

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE

**PROJET DE FIN D'ETUDE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME
DE MASTER EN HYDRAULIQUE
OPTION : TECHNOLOGIE ET TRAITEMENT DES EAUX**

THÈME

**Contribution à l'étude des dysfonctionnements relevés
dans une station d'épuration, étude du cas : STEP d'Ain
El Houtz**

Soutenue le : 04/07/2013

Par : M^r HADJOU BELAID Zakaria

Devant les membres du jury

**M^r M. HABI
M^r H. BOUCHELKIA
M^r A. TABET HALLEL
M^r M. BESSEDIK
M^r A. BENMENSOUR**

**Président
Examineur
Examineur
Encadreur
Encadreur**

ANNEE UNIVERSITAIRE 2012-2013

REMERCIEMENTS

Avant toute, je remercie ALLAH, Dieu le Miséricordieux l'unique, le puissant,...pour son guide et sa protection ;

Je tiens à exprimer mon plus vif remerciement et ma sincère reconnaissance à :

Mes encadreurs : Monsieur BESSEDIK Madani et Monsieur BENMENSOUR Abdelhalime qui ont dirigé mon travail, leurs orientations et la disponibilité tout au long de l'élaboration de ce mémoire de fin d'étude ;

A monsieur le président de jury M^r Habi Mohamed ;

Mes examinateurs M^r Bouchelkia Abdelhamid et Tabet Hallel Abdelatif qui me font l'honneur de juger ce travail ;

M^{me} Habi chef de STEP d'Ain El Houtz qui m'a accepté au sein de son usine pour faire le stage et surtout M^{elle} Tahraoui la responsable du laboratoire de la STEP et bien sur Khaouani Mohamed l'adjoint de responsable du laboratoire et toute l'équipe de la station ;

M^{me} Mahi responsable du laboratoire de traitement de l'eau de département de l'hydraulique de l'université ;

Toute personne ayant participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail, qu'elle en soit remerciée.

Dédicaces Dédicaces

Avec l'aide et la protection de DIEU s'est faite la réalisation de
ce modeste travail.

Je dédie ce travail à :

Ma très chère mère qui m'a toujours apportée son amour et son
affection

Toute ma famille et belle famille

Mes camarades de promo d'hydraulique

Option : Technologie et Traitement des Eaux (TTE)

2010/2013

Et tous se qui ont connu Zakaria

Résumé

Le problème majeure d'une station d'épuration à boue activé est la boue (production importante de boue chaque jour). Chaque année, près d'un million de kilogramme de matière sèche est produit par la station d'épuration d'Ain El Houtz, avec des problèmes de séchage et de stockage de ses boues.

Des périodes opérationnelles trop courtes, des siccités insuffisantes, un drainage insuffisant lié à la présence de franges capillaires, un nombre de lits et/ou une surface utile insuffisante, pour l'obtention une bonne siccité, un stockage de longue durée des boues, c'est le constat actuel observé dans ladite station. Pour y remédier, nous avons proposé une technique de traitement des boues par lits de séchage plantés de roseaux.

L'objectif principal de ce travail est expliqué cette technique, le principe de fonctionnement, quel est le rôle des lits de séchage plantés de roseaux, quels sont les avantages et les inconvénients de ce procédé et la qualité des boues stockées dans ces lits.

Mots clés : lits de séchage plantés de roseaux – STEP – Eaux usées – Boues.

Abstract

The major problem of wastewater treatment plant sludge is activated sludge (sludge production important every day.) Each year, nearly one million kilograms of dry matter produced by the Ain El Houtz, problems with drying and storage of its sludge. Too short operational periods, insufficient dryness, inadequate due to the presence of capillary fringe drainage, number of beds and / or insufficient floor space to obtain a good dryness storage long-term sludge is observed in the current report that station. To remedy this, we proposed a technique for treating sludge drying beds planted with reeds.

The main objective of this work is described this technique, the operating principle, what is the role of drying beds reed, what are the advantages and disadvantages of this process and the quality of data stored in the sludge beds.

Keywords: drying beds reed - STEP - Wastewater - Sludge.

الملخص

المشكل الرئيسي الموجود حاليا في محطات معالجة مياه الصرف هو الإنتاج الكبير للحمأة (إنتاج مهم كل يوم للحمأة) ما يقرب من المليون كيلوا غرام من المادة الجافة التي تنتجها محطة معالجة مياه الصرف لعين الحوت مع وجود مشكل تجفيف و تخزين الحمأة .
فترات قصيرة من الشغل و جفاف غير كاف انتشار نباتات غير مرغوب فيها صرف غير كاف عدد الأسرة و مساحة غير كافية لتخزين الحمأة و تجفيفها جيدا لتحسين هذه العيوب اقترحنا طريقة لتجفيف الحمأة و ذلك عن طريق استعمال أحواض مع زرع أشجار القصب.
الهدف الرئيسي من هذا العمل هو شرح كيفية عمل هذه الطريقة مبدأ التشغيل ما هو دور القصب في تجفيف الحمأة ما هي ايجابيات وسلبيات هذه الطريقة و نوعية الحمأة المخزنة في الأسرة.

الكلمات الدالة: الحمأة -مياه الصرف الصحي -محطات معالجة مياه الصرف -تجفيف

القصب

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES

Remerciements	
Dédicace	
Table des matières	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction	1
Chapitre I : Généralité sur les eaux usées et sur l'épuration des eaux usées	
I.1. Introduction	3
I.2. Définition	3
I.3. Origine des eaux usées	3
I.3.1. Les eaux usées domestiques et urbaines	3
I.3.2. Les eaux résiduaires industrielles	3
I.3.3. Les eaux pluviales	3
I.4. Composition des eaux usées	4
I.4.2. Composition physicochimique des eaux usées	5
I.4.2.1. Les matières en suspension (MES)	5
I.4.2.2. La demande biochimique en oxygène (DBO)	5
I.4.2.3. La demande chimique d'oxygène (DCO)	5
I.4.2.4. Les substances nutritives	5
I.4.2.5. Les éléments traces	6
I.5. Filière d'épuration des eaux usées	6
I.5.1. L'objectif générale de traitement des eaux usées	7
I.5.2. Principaux procédés de traitement des eaux usées	7
I.5.2.1. Le traitement préliminaire ou prétraitement	7
I.5.2.1.1. Dégrillage	7
I.5.2.1.2. Dessablage	8
I.5.2.1.3. Déshuilage-Dégraissage	9
I.5.2.2. Le traitement primaire (décantation primaire)	9
I.5.2.2.1. Coagulation – floculation	10
I.5.2.2.2. Types de décanteurs	11
I.5.2.3. Le traitement secondaire (traitement biologique)	14
I.5.2.4. Le traitement tertiaire	17
I.5.2.5. Le traitement des boues	17
Conclusion	17

TABLE DES MATIERES

Chapitre II : Filières de traitement des boues

II.1. Introduction	18
II.2. Définition	18
II.3. Origine et composition des boues	18
II.4. Objectifs de traitement des boues	19
II.5. Caractéristiques des boues	20
II.5.1. La siccité	20
II.5.2. Le taux de matières volatiles sèches (MVS)	20
II.5.3. La consistance	20
II.6. Filière de traitement des boues	20
II.6.1. L'épaississement	21
II.6.1.1. L'épaississement statique gravitaire	21
II.6.1.2. L'épaississement dynamique	22
II.6.2. Stabilisation des boues	24
II.6.2.1. Digestion anaérobie	24
II.6.2.2. Stabilisation aérobie	25
II.6.2.3. Stabilisation chimique	26
II.6.2.4. Stabilisation thermique	26
II.6.3. Conditionnement des boues	27
II.6.3.1. Conditionnement chimique	27
II.6.3.2. Conditionnement thermique	27
II.6.4. Déshydratation des boues	28
II.6.4.2. Lits de séchage naturel	31
II.6.4.3. Lits planté de roseaux	32
II.7. Schéma général des filières de traitement des boues	33
II.8. Avantages et inconvénients des techniques de traitement des boues	34
Conclusion	41

Chapitre III : Description et qualité des eaux usées de la station d'Ain El Houtz

I. Description de la STEP

III.1. Introduction	42
III.2. Situation géographique	42
III.3. Principe de fonctionnement	44
III.4. Description des installations	44
III.5. Données de base	44
III.6. Caractéristique après traitement prévue par l'étude	45
III.7. Filière de traitement	45
III.7.1. Déversoir d'orage	45
III.7.2. Prétraitement	46
III.7.2.1. Dégrilleur	46
III.7.2.2. Déssableur-déshuileur	47
III.7.3. Traitement biologique	49
III.7.3.1. Bassin de Nitrification-Dénitrification	49
III.7.3.2. Bassin d'aération	49
III.7.4. Clarificateur	50
III.7.5. Partie boues	52

TABLE DES MATIERES

III.7.5.1. Epaisseur	52
III.7.5.2. Lits de séchage	53
III.7.5.3 Aire de stockage des boues séchées	53
II. Les analyses des eaux usées de la STEP	
III.8. Introduction :	54
III.9. Echantillonnage	54
III.10. Les paramètres physico-chimiques à analyser	55
III.10.1. Les paramètres physiques	55
III.10.1.1. La température	55
III.10.1.2. Le pH	55
III.10.1.3. L'oxygène dissous (O ₂)	55
III.10.1.4. La conductivité	56
III.10.1.5. La turbidité	56
III.10.1.6. Les matières en suspension (MES)	56
III.10.1.7. Matière insoluble décantable (MID)	56
III.10.1.8. La siccité	57
III.10.2. Les paramètres chimiques	57
III.10.2.1. La demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	57
III.10.2.3. La demande chimique en oxygène (DCO)	58
III.10.3. Rendement de la station	58
III.10.4. Résultats des analyses physicochimiques	59
III.11. Les problèmes de la STEP	60
III.11.1. Introduction	60
III.11.1.1. Problème de gestion des boues produites	60
III.11.1.2. Problème de maintenance des équipements	63
III.11.1.3. Solutions proposées	63
III.12. Problème des bactéries filamenteuses	64
III.12.1. Introduction	64
III.12.2. Rappel sur la biologie des boues activées	64
III.12.3. Les problèmes biologiques	65
III.13. Interprétation des résultats	70
Conclusion	82

Chapitre IV : Traitement des boues par lits plantés de roseaux

IV.1. Introduction	83
IV.2. Présentation des filtres plantes de roseaux	83
IV.3. Principe de fonctionnement	84
IV.4. Le rôle des plants de roseaux	85
IV.5. La filtration et les roseaux	86
IV.6. Fonctionnement et mécanismes en jeu	87
IV.7. Règles de dimensionnement et de gestion des lits conseillés	88
IV.7.1. Le dimensionnement global des lits	88
IV.7.1. 1. La production annuelle de boues	88
IV.7.1. 2. La charge surfacique	89
IV.7.2. Les autres points de conception	90
IV.7.2.1. Le nombre de lits	90
IV.7.2.2. La densité de plantation	90
IV.7.2.3. La période initiale d'acclimatation-développement des roseaux	90

TABLE DES MATIERES

IV.7.2.4. La couche drainante des lits	90
IV.7.2.5. La pente	91
IV.7.2.6. La couche drainante	91
IV.7.2.7. La revanche utile au-dessus du massif filtrant	91
IV.7.2.8. Le système d'alimentation	92
IV.7.3. Performances	92
IV.7.4. Disposition constructives	93
IV.8. Les protocoles de suivi mise en œuvre	94
IV.8.1. Caractérisation des boues d'alimentation	94
IV.8.2. Quantités de boues apportées	94
IV.8.3. Caractérisation des boues stockées dans les lits	94
IV.8.4. Caractérisation des lixiviats	94
IV.9. Les problèmes opérationnel	94
IV.10. La vidange des lits	95
Conclusion	97
Conclusion générale	98
Bibliographie	
Les annexes	

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Les opérations de traitement des boues et leurs objectifs	19
Tableau II.2 : Avantages et inconvénients des techniques de traitement des boues	34
Tableau III.1 : Description des installations de la STEP	44
Tableau III.2 : Les valeurs de bases des données de la STEP de Tlemcen	45
Tableau III.3 : Les valeurs limitent de l'étude du processus	45
Tableau III.4 : Les valeurs limitent de quelque paramètre de l'eau traitée.	59
Tableau III.5 : Les valeurs limitent maximales de quelque paramètre de l'eau brute	59
Tableau III.6 : Les moyennes des paramètres durant le mois Mars	59
Tableau III.7 : Les moyennes des paramètres durant le mois d'Avril	60
Tableau III.8 : La siccité des différents lits de séchage de la STEP d'Ain El Houtz.	61
Tableau III.9 : Valeur limite des ETM des boues d'épuration	62
Tableau III.10 : La concentration des MES à l'entrée de la station de quatre dernières années	70
Tableau III.11 : La concentration des MES de la sortie de la STEP de quatre derniers années	72
Tableau III.12 : La concentration de la DBO5 à l'entrée de la station de quatre dernières années	74
Tableau III.13 : La concentration de la DBO5 de la sortie de la STEP de quatre dernières années	76
Tableau III.14 : La concentration de la DCO à l'entrée de la station de quatre dernières années	78
Tableau III.15 : La concentration de la DCO de la sortie de la STEP de quatre dernières années	80
Tableau IV.1 : Simulation de l'incidence d'un temps de repos de cinq mois au moment de la vidange sur différentes configurations d'installations	89
Tableau IV.2 : Simulation des curages pour différentes configurations ainsi que les hauteurs minimales (aprèsressuyage) et maximales (prenant en compte un « gonflement » du stock de boue d'une vingtaine de centimètres suite à une alimentation) de boues accumulées dans les lits.	91
Tableau IV.3 : Raison des problèmes de fonctionnement constatés dans une installation de déshydratation des boues par lits plantés de roseaux	96

Liste des figures

Fig. I.1 : Dégrillage droite (incliné de 70%)	8
Fig. I.2 : Dessableur circulaire	8
Fig. I.3 : Dessableur rectangulaire aéré	9
Fig. I.4 : Dessableur-dégraisseur circulaire	9
Fig. I.5 : Coupe longitudinale d'un décanteur simple	12
Fig. I.6 : Schéma d'un décanteur horizontal	12
Fig. I.7 : Schéma d'un décanteur lamellaire	13
Fig. I.8 : Bassins d'aération	14
Fig. I.9 : Filtre bactérien	15
Fig. I.10: Biodisques	16
Fig. I.11 : Le lagunage facultatif aéré	16
Fig. II.1 : Épaississeur gravitaire	22
Fig. II.2 : Épaississement des boues par flottation	22
Fig. II.3: Table d'égouttage	23
Fig. II.4: Centrifugeuse	24
Fig. II.5 : Stabilisation aérobie	26
Fig. II.6 : Sous vide à bande filtre	29
Fig. II.7 : Déshydratation des boues par filtre à bande	30
Fig. II.8 : Déshydratation des boues par centrifugation	31
Fig. II.9 : lit de séchage naturel	32
Fig. II.10: Lit à macrophytes (Roseaux)	32
Fig. II.11: Filières de traitement des boues d'épuration	33
Fig. III.1 : Vue de la station d'épuration d'Ain El Houtz	42
Fig. III.2 : Situation géographique de la STEP d'Ain El Houtz	43
Fig. III.3 : Déversoir d'orage	46
Fig. III.4 : Grille grossière manuelle (1 unité)	47
Fig. III.5 : Grille mécanisée (deux unités)	47
Fig. III.6 : Dessableur-déshuileur	48
Fig. III.7 : Bac à sable	48
Fig. III.8 : Racleur de surface	48
Fig. III.9 : Bassin d'aération	50
Fig. III.10 : Clarificateur	51
Fig. III.11 : Vis de recirculation (Vis d'Archimède).	51
Fig. III.12 : Bassin de chloration.	52
Fig. III.13 : Épaississeur	52
Fig. III.14 : Lits de séchage	53
Fig. III.15 : Aire de stockage des boues séchées	53
Fig. III.16 : Laboratoire d'analyse	54
Fig. III.17 : pH-mètre	55
Fig. III.18 : Oxymètre	55
Fig. III.19 : Conductimètre	56
Fig. III.20 : Spectrophotomètre	56
Fig. III.21 : Cônes d'Imhoff	57
Fig. III.22 : Flacon à D.B.O	58
Fig. III.23 : D.B.O mètre	58
Fig. III.24 : Réacteur à DCO	58

Fig. III.25 : Observation microscopique : Flocc, microfaune et liquide interstitiel	65
Fig. III.26 : Bactéries filamenteuses	65
Fig. III.27 : Mousse blanche en surface d'un bassin biologique (à gauche) dues à la prolifération de Nocardioformes (à droite)	66
Fig. III.28 : Mousse blanche de démarrage en surface de bassin d'aération	67
Fig. III.29 : Mousse blanche de détergents en surface de bassin d'aération	68
Fig. III.30 : Flottants de dénitrification en surface du clarificateur	69
Fig. III.31 : Test en éprouvette : remonté de boue	69
Fig. III.32 : Variation des MES à l'entrée de la station en fonction de temps	71
Fig. III.33 : Variation des MES de la sortie de la station en fonction de temps	73
Fig. III.34 : Variation de la DBO5 à l'entrée de la station en fonction de temps	75
Fig. III.35 : Variation de la DBO5 de la sortie de la station en fonction de temps	77
Fig. III.36 : Variation de la DCO à l'entrée de la station en fonction de temps	79
Fig. III.37 : Variation de la DCO de la sortie de la station en fonction de temps	81
Fig. IV.1 : Lit à macrophytes (Roseaux)	83
Fig. IV.2 : Phragmites communis	84
Fig. IV.3 : Vue d'une coupe des boues déshydratées avec les racines des plantes de roseaux (rhizomes)	85
Fig. IV.4 : Jeunes pousses de roseaux émergeant des boues	87
Fig. IV.5 : Schéma simplifié des filtres plantés de roseaux	88

Les abréviations

STEP : Station d'Épuration

EU : Eaux Usées

ERU : Eaux Résiduelle Urbaine

ERI : Eaux Résiduelle Industriel

DBO : Demande Biochimique en Oxygène

DCO : Demande Chimique en Oxygène

MES : Matière en Suspension

MO : Matière Organique

MVS : Matière volatiles en Suspension

MS : Matière Sèche

ETM : Eléments Traces Métalliques.

O₂ : Oxygène dissous

pH : potentiel Hydrogène

COT : Carbone Organique Total

CE : Conductivité Electrique

RS : Résidu Sec

EH : Equivalent Habitant

S_C : Siccité

FPR : Filtres Plantés de Roseaux.

ETM : Eléments Traces Métalliques

ONA : Office National de l'Assainissement.

INTRODUCTION

Face aux contraintes que connaissent certaines stations d'épuration, en matière de traitement des boues (production importante de boues, faible siccité, temps de séchage importante, manque d'espace,...), le recours à des lits de séchage plantés de roseaux constitue un mode de traitement des boues intéressant pour les petites stations d'épuration des eaux résiduaires domestiques. Ce procédé de traitement des boues permet l'épaississement, la minéralisation et le stockage. Les boues produites par la station d'épuration sont directement extraites du bassin d'aération et alimentent le lit planté de roseaux.

Afin de bien assimiler les différents processus qui interviennent dans l'épuration des eaux usées, nous avons effectué un stage de deux mois (mars et avril 2013) au niveau de la station d'épuration d'Ain El Houtz (station à boue activée à faible charge avec aération prolongée). Durant cette période, nous avons fait, en plus, des analyses sur les eaux usées brutes (entrée) et sur les eaux épurées (sortie) au niveau du laboratoire de la dite STEP. Lors de ce stage, nous avons constaté que les boues produites dans cette STEP, présentent des problèmes en termes de siccité. Afin de vérifier ceci, nous avons prélevé des échantillons de la boue des lits de séchage, et nous avons estimé leurs siccités, au niveau de laboratoire de traitement de l'eau du département de l'hydraulique de l'université.

Le but de ce mémoire est de tenter de relever et de tenter de résoudre les différents dysfonctionnements relevés au niveau de la STEP, et spécifiquement du côté des boues. Pour cette dernière, nous avons proposé l'introduction de lits de séchage plantés de roseaux, afin de remédier au problème de la siccité des boues produites au niveau de cette station.

Le travail de ce mémoire fait l'objet d'une présentation en quatre chapitres. Le premier chapitre donne des généralités sur les eaux usées: origine des eaux usées, composition de ces eaux, ainsi les différentes étapes d'épuration des eaux usées. Le deuxième chapitre traite des différentes filières de traitement des boues (l'épaississement, stabilisation, conditionnement et la déshydratation). Nous avons poursuivi ce projet par un troisième chapitre, qui se compose en deux parties, la première partie présente une description détaillée des différentes étapes de processus

d'épuration au niveau de la station d'épuration d'Ain El Houtz, et la deuxième partie traite des méthodes adoptées et des protocoles d'analyses utilisés, et les résultats des différents échantillons au cours de la durée de notre stage. Nous avons finalisée ce travail par un quatrième chapitre, où nous avons introduit une technique pour le traitement des boues dans des stations d'épuration à boue activée avec aération prolongé (comme la STEP d'Ain El Houtz), qui est le traitement des boues par lits de séchage plantés de roseaux, cette méthode s'est bien développée dans bon nombre de pays étrangers, mais en Algérie, reste pratiquement non utilisée.

Chapitre I

Généralités sur les eaux usées et sur l'épuration des eaux usées

I.1. Introduction

Une fois qu'une eau est utilisée par l'habitant ou par l'industrie, elle est rejetée dans le milieu naturel, on parle alors d'une eau usée, dans les deux cas, cette eau doit être traitée avant de le rejeter dans le milieu récepteur.

I.2. Définition

Une eau usée est une eau chargée de substances minérales, organiques ou biologiques, issues de l'activité humaine provoquant, sous une concentration anormale, une dégradation de la qualité de l'eau naturelle du milieu récepteur [1].

I.3. Origine des eaux usées

Les eaux usées proviennent de trois sources principales :

- Les eaux usées domestiques et urbaines.
- Les eaux résiduaires industrielles.
- Les eaux pluviales.

I.3.1. Les eaux usées domestiques et urbaines

Les eaux usées domestiques sont constituées par :

- Les eaux ménagères (eau toilettes, eaux de cuisines).
- Les eaux de vanne chargées des matières fécales et d'urines

Les eaux usées urbaines sont rejetées par les installations collectives (hôpitaux, écoles, commerce) [2].

I.3.2. Les eaux résiduaires industrielles

Les rejets industriels peuvent être de nature très divers. La composition de l'eau usées industrielles dépend notamment des procédés de production ; on trouve :

- Les matières organiques et graisses (industrie agro-alimentation, dégraissage..).
- Les sels métalliques
- Les acides, bases, produits chimiques...
- Les eaux chaudes (circuit de refroidissement des centrales thermiques) [3].

I.3.3. Les eaux pluviales

Normalement les eaux pluviales ne sont pas forcément polluées. Elles ne sont considérées comme des eaux usées que si elles sont mélangées avec des effluents

urbains au niveau des égouts de type unitaire. Elles sont de même nature que les rejets domestiques et peuvent contenir en plus des éléments toxiques [2].

I.4. Composition des eaux usées

Les eaux usées se composent de matière dissoutes et en suspension et de divers microorganismes [4].

