

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE  
**Laboratoire des recherche scientifique EAU**



## **Mémoire de Master en HYDRAULIQUE**

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
DE MASTER EN HYDRAULIQUE

*La valorisation des sous- produits d'épuration de la wilaya de la  
wilaya de Boumerdes en agriculture*

**LAMRI Amine**

Sous la direction de

Mr M.NAKIB et Mr A.KETTAB

Présenté et soutenu publiquement le 18/06/2017

### **Composition du Jury :**

Président :	Mr S.BENZIADA,	MAA	ENP
Rapporteur/ Promoteur :	Mr M.NAKIB,	Docteur	ENP
Co promoteur	Mr A.KETTAB,	Professeur	ENP
Examineur :	Mme H.BOUANANI,	Docteur	ENP
	Mr Y.DJILALI,	Docteur	ENSA

**ENP 2017**



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE



Laboratoire des recherches scientifiques EAU

**Mémoire de Master en HYDRAULIQUE**

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
DE MASTER EN HYDRAULIQUE

*La valorisation des sous- produits d'épuration de la wilaya de la  
wilaya de Boumerdes en agriculture*

**LAMRI Amine**

Sous la direction de

Mr A.KETTAB et Mr M.NAKIB

Présenté et soutenu publiquement le 18/06/2017

**Composition du Jury :**

Président :	Mr S.BENZIADA,	MAA	ENP
Rapporteur/ Promoteur :	Mr A.KETTAB, Mr M.NAKIB,	professeur Docteur	ENP ENP
Examineur :	Mme H.BOUANANI, Mr Y.DJILALI,	Docteur Docteur	ENP ENSA

**ENP 2017**

## *Dédicace*

*Je dédie ce travail à :*

*Mes chers parents qui m'ont toujours soutenue tout au long de ma formation scolaire et universitaire à qui je serais éternellement reconnaissant. Que dieu puisse leur accorder longue vie afin qu'ils puissent trouver en moi toute gratitude et l'attention voulue.*

*Mes chères sœurs faïza et Amina*

*Mes chers amis , yassin, wedie et Kadou*

*Mon oncle Abderahmene et sa femme Amel*

*Mes camarades de la promotion 2017*

## *Remerciements*

*Cette thèse n'aurait jamais vu le jour sans l'aide de Dieu, le tout puissant, pour m'avoir donné la santé, le courage, la patience, la volonté et la force nécessaires, pour venir à bout de toutes les difficultés que j'ai dû croiser tout au long de mon chemin d'étude.*

*Je souhaite exprimer mon plus profond remerciement à mes promoteurs Dr. M NAKIB et Pr. A Kettab pour le suivi au quotidien, pour les conseils, disponibilité, travail constructif et pour toute la confiance qu'ils ont su me témoigner à travers l'autonomie qu'ils m'ont accordée durant cette étude.*

*Enfin, cordialement, je remercie l'ensemble de mes enseignants du département hydraulique à l'école nationale polytechnique :*

*Pr A.BERMAD, chef du département hydraulique,  
Mme BENMAMAR, Dr BENZIADA, Pr N.DACHEMI,  
Dr BELHADJ Dr MESSAHLI, Dr BERKANI, Dr NEBBACH*

## ملخص

الهدف الرئيسي من هذه الأطروحة هو دراسة إمكانية إعادة استخدام المنتجات الثانوية والتي تعتبر بقايا التصفية التي تقوم بتخليقها محطة تصفية مياه الصرف لولاية بومرداس. وفي هذا الإطار عملنا على محاولة تقيم هذه المنتجات الثانوية وهذا من خلال إجراء مختلف التحاليل لعوامل التسمم التي تميز المياه المعالجة والحماة. هذا العمل هو جزء من المشروع الأوروبي ERANETMED-IRRIGATIO

الكلمات المفتاحية: محطة تصفية مياه الصرف، المياه المعالجة، الحماة، تقيم، الري

## Abstract

The main objective of our work is to study the possibility of reusing by-products of purification that are generated by the WWTP of the city of Boumerdes.

In this study, we are interested in examining the problems generally under fourths broad categories: salinity, permeability, toxicity and health status through which we have done analyzes on bacteriological and toxic parameters characterizing water purified and sewage sludge.

This work is part of the European project ERANETMED-IRRIGATION.

**Keyword:** wastewater treatment plant (WWTP), water purified, sewage sludge, valorization.

## Résumé

L'objectif principal de notre travail est d'examiner les sous-produits d'épuration de la station d'épuration de la willaya de Boumerdes en vue de leur valorisation agricole.

Dans le cadre de cette étude, on s'intéresse à examiner les problèmes entrant généralement dans les quatre grandes catégories suivantes: salinité, perméabilité, toxicité et état sanitaire à travers lesquelles nous avons effectuées des analyses bactériologique et toxiques caractérisant les eaux épurées et les boues.

Ce travail s'inscrit dans le projet européen ERANETMED-IRRIGATIO.

**Mot clé :** station d'épuration, eaux usées, eaux épurées, boues, valorisation

# Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

**Introduction Générale.....12**

## **CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA STATION D'EPURATION DE LA WILAYA DE BOUMERDES**

I.1 généralités sur la STEP .....	14
I.1.1 L'arrivée des eaux .....	15
I.1.2 Collecteurs Inter-Stations .....	15
I.2 objectif du traitement .....	18
I.2.1 Définition de la pollution à traiter .....	18
I.3 les différentes étapes de traitement .....	19
I.3.1 Traitement des eaux .....	19
I.3.1.1 Arrivée de l'eau .....	19
I.3.1.2 Prétraitement.....	20
I.3.1.3 Bassins d'aération .....	22
I.3.1.4 Clarification .....	22
I.3.2 Le traitement des boues .....	24
I.3.2.1 l'épaisseur .....	24
I.3.2.2 super-press .....	25

## **CHAPITRE II : TRAITEMENT ET VALORISATION DES BOUES D'EPURATION**

II.1 qu'est-ce qu'une boue.....	28
II.2 typologie des boues.....	28
II.2.1 Les boues primaires.....	28
II.2.2 Les boues physico-chimiques .....	28
II.2.3 Les boues biologiques.....	28
II.2.4 Les boues mixtes.....	29
II.2.5 Les boues d'aération prolongée .....	29
II.3 caractéristiques .....	29
II.3.1 La siccité d'une boue .....	29
II.3.2 Leur teneur en matière volatile ou matières organiques .....	29
II.3.3 Leur teneur en matière minérale.....	29
II.3.4 Le pouvoir calorifique.....	29
II.3.5 La consistance de boues.....	30
II.3.6 Les facteurs caractérisant la structure de la boue.....	30
II.3.6.1 la viscosité apparente .....	30
II.3.6.2 la nature de l'eau contenue dans la boue .....	30
II.3.6.3 la granulométrie .....	30
II.3.7 L'acidité des boues (PH) .....	31
II.3.8 Le rapport C/N .....	31
II.4 le traitement des boues.....	32
II.4.1 L'épaississement .....	33
II.4.2 La déshydratation .....	33
II.4.3 Le séchage .....	34
II.4.4 Stabilisation des boues .....	34

II.4.4.1	La stabilisation biologique aérobie .....	34
II.4.4.2	La stabilisation biologique anaérobie .....	34
II.4.4.3	La stabilisation chimique (le chaulage) .....	34
II.4.4.4	La stabilisation physique (séchage poussé) .....	35
II.4.5	Le traitement de stérilisation .....	35
II.5	les boues d'épuration engrais ou déchets .....	35
II.6	quels sont les arguments en faveur de l'épandage des boues .....	35
II.7	destination final des boues et finalité de leur traitement .....	36
II.7.1	La valorisation en agriculture des boues .....	36
II.7.2	Récupération d'énergie .....	36
II.7.3	Récupération de produits .....	37
II.7.4	La mise en décharge .....	37
II.8	l'application des boues sur le sol .....	37
II.8.1	Conditions d'utilisation des boues .....	37
II.8.2	la modalité d'application des boues.....	38
II.8.3	Contraintes limitant l'utilisation des boues en agriculture.....	39
II.8.3.1	Les pathogènes .....	39
II.8.3.2	La toxicité .....	39
II.8.3.3	Les micropolluants organiques .....	39
II.8.3.4	Les micropolluants minéraux .....	40
II.8.4	Localisation des métaux lourds dans les boues.....	40

## **CHAPITRE III : RESULTATS ET INERPRETATIONS**

III.1 File eau .....	42
III.1.1 Les métaux lourds.....	42
III.1.2 Composition microbiologique des eaux usées épurées.....	43
III.2 File boues .....	45
III.2.1 L'indice de Mohlman IM .....	45
III.2.2 La siccité des boues .....	45
III.2.3 La Matière organique .....	47
III.2.4 La richesse des boues en éléments fertilisants .....	48
III.2.5 Le rapport C/N.....	48
III.2.6 Les métaux lourds.....	49

## **Chapitre IV : CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....51**

## **Références Bibliographique..... 52**

## **Annexes ..... 53**

## Liste des tableaux

**Tableau I. 1** : Fiche technique des Huit (08) stations de relevage de Boumerdes

**Tableau I.2** : objectif du traitement de la STEP de BOUMERDES

**Tableau I. 3** : caractéristiques de l'eau a traité de la STEP de BOUMERDES

**Tableau I.4** : Caractéristiques de super-press.

**Tableau III.1** : tableau comparatif des résultats d'analyses des métaux lourds des EUE de la STEP de Boumerdes du mois de Juillet 2015 comparé à l'arrêté interministériel

**Tableau III.2** : tableau comparatif des résultats d'analyses des métaux lourds des EUE de la STEP de Boumerdes du mois de Juillet 2016 comparé à l'arrêté interministériel.

**Tableau III.3** : résultats des analyses bactériologiques des eaux usées épurées de la STEP de Boumerdes du mois de Juillet 2016

**Tableau III.4** : résultats des analyses parasitologiques des eaux usées épurées de la STEP de Boumerdes et des bassins des deux agriculteurs (El Flici et Rahmoune).

