ;
Onze (11) lagunages naturels (Ain el bénin, Zenâta, Ain farés, Alouf, el Bordj, Chorba, Ain Ferra, Moctar douze, Garous, sidi ab el Noumène et el Guigna) ;
Un bassin de décantation à Ain frases [30].

III.5. L'état de gestion des boues en Algérie

Les boues de stations d'épuration sont des résidus du traitement des eaux usées, composés en majeure partie de matières organiques. La production actuelle de boues en Algérie est de l'ordre de 150 000 M3 de matière sèche par an [30].

La quantité majeure de ces déchets est couramment destinée vers le rejet en décharge et le reste utilisés comme fertilisants et amendements organiques sur les terres agricoles. L'épandage agricole concerne chaque année une surface de l'ordre de 200.000 hectares, et est encadré par une réglementation limitant les risques liés à l'utilisation de boues qui peuvent contenir des métaux lourds, des germes pathogènes et des micropolluants organiques.

Le marché de l'épandage agricole est la principale filière de gestion de boues de stations d'épuration urbaines en Algérie, représentant moins de 40% des boues. Une des raisons qui explique cette prédominance de l'épandage est le coût relativement faible de cette filière de gestion des boues, par rapport à l'incinération. Mais ce marché est actuellement menacé. En effet, il est actuellement exposé à une série d'initiatives privées visant à interdire ce type d'épandage, à travers le refus des produits cultivés sur des terrains ayant reçu des boues. Divers acteurs du secteur agro-alimentaire (industries agro-alimentaires, distributeurs, et coopératives) adoptent désormais une position radicale de refus de tout épandage de boues invoquant le « principe de précaution » pour justifier leur attitude. Compte tenu des incertitudes attachées aux risques sanitaires et environnementaux potentiels de l'épandage de boues, ils préfèrent se prémunir de façon radicale contre les risques commerciaux que l'épandage pourrait entraîner. Ce marché est donc menacé de disparaître si un accord n'est pas trouvé entre les différents acteurs concernés pour renoncer à de telles initiatives et maintenir le fonctionnement du marché. Des mesures ont été adoptées par les pouvoirs publics afin d'éviter un mouvement massif d'initiatives d'exclusions des boues de la part de la filière agro-alimentaire, de clarifier les

responsabilités des différents acteurs et d'aboutir à un consensus sur l'intérêt de l'épandage agricole des boues (ONA, 2017).

III.6. L'épandage

La valorisation agricole des boues peut être considérée comme le mode de recyclage le plus adapte pour rééquilibrer les cycles biogéochimiques, et s'avère d'un très grand intérêt économique. Elle vise ainsi à ménager les ressources naturelles et à éviter tout gaspillage de matière organique du a l'incinération ou a l'enfouissement dans les décharges. Les boues d'épuration, source potentielle de carbone et de nutriments, sont capables de fournir aux sols les éléments nutritifs nécessaires à la culture et peuvent ainsi remplacer ou réduire l'utilisation excessive d'engrais couteux. Du fait de leurs propriétés fertilisantes, leur valorisation par épandage constitue la principale espérance de l'Algérie.

III.6.1.Présence des micropolluants avant et après épandage

La contamination des sols par les micropolluants organiques et minéraux contenus dans les boues valorisées par épandage agricole pose un problème environnemental majeur car leur présence dans les sols peut présenter un risque pour les écosystèmes, les chaînes alimentaires et la sante en raison des effets toxiques qu'ils peuvent provoquer sur les microorganismes, végétaux, animaux ou hommes. [31]

Toutefois, la toxicité des micropolluants dépend non seulement de leur teneur dans les sols, mais surtout de la forme sous laquelle ils se trouvent. La connaissance de la spéciation des micropolluants dans les sols permet d'évaluer le risque de passage dans les plantes et les organismes vivants (notion de biodisponibilité) et le risque de transfert vers les eaux souterraines ou de surface (notion de mobilité).

III.6.2.Mesure de la présence dans la boue

Cas des ETM : spéciation chimique

En ce qui concerne les ETM, les techniques de spéciation chimique sont bien connues et maitrisées. La spéciation chimique peut être définie comme une méthode d'identification et de quantification des différentes espèces, formes et phases présentes dans un matériau. La spéciation chimique peut être mesurée à l'aide de techniques d'extraction séquentielle.

L'extraction séquentielle permet de savoir de quelle manière le métal est lié a la boue et permet ainsi d'expliquer la toxicité potentielle d'un métal [32].

Alonso *et al*. Montrenten 2006 que tous les métaux ne sont pas liés de la même manière à la boue : le cobalt, le manganèse, le nickel et le zinc sont faiblement liés à la boue (et donc potentiellement disponibles) alors que l'aluminium, le fer, le titane, le cadmium, le chrome et le plomb se retrouvent dans la fraction résiduelle et donc fortement liés à la boue. De manière globale, seuls

7% des métaux sont présents dans des formes facilement mobilisables et 90% sont liés à la boue. Dans une autre étude de [33], confirment ces résultats dans des boues activées : Ni et Zn sont potentiellement fortement mobiles car ils se trouvent dans la fraction échangeable alors que les autres métaux sont plus fortement liés à la boue.

III.6.3. Expérience d'épandage des boues de la stop d'EL KERMA

Une expérience Algérienne d'épandage était effectuée par la boue d'El Kerma sur des parcelles situées à Sahraoui (Oran). Le site choisi pour épandage des boues du sep est illustré dans la photo satellitaire ci-dessous.



Figure III.7. Site expérimental pour l'épandage de boues sur les terres agricoles.

III.6.3.1. Quantités des boues épandues

L'épandage des boues de la sep d'Oran a été effectué selon trois modes pour cultivation d'orge, les quantités épandues sont illustrés dans le tableau ci-dessous.

	Eléments	P1 (5m3/ha)	P2 (10m3/ha)	P3 (15m3/ha)
Quantité disponible (kg/Ha)	Nt	26	52	78
	P	14	29	43
	K	23	46	69

Tableau III.2. Différentes quantités épandues.

	P1h1	P1h2	P1h3
K (mg/kg)	3.525	2.5379	1.927
Na (mg/kg)	52,9	87,4	92
Mg (mg/kg)	2.7	3.2	3.4
Ca (mg/kg)	100.856	105.81	99.12
P (mg/kg)	14,6	10,2	13,4
M.O (%)	1,15	1,24	0,64
pH	8,91	8,89	9,04
Carb total	14,83	11,27	21,41
Cond (ms/m)	15,85	17,41	19,34
Sable (%)	60	60	28
Argile (%)	24	24	44
Limon (%)	16	16	28

Tableau III.3. Résultats d'analyses du sol.

Le pH ne répond pas à une exigence physiologique de la plante. C'est l'action du pH sur les propriétés physiques et chimiques (et biologiques) du sol qui crée un milieu plus favorable à l'alimentation minérale et à la croissance des plantes. D'ailleurs, les plantes s'accommodent le plus souvent d'un écart de pH atteignant une unité. On constate que la plupart des plantes se développent très bien dans un sol à pH 6,5. »[34]

Suite au classement des centres de recherches, notre sol est classé fortement alcalin (sic). De façon générale, un taux de 4 à 8 % de matière organique correspond à une bonne productivité et à une bonne capacité de minéralisation. Cependant, de hautes teneurs en matière organique peuvent être révélatrices de mauvaises conditions de croissance si elles sont associées à de mauvaises conditions de drainage. De plus, un niveau élevé de matière organique peut induireune trop forte rétention en eau et favoriser le développement de certaines maladies, entre autre chez la pomme de terre » [35]

Nos sols présentent une moyenne de 1,01 %, alors ils sont considérés comme très pauvres en matière organique (Sic).

Suit à la composition de nos sols par les nutriments : K, Na, Mg, ça et P. Nos sols sont faiblement enrichis par ces minéraux et cela revient aux faibles doses épandues et le jeune âge de l'expérience.

Pour la texture de nos trois sols :

Le sol de la première parcelle : Sableux argileux ; Le sol de la deuxième parcelle : Sableux argileux ; Le sol de la troisième parcelle : Argileux limoneux.

III.7. Gestion de biogaz

III.7.1. Composition du Biogaz

Le biogaz est principalement constitué de méthane combustible et de gaz carbonique inerte.

D'autres gaz peuvent venir s'ajouter de façon minoritaire dans la composition du biogaz : hydrogène, sulfure d'hydrogène (H2S). La teneur de ces gaz dépend étroitement du déchet traité et du degré d'avancement de la méthanisation.

Nature du gaz	Proportion (en %)
Méthane (CH4)	64
Dioxyde de carbone (CO_2)	35
Hydrogène sulfuré (H_2S)	1

Tableau III.4. Compositions du biogaz de la station d'épuration d'El Kerma**.**

III.7.2. Production du biogaz à la station

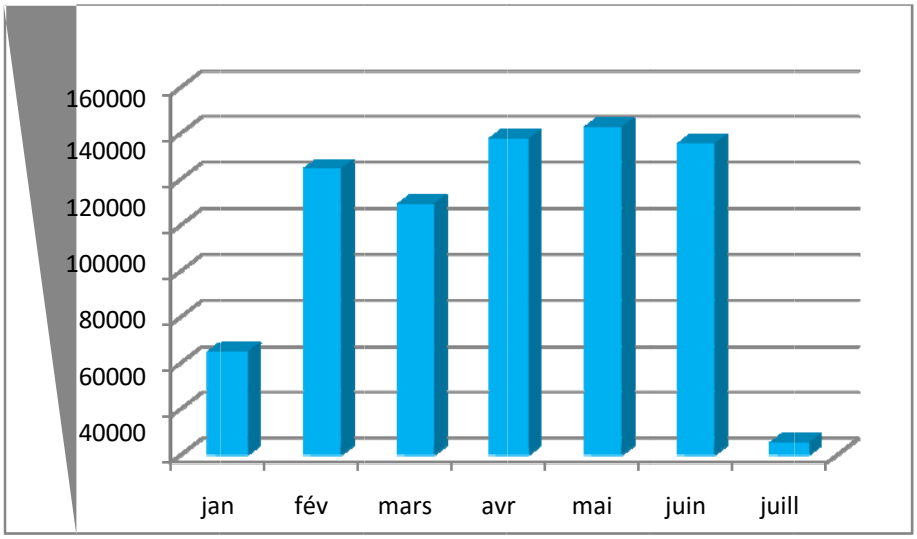
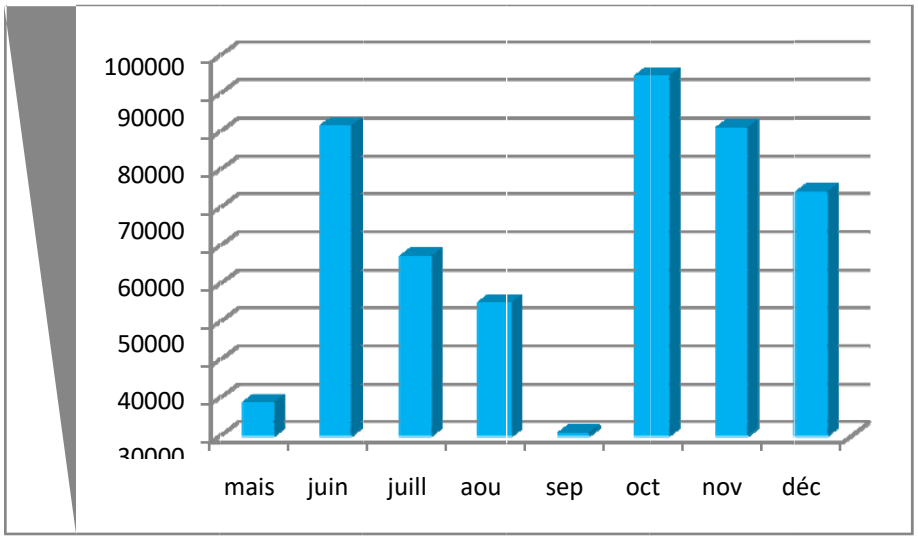