I.4.1. Microorganismes

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes [4].

I.4.1.1. Les virus

Les virus sont des parasites intracellulaires obligés qui ne peuvent se multiplier que dans une cellule hôte. On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines comprise entre 10^3 et 10^4 particules par litre [5].

I.4.1.2. Les bactéries

Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau. Elles sont les plus communément rencontrées dans les eaux usées. Les eaux usées urbaines contiennent environ 10^6 à 10^7 bactéries/100ml dont la plupart sont des Proteus et des entérobactéries, 10^3 à 10^4 des streptocoques et de 10^2 à 10^3 des clostridium. La concentration en bactéries pathogènes est très variable et peut atteindre 10^4 germes par litre [4].

I.4.1.3. Les protozoaires

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries. La plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes parasites, c'est-à-dire qu'ils se développent aux dépens de leur hôte [10].

I.4.1.4. Les helminthes :

Les helminthes sont des parasites intestinaux, fréquemment rencontrés dans les eaux résiduaires. Dans les eaux usées urbaines, le nombre d'œufs d'helminthes peut être évalué entre 10 et 10^3 germes/ L [5].

I.4.2. Composition physicochimique des eaux usées

I.4.2.1. Les matières en suspension (MES)

Ce sont de matières biodégradables pour la plupart. Elles donnent également à l'eau une apparence trouble, et mauvaise odeur [5].

I.4.2.2. La demande biochimique en oxygène (DBO)

La DBO₅ comme étant la quantité d'oxygène consommé par les bactéries, à 20°C 0 L'obscurité et pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablement ensemencé, temps qui assure l'oxydation biologique d'une fraction de matière organique carboné. Ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques grâce aux phénomènes d'oxydation par voie aérobie [5].

I.4.2.3. La demande chimique d'oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation chimique de toute la matière organique biodégradable ou non contenue dans les eaux à l'aide de bichromate de potassium à 105°C. Elle est exprimée en mgO₂/L [5].

I.4.2.4. Les substances nutritives

L'azote, le phosphore, le potassium, et les oligo-éléments, le zinc, le bore et le soufre, indispensables à la vie des végétaux, se trouvent en quantités appréciables, mais en proportions très variables par rapport aux besoins de la végétation, dans les eaux usées épurées ou non.

D'une façon générale, une lame d'eau résiduaire de 100 mm peut apporter à l'hectare :

- de 16 à 62 kg d'azote,
- de 2 à 69 kg de potassium,
- de 4 à 24 kg de phosphore,
- de 18 à 208 kg de calcium,
- de 9 à 100 kg de magnésium,
- de 27 à 182 kg de sodium [10].

a. L'azote

L'azote se trouve dans l'eau usée sous forme organique ou ammoniacale dissoute. Il est souvent oxydé pour éviter une consommation d'oxygène (O₂) dans la nature et un

risque de toxicité par l'ammoniaque gazeux dissous (NH_3), en équilibre avec l'ion ammoniac (NH_4^+) [10].

b. Le phosphore (P)

La concentration en phosphore dans les effluents secondaires varie de 6 à 15 mg/l (soit 15 à 35 mg/l en P_2O_5). Cette quantité est en général trop faible pour modifier le rendement [10].

c. Le potassium (K^+)

Le potassium est présent dans les effluents secondaires à hauteur de 10 à 30 mg/l (12 à 36 mg/l de K_2O) et permet donc de répondre partiellement aux besoins [10].

d. Chlore (Cl^-) et sodium (S)

Leur origine est :

- naturelle (mer : 27g/l NaCl, et terrains salés) ;
- humaine (10 à 15g/l NaCl dans les urines/j) ;
- industrielle (potasse, industrie pétrolière, galvanoplastie, agroalimentaire) [10].

I.4.2.5. Les éléments traces

a. Les métaux lourds

Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux ; les plus abondants (de l'ordre de quelques $\mu\text{g/l}$) sont le fer, le zinc, le cuivre et le plomb.

Les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium, molybdène, nickel, etc.) sont présents à l'état de traces [10].

b. Les micropolluants organiques

Les micropolluants d'origine organique sont extrêmement nombreux et variés, ce qui rend difficile l'appréciation de leur dangerosité. Ils proviennent de l'utilisation domestique de détergents, pesticides, solvants, et également des eaux pluviales : eaux de ruissellement sur les terres agricoles, sur le réseau routier, etc [10].

c. Salinité

La salinité d'une eau correspond à sa concentration en sels dissous dans leur ensemble. Elle est exprimée soit par la valeur de la conductivité électrique (CE) ou par le résidu sec (RS) [5].

I.5. Filière d'épuration des eaux usées

L'épuration des eaux usées consiste à purifier l'eau usée pour la réintégrer dans le milieu naturel ou pour l'utilisation agricole.

I.5.1. L'objectif générale de traitement des eaux usées

Le traitement de ces eaux se présente comme la première solution pour protéger l'environnement, et la réutilisation de ces eaux comme la première réponse aux besoins en eau surtout dans le domaine agricole. Elimination de la charge organique et microbienne (microorganismes pathogènes) [2].

I.5.2. Principaux procédés de traitement des eaux usées

Pour recycler les eaux usées dans le milieu naturel et les rendre propres et sécuritaires, l'épuration des eaux usées s'avère une nécessité primordiale. Elle est effectuée au niveau des stations d'épuration (STEP) où les eaux subissent des prétraitements, et différents types de traitements : physiques, biologiques et physico-chimiques [4].

On classe habituellement ces traitements de la façon suivante :

- ❖ Le traitement préliminaire ou prétraitement ;
- ❖ Le traitement primaire (décantation primaire) ;
- ❖ Le traitement secondaire (traitement biologique) ;
- ❖ Le traitement tertiaire ;
- ❖ Le traitement des boues.

I.5.2.1. Le traitement préliminaire ou prétraitement

Le prétraitement a pour objectif de séparer les matières les plus grossières et les éléments susceptibles de gêner les étapes ultérieures du traitement. Il comprend le dégrillage pour retenir les déchets volumineux, le dessablage pour obtenir une meilleure décantation, le dégraissage et le déshuilage pour éviter l'encrassement de la station par des corps gras [22].

I.5.2.1.1. Dégrillage

Le dégrillage, premier poste de traitement, indispensable aussi bien en eau de surface qu'en eau résiduaire, cette opération consiste à faire passer l'effluent entre les barreaux de la grille.

Elle permet :

-de protéger la station contre l'arriver des gros objets flottants.

-de séparer et évacuer facilement les matières volumineuses.

Selon l'écartement entre barreaux, on distingue trois types de dégrilleurs :

- dégrilleur fin : dont l'écartement est inférieur à 10 mm.
- dégrilleur moyen : écartement de 10 à 40 mm.
- dégrilleur grossier : écartement supérieur à 40mm [19].



Fig. I.1 : Dégrillage droite (incliné de 70%)

I.5.2.1.2. Dessablage

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, sables et particules minérales plus ou moins fines, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduits, à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion, à éviter de perturber les stades de traitement suivants [22].

- **Types de dessableur**
 - a. **Dessableur circulaire**

Ces ouvrages, de forme cylindro-conique, ont un diamètre de 3 à 8 m et une profondeur liquide de 3 à 5 m. L'eau est introduite tangentiellement, en périphérie d'ouvrage ou dans un déflecteur cylindrique central; elle est reprise à travers un orifice immergé de la paroi cylindrique [19].



Fig. I.2 : Dessableur circulaire [36].

b. Dessableur rectangulaire aérée

Ces ouvrages, dont la largeur peut aller de 4 m (ouvrage simple) à 8 m (ouvrage double), ont une profondeur liquide d'environ 4 m et une longueur maximale d'environ 30 m. Ils permettent de traiter des débits importants. La forme du radier dépend du système adopté pour la reprise des sables [19].



Fig. I.3 : Dessableur rectangulaire aéré.

(Source : Degremont, 2005)

I.5.2.1.3. Déshuilage-Dégraissage

Les opérations de dégraissage et de déshuilage consistent en une séparation de l'effluent brute, les huiles et les graisses étant des produits de densité légèrement inférieure à l'eau.

Les graisses et les huiles sont issues non seulement des habitations, mais aussi, des restaurants, des habitations, des chaussées, des usines, des abattoirs, etc [22].



Fig. I.4 : Dessableur-dégraisseur circulaire (Source : Degremont, 2005).

I.5.2.2. Le traitement primaire (décantation primaire)

Le traitement primaire consiste en une simple décantation. Elle permet d'alléger les traitements biologiques et physico-chimiques ultérieurs, en éliminant une partie des solides en suspension. L'efficacité du traitement dépend du temps de séjour et de la vitesse ascensionnelle (qui s'oppose à la décantation).

La décantation primaire permet d'éliminer, pour une vitesse ascensionnelle de 1.2m/h, 40 à 60% de MES, soit 40% de MO, 10 à 30 % de virus, 50 à 90% des helminthes et moins de 50% des kystes de protozoaires et entraîne également avec elle une partie des micropolluante [5].

I.5.2.2.1. Coagulation – floculation

Les procédés de coagulation et de floculation facilitent l'élimination des MES et colloïdales.

a. Coagulation

Le but de la coagulation est de rompre ces forces électrostatiques et de déstabiliser les colloïdes afin de favoriser leur agglomération, et ça en neutralisant les charges de ces substances. Pour ce faire, on injecte dans l'eau des réactifs chimiques chargés positivement nommés « coagulants ». L'injection d'un coagulant doit se faire à un endroit où l'agitation est très forte afin qu'il se disperse rapidement dans l'eau brute. La neutralisation des charges conduit à la formation des « floccs » capables de décanter. Pour les substances organiques dissoutes, elle provoque la formation d'un sel nommé humât d'aluminium ou de fer, selon le coagulant employé [32].

Le choix et le dosage des coagulants doivent être déterminés en laboratoire par un jar test sur l'eau à traiter ou encore par des essais pilotes.

Le dosage est fonction de :

- ✓ La nature de l'eau brute : pH, alcalinité, MES, etc;
- ✓ Du taux d'enlèvement visés de la turbidité, la couleur, le carbone organique total (COT), etc.

Les principaux coagulants utilisés pour déstabiliser les particules et produire des floccs sont :

- le sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3, 18 H_2O$
- l'aluminate de sodium $NaAlO_2$
- le chlorure ferrique $FeCl_3, 6 H_2O$
- le sulfate ferrique $Fe_2(SO_4)_3, 9 H_2O$
- le sulfate ferreux $FeSO_4, 7 H_2O$ [32].

b. Flocculation

La flocculation a pour objectif d'accroître le volume, le poids et la cohésion de floc formé par coagulation. Cette étape est réalisée dans un compartiment distinct de celui de la coagulation, ou il faut réaliser une agitation lente qui permet, grâce à l'injection d'un réactif appelé flocculant, l'agglomération des flocs formés par coagulation et leur grossissement.

Parmi les réactifs utilisés on cite :

- ✓ Silices activées ;
- ✓ Alginates de Na [32].

I.5.2.2.2. Types de décanteurs

Cette étape a pour principe d'éliminer les particules en suspension par gravité. Elle suit la coagulation et la flocculation. Cette étape se fait dans de gros bassins appelés, bassins de sédimentation ou aussi décanteurs. Le temps de rétention des eaux à traitées dans ces bassins doit être assez élevé pour permettre aux flocs formés de couler au fond du bassin, et la boue formé doit être régulièrement extraite pour prévenir les accumulations.

La vitesse de décantation est fonction de la vitesse de chute des particules qui elle-même est fonction de divers autres paramètres parmi lesquels : grosseur et densité des particules. Elle peut être accélérée par centrifugation [32].

Il existe deux grands types de décanteur :

- Décanteur simple ;
- Décanteur lamellaire.

a. Décanteur simple

Le décanteur le plus simple est constitué d'une cuve parallélépipédique munie d'une zone d'entrée et de deux zones de sortie (une pour la sur-verse et l'autre pour les boues) [32].

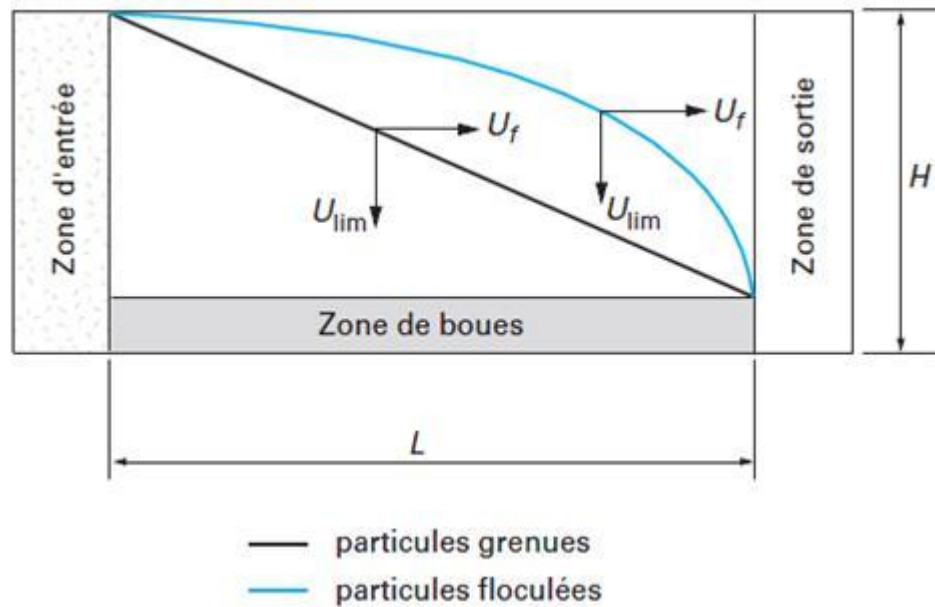


Fig. I.5 : Coupe longitudinale d'un décanteur simple [33].

❖ Décanteurs à flux horizontaux

Dans un décanteur à flux horizontal, le débit (Q) qui traverse uniformément le décanteur de hauteur (H) et de largeur (l), permet d'obtenir une vitesse horizontale de transfert du fluide (U_f). Les particules en suspension chutent au fond du décanteur avec une vitesse U_{lim} . Le dimensionnement du décanteur consiste à déterminer la surface nécessaire de sorte que la vitesse de chute de la particule soit supérieure à la vitesse de transfert du fluide dans le décanteur [30].

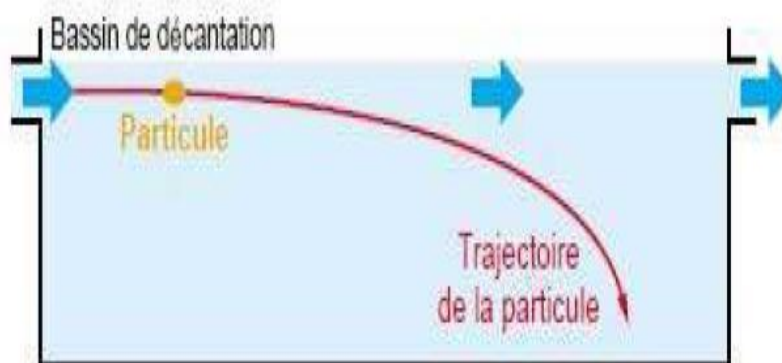


Fig. I.6 : Schéma d'un décanteur horizontal [33].

❖ Décanteurs à flux verticaux

Dans ce type d'ouvrage l'eau suit un trajet vertical. La vitesse de chute des particules est contrariée par une force de résultante de la composition de la force de frottement et de la vitesse ascensionnelle de l'eau. Tous les décanteurs verticaux font appel au voile de boues. Le rôle de voile de boue est essentiel il joue également le rôle de filtre pour les flocons de faible dimensions.

Ce sont des ouvrages de forme conique ou pyramidale pour permettre un contrôle plus aisé du voile de boues [30].

b. Décanteur lamellaire

Il s'agit d'un ouvrage de décantation dans lequel des lamelles parallèles inclinées permettent de multiplier la surface de décantation utile tout en réduisant la surface au sol par rapport à un bassin de décantation classique à flux horizontal. Les décanteurs utilisant des plaques ou des tubes réalisent également une décantation considérable plus rapide que la décantation classique.

La décantation lamellaire est fondée sur le principe de la décantation à flux horizontal. Ainsi, on constate que la décantation d'une particule est liée uniquement au débit Q et à la surface horizontale S , et qu'elle est théoriquement indépendante de la hauteur H de décantation. Si on répartit le débit Q sur n lamelles parallèles de surface unitaire ($S_L = S/n$), on obtient une décantation théoriquement identique à celle obtenue dans le bassin de la figure ci-dessus. Afin de pouvoir extraire en continu les solides décantés, et pour des raisons pratiques de fonctionnement et d'exploitation, les lamelles sont inclinées d'un angle α , compris entre 30° et 60° par rapport à l'horizontale selon le type de décanteur. Une telle disposition permet, pour un rendement identique, de construire des ouvrages plus compacts qu'un bassin classique [30].

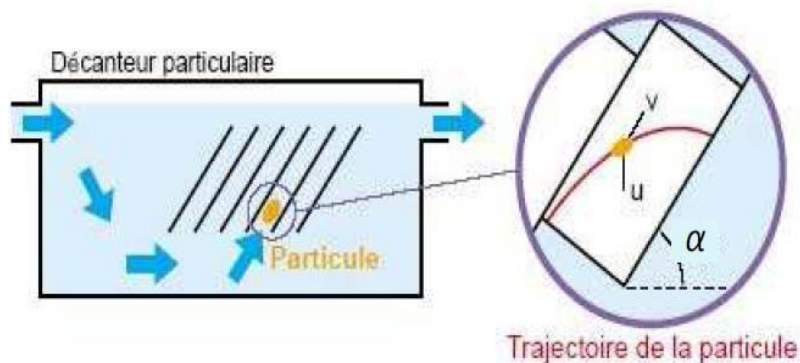


Fig. I.7 : Schéma d'un décanteur lamellaire [33].

I.5.2.3. Le traitement secondaire (traitement biologique)

Les traitements secondaires également appelés traitements biologiques visent à dégrader la matière organique biodégradable contenue dans l'eau à traiter.

Des micro-organismes mise en contact avec l'eau polluée assimilent la matière organique qui, leur sert de substrat de croissance. L'ensemble de la pollution avec les microorganismes vivants formes la liqueur mixte ou boue biologique contenue dans des bassins de traitement biologique. En règle générale, l'élimination complète de la pollution organique de ces bassins se déroule en condition aérées par des souches aérobies strictes ou facultatives. Plusieurs procédés existent à ce stade du traitement biologique [17].

- Les principaux types de traitement secondaire

Ce sont les procédés à culture en suspension ou procédés à boues activées, les procédés à cultures fixée (disques biologiques rotatifs, lits bactériennes, etc.) les procédés à décantation internes (lagunage) les techniques d'épandage-irrigation, etc [17].

❖ Les boues activées :

Ce procédé consiste à développer la biomasse dans des grands bassins dans lesquelles sont envoyées les eaux usées et de l'air destiné à l'oxygénation des bactéries. Ces bassins sont appelés couramment « bassins d'aération » [34].



Fig. I.8 : Bassins d'aération [34].

❖ **Le filtre bactérien**

Le filtre ou lit bactérien est un ouvrage, généralement cylindrique, contenant des matériaux présentant une grande proportion de vide (blocs de lave, matières plastiques, etc.). L'eau usée répartie au-dessus du filtre, s'écoule par gravité à travers celui-ci en entrant en contact avec la biomasse qui tapisse les matériaux de remplissage. La biomasse en excès est ensuite entraînée par le ruissellement des eaux à travers le filtre [34].



Fig. I.9 : Filtre bactérien [34].

❖ **Les biodisques**

Le principe de ce procédé est la fixation de la biomasse sur des disques ou des rouleaux en matière synthétique (polystyrène, PVC, etc.) présentant une surface de contact maximale. Ces disques ou rouleaux, montés sur un axe et à moitié immergés dans l'eau usée, sont mis en rotation. De par cette rotation, les bactéries composant la biomasse passent successivement d'une phase de nutrition à une phase d'aération. La biomasse en excès se détache de son support et est entraînée par le flux des eaux usées [34].



Fig. I.10: Biodisques [34].

❖ **Le lagunage facultatif aéré**

Dans ce type de procédé, l'épuration biologique s'accomplit par l'action de micro-organismes aérobies et anaérobies (c'est à dire se développant en absence totale d'oxygène) sur les éléments biodégradables. Cette opération se réalise dans de grandes lagunes dans lesquelles le système d'aération crée un mouvement lent de la masse liquide, la biomasse se déposant sur le fond des lagunes [34].



Fig. I.11 : Le lagunage facultatif aéré [34].

I.5.2.4. Le traitement tertiaire

Utilisé après le traitement secondaire pour enlever les quantités d'azote, de phosphore, des métaux lourds, de la matière organique biodégradable, des bactéries et des virus. Le traitement tertiaire n'est demandé que dans certains cas, et ce dans le but soit d'une réutilisation, soit de la protection du milieu naturel. Le traitement tertiaire peut comprendre la désinfection, ou le traitement des odeurs.

Ce traitement peut être de nature :

- Biologique pour l'élimination de l'azote (nitrification dénitrification) et du phosphore (déphosphatation).
- Chimique pour la désinfection [16].

I.5.2.5. Le traitement des boues

Les boues constituant le résidu principal des stations d'épuration. Le traitement des boues représente 30% de l'investissement dans la construction d'une station d'épuration.

Le traitement des boues a pour objectifs de :

- réduire la fraction organique afin de diminuer leur pouvoir fermentescible et les risques de contamination (stabilisation) ;
- diminuer leur volume total afin de réduire leur coût d'évacuation (déshydratation) [22].

Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté une petite généralité sur les eaux usées, quel est l'origine des eaux usées et la composition de ces eaux, et on a cité les différentes étapes de traitement des eaux usées qui contiennent dans une station d'épuration et on a précisé aussi quelques types de traitement des eaux par exemple : boues activés, lit bactérien, biodisque et lagunage naturel.

Chapitre II
Filières de traitement des
boues

II.1. Introduction

Il n'existe pas d'épuration d'eau qui n'aboutisse à la production de résidus concentrés contenant les matières de pollution et les produits de transformation insolubles. Ces résidus appelés boues, ont diverses origines. Il convient de les traiter d'une manière rationnelle, économique, sans pour autant conduire à d'autres nuisances.

Selon leur origine, les boues ont une composition différente qu'elles proviennent d'un traitement d'eau potable, d'un procédé physico-chimique ou biologique, d'une eau usée urbaine ou industrielle.

La nature de la boue est donc liée à la composition de l'effluent traité, et aussi aux techniques de traitement utilisées [14].

II.2. Définition

Le traitement des boues est défini comme l'ensemble des opérations visant à modifier les caractéristiques des boues en excès afin de rendre leur destination finale fiable et sans nuisance.

II.3. Origine et composition des boues

La composition des boues urbaines dépend de la nature de la charge polluante des effluents bruts et des techniques de traitement [22].

On distingue différents types de boues selon les traitements appliqués pour épurer l'eau dans un milieu boueux.