**Tableau III.5** : Le pourcentage des éléments fertilisants dans la boue de Boumerdes.

**Tableau III.6** : résultats d'analyses des métaux lourds des boues déshydratées de la STEP de Boumerdes du 11/07/2016 au 01/08/2016 comparés à la norme Algérienne NA 17 671

**Tableau III.7** : quantités de boues produites et surfaces potentiellement épandables avec une dose de 10 T/ha/an.

## Liste des figures

**Figure I.1** : Les ouvrages de la STEP de Boumerdes

**Figure I.2** : Schéma directeur d'assainissement de Boumerdes

**Figure I.3** : Dègrilleur de la STEP de Boumerdes

**Figure I.4** : Dèssableur-dègrilleur de la STEP de Boumerdes

**Figure I.5** : bassins d'aération de la STEP de Boumerdes

**Figure I.6** : Clarificateurs de la STEP de Boumerdes

**Figure I.7** : Epaisseur de la STEP de Boumerdes

**Figure I.8** : super-press de la STEP de Boumerdes

**Figure II. 1**: L'épandage des boues liquides réalisé par le biais de lisier.

**Figure III.1** : Représentation graphique de la variation de l'indice de Mohlman dans la station de Boumerdes de juin 2016 à avril 2017

**Figure III.2** : Représentation graphique de la variation mensuelle de la siccité des Boues pour la STEP de Boumerdes (juin 2016 à Avril 2017)

**Figure III.3** : Représentation graphique de la variation mensuelle de MVS des Boues pour la STEP de Boumerdes (juin 2016 à Avril 2017)

## Liste des abréviations

**CE** : Conductivité électrique

**DBO<sub>5</sub>** : Demande biochimique en oxygène

**DCO** : Demande chimique en oxygène

**FAO** : Food and Agriculture Organization

**IB** : Indice de boues

**IM** : Indice de Mohlmann

**MES** : Matières en suspension

**MM** : Matières minérales

**MS** : Matière sèche

**MVS** : Matières volatiles en suspension

**NH<sub>4</sub><sup>+</sup>** : Ammonium

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : Nitrate

**ONA** : L'Office National de l'Assainissement

**PH** : Potentiel d'Hydrogène

**P<sub>T</sub>** : Phosphore total

**REUE**: Réutilisation des eaux usées épurées.

**SAR**: Taux d'adsorption de Sodium (Sodium Adsorption Ratio).

**STEP** : Station d'épuration des eaux usées

**μS** : Micro siemens

## **Introduction général**

L'eau est une denrée de plus en plus rare en Algérie et de moins en moins renouvelable. Elle fait actuellement l'objet d'une exploitation concurrentielle entre les besoins de la population, ceux de l'agriculture et de l'industrie qui se disputent une disponibilité limitée.

En Algérie, la qualité des eaux superficielles se dégrade sous l'effet des rejets de déchets urbains et industriels. La pollution risque de constituer, à court terme, un risque de pénurie d'eau accentué imposant la nécessité de protéger cette ressource contre toute altération et utilisation irrationnelle.

L'intérêt porté par les pouvoirs publics algériens au traitement des eaux usées s'est manifesté par l'allocation de crédits importants à la réalisation de stations d'épurations qui sont en nombre d'une centaine déjà réalisées ou en voie de réalisation.

Seulement, ces réalisations n'ont pas été suffisantes pour atteindre l'objectif de protéger l'environnement d'une manière générale et les ressources hydriques en particulier : (Niveau de pollution alarmant des cours d'eau, tels que oued El Harrach.....etc.). La politique de valorisation des eaux usées est nécessaire d'autant plus que celles-ci une fois traitées, pourraient constituer une source non négligeable pouvant participer à la réduction du déficit du bilan hydrique par sa valorisation en irrigation.

La réutilisation des sous produits de l'épuration à savoir l'eau épurée et la boue d'épuration, représente l'alternative attendue pour la préservation de la ressource de bonne qualité et la promotion du secteur agricole .Cette technique n'engendre aucun investissement supplémentaire parce que l'eau est déjà produite une seule fois pour l'usage domestique, puis après pollution elle sera récupérée et épurée. Au lieu d'être rejetée au milieu naturel, elle sera utilisée en irrigation agricole. Cette ressource additionnelle est non négligeable et disponible en permanence. De plus, sa valeur agronomique par l'apport de fertilisants, permet de réduire les dépenses de l'exploitation en minimisant les apports d'engrais chimiques. La boue générée par l'épuration, est riche en matière organique et en éléments nutritifs, au lieu d'être mise en décharge ou incinérée, elle peut être utilisée comme support de fertilisant ou amendement organique.

C'est dans ce contexte de valorisation des sous-produits de l'épuration que s'inscrit ce travail axé essentiellement sur l'aptitude des eaux usées épurées et des boues d'épuration de la ville de Boumerdes à la réutilisation en agriculture.

# **Chapitre I**

## **Présentation de la STEP de Boumerdes**

**INTRODUCTION :**

L'extension de la ville de Boumerdes a nécessité la réalisation de nouveaux collecteurs qui ont permis de ceinturer la ville actuelle et son développement futur. [1]

Tous ces collecteurs déversaient les eaux usées sur la plage, sans aucun traitement, par l'intermédiaire de l'Oued TATAREG.

En 1996 la direction de l'Hydraulique de Boumerdes a engagé des travaux de réalisation d'un système d'épuration capable de prendre en charge les rejets urbains des villes de Tidjelabine, Corso en plus de Boumerdes. [1]

Ce système est composé de trois stations de relevage et d'une station d'épuration en mesure de traiter les eaux usées d'une population équivalente à 75 .000 équivalents habitants.

Ce système a été mis en service au mois de janvier 2001, Depuis cette date les problèmes engendrés par la pollution des rejets urbains ont pratiquement disparus notamment sur les plages de Boumerdes.

**I.1 généralités sur la STEP :**

La station d'épuration de Boumerdes occupe une superficie de 3,11 hectares et une capacité de traitement de 75000 eq-hab (Coût de l'opération : s'élève à 820 millions de dinars). Elle est destinée à épurer les eaux usées domestiques de la ville de Boumerdes et des communes voisines telle que Tidjelabine et Corso. [1]

Dès que l'effluent a atteint la station d'épuration, il est acheminé de manière gravitaire vers le dégrilleur en passant sur un canal d'écrtage, qui permet d'évacuer le surplus de pointe quotidienne et des périodes d'orage pour être vidé pendant les périodes creuses.

Le schéma ci-dessous représente les différents ouvrages de la STEP de Boumerdes par lesquels passent les eaux usées pour le traitement.

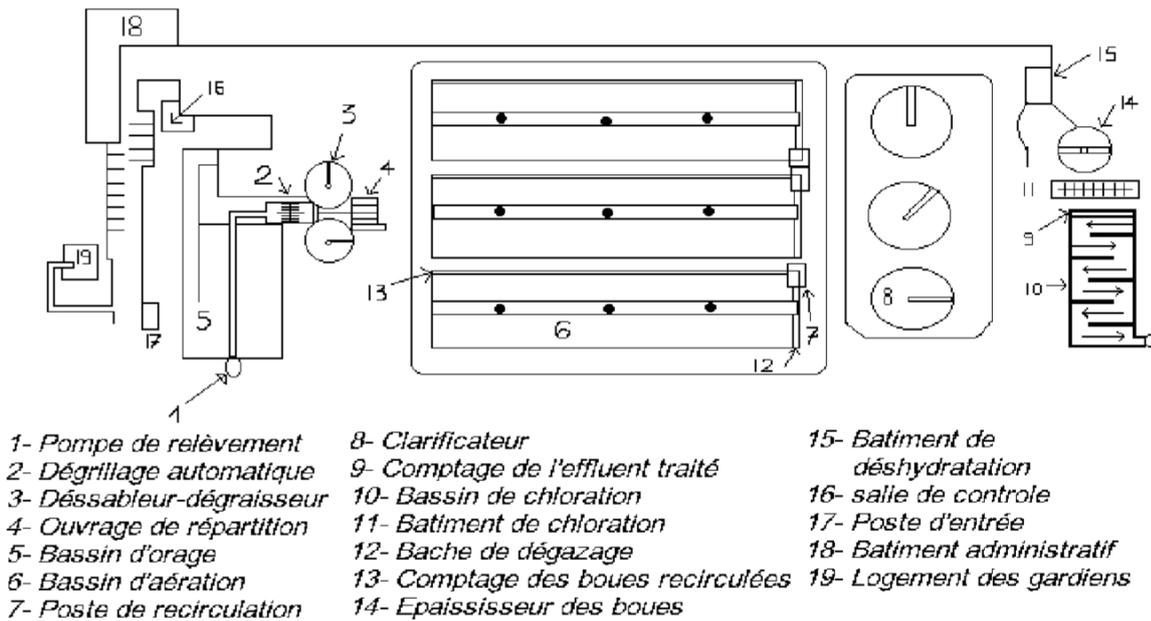


Figure I.1 : Les ouvrages de la STEP de Boumerdes

### I.1.1 L'arrivée des eaux :

La station de relevage principale est la SR3, cette dernière reçoit l'eau usée de plusieurs stations de relevage (8 stations) dispersées entre la ville de Boumerdes et ses environs tel que Corso et Ben Rahmoune .La SR3 envoie l'eau usée vers la STEP de Boumerdes par pompage, remarquant qu'au niveau des SR, on a un dégrilleur pour gros déchets solides, L'autre arrivée est de Tidjelebine est dotée d'un panier dégrilleur. [2]

### I.1.2 Collecteurs Inter-Stations :

Le réseau d'assainissement est de type unitaire. Les collecteurs principaux s'orientent vers la station d'épuration en régime gravitaire et forcé dans le cas morphologique défavorable ou des stations de relevage sont réalisées.

Figure I.2 : Schéma directeur d'assainissement de Boumerdes



Le réseau principal développe une distance d'environ 12 km et se compose de Collecteurs principaux :

- Conduite gravitaire: commune de Tidjelabine-station de relevage l=4360 ml en DN 600 BA.
- Conduite gravitaire : commune de Tidjelabine-STEP l= 2354 ml en DN500 BA.
- Conduite de refolement : station de relevage 1 Régard de dissipation l = 180 ml en DN 300A/C.
- Conduite gravitaire : regard de dissipation R SR3 l=744 ml en DN 600BA.
- Conduite de refolement : station de relevage 2- regard de dissipation l = 963 ml en DN 400A/C
- Conduite gravitaire : regard de dissipation R SR3 l=350 ml en DN 600BA.
- Conduite de refolement : station de relevage 3- Step l = 2180 ml en DN 600A/C. [3]

Tableau I. 1 : Fiche technique des Huit (08) stations de relevage de Boumerdes

<b>Désignation</b>	<b>Caractéristiques</b>
SR1	Débit unitaire : 37l/s HMT : 10 Nombre de pompes : 04
SR2	Débit unitaire : 45 l/s HMT : 31 m Nombre de pompes : 04
SR3	Débit unitaire : 15 l/s HMT : 41 m Nombre de pompes : 04
SR4	Débit unitaire : 86 l/s HMT : 22 m Nombre de pompes : 02
SR5	Débit unitaire : 26 l/s HMT : 47 m Nombre de pompes : 02
SR6	Débit unitaire : 15,2 l/s HMT : 39 m Nombre de pompes : 02
SR7	Débit unitaire : 15,2 l/s HMT : 39 m Nombre de pompes : 02
SR8	Débit unitaire : 15,2 l/s HMT : 39 m Nombre de pompes : 02

**I.2 OBJECTIF DU TRAITEMENT :**

DBO5	30 mg/l
DCO	90 mg/l
MES	40 mg/l
NTK	30 mg/l
pH	6,5 < pH < 7,5
T	30°C

[2] Tableau III. 2 : Objectif du traitement de la STEP de BOUMERDES

**I.2.1 Définition de la pollution à traiter :**

L'eau à traiter a les caractéristiques suivantes:

Volume journalier	Supérieur à 15 000 m <sup>3</sup>
Débit moyen 24 h	625 m <sup>3</sup> /h
Débit de pointe temps sec	1 063 m <sup>3</sup> /h
Débit de pointe temps de pluie	1 944 m <sup>3</sup> /h
DBO5 journalière	4 050 kg
MES journalière	5 250 kg

[2] Tableau I. 3 : caractéristiques de l'eau à traité de la STEP de BOUMERDES

Il Ya des débits supérieur à la capacité nominal (15 000 m<sup>3</sup>/j) mais ne posent aucun problème au sein de l'installation car il y a le bassin d'orage à l'entrée de la station pour la réception des eaux qui surpassent le débit de 15 000 m<sup>3</sup>/j

### I.3 LES DIFFERENTES ETAPES DE TRAITEMENT :

#### Traitement des eaux :

##### *Phase 1 : Prétraitement ou traitement préliminaires*

- ✓ Arrivée des eaux .By-pass en cas d'orage vers l'oued, à partir du regard amont au poste de relevage de la station.
- ✓ Dégrillage grossier, relevage, dégrillage fin. □ Dessablage et dégraissage déshuilage.