Figure III.8. Production de biogaz de la station d'El Kerma (année 2014).

La production du biogaz à la STEP el kerma varie entre 5426 Nm^3au mois de juillet et 142816Nm^3au mois de mai.

Figure III.9. Production du biogaz à la station d'El Kerma année 2016.



La production du biogaz à la STEP el kerma varie ntre 929 Nm3 au mois septembre et 94871Nm3 au mois octobre.

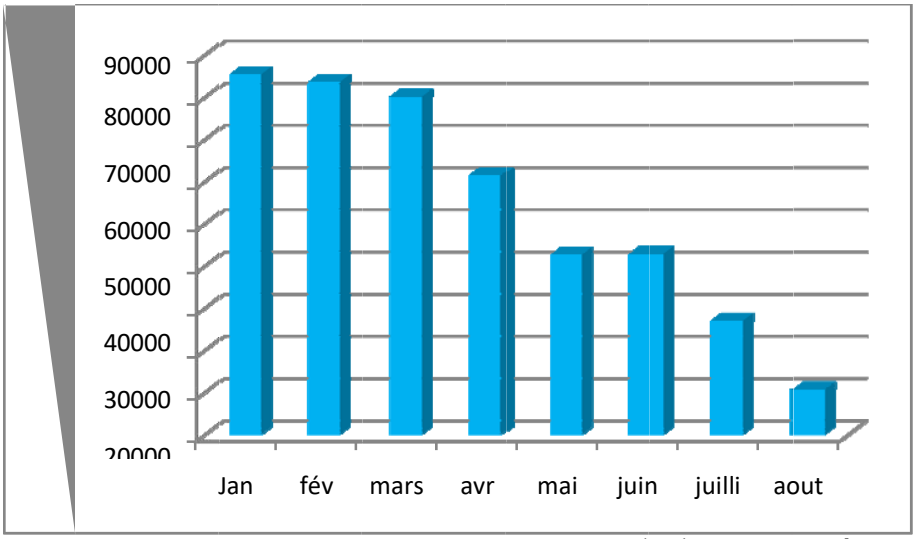


Figure III.10. Production du biogaz de la station d'El Kerma année 2017.

La production du biogaz à la STEP el kerma varie entre 85533 Nm3 au mois janvier et 10652 Nm3 au mois aout.

D'après les trois figures précédentes on constate une fluctuation de production dû principalement aux pannes des équipements et aussi à la fluctuation de la quantité de productions saisonnière de la boue (SEOR 2017).

III.8. Valorisation énergétique

III.8.1. Production du méthane CH4 à la station

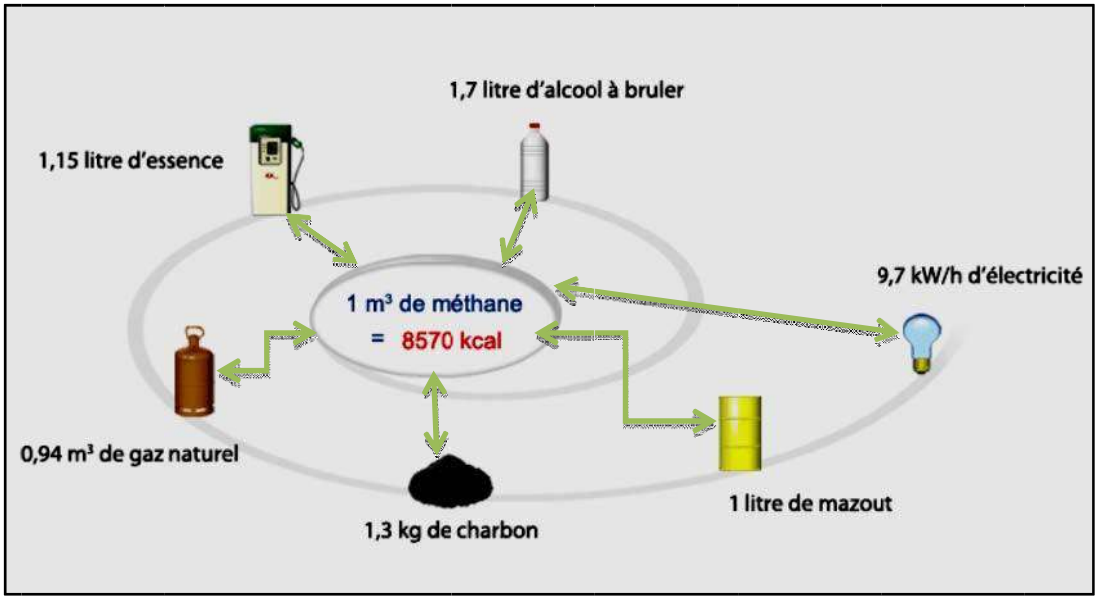


Figure III.11. Equivalence énergétique du méthane.

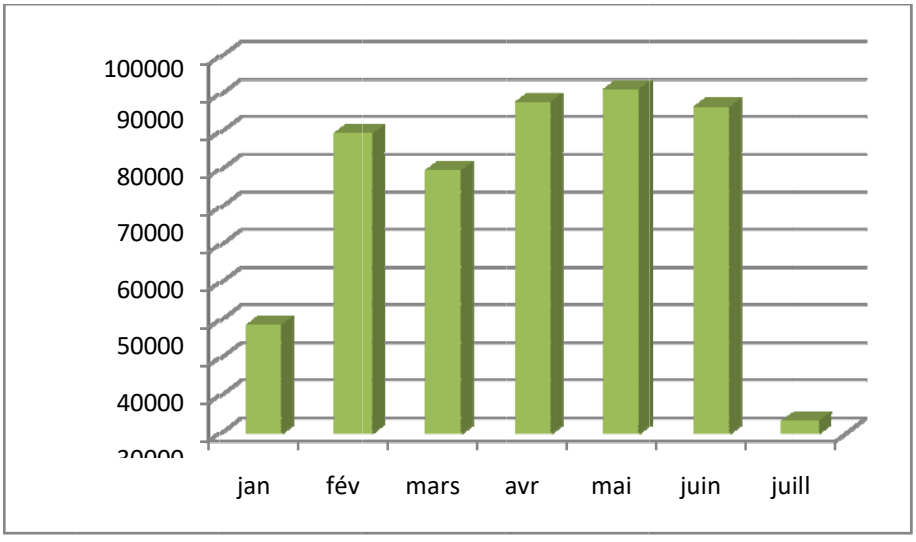


Figure III.12. Production du méthane (CH_4) à la station (année 2014).

La production du méthane (CH_4) valorisable dans la production d'énergie atteint 92402 Nm^3.

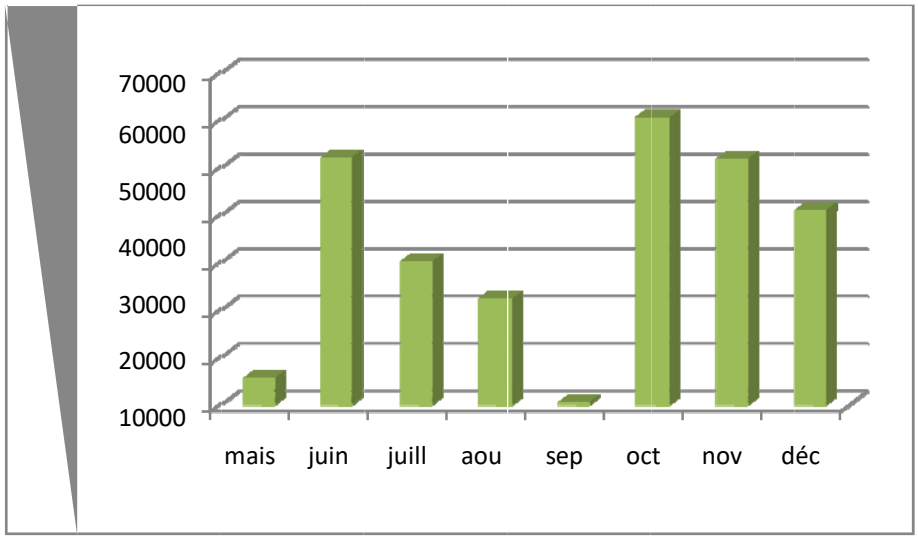


Figure III.13. Production de méthane à la station d'épuration (2016).

La production de méthane (CH_4) valorisable dans la production d'énergie atteint 60717 Nm^3 aumois d'octobre.