- Les boues primaires : Ce sont les dépôts récupérés par une simple décantation des eaux usées (dans les décanteurs-digesteurs par exemple). Elles présentent des concentrations élevées en matières minérales (sable, terre...) mais aussi en matière organique pouvant évoluer.
- Les boues physico-chimiques : elles ressemblent aux boues primaires sauf que durant le traitement de l'eau usée, il a été rajouté un réactif (sels de fer, d'aluminium, et autres agents flocculant) pour agglomérer les fines particules et améliorer la décantation.
- Les boues biologiques : elles sont aussi appelées boues secondaires, elles proviennent d'une épuration biologique des eaux (boues activées, disques biologiques, lits bactériens...).

On distingue aussi :

- Les boues mixtes constituées d'un mélange de boues primaires et biologiques, elles proviennent de la plupart des stations de traitement complètes.
- Les boues d'aération prolongée, obtenues sans décantation primaire avec des matières polluantes intensivement aérées. Les boues sont peu concentrées, moins organiques et donc moins susceptibles de produire des nuisances [18].

II.4. Objectifs de traitement des boues

Le traitement des boues est indispensable, pour rendre les boues plus évacuables et éviter les odeurs. Elles sont caractérisées par la concentration en matières sèches (ou leur teneur en eau), la nature de celles-ci (matières organiques fermentescibles), leur teneur en matières volatiles, leur concentration en azote et phosphore (possibilités agricoles) et la répartition de l'eau contenue et leur viscosité.

Deux objectifs finaux se retrouvent toujours dans le traitement des boues quelque soient la disponibilité des terrains de décharge et les facteurs économiques :

- la réduction du pouvoir fermentescible de la digestion et la stabilisation,
- la réduction en volume par épaissement et déshydratation, afin de les conditionner pour leur évacuation en leur destruction (incinération) [28].

Tableau. II.1 : Les opérations de traitement des boues et leurs objectifs.

Le tableau suivant représente l'objectif de différentes opérations de traitement des boues.

Opération	But
Stabilisation	Réduire la fermentescibilité des boues pour atténuer ou supprimer les mauvaises odeurs.
Concentration	Éliminer une partie de l'eau interstitielle afin d'éviter son transport.
Stockage	Assurer une capacité tampon harmonisant les besoins d'extraction et les possibilités d'évacuation à l'extérieur.
Homogénéisation	Donner au destinataire finale un produit connu et relativement constant.
Conditionnement	Modifier les caractéristiques de la boue afin de faciliter la séparation des phases solides et liquides.
Déshydratation	Augmenter la siccité afin de rendre le produit solide ou pâteux.

II.5. Caractéristiques des boues

Une boue est aussi représentée par plusieurs données numériques qui permettent de la caractériser.

II.5.1. La siccité

Les boues sont constituées d'eau et de matières sèches. La siccité est le pourcentage massique de matière sèche. Ainsi une boue avec une siccité de 10 % présente une humidité de 90 % [18].

II.5.2. Le taux de matières volatiles sèches (MVS)

La matière sèche est constituée de matières minérales et de matières organiques qui sont appelées matières volatiles sèches. La concentration en MVS est un taux par rapport à la matière sèche totale. Le suivi de ce taux permet de connaître la stabilité d'une boue sur une échelle [18].

II.5.3. La consistance

C'est une donnée obligatoire à connaître pour toute manipulation des boues. La consistance est un état physique dépendant de la siccité.

- Boues liquides : siccité de 0 à 10 %
- Boues pâteuses : siccité de 10 à 25 %
- Boues solides : siccité de 25 à 85 %
- Boues sèche : siccité supérieure à 85 % [18].

II.6. Filière de traitement des boues

Toutes les boues nécessitent une forme de traitement ou une autre, avant d'être rejetées dans le milieu naturel ou d'être éventuellement réutilisées.

Le traitement des boues doit répondre à au moins l'un des deux objectifs suivants :

- réduction du volume ;
- réduction du pouvoir fermentescible.

La réduction du volume peut être obtenue :

- soit par un épaissement, après lequel la boue demeure fluide ;
- soit par déshydratation (drainage et séchage naturels, séparation mécanique) ;
- soit après déshydratation, par séchage thermique ou incinération.

La réduction du pouvoir fermentescible(ou stabilisation) peut être obtenue par :

- digestion anaérobie ;
- stabilisation aérobie ;
- stabilisation chimique ;
- séchage et incinération en stade ultime [19].

Le choix de la filière de traitement des boues dépend de plusieurs facteurs :

- L'origine des boues ;
- La nature et la composition des boues ;
- La traitabilité des boues ;
- Les facteurs économiques (disponibilité et cout des terrains, main-d'œuvre, transport, énergie, réactifs, etc.) ;
- Les contraintes locales environnementales et administratives ;

Ainsi, l'élimination des boues nécessite une série de stades, consistant à :

- Déterminer les filières de traitement les plus économiques ;
- Réduire le pouvoir fermentescible afin de limiter les nuisances olfactives ;
- Valoriser le mieux possible les boues produites [22].

II.6.1. L'épaississement

C'est le premier stade de traitement des boues. Son principe consiste à enlever une partie plus ou moins importante de l'eau contenue dans les boues. L'épaississement peut être gravitaire, ou s'effectuer par flottation, par égouttage ou par centrifugation. Il a pour objectif de réduire le volume des boues brute et d'augmenter la concentration des matières (résultat : 3 à 8% de siccité selon les techniques utilisées).

L'épaississement facilite en particulier les traitements ultérieurs [22].

II.6.1.1. L'épaississement statique gravitaire

Cette technique est utilisée principalement pour les boues primaires ou de forte charge. L'ouvrage peut être équipé d'un pont racleur afin d'améliorer le fonctionnement, c'est alors un procédé très économique (1 à 7 kWh/T de MS).

L'épaississeur statique est un ouvrage circulaire, en général en béton avec une pente du radier comprise entre 10 et 20 % et une hauteur cylindrique de 4 à 5 m.

Le dimensionnement repose sur la loi de Kynch (la vitesse de chute dépend de la concentration locale) et, en général pour les ERU (eaux résiduelle urbaine):

- boues primaires : 40 à 80 kg MS/m²/j ;
- boues biologiques : 25 kg/m²/j et

$V < 0.25$ m/h [20].



Fig. II.1 : Epaisseur gravitaire [35].

II.6.1.2. L'épaississement dynamique

a. La flottation

Cette technique est utilisée pour des boues biologiques d'aération prolongée ou de biofiltration (concentration de l'ordre de 2 à 8 g/l maxi), en général pour des installations de moyenne et grosse importance (>40 000 E.H).

La flottation des boues biologiques en excès est dite directe si l'épuration est précédée d'un traitement primaire et indirect en absence de la décantation primaire.

L'épaississement des boues par flottation peut se réaliser dans des ouvrages rectangulaires ou circulaires. [22]

La flottation directe donne de meilleurs rendements pour les boues biologiques, a fortiori avec du polymère. Les ratios utilisés sont les suivants :

- 5 à 7 % en polymère pour siccité + 5 % ;
- consommation électrique : 60 à 100 kWh/ T MS ;
- vitesse ascensionnelle:2 m/h maxi [20].



Fig. II.2 : Épaississement des boues par flottation [29].

b. L'égouttage

Cette technique est en général utilisée pour des petites STEP et avec des boues biologiques d'aération prolongée (5 à 10 g/l concentration des boues à l'entrée de la table). Elle permet une réduction du volume de boues de l'ordre de 6 à 7 (siccité de l'ordre de 5 - 8 %).

Souvent, la grille d'égouttage est associée à une déshydratation sur filtre bande. Les ratios suivants sont classiquement observés :

- consommation énergétique faible (30 à 60 kWh/T MS) ;
- vitesse de l'ordre de 8 à 10 m³/m/h ;
- polymère : 4 à 6 kg/t MS [20].



Fig. II. 3: Table d'égouttage [29].

c. La centrifugation

Cette technique, comparable à la flottation, est en général utilisée pour des boues biologiques ou de traitements tertiaires physico-chimiques.

Elle est en général utilisée pour des STEP moyennes (20 à 100 000 E.H) ou dans des STEP compactes. Ce procédé est onéreux en investissement et en exploitation mais assure une excellente maîtrise des nuisances olfactives. Elle est compacte, sans odeur, avec un degré d'épaississement important mais impose une consommation de polymères onéreuse.

Les ratios suivants sont courants :

- ✓ polymère : 1.5 kg/T MS ;
- ✓ consommation électrique : 150 à 300 kWh/T MS (0.8 à 1.5 kWh/m³) [20].



Fig. II.4: Centrifugeuse [29].

II.6.2. Stabilisation des boues

La stabilisation des boues est une fermentation contrôlée, dont le rôle essentiel est de détruire une partie des matières organiques des boues et de stabiliser ces dernières [12].

Il existe divers types de stabilisation des boues :

- biologique aérobie ou anaérobie (à température ambiante ou thermophile) ;
- chimique (ajout de flocculant tels que le chlorure ferrique utilisé avec de la chaux, ou addition de polyélectrolytes) ;
- thermique [22].

II.6.2.1. Digestion anaérobie

La digestion anaérobie est un procédé biologique qui se réalise par fermentation méthanique des boues dans des digesteurs en absence d'oxygène. Elle permet une dégradation importante des matières organiques, de l'ordre de 40 à 50% [22].

On distingue deux phases dans le mécanisme de la digestion anaérobie :

- la fermentation dite acide qui transforme la matière organique en éléments solubles (acides gras, alcools, ...) et en gaz (CO_2 , H_2S , ...). La plupart des bactéries présentes dans les boues sont capables de produire cette première dégradation.
- la fermentation méthanique, permettant la dégradation complète des produits organiques solubles, au stade de biogaz, principalement constitué de méthane et de dioxyde de carbone.

Cette seconde phase, assurée par des bactéries anaérobies strictes, particulièrement lentes et sensibles au pH, est très dépendante de la température : la digestion nécessite plus de 100 jours à 10°C et 25 à 35°C .

Le bon fonctionnement de la digestion anaérobie dépend de plusieurs facteurs :

- la régularité de l'alimentation (apport en boues fraîches) et du soutirage, afin d'éviter des développements soudains de micro-organismes à l'intérieur du digesteur ;
- une température suffisante et sensiblement constante (33 à 35°C) ;
- une concentration élevée en boues d'alimentation (25 g/l minimum) ;
- une bonne production de gaz contenant environ 70% de méthane ;
- un pH compris entre 6.8 et 7.8 ;
- un bon brassage hydraulique (par recirculation de la boue et réinjection du gaz de la digestion par exemple) [21].
- un temps de séjour des boues déterminé en fonction de la charge de fonctionnement du digesteur, exprimé en kg MVS de boue introduire par jour et par m³ et de la température de la masse de boues [22].

II.6.2.2. Stabilisation aérobie

Ce procédé destiné à la réduction de la teneur en matière organique des boues, est aussi appelé digestion aérobie. Il consiste, par une aération prolongée des boues, à poursuivre le développement des micro-organismes aérobies au-delà de la période de synthèse des cellules et d'épuisement de substrats jusqu'à réaliser leur auto-oxydation. C'est le mécanisme de la respiration endogène aérobie.

La stabilisation est réalisée dans un bassin identique au bassin d'aération des boues activées. L'oxygénation assurée par aération de surface ou insufflation d'air, doit permettre de maintenir une concentration d'oxygène dissous d'au moins 2 mg/L.

La stabilisation aérobie nécessite donc une consommation énergétique non négligeable. Son efficacité s'avère très souvent aléatoire, particulièrement en hiver, car la durée de traitement de l'ordre de 15 à 20 jours (au minimum 10 jours à 20°C, et 14 jours à 12°C), est généralement insuffisante [21].

Les stabilisateurs (ou digesteurs) aérobies sont composés d'une ou de plusieurs cellules. Dans ce dernier cas, la disposition des cellules en série permet normalement d'atteindre un taux de stabilisation plus élevé et plus homogène [19].

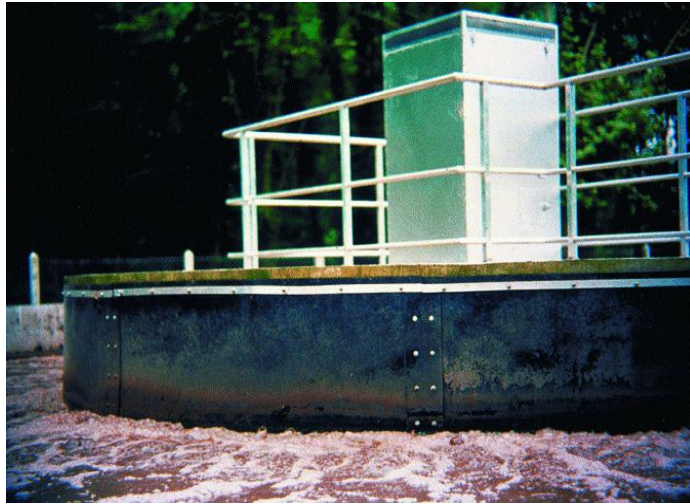


Fig. II.5 : Stabilisation aérobie (Source : Degrémont 2005).

II.6.2.3. Stabilisation chimique

La stabilisation chimique des boues est obtenue par adjonction de chaux qui, par augmentation du pH, bloque les fermentations, ce qui évite les dégagements des mauvaises odeurs. Elle est utilisée, généralement, en complément sur des boues déshydratées par filtre à bande ou centrifugation.

Il faut noter que la chaux utilisée à la fois comme agent de conditionnement et de stabilisation, dans le cas d'une déshydratation sur filtre presse.

Les doses de chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$ à mettre en œuvre sont de l'ordre de 8 à 10% de la concentration des boues solides dans le cas des boues urbaines [22].

II.6.2.4. Stabilisation thermique

La stabilisation thermique des boues peut être réalisée :

- par pasteurisation des boues liquides, à une température de 70°C pendant 30 minutes. La destruction des germes pathogènes est obtenue par ce procédé, à l'exception de quelques espèces (sous forme de spore).
- par séchage thermique partiel ou poussé, à une température de 80 à 100°C .
- par autoclavage (cuisson à 180 - 220°C) induisant une destruction totale des germes. Ce procédé est utilisé pour faciliter la déshydratation mécanique des boues et non dans un but de stabilisation [22].

II.6.3. Conditionnement des boues

Le conditionnement des boues est obtenu par l'application de plusieurs principes physiques, chimiques et thermiques. Il a pour but d'assurer la floculation de la boue pour faciliter le drainage, la filtration ou la centrifugation, ce qui optimise la déshydratation.

Le conditionnement des boues le plus utilisé est soit chimique, soit thermique [22].

II.6.3.1. Conditionnement chimique

Le conditionnement chimique peut être réalisé au moyen des réactifs minéraux (sels de fer ou d'aluminium et chaux) ou au moyen de polyélectrolytes organiques synthétiques.

Le conditionnement par réactifs minéraux conduit à la formation d'un floc relativement fin et stable. Ce type de conditionnement est très particulièrement adapté à la déshydratation par filtration, alors que le conditionnement par polyélectrolytes conduit à la formation de floccs volumineux assez fragiles.

Ce type de conditionnement est utilisé en particulier dans le cas d'une centrifugation ou de filtres à bandes presseuse [22].

a. Réactifs minéraux

Ils sont mieux adaptés à la déshydratation par filtres-presses ou filtres sous vide. Ces réactifs minéraux conduisent, en effet, à la formation de floccs fins mais mécaniquement stables. Sur les boues organiques (traitements biologiques d'ERU et d'ERI), l'ion (Fe) est de loin le plus efficace et le plus utilisé. Le choix entre chlorure ferrique (FeCl_3) et chlorosulfate ferrique (FeSO_4Cl) est généralement d'ordre économique [19].

b. Polyélectrolytes

Les polyélectrolytes ont pour effet :

- Une floculation extrêmement marquée, par formation de ponts entre particules, grâce aux longues chaînes ramifiées. Cette floculation est renforcée par une action coagulante dans le cas de polymères cationiques.
- Une très forte diminution de la résistance spécifique de la boue, l'eau libre interstitielle libérée étant très rapidement drainable. Par contre, les floccs, souvent spongieux et assez hydrophiles, entraînent dans la plupart des cas une augmentation du facteur de compressibilité de la boue [19].

II.6.3.2. Conditionnement thermique

Le développement de ce procédé a été poursuivi surtout en Angleterre par W.K. Porteous depuis 1935. Il a abouti à une technique intéressante dans le domaine de

l'épuration des eaux résiduaires urbaine, pour le traitement des boues fraîches ou digérées, primaire ou mélangées.

Cette technique consiste en un échauffement de la boue à une température comprise entre 150 et 210°C pendant un temps de cuisson variant de 30 à 60 minutes [12].

Le conditionnement thermique est particulièrement adapté aux grandes stations équipées de digesteurs anaérobies et des installations de déshydratation mécanique par filtres presses.

Cette technique de conditionnement entraîne la perturbation de la structure hydrophile et favorise les réactions chimiques, ce qui induit une importante rétention d'eau, de plus de 50%, avec une très nette amélioration de l'aptitude des boues à la déshydratation mécanique [22].

II.6.4. Déshydratation des boues

La déshydratation des boues constitue la deuxième étape de réduction du volume des boues. Elle s'opère sur des boues épaissies, stabilisées ou non, en vue d'une élimination plus ou moins poussée de leur humidité résiduelle de manière à les rendre soit pelletables (siccité de 16-30%), soit solides (siccité supérieure à 30%).

Plusieurs techniques de déshydratation ont été mises en œuvre sur des boues urbaines préalablement conditionnées (conditionnement chimique ou thermique) [22].

a. Filtration sous vide

La filtration sous vide est un procédé de déshydratation couramment employé dans les stations d'épuration urbaines. C'est une technique très bien maîtrisée et fiable. Le conditionnement préalable des boues à filtrer est indispensable.

Les filtres sous vide comportent généralement une toile de filtration, fixée sur un tambour rotatif, qui peut être avec ou sans cellules. Il existe des filtres « à sortie de toile » et des filtres « à pré-couche » [12].

Ce tambour est partiellement immergé dans une auge contenant les boues à filtrer. L'eau interstitielle est aspirée en laissant sur la toile un gâteau de boue évacuée en continu.

Le rendement de la filtration, exprimé en masse de matières sèches retenues sur la toile filtrante, varie de 20 à 40 kg MS /m²/h.

La siccité des boues sèches (gâteaux de boues) obtenues est, en moyenne, de 24% [22].



Fig. II.6 : Sous vide à bande filtre [29].

b. Filtration sous pression

C'est une technique de plus en plus utilisée qui permet une mécanisation poussée des opérations successives. Elle met en œuvre essentiellement le filtre presse qui est constitué par un grand nombre d'éléments filtrants en forme de plaques juxtaposées, recouverts par une toile filtrante métallique en acier ou en tissu synthétique.

La pression appliquée est de l'ordre de 15 bars. Les gâteaux obtenus sont secs et d'une épaisseur de 2 à 4cm. Le temps de pressées pratiqué est de 2 à 3 heures.

Un nettoyage automatique des toiles (sous pression de 80 à 100 bars) est réalisé toutes les 15 à 20 pressées. La capacité de filtration est de 1.5 à 4 kg MS /m²/h.

La siccité des gâteaux obtenus est de 30 à 40%. Ces gâteaux secs conviennent parfaitement à l'incinération [22].

c. Filtre à bande

Dans un filtre à bande, les boues conditionnées sont soumises à une pression progressive sur toile filtrante constituant bande d'entraînement [23].

Cette déshydratation progressive s'opère en trois stades, sur des boues préalablement floculées :

- phase d'égouttage, obtenue par floculation et simple drainage (filtration à très faible pression) ;
- phase de pressage, rendant le gâteau filtrant compact ;
- phase de cisaillement, avec extraction de maximum d'eau. Les capacités de filtration varient de 80 à 100 kg MS/m/h sur des boues d'aération prolongée et de 120 à 250 kg MS/m/h sur des boues dirigées en anaérobie.

La largeur des bandes varie de 2 à 3 m.

La siccité de gâteau est de 18 à 25 % de MS.



Fig. II.7 : Déshydratation des boues par filtre à bande [28].

d. Déshydratation par centrifugation

Ce procédé consiste en une décantation centrifuge des boues. Les centrifugeuses utilisent la force centrifuge pour la séparation liquide-solide. La centrifugation sera employée lorsque le colmatage des autres procédés est trop rapide : cela correspond aux boues à forte compressibilité.

Les caractéristiques de l'appareil jouent aussi un rôle très important. La boue est introduite centralement ou tangentiellement, puis extraite par une vis hélicoïdale tournant à une vitesse légèrement supérieur au bol (les centrifugeuses en général des bols cylindro-coniques) [23].

La capacité de séparation de la centrifugeuse varie en fonction de la vitesse de rotation et de temps de séjour. Celui-ci en général, de l'ordre de 12 à 15 secondes.

La capacité de production pour ce type de déshydratation varie de 200 à 600 kg MS/h, selon les dimensions et la nature des boues à déshydrater, pour une consommation de polymères de 2 à 8 kg/t MS.

La siccité elle peut varier de 14 à 30% de MS ; il est possible d'obtenir des siccités de l'ordre de 22% sur des boues d'aération prolongée avec une très importante consommation de polymères, de l'ordre de 6 à 8 kg/t MS [22].



Fig. II.8 : Déshydratation des boues par centrifugation [28].

II.6.4.2. Lits de séchage naturel

C'est une technique de déshydratation naturelle. Le système consiste à sécher les boues à l'air libre sur des lits de séchage drainés. C'est un procédé simple nécessitant une importante main-d'œuvre et une grande surface de terrain.

C'est un procédé très utilisé pour les petites installations, voire même les grandes stations si les conditions climatiques sont favorables.

Les lits de séchage comportent un massif drainant constitué de sable et mâchefer. L'épaisseur de massif est voisine de 30cm. Les boues admises sur les lits de séchage sont réparties sur une épaisseur de 20 à 30m.

Les eaux d'égouttage sont collectées par des drains et renvoyées en tête de station [22].

La déshydratation comporte une première phase de drainage, une seconde de séchage atmosphérique. La siccité peut atteindre 40 et même 60 % en cas d'ensoleillement optimal.

Le temps de séchage varie de trois semaines à un mois et demie, pour sécher 30 à 40 cm de boue liquide, selon les conditions climatiques.

Les bases de dimensionnement des lits de séchage sont définies ci-après :

- 0.3 à 0.7 kg MS/m³ drainé ;
- Durée de séchage : 4 à 6 semaines [19].



Fig. II.9 : lit de séchage naturel [29].

II.6.4.3. Lits planté de roseaux

Les lits plantés de roseaux sont utilisés pour traiter et stocker les boues issues du traitement des eaux usées pendant plusieurs années (Fig. II.11). Le développement d'un important réseau de tiges, rhizomes et racines de roseaux permet à différents processus de se mettre en place pour minéraliser les boues et éliminer l'eau interstitielle (renvoyée en tête de station).

Après plusieurs années de fonctionnement et lorsque les lits arrivent à saturation, ils doivent être vidangés: les boues peuvent être épandues en agriculture, généralement après une phase de compostage qui permet de limiter la reprise des roseaux. La technique des lits plantés de roseaux nécessite une surface au sol relativement importante (environ $4\text{EH}/\text{m}^2$).



Fig. II.10: Lit à macrophytes (Roseaux) [38].

