

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique
Département de Génie de l'Environnement



Mémoire de projet de fin d'études
pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie de
l'Environnement

Thème :

Caractérisation des boues de la STEP de Réghaia

Réalisée par

M^{elle} AMOUCHE Manel

Sous la direction de Mr. NAMANE Maître de conférences à l'ENP

Présenté(e) et soutenue publiquement le (18/06/2016)

Composition du Jury :

Président : Mme. A. HELLAL	Pr	ENP
Promoteur : Mr. A. NAMANE	MCA	ENP
Co-promoteur : Mr. I. BELKAID	Doct	ENP
Examineur : Mme O.HAOUCHINE	MCA	ENP

ENP 2016

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

A ma grande mère qui n'a jamais cessé de ménager ses efforts pour que j'atteigne ce niveau. Ses sacrifices et privations ne l'ont pas empêché d'accomplir son devoir soucieux de l'avenir de ses enfants.

A mon cher papa qui a su se montrer patient, compréhensif et encourageant, sa chaleur paternelle a été et sera toujours pour moi d'un grand réconfort.

A ma mère, et mes frères Mohammed, Youcef et mes sœurs Asma, Yousra, Dounia et Fatima qui est la joie de la maison.

A mon fiancé qui été toujours à mes côtés et qui n'a jamais cessé de me soutenir et de m'encourager : Jamais de simples mots ne me permettront de vous exprimer mes remerciements.

A ma grande famille, grand et petit.

A ma chère amie Sara qui me tient beaucoup.

A tous mes ami(e)s de la promotion durant mes années universitaires de 2011 à maintenant.

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Allah tout puissant de m'avoir aidé à réaliser ce discret travail

Je remercie très chaleureusement mon encadreur Mr. NAMANE, en qui j'ai trouvé un maître compréhensif, humain. Sa rigueur intellectuelle, et surtout ses corrections, ses conseils, ses critiques ont beaucoup apporté à mon travail. Tout ce travail n'aurait abouti sans ses encouragements et son soutien constants;

Je tiens à remercier mes chers enseignants d'avoir accepté de lire ce travail et de faire partie des membres du jury;

J'adresse un merci affectueux aux doctorantes Hadjer et Amira pour leur soutien inconditionnel.

A tous mes amies et mes proches qui ont toujours considéré ma réussite est leurs succès

A la mémoire de mes chers qui m'ont quitté qui ne peuvent pas assister à mon premier pas vers la réussite.

Enfin, cordialement, je remercie l'ensemble de mes professeurs du département génie de l'environnement à l'école nationale polytechnique

Résumé/ Abstract/ ملخص

ملخص

تمت دراسة العديد من المعلمات الفيزيائية والكيميائية في هذا العمل: النسبة المئوية للمادة الجافة، إمكانية الهيدروجين، الموصلية الكهربائية، المواد العضوية، محتويات النتروجين الكلي، الفسفور، البوتاسيوم، المغنيسيوم، ومحتوى المعادن الثقيلة في الهيدروكربونات البترولية و كذلك بعض التحاليل الميكروبيولوجية.

دراسة حمأة الصرف الصحي لرعاية تكشف امتثال غالبية المعلمات الفيزيائية والكيميائية لمعايير إعادة استخدام هذه الحمأة في الزراعة باستثناء بعض المعادن الثقيلة التي تتجاوز معيار NF U44-051 خاصة الكروم.

كلمات مفتاحية: التقييم، الحمأة، الزراعة، المعادن الثقيلة.

Abstract

Several physicochemical parameters were studied in this work : the dry content , pH, electrical conductivity , organic matter, and the contents of total nitrogen, phosphorus , potassium and magnesium , the heavy metal content in petroleum hydrocarbons and some microbiological analyzes .

The study of sewage sludge of Réghaia reveals compliance of the majority of the physico-chemical parameters reuse standards of sludge in agriculture except some ; heavy metals that exceed the standard NF U44-051 including chromium.

Keywords: Valorization, sludge, agriculture, heavy metals.

Résumé

Plusieurs paramètres physico-chimiques ont été étudiés au cours de ce travail : la siccité, pH, conductivité électrique, matière organique, ainsi que les teneurs en Azote total, Phosphore, Potassium, Magnésium, les teneurs en métaux lourds, en hydrocarbures pétroliers et aussi certaines analyses microbiologiques.

L'étude des boues d'épuration de Réghaia révèle une conformité de la majorité des paramètres physico-chimiques aux normes de réutilisation de ces boues en agriculture sauf certains ; les métaux lourds qui dépassent la norme NF U44-051 notamment le Chrome.

Mots-clés : Valorisation, boues, agriculture, métaux lourds.