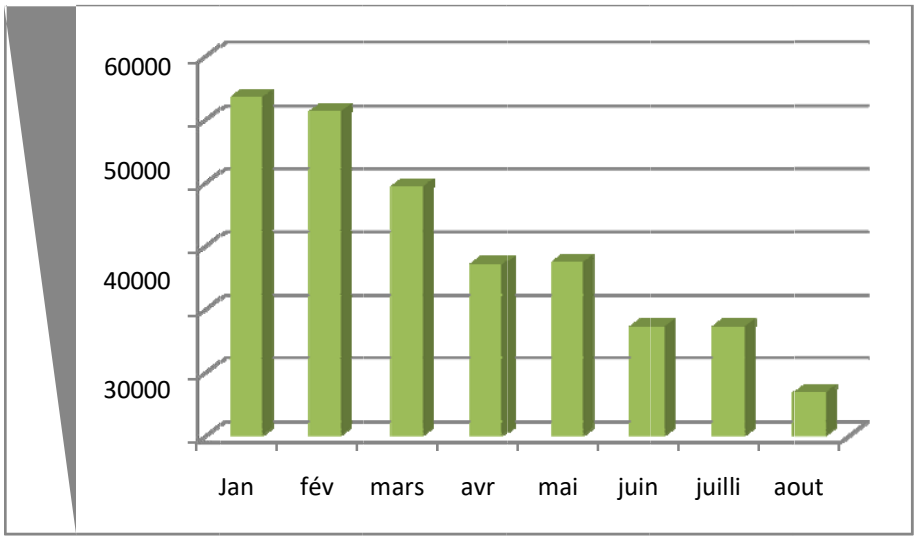


Figure III.14. Production du méthane à la station (année 2017).

La production du méthane (CH_4) valorisable dans la production d'énergie atteint 53606.4 Nm^3au mois de janvier.

Par synthèse des trois figures, nous découvrons aussi qu'il Ya eu une fluctuation de

production durant les trois années et cela est dû aussi aux pannes des équipements et aussi à la fluctuation dela quantité de productions saisonnière de la boue (SEOR 2017).

III.8.2. Production du CO2 à la station

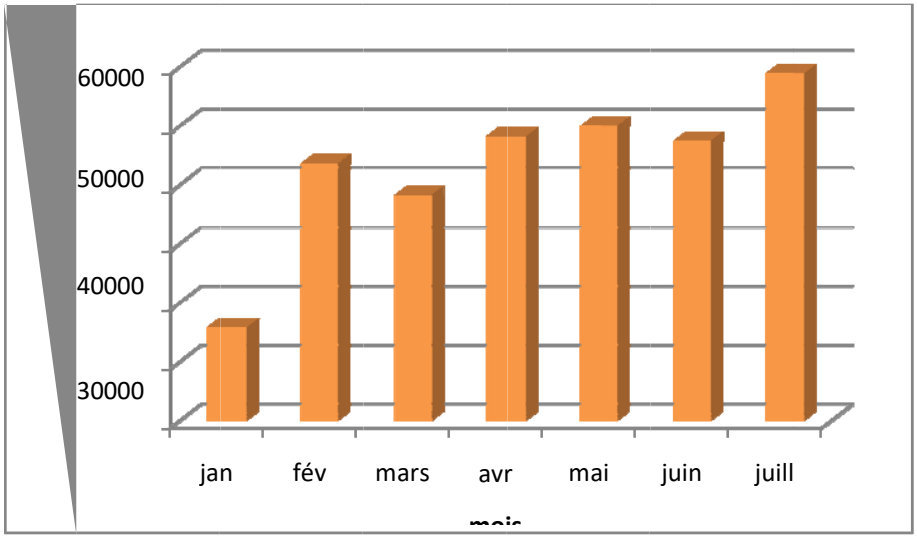


Figure III.15. Production du CO_2 (année 2014).

La production de CO_2 à la station d'épuration el kerma est arrivée à 58868 Nm^3 au mois juillet et15803 Nm^3 au mois de janvier.

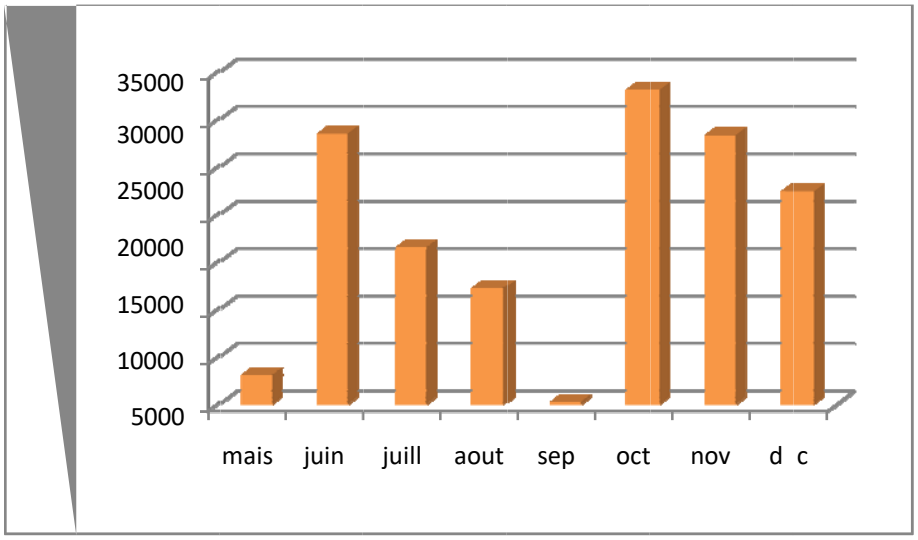


Figure III.16. Production de CO_2 de l'année 2016.

La production de CO_2 à la station d'épuration d'El Kerma a atteint 33204 Nm^3 au mois d'octobreet 325 Nm^3 au mois de septembre.

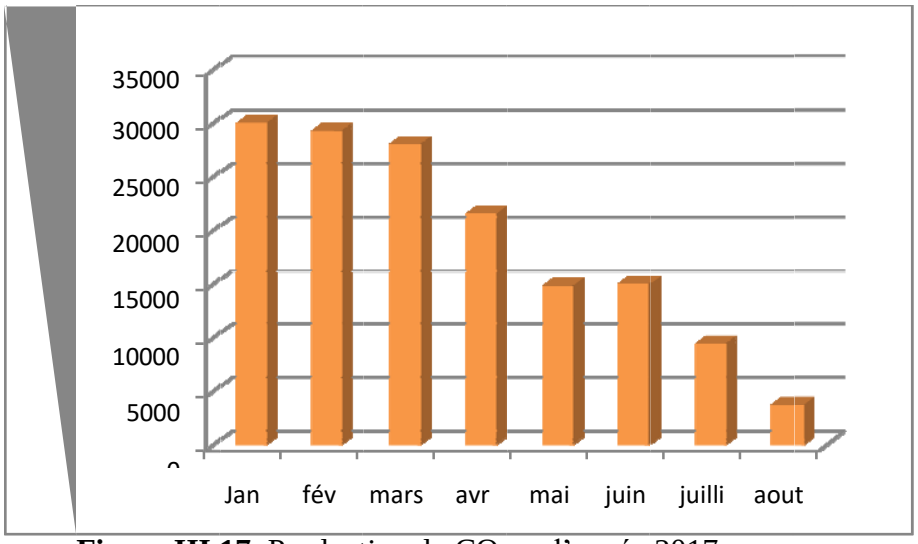


Figure III.17. Production du CO_2 a l'année 2017.

La production de CO_2 à la station d'épuration d'El Kerma est arrivée à 30041 Nm^3 au mois dejanvier et 3728 Nm^3 au mois aout.

L'analyse des trois figures, nous permet de tirer aussi qu'il Ya eu une fluctuation de production durant les trois années et cela est dû aussi aux pannes des équipements et aussi à la fluctuation dela quantité de productions saisonnière de la boue (SEOR 2017).

III.8.3. Production du H2S à la station :

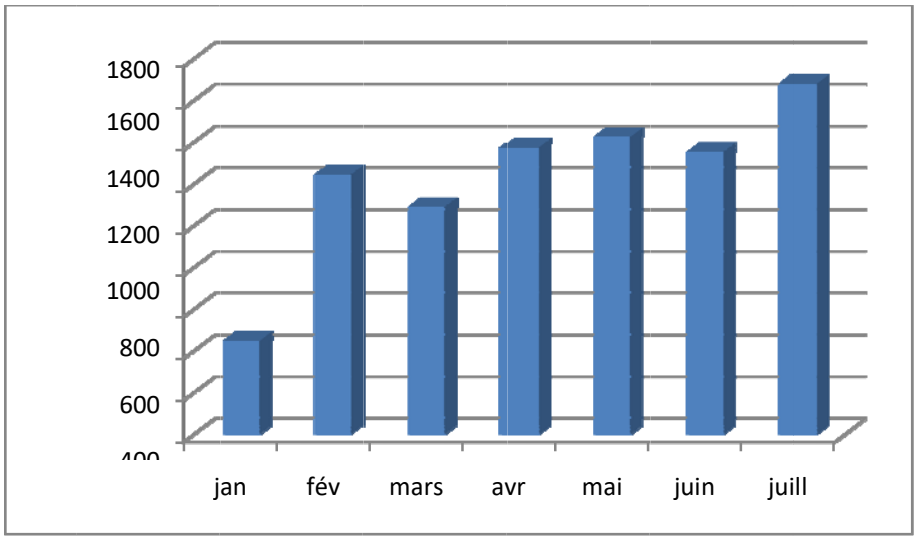


Figure III.18. Production du H_2S de la station de l'année 2014.

La production de H_2S Arrivé à 1681.95 Nm^3au mois de juillet et 451.52 Nm^3au mois de janvier.

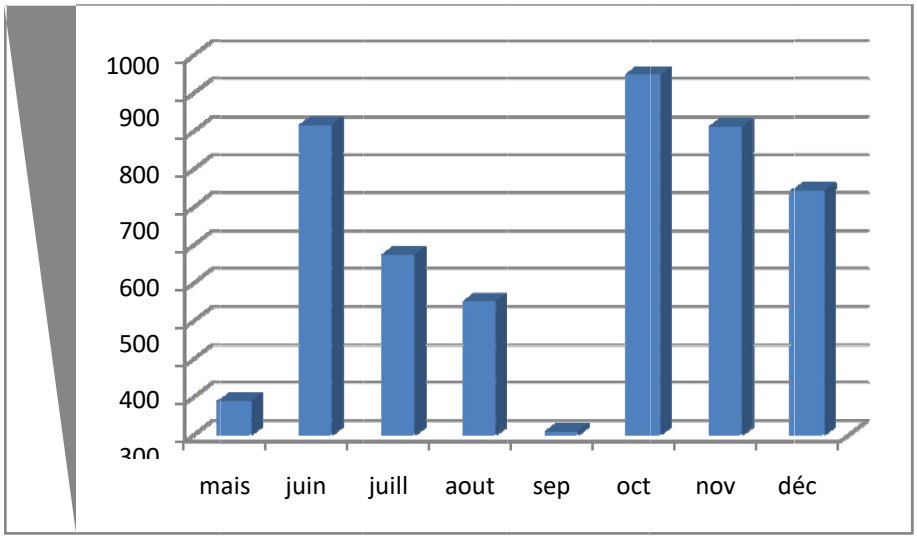


Figure III.19. Production de H_2S de la station d'épuration de l'année 2017.