II.7. Schéma général des filières de traitement des boues :

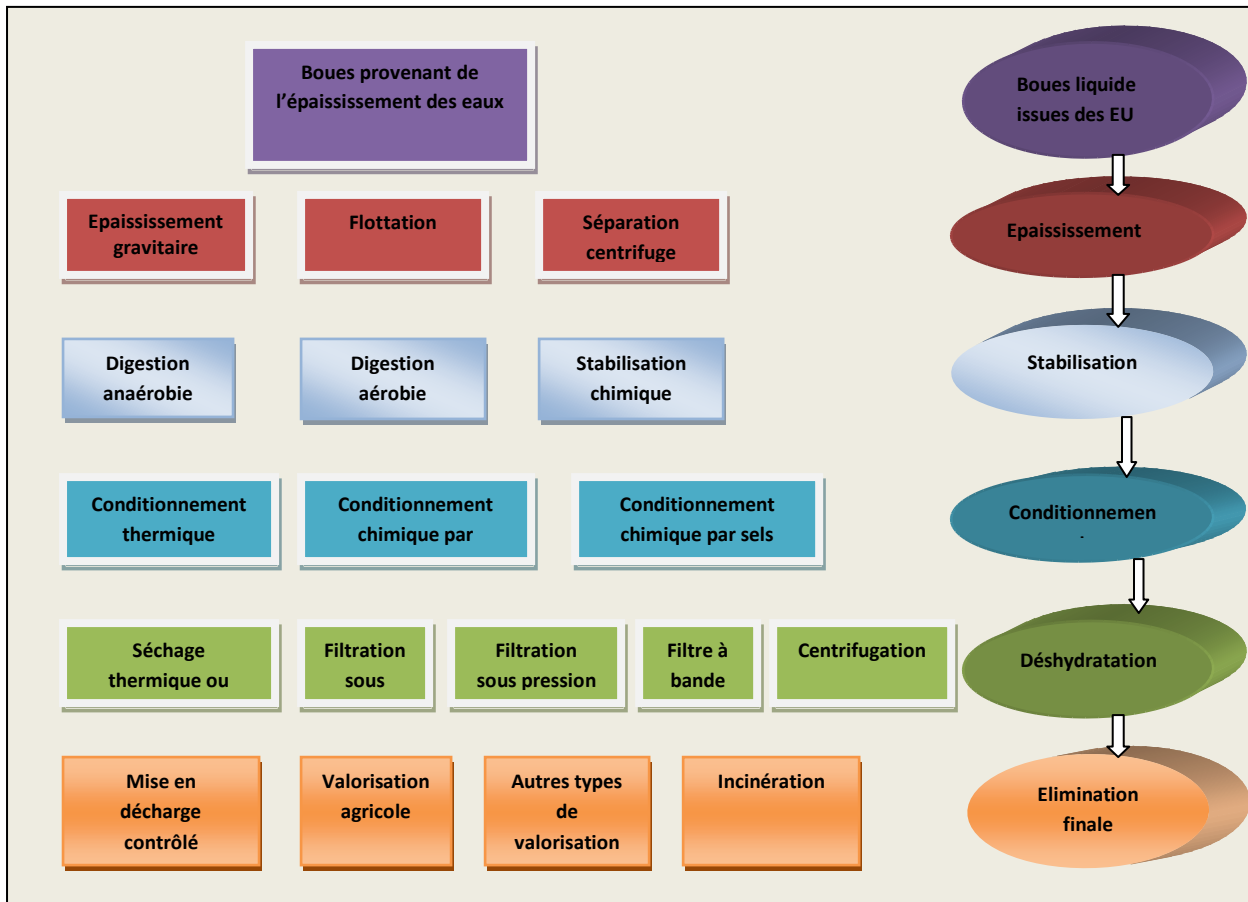


Fig. II.11: Filières de traitement des boues d'épuration.

Le choix de la filière de traitement dépendra à la fois de la nature, de la composition et de la traitabilité des boues, de facteurs économiques (disponibilité et coût du terrain, main-d'œuvre, énergie, réactifs, etc.) et enfin de conditions locales (environnement, contraintes administratives, etc.).

Explication du schéma :

Dans un premier temps la boue provenant de l'épuration des eaux usées (boue liquide), elle est dirigée vers l'épaississeur gravitaire (flottation ou par centrifugation) cette phase est appelée l'épaississement, puis elles passent par une phase de stabilisation ou digestion (aérobie, anaérobie ou chimique). La phase de conditionnement se compose en trois techniques (thermique, chimique par polyélectrolite ou par sels minéraux), ensuite intervient la déshydratation des boues qui se fait soit par voie naturelle (lit de séchage ou lit planté de roseaux), soit par voie mécanique (thermique, filtration sous vide, sous pression, filtre à bande ou par centrifugation). En fin l'élimination de la boue se fait par plusieurs manières : mise en décharge contrôlée, valorisation agricole ou bien l'incinération.

II.8. Avantages et inconvénients des techniques de traitement des boues

Le tableau suivant regroupe les avantages ainsi que les inconvénients que présente chaque procédé de traitement de boues avec les siccités attendues.

Tableau. II.2 : Avantages et inconvénients des techniques de traitement des boues.

Procédés	Avantages	Inconvénients	Siccité (%)
Digestion aérobie	<ul style="list-style-type: none"> -une bonne dégradation la MS (40%) et de la MVS (50%) à partir de 6 jours ; -une bonne élimination des lipides (80%) et des protéines ; -une bonne stabilité des boues à partir de 6 jours de temps de rétention ; -une bonne dégradation de la cellulose (52%) ; -une minéralisation plus complète des boues par rapport à des boues stabilisées en anaérobiose. [22] 	<ul style="list-style-type: none"> -consommation énergétique très importante supérieur à celle de la digestion anaérobie ; [31] 	15 à 20
Digestion anaérobie	<ul style="list-style-type: none"> -le taux de réduction des MO proche de 50% ; -les boues produites ne dégagent pas d'odeurs ; -réduction importante de la teneur en MO à faible cout ; -production d'énergie utilisée pour le chauffage des digesteurs. [22] 	<ul style="list-style-type: none"> -le coût d'investissement élevé ; -les surnageant des digesteurs ou le filtrat, chargé en azote ammoniacal, pénalisent le fonctionnement de la station ; 	15 à 20

Procédés	Avantages	Inconvénients	Siccité (%)
		-la nécessité d'une exploitation plus rigoureuse que la stabilisation aérobie. [22]	
Stabilisation chimique	Très bonne efficacité en termes d'élimination de la matière organique. [31]	-évolution plus lente des MO dans le sol ; -complexation des éléments fertilisants, qui deviennent plus difficilement disponibles; - perte d'azote due au chaulage. [19]	15 à 20
Epaississement par flottation	- réduction de la surface et du volume des ouvrages d'épaississement ; - production de boues épaissies plus concentrées ; [19] -contrôle des odeurs car le milieu est aéré ; -meilleur rendement d'épaississement ~ 60 à 200 mg/l dans le surnageant. [20]	-coût d'investissement élevé ; -cout d'exploitation élevé (importante consommation électrique) ; -pas de stockage des boues épaissies dans l'ouvrage nécessitant la mise en place d'une capacité tampon en aval. [22]	4

Procédés	Avantages	Inconvénients	Siccité (%)
Epaissement par égouttage	-simplicité et facilité d'exploitation ; -compacité et nuisances contrôlables ; -diminution des coûts de stockage et de transport ; -réduction des volumes des silos de stockage ; -augmentation de durée de stockage des silos existant ; [20]	-main d'œuvre, eau de lavage ; -polymère indispensable. [20]	5 à 10
Epaissement par centrifugation	-matériel très compacts et souplesse d'utilisation ; -nuisances contrôlées ; -siccité élevé, de 6 à 10% de MS. [20]	-tamisage préalable ; -coût d'investissement important ; -cout d'exploitation élevé. [22]	20
Conditionnement thermique	-réduction de la capacité de stockage en cas de valorisation agricole des boues ; -pas de consommation de réactifs ; -forte siccité de gâteaux obtenue sur filtre presse, de l'ordre de 50%. [22] - amélioration de la structure de la boue telle qu'une filtration sans apport de réactifs. [19]	-risque d'entartrage et de bouchage des autoclaves ; -eaux de retour très chargées engendrées par les MO ré-solubilisées ; -la charge polluante exprimée en DBO ₅ est de l'ordre de 15% arrivant dans le bassin ; -importantes nuisances olfactives générées par la cuisson des boues. [22]	45 à 55

Procédés	Avantages	Inconvénients	Siccité (%)
Filtration sous pression	-fiabilité de procédé ; -réduction notable des coûts de transport des boues, en particulier pour la mise en décharge dont les exigences sont de plus en plus sévères. [22]	-discontinuité du traitement ; -main d'œuvre importante ; -coût d'investissement important. [31]	30 à 40
Filtre à bande	-robustesse et simplicité de construction et de démontage ; -déshydratation continue ; -fiabilité s'il y a eu un bon conditionnement des boues ; -faible consommation d'énergie ; [22]	-coût d'investissement assez élevé ; -importante consommation d'eau pour le nettoyage des toiles induisant un retour en tête chargé ; -siccité plus faible que celles obtenues sur les filtres-presses. [22]	18 à 25
Filtres-presses	- siccité élevée ; - solidité ; - grande fiabilité. [22]	- fonctionnement discontinu ; - main d'œuvre importante (sauf pour les versions modernes). [22]	50 à 60
Déshydratation par centrifugation	-technique adaptée aux boues difficiles à traiter ; -encombrement réduit (économie de surface de bâtiment et d'installation d'extraction d'air) ;	-faible consistance des boues à la déshydratation ; -nécessité de mise en place des dessablages des boues en amont des installations,	

Procédés	Avantages	Inconvénients	Siccité (%)
	<ul style="list-style-type: none"> -autonomie de fonctionnement ; -coût d'investissement compétitif par rapport aux filtres-presses ; - Permet de travailler en milieu confiné, sans odeur ; - Compacité de l'équipement. [22] 	<ul style="list-style-type: none"> afin de réduire le risque d'obstruction de celles-ci ; -risque d'abrasion rapide par le sable ; -importante consommation énergétique (supérieure à celle des filtres à bande) ; -consommation élevée de polymères ; -filière non fonctionnelle en période de gel. [22] 	14 à 30
Lit de séchage naturel	<ul style="list-style-type: none"> -conception relativement simple pouvant être réalisée par des petites entreprises ; -filière rustique demandant peu de technicité sur le plan de l'exploitation, particulièrement adaptée à une gestion en régie ; -plusieurs destinations envisageables : <ul style="list-style-type: none"> - compostage ; 	<ul style="list-style-type: none"> -séchage inopérant en période très pluvieuse et besoin de main-d'œuvre élevé (ratissage manuel à la fourche et manutention des boues significative) ; -coût d'exploitation élevé lié essentiellement au besoin en personnel pour l'enlèvement des boues ; -produits pâteux et hétérogène peu intéressant sur le plan agronomique : épandage direct en agriculture plus délicat ; 	15 à 25 (selon condition météorologique)

Procédés	Avantages	Inconvénients	Siccité (%)
	<ul style="list-style-type: none"> - centre d'enfouissement technique, recyclage agricole ; - filière peu consommatrice d'énergie (séchage naturel) ; - bonne intégration paysagère (ouvrage semi-enterré dont la hauteur ne dépasse pas 50 cm). [26] 	<ul style="list-style-type: none"> - nécessité d'une superficie importante pour l'implantation des lits ; - utilisation de polymère demandant beaucoup d'énergie pour sa fabrication. [26] 	
Lit de séchage à plantations macrophytes	<ul style="list-style-type: none"> - un procédé rustique (pas de consommation énergétique, ni maintenance) ; - une extraction régulière des boues du bassin d'aération garantissant une bonne qualité de l'eau traitée ; - une réduction importante de volume des boues stockées de part l'activité drainante et minéralisatrice de milieu ; 	<ul style="list-style-type: none"> - coût d'investissement (génie civil, nombre de lits, plantation...) ; - possibilité de repousse des rhizomes, en particulier sur des sols hydromorphes ; - chantier d'épandage difficile ; - coût élevé de l'épandage des boues issues de ce procédé par rapport à des boues classiques. [22] 	<p>15 à 25 (selon condition météorologique)</p>

Procédés	Avantages	Inconvénients	Siccité (%)
	<ul style="list-style-type: none"> -une fréquence d'évacuation des boues d'environ 1 fois tous les cinq ans ; -l'absence d'odeur générée par les lits de séchage ; -les percolas sont de bonne qualité ; -faible niveau de technicité requis pour l'exploitant ; -bonne tenue mécanique de la boue (rhizomes) ; -bonne qualité agronomique des boues ; -coût d'exploitation réduit par rapport à la déshydratation mécanique ; -enlèvement et évacuation simples et rapides. [27] 		

Dans ce tableau vous avez présenté quelque procédé de traitement des boues qui fonctionne de façon mécaniquement (épaississement par centrifugation, filtre sous pression...) ou bien naturellement (lit de séchage naturel ou par planté de roseaux) pour faire une comparaisant entre eux pour avoir quel est le mieux procédé (le coût, l'efficace et le simple).

Conclusion :

La boue est le produit ultime de l'épuration des eaux. La progression dans le domaine de l'assainissement engendre une production importante.

L'élimination de celle-ci nécessite une série de stades, consistant à déterminer la filière la plus économique. Généralement, l'élimination finale des boues est limitée à la mise en décharge et l'incinération.

La solution la plus adéquate consiste à considérer ces boues comme des produits valorisables.

Chapitre III
Description et qualité
des eaux usées de la station
d'Ain El Houtz

I. Description de la STEP

III.1. Introduction

La station d'épuration de la ville de Tlemcen se situe au nord du chef-lieu de la wilaya (Tlemcen Ville), à l'ouest de Chetouane (Daïra) sur la Route de Ain El Houtz conçue pour une population de 150 000 eq/hab d'une capacité de 30 000 m³/j.

La station d'épuration de la ville de Tlemcen est de type Boues activées à faible charge. Dans le traitement biologique des effluents, on fait généralement appel aux processus aérobies par lesquels les bactéries provoquent une oxydation directe des matières organiques des eaux usées à partir de l'oxygène dissous dans l'eau [11].



Fig. III.1 : Vue de la station d'épuration d'Ain El Houtz [11].

III.2. Situation géographique

La STEP d'Ain El Houtz située à 6km au nord de la ville de Tlemcen, dans la rive droite de l'oued d'AIN EL HOUTZ juste au pied du Djebel TOUMA elle occupe une superficie de 13 hectares (Voire la Fig. III.2) [11].



Echelle : 1/5000

Fig. III. 2 : Situation géographique de la STEP de « Ain El Houtz » [11].

III.3. Principe de fonctionnement

La station d'épuration de la ville de Tlemcen est de type boues activée à faible charge. Dans le traitement biologique des effluents, on fait généralement appel aux processus aérobies par lesquels les bactéries provoquent une oxydation directe des matières organiques des E.U à partir de l'oxygène dissous dans l'eau [11].

Il existe deux types de canaux d'emmener des eaux usées à la station.

- De dalots (2m de largeur et 1m de hauteur) qui provient de Sidi Yakoub vers Feden Sbaa.
- Conduit de 1250mm de diamètre qui va de Feden Sbaa jusqu'à la tête de la station [11].

La STEP est composée de la chaîne des traitements suivants :

- ✓ Prétraitement ;
- ✓ Traitement biologique ;
- ✓ Traitement tertiaire ;
- ✓ Traitement des boues.

III.4. Description des installations :

La station d'épuration comprend :

Tableau III.1 : Description des installations de la STEP [11].

Pour la partie eaux usées	Pour la partie boue	Bâtiments
- déversoir d'orage ; - dessableur-déshuileur ; - quatre bassins d'aération - deux décanteurs secondaires (clarificateur) ; - un poste de désinfection.	- un épaisseur ; - quatorze lits de séchage ; - air de stockage des boues séchées.	- Un bâtiment d'exploitation ; - Un bâtiment de chloration.

III.5. Données de base

La station d'épuration d'Ain El Houtz a été dimensionnée sur la base des données suivant :

- Type de réseaux unitaire.
- Nature des eaux brutes domestique.

Tableau III.2 : Les valeurs de bases des données de la STEP de Tlemcen [11].

Paramètre	Unité	Valeur
Population	Eq/hab	150000
Débit journalier	m ³ /j	30000
Débit de point horaire admis au traitement	m ³ /h	3800
DBO ₅ journalière	Kg/j	9300
MES	Kg/j	13950
Azote a nitrifié	kg	1980
L'équivalence calculée sur la DBO	Eq/hab	172000

III.6. Caractéristique après traitement prévue par l'étude

Les caractéristiques des eaux épurées qui devraient être garanties par l'étude du processus sur une durée moyenne de 24 heures :

Tableau III.3 : Les valeurs limitent de l'étude du processus [11].

Paramètre	Unité	Valeur
MES	mg/l	30
Matière sédimentable	CC/l	0.5
DBO	mg/l	20
DBO point max en moyenne sur 2 heures	mg/l	30
DCO	mg/l	90
Azotes (N-NH ₄)	mg/l	3-5
Azotes (N-NO ₃)	mg/l	8-10
Huiles et graisses végétales	mg/l	20
Coliformes totaux	ml	20000/100
Streptocoques fécaux	ml	2000/100

III.7. Filière de traitement

La station fonctionne sur la base d'un procédé à boue activée avec aération prolongée à l'aide de surface à vitesse lente, l'eau entrant à la station passe en premier lieu par :

III.7.1. Déversoir d'orage

Généralement chaque station d'épuration des eaux usées est dimensionnée pour traiter un débit fixe. Cette dernière est assurée par un déversoir d'orage (Fig. III.2).

Au niveau de la STEP le déversoir est dimensionné pour accepter une charge maximum de $3300\text{m}^3/\text{h}$.

Cependant, le débit de point horaire admis au traitement de $3800\text{m}^3/\text{h}$, c'est -à-dire que $500\text{m}^3/\text{h}$ de débit horaire sera évacué vers le oued d'Ain El Houtz.

L'eau usée à traiter arrive gravitairement à la tête de la première filière du traitement à l'aide d'une conduite de 800mm de diamètre qui s'appel "liaison entre ouvrage" [11].



Fig. III.3 : Déversoir d'orage.

III.7.2. Prétraitement

Ils ont pour but d'éliminer les éléments solides ou particulaires les plus grossiers, susceptibles de gêner les traitements ultérieurs ou d'endommager les équipements : déchets volumineux (dégrillage), sables (dessablage) et corps gras (dégraissage-déshuilage).

III.7.2.1. Dégrilleur

Il consiste à faire passer les eaux usées au travers d'une grille dont les barreaux, plus ou moins espacés, retiennent les éléments les plus grossiers.

Deux dégrilleurs :

- Grille grossière manuelle (1 unité) :

Elles sont composées de barreaux droits de section rectangulaire à les dimensions suivants :

- L'inclinaison sur l'horizontale : 70%
- La hauteur : 1.5m
- La largeur de la grille : 1.8m
- Écartement entre les
- barreaux : 50mm [11].



Fig. III.4 : Grille grossière manuelle (1unité).

➤ Grille mécanisée : (deux unités)

Elles sont indispensables à partir d'une certaine station d'épuration.

Les deux grilles de cette STEP (Fig. III.5) aux dimensions suivant :

- La largeur de la grille : 1.0m
- Profondeur du canal : 1.5m
- Ecartement entre les barreaux : 20mm
- Puissance du moteur : 0.37Kw [11].



Fig. III.5 : Grille mécanisée (deux unités).

➤ Dégrillage manuelle de by-pass :

By-pass en cas de crue pluvial, en cas d'arrivée anormalement chargé (rejet industriel, station de vidange..).

Les caractéristiques de by-pass :

- La largeur : 1m
- L'écartement entre les barreaux : 30mm
- Les grilles sont en aluminium pour éviter la corrosion [11].

III.7.2.2. Désableur-déshuileur

Le désableur-déshuileur (Fig. III.6) est retenir les sables et les huiles, l'air est insufflé par des supprimeurs pour provoquer une émulsion (barbotage) pour séparer le sable et les graisses.

L'eau prétraitée est déversée et évacuer gravitairement à travers un canal à ciel ouvert pour subir les traitements ultérieurs.

Les deux Déssableur-déshuileur ont les dimensions suivant :

- La longueur : 26m
- La largeur : 4m
- La hauteur : 9m [11].



Fig. III.6 : Déssableur-déshuileur.

-Il existe trois suppreseurs pour insufflation d'air : deux en fonctionnement et l'autre en secoure.

-Le sable qui éliminée dans le déssableur-déshuileur envoyée ver le bac à sable (Fig. III.7).



Fig. III.7 : Bac à sable.

- Les huiles et graisses est racler par un racleur de surface (Fig. III.8).



Fig. III.8 : Racleur de surface.

III.7.3. Traitement biologique

L'épuration biologique des eaux usées biodégradables s'effectue par voie aérobie ou anaérobie. Du fait du caractère exothermique du métabolisme aérobie, le processus est plus rapide et complet, avec, comme contrepartie la production d'une masse cellulaire plus importante.

-Les effluents prétraités seront acheminés vers les bassins de traitement secondaire.

-La station comporte quatre (04) unités, au niveau de chaque unité il y'a deux (02) bassins séparés :

- ✓ Bassin de Nitrification/Dénitrification ;
- ✓ Bassin d'aération [11].

III.7.3.1. Bassin de Nitrification-Dénitrification

L'eau prétraitée arrive premièrement dans ce bassin, dans lequel sera faite l'élimination de la pollution azotique à partir des bactéries spécifiques (nitrosomonas, nitrobacter).Le bassin est équipé d'un mélangeur de fond pour assurer l'agitation du milieu. En suit, nitrifie-dénitrifie est déversée vers les bassins d'aération.

Chaque bassin de dénitrification aux dimensions suivantes :

- Volume : 725m³

Forme rectangulaire de :

- Longueur : 18.5m
- Largeur : 8.5m
- Hauteur d'eau : 4.9m
- Hauteur béton : 5.6m [11].

III.7.3.2. Bassin d'aération

Le bassin d'aération (Fig. III.9) est rectangulaire, alimenté en eau dénitrifier. L'aération dans le bassin, sera réalisée à l'aide d'aérateur de surface à vitesse lente, chaque bassin est équipé de trois (03) aérateur. Ce milieu favorable, provoquant le développement des bactéries, qui par action physico-chimique retienne la pollution organique et s'en nourrissent. L'aération est faite par voie manuel.

Pour la protection de béton, chaque bassin est équipé d'un système d'injection de l'eau pour casser les mousses formes par l'aération, chaque bassin d'aération à la dimension suivante :

- Volume : 4723m³
- Longueur : 55.5m
- Largeur : 18.5m
- Profondeur d'eau : 4.6m
- Hauteur d'eau : 5.6m [11].



Fig. III.9 : Bassin d'aération

Le mélange (boue et effluent) déversé du bassin biologique est envoyé vers la tour de répartition.

❖ **Tour de répartition**

Le mélange (boue et effluent) en provenance de quatre (04) bassins d'aération est transportée gravitairement vers une chambre de répartition divisant les eaux vers les deux bassins de décantation secondaire [11].

❖ **Vis de relevage**

Chaque bassin d'aération équipée d'un vis de relevage qui permet de recycler une partie des eaux qui va débordée vers le décanteur secondaire.