##### *Phase 2 : traitement secondaire ou traitement biologique*

- ✓ Traitement biologique
- ✓ Décantation clarification

#### Traitement des boues

Le traitement des boues issues de la décantation comporte deux étapes :

- ✓ Un épaissement statique
- ✓ Une déshydratation mécanique puis la mise en décharge

### III.3.1 Traitement des eaux

#### *1.3.1.1 Arrivée de l'eau :*

L'eau brute arrive d'une part par pompage, d'autre part par gravité. Un déversoir alimente un bassin d'orage de tout débit supérieur au débit accepté par l'installation. Un bypass contrôle l'entrée générale de la station. [2]



### ***1.3.1.2 Prétraitement :***

#### ***1.3.1.2.1 Dégrillage :***

Un dègrilleur automatique de type champ courbe, avec espacement entre barreaux de 20mm sert à enlever les petits déchets solides, Les refus sont évacués par convoyeur à vis vers une benne, et jetés à la décharge publique.

En cas d’avarie ou d’entretien sur le dègrilleur automatique, il est prévu un canal de bypass équipé d’un dègrilleur de secours à champ droit à nettoyage manuel et espacement entre barreaux de 20mm ;il est isolé par des batardeaux en aluminium à commande manuelle

Le dègrilleur est monté dans un canal de 1 mètre de large.il est composé d’une grille courbe en acier galvanisé. [2]



Figure I.3 : dègrilleur de la STEP de Boumerdes

#### ***1.3.1.2.2 dessablage-dégraissage :***

Les ouvrage de dessablage-dégraissage sont alimentés par une entrée centrale, parcourt tout l’ouvrage et sort à l’autre extrémité à travers un orifice immergé, puis passe sur un déversoir aval de maintien d’eau.

Les ouvrages circulaires de dessablage-dégraissage ont pour but :

1-l’élimination par décantation de la plus grande partie des sables de dimensions supérieur à 150-200µm.

La rétention des particules sableuses contenues dans l'eau résiduaire urbaine est indispensable, car elle permet :

- d'éviter l'abrasion des engins mécaniques.
- D'éviter les surcharges dans les étapes suivantes du traitement, notamment en cas de pluie, ou la quantité journalière de sable arrivant sur la station peut être multipliée de 3 à 7 fois.
- D'éviter l'accumulation de sables dans les étapes ultérieures du traitement.
- La quantité de sable piégé est de l'ordre de 15 à 40 mg/l
- l'élimination d'une grande partie des matières flottantes (graisses, écumes.....) en partie supérieure des ouvrages.

L'élimination des graisses permet :

- D'améliorer la quantité visuelle de la surface des ouvrages ultérieurs.
- De limiter la quantité de flottants et graisses susceptibles de se coller, de s'agglutiner ou de flotter dans les ouvrages situés en aval et qui peuvent créer des problèmes de colmatage et de fermentation.
- La quantité de graisses piégées est de l'ordre de 5 à 15 mg /l. [2]



Figure I.4 :Déssableur-dégrilleur de la STEP de Boumerdes

### **I.3.1.3 Bassins d'aération :**

L'eau provenant du prétraitement est dirigée vers 1,2 ou 3 bassins d'aération suivant le débit (500,1000 ou 1500 m<sup>3</sup> /jour).

Elle subit un traitement biologique par aération. L'air est fourni par 3 aérateurs de surface qui peuvent être réglés en cadence durée et en régulation O<sub>2</sub>.

Les bassins reçoivent d'autre part la « liqueur mixte » constituée par la recirculation des boues provenant des clarificateurs secondaires. [2]



Figure I.5 : bassins d'aération de la STEP de boumerdes

### **I.3.1.4 Clarification :**

Les eaux issues des bassins d'aération sont dirigées vers 3 clarificateurs ou décanteurs secondaires qui sont constitués de trois ouvrages en béton de diamètre 24m de hauteur latérale d'eau de 2.6 m.

La boue est décantée et l'eau épurée est envoyée à travers les chicanes vers oued TATAREG, puis vers la mer et une partie est utilisée en irrigation sous certaines conditions.

Une partie des boues décantées est recirculée vers les bassins d'aération et une l'autre partie est extraite pour être envoyée vers l'épaisseur c'est l'excès de boue.

Les clarificateurs sont équipés chacun d'un pont racleur radial à entraînement périphérique comprenant :

- une passerelle avec garde-corps.
- Une roue à bandage en caoutchouc.
- Un pivot central avec couronne à bagues.
- Un motoréducteur muni d'un limiteur de couple pour la sécurité de fonctionnement.
- Un raclage de fond.
- Un dispositif de récupération des flottants.

Les racleurs de fond sont fixés sous la passerelle pivotant sur la colonne centrale de l'ouvrage et récupèrent les boues qui sont dirigées vers l'ouvrage de recirculation.

Les flottants sont repris par une lame de surface qui les guide progressivement vers des puits de reprise des flottants situé en un point de la périphérie de l'ouvrage.

Les eaux clarifiées sont recueillies par surverse sur un déversoir circulaire constitué de lames crénelées en acier galvanisé.



Figure I.6 : Clarificateurs de la STEP de boumerdes

### I.3.2 Le traitement des boues :

Principe du traitement : le traitement des boues issues de la décantation comporte deux étapes :

- 1) un épaissement statique.
- 2) une déshydratation mécanique : les boues épaissies sont d'abord floculées avant d'être envoyées sur une bande presseuse.

L'ajout de polymère (poly électrolyte) en faible quantité est nécessaire afin d'améliorer la filtrabilité des boues avant de passer à la déshydratation mécanique. [2]

#### I.3.2.1 L'épaisseur :

L'épaisseur est constitué d'un ouvrage en béton de diamètre intérieur de 13m et est équipé d'un pont racleur diamétral à entraînement central supporté par une colonne centrale en béton armé. L'accès au centre se fait par une passerelle elle-même construite en béton armé. Les boues sont admises dans la partie centrale de l'ouvrage et guidée vers le fond à l'aide d'un déflecteur.

Le pont racleur est équipé :

- d'un ensemble de raclage de fond et lames d'épaississement en acier galvanisé.
- D'un Motoréducteur menu d'un réducteur de vitesse.
- De déversoirs en tôle galvanisée pour retour en tête du surnageant.

Les boues épaissies sont reprises au fond de l'ouvrage à l'aide d'une pompe à rotor excentré pour être refoulées vers la déshydratation.

#### Caractéristique dimensionnelles :

<b>Diamètre intérieur</b>	13 m
---------------------------	------

#### Caractéristiques fonctionnelles :

<b>Charge massique</b>	<b>30kg/m2/j</b>
<b>Concentration de sortie moyenne</b>	<b>20g/l minimum</b>
<b>Volume journalier à transférer en déshydratation</b>	<b>792m3</b>

[2]



Figure I.7 : Epaississeur de la STEP de Boumerdes

### **I.3.2.2 super-press :**

La boue est introduite avec un poly électrolyte dans un flocculateur équipé d'un agitateur vertical à vitesse réglable et se déverse sur la première toile dans une zone d'égouttage.

Après l'égouttage, la boue est prise entre les deux toiles et soumise à une compression progressive dans une entrée en forme de coin suivie d'un enroulement sur un tambour perforé de grand diamètre jusqu'au serrage dû à la mise sous tension des toiles.

Les deux toiles passent ensuite sur une série de rouleaux de renvoi de petit diamètre qui augmentent la pression d'essorage en même temps qu'un effort de cisaillement qui rompt la structure de la boue, ouvre des canaux d'essorage de gâteau et améliore de déshydratation finale.

En sortie les deux toiles se séparent après le rouleau entrainement et le gâteau est dégagé par deux racloirs pour évacuation sur une bande transporteuse. [4]

#### **I.3.2.2.1 Caractéristiques générales SUPERPRESS :**

<b>Largeur de bande</b>	<b>2 m</b>
<b>Capacité unitaire</b>	<b>150kg MS/m/h</b>
<b>Temps de fonctionnement</b>	<b>13.6h</b>

Avec 1 SUPERPRESS en service :

<b>Consommation de polymère moyenne</b>	<b>20kg/j</b>
<b>Siccité des boues déshydratées</b>	<b>15+-1%</b>

Tableau I.4 : Caractéristiques de super-press.

[2]



Figure I.8 : super-press de la STEP de boumerdes

# **Chapitre II**

## Traitement et valorisation des boues d'épuration

## INTRODUCTION :

Les stations d'épuration urbaines assurent le traitement des eaux usées urbaines et/ou industrielles acheminées par les réseaux d'assainissement. Ce traitement, s'il a pour objet le rejet d'une eau épurée acceptable par le milieu récepteur, produit également un résidu polluant, désigné sous le terme de boues d'épuration.

Le devenir des boues provenant des stations d'épuration des eaux usées urbaines étant un sujet d'actualité, leurs différentes voies d'élimination sont passées en revue : rejet à la mer, mise en décharge, incinération, épandage sur les sols en agriculture. La dernière solution est pratiquement la plus utilisée et devrait encore se généraliser dans le futur.

Il faut noter que les boues d'épuration peuvent constituer un apport non négligeable en matière organique pour le sol.