La production de H2S de la station d'épuration d'El Kerma de l'année 2014 à 2017, nous permis d'observe une fluctuation de production durant les trois années et cela est lié proportionnellement à la production du biogaz (SEOR, 2017).

III.9. Taux de satisfaction en énergie

$$\text{Taux de satisfaction en énergie} = \frac{\text{énergie produite}}{\text{Égérie consommée}} \times 100 \quad \text{..... (III.1)}$$

Où : énergie produite = quantité du méthane produite × PCI en KWh……(III.2)

Energie consommée : en KWh/mois.

Chapitre IV

Gestion de l’environnement et valorisation des boues.

IV.1. Origines des boues résiduaires urbaines

L'homme, par son activité quotidienne, génère une grande quantité d'eau usée. Ces effluents, qui peuvent être d'origine urbaine ou industrielle, doivent être traités pour minimiser le risque sanitaire et l'impact sur les milieux récepteurs. Ces traitements sont effectués dans des stations d'épuration. Ils génèrent plusieurs coproduits, dont les boues résiduaires. On distingue habituellement les boues industrielles, qui proviennent de l'activité productive des usines, des boues urbaines, qui proviennent du traitement des eaux résiduaires domestiques et éventuellement des eaux pluviales.

Le procédé de traitement des eaux usées par boues activées reprend de façon industrielle l'effet «auto-épurateur » des rivières. Ce procédé, qui consiste à mettre en contact dans un réacteur biologique aéré les eaux chargées d'éléments polluants avec des flocs de micro-organismes en suspension, est actuellement le plus utilisé pour l'épuration des eaux usées urbaines.

Les boues des eaux résiduaires urbaines sont composées de très nombreux éléments à tel point qu'il est impossible d'en faire une liste exhaustive. C'est un mélange hétérogène de microorganismes, de fibres, de particules colloïdales et non colloïdales, d'éléments métalliques, de polymères organiques et de divers autres constituants dont la composition peut varier considérablement selon l'origine de la boue, la saison et bien d'autres paramètres encore [36] .

IV.2. Les différents types de boues résiduaires urbaines

Il n'existe pas de classification unique et standard pour caractériser une boue de station d'épuration. Néanmoins, les boues d'origine urbaine sont souvent classées selon la nature du traitement qu'elles ont subi en station d'épuration [37] .

Il n'existe pas de classification unique et standard pour caractériser une boue de station d'épuration. Néanmoins, les boues d'origine urbaine soient souvent classées selon la nature du traitement qu'elles ont subi en station d'épuration. Les cinq catégories de boues sont :

-les boues primaires qui proviennent d'opérations de traitement des effluents se limitant à une séparation liquide-solide telle que la décantation ou encore la flottation ;

-les boues primaires physico-chimiques qui sont des boues primaires qui ont subi un traitement supplémentaire de coagulation et/ou de floculation ;
-les boues secondaires ou boues biologiques qui ont subi un traitement biologique visant la dégradation de la matière organique, du phosphore et de l'azote contenus dans celles-ci
-les boues tertiaires qui sont des boues ayant subi un traitement tel que la désinfection ou la déphosphatation qui visent à affiner l'épuration de façon à répondre à un critère de qualité ;
-les boues mixtes qui correspondent à un mélange de boues primaires et secondaires [37] .

IV.2.1. Etat physique d'une boue

Une boue peut se présenter sous une forme liquide, solide ou sous une forme intermédiaire que l'on désignera par « pâteuse ».
Van Damme et al, définissent ces milieux comme des suspensions très concentrées ou des assemblages de grains, saturés de liquide, en présence ou pas d'interactions physico-chimiques. Une des principales caractéristiques physiques d'une suspension est la concentration volumique en particules solidesϕ_s définie par [38] .

$$\phi_s = \frac{V_s}{V_t} \quad \text{(II.}$$

où

V_s : correspond au volume des particules solidesV_t volume total de la suspension.
Coussot et Ancey définissent deux catégories de suspensions en fonction de cette réaction volumique solide ϕ_s [39].
Les suspensions molles pour lesquelles la fraction volumique solide ϕ_s est inférieure à une fraction volumique solide critiqueϕ_c,
Les suspensions dures pour lesquelles la fraction volumique en solide ϕ_s est supérieure à la fraction volumique solide critique ϕ_c et inférieure à la concentration d'entassement maximal, ϕ_{cm}et dans lesquelles il existe un réseau de particules en contact donnant une structure à la suspension. On parle aussi de suspensions granulaires pour décrire ces milieux. D'après Cousso,dans les pâtes, le fluide serait bloqué dans la structure. Elles feraient donc partie des suspensions dures. Les pâtes peuvent néanmoins devenir liquides,

lorsqu'une énergie suffisante est fournie, etrestent (ou redeviennent) solides si l'énergie fournie est trop faible.

Les pâtes sont donc caractérisées par leur capacité à transiter d'un état solide à l'état liquide et del'état liquide à l'état solide. La compréhension du comportement des milieux pâteux fait appel à la description d'un certain nombre de phénomènes et d'interactions physiques complexes entre les particules solides et le fluide. Ceci rend l'étude du comportement de ces matériaux très difficile.

Il paraît difficile d'accéder aux trois fractions volumiques mentionnées ci-dessus pour des matériaux comme les boues de station d'épuration, qui sont composées de particules de natures, de formes et de tailles différentes. D'ailleurs, une boue de station d'épuration est plutôt caractérisée par sa fraction massique en matière sèche, également appelée siccité (*S)*. Ce terme, défini par l'équation 2, correspond au ratio entre la masse de matière sèche (m_{MS}) et la masse de matière humide m_t. La matière sèche est réputée non volatile et est déterminée par séchage en étuve à 105 °C jusqu'à l'obtention d'une masse constante. La notion de teneur en eau ***X*** est aussi utilisée. Elle fait référence au ratio de la masse d'eau contenue dans le matériau m_{eau} et de la masse de matière sèche m_{MS}. X est définie par l'Equation 3.

IV.3. Composition des boues résiduaires

La composition exacte des boues varie en fonction de l'origine des eaux usées, de la période de l'année et du type de traitement et de conditionnement pratiqué dans la station [42] ; les boues résiduaires représentent avant tout une matière première composée de différents éléments (matière organique, éléments fertilisants (N et P …), d'éléments traces métalliques, d'éléments traces organiques et d'agents pathogènes).

IV.3.1. Matière organique

La concentration en matière organique peut varier de 30 à 80 %. La matière organique des boues est constituée de matières particulaires 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) [40].

IV.3.2. Eléments fertilisants et amendements

Selon la dose appliquée, les boues peuvent couvrir, en partie ou en totalité, les besoins des cultures en azote, en phosphorent, en magnésie, calcium et en soufre ou peuvent aussi corriger des carences à l'exception de celle en potassium. 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.

IV.3.3. Contaminants chimiques inorganiques et organiques

La notion de trace est à distinguer pour les microéléments qui caractérisent un élément dont la concentration moyenne est inférieure à 100 mg/kg de matière sèche.

IV.3.3.1. Eléments traces métalliques (ETM)

On parle d'éléments traces lorsque la teneur d'un élément dans la croûte terrestre est inférieure à un pour mille. Cette notion est à distinguer de celle de microélément qui caractérise un élément dont la concentration moyenne dans les organismes vivants est inférieure à 100 mg/kg de matièresèche. Ainsi, certains éléments majeurs vis-à-vis de la croûte terrestre se comportent comme des microéléments vis-à-vis des êtres vivants (ex : fer, manganèse).

Les ETM (également dénommés éléments traces minéraux) regroupent donc :

Des oligoéléments (métaux ou non) indispensables à faibles doses aux organismes vivants : cuivre (Cu), zinc (Zn), bore (B), manganèse (Mn), fer (Fe), nickel (Ni), vanadium (V), molybdène (Mo), chrome (Cr), étain (Sn), arsenic (As)…

Des métaux lourds pour lesquels n'a pas été identifié de rôle positif pour l'activité biologique : le mercure (Hg), le plomb (Pb) et le cadmium (Cd).

IV.3.3.2. Composés traces organiques (CTO)

Les Composés Traces Organiques sont des composés organiques présents en très faibles quantités mais qui présentent un risque écotoxicologique important [41].

Ils sont aussi appelés xénobiotiques, micropolluants organiques ou encore polluants organiques persistants (POP). Les CTO regroupent différentes familles de composés

tels que les HAP(hydrocarbures aromatiques polycycliques), les PCB (polychlorobiphényles), les pesticides, les dioxines, les furanes, les dérivés de détergents, plastifiants, hormones naturelles et synthétiques, etc., mais aussi les résidus de médicaments autrement appelés composés pharmaceutiques.

En plus des pesticides, les résidus de médicaments et de substances pharmaceutiques sont de plusen plus étudiés .

Ils sont considères comme des polluants émergents, résidus d'utilisation de produits chimiques présents dans l'environnement, non encore réglementes, maissur lesquels l'attention scientifique et publique se focalisent .

IV.3.4. Les micro-organismes pathogènes

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

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 [42]. 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. D'une façon générale, les boues doivent subir un prétraitement avant leur utilisation en agriculture.

Il existe trois principaux types de contamination des boues d'épuration : les Microorganismes pathogènes, les ETM et les CTO dont font parties les micropolluants organiques persistants.

Les microorganismes détectés dans les boues de STEP proviennent généralement des procédésde traitement biologique des eaux usées. La majorité d'entre eux ne présentent pas de risques.

Pathogènes pour l'homme ou les animaux. Ces organismes sont dits saprophytes, c'est à dire qu'ils vivent aux dépens de la matière organique en décomposition. Les microorganismes pathogènes présents dans les boues d'épuration sont peu nombreux. Ils sont de cinq types :virus,bactéries, protozoaires, helminthes et champignons [43].