Les eaux relevées sont envoyées à la tête de chaque bassin d'aération par un canal à ciel ouvert. Le débit unitaire de vis relevage est de 1300m³/s [11].

III.7.4. Clarificateur

Les boues activées venant du bassin d'aération sont introduites dans le clarificateur par une tuyauterie noyée dans le béton du radier (600 mm de diamètre) et aboutissant dans une jupe siphonée de tranquillisation, pour éviter la formation des vagues dans le décanteur.

Les boues se déposent sur le fond et sont raclées vers une fosse à boues centrale à l'aide d'un ponton raclé tournant muni de raclettes, ce dernier se déplace sur le bord du bassin autour d'un point central d'axe.

La clarification assurée la sédimentation des boues, dans la STEP il existe deux(02) décanteurs de forme circulaire de 46m de diamètre, une surface de 1661m³, une profondeur d'eau de 4m en périphérie et de ponté racleur de rotation de 0.04m/s.

Les boues décantées, elles sont envoyées vers le tour de recyclage ou vers l'épaississeur [11].



Fig. III.10 : Clarificateur.

❖ Tour de recyclage

Les boues issues de clarificateur sont dirigée vers la tour de recyclage, ensuite une partie de ces boues fraîche (à l'état liquide) sont recyclée vers les bassins d'aération pour garder constant la concentration de la matière active dans les bassins de traitement biologique par un canal équipé un jaugeur venturi permet la mesure de débit de recyclage.

Le recyclage des boues se fait à partir de trois(03) vis d'Archimède (Fig. III.11), (deux fonctionnent et l'autre en secoure).

Quant aux boues en excès sont pompées vers l'épaississeur [11].



Fig. III.11 : Vis de recirculation
(Vis d'Archimède).

Les eaux clarifiées sont ensuite recyclées vers la dernière étape et qui est la désinfection.

❖ Bassin de chloration

Il est en béton armé et d'un volume de l'ordre de 700m³ (Fig. III.12).



Fig. III.12 : Bassin de chloration.

III.7.5. Partie boues

Après traitement biologique, les boues constituent le résidu principal de la station d'épuration d'Ain El Houtz dirigée vers l'épaississeur (Fig. III.13). Les boues qui arrivent à l'épaississeur proviennent de deux origines :

- Tour de recyclage : boues en excès
- Bassin d'aération : boues stabilisées [11].

III.7.5.1. Epaississeur

Il s'agit d'un ouvrage circulaire dans lequel les boues sont introduites par le haut. L'épaississeur des boues permet de réduire le volume des boues fraîches, et donne une consistance physique plus ou moins solide.

L'épaississeur a la dimension suivant :

- Forme circulaire réalisée en béton armé
- Diamètre : 14m
- Hauteur utile : 4m
- Le fond du bassin a une pente de 1/10 [11].



Fig. III.13 : Epaississeur.

Les boues épaissies sont envoyées par pompage vers les lits de séchage (Fig. III.14).

III.7.5.2. Lits de séchage

Le séchage des boues épaissies s'effectue à l'air libre sur des surfaces étendues aménagées spécialement pour cet effet.

Il existe quatorze (14) lit de séchage conçus avec un fond en béton équipé d'un tuyau de drainage (tuyaux perforé) permet l'évacuation de l'eau filtré. Ces dernières sont envoyées vers le déversoir d'orage.

Chaque lit aux dimensions suivantes :

- Nombre : 14
- Longueur : 30m
- Largeur : 15m [11].



Fig. III.14 : Lits de séchage.

Les boues sèches sont stockées dans des aires spéciales appelées « aires de stockage » pour l'utilisation agricole ou mise en décharge.

III.7.5.3 Aire de stockage des boues séchées

Un espace libre pour stocker les boues sèches pour faciliter le transport des volumes importants des boues vers l'agriculture.



Fig. III.15 : Aire de stockage des boues séchées.

II. Les analyses des eaux usées de la STEP

On étudie dans cette partie, les caractéristiques (physico-chimiques) des eaux usées et épurées de la STEP d'Ain El Houtz afin de pouvoir examiner le bon fonctionnement de ladite station, en contrôlant la qualité des eaux d'entrée et de sortie.

III.8. Introduction

Dans toute station d'épuration des eaux usées il est nécessaire d'effectuer des analyses de l'eau brute et de l'eau épurée afin de déterminer les différents paramètres physico-chimique et bactériologiques permettant d'évaluer le niveau de pollution dans chaque phase de traitement.

Lors de notre passage au niveau de la STEP d'Ain El Houtz, au moment de notre stage, nous n'avons pu faire que seulement les analyses physico-chimiques des eaux usées à l'entrée et à la sortie de la STEP.

III.9. Echantillonnage

Les échantillons d'eau brute sont pris à partir d'un collecteur principal ou les différents effluents de la STEP d'Ain El Houtz se rencontrent après le traitement mécanique et à l'entrée de traitement biologique. L'échantillon destiné à l'analyse est prélevé de façon à représenter le plus exactement possible le milieu d'où il provient, la concentration étant supposée être la même dans le milieu d'origine et dans l'échantillon. Les échantillons composites sont constitués d'un mélange d'échantillon prélevés chaque heure d'un volume de 200ml [11].



Fig. III.16 : Laboratoire d'analyse.

III.10. Les paramètres physico-chimiques à analyser

III.10.1. Les paramètres physiques

III.10.1.1. La température

La détermination de la température de l'échantillon est faite au laboratoire à l'aide d'un thermomètre plongé à l'intérieur du flacon et on attend environ 3 minutes pour la lecture. La température est donnée en degré Celsius (°C).

III.10.1.2. Le pH

A l'aide d'un pH-mètre portable (Fig. III.17) on plonge la sonde dans les échantillons d'eau avant et après l'épuration.

On le laisse se stabiliser, on agite pour s'assurer de la fiabilité du résultat.



Fig. III.17 : pH-mètre.

III.10.1.3. L'oxygène dissous (O₂)

La détermination de la valeur d'oxygène dissous est faite par un oxymètre portable (Fig. III.18).

On plonge la sonde dans les échantillons, l'un après l'autre, tout en attend le temps de la stabilisation puis on note le résultat.



Fig. III.18 : Oxymètre.

III.10.1.4. La conductivité

On commence par régler le conductimètre (Fig. III.19) elle mettre en ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Puis on plonge la sonde dans les échantillons d'eau usée puis épurée, et on lit le résultat en micro-siemence.



Fig. III.19 : Conductimètre.

III.10.1.5. La turbidité

Dans la STEP d'Ain El Houtz, la mesure de la turbidité est faite par un spectrophotomètre (Fig. III.20).

Elle est déterminée par la présence de particules minérales et organiques en suspension.



Fig. III.20 : Spectrophotomètre.

III.10.1.6. Les matières en suspension (MES)

On prépare le blanc (verser 25ml d'eau distillée dans une cuvette de mesure), et l'échantillon (25ml d'eau épurée et brute dans 2 cuvettes de mesure). Puis on place le blanc dans le puits de mesure, et on ferme le capot, on pressant sur le ZERO.

On place le premier échantillon d'eau épurée, on ferme le capot ; et le résultat de MES en mg/l s'affiche. Et la même chose avec l'échantillon d'eau brute.

III.10.1.7. Matière insoluble décantable (MID)

Représentent en moyenne 60 % des MES, leur quantité peut être appréciée par le test de décantation effectué sur 1l d'eaux usées dans le (Fig. III.21) pendant 2 heures, Unité : ml/l.

Ce test permet :

- de mesurer l'aptitude des boues à la décantation ;
- d'évaluer la concentration de la boue (activée ou même recirculée) ;
- De faciliter le diagnostic des principales origines de dysfonctionnement du traitement.



Fig. III.21 : Cônes d'Imhoff.

III.10.1.8. La siccité

La siccité est le pourcentage massique de matière sèche. Elle est évaluée par la quantité de solide restant après un chauffage à 105°C pendant deux heures. Elle s'exprime généralement en pourcentage.

- Peser le creusé vide séché soit P_0 ;
- Prendre une quantité de la boue d'un lit de séchage ;
- Peser ensemble le pèse-tare et la boue soit P_1 ;
- Mettre le creusé à l'incubateur à 105°C pendant 2 à 4 heures (jusqu'à le poids se stabilise) soit P_2 ;

Le calcul de la siccité se fait par la formule suivante :

$$S_C = [(P_2 - P_0) / (P_1 - P_0)] * 100$$

P_0 : creusé vide.

P_1 : creusé avec l'échantillon.

P_2 : creusé après séchage.

III.10.2. Les paramètres chimiques

III.10.2.1. La demande biochimique en oxygène (DBO_5)

On remplit les flacons (Fig. III.22) avec les échantillons d'eau (usée et épurée) et on met un barreau magnétique dans chacun des flacons pour homogénéisation. On rajoute un absorbant (généralement le KOH) dans les bouchons hermétiques pour absorber l'humidité. Les échantillons sont placés dans une chambre thermostatée et

sombre durant leur mesure de DBO_5 . On règle l'appareil à zéro et on met l'incubateur en marche pendant 5 jours à $20^{\circ}C$. Le résultat est obtenu directement sur l'afficheur. Les résultats donnés sont exprimées en mgO_2/l .



Fig. III.22 : Flacon à D.B.O.



Fig. III.23 : D.B.O mètre.

III.10.2.2. La demande chimique en oxygène (DCO)

Cette technique mesure en laboratoire la quantité d'oxygène consommée par l'oxydation chimique (à l'aide d'un oxydant et à chaud, pendant 2 heures) des matières organiques ou minérales présentes dans l'eau.

Le résultat est donné en mg/L .



Fig. III.24 : Réacteur à DCO.

III.10.3. Rendement de la station

Les analyses effectuées au niveau de l'entrée et la sortie de la station donnent de bons résultats, ce qui indique que l'eau rejetée a des caractéristiques physico-chimiques dans les normes de rejets et le rendement qualitatif de la STEP varie entre 95 et 97%.

Tableau. III.4 : Les valeurs limitent de quelque paramètre de l'eau traitée.

Paramètres	Unité	Valeurs limites
Température	°C	30
pH	-	6.5 - 8.5
MES	mg/l	30
DCO	mg/l	90
DBO ₅	mg/l	30
Fer	mg/l	3
Phosphore total	mg/l	10

Tableau. III.5 : Les valeurs limitent maximales de quelque paramètre de l'eau brute.

Paramètres	Unité	Valeurs limites max
DBO ₅	mg/l	500
DCO	mg/l	1000
MES	mg/l	600
Phosphore total	mg/l	50
Nitrite	mg/l	0.1

III.10.4. Résultats des analyses physicochimiques

Les résultats d'analyses des paramètres physicochimiques en moyenne de 09 analyses des mois : Mars et Avril ont permis d'apprécier la qualité des eaux usées urbaines entrants et sortants à la station d'épuration, et qui sont mentionnées dans le tableau III.6 et le tableau III.7

Tableau III.6 : Les moyennes des paramètres durant le mois Mars.

Paramètres	Unité	Entrée	Sortie
Couleur	/	Marron foncé	Jaune claire
Odeur	/	Désagréable	Sans odeur
Température	°C	17.70	12.21
pH	/	7.69	7.37
Oxygène dissous	mg/l	1.23	3.97
MES	mg/l	171	43
DBO ₅	mg/l	213	13
DCO	mg/l	232	17
Turbidité FTU	NTU	130	49
MID	mg/l	4	1
Conductivité	µs/cm	1155	982
PO ₄ ³⁻	mg/l	11.2	6.2
NH ₄ ⁺	mg/l	42.40	5.60
N-NO ₂ ⁻	mg/l	1.65	1.14
N-NO ₃ ⁻	mg/l	3.96	2.33

Tableau III.7 : Les moyennes des paramètres durant le mois d'Avril.

Paramètres	Unité	Entrée	Sortie
Couleur	/	Marron foncé	Jaune claire
Odeur	/	Désagréable	Sans odeur
Température	°C	19	15
pH	/	8	7
Oxygène dissous	mg/l	1	4
MES	mg/l	183	15
DBO ₅	mg/l	219	11
DCO	mg/l	367	25
Turbidité FTU	NTU	165	17
MID	mg/l	5	0
Conductivité	µs/cm	1198	949
PO ₄ ³⁻	mg/l	11	11
NH ₄ ⁺	mg/l	47	4
N-NO ₂ ⁻	mg/l	1	1
N-NO ₃ ⁻	mg/l	2	5

III.11. Les problèmes de la STEP

III.11.1. Introduction

La boue de la station d'épuration d'Ain El Houtz est d'origine des eaux usées domestiques.

Le séchage des boues de la STEP se fait par voie naturel (lit de séchage), il élimine l'eau de la boue par évaporation. Ce système extensif donne des boues solides de 35 à 40% de siccité mais reste fort dépendant des conditions météorologiques.

Parmi les problèmes, nous pouvons citer :

- Problème de gestion des boues produites (séchage, stockage);
- Problème de maintenance des équipements (absence de la pièce de rechange sur le marché).

III.11.2. Problème de gestion des boues produites

Dans la station d'épuration d'Ain El Houtz le problème major est la boue (production importante). Chaque année, près d'un million de kilogramme de matière sèche est produit par la station.

a. Séchage

Le procédé ne nécessite pas un conditionnement chimique au préalable.

C'est une filtration et évaporation naturelles de la boue sur une aire de séchage composée de :

- Une couche supérieure de sable de 5 à 10 cm (calibre 0.5 à 15 mm) ;
- Une couche intermédiaire de gravier fin de 10 cm (calibre 5 à 15 mm) ;
- Une couche inférieure de gros graviers de 20 cm (calibre 10 à 40 mm) ;
- Les matériaux reposant sur un sol imperméabilisé et nivelé ;
- Des drains en ciment ou en plastique sont disposés avec une légère pente sur la couche de base.

La boue passe par deux étapes :

- Filtration naturelle à travers le lit : perte jusqu'à 80% de la tenue en eau ;
- Evaporation naturelle (séchage atmosphérique).

L'eau interstitielle est récupérée avec des tuyaux perforés, et est envoyée en tête de station.

D'après les expériences que je fais au laboratoire de traitement de l'eau du département de l'hydraulique de l'université sur la siccité des boues des différents lits de séchage de la STEP; on trouve :

Tableau. III.8 : La siccité des différents lits de séchage de la STEP d'Ain El Houtz.

Dans ce tableau nous allons calculer la siccité des différents lits de séchage de la STEP.

Date de prélèvement	Lits	Date de remplissage des lits	Siccité (%)
20-05-2013	1	06/01/2013	20.85
	4	30/01/2013	22.53
	7	04/10/2012	45.78
	8	09/04/2013	43.28
	10	02/04/2013	49.78
23-05-2013	1	06/01/2013	25.34
	4	30/01/2013	32.02
	7	04/10/2012	56.30
	8	09/04/2013	78.86
	10	02/04/2013	62.66

Le but de ces expériences est de voir si la siccité des boues des lits de séchage de la STEP est bonne (état solide : S_C supérieur à 30%) pour être stockée dans l'aire de stockage et pour être donnée aux agricultures.

Remarque

La différence de siccité est élevée dans les lits 8 et 10 que dans le lit 1, 4 et 7 ; on conclut que le drainage de ces derniers lits est mauvais.

b. Stockage

Un stockage correct des boues d'épuration est l'un des facteurs clés de la réussite des opérations d'épandage et optimiser leur valorisation agronomique.

L'un des problèmes que nous avons rencontré au niveau de la STEP, est le stockage des boues. Ceci est le résultat de paramètres suivants :

- chaque jour la production des boues se fait avec une quantité importante ;
- avec le temps la quantité des boues augmentent et l'espace de l'aire de stockage diminue, donc il est nécessaire d'évacuer la boue, ou bien envoyée à la décharge C.E.T (centre d'enfouissement technique) qui trouve au niveau de SafSif.

Remarque :

Une fois l'aire de stockage est pleine de boue, et avant de donner ces boues aux agricultures, on doit faire des analyses sur les éléments traces métalliques (ETM) qui peuvent être contenues dans la boue, et on compare les résultats avec les normes en vigueur.

Le tableau ci-dessous donner les valeurs limite réglementaire des ETM.

Tableau. III.9 : Valeur limite des ETM des boues d'épuration. [40]

Eléments traces ETM	valeurs limite réglementaire (mg/kg de MS)
-cadmium (Cd)	20
-Chrome (Cr)	1000
-Cuivre (Cu)	1000
-Mercure (Hg)	10
-Nickel (Ni)	20
-Plombe (Pb)	800
-Zinc (Zn)	3000

c. recommandations pour un bon séchage de boues

Les paramètres à suivre pour ce procédé sont :

- Veiller à l'enlèvement de toute végétation ;
- Arroser le lit avant une coulée de boues ;

- Alimenter le lit avec une boue pas trop épaisse ;
- La couche de boues ne doit dépasser :
20 cm pour des boues épaissies.
- Le lit sera dégagé (enlèvement des boues) avant chaque nouveau remplissage ;
- L'enlèvement des boues se fait à l'aide d'une fourche à cailloux ;
- Apport en sable nécessaire (jusqu'à 5 cm) après quelques enlèvements sur un même lit ;
- Améliorer le séchage par l'introduction de lits de séchage plantés de roseaux [11].

III.11.3. Problème de maintenance des équipements

Le bon fonctionnement d'une station dépend de la fiabilité des équipements et la maintenance des matériaux, une fois le matériel est tombé en panne le rendement de la STEP est perturbé.

D'après le stage que je fais, la station d'Ain El Houtz rencontre souvent des problèmes d'absence de pièces de rechange sur le marché, c'est le problème de clarificateur de la STEP, une pièce de cette dernière est tombée en panne le problème est que cette pièce n'existe pas dans le marché (bien sûr en Alger). La recommandation de cette pièce prend beaucoup de temps.

III.11.4. Solutions proposées

Le tableau suivant représente les problèmes qui trouvent dans la station et nous allons proposer des solutions.

Tableau III.10 : Les solutions proposées pour remédier à ces problèmes.

	problème	Solution
Séchage	-temps de séchage des boues ; -qualité de sol (mauvais drainage).	-les serres. -changer le matériau filtrant.
Stockage	-espace de stockage des boues.	- augmenter l'extraction des boues ; - augmenter le nombre de lit ; - réhabilitation de lit de stockage ; - déshydratation mécanique.
Equipement	-rechange des pièces.	- constituer un stock.

III.11.5. Problème des bactéries filamenteuses

III.11.5.1. Introduction

Le procédé d'épuration à boue activée est le procédé le plus utilisé pour traiter les eaux usées (EU). Bien que les performances épuratoires et la fiabilité de ce procédé soient éprouvées, plusieurs types de dysfonctionnements biologiques peuvent apparaître. Le plus fréquent est le développement excessif de bactéries filamenteuses, susceptibles d'entraîner une dégradation de la décantation des boues (consécutif à l'augmentation de l'indice de boue) ou un moussage stable [41].

Les dysfonctionnements biologiques, qui touchent plus particulièrement les boues activées, impliquent un surcoût d'exploitation et conduisent à une dégradation de la qualité de l'effluent épuré.

Deux enquêtes nationales ont fait ressortir que 25 % des boues activées sont sujettes au foisonnement filamenteux et 20 % au moussage biologique [35].

III.11.5.2. Rappel sur la biologie des boues activées

La boue activée est constituée de l'ensemble « floc - eau interstitielle ». Le floc désigne un agglomérat composé de particules (ou débris) diverses (végétales, animales, minérales) et de colonies bactériennes.

-Le liquide interstitiel

Représente dans la plupart des stations la qualité des eaux de sortie. C'est donc un indicateur du niveau de traitement. Ainsi, plus la charge massique est élevée, moins le niveau de traitement sera élevé et plus l'eau interstitielle contiendra de bactéries dispersées.

-La microfaune

Est composée d'animaux microscopiques nommés protozoaires et métazoaires (Fig. III.25). Ces organismes participent à l'élimination des bactéries libres qui constituent leurs proies et à la cohésion du floc par leurs déjections. Leur observation au microscope, donne des indications sur la qualité du traitement et peut révéler rapidement d'éventuelles anomalies de fonctionnement [41].

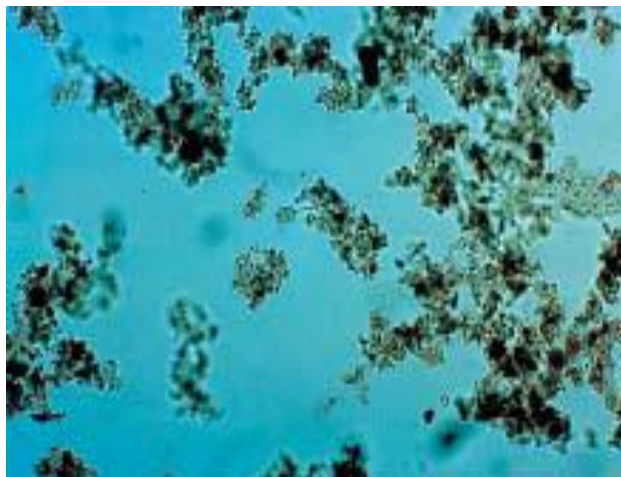


Fig. III.25 : Observation microscopique : Floc, microfaune et liquide interstitiel [41].

III.11.5.3. Les problèmes biologiques

a. Les problèmes avec bactéries filamenteuses

Les principaux dysfonctionnements dus aux bactéries filamenteuses sur station se manifestent sous deux formes :

- Le foisonnement : mauvaise décantation de la boue suite à une augmentation du volume occupé par celle-ci ;
- Le moussage : formation d'une couche épaisse de mousse en surface des ouvrages.

Les causes sont bien souvent d'origines multiples (conception, exploitation, composition de l'effluent...) et le choix des solutions nécessite une analyse globale : conception, fonctionnement et exploitation de la station [41].

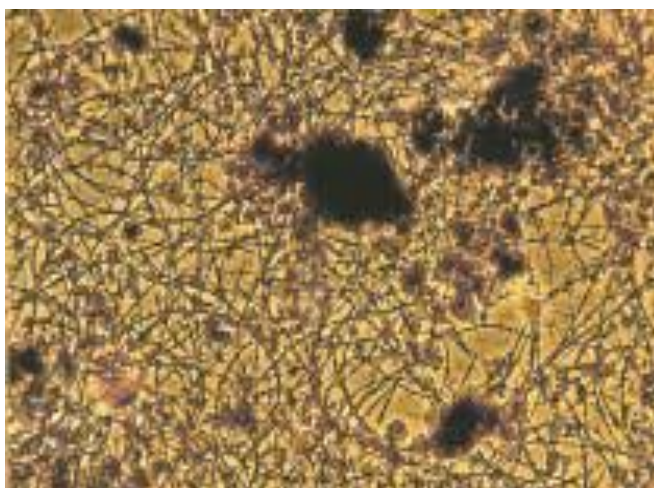


Fig. III.26 : Bactéries filamenteuses [41].

➤ Le foisonnement (ou bulking)

Le foisonnement des boues activées se caractérise par un indice de boues ($VD_{30,1}/[MES] \geq 200$) et la présence excessive de bactéries filamenteuses. *Microthrix parvicella* est la plus fréquemment responsable de ce phénomène [36].

On rappelle qu'une boue décantant correctement a un indice de boue de l'ordre de 100 ml.g^{-1} .