### II.1 QU'EST-CE QU'UNE BOUE ?

Les boues d'épuration sont les sous-produits d'une station d'épuration des eaux usées. Considérés comme des déchets, ces boues représentent une menace pour l'environnement du fait de leur composition ; cadavres de bactéries pour l'épuration biologique et produits chimiques (floculant, coagulant) pour les procédés physico-chimiques, qui ne convient pas à n'importe quel environnement. [4]

### II.2 TYPOLOGIE DES BOUES :

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

#### ***II.2.1 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. [5]

#### ***II.2.2 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 floculant) pour agglomérer les fines particules et améliorer la décantation. [5]

#### ***II.2.3 Les boues biologiques :***

Elles sont aussi appelées boues secondaires, elles proviennent d'une épuration biologique des eaux (boues activées, disques biologiques, lits bactériens...). Ces boues sont très organiques car elles sont principalement constituées de corps bactériens et de leurs sécrétions. [5]

### ***II.2.4 Les boues mixtes :***

Constituées d'un mélange de boues primaires et biologiques, elles proviennent de la plupart des stations de traitement. [5]

### ***II.2.5 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. [11]

## **II.3 CARACTERISTIQUES :**

Les boues sont caractérisées par la concentration en matières sèches (ou siccité), leur teneur en matières volatiles (pouvoir fermentescible et calorifique), leur concentration en azote et phosphore (possibilité d'amendement agricole).

La répartition de l'eau contenue (eau libre ou eau liée), la viscosité (facilité de déshydratation) et la granulométrie caractérisent la structure des boues. [5]

### **II.3.1 La siccité d'une boue**

La boue est essentiellement constituée d'eau et de matières sèches. Cette dernière s'exprime en g/l ou en pourcentage. Elle détermine par séchage à 105°C ou par infrarouge.

Le pourcentage d'eau représente l'humidité, le pourcentage de matière sèches la siccité. Ainsi, une boue à 10% de siccité présente une humidité de 90%. [5]

### **II.3.2 Leur teneur en matière volatile ou matières organiques**

Par opposition aux matières minérales. La teneur en matière volatile s'exprime en pourcentage du poids des matières sèches. Elle permet d'évaluer le degré de stabilisation des Boues et leur aptitude à subir divers traitements (digestion, incinération, ...) ; [5]

### **II.3.3 Leur teneur en matière minérale**

C'est la différence entre matière sèche et matière volatile ;

### **II.3.4 Le pouvoir calorifique**

La teneur en matière organique des boues leur confère une aptitude à la combustion, ce qui permet de les incinérer. [5]

### II.3.5 La consistance de boues

La consistance de boue est critère essentiel pour le stockage, l'homogénéisation, la manutention et enfouissement, etc. cette consistance est liée à l'état physique de la boue.

Cependant quatre états physiques sont généralement définis en tenant compte de la siccité:

- boue liquide dont la siccité est de 0 à 10%,
- boue pâteuse dont la siccité est de 12 à 25%.
- la boue solide pour une supérieure à 25%,
- boue sèche pour une siccité supérieure à 85%. [5]

### II.3.6 Les facteurs caractérisant la structure de la boue

Les boues urbaines sont considérées comme des véritables systèmes colloïdaux, dont la forte stabilité est déterminée par la nature des propriétés de surface des colloïdes et par les interactions entre les particules.

#### II.3.6.1 la viscosité apparente :

Une viscosité est considérée comme une mesure de l'intensité des forces inter particulières.

#### II.3.6.2 la nature de l'eau contenue dans la boue :

L'eau présente 95% de la masse de la boue. Dans une boue urbaine elle est sous deux états:

-*l'eau libre*, assez facilement éliminable par filtration ou décantation,

-*l'eau liée ou combinée* comprenant: l'eau d'hydratation colloïdale, l'eau capillaire et enfin l'eau chimique liée. Cette eau ne peut être éliminée que par la chaleur (conditionnement thermique, séchage ou incinération).

#### II.3.6.3 la granulométrie :

La granulométrie, mesure la taille et étudie la répartition statique, selon leur grosseur, des éléments d'une substance pulvérulente.

L'analyse granulométrie s'effectue jusqu'à 80 µm par tamisage du matériau. [5]

### II.3.7 L'acidité des boues (PH) :

Le PH est un paramètre important pour l'utilisation ultérieure des boues en agriculture. Il détermine partiellement la charge électrique des particules solides et, par conséquent, influe sur leur stabilité colloïdale.

Dans le cas de boues digérées par voie anaérobie la fermentation étant alcaline, le PH doit être proche de la neutralité. Une chute en dessous de 6.5 indique un déséquilibre de la digestion. En cas de stabilisation aérobie, le PH sera acide. [5]

### II.3.8 Le rapport C/N :

Le rapport C/N ou rapport carbone sur azote est un indicateur qui permet de juger du Degré d'évolution de la matière organique, c'est-à-dire de son aptitude à se décomposer plus ou moins rapidement dans le sol:

-C/N < 15 : production d'azote, la vitesse de décomposition s'accroît ; elle est à son maximum pour un rapport C/N = 10

-15 < C/N < 30 : besoin en azote couvert pour permettre une bonne décomposition de la matière carbonée,

-C/N > 30 : Pas assez d'azote pour permettre la décomposition du carbone (phénomène de "faim d'azote"). L'azote est alors prélevé dans les réserves du sol. La minéralisation est lente et ne restitue au sol qu'une faible quantité d'azote minéral.

Il est couramment admis que, plus le rapport C/N d'un produit est élevé, plus il se décompose lentement dans le sol mais plus l'humus obtenu est stable. [6]

#### II.4 LE TRAITEMENT DES BOUES :

La quasi-totalité des procédés d'épuration appliqués aux eaux usées domestiques, qu'ils soient biologiques ou physico-chimiques, conduisent à la concentration des polluants sous la forme de suspensions aqueuses ou de boues représentant des déchets volumineux. Il s'avère de plus en plus difficile de trouver une solution au problème des boues. Ces derniers représentent une phase difficile et très délicate en raison de la raréfaction des terrains ou cavités disponibles pour l'épandage ou le dépôt des boues, les nécessités et exigences de l'environnement et de l'hygiène publique, et l'importance économique compte tenu aussi bien des coûts d'investissement que d'exploitation d'une installation de traitement de boues.

Les objectifs principaux d'une filière boue sont la réduction des volumes et des nuisances.

En effet, telles qu'elles ont été évacuées de la filière eau, les boues sont constituées à 99% d'eau, ce qui engendre des volumes de stockage conséquents. De plus, elles sont très fermentescibles donc dégagent rapidement des odeurs désagréables, en partie, responsables du refus psychologique de les utiliser en agriculture.

Les procédés de traitement des boues peuvent varier suivant leurs natures et la taille de la station d'épuration. Trois grands types de traitement sont à distinguer:

- Des traitements de réduction de la teneur en eau des boues (l'épaississement, déshydratation, séchage), visant à diminuer le volume de boues à stocker ou à épandre et/ou à améliorer leurs caractéristiques physiques (tenue en tas notamment);
- Des traitements de stabilisation, dont l'objectif est de réduire le pouvoir fermentescible des boues afin de limiter ou d'annuler les nuisances olfactives;
- Des traitements de stérilisation qui visent à éliminer la charge en microorganismes pathogènes. [6]

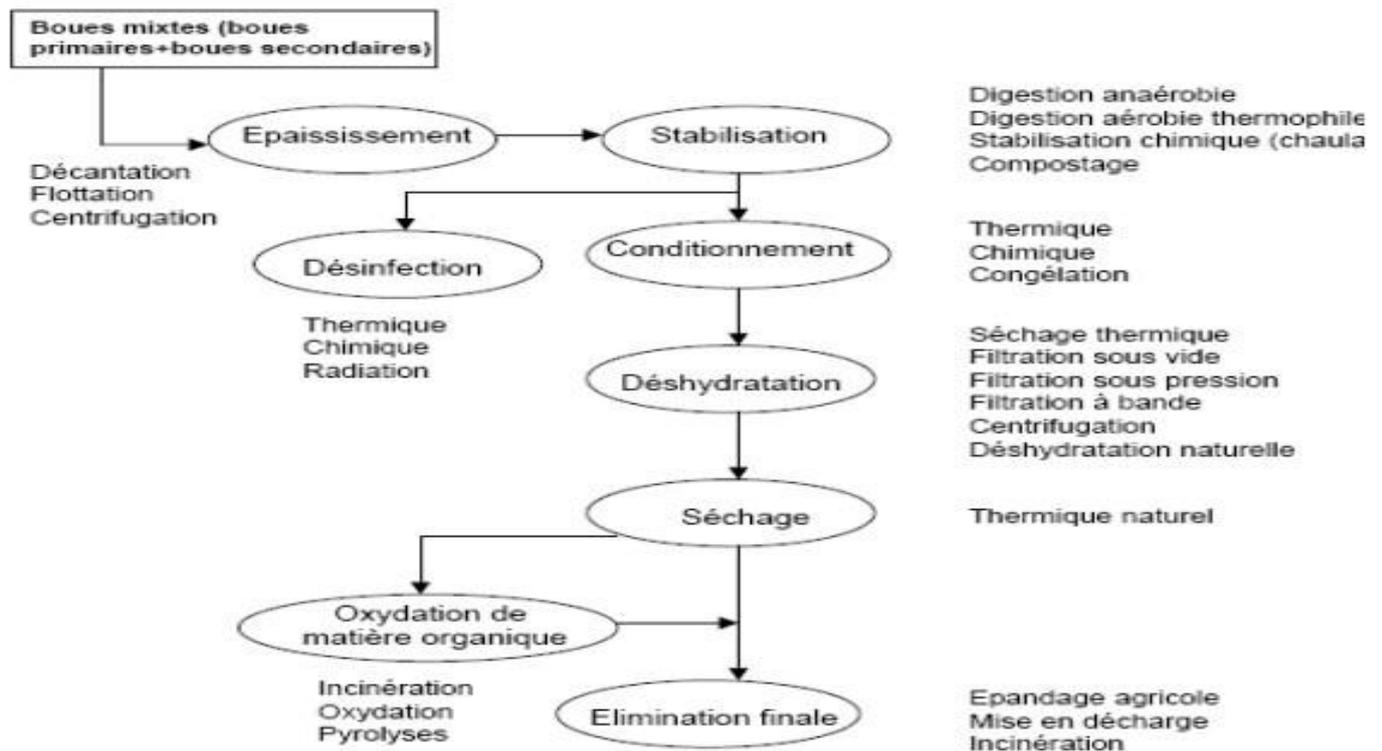


Figure 03. Options et classification des procédés pour le traitement des boues.

#### II.4.1 L'épaississement :

C'est la première étape du traitement. A l'entrée de la filière, la boue étant extrêmement liquide, pour réduire les volumes à traiter, on élimine l'eau libre. L'épaississement peut être statique, gravitaire ou dynamique par flottation, selon le type de boue à traiter. Ainsi, pour une boue activée, on préfère l'épaississement dynamique par flottation car les particules en suspension sont de gros diamètre et de faible densité.