La concentration en microorganismes des boues provient de la séparation eaux/boues grâce à la capacité de ceux-ci à s'adsorber sur la matière particulaire ou à décanter. Des traitements sont réalisés pour réduire la charge en organismes pathogènes.

Il semble que les facteurs les plus efficaces soient la température et le couple température/temps. L'efficacité d'un traitement sur les germes pathogènes est mesurée par le taux de réduction de la contamination lors du traitement mais aussi par la capacité de re-croissance ultérieure despopulations pathogènes [43].

IV.4. Techniques de traitement des boues

Jusqu'à une période récente, l'impact d'une usine de traitement des eaux résiduaires était surtout défini par la qualité de l'eau rejetée en fin de filière. Le débat revêt aujourd'hui une autre dimension, avec la prise de conscience qu'il est également nécessaire d'améliorer le traitement des boues issues de la dépollution.

Il est devenu impératif de les évacuer dans les conditions les plus respectueuses pour l'environnement, afin de ne pas remettre en question l'effort consenti en matière d'épuration. Autrement dit, de ne pas risquer d'effectuer un simple transfert de pollution dans le milieu naturel. Dans les années à venir, la quantité de boues produites par les usines de traitement des eaux résiduaires connaîtra une importante augmentation, tandis que les voies de valorisation ou de stockage sont plus restreintes.

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 fiable et sans nuisance [44].

Généralement, le traitement des boues a deux objectifs :

-La stabilisation pour empêcher ou réduire les problèmes de fermentation et d'éviter ainsi les nuisances olfactives. La stabilisation peut être biologique par voie aérobie (compostage) ou anaérobie (méthanisation) ou chimique (chaulage ou autres traitements) (Office International de l'Eau, 2001). La stabilisation biologique présente l'avantage de limiter l'évolution ultérieure dela composition des boues.

-La déshydratation: c'est la déconcentration des boues qui a pour objectif de réduire leurvolume (plus de 97 % d'eau) par épaississement et/ou par déshydratation pour faciliter par lasuite leur transport et leur stockage. Un conditionnement est souvent utilisé en amont pour favoriser la séparation liquide solide à l'aide des floculants

organiques de synthèse ou minéraux, et autoclavage. Selon la puissance du procédé de séchage utilisé : épaississement, déshydratation ou séchage thermique, on obtient des boues à différents pourcentages de siccité : Boues liquides (4 à 10 %), Boues pâteuses (10 à 25), Boues solides (25 à 50 %), Boues granulées ou en poudre pour une siccité supérieure à 85 % (Adema, 1996).

L'eau est le composé majeur commun à toutes les boues, dont la teneur varie au cours des différentes phases du traitement. D'un point de vue physico-chimique, toute l'eau contenue dans les boues n'a pas les mêmes propriétés. En effet, l'eau interagit avec la matière qui l'entoure, et l'on distingue ainsi différentes classes d'eau en fonction de ces interactions. Leur définition a fait l'objet de nombreuses recherches [45]. D'une manière générale, tous s'accordent pour distinguer l'eau « libre » de l'eau non-libre encore appelée eau « liée ». Plusieurs méthodes ont été proposées pour différencier l'eau libre et non-libre dans les boues (dilatomètre, calorimétrie à balayage différentielle, …). Les résultats obtenus montrent que la notion d'eau liée et les teneurs mesurées sont étroitement dépendantes de la technique employée [46]. Propose une classification plus détaillée des différents types d'eau présents dans les boues :

-Eau libre : c'est la part de l'eau la plus importante dans une boue liquide et est non associée aux particules solides en suspension. Elle peut être éliminée par drainage, épaississement ou déshydratation mécanique.

-Eau interstitielle : elle est emprisonnée dans les fissures et espaces interstitiels. Elle peut également être retenue dans les flocs, voire dans les structures de cellules microbiennes, et devenir libre s'ils sont détruits (par une énergie mécanique suffisante). L'effet des surfaces solides n'est pas clair, mais les résultats suggèrent qu'une partie de cette eau ne se comporte pas physiquement comme de l'eau libre. Elle est également qualifiée par d'autres auteurs d'eau liée mécaniquement.

-Eau vicinale : il s'agit de plusieurs couches de molécules d'eau liées à la surface des particules solides par des ponts hydrogène (ou présentes dans les cellules). Ces forces agiraient sur courte distance, mais seraient très intenses près de la surface, engendrant l'apparence de molécules très structurées. Contrairement à l'eau interstitielle qui est libre

de bouger lorsque le confinement physique est éliminé, l'eau vicinale (encore appelée eau liée physiquement) continue d'adhérer à la surface.

-Eau d'hydratation : elle est liée chimiquement aux particules et éliminée uniquement par desdépenses (fortes) d'énergie thermique.

-Eau vicinale : il s'agit de plusieurs couches de molécules d'eau liées à la surface des particules solides par des ponts hydrogène (ou présentes dans les cellules). Ces forces agiraient sur courte distance, mais seraient très intenses près de la surface, engendrant l'apparence de molécules très structurées. Contrairement à l'eau interstitielle qui est libre de bouger lorsque le confinement physique est éliminé, l'eau vicinale (encore appelée eau liée physiquement) continue d'adhérer à la surface.

-Eau d'hydratation : elle est liée chimiquement aux particules et éliminée uniquement par desdépenses (fortes) d'énergie thermique.

IV.4.1. L'épaississement des boues

La réduction de masse et de volume permet de limiter la taille de certains équipements et le coût d'évacuation.

Quelle que soit la destination finale des boues, il est impératif de réduire leur volume, autrement dit leur teneur en eau. Cela permet de diminuer les coûts de transport et de stockage, d'augmenter le pouvoir calorifique en cas d'incinération, ou d'atteindre une siccité d'au moins 30% en cas de stockage en décharge. L'épaississement est la première étape du traitement. Parde concentration, il réduit le volume à transférer sur la filière et permet d'obtenir une boue dontla concentration varie de 15 à 100 g/l. elle peut donc être pompée.

L'épaississement peut être statique ou dynamique.

IV.4.1.1 L'épaississement statique gravitaire

Il s'effectue par décantation dans une cuve cylindrique à fond conique, sous la seule action de la pesanteur. La boue épaissie est évacuée par le bas.

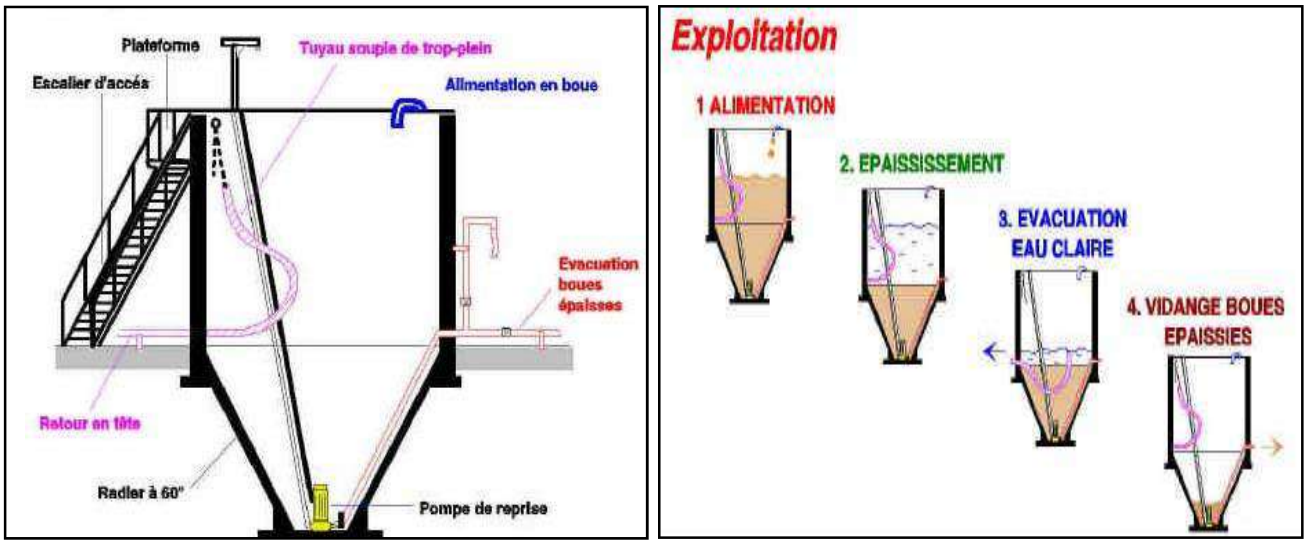


Figure IV.1. Schéma de principe de fonctionnement d'un épaississeur gravitaire **[11]**
a) Composantes, **b)** exploitation**.**

IV.4.1.2. L'épaississement dynamique

Il est réalisé sous l'action de forces mécaniques, et s'effectue selon différents principes.

-Par flottation : De fines bulles d'air permettent à la boue de remonter en surface, par captation. Ce procédé est principalement réservé aux boues biologiques de faible densité.

-Par égouttage : La boue floculée est épaissie par égouttage sur une toile filtrante.

-Par centrifugation : La boue floculée est épaissie sous l'effet de la force centrifuge[44].

IV.4.2. La déshydratation des boues

Les boues contiennent de nombreux composés qui peuvent se regrouper en trois catégories: Matières en suspension : Ce sont en général des particules de grande taille (supérieur à un micron). L'origine est soit minérale (sable, limons, argiles…) soit organique provenant de la décomposition des matières végétales ou animales. A ces composés s'ajoutent les micro-organismes tels que bactéries, algues, plancton et virus.

Matières colloïdales : Ce sont des matières en suspension de même origine que les précédentes mais de plus petite taille (moins d'un micron). Ces particules présentent une décantation très lente et sont généralement génératrices de couleur.

Matières dissoutes : De très petites tailles (quelques centaines de nanomètres). Ce sont des cations ou des anions avec une partie de la matière organique.

Les matières en suspension sont facilement séparables de l'eau qui les entoure. Le cas des matières colloïdales est plus complexe puisqu'elles sont difficiles à décanter naturellement, d'où la nécessité d'avoir recours à d'autres techniques pour les séparer de l'eau. La technique la plus classique étant la floculation par ajout de polymères qui aident l'agglomération des boues.

La déshydratation constitue la seconde étape de réduction du volume des boues en effectuant une élimination plus ou moins poussée de leur humidité résiduelle de façon à les amener à l'état solide (30 à 40 % de matières sèches). On peut avoir recours à une déshydratationpar drainage, filtration, centrifugation et séchage thermique. Un ajout de chaux permet d'augmente la déshydratation (10 % de matières sèches) [47].