Un développement filamenteux important limite fortement les capacités hydrauliques du clarificateur et peut entraîner des départs de boue dans le milieu naturel [41].

Les causes de foisonnement sont donc principalement :

- ✓ La nature de la pollution à traiter (composition de l'eau résiduaire, évolution dans le temps, carences ou déséquilibres nutritionnels).
- ✓ La septicité des eaux résiduaires.
- ✓ Les conditions d'aération.
- ✓ Les conditions de mélange.
- ✓ Les séjours prolongés des boues en fond de clarificateur.
- ✓ Le mode d'écoulement des eaux à traiter (mélange intégral, flux piston). [35]

➤ Le moussage (ou foaming)

Le moussage se caractérise par la présence de mousses stables en surface des bassins, contenant une quantité excessive de bactéries filamenteuses. *M. parvicella* et le morphotype Nocardioformes sont fréquemment responsables de ce phénomène. [36]

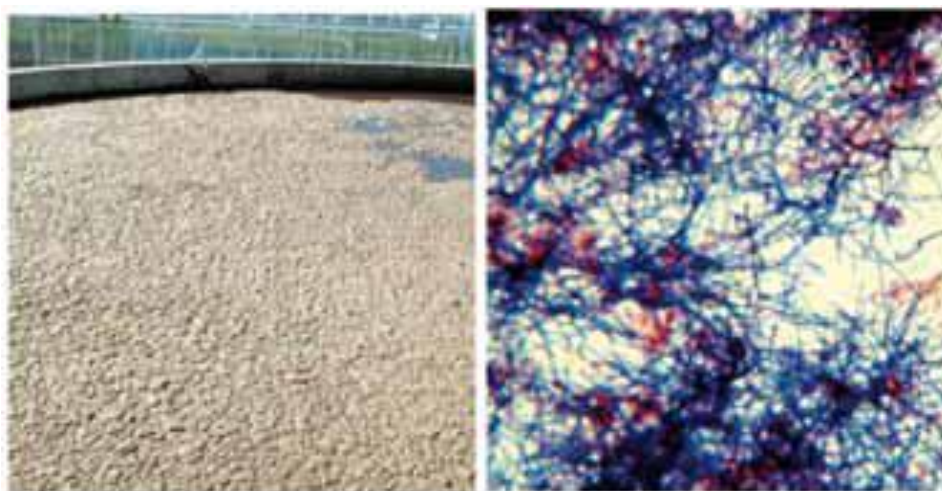


Fig. III.27 : Mousses stables en surface d'un bassin biologique (à gauche) dues à la prolifération de Nocardioformes (à droite) [41].

b. Les problèmes sans bactéries filamenteuses en excès

❖ Les mousses de démarrage

Ces mousses blanchâtres et légères se développent rapidement dès la mise en service de la station d'épuration (Fig. III.28).

Ces mousses blanchâtres sont associées à :

- un effluent de sortie turbide (croissance bactérienne dispersée) ;
- une boue de couleur claire et faiblement concentrée dans le bassin d'aération ;
- une décantation en éprouvette difficile (interface eau-boue floue, particules en suspension non décantables) ;
- une microfaune représentée par des bactéries libres et des protozoaires principalement de type Flagellés [41].



Fig. III.28 : Mousse blanche de démarrage en surface de bassin d'aération [41].

❖ Autres mousses

Ces mousses, similaires à celles de démarrage, sont souvent liées à l'utilisation massive de détergents (Fig. III.29) même biodégradables (apports industriels), à l'apport important de matières organiques colloïdales (sang,...) ou à l'arrivée d'hydrocarbures [41].



Fig. III.29 : Mousse blanche de détergents en surface de bassin d'aération [41].

➤ **Les matières flottantes**

Ces flottants instables se caractérisent par la présence de particules de boues non associées à des bactéries filamenteuses. Un simple arrosage (ou averse de pluie) suffit à les rabattre [41].

➤ **Dénitrification**

Ce type de flottants est de couleur claire. C'est une structure instable facilement désagrégée par l'agitation ou par temps de pluie en raison de la présence de microbulles d'azote gazeux produites par le processus de dénitrification au sein des floes.

Ces flottants se forment principalement sur le clarificateur (Fig. III.30). Ils peuvent aussi être constatés lors d'un test en éprouvette d'une durée supérieure à 30 minutes (Fig. III.31). Ils sont liés à une dénitrification insuffisante en amont du clarificateur [41].



Fig. III.30 : Flottants de dénitrification en surface du clarificateur.



Fig. III.31 : Test en éprouvette : remonté de boue.

(Source : FNDEA n^o 33)

➤ **Fermentation des boues**

Ce type de flottants est caractérisé par une couleur noirâtre associée à des odeurs désagréables et à un bullage. Leur aptitude à flotter s'explique par la présence de gaz (méthane) généré par des réactions anaérobies de dégradation de la matière organique [41].

III.13. Interprétation des résultats

Tableau III.10 : La concentration des MES à l'entrée de la station de quatre dernières années [11].

Mois	MES (mg/l) entrée 2010	MES (mg/l) entrée 2011	MES (mg/l) entrée 2012	MES (mg/l) entrée 2013
Janvier	/	269	318	292
Février	/	251	260,63	289
Mars	/	352	293,38	171
Avril	305	310	282,82	182,6
Mai	359	296	323	/
Juin	360	296	318	/
Juillet	361	294	298,86	/
Aout	329	275	299	/
Septembre	327	290	348	/
Octobre	215	296	309	/
Novembre	213	268	256	/
Décembre	310	268	263	/

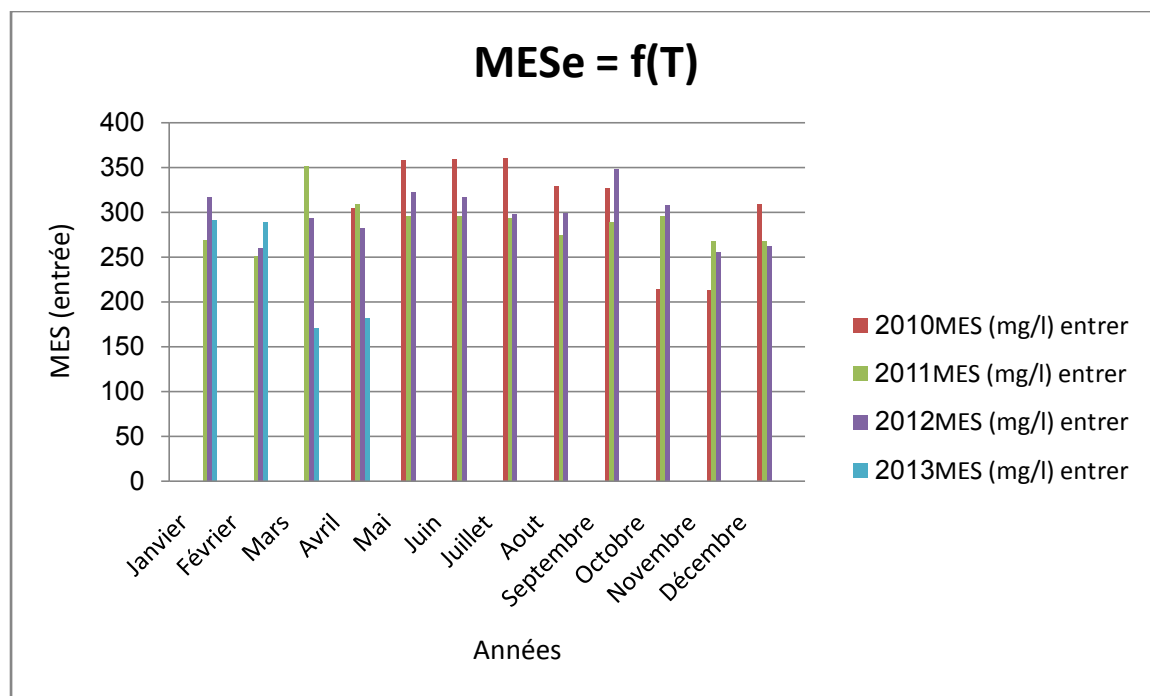


Fig. III.32 : Variation des MES à l'entrée de la station en fonction de temps.

Interprétation

La Fig. 1 montre que la variation des MES à l'entrée de la station d'épuration d'Ain El Houtz, généralement elle est entre 250 et 350 mg/l avec une variation de 100 mg/l (pas une grand variation) et une moyenne de 310 mg/l.

Les valeurs de MES ainsi observées s'inscrivent bien dans la plage des valeurs généralement admise pour une eau usées urbaine à caractère domestique (la plage de la concentration des MES à l'entrée ne dépassent pas 600 mg/l pour les eaux usées domestiques).

Tableau III.11 : La concentration des MES de la sortie de la STEP de quatre derniers années [11].

Mois	MES sortie (mg/l) 2010	MES sortie (mg/l) 2011	MES sortie (mg/l) 2012	MES sortie (mg/l) 2013
Janvier	/	10	25,4	15
Février	/	16	74	18
Mars	/	23	78,19	43
Avril	14	18	25,12	28,6
Mai	16	14	30,27	/
Juin	20	15	25,4	/
Juillet	12	22	17,1	/
Aout	19	24	22	/
Septembre	18	26	25	/
Octobre	17	20	24	/
Novembre	13	18	14	/
Décembre	12	19	39	/

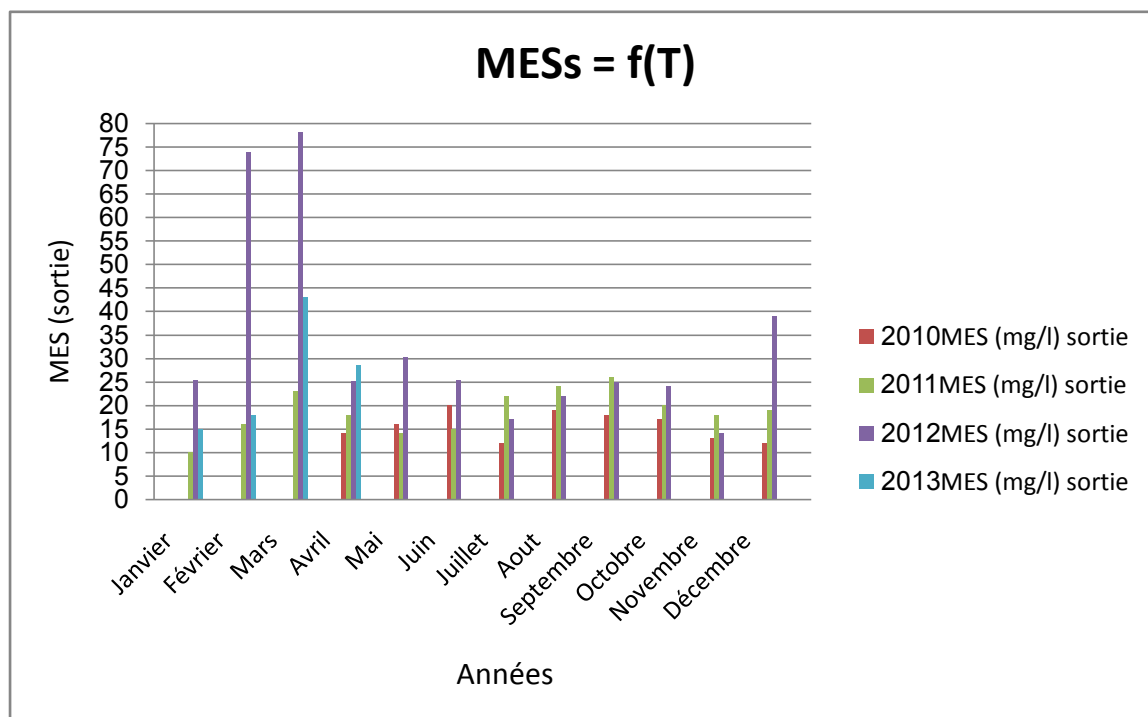


Fig. III.33 : Variation des MES de la sortie de la station en fonction de temps.

Interprétation

Dans la Fig. 2 on remarque quatre pics importants qui passent les normes de rejet, 3 pics trouvant dans une même année (2012) et l'autre dans le mois d'Avril de l'année 2013, cette augmentation est dépend de l'origine des eaux usées qui est traité, ou on a une mauvaise décantation de la boue dans le clarificateur. Cette augmentation est logique car la STEP est fonction avec un seul décanteur.

Les normes de rejet des MES est de 30 mg/l (d'après le Journal Officiel de la République Algérienne N° 41 ; 15 Juillet 2012).

Tableau III.12 : La concentration de la DBO5 à l'entrée de la station de quatre dernières années [11].

Mois	DBO5 entrée (mg/l) 2010	DBO5 entrée (mg/l) 2011	DBO5 entrée (mg/l) 2012	DBO5 entrée (mg/l) 2013
Janvier	/	204	196,33	292
Février	/	145	210	183
Mars	/	254	135	213
Avril	267	255	227,5	207,6
Mai	262	278	246,75	/
Juin	422	329	196,33	/
Juillet	241	321	263,25	/
Aout	417	318	255	/
Septembre	370	317	298	/
Octobre	347	292	260	/
Novembre	270	237	315	/
Décembre	318	268	216	/

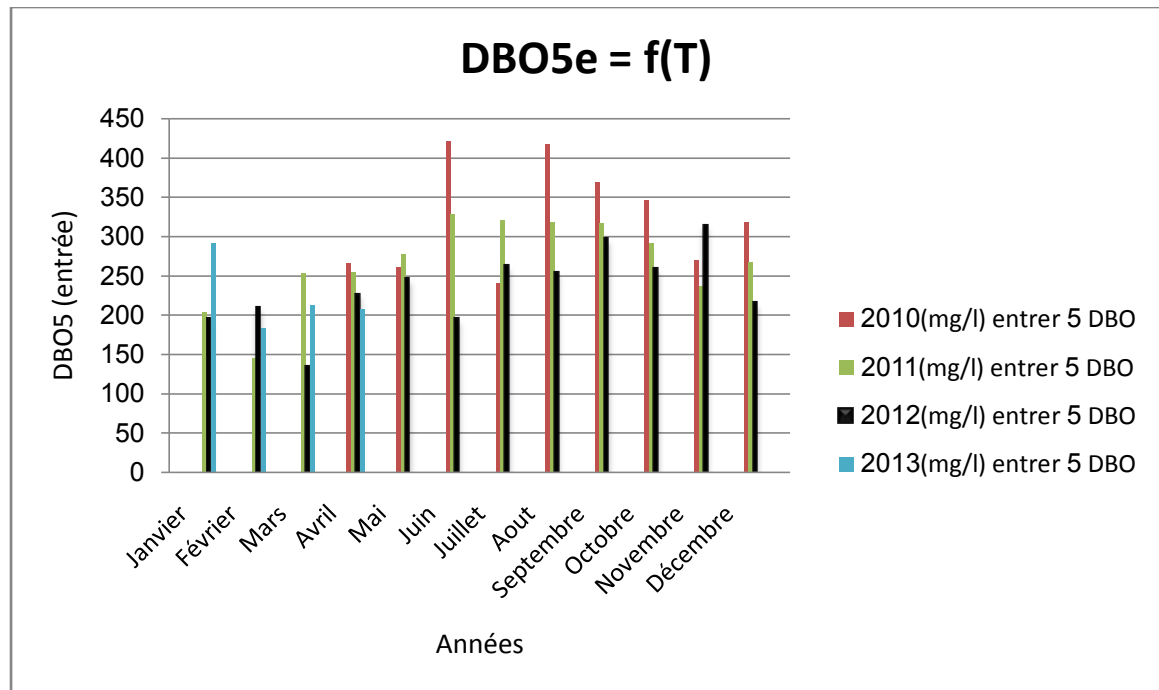


Fig. III.34 : Variation de la DBO5 à l'entrée de la station en fonction de temps.

Interprétation

Pour la Fig. 3 la DBO5 de la station varie entre 150 et 400 mg/l avec un moyenne de 330 mg/l, si on comparé la valeur de mois d'avril de l'année 2012 et la valeur de mois juin de l'année 2010 on remarque une variation importante elle est de l'ordre de 194.5 mg/l, dans ce cas les eaux arrivée à la station est différents. Toutes les valeurs de la DBO5 elle est dans la plage (inférieur à 500 mg/l).

Tableau III.13 : La concentration de la DBO5 de la sortie de la STEP de quatre dernières années [11].

Mois	DBO5 sortie (mg/l) 2010	DBO5 sortie (mg/l) 2011	DBO5 sortie (mg/l) 2012	DBO5 sortie (mg/l) 2013
Janvier	/	13	18	10
Février	/	20	18,74	8
Mars	/	25	30,63	13
Avril	27	28	18,15	11,93
Mai	20	25	31,33	/
Juin	22	33,5	18	/
Juillet	18	72,92	19,05	/
Aout	22	82,35	29	/
Septembre	21	62,2	50	/
Octobre	17	40,62	17	/
Novembre	14	16,1	7	/
Décembre	18	8,93	8	/

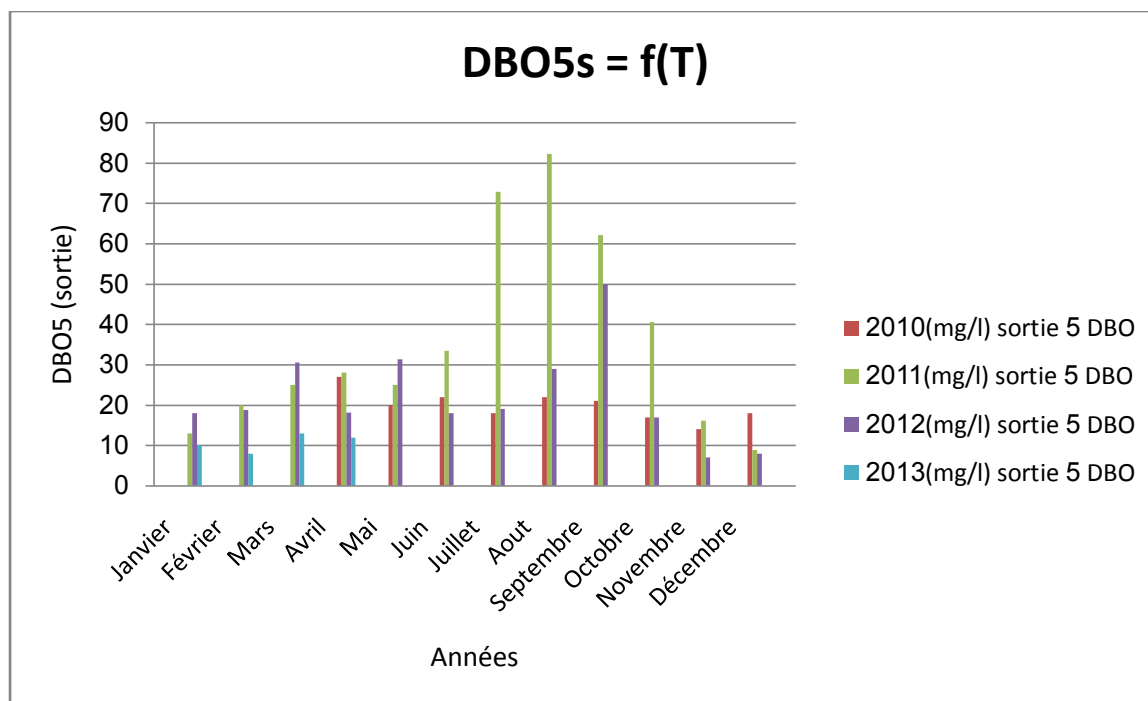


Fig. III.35 : Variation de la DBO5 de la sortie de la station en fonction de temps.

Interprétation

Nous remarquons dans la Fig. 4 ; l'existence de quelques pics importants surtout pour l'année 2011(juillet, Aout, septembre et octobre) et un seul pic pour l'année 2012 (septembre) des valeurs qui dépassent le 30 mg/let donc les normes de rejet, dans ce cas soit les eaux qui arrivent à la STEP sont mélangées avec des eaux d'origine industriel qui sont raccordées au même réseau d'assainissement (réseau unitaire) ou les eaux de lavage (l'été), soit on a un problème dans le proces ou bien un mauvaise aération. Les valeurs qui restent, elles sont généralement toutes dans les normes de rejet (inférieures à 30 mg/l).

Tableau III.14 : La concentration de la DCO à l'entrée de la station de quatre dernières années [11].

Mois	DCO entrée (mg/l) 2010	DCO entrée (mg/l) 2011	DCO entrée (mg/l) 2012	DCO entrée (mg/l) 2013
Janvier	/	588	606,5	411
Février	/	392	575,75	361
Mars	/	673	262,75	232
Avril	462	708	486,25	292,6
Mai	501	627	710,8	/
Juin	608	568	606,5	/
Juillet	615	699	511,75	/
Aout	573	623	526	/
Septembre	521	484	669	/
Octobre	442	610	475	/
Novembre	484	642	733	/
Décembre	531	578	400	/

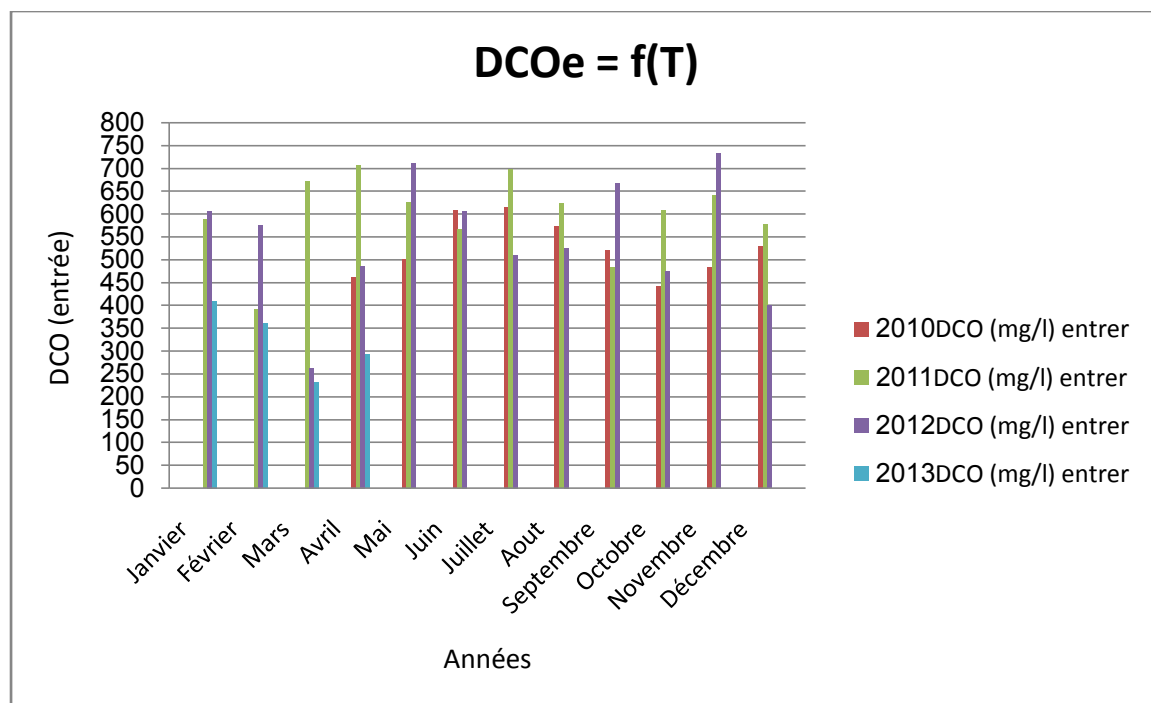


Fig. III.36 : Variation de la DCO à l'entrée de la station en fonction de temps.