Par contre, pour les boues primaires, l'épaississement gravitaire permet de concentrer la boue de deux à huit fois, en l'amenant de quelques grammes par litre à quelques dizaines de grammes par litre. IL existe une troisième méthode, plus performante, mais qui nécessite l'emploi de polymères. C'est l'épaississement dynamique sur table d'égouttage: la boue est floculée avec le polymère, puis circule sur une toile filtrante où l'eau est éliminée. [6]

#### II.4.2 La déshydratation :

La déshydratation est la deuxième étape de la réduction de volume des boues. Elle conduit à l'élimination d'environ 40-50% de la phase liquide. Elle est réalisée:

- par centrifugation,
- par filtration (filtre à plateaux, sacs filtrants, tamis d'égouttage),
- par séchage (lits de séchage naturel, séchoirs thermiques directs ou indirects). [6]

### **II.4.3 Le séchage :**

Le séchage élimine l'eau en grande partie ou en totalité par évaporation, soit par voie naturelle (lits de séchage), soit par voie thermique. La technique des lits de séchage se réalise à l'air libre sur des boues liquides et combine évaporation naturelle et drainage de l'eau libre à travers une couche filtrante de sable et de graviers. Le séchage thermique permet une élimination de la quasi-totalité de l'eau (siccité d'environ 95%). [6]

### **II.4.4 Stabilisation des boues :**

Cette étape permet de réduire le pouvoir fermentescible des boues, ainsi que les nuisances olfactives. Il existe trois grands types de stabilisation: la stabilisation biologique (digestion aérobie ou anaérobie, compostage), la stabilisation chimique (chaulage) et la stabilisation physique (séchage poussé). Les procédés biologiques permettent de dégrader les matières organiques, et conduisent à une réduction de la matière. En revanche, les procédés chimiques et physiques bloquent l'action des microorganismes par inhibition de leur métabolisme, la quantité de matière reste la même ou augmente suite à l'ajout de produits chimiques (ajout de chaux, par exemple). Certains de ces traitements permettent aussi de réduire les risques sanitaires. [6]

#### **II.4.4.1 La stabilisation biologique aérobie :**

Tous les procédés biologiques sont basés sur les activités métaboliques naturelles des organismes impliqués. Lorsqu'un substrat métabolisable est disponible dans le milieu, substrat exogène, les cellules l'utilisent comme source de matière organique pour leurs activités cataboliques et anaboliques. C'est ce processus qui prédomine dans les procédés où le milieu à traiter est riche en matière organique, comme par exemple les processus de boues activées ou de digestion aérobie.

Le principe de la stabilisation aérobie est identique à celui évoqué pour les boues activées, exception faite du temps de séjour des solides biologiques qui est plus long. C'est une transformation de la matière organique par oxydation en milieu aérobie, avec

Dégagement de chaleur et production de dioxyde de carbone. [6]

#### **II.4.4.2 La stabilisation biologique anaérobie :**

La stabilisation anaérobie des boues permet de fermenter une partie des matières organiques en dioxyde de carbone et méthane, avec une production relativement faible de biomasse cellulaire. Le processus implique plusieurs populations microbiennes distinctes qui sont continuellement en interactions, et dont la majorité ne produit pas directement du méthane. [6]

#### **II.4.4.3 La stabilisation chimique (le chaulage) :**

Cette technique ne modifie donc pas la quantité de la matière organique biodégradable contenue dans la boue; une reprise de la fermentation est possible si l'évolution ultérieure des conditions du milieu le permet. La chaux, du fait de son coût réduit,

de son alcalinité et de son effet favorable à un renforcement de la structure physique de la boue, est le réactif le plus utilisé. [6]

#### ***II.4.4.4 La stabilisation physique (séchage poussé) :***

Le séchage est une opération du traitement des boues consistant à évaporer l'eau libre et liée.

#### **II.4.5 Le traitement de stérilisation :**

Il n'est pas, à proprement parler, un procédé de stabilisation. Il a pour but d'obtenir une désinfection de la boue. L'inactivation totale des agents pathogènes peut être recherchée, par exemple, dans le cas d'épandage des boues sur des pâturages en exploitation. Il est sûrement atteint si toutes les particules de la suspension boueuse sont maintenues à 70 °C pendant 30 min. Certains traitements déjà évoqués, détruisent les germes pathogènes contenus dans les boues : le chaulage en élevant le pH au-dessus de 12.

Le compostage peut détruire les germes pathogènes par les températures élevées. [6]

### **II.5 LES BOUES D'EPURATION ENGRAIS OU DECHETS ?**

L'avantage principal de la fertilisation avec des boues, c'est qu'elle permet de restituer de précieuses substances nutritives de la consommation à l'agriculture. Elle présente par contre le risque de libérer dans l'environnement les polluants contenus dans les boues. Il est donc important de bien peser le pour et le contre des boues. A court terme, il faudra mettre au point des systèmes et des méthodes qui concilient durabilité (recyclage des nutriments) et précaution (protection de l'environnement). [7]

### **II.6 QUELS SONT LES ARGUMENTS EN FAVEUR DE L'EPANDAGE DES BOUES ?**

Les boues, qui contiennent de l'azote, du phosphore et parfois de la chaux, ont des effets bénéfiques pour l'agriculture. Les boues compostées présentent en effet un double intérêt : agronomique grâce à leur pouvoir nutritif et comme amendement organique, et leur pouvoir structurant, en effet ces boues contribuent à l'amélioration du potentiel de matière organique de sol.

L'amélioration physique d'un sol s'apprécie au travers de la disponibilité de la réserve en eau, de la stabilité structurale (perméabilité, aération, biologie) et de l'autoprotection des matières organiques (création d'agrégats stables). L'apport de boues s'accompagne de l'oxydation de composés carbonés, ce qui produit une action énergétique au niveau de la biomasse du sol.

L'intérêt des boues n'est pas uniquement agronomique, l'utilisation des boues peut prévenir l'érosion et limiter le ruissellement par temps de pluie (impact sur l'urbanisme et sur l'assainissement).

En résumé, le recyclage des résidus organiques s'inscrit dans une stratégie de développement durable par ses aspects sociaux (relations ville/agriculture, emplois locaux induits...), économiques (maîtrise des coûts de l'assainissement, économies d'engrais...) et environnementaux (retour au sol de la matière organique...). [7]

## **II.7 DESTINATION FINALE DES BOUES ET FINALITE DE LEUR TRAITEMENT :**

La valorisation des boues est souvent aléatoire et leur évacuation constitue presque toujours une charge d'exploitation importante. Sur le plan économique le but à atteindre est en réalité de limiter les frais de leur traitement et de leur transport. Cette optimisation dépend des conditions d'écoulement du produit, des besoins en énergie et du coût de celle-ci, du prix de la main d'œuvre, des réactifs de conditionnement, etc.

Parallèlement, l'hygiène du travail et la protection de l'environnement imposent le développement de solutions provoquant le minimum de nuisances tout en restant économiquement supportables. [8]

Les principales destinations des boues et sous-produits issus de leur traitement sont les suivantes:

### **II.7.1 La valorisation en agriculture des boues :**

L'épandage de la boue est la voie la plus répandue en agriculture. Elle existe depuis plus de 30 ans et offre la possibilité d'augmenter la fertilisation des sols.

Cette pratique courante ne concerne pas que les boues d'épuration, mais plusieurs centaines de millions de tonnes ou de mètres cubes de matières diverses. Ces matières entretiennent la fertilité des sols quand elles sont correctement appliquées, diminuant alors les besoins d'engrais commerciaux. En agriculture, les boues sont utilisées comme fertilisants, c'est-à-dire comme produit capable de fournir aux cultures des éléments nutritifs nécessaires à leur croissance et à leur développement. Compte tenu des multiples procédés épuratoires utilisés dans les différentes stations, les boues sont susceptibles de présenter une diversité de composition selon le type de traitement utilisé, le type d'effluent entrant ou encore la taille de la station. [9]

### **II.7.2 Récupération d'énergie :**

La récupération d'énergie n'est pas normalement le but premier du traitement des boues. L'emploi des boues comme combustible exportable en dehors de l'usine d'épuration est rare. La récupération d'énergie se réalise essentiellement sous deux formes principales:

\*production de gaz méthane par fermentation. Le gaz est utilisé pour le chauffage, l'alimentation des groupes électrogènes et le conditionnement thermique des boues elles-mêmes;

\*production calorifique dans les fours d'incinération. L'énergie ainsi produite sert essentiellement, sinon totalement, à sécher préalablement les boues. Lorsque la siccité initiale des boues le permet, l'énergie thermique excédentaire peut être transformée en énergie électrique.

Toute récupération d'énergie s'accompagne de la réduction partielle ou totale des germes pathogènes dans les boues. [8]

### **II.7.3 Récupération de produits :**

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

\*récupération de fibres dans les industries du papier-carton et du bois;

\*récupération de produits coagulants dans les boues provenant de la clarification d'eaux de rivière (par exemple acidification de boues d'hydroxydes d'Al),

\*récupération de Zn, Cu, Cr, dans les boues provenant d'une épuration d'eaux de traitement de surfaces métalliques,

\* réutilisation de boues minérales après séchage thermique ou de cendres d'incinération dans la construction de revêtements routiers, de produits stabilisateurs de sol ou de béton (mais, une telle réutilisation n'a jusqu'à ce jour reçu que des applications limitées)...etc. [8]

### **II.7.4 La mise en décharge**

C'est encore sans doute la destination finale la plus fréquente des boues produites. Le résidu peut être plus ou moins important mais même dans le cas d'incinération il demeure un sous-produit de volume non négligeable et rassemblant normalement tous les métaux lourds contenus dans les boues.

Cette méthode n'est en rien écologique, car il est responsable de dégagement gazeux toxiques et à effet de serre. Les « jus » peuvent percoler dans les nappes phréatiques et ce mode de traitement présente l'inconvénient de condamner définitivement des surfaces au sol importantes.

Enfin, la mise en décharge commune des boues avec les ordures ménagères est une pratique encore fréquente. Les législations en la matière varient suivant les pays. [8]

## **II.8 L'APPLICATION DES BOUES SUR LE SOL :**

### **II.8.1 Conditions d'utilisation des boues :**

Selon le traitement appliqué aux boues on distingue : des boues liquides, pelletables, ou en poudre. La dose ou la quantité des MS de boues à apporter par hectare et par an pour une boue normalisée est déterminée presque toujours par la satisfaction des besoins en azote des plantes. Il est donc nécessaire de connaître la composition en azote de la boue qui sera épandue pour fixer cette dose.

Pour déterminer la période d'apport des boues, il faut tenir compte du fait que les éléments fertilisants qu'elles contiennent ne sont pas immédiatement disponibles pour les plantes.