Il existe deux grandes familles de techniques :

IV.4.2.1. La déshydratation par filtration

Il existe deux techniques :

-Sur filtre à bande : La technique de filtration par bandes presseuses est depuis une trentaine d'années, de très loin la plus utilisée. Le filtre à bandes reçoit la boue entre deux toiles filtrantes et est comprimée au moyen de cylindres dont l'écartement diminue progressivement (Figure 5). Les boues passent ainsi d'un état liquide à un état plastique ou solide ; il y a formation d'une pâte appelée gâteau

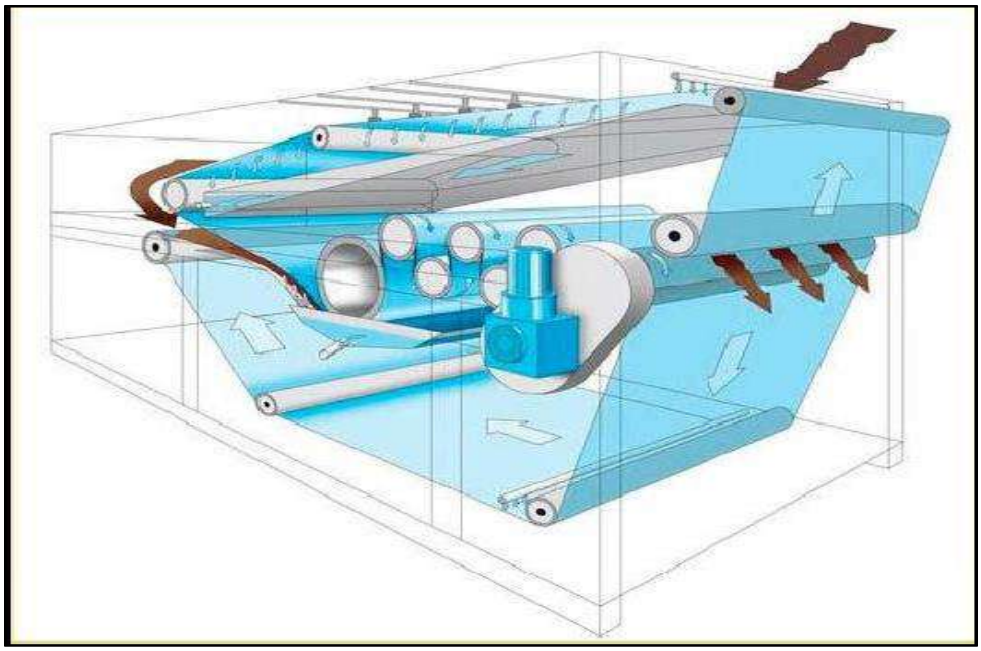


Figure IV.2. Déshydratation mécanique par filtre à bandes [11].

-Le filtre presse : Ce procédé s'applique à la quasi-totalité des boues issues de l'épuration d'effluents urbains ou mixtes ainsi qu'à des nombreuses suspensions boueuses directement issues d'un processus industriel, tout en permettant un gain de siccité de 10 à 20 points par rapport aux autrestechniques.

La filtration est provoquée par la compression des plateaux au moyen d'un vérin hydraulique, ce qui explique le fonctionnement discontinu du système .

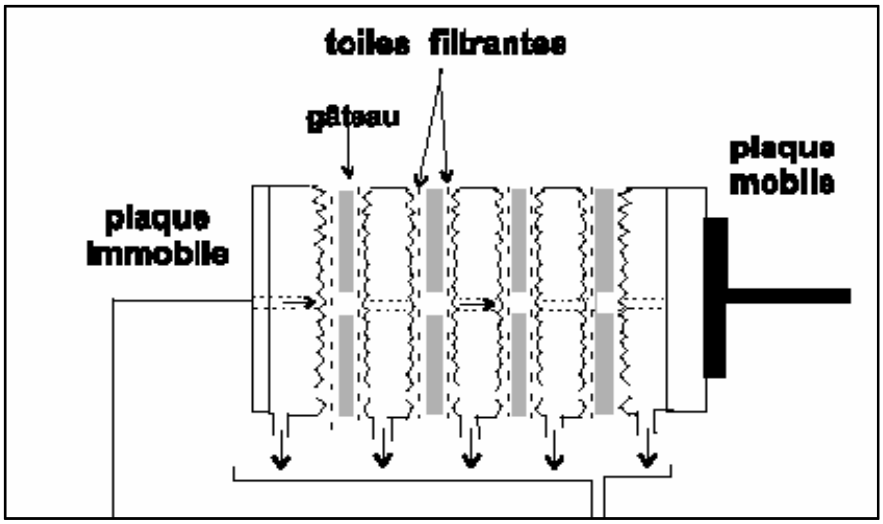


Figure IV.3. Principe de filtre presse.

IV.4.2.2. La centrifugation

La machine est constituée de deux pièces maîtresses : le bol et la vis. La vis adopte la forme cylindro-conique du bol et lui est concentrique. Les deux pièces sont mises en rotation par des systèmes d'entraînement afin d'augmenter la vitesse de décantation des particules (loi de Stokes). La suspension boueuse est distribuée à l'intérieur du bol, les solides sont évacués à l'extrémité de la partie conique, tandis que les liquides débordent à l'autre extrémité.

Ces appareils présentent l'avantage d'être continus et se prêtent facilement à l'automatisation complète et au fonctionnement en l'absence du personnel.

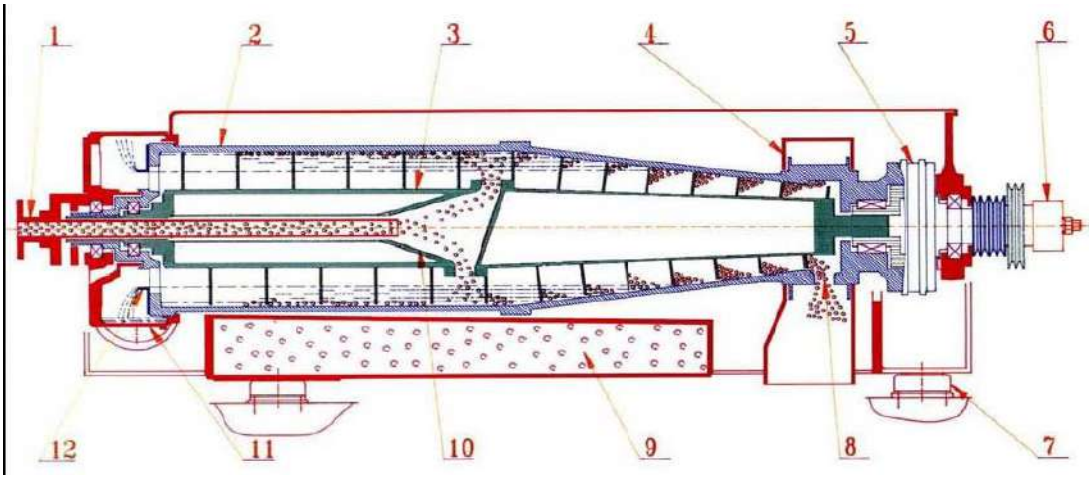


Figure IV.4. Coupe longitudinale d'une centrifugeuse à axe horizontal.

1) Tube d'alimentation.
2) Bol cylindro-conique.
3) Vis de convoyage.
4) Carter sédiments.
5) Réducteur.
6) Limiteur de couple.
7) Amortisseur.
8) Sortie sédiments.
9) Bâti monobloc.
10) Distributeur.
11) Carter effluent.
12) Plaquettes de réglage du niveau hydraulique interne.

La suspension à traiter (boues floculées) est introduite par la tubulure fixe (1) dans un distributeur tournant (10) qui la répartit vers la périphérie. Sous la force centrifuge les particules lourdes décantent et se déposent contre la paroi intérieure du bol (2).

Elles sont raclées par la vis convoyeuse (3) et acheminées en continu vers le cône. La vis tourneà une vitesse différentielle grâce à un réducteur (5). Les sédiments compactés dans le cône (boues déshydratées) sont évacués par des orifices (8). L'alimentation continue pousse le liquide qui s'évacue par le carter effluent (11). Ce liquide, généralement appelé centrât, sort par des déversoirs (12) constitués par des plaquettes de niveau réglable.

IV.4.2.3. Le séchage

Le séchage se positionne comme un procédé intermédiaire, qui préserve l'ensemble des possibilités d'élimination ou de valorisation dans les principales filières actuelles. Le séchage a pour but d'éliminer par évaporation ou vaporisation l'eau imprégnant les boues. Si l'eau libre, faiblement absorbée, s'élimine par déshydratation mécanique, l'eau liée, chimiquement attachée par des liaisons aux bactéries ou aux autres particules, ne peut être éliminée que par un procédé de séchage.

IV.5. Valorisation énergétique

La fermentation se définit comme l'ensemble des opérations qui permettent de cultiver des microorganismes et de contrôler leurs activités biosynthétiques : synthèse de biomasse, d'enzymes ou de molécules diverses.

D'une part la fermentation recouvre l'ensemble des processus de transformation conduisant d'un substrat organique à un métabolite particulier avec libération d'énergie.

La méthanisation, ou fermentation méthanique, est donc un processus naturel de fermentation anaérobie au cours duquel une bioconversion de la matière organique ou volatile (MO ou MV), réalisée par un écosystème constitué de nombreuses bactéries anaérobies, se déroule à l'intérieur d'un réacteur.

D'autre part, la fermentation d'un point de vue technologique se définit comme l'ensemble des opérations permettant de cultiver des microorganismes et de contrôler leurs activités biosynthétiques : production de biomasse microbienne, d'enzymes ou d'autres molécules organiques.

La fermentation méthanique permet d'atteindre deux objectifs :

•Du biogaz, un gaz combustible composé principalement de méthane CH_4 constituant majeur du gaz naturel (50% à 90%), de gaz carbonique CO_2 (10% à 40%), de vapeur d'eau et d'autres gaz à l'état de traces, en particulier l'hydrogène sulfuré H_2S, azote, oxygène…

•Un résidu stabilisé et désodorisé qui peut être valorisé sous forme solide ou liquide.