Interprétation

La Fig. 5 montre que les valeurs de la DCO à l'entrée de la station sont presque les mêmes pour les années 2010, 2011 et 2012 st surtout pour l'année 2010, mais si on remarque bien pour les quarte mois de l'année 2013 la concentration est faible par rapport aux autres concentrations, ce qui conclut que les eaux usées à l'entrée de la station sont diluées (sous phénomène de la pluie). Toutes les valeurs est dans la plage (inférieur à 1000mg/l).

Tableau III.15 : La concentration de la DCO de la sortie de la STEP de quatre dernières années [11].

Mois	DCO sortie (mg/l) 2010	DCO sortie (mg/l) 2011	DCO sortie (mg/l) 2012	DCO sortie (mg/l) 2013
Janvier	/	15	38	16
Février	/	30	24,75	21
Mars	/	46	50,75	17
Avril	41	34	28	35
Mai	38	30	45,4	/
Juin	48	22	38	/
Juillet	43	48	28,25	/
Aout	54	48	33	/
Septembre	42	41	37	/
Octobre	35	27	26	/
Novembre	17	41	28	/
Décembre	30	24	25	/

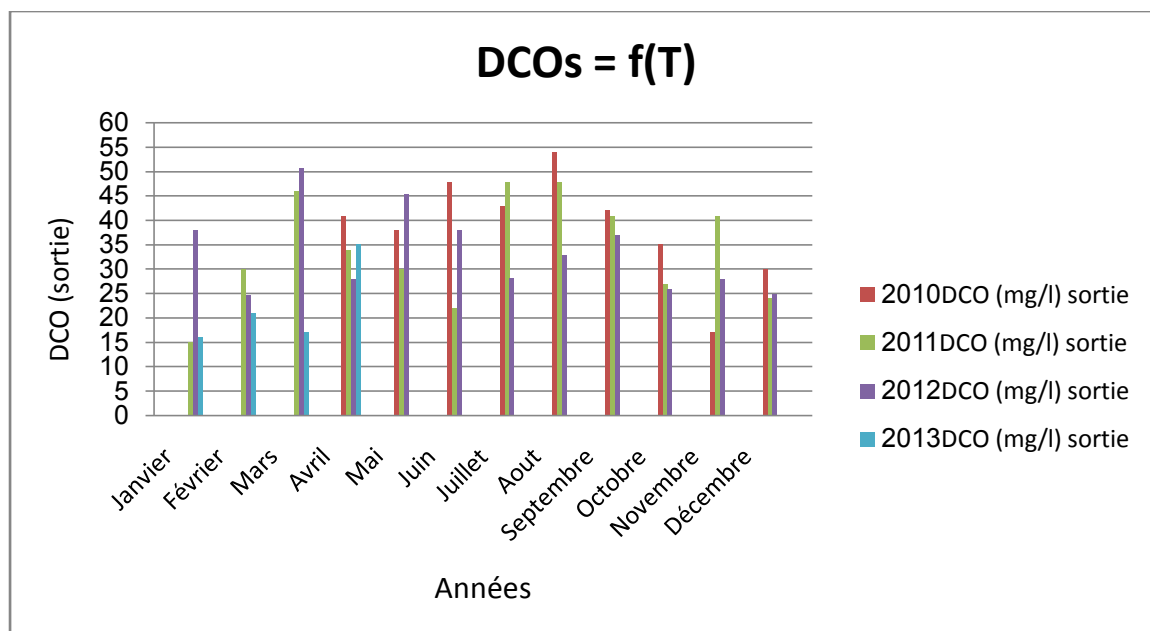


Fig. III.37 : Variation de la DCO de la sortie de la station en fonction de temps.

Interprétation

Les teneurs en DCO enregistrées au niveau des eaux épurées (sortie) de la station sont comprises entre le 15 et 35 mg/l en période humide dans les années 2011 et 2013, et entre 35 et 50 mg/l en période sèche dans les années 2010, 2011 et 2012. L'augmentation de la DCO en période sèche peut être expliquée par la composition des eaux usées (brute) à l'entrée de la STEP (l'origine des eaux).

Mais dans la Fig. 6 toutes les concentrations elles sont dans les normes du rejet qui est de 90 mg/l selon le Journal Officiel de la République Algérienne N° 41 ; 15 Juillet 2012.

Conclusion

D'après les six tableaux qui présentent la concentration des trois (03) paramètres de pollution de l'entrée et de la sortie de la STEP d'Ain El Houtz, nous remarquons que la teneur de ces paramètres à l'entrée ne dépassent pas la plage de chaque paramètre ce qui implique que les eaux, en général, sont de même origine (domestique). En ce qui concerne, les eaux de la sortie de la STEP (les eaux épurées) les teneurs sont dans les normes de rejet (Journal Officiel de la République Algérienne N° 41 ; 15 Juillet 2012) ce qui indique que l'eau rejetée présente de bonnes caractéristiques physico-chimiques. Le rendement qualitatif de la STEP varie entre 95 et 97%.

Dans ce chapitre nous a permis de donner une description bien détaillée sur la station d'épuration d'Ain El Houtz dans une première partie et quelques analyses des eaux usées à l'entrée et à la sortie qui fait dans laboratoire de la STEP dans une deuxième partie, et quelque problème rencontre dans la station.

Chapitre IV
Traitement des boues
Par lits plantés
De roseaux

IV.1. Introduction

D'après le stage que je fais dans la station d'épuration d'Ain El Houtz j'ai remarqué quelques problèmes liés aux boues de la STEP (temps de séchage, sécheresse, stockage). Dans ce cas nous avons proposé une technique pour le traitement des boues qui est moins chère, efficace et donne de bon rendement, cette méthode est le traitement des boues par lits de séchage plantés de roseaux.

Le traitement des boues par des roseaux est basé sur le principe d'une déshydratation sur les lits de séchage plantés de roseaux (Fig. IV.1). Il s'agit d'un procédé de filtration des boues sur massif filtrant planté de roseaux.

Les boues sont extraites directement du bassin d'aération vers ce massif filtrant en couches successives [23].

IV.2. Présentation des filtres plantes de roseaux

Les lits plantés de roseaux sont utilisés pour traiter et stocker les boues issues du traitement des eaux usées pendant plusieurs années. Le développement d'un important réseau de tiges, rhizomes et racines de roseaux permet à différents processus de se mettre en place pour minéraliser les boues et éliminer l'eau interstitielle (renvoyée en tête de station). Après plusieurs années de fonctionnement et lorsque les lits arrivent à saturation, ils doivent être vidangés : les boues peuvent être épandues en agriculture, généralement après une phase de compostage qui permet de limiter la reprise des roseaux. La technique des lits plantés de roseaux nécessite une surface au sol relativement importante (environ 4 EH/ m²) [25].



Fig. IV.1 : Lit à macrophytes (Roseaux) [38].

IV.3. Principe de fonctionnement

C'est un procédé de traitement des boues qui permet l'épaississement, la minéralisation et le stockage. Les boues produites par la station d'épuration sont directement extraites du bassin d'aération et alimentent le lit planté de roseaux, les roseaux les plus utilisés sont : *Phragmites communis* (Fig. IV.2). L'eau contenu dans les boues s'infiltré à travers le massif filtrant constitué de plusieurs couches de matériaux (sable, gravier, galets ...) et est récupérée ensuite par des drains. La boue est retenue à la surface du massif [8].

Une solution originale pour le devenir des boues:

- Une activité drainante et minéralisant ;
- Une extraction régulière des boues garantissant une bonne qualité de l'eau traitée ;
- Une réduction notoire du volume des boues stockées ;
- Une fréquence d'évacuation des boues une fois tous les 5 ans ;
- L'absence d'odeurs ;
- Des percolas peu chargés en matières en suspension (MES) [38].



Fig. IV.2 : *Phragmites communis* [38].

IV.4. Le rôle des plants de roseaux

Au cours du temps, les boues d'épuration dans le bassin de déshydratation sont continuellement transformées en un substrat humique. Voici les processus responsables de cette transformation dans la zone des racines :

- Le roseau transporte l'oxygène vers la rhizosphère par la tige et par les feuilles. Il se développe une culture bactérienne diversifiée, responsable de la décomposition partielle de la matière organique (minéralisation).
- Les plants de roseaux augmentent l'activité biologique (décomposition et transformation de la matière organique) d'un facteur deux à peu près, par comparaison aux lits de séchage des boues ne comportant pas de plants [9].
- Ils gardent l'humidité sur la surface des filtres et ils tiennent la surface des filtres à l'abri du soleil et des rayons UV, ce qui permet une très bonne minéralisation des boues retenues sur la surface, qui se transforment en terreau et gardent une bonne perméabilité [7].
- Par osmose inverse, les plantes soutirent l'eau des boues qu'ils évaporent par les feuilles.
- Le développement de racines des roseaux assure la percolation de l'eau des boues, et favorise donc l'élimination de l'eau par le système de drainage.
- Par leur croissance, les rhizomes et les racines favorisent la libération continue des boues décantées, et les structurent.

Alors que la couche supérieure est colorée en noir par la présence de sulfite de fer, et présente encore un aspect pâteux, les couches inférieures sont brunes. Ces couches ne dégagent pas d'odeurs, sont légères, déshydratées, et ont une structure humique granulée [9].



Fig. IV.3 : Vue d'une coupe des boues déshydratées avec les racines des plantes de roseaux (rhizomes) [24].

IV. 5. La filtration et les roseaux

La filtration des MES est assurée par la mise en place de matériaux de granulométrie adaptée pour retenir le maximum de matière organique à la surface des lits et éviter une pénétration excessive de particules au sein même du massif filtrant.

Le colmatage de ce dernier nuirait au ressuyage et créerait des conditions anaérobies néfastes pour le développement des roseaux qui ne peuvent absorber les sels minéraux, nécessaires à leur croissance, que sous forme oxydée. Pour limiter les coûts d'investissement, on vise cependant à réduire les surfaces et à apporter la charge de boues la plus importante possible mais sans mettre en péril le développement des roseaux. Les boues sont très organiques (teneurs en matières volatiles de l'ordre de 70 %) et fermentescibles.

Les risques liés à un surdosage ou à une gestion approximative ne peuvent être ignorés, surtout en saison hivernale. Cette période est évidemment la plus délicate pour de multiples raisons :

- elle est peu propice au ressuyage (les précipitations peuvent être importantes et le gel bloque l'eau sous forme de glace ce qui empêche son écoulement) ;
- la partie aérienne des roseaux est flétrie et la continuité du ressuyage par la persistance d'un anneau libre à l'écoulement n'est donc pas assurée (les tiges sont couchées et l'effet de réalésage par les oscillations dues au vent est minime, voire absent) ;
- enfin toute activité biologique est ralentie. Si la partie aérienne des roseaux est flétrie, leur système racinaire est toutefois encore actif et il convient de le maintenir dans des conditions adaptées à la reprise de la croissance au printemps.

Les jeunes pousses (Fig. IV.4), émises au printemps depuis les nœuds des rhizomes (tiges souterraines), profiteront des réserves amassées dans ces derniers au cours de l'automne, pour percer le stock de boues accumulées au cours de l'hiver. Il faut donc que les racines et rhizomes colonisent toute la boue et ne restent pas cantonnés aux seules couches drainantes du fond des lits, car il serait de plus en plus difficile à de nouvelles pousses de traverser toute la hauteur de boue pour arriver à la lumière du jour après plusieurs années de stockage [24].



Fig. IV.4 : Jeunes pousses de roseaux émergeant des boues [24].

IV.6. Fonctionnement et mécanismes en jeu

Le séchage des boues sur lits plantés de roseaux repose sur la mise en place d'un massif filtrant reconstitué, de granulométrie croissante de la surface vers le fond et drainé, sur lequel des boues sont progressivement disposées et dans lequel des roseaux se développent.

Le fonctionnement tient au fait qu'autour de chaque tige de roseaux, il existe en permanence un anneau libre pour le passage de l'eau interstitielle de la boue activée alors que les MES (le floc) sont retenues en surface et s'accumulent progressivement. Dès lors qu'elle peut s'écouler le long des tiges, rhizomes et racines des roseaux, l'eau interstitielle va percoler au sein du massif pour être drainée à sa base et renvoyée en tête de station.

Le bon fonctionnement du procédé repose donc sur un développement dense des roseaux de manière à ce que l'eau puisse être évacuée en permanence et en tous points dans les lits. En été, en plus de cette évacuation gravitaire et rapide de l'eau libre, les roseaux vont aussi accélérer la déshydratation par évapotranspiration.

Pour que les roseaux se développent au mieux dans un milieu chargé en matière organique et pouvant rapidement devenir fermentescible, il est nécessaire de maintenir en toutes circonstances des conditions aérobies également propices à la minéralisation de la boue accumulée [24].

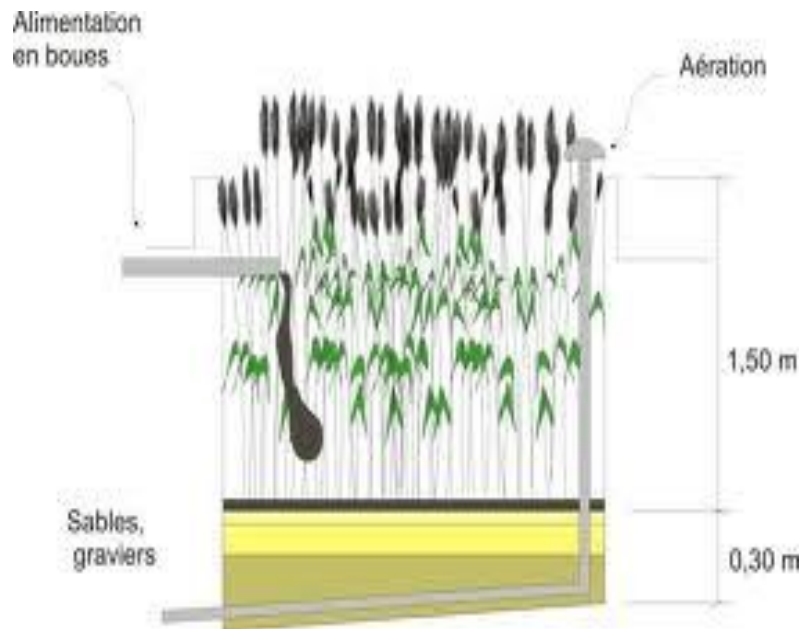


Fig. IV.5 : Schéma simplifié des filtres plantés de roseaux [38].

IV.7. Règles de dimensionnement et de gestion des lits conseillés

IV.7.1. Le dimensionnement global des lits

Le dimensionnement global des lits est le paramètre fondamental pour que les roseaux se développent correctement et que les performances soient à la hauteur des attentes (siccité moyenne d'environ 25 % et boues stabilisées). Il dépend de deux facteurs qui s'estiment sur une base annuelle : la production de boues (en kg de MES.an⁻¹) et la charge surfacique (en kg de MES.m⁻².an⁻¹) à appliquer en routine lorsque les roseaux ont atteint un développement optimal après la phase d'acclimatation-développement [24].

IV.7.1.1. La production annuelle de boues

Elle se calcule à partir de la production journalière multipliée par 365. Si la production journalière de boues de la station n'est pas indiquée clairement dans le dossier ainsi que son mode de calcul, elle peut être estimée à partir de la charge journalière en DBO et MES admises au nominal et du rendement moyen de la station pour ces deux paramètres, en appliquant la formule dite « du binôme » :

$MS \text{ (kg/jour)} = 0,84 [(DBO + MES)/2]$, ou sa forme simplifiée : $MS = 0,84 \times DBO \text{ (kg/j)}$. La constante 0,84 est souvent retenue pour estimer la production de boues en réseau relativement séparatif.

Pour les réseaux unitaires, susceptibles de collecter des particules minérales, la constante peut prendre des valeurs plus élevées jusqu'à 1,02 [24].

IV.7.1. 2. La charge surfacique

Cette charge a jusqu'à maintenant été fixée de manière assez empirique à 50 kg de MES. $m^{-2}.an^{-1}$, et ce chiffre correspond également à celui retenu à la même époque par Steen Nielsen au Danemark, qui est aujourd'hui considéré comme la personne ayant, au niveau mondial, la plus grande expérience dans le domaine, étant donné qu'il conçoit et gère directement, via la société Orbicon, le plus grand parc de lits de séchage dans un pays où 25 à 30 % des boues sont ainsi traitées dans des stations de tailles plus importantes que celles du marché français (une station est même conçue pour traiter 2 200 tonnes de MS. an^{-1} dans 13 lits de séchage, totalisant environ 6 hectares).

Le tableau suivant révèle que pour la configuration à six lits, le dimensionnement global devrait être établi avec une charge surfacique n'excédant pas 48 kg de MS. $m^{-2}.an^{-1}$ pour ne pas dépasser 60 kg de MS. $m^{-2}.an^{-1}$ sur les quatre autres lits laissés en service pendant que les deux à vidanger sont au repos [24].

Tableau IV.1 : Simulation de l'incidence d'un temps de repos de cinq mois au moment de la vidange sur différentes configurations d'installations [24].

Nombre total de lits	Durée d'un cycle complet de vidange	Charge dimensionnement/surface de filtration (50 cm au-dessus si déblai-remblai) kg de MS. $m^{-2}.an^{-1}$	Charge maximum reçue en phase de curage kg de MS. $m^{-2}.an^{-1}$
6	3 ans	48 (42,8)	60,7
8	4 ans	50 (45)	60,1
10	5 ans	50 (44,5)	56

IV.7.2. Les autres points de conception**IV.7.2.1. Le nombre de lits**

La configuration actuelle des installations, qui ne comportent en général que quatre (04) lits, est insuffisante et ne peut conduire, à charge nominale, à une siccité de plus de 15 %, contre 30 % ou plus annoncés par des constructeurs.

Les stations de 3 000 habitants et plus devraient comporter au moins huit (08) lits pour disposer de périodes de repos longues et indispensables pour atteindre de meilleures siccités et minéralisations [24].

IV.7.2.2. La densité de plantation

Des roseaux *Phragmites communis* ou *australis*, sont plantés à une densité minimale de quatre pieds par m² (une plantule tous les 50 cm dans les deux directions) sur le massif qu'ils colonisent progressivement avec d'autres tiges émises depuis les nœuds des rhizomes. Il est cependant possible d'augmenter cette densité à neuf plants par m², soit un pied tous les 30 cm, mais il n'est pas utile de planter plus densément car les jeunes roseaux doivent se développer eux-mêmes dans ce milieu hostile pour atteindre la densité voulue avant d'alimenter à la charge nominale [24].

IV.7.2.3. La période initiale d'acclimatation-développement des roseaux

Son importance est cruciale. Elle doit durer au moins un an jusqu'à ce que la densité atteigne 250 tiges. m⁻². Au cours de celle-ci, les lits doivent être alimentés à demi-charge (25 kg de MES.m⁻².an⁻¹, sur la base de l'aire en surface du massif filtrant), en veillant conjointement à ce que les roseaux ne flétrissent pas faute d'un déficit hydrique du fait que la couche drainante n'a aucune réserve utile et que la couche de boue est encore très faible. Pour éviter la sécheresse du massif filtrant, les apports en boues pourront être plus fréquents et les périodes de repos plus courtes qu'en fonctionnement routinier [24].

IV.7.2.4. La couche drainante des lits

Les lits sont composés d'un massif filtrant à fond étanche constitué de différentes couches de matériaux de granulométries diverses qui reposent sur un radier.

Du bas vers le haut :

- couche de galets (de 15/30 mm à 30/60 mm) sur environ 15 cm ;
- couche de transition (10 cm) d'une taille de particules intermédiaire entre les deux couches ;

- couche de gravillon (3/6 mm) sur 25-30 cm. Dans tous les cas, ce gravier doit être supérieur à du 2/4 mm pour éviter la migration d'éléments trop fins vers la couche du fond ;
- 10 cm d'amendement organique de type « compost vert ». Ce matériau utilisé conjointement comme support de filtration et de croissance a permis d'obtenir un développement végétal plus dense que celui observé avec une couche de 5 cm de sable grossier [24].

IV.7.2.5. La pente

Une pente d'environ 0,5 % est nécessaire en fond de massif pour drainer correctement les percolas.

La nécessaire horizontalité de la surface sera rattrapée avec la couche de gravillons ou avec la couche de transition si elle est mise en place [24].

IV.7.2.6. La couche drainante

Elle est mise en contact avec l'atmosphère via des cheminées d'aération au bout des drains, afin que l'oxygène diffuse dans les interstices du milieu granulaire pour favoriser un fonctionnement aérobie [24].

IV.7.2.7. La revanche utile au-dessus du massif filtrant

Elle doit être d'environ deux mètres pour garder une trentaine de centimètres de garde au-dessus des boues accumulées sur les derniers lits à vidanger (Tableau IV.2).

Tableau IV.2 : Simulation des curages pour différentes configurations ainsi que les hauteurs minimales (après ressuyage) et maximales (prenant en compte un « gonflement » du stock de boue d'une vingtaine de centimètres suite à une alimentation) de boues accumulées dans les lits [24].

Nombre. Total de lits	Année du 1er curage préconisée	Hauteur des premiers lits curés (en fin période de repos, en cm)	Hauteur des derniers lits à curer (après alimentation, en cm)	Nombre d'année(s) entre deux cycles de vidange
6	5	87	163	3
8	4	63	165	2
10	3	40	165	1

IV.7.2.8. Le système d'alimentation

Les boues, provenant directement du bassin d'aération (produit homogène et parfaitement représentatif du taux de boue dans la station), après une séquence d'aération/homogénéisation (pompées loin de l'entrée des effluents dans le bassin d'aération et loin du retour de la recirculation), sont épandues en surface du lit en service, à raison d'une à deux séquences par jour. Le dispositif d'alimentation doit permettre une bonne distribution des boues sur la totalité du lit en service. Pour ce faire, les pompes doivent absolument délivrer un débit effectif supérieur à $0,25 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ($4,2 \text{ l} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$).

Les points d'alimentation sont généralement espacés de 5 à 6 m sur une des longueurs des lits en béton [24].

IV.7.3. Performances

Cette technique intéresse de plus en plus les petites collectivités car elle présente les avantages suivants :

- Un procédé rustique (pas de consommation énergétique, ni maintenance) ;
- Une extraction régulière des boues du bassin d'aération garantissant une bonne qualité de l'eau traitée ;
- Une réduction importante du volume des boues stockées de part l'activité drainante et minéralisatrice du milieu ;
- Une fréquence d'évacuation des boues d'environ 1 fois tous les cinq ans ;
- L'absence d'odeur générée par les lits de séchage ;
- Les percolas sont de bonne qualité ;
- Faible niveau de technicité requis pour l'exploitant ;
- Bonne tenue mécanique de la boue (rhizomes) ;
- Bonne qualité agronomique des boues ;
- Coût d'exploitation réduit par rapport à la déshydratation mécanique [8].