A l'état actuel, on considère que la quantité d'azote utilisable correspond à la quantité d'azote organique susceptible d'être minéralisée pendant la période de végétation de la compagne qui suit l'épandage, à laquelle s'ajoute la quantité d'azote minéral initialement présente dans le produit brut. On estime que la quantité d'azote utilisable pendant l'année qui suit l'épandage correspond à environ 30 à 50% de l'azote total pour les boues liquides et 20 à 45% pour les boues déshydratées.

Il faut cependant tenir compte de l'éventualité des pertes de nitrates résultant d'apport des boues avant une période de lessivage. [9]

### II.8.2 la modalité d'application des boues

Les boues liquides dont l'humidité est comprise entre 95% et 99% peuvent être répandues par aspersion ou par labourage.

Ce mode d'épandage évite les opérations coûteuses de déshydratation et permet de disposer d'un produit riche en azote rapidement utilisable; il présente cependant un inconvénient: celui des transports des masses importantes d'eau. Ces boues fraîches liquides, susceptibles de présenter des problèmes d'odeurs, doivent être mélangées au sol immédiatement après l'application.

La pulvérisation peut être utilisée pour la plupart des sols, même s'ils sont en pente, pourvu que la qualité de boues soit contrôlée de manière à empêcher le ruissellement.

Les boues pâteuses, contenant 75 à 95% d'humidité sont par contre d'une utilisation agricole très difficile, car elles ont tendance à coller aux instruments utilisés pour les épandre.

Les boues séchées reprennent difficilement l'humidité ce qui représente un inconvénient pour le sol.

Un autre problème, plus complexe à résoudre, est l'irrégularité des besoins; en effet l'épandage des boues liquides ne peut pas être effectué pendant toute l'année, mais seulement pendant la période végétative des cultures, alors que la production des boues est régulière. Ceci suppose une mise en réserve de celle-ci dans les fosses à purin ou des lagunes à boues. [9]



Figure I. 1: L'épandage des boues liquides réalisé par le biais de lisier.

### **II.8.3 Contraintes limitant l'utilisation des boues en agriculture**

L'application des boues d'épuration, même traitées, sur des terres agricoles représente un risque de contamination du sol. Appliquée pendant des années et inadéquatement, la fertilisation peut conduire à une pollution de eaux de surfaces (par drainage ou par érosion) ainsi que des eaux souterraines et de source. D'autre part, les polluants s'accumulent dans le sol, ce qui entraîne à long terme une diminution de la fertilité du sol (réduction de la diversité et de l'activité microbienne), de la qualité des plantes cultivées ainsi que du rendement de culture. De plus, les polluants peuvent atteindre la chaîne alimentaire et avoir des répercussions négatives sur les êtres humains et les animaux d'élevage. [9]

#### **II.8.3.1 Les pathogènes :**

La plupart des traitements que subissent les boues provoquent simplement une chute des populations pathogènes mais très rarement leur disparition complète. Il résulte de ceci que les boues, même après digestion, ne doivent pas être remises en contact direct avec les végétaux susceptibles d'être consommés crus.

Les micro-organismes pathogènes qui ont résisté à l'épuration n'ont pas toute la faculté de survivre sur ou dans le sol. Dans le sol, les germes pathogènes sont dans un milieu qui leur est très défavorable (car froid et sec); de plus, ils y sont exposés aux radiations solaires.

En outre, ils sont en compétition avec les micro-organismes qui s'adaptent bien au milieu et se développent rapidement. Le problème des pathogènes est en effet difficile à résoudre. Certains parasites par exemple restent plusieurs années dans le sol. Ils sont d'autant plus difficiles à éliminer qu'ils prennent une forme enkystée dans les conditions défavorables alors qu'ils se développent lorsqu'ils se retrouvent dans les animaux à sang chaud ou chez l'homme. [9]

#### **II.8.3.2 La toxicité :**

La toxicité se manifeste dans le végétal lui-même comme résultat de l'absorption et de l'accumulation de certaines substances contenues dans la boue. La présence de métaux lourds dans la boue peut également constituer un danger qui pourrait provenir de l'accumulation de ces derniers dans les cultures (effet de concentration) et leur transmission aux consommateurs. [9]

#### **II.8.3.3 Les micropolluants organiques :**

Ce sont des substances qui peuvent avoir une action néfaste pour le traitement des boues, ou pour leur utilisation en agriculture. Il s'agit généralement, de produits organiques de synthèse qui sont utilisés dans la vie courante et qui se retrouvent dans les eaux usées domestiques.

Les détergents, largement utilisés dans les ménages, présentent plusieurs inconvénients pour la boue:

- \* la présence de tensio-actifs perturbe la digestion anaérobie des boues;
- \* ils influent sur les propriétés d'échange d'ions du sol;
- \* ils ont enfin une action néfaste sur les micro-organismes et sur les plantes;

Les poly électrolytes, fréquemment utilisés pour la déshydratation des boues, présentent des propriétés électrochimiques qui pourraient influencer sur la physico-chimie du sol et des plantes. [9]

#### **II.8.3.4 Les micropolluants minéraux :**

Il s'agit essentiellement des métaux lourds et certains métalloïdes qui ont été très largement étudiés en laboratoire et sur le terrain.

Certains de ces éléments, les oligo-éléments, sont nécessaires à la production végétale et leur présence dans les boues est favorable dans la mesure où leur teneur reste inférieure au seuil de toxicité. Il s'agit du zinc, du cuivre, du manganèse, du bore, du molybdène, du cobalt et du fer.

D'autres éléments tels que le plomb, le mercure, le cadmium, le chrome, l'aluminium, le nickel et l'arsenic ne sont pas utiles dans le sol, et leur concentration ne doit pas dépasser certaines limites, car ils contamineraient les plantes. Le cadmium, le plomb et le mercure sont également tous toxiques pour les organismes animaux qu'ils affectent à travers la chaîne alimentaire. [9]

#### **II.8.4 Localisation des métaux lourds dans les boues**

Les métaux lourds peuvent être présents dans les boues sous différentes formes: soluble, précipitée ou liée aux particules solides.

La mobilité et la toxicité des métaux lourds dépendront essentiellement des formes sous lesquelles ils se trouvent dans les boues.

Dans le cas d'une station biologique, il se produit certains phénomènes intervenant au niveau de l'élimination des métaux. Dans le décanteur primaire, la séparation des métaux lourds et de l'eau s'effectue essentiellement par sédimentation des métaux sous forme insoluble ou adsorbés sur les particules.

Au niveau du traitement biologique, l'intégration des M.L dans les boues activées s'effectue selon trois principaux mécanismes:

- \* rétention mécanique des métaux insolubles dans les floes de boues;
  - \* complexité des métaux initialement solubles avec des polymères extracellulaires;
- Accumulation des métaux solubles à l'intérieur des cellules. [9]

# **Chapitre III**

Résultats et  
interprétations

### III.1 File eau :

#### III.1.1 Les métaux lourds :

Ce sont les oligo-éléments non indispensables à la plante tels que le plomb, le mercure, le cadmium, le brome, le fluor, l'aluminium, le nickel, le chrome et le sélénium.

Ces éléments sont en général immobilisés dans les couches supérieures du sol par adsorption et échanges d'ions. Cette accumulation peut avoir pour conséquence, à terme, des risques pour le développement des plantes, la santé des hommes et des animaux. Les métaux lourds qui présentent les risques les plus notables sont le cadmium, le molybdène, le cuivre, le nickel, et le zinc.

Eléments	Lieu d'analyse	Date de prélèvement	Date d'analyse	Résultats d'analyses	Arrêté interministériel du 02 Janvier 2012	Observations
Chlorure	Laboratoire Central de la direction générale de l'ONA	21/07/2015	23/07/2015	184 mg/l (2,59 meq/l)	10 meq/l	Conforme
Chrome				< 10 µg/l	1 mg/l	Conforme
Nickel				7 µg/l	2 mg/l	Conforme
Cuivre				< 10 µg/l	5 mg/l	Conforme
Cadmium				0,01 mg/l	0,05 mg/l	Conforme
Cobalt				4 µg/l	5 mg/l	Conforme
Zinc				< 0,04 mg/l	10 mg/l	Conforme
Fer				0,1 mg/l	20 mg/l	Conforme
Sélénium	Centre National des Technologies et du Consulting Boumerdes (CNTC)	21/07/2015	02/08/2015	0,0032 mg/l	0,02 mg/l	Conforme
Vanadium				0,0020 mg/l	1 mg/l	Conforme
Arsenic				0,0058 mg/l	2 mg/l	Conforme
Béryllium				0,013 mg/l	0,5 mg/l	Conforme
Bore				0,0975 mg/l	2 mg/l	Conforme
Cyanure				0,0509 mg/l	0,5 mg/l	Conforme
Fluorure				0,385 mg/l	15 mg/l	Conforme
Phénol				0,0017 mg/l	0,002 mg/l	Conforme
Plomb				0,101 mg/l	10 mg/l	Conforme
Lithium				0,0807 mg/l	2,5 mg/l	Conforme
Manganèse	0,0017 mg/l	10 mg/l	Conforme			

Tableau III.1 : tableau comparatif des résultats d'analyses des métaux lourds des EUE de la STEP de Boumerdes du mois de Juillet 2015 comparé à l'arrêté interministériel

Eléments	Lieu d'analyse	Date de prélèvement	Date d'analyse	Résultats d'analyses	Arrêté interministériel du 02 Janvier 2012	Observations
Chlorure (Cl)	Laboratoire Central de la direction générale de l'ONA	11/07/2016	11/07/2016	132 mg/l (3,77 meq/l)	10 meq/l	Conforme
Cadmium				< 1 µg/l	0,05 mg/l	Conforme
Cuivre				< 10 µg/l	5 mg/l	Conforme
Nickel				< 10 µg/l	2 mg/l	Conforme
Zinc				< 0,05 mg/l	10 mg/l	Conforme
Fer				102 µg /l	20 mg/l	Conforme
Cobalt				< 10 µg/l	5 mg/l	Conforme
Plomb				< 10 µg/l	10 mg/l	Conforme
Aluminium				39 µg/l	20 mg/l	Conforme
Manganèse				80 µg/l	10 mg/l	Conforme
Mercure				< 4 µg/l	0,01 mg/l	Conforme

Tableau III.2 : tableau comparatif des résultats d'analyses des métaux lourds des EUE de la STEP de Boumerdés du mois de Juillet 2016 comparé à l'arrêté interministériel du 08 Safar 1433 correspondant au 02 Janvier 2012 fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation

Le tableau ci-dessus montre que les concentrations moyennes en éléments traces métalliques sont très faible, ne dépassent pas les limite recommandées par le FAO 2003 pour l'utilisation de ces eaux épurées en irrigation à long terme.