TABLE DES MATIERES

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des photos

Abréviations

Introduction générale.....14

Chapitre 1 : Généralités et Traitement des boues

1.1. Généralités sur les boues.....17

1.1.1 La boue, définition et production.....17

1.1.2. Composition.....17

1.1.2.1. Eléments fertilisants18

1.1.2.2. Eléments traces métalliques.....18

1.1.2.3. Polluants organiques et émergents.....18

1.1.2.4. Les germes, les parasites.....18

1.2. Traitement des boues.....21

1.2.1. Epaissement.....22

1.2.2. Stabilisation22

1.2.3. Déshydratation.....25

1.2.4. Hygiénisation.....27

Chapitre 2 : Valorisation et Elimination des boues

2.1. Mise en décharge.....29

2.2. Rejet des boues dans haute mer.....29

2.3. Dépôt en centre de stockage.....29

2.4. Séchage et Incinération.....30

2.5. Compostage.....31

2.6. Valorisation agricole (épandage).....33

Chapitre 3 : Risques sanitaires

3.1. Risques biologiques.....	38
3.2. Risques chimiques.....	40
3.2.1. Risques liés à la présence d'éléments traces métalliques (ETM).....	40
3.2.2. Risques liés à la présence de composés traces organiques (CTO).....	42

Chapitre 4 : Description du fonctionnement de la STEP.....44

4.1. Description d'une station d'épuration classique.....	45
4.2. La station d'épuration de Réghaia.....	45
4.2.1. Localisation de la station d'épuration.....	46
4.2.2. Caractéristiques de la station.....	46
4.2. 3.Fonctionnement de la station d'épuration.....	47

Chapitre 5 : Caractéristiques physico-chimiques des boues de Réghaia

5.1. La matière organique.....	55
5.2. Le rapport C/N.....	56
5.3. La richesse en fertilisants.....	56
5.4. Les éléments traces métalliques.....	58
5.5. Les oligo-éléments.....	62

Chapitre 6 : Description des échantillons et des méthodes analytiques

6.1. Méthode d'analyse des boues	66
6.2. Principe d'analyses	67
6.2.1. La Matière sèche (MS).....	67
6.2.2. La siccité.....	68
6.2.3. La Matière volatile sèche (MVS).....	68
6.2.4. Le Potentiel Hydrogène (pH).....	69
6.2.5. La Conductivité électrique.....	70
6.2.6. Analyses des hydrocarbures pétroliers totaux.....	71
6.2.7. Analyse microbiologique des boues.....	72

Chapitre 7. Résultats et discussions

7.1. Le potentiel Hydrogène.....	76
7.2. La siccité.....	77
7.3. Matière volatile sèche.....	78
7.4. La conductivité.....	79
7.5. Les composés traces organiques CTO.....	80
7.6. Les analyses microbiologiques.....	81
Conclusion et Recommandations.....	84
Références bibliographiques.....	86
Annexes.....	91

Liste des tableaux

Tableau 1.1: Les différentes catégories de microorganismes pathogènes isolés des boues d'épuration.....	17
Tableau 1.2: Qualité des boues des eaux d'égout pour une teneur en eau décroissante.....	23
Tableau 2.1: Teneurs et flux des éléments traces pour les boues en France selon l'arrêté du 8 janvier 1998.....	30
Tableau 2.2: Teneur moyenne en éléments fertilisants dans les boues d'épuration, en % de MS.....	31
Tableau 2.3 : Appréciation des différentes textures de boues en valorisation agricole.....	31
Tableau 2.4: Teneurs limites en composés-traces organiques dans les boues en France.....	32
Tableau 3.1 : Principaux agents pathogènes pour l'homme et/ou l'Animal d'intérêt sanitaire pouvant être retrouvés dans les boues Résiduaires.....	36
Tableau 3.2 : Dose minimale infectante des principaux agents pathogènes des boues résiduaires.....	37
Tableau 5.1 : Caractéristiques des boues d'épuration de Réghaia, du fumier de bovins et du compost urbain.....	52
Tableau 5.2:Teneur en éléments fertilisants dans les boues d'épuration de Réghaia, en % de MS.....	55
Tableau 5.3 : Les Analyses des métaux lourds de la boue de la station de Réghaia pour l'année 2015 (Norme NF U44-051-Amendements organiques, 2006).....	56
Tableau 5.4 : Apports des métaux lourds en dépassement en comparaison avec la norme NFU44-051 et les doses limites de boue applicable au sol.....	56
Tableau 5.5 : Teneurs des oligoéléments dans les boues de Réghaia (2015).....	59
Tableau 6.1 : Dates des prélèvements des échantillons des boues de Réghaia	63
Tableau 7.1 : Résultats d'analyse du pH.....	73
Tableau