IV.5.1. Le Compostage

Le compostage est un processus de décomposition et de transformation « contrôlées » de déchets organiques sous l'action de populations microbiennes diversifiées évoluant en milieu aérobie. Des communautés différentes de micro-organismes se succèdent lors du compostage, elles sont constituées majoritairement de bactéries, d'actinomycètes, de champignons , de protozoaires ou d'algues . Elles sont déjà présentes dans tous les substrats destinés à être compostés : le processus de compostage démarre donc généralement tout seul. Il reproduit en accéléré les étapes de transformation des résidus végétaux en humus dans un sol : composter correspond donc essentiellement à la production des substances humiques stables dans le produit final et à un recyclage d'une matière organique dont le trajet naturel a été modifié .

Le compostage est un processus d'oxydation biologique aérobie et contrôlé de matières organiques, produisant du CO_2, de la chaleur et un résidu stabilisé : le compost. C'est une version accélérée du processus naturel de dégradation de produits organiques, dans des conditions favorables au développement de micro-organismes.

L'apport d'oxygène nécessaire à ces conditions est effectué le plus couramment par retournement ou par ventilation forcée des tas.

Biochimiquement, le compostage est un processus continu au cours duquel différentes réactions se produisent parallèlement et consécutivement. Dans les phases biologiques, différentes enzymes permettent la biodégradation de macromolécules facilement décomposables par des réactions de coupures et d'oxydations. Les phases finales font surtout appel à des phénomènes de polymérisation et de polycondensation des molécules néoformées.

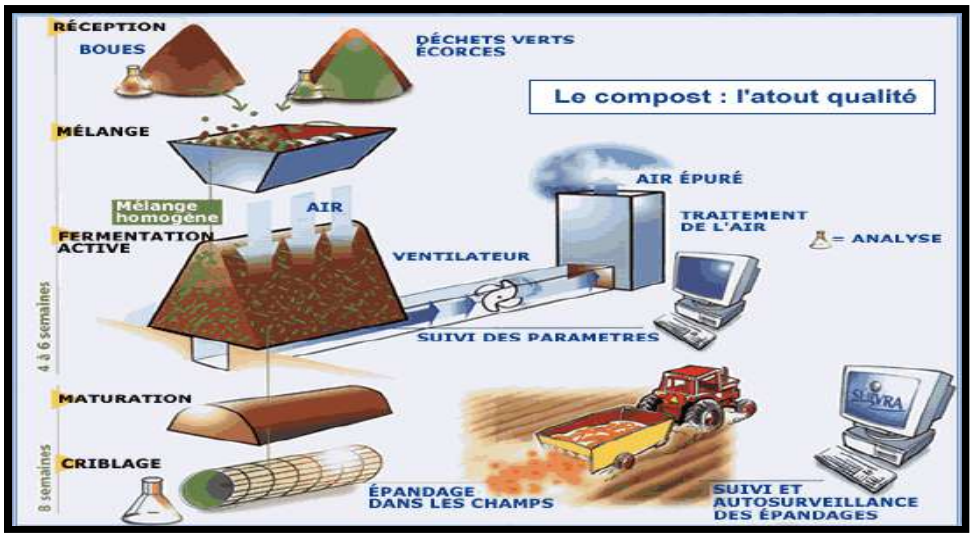


Figure IV.5. Le compostage.

IV.5.2. Valorisation agricole

La valorisation des boues d'épuration dans l'agriculture est assez répandue dans le monde. Cependant, elle suscite beaucoup d'opposition en raison des risques sanitaires qui lui sont associés. La valorisation agricole des boues peut être considérée comme le mode de recyclage le plus adapté pour rééquilibrer les cycles biogéochimiques, et s'avère d'un très grand intérêt économique. Elle vise ainsi 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 sont une source potentielle de matière organique utilisable. Elles contiennent aussi des macro et des micro-éléments essentiels pour la croissance des plantes. En effet, l'utilisation agricole des boues résiduaires répond, d'une part, au besoin en matière organique qui dans les conditions climatiques des pays sud méditerranéen sont

rapidement minéralisées, au besoin d'entretien organo-minéral des sols dont le déficit est accéléré par les techniques modernes de production et d'autre part, aux potentialités du sol en tant que système épurateur et de recyclage [48].

En effet, les sols traités avec des boues résiduaires gardent plus longtemps l'humidité et la végétation installe sur de tels sols un système racinaire plus développé comparativement aux sols non traités [49].

Les boues résiduaires libèrent progressivement les éléments nutritifs et notamment l'azote pour le mettre à la disposition de la plante tout le long du cycle de la culture. La libération de l'azote est fonction des conditions climatiques prévalentes, des Les boues d'épuration ont toujours suscité un intérêt auprès des agriculteurs du fait de leurs propriétés agronomiques en particulier leur teneur en azote et en phosphore [50].

De plus, comme amendement organique, les boues contribuent à équilibrer le bilan humique du sol. Elles améliorent la structure, les propriétés hydrodynamiques et l'activité biologique du sol. Sur le plan économique, l'épandage agricole est l'une des filières d'élimination les moins chères disponibles. [51]

IV.5.3. Valorisation industrielle

L'augmentation des ressources nécessaires pour le traitement des eaux usées ainsi que la croissance industrielle ont créé un besoin d'optimiser le traitement et créer des voix d'élimination d'un énorme volume de boues produit. En même temps, les législations ont presque bloqué la valorisation agricole suite à ses compositions chimiques nuisibles. Cette situation a suscité l'intérêt dans le recyclage et la réutilisation des boues dans les matériaux de construction comme un moyen de résoudre des problèmes d'élimination des boues.

Plusieurs travaux scientifiques ont prouvé la valeur industrielle de boues issues des stations d'épuration dans :

- Le domaine de la cimenterie : [52].
- Les fabrications des briques : [53].
- Les routes : [54].

IV.5.4. Valorisation en dépollution des rejets industriels

Parmi les rejets industriels, on trouve les colorants les grands domaines d'application des colorants sont les suivants:

- L'industrie textile
- L'industrie de matières plastiques (pigments).
- L'industrie du bâtiment : peintures (pigments).
- L'industrie pharmaceutique (colorants)
- L'industrie des cosmétiques.
- L'industrie agroalimentaire (colorants alimentaires).
- L'imprimerie (encre, papier).

La toxicité des azoïques par exposition aux colorants et à leurs métabolites n'est pas un fait nouveau. Dès 1895, l'augmentation du nombre de cancers de la vessie observés chez des ouvriers de l'industrie textile, est reliée à leur exposition prolongée aux colorants azoïques Depuis, les travaux effectués sur ces colorants ont démontré que ces composés chimiques présentaient des effets cancérigènes pour l'homme et l'animal [55].
L'étude expérimentale a prouvé que la boue des stations d'épuration adsorbe en présence des certaines conditions une quantité des colorants, notre travail illustre l'adsorption de trois colorants (Bleu méthylène, Méthyle orange et la Fushine).

IV.5.5.Mise en décharge

La décharge est un espace auquel sont jetés les matériaux inutiles. C'est la technique la moins chère et ne nécessite que du transport, malheureusement c'est plus dominante dans notre pays.

Conclusion Générale

Les eaux usées domestiques sont très concentrées en polluants et leur utilisation présente un risque sanitaire potentiel élevé. Cependant, il existe des traitements suffisamment puissants pour permettre d'abaisser les concentrations en polluants, et donc le risque sanitaire, à un niveau acceptable.

La qualité de l'eau obtenue est parfois meilleure que celle d'approvisionnements conventionnels (rivières, sources, etc.). Dans de nombreux pays, les eaux épurées permettent de couvrir toute une gamme de besoins en agriculture. Il existe dans plusieurs pays, ainsi qu'au niveau international, différentes réglementations qui déterminent ces niveaux de qualité en fonction des risques sanitaires inhérents à ces usages.

La rareté des ressources en eau et la mauvaise qualité des masses d'eau se répercute sur le coût de la ressource, dont l'augmentation pourrait être une cause de la réutilisation des eaux épurées.

D'après les résultats obtenus sur les divers échantillons examinés on peut tirer les conclusions suivantes :

• le procédé biologique est très efficace car les paramètres physico-chimiques pour l'eau traitée sont conformes aux normes de rejet algériennes. De ce fait, les eaux épurées par la STEP de Médéa sont acceptables pour l'irrigation.

• Le traitement des eaux par coagulation améliorée est très efficace. Il a été démontré à travers les expériences réalisées en laboratoire que chacun des deux coagulants étudiés [$Al_2(SO_4)_3$ et $Fecl_3$] permet d'atteindre des réductions remarquables de la MES, DCO, DBO_5

• Le rendement du traitement biologique pour : MES (96.15%), DCO (94.21 %) et DBO_5 (98.12 %) est plus fiable que celui du procédé physico-chimique pour les deux coagulants.

Enfin, les eaux épurées de la station d'épuration de Médéa sont distinguées par de très faibles concentrations en MES, DCO, ….ce qui n'engendre aucun transfert significatif que ce soit vers le sol ou vers les plantes.

Références bibliographiques:

[1] G. Miquel. La qualité de l'eau et de l'assainissement en France. Origine de la saisine : Commission des Finances, de l'Economie générale et du Plan de l'Assemblée nationale ; Référence Assemblée nationale : 705 (12ème législature) ,2003.

[2] F. REJSEK, Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques, Edition Centre régional de documentation pédagogique d'aquitaine France, p71-211, 2002.

[3] J. BONTOUX, Introduction à l'étude des eaux douces. Eaux naturelles, eaux usées, eaux de boisson. Technique et documentation Paris et Cebedoc - Ed. Liège (1983).

[4] J.C. BLOCK et L.SCHWARTZBROD, Analyse biologique des eaux. Technique et documentation, Paris ,1982.

[5] BONTOUX, Effets des rejets liquides domestiques et industriels sur la qualité des eaux souterraines au nord de la ville de Settat, Maroc, 1993.

[6] Henze harremoes, 1997, wastewater treatment: biological and chemical process

[7] Joseph h hulse. 2008 Développement durable : un avenir incertain, centre de recherche pour le développement international

[8] Manzoor, Q., Nadeem, R., Iqbal, M., Saeed, R., Ansari, T.M., 2013. Organic acidspretreatment effect on Rosa bourbonia phyto-biomass for removal of Pb(II) andCu(II) from aqueous media. Bioresour. Technol. 132, 446e452.

Marcos von Sperling 2007,Wastewater charactéristics, treatment and disposal , IWA Publishing. Brasil

[9] Edeline, F. *L'épuration biologique des Eaux: Theorie et Technologie des Reacteurs*. Cebedoc Editeur, Liège,1993.