**III.1.2 Composition microbiologique des eaux usées épurées :**

Les micro-organismes comprennent, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes. Ils proviennent dans leur immense majorité des matières fécales ; on distingue alors la flore entérique (i.e. intestinale) normale et les micro-organismes pathogènes. On ne parlera ici que de ces derniers. Ils ont des effets divers sur la santé : ils sont la cause d'infections bénignes (gastro-entérite par exemple) comme de maladies mortelles (choléra). C'est pour cela, on est obligé de faire les analyses suivant :

Lieu d'analyse	Date de prélèvement	Date d'Analyse	Résultats des EUE de la STEP de Boumerdes		Normes recommandées pour la réutilisation en irrigation
			Coliformes totaux germe /ml	Coliformes fécaux germe/ml	Coliformes totaux : Absence
Laboratoire de l'ADE de Boudouaou	25/07/2016	25/07/2016	400	300	Coliformes fécaux : <1000

Tableau III.3 : résultats des analyses bactériologiques des eaux usées épurées de la STEP de Boumerdes du mois de Juillet 2016

Paramètres mesurés au laboratoire	Lieu d'analyse	Date de prélèvement	Résultats des EUE			Observation
			STEP Boumerdes	Bassin Rahmoune	Bassin Elflici	
Recherche d'œufs d'helminthe	Centre hospitalo-universitaire Mustapha Laboratoire de parasitologie-mycologie	14/07/2016	Négatif	Négatif	Négatif	Absence d'œufs d'Helminthes

Tableau III.4 : résultats des analyses parasitologiques des eaux usées épurées de la STEP de Boumerdes et des bassins des deux agriculteurs (El Flici et Rahmoune)

Les résultats moyens d'analyses bactériologiques révèlent la diminution significative du nombre de bactéries après le traitement d'épuration par boues activées des eaux usées brutes.

Ces résultats montrent aussi l'absence totale des parasites dans les eaux usées épurées. Ce qui permet leur utilisation sans contrainte dans l'agriculture.

### III.2 File boues :

#### III.2.1 L'indice de Mohlman IM :

L'indice de Mohlman est le rapport entre le volume de boues décantées en 30 min et la masse de matières en suspension contenue dans ce volume.

$$IM = \frac{\text{volume de boues décantées après 30 min}}{\text{concentration en MES des boues}} \quad [8]$$

Il permet d'une part de traduire la bonne ou la mauvaise disponibilité des boues à la décantation, et d'autre part de fixer un taux des MES à maintenir dans le bassin d'aération.

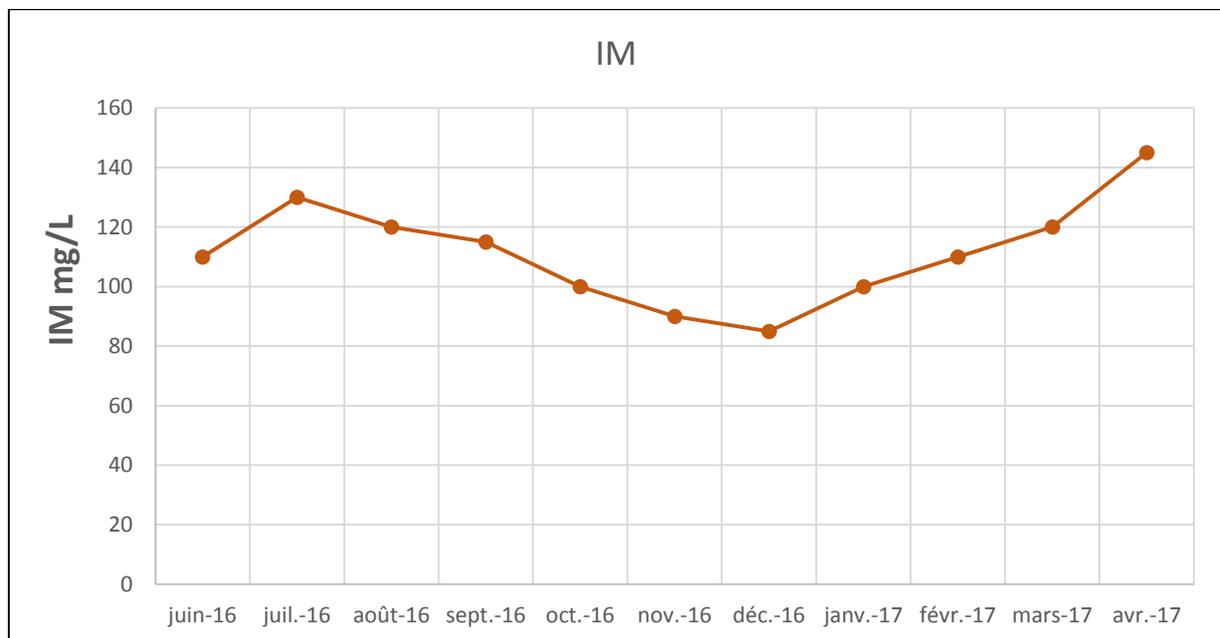


Figure III.1 : Représentation graphique de la variation de l'indice de Mohlman dans la station de boumerdes de juin 2016 à avril 2017

D'après le graphique, la valeur de IB varie de 85 à 145 ml/g, donnant une moyenne de 107,28 ml/g, ce qui reflète une modeste disponibilité de la boue à la décantation. Les valeurs de cet indice restent <100 ml/g qui est l'intervalle idéal : les boues sédimentent facilement et sont le plus souvent bien minéralisées (MVS < 65 %) [10].

Donc, il y a une bonne décantation lorsque IM est compris entre 50 et 150 mg/l

## III.2.2 La siccité des boues :

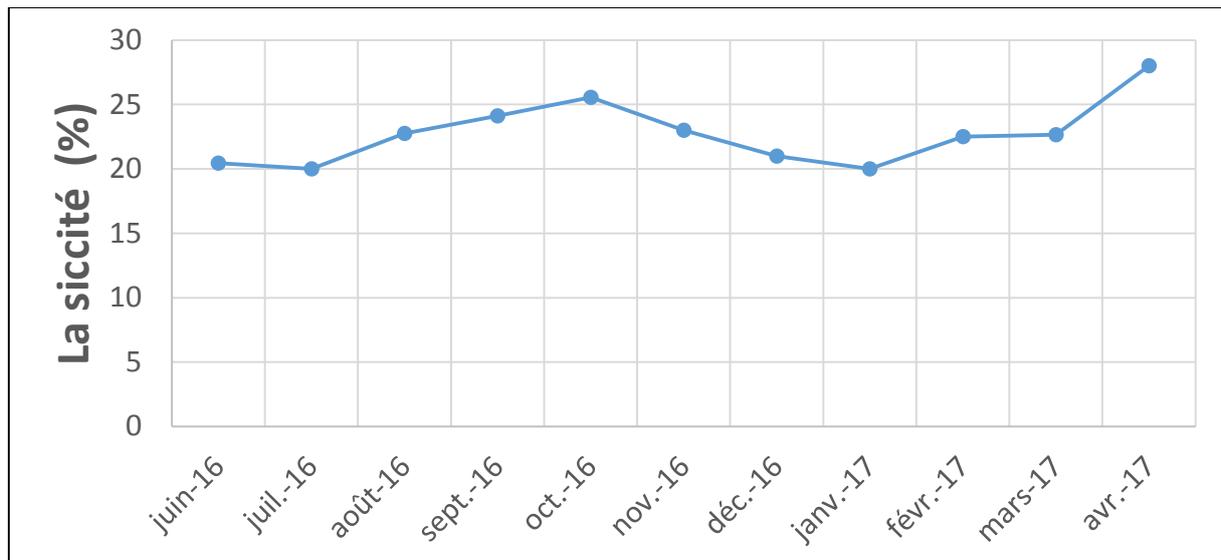


Figure III.2 : Représentation graphique de la variation mensuelle de la siccité des Boues pour la STEP de Boumerdes (juin 2016 à Avril 2017)

La matière sèche est ce qui reste lorsque l'on enlève toute l'eau contenue dans les boues. La matière sèche renferme les éléments nutritifs des boues, valorisables en agriculture. La teneur des boues en éléments nutritifs est donc fonction de leur teneur en matière sèche.

Pendant la période, juin 2016 jusqu'à avril, les échantillons de boue ont été prélevés à partir du poste de déshydratation mécanique, les mesures au laboratoire ont donné une siccité oscillant entre 20 % et 28 %, d'où une valeur moyenne de 22,73%,

Ce qui révèle le caractère pâteux des boues dans cette période.

## III.2.3 La Matière organique :

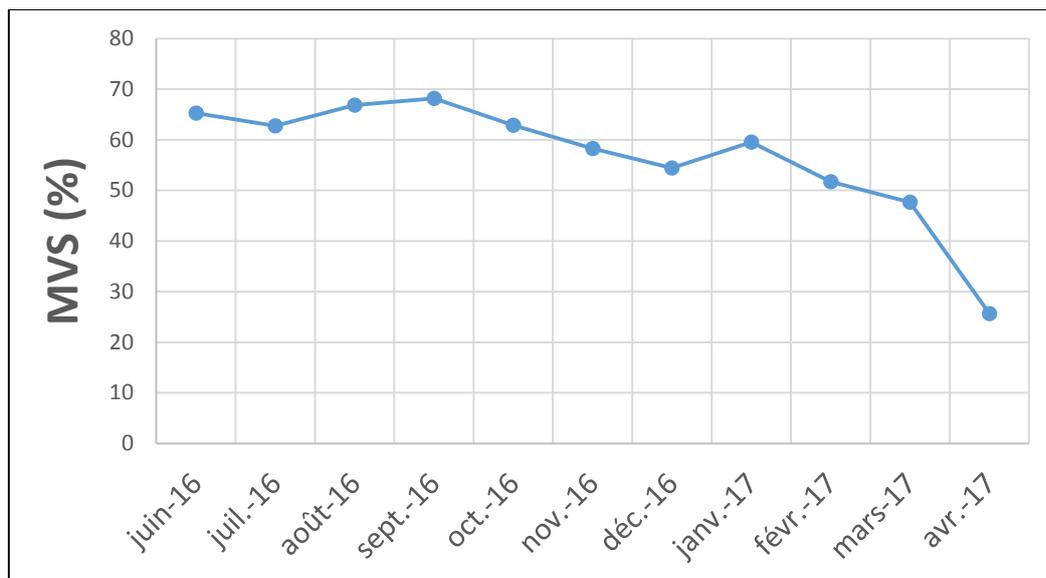


Figure III.3 : Représentation graphique de la variation mensuelle de MVS des Boues pour la STEP de Boumerdes (juin 2016 à Avril 2017)

La matière organique contenue dans la boue donne une bonne structure et une meilleure aération au sol, il est moins compact car la matière organique combat l'érosion de celui-ci. Cette matière organique est également essentielle aux micro-organismes vivants dans le sol car elle leur sert de nourriture pour leurs besoins énergétiques et pour la formation de nouvelles cellules, qui peuvent ensuite libérer les éléments nutritifs après minéralisation, qui seront donc disponibles et assimilables par les plantes. [10]

### III.2.4 La richesse des boues en éléments fertilisants :

L'épandage des boues s'accompagne d'un apport non négligeable de fertilisants.