La déshydratation par lits de séchage plantés de roseaux présente les inconvénients suivants :

- Siccité moyenne par rapport au procédé mécanique. Cette siccité est variable selon les conditions climatiques (été/hiver) ;
- Les retours en tête sont généralement plus chargés en azote que ceux des procédés classiques ;
- Nécessite d'une surveillance accrue des retours en tête vis à vis du phosphore ;

- Nécessiterait éventuellement la destruction des roseaux avant l'épandage agricole ;
- Risque d'accumulation de certains métaux lourds au niveau des rhizomes ;
- Les boues ne sont pas hygiénisées ;
- Coût d'investissement non négligeable ;
- Curage et évacuation des boues lourdes représentant des opérations lourdes [8].

IV.7.4. Disposition constructives

On adopte les données de base suivantes pour le dimensionnement :

- Pour une charge de l'ordre de 50 kg MS/m²/an, le dimensionnement correspond à 0,25 m²/EH. Il doit être basé sur la charge nominale de l'installation, mais une sous charge (50 % du nominal par exemple) durant les deux premières années permet un départ plus rapide des roseaux.

En cas de variation estivale, on peut envisager un dimensionnement l'été de l'ordre de 0,17 m²/EH et 0,34 m²/EH l'hiver.

- Les apports doivent être répartis dans la journée mais suivis de périodes de repos de l'ordre de 10 jours pour favoriser le ressuyage et la minéralisation des boues. Il est nécessaire de prévoir plusieurs lits. (Quatre lits voire plus selon les quantités à traiter) afin de respecter les périodes de repos sur chaque lit.
- La géométrie et la disposition du lit doivent être adaptées à la taille des bras des pelles disponibles et aux possibilités de circulation autour des ouvrages lors des évacuations de boue.
- La hauteur totale sera de l'ordre de 2,5 m dont 1,8 m utile.
- Les lits doivent être aérés par des ventilations hautes et basses en nombre suffisant afin d'éviter les risques de fermentation au niveau des zones basses.
- La densité de plantation des roseaux est de 4 pieds par m² soit un pied tous les 50 cm dans toutes les directions. Il est recommandé de planter entre mars et septembre. En dehors de cette période, les roseaux meurent.
- L'alimentation des lits (le fonctionnement des pompes d'extraction) peut être asservie à l'arrêt de l'aération par une horloge hebdomadaire/journalière de façon à bénéficier du bon brassage en fin d'aération.
- Il est indispensable de surveiller la qualité du massif filtrant et les différents matériaux qui doivent satisfaire à certains critères notamment, la taille, la forme,

composition, lavage si nécessaire avant la mise en place ... afin d'optimiser les performances hydraulique de l'installation.[8]

IV.8. Les protocoles de suivi mise en œuvre

IV .8.1. Caractérisation des boues d'alimentation

3 à 4 analyses de boues sont réalisées sur les boues d'alimentation. Les prélèvements sont effectués directement au niveau des bouches d'alimentation des lits, quelques minutes après la mise en route des pompes.

La siccité des boues utilisées pour alimenter les lits varie en fonction de leur origine (bassin d'aération ou silo).Les boues ne sont pas particulièrement minérales, et ce, quelle que soit leur origine [25].

IV.8.2. Quantités de boues apportées

Les quantités de boues apportées dans les lits peuvent être évaluées par deux méthodes:

- soit à partir des temps d'alimentation et du débit des pompes.
- Soit en mesurant les hauteurs de boues avant et après alimentation, lorsque la pompe n'est pas équipée de débitmètre.

Les données sur les quantités de boues apportées peuvent ainsi être mises en perspective des hauteurs de boues dans les lits, a fin de mettre en évidence certains dysfonctionnements [25].

IV.8.3. Caractérisation des boues stockées dans les lits

Des analyses de boues contenues dans les lits sont réalisées afin de déterminer l'évolution de la siccité et des différentes formes d'azote au cours du stockage [25].

IV.8.4. Caractérisation des lixiviats

Des analyses de lixiviats sont effectuées après l'alimentation des lits, afin de caractériser cet effluent qui retourne en tête de station. Les prélèvements sont effectués pendant 24 heures à l'aide d'une pompe péristaltique.

La qualité des lixiviats dépend de l'origine des boues (bassin d'aération ou silo) et de la gestion de l'alimentation des lits [25].

IV.9. Les problèmes opérationnel

Les installations de traitement des boues par lits de séchage planté de roseaux en difficulté se caractérisent souvent par une croissance rapide du stocke de boues dans les lits et de ce fait par une période de fonctionnement courte.

A partir de l'expérience acquise au cours de 15 dernières années, les problèmes les plus récurrents sont les suivants :

Déshydratation médiocre ; faible développement et couverture spatiale des roseaux ; dégagement d'odeurs et minéralisation insuffisante (Tableau IV.3).

Les symptômes signalent clairement qu'une installation est correctement construite et gérée sans surcharge. Souvent les signes d'un fonctionnement non satisfaisant apparaissant dans la végétation, le taux de siccité et la croissance du stocke de boues dans les lits [39].

IV.10. La vidange des lits

Elle est évidemment programmée en été pour tirer partie de l'évapotranspiration des roseaux. La mise au repos prolongée d'un lit, avant curage, permet bien sûr d'accroître la siccité des boues (planifier l'arrêt de l'alimentation vers le 15 mai pour une date de curage entre le 15 juillet et fin août au plus tard).

On ré-alimente le(s) lit(s) vidangé(s) à mi-charge jusqu'à fin octobre, ensuite la dose nominale est équitablement répartie sur tous les lits pendant l'hiver.

L'évacuation peut se faire à l'aide d'une pelleuse ou d'un tractopelle équipé d'un godet assez large et tranchant (du type de ceux utilisés pour le curage des fossés), pour éviter de déstabiliser le massif filtrant en arrachant le système racinaire des roseaux.

La reprise des roseaux est assez rapide à partir des rhizomes restés en place dans la couche de matériau de filtration (en une dizaine de semaines au printemps, il est difficile de voir la différence avec un filtre non curé) [24].

Tableau IV.3 : Raison des problèmes de fonctionnement constatés dans une installation de déshydratation des boues par lits plantés de roseaux [39].

<p>Déshydratation insuffisante</p>	<ul style="list-style-type: none"> -boue et qualité du stocke résiduel ; -surcharge durant la période de démarrage en général et aussi par la suite ; -charge inégalement répartie (kg de MS. m⁻². an⁻¹) ; -manque de fiabilité dans les enregistrements de charge (kg de MS. m⁻². an⁻¹) ; -absence d'outils ou module d'enregistrements et exploitation insuffisant ; -instruction pour l'exploitation insuffisante et manques d'expérience ; -surface totale et nombre de lits insuffisants ; -période d'alimentation de chaque lit trop longue périodes de repos trop courtes ; -couche filtrante inadapté (notamment couche de plantation des roseaux) et faible connexion capillaire ; -couverture végétale incomplète et végétation stressée ; -évapotranspiration à partir de l'eau stagnant sur les lits, au lieu de stock résiduel de boue.
<p>Faible développement et couverture végétale</p>	<ul style="list-style-type: none"> -plantation à une densité insuffisante ou avec des jeunes plantes immatures ; -développement non homogène des plantes, faible taux de reprise ; -absence de couche de plantation et infestation par des plantes parasites et des insectes ; -absence de plantation additionnelle pendant la période de démarrage si nécessaire ; -surcharge pendant la période de démarrage et sur des lits nouvellement plantés ; -surcharge générale et conditions anaérobies (production de méthane) ; -déshydratation insuffisante et pas de repousse après vidange.

Conclusion

Le procédé filtre planté de roseaux est une technique « rustique » et fiable. Beaucoup de collectivités voient en ce procédé une solution adaptée pour la création ou la réhabilitation de station de petite capacité.

Le lit de séchage planté de roseaux est un procédé de séparation de phases qui peut être appliqué à du lisier aéré provenant d'une station de traitement biologique par nitrification/ dénitrification.

Il s'agit d'une technologie fiable, simple d'exploitation, facilitant grandement la gestion des boues d'épuration et qui, de surcroît, est bien acceptée par les habitants en raison de sa bonne aptitude à l'intégration paysagère. Ainsi, elle s'avère fortement recommandée pour les petites collectivités et les pays à faibles ressources financières.

Conclusion générale

Notre travail avait pour objet l'étude de la filière de traitement des boues par les lits plantés de roseaux qui fonctionnent par voie naturelle, c'est une opération qui permet l'épaississement, la minéralisation et le stockage des boues. La minéralisation des boues et l'élimination de l'eau interstitielle se fait par des rhizomes et racines de roseaux, les plantes soutirent l'eau des boues qu'ils évaporent par les feuilles sous phénomène de soleil.

Ce travail est divisé en deux phases, pour la phase théorique, nous avons présenté une petite généralité sur les eaux usées et on a cité encore les différentes étapes de traitement des eaux usées qui contiennent dans une station d'épuration et on a précisé quelques types de traitement des eaux usées, et ensuite nous avons évoqué les principales filières de traitement des boues pour faire une comparaison entre elles, pour avoir lequel est le procédé le plus avantageux, efficace et le plus simple. Le dernier chapitre, qui est l'objet de ce mémoire, nous avons présenté la filière de traitement des boues par lits plantés de roseaux, lequel est le principe de fonctionnement, comment se fait la déshydratation des boues et l'élimination de l'eau dans les lits, tout en citant les avantages et les inconvénients des lits plantés de roseaux.

La phase expérimentale, englobe le stage de deux mois, qui nous a permis d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux usées traitées par la station d'épuration à boue activées d'Ain El Houtz, et où nous avons mesuré les différents paramètres de pollution (MES, DBO5 et DCO) durant la période dudit stage. Ainsi que l'exploitation des mesures de ces paramètres des quatre dernières années (avril 2010 jusqu'à avril 2013), dans un but de comparer les variations de ces paramètres, et pouvoir ainsi examiner le fonctionnement de la STEP et essayer d'y remédier dans la mesure du possible, s'il y a des dysfonctionnements. En fin, des expériences au laboratoire de traitement de l'eau du département de l'hydraulique de l'université, ont été effectuées pour mesurer la siccité des boues des différents lits de séchage de la STEP, où les résultats n'étaient très appréciables. D'où notre orientation vers les lits de séchage plantés de roseaux.

Le lit de séchage planté de roseaux est un procédé de séparation de phases qui peut être appliqué à du lisier aéré provenant d'une station de traitement biologique, pour les petites collectivités.

Dans l'état actuel des connaissances, nous ne pouvons pas connaître clairement l'efficacité ou non de l'utilisation des lits de séchage plantés de roseaux pour le traitement des boues de la station d'épuration d'Ain El Houtz, car pour en être sûr, il faut développer une véritable

coopération de recherche avec l'Office National de l'Assainissement, et étudier tous les paramètres qui permettent ou pas l'introduction de ce procédé dans des STEP, comme celle que nous venons d'étudier dans ce mémoire.

Références

Références

- [1] **BLIEFERT C, PERRAUD R**, 2001, Chimie de l'environnement : Air, Eau, Sols, Déchets, Edition de Boeck, 477p, France.
- [2] **GOMELLA C, GUERREE H**, 1978, Le traitement des eaux publiques, industrielles et privées, Edition Eyrolles, 262p, Paris.
- [3] **GAUJOUS D**, 1995, La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire, Edition Technique et Documentation Lavoisier, 220p, France.
- [4] **M^r BELAHMADI. M. S. O**, 2011, Etude de la biodégradation du 2,4-dichlorophénole par le microbiote des effluents d'entrée et sortie de la station d'épuration des eaux usées d'Ibn Ziad, mémoire de magistère en microbiologie appliquée et biotechnologie microbiennes.
- [5] **Nebil BELAID**, 2010, Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax: Thèse doctorat : salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques,
- [6] <http://atout.boues.pagesperso-orange.fr/rapportlitaroseaux.htm>, Le lit de séchage planté de roseaux, 21/03/2013.
- [7] **SADOWSKI A**, 2002, Traitement des eaux usées urbaines, Lyonnaise des eaux, 428p, France.
- [8] **JOSEPH P, RAKHA P, LAURENT D, JACKES M, JEAN-MARC B**, 2002, Station d'épuration : Dispositions constructives pour améliorer leur fonctionnement et faciliter leur exploitation, document technique FNDAE N° 22 bis.
- [9] **HESSSEN, ALLEM**, 1989-1999, Champs de roseaux à minéralisation des boues : une alternative économique et extensive, Traitement des boues.
- [10] **DJEDDI H**, 2006-2007, Utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines, mémoire de Magistère en Ecologie et Environnement : Option : Ecologie végétale, Université Mentouri Constantine,
- [11] **ONA**, Fiche technique de la STEP d'Ain El Houtz, 2013.
- [12] **VAILLANT.J.R**, perfectionnements et nouveautés pour l'épuration des eaux résiduaires : eaux usées urbaines et eaux usées résiduaires industrielles, Edition Eyrolles 413p, Paris.
- [13] <http://www.ecosociosystemes.fr/stationepuration.jpg>, dessableur circulaire, consulté le : 30/05/2013.
- [14] **GAID A**, 1984, Epuration biologique des eaux usées urbaines, Tome II, OPU Alger, page 130.
- [15] <http://fr.scribd.com/doc/46582622/Les-Filières-de-Traitement-Des-Boues>, Les filières de traitement des boues, consulté le : 25/04/2013.

Références

- [16] **M^{lle} H.BEN NAJIM** et **H. MRABET**, Conception et développement de l'outil multicritère d'aide à la décision pour le choix optimal d'un système d'épuration des eaux usées.
- [17] **RAYMOND DESJARDINS**, le traitement des eaux, 2^{ème} édition revue et enrichie.
- [18] http://fr.wikipedia.org/wiki/Boues_d%27%C3%A9puration, les boues de station d'épuration, 24/04/2013.
- [19] **DEGREMONT SUEZ**, 2005, Mémento technique de l'eau : Edition technique et documentation Lavoisier, 2^{ème} Tome.
- [20] http://www.memoireonline.com/11/12/6475/m_Contribution--la-valorisation-de-boues-de-station-d-epuration-par-l-appreciation-d-une-nouvelle14.html, l'épaississement des boues 25/04/2013.
- [21] **LIMOGES CEDEX**, 2001, La stabilisation des boues de station d'épuration: Technique de mesure du procédé, Service National d'Information et de Documentation sur l'Eau (SNIDE).
- [22] **SATIN M, SELMI B**, 1999, Guide technique de l'assainissement, 2^{ème} édition. Le Moniteur, 680p, Paris.
- [23] **ROBERT THOMAZEAU**, 1981, Station d'épuration : eaux potables – eaux usées, Précis théorique et technologique, 428p, Paris.
- [24] **ALAIN L, STEPHANE T, PASCAL M, DIRK E**, Traitement des boues par lits plantés de roseaux : rappel des points clefs de cette technique, Ingénieries n° spécial, p 41 à 49.
- [25] Conseil général du BAS-RHIN, 2009, Traitement des boues d'épuration sur lits plantés de roseaux : dispositif de suivi de 3 installations dans le BAS-RHIN.
- [26] **SEINE et MARNE**, Conseil général, Fiche Technique n°2 sur les filières de traitement des boues : Les lits de séchage.
- [27] **ANDRE PAULUS**, 2011, Le filtre planté de roseaux, le versant vert de l'épuration des eaux usées, 235p, France.
- [28] <http://www.ademe.fr/partenaires/boues/pages/chap14.htm>, les boues d'épuration, consulté le : 07/05/2013.
- [29] <http://www.ademe.fr/partenaires/boues/pages/f15.htm>, Les différents types de boues d'épuration et leur traitements, consulté le : 15/05/2013.
- [30] <http://www.hqe.guidenr.fr/cible-5-hqe/depollution-eaux-pluviales-decanteur.php>, Décanteurs - HQE, consulté le : 09/06/2013.
- [31] <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/content/traitement-des-boues>, Traitement des boues, consulté le : 10/05/2013.

Références

[32] **DUPONT.A**, 1978, hydraulique urbain : hydrologie-captage et traitement des eaux ; 4^{ème} édition : EYROLLES, Paris.

[33] M^{elle} **FECIH A**, 2012, L'influence de la filtration sur sable sur le traitement des eaux saumâtres, Mémoire de Mastère en hydraulique, Option : Eau, Sol et Aménagement.

[34] http://www.aide.be/jahia/Jahia/site/aide/cache/offonce/general/epuration/fonction_epuration/stations_epuration/traitement_secondaire, Traitement secondaire, consulté le : 30/05/2013.

[35] **PUILIPPE D**, 1994, Dysfonctionnements biologiques dans les stations d'épuration en boues activées, Lyon (France).

[36] **LAURAIN J** et **JACKY V**, Prolifération filamenteuse en boues activées, Fiche technique, <http://cemadoc.cemagref.fr>.

[37] **STOTER D**, 2009, Etude de faisabilité et de performances de filtres plantés de roseaux dans les régions Nord-Pas-de-Calais-Picardie : exemple de la station de WITTER (62), mémoire d'ingénieur, Ecole nationale de génie de l'eau et de l'environnement de STARSBOURG,.

[38] <http://www.oceo.fr/db/oceo.nsf/lit-macrophyte?readform>, Lit à macrophyte, consulté le : 02/03/2013.

[39] **STEEN N**, 2004, Lits de séchage de boues plantés de roseaux : fonctionnement et problèmes, Ingénieries n° spécial.

[40] <http://www7.inra.fr/dpenv/lesboues.htm>, L'épandage agricole des boues de stations d'épuration d'eaux usées urbaines, consulté le : 03/06/2013.

[41] **JEAN – PIERRE C**, Dysfonctionnement biologique des stations d'épuration : origine et solution, Ministère de l'agriculture et de la pêche, Document technique FNDEA n° 33.

Annexes

Bulletin des analyses du mois Mars 2013.

Date	Echantillon	Paramètres													Rendements		
		MES	DBO ₅	DCO	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₂ ⁻	N-NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	T	pH	O ₂ diss	T _{urb}	MID	C _{ond}	DBO ₅ %	DCO %	MES %
03/03/2013	E.B	158	231	142	47.40	3.10	3.60	9.2	18.62	7.60	1.69	117	4	1094	97	93	54
	E.E	73	7.3	10	3.22	2.10	2.40	10.6	11.00	7.30	4.83	71	1	939			
10/03/2013	E.B	171	219	231	38.00	0.74	2.10	19.1	17.87	7.72	0.89	117	4	1191	88.6	94	60
	E.E	69	25	15	1.90	0.17	2.40	4.8	12.37	7.38	3.88	81	2	990			
12/03/2013	E.B	182	235	291	31.92	1.52	5.70	9.2	17.00	7.68	1.28	152	5	1176	94.9	97	85
	E.E	27	12	8	4.83	0.62	3.00	5.7	12.00	7.37	3.60	39	0	1002			
17/03/2013	E.B	171	167	339	51.90	1.37	3.90	8.9	17.50	7.74	1.03	141	5	1179	96.6	96	89
	E.E	20	5.7	15	9.03	1.57	0.84	5.5	14.66	7.40	3.92	26	0	1026			
24/03/2013	E.B	171	145	156	42.80	1.53	4.50	9.6	17.50	7.71	1.25	125	4	1136	87.5	78	85
	E.E	25	18	35	9.00	1.24	3.00	4.4	11.00	7.49	3.62	28	0	955			
Moyenne	E.B	171	213	232	42.40	1.65	3.96	11.2	17.70	7.69	1.23	130	4	1155	94.1	92.8	75
	E.E	43	13	17	5.60	1.14	2.33	6.20	12.21	7.39	3.97	49	1	982			

E.B : Eau Brute (entrer).

K (biodégradabilité) = 1.30

E.E : Eau Epurée (sortie).

X (taux épuratoires) = 87.3%

Annexes

Bulletin des analyses du mois Avril 2013.

Date	Echantillon	Paramètres													Rendements		
		MES	DBO ₅	DCO	NH ₄ ⁺	N-NO ₂ ⁻	N-NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	T	pH	O ₂ diss	T _{turb}	MID	C _{ond}	DBO ₅ %	DCO %	MES %
07/04/2013	E.B	177	209	236	47.00	1.24	3.60	7.9	18.50	7.73	0.93	151	5	1192	97	95	96
	E.E	9	6.2	10	2.90	0.70	9.00	10.4	14.62	7.40	4.85	9	0	993			
14/04/2013	E.B	183	212	462	37.70	0.46	1.50	7.4	19.00	7.75	0.88	167	5	1201	94.6	90	93
	E.E	18	11.5	34	4.19	0.79	4.20	6.8	15.60	7.43	3.53	23	0	1003			
15/04/2013	E.B	175	230	387	51.90	0.74	1.50	10.8	19.75	7.74	1.22	159	4	1193	94.1	88	91
	E.E	21	13.5	34	4.51	0.78	3.90	15.1	14.87	7.43	4.41	24	0	1003			
21/04/2013	E.B	197	225	383	50.00	0.41	1.50	17.6	19.37	7.72	0.40	183	4	1206	93.5	95	91
	E.E	10	14.7	23	3.20	0.58	2.10	11.7	14.75	7.39	4.32	12	0	798			
Moyenne	E.B	183	219	367	47	1	2	11	19	8	1	165	5	1198	94.8	92.1	93.1
	E.E	15	11	25	4	1	5	11	15	7	4	17	0	949			

E.B : Eau Brute (entrer).

K (biodégradabilité) = 1.67

E.E : Eau Epurée (sortie).

X (taux épuratoires) = 93.33%

Annexes

Valeur limites des paramètres de rejets d'effluents domestique de la station d'épuration d'Ain El Houtz

20		JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 41		25 Chaâbane 1433 15 juillet 2012		
2. PARAMETRES PHYSICO - CHIMIQUES						
PARAMETRES		UNITÉ	CONCENTRATION MAXIMALE ADMISSIBLE			
Physiques	pH	—	6.5 ≤ pH ≤ 8.5			
	MES	mg/l	30			
	CE	ds/m	3			
	Infiltration le SAR = o - 3 CE	3 - 6	ds/m	0.2		
		6 - 12		0.3		
12 - 20		0.5				
20 - 40		1.3				
Chimiques	DBO5	mg/l	30			
	DCO	mg/l	90			
	CHLORURE (Cl)	meq/l	10			
	AZOTE (NO ₃ - N)	mg/l	30			
	Bicarbonate (HCO ₃)	meq/l	8.5			
Eléments toxiques (*)	Aluminium	mg/l	20.0			
	Arsenic	mg/l	2.0			
	Béryllium	mg/l	0.5			
	Bore	mg/l	2.0			
	Cadmium	mg/l	0.05			
	Chrome	mg/l	1.0			
	Cobalt	mg/l	5.0			
	Cuivre	mg/l	5.0			
	Cyanures	mg/l	0.5			
	Fluor	mg/l	15.0			
	Fer	mg/l	20.0			
	Phénols	mg/l	0.002			
	Plomb	mg/l	10.0			
	Lithium	mg/l	2.5			
	Manganèse	mg/l	10.0			
	Mercur	mg/l	0.01			
	Molybdène	mg/l	0.05			
	Nickel	mg/l	2.0			
	Sélénium	mg/l	0.02			
	Vanadium	mg/l	1.0			
Zinc	mg/l	10.0				

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