[10]Giger, W., 2002. Produits chimiques: facteurs de risque pour l'environnement et la santé. EAWAG news 53, 3-5.

[11] Joseph Pronost., Rakha Pronost., Laurent Deplat., Jacques Malrieu., Jean-Marc Berland., 2002. Stations

d'épuration : dispositives constructives pour améliorer leur fonctionnement et faciliter leur exploitation, Office International de l'Eau Journal officiel algérien № 46, 1993.

Valeurs limites maximales des paramètres de rejets des installations de déversement industrielles.

[12] A. Gaid, "Epuration biologique des eaux usées urbaines '' Tome I Ed. OPU Alger. 1984.

[13] Katie McAvoy, Occurrence of estrogen in wastewater treatment plant and waste disposal site water samples. Clearwater , New-York , 2008.

[14] Degrémont Memento technique de l'eau, tome 1 et 2. ISBN (10ème édition) 2005 : 2-7430-0717-6. 1874p.

[15] C. CARDOT, les traitements de l'eau procédés physico-chimiques et biologiques, Paris,2010.

[16] Laetitia CITEAU. Etude des colloïdes naturels présents dans les eaux gravitaires des sols contaminés. Unité de science du sol. Versailles et INA-PG. 2004.

[17] Y. Libes Techniques physicochimiques applicables dans la production de l'eau, p 19-45,Paris ,1998.

[18] JOLY, traitement et épuration des eaux industrielles polluées, 2003.

[19] R. SALGHI. Différentes filières de traitements des eaux. Cours. Ecole nationale des sciences appliquées d'AGADIR. Université IBEN ZOHIR. ROAUME du MAROC. 2006.

[20] R. C. KLIMPEL et R. OGG. Colloïdes surf, Montefusco Italie,1991.

[21] TCHOBANOGLOUS, G., S O E D E R, E.D. Water Quality , USA, 1987.

[22] AMIRTHARAJAH, A., O'MELLA, C.R. Coagulation Processes : Destabilization, Mixing, and Flocculation. NW Washington, 1990.

[23] R. C. KLIMPEL ET R. OGG. Colloids surf. P 279–288 University Park U.S.A ,1991.

[24] LENGO, K.M. Effets comparés de divers coagulants sur l'enlèvement de la matière organique des eaux à potabilité. École Polytechnique de Montréal. 1994.

[25] C. Desjardins, Simulation et étude en laboratoire de la floculation lestée. Mémoire de maîtrise des sciences appliquées. École polytechnique de Montreal,1999.

[26] R.C. KLIMPEL et R. HOGG. Colloids and Surface, Paris, University of Minnesota p175-256, 1991.

[27] N.E. MECHKOUR, Entretien et exploitation des systèmes d'assainissement, (Octobre 2005).

[28] H .Mönch, "Mémento d'assainissement" Ed. EYROLLES, Paris, 1978.

[29] ONA, 2018 Office nationale d'assainissement. Algérie,Seaco, 2018 Société eau et assainissement de Constantine Algérie ; Sal, 2018 Société eau et assainissement d'Alger. Algérie ; Seoir 2018, Société eau d'Oran. Algérie.
[30] ONA , 2018 Office nationale d'assainissement. Algeria.
[31] Ellis, J.B., 2006. Pharmaceutical and personal care products (PPCPs) in urban receiving waters. Environ. Pollute. 144, 184–189; Kemmerer, K., 2009. The presence of pharmaceuticals in the environment due to human use –present knowledge and future challenges. J. Environ. Manage. 90, 2354–2366 ; Martín, J., Camacho-Muñoz, D., Santos, J.L., Patricio, I., Alonso, E., 2012a. Occurrence of pharmaceutical compounds in wastewater and sludge from wastewater treatment plants: Removal and Eco toxicological impact of wastewater discharges and sludge disposal. J. Hazard. Mater. 239–240, 40–47.
[32] Alonso, E., Motion, M.C., Sanchez, J.C.J., Rodriguez, M.T., 2002. Heavy metal extractable forms in sludge from wastewater treatment plants. Chemosphere 47, 765–775.
[33] Scan car, J., Milaca, R., Strata, M., Barcia, O., 2000. Total metal concentrations and partitioning of Cd, Cr, Cu, Fe, Ni and Zn in sewage sludge. SCI. Total Environ. 250,9,19.
[34] Doucet, R. 2006. Le climat et les sols agricoles. Ed. Berger, Eastman, Québec. Xv, 443 pp.
[35] CRAAQ. 2003. Guide de référence en fertilisation. Ed. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, Sainte-Foy. xx, 294 pp.
[36] Arlabosse, P., J.-H. Terrassa, D. Lacoste, M. Crane, Y. Dumont, and A. Léonard, Efficient Sludge Thermal Processing: From Drying to Thermal Valorization, Modern Drying.
[37]Chavez, S., Séchage par contact avec agitation de boues résiduaires urbaines : influence de leur origine et des conditions opératoires sur la cinétique de séchage et les caractéristiques des boues sèches et des rejets gazeux. 2004, Université of Perpignan.
[38] Mégalo, A., Etude et modélisation de l'orientation de fibres dans des thermoplastiques renforcés. 2005, Ecole des Mines de Paris.
[39] Cousso, P. and C. Annecy, Rhé physique des pâtes et des suspensions. 1999
[40] Jared, E., Mansur, L., Faure, P., 2003. Characterization of the macromolecular organic content of sewage sludge bythermally assisted hydrolysis and methylation-gas

chromatography-mass spectrometer (THM-GC/MS). J. Anal. Appl. Pyro., 68-69, 331-350.

[41] Martín, J., Camacho-Muñoz, D., Santos, J.L., Patricio, I., Alonso, E., 2012a. Occurrence of pharmaceutical compounds in wastewater and sludge from wastewater treatment plants: Removal and ecotoxicological effect of wastewater discharges and sludge disposal. J. Hazard. Mater. 239–240, 40–47.

[42] Ecrin., 2000. Que faire des boues ? (What doing with sludge?), Club Environnement et société. Décembre 2000 -www.ecrin.asso.fr

[43] Felix, I. & Wiatr, J., 1998. Connaissances et maîtrise des aspects sanitaires de l'épandage des boues d'épuration des collectivités locales. ADEME, Angers, 74 p.

[44] NOBLE Catherine., 1997. Traiter et valoriser les boues. OTV édition.

[45] Vesilind, P.A. (1994) The role of water in sludge dewatering. Water Environment Research 66(1), 4-11. Colin, F. and Gazbar, S. (1995) Distribution of water in sludges in relation to their mechanical dewatering. Water Research 29(8), 2000-2005. Smith, J.K. and Vesilind, P.A. (1995) Dilatometric measurement of bound water inwastewater sludge. Water Research 29(12), 2621-2626. Wu, C.C., Huang, C. and Lee, D.J. (1998) Bound water content and water bindingstrength on sludge flocs. Water Research 32(3), 900-904. Vaxelaire, J. (2001) Moisture sorption characteristics of waste activated sludge. Journal of Chemical Technology and Biotechnology 76, 377-382. Yen, C. L., Tseng, D. H., and Lin, T. T., (2011), Characterization of Eco-Cement Paste Produced from Waste Sludges, Chemosphere Journal, Volume 84, 220–226.

[46] Dieudé-Fauvel, E. (2007). Apport couple des propriétés rhéologiques et diélectriques pour l'optimisation dutraitement secondaire et de la valorisation des boues résiduaires. Thèse. Université Pierre et Marie Curie-Paris 6. Davis J A & Jacknow J. J. Water Pollution. Control Fed. 1975 – 47 – 3393

Raynaud, M. (2010) Couplage de caractérisations mécanique et physico-chimique en vue d'analyser les limites de ladéshydratation des boues résiduaires urbaines. Thèse de doctorat. Université de Pau et des Pays de l'Adour.

[47] Plagellat, Cécile,. 2004. Origines et flux de biocides et filtre UV dans les stations d'épurations des eaux usées. Thèsede Doctorat. ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE.

[48] Pommel, E. et Tetard, J.M. (1976) Incidence de la nature des effluents des types de filières de traitement des eaux usées et boues sur la valeur agronomique des boues, TSM l'eau, 7:327-330 ; Benmouffok, A., Allili, N., Djebala, L., Akil, A. et Medjani, M. (2005) Caractérisation et valeuragronomique des boues issues d'épuration des eaux usées (cas de la station d'épuration de TiziOuzou, Est de l'Algérie), Watmed2 (Marrakech), 4 p.
[49] Tester CF., Sikora LJ., Taylor JM. & Parr JF. (1982) N Utilization by tall fescue from sewage sludge,compost amended soils. Agro. J. 74:1013-1018.
[50] Lassoued N., Bilal E., Rejeb S., Guénole-Bilal I., KhelilM.N. Rejeb N., Gallice F., 2013.Behaviour canola (Brassica Napus) following a sewage sludge treatment. Carpathian J. Earth Environ.Sci, 2013, 8 (3), 155-165.
[51] INRS-Eau, 1996.Hydro-Québec. Institut National de la recherche scientifique. Etat de l'art du traitement et de la disposition ou valorisation des boues d'usines d'épuration municipales. Rapport de recherche N° 429, éds. Blais J-F & Sasseville J-L.http://espace.inrs.ca/641/1/R000429.pdf ; ONAS 2015. République Tunisienne, Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, Office National de l'Assainissement. Plan Directeur Régional de Gestion des Boues du grand Tunis. Rapport définitif. Synthèse présentation des scenarii, mars 2015, 41p
[52] Tay, J.H., and Show, K.Y., (1992), Utilization of Municipal Wastewater Sludge As Buildingand Construction Materials, Resources, Conservation and Recycling Journal, Volume 6,191–204; Yen, C. L., Tseng, D. H., and Lin, T. T., (2011), Characterization of Eco-Cement Paste Produced from Waste Sludges, Chemosphere Journal, Volume 84, 220–226.
[53] Weng, C. H., Lin, D. F., and Chiang, P. C., (2003), Utilization of Sludge as Brick Materials,Advances in Environmental Research Journal, Volume 7, 679–685..
[54] Donatello, S., and Cheeseman, C. R., (2013), Recycling and Recovery Routes for Incinerated Sewage Sludge Ash(ISSA): A Review, Waste Management Journal, http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2013.05.024.(in press).
[55] Crepy M.N (2004). "Dermatoses professionnelles aux colorants", Fiche D'allergologie- dermatologie professionnellehôpital Cochin.