<b>Élément</b>	<b>Résultat %</b>
<b>CaO</b>	<b>6,15</b>
<b>MgO</b>	<b>2,03</b>
<b>P2O5</b>	<b>3,21</b>
<b>K2O</b>	<b>1,75</b>
<b>siccité</b>	<b>21,46</b>
<b>MO</b>	<b>52,13</b>
<b>C</b>	<b>31,44</b>
<b>N</b>	<b>3,02</b>

Tableau III.5 : Le pourcentage des éléments fertilisants dans la boue de Boumerdes

En plus de leurs richesses en matières organiques, les boues contiennent des quantités non négligeables de matières nutritives indispensables à la croissance des végétaux. Les résultats obtenus nous renseignent sur la quantité importante de fertilisants que contiennent les boues de la STEP de Boumerdes.

### III.2.5 Le rapport C/N :

Le rapport C/N de la boue d'épuration permet d'apprécier qualitativement la capacité de minéralisation de l'azote organique contenu dans la boue. Plus ce rapport est élevé, plus la minéralisation de l'azote est lente. Ça s'explique par le fait que le carbone est utilisé par les microorganismes (biomasse) comme source d'énergie et qui est converti en CO<sub>2</sub>, alors que l'azote s'intègre essentiellement dans les tissus microbiens.

D'après les résultats d'analyse, la boue de la STEP de Boumerdes renferme 31,44 % de carbone organique et 3,02 % d'azote dans la matière sèche, donnant un rapport C/N= 6.25, cette valeur nous renseigne sur une bonne stabilisation des boues. [10]

### III.2.6 Les métaux lourds :

Les métaux lourds sont réputés pour leur toxicité sur la plupart des microorganismes telluriques. Leurs effets de dénaturation des protéines ou de destruction de l'intégrité de la membrane cellulaire affectent la croissance, la morphologie et le métabolisme de ces microorganismes telluriques (Leita et al. 1995).

De nombreuses études montrent que la biomasse bactérienne d'un sol a tendance à diminuer suite à une contamination par un métal (Konopka et al. 1999) ; (Kelly et al. 1999) ; (Ekelund et al. 2003)

. D'ailleurs, (Giller et al. 1998) estiment que, même à long terme et pour des faibles teneurs en métaux lourds, les microorganismes ne sont pas capables de maintenir une biomasse équivalente à celle d'un sol non pollué.

Eléments	Lieu d'analyse	Date de prélèvement	Date d'analyse	Résultats d'analyses (mg/Kg)	Normes NA 17 671 (mg/Kg)	Observations
Cadmium	Laboratoire Central de la direction générale de l'ONA	Echantillon moyen du 11/07/2016 au 01/08/2016	02/08/2016	1	20	Conforme
Chrome				15	1000	Conforme
Cuivre				106	1000	Conforme
Nickel				23	200	Conforme
Zinc				547	3000	Conforme
Plomb				16	800	Conforme
Mercure				6	10	Conforme

Tableau III.6 : résultats d'analyses des métaux lourds des boues déshydratées de la STEP de Boumerdes du 11/07/2016 au 01/08/2016 comparés à la norme Algérienne NA 17 671

Les résultats consignés dans le tableau ci-dessous montrent que les métaux lourds dans la boue sont suffisamment faibles et ne constituent donc pas un facteur limitant son utilisation en agriculture.

Tableau III.7 : quantités de boues produites et surfaces potentiellement épandables avec une dose de 10 T/ha/an.

	Eq/hab.	Volume m <sup>3</sup> /j.	M <sup>3</sup> /an	Tonnes de boues/an	Surfaces potentielles pour l'épandage (ha)
Boumerdes	75000	15 000 m <sup>3</sup>	5475000	1800	180

Certaines expérimentations ont montré qu'une amélioration de la perméabilité et de la stabilité structurale serait obtenue après un apport de 10 t/ha de matière sèche de boue et ceci pendant plusieurs années (**Kofoed, AD 1984**).

En occultant les doses limites imposées par la norme **NF U44-051**, concernant les concentrations en métaux lourds présents dans les boues, nous calculons les surfaces maximales épandables /ha.an

Potentiellement, la station d'épuration apporte globalement 1800 Tonnes/an de boues, permettant de répondre aux besoins en matière organique d'environ 180 ha avec une dose de 10 T/ha /an.

## **CONCLUSIONS GENERALES ET RECOMMANDATIONS**

### **CONCLUSIONS :**

Nous avons tenté, à travers ce travail, de montrer que la modernisation de l'agriculture peut se raisonner aussi en termes de réutilisation des sous-produits d'épuration. Nos travaux ont apporté des précisions analytiques sur la nature des eaux épurées et des boues de la station d'épuration de la ville de Boumerdes.

L'utilisation des sous-produits d'épuration dans l'irrigation des cultures et l'épandage agricole contribue à augmenter les réserves d'eau destinées à l'agriculture permettant ainsi d'augmenter le rendement des cultures. Les analyses physico-chimiques des eaux épurées et des boues révèlent une conformité de la majorité des paramètres physico-chimiques aux normes de réutilisation de ces eaux en irrigation, ainsi que les boues en épandage agricole.

Les boues de la station d'épuration de Boumerdes peuvent fournir une fraction appréciable de matière organique.

La fourniture d'éléments minéraux par la décomposition de la matière organique est un facteur important pour la production végétale ainsi que l'entretien de la qualité du sol.

L'examen des analyses concernant les métaux lourds effectuées sur les échantillons de boues de la station d'épuration de Boumerdes, ne révèlent aucune contre-indication par rapport aux normes.

L'utilisation de ces boues sur le sol serait très avantageuse, car elle permet non seulement d'apporter des quantités non négligeables de matières organiques ( $\approx 30\%$ ) et minérales (Ca, Mg, K, P, ..... ) au sol mais également de préserver la fragilité écologique des sols et la reconstitution du complexe argilo-humique indispensable à la fertilité du sol.

### **RECOMMANDATIONS :**

Sensibilisation des citoyens et l'agriculteur sur ce projet;

Les boues résiduelles peuvent être utilisées en agriculture, cette solution constitue non seulement une manière élégante d'éliminer un déchet mais elle représente pour l'agriculteur un grand avantage dû à l'apport de matière organique et de fertilisants minéraux, azote et phosphore

## Références Bibliographique

- [1] Etude des paramètres physico-chimique de la station de Boumerdes/ PFE: université Boumerdes
- [2] Manuel d'exploitation de la station d'épuration de Boumerdes.
- [3] : Les boues d'épuration et leurs perspectives de gestion en Île-de-France, Rapport préparé par M. Guy Atlan, Au nom de la commission Agriculture, environnement, Ruralité, Adopté par le CESR.
- [4] : [www.cieau.com](http://www.cieau.com)
- [5] : M. LADJEL FARID: exploitation d'une station d'épuration à boues activées (ONA) - centre de formation au métier de l'assainissement- CFMA de Boumerdes, en Algérie.
- [6] : Les boues d'épuration et leurs perspectives de gestion en Île-de-France, Rapport préparé par M. Guy Atlan, Au nom de la commission Agriculture, environnement, Ruralité, Adopté par le CESR.
- [7] : Le maire et les boues d'épuration, Rédigé par Emmanuel ADLER ACONSULT, email : [aconsult@wanadoo.fr](mailto:aconsult@wanadoo.fr)
- [8] : LE DEGREMONT- MEMENTO Régénie biologie des eaux usées-;chapitre4: processus élémentaire du génie biologie de traitement de l'eau. Ed lavoisier, 1989
- [9] : Mr M .Nakib : contribution à l'étude des possibilités d'utilisation des eaux et des boues d'épuration dans l'agriculture : cas des effluents urbains et de laitières
- [10] :Canler, J.P., (1999).'' Dysfonctionnements biologiques des stations d'épuration ; origines et solutions''. FNDAE n°33, 101 pages.
- [11] : Kettab A., 2000. *Les ressources en eau en Algérie : stratégies, enjeux et vision*. Conférence sur les stratégies de dessalement dans les pays du Sud méditerranéen, Djerba, pp 25-33.
- [12] : Kettab A., Metiche R., Bennacar N.,2008. *De l'eau pour un développement durable : enjeux et stratégies* , *Science de l'Eau.*, 21 : 247-256.
- [13] : Karef S., Kettab A., Nakib M., 2013. Characterization of byproducts from wastewater treatment of Medea (Algeria) with a view to agricultural reuse, Desalination and Water Treatment, DOI: 10.1080/19443994.2013.848332, p1-7

**Annexe I : Les Spécifications Des Eaux Usées Epurées Utilisées A Des Fins D'irrigation- Paramètres biologiques (Source : MRE)**

Groupes De cultures	Paramètres microbiologiques	
	Coliformes Fécaux (CFU /100 ml) (moyenne géométrique)	Nématodes intestinaux (œufs / l) (moyenne arithmétique)
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Irrigation non restrictive</li> <li>❖ Culture des produits pouvant être consommés crus</li> </ul>	< 100	Absence
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Légumes qui ne sont pas consommés que cuits</li> <li>❖ Légumes destinés à la conserverie ou à la transformation non alimentaire</li> </ul>	< 250	< 0,1
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Arbres fruitiers <sup>(1)</sup></li> <li>❖ Cultures et arbustes fourragers <sup>(2)</sup></li> <li>❖ Cultures céréalières</li> <li>❖ Cultures industrielles <sup>(3)</sup></li> <li>❖ Arbres Forestiers</li> <li>❖ Plantes florales et ornementales<sup>(4)</sup></li> </ul>	Seuil recommandé < 1000	< 1
Les cultures du groupe précédent (CFU / 100 ml) utilisant l'irrigation localisée <sup>(5)</sup> <sup>(6)</sup>	Pas de norme recommandée	Pas de norme recommandée

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

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

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

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

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

<sup>(6)</sup> A condition que les ouvriers agricoles et la population alentour maîtrise la gestion de l'irrigation localisée

**Annexe II : Les Spécifications Des Eaux Usées Epurées Utilisées A Des Fins  
D'irrigation- les éléments toxiques (Source : MRE)**

Eléments Toxiques	Aluminium	20
	Arsenic	2
	Béryllium	0.5
	Bore	2
	Cadmium	0.05
	Chrome	1
	Cobalt	5
	Cuivre	5
	Cyanures	0.5
	Fluor	15
	Fer	20
	Phénols	0.002
	Plomb	10
	Lithium	2.5
	Manganèse	10
	Mercure	0.01
	Molybdène	0.05
	Nickel	2
	Sélénium	0.02
	Vanadium	1
Zinc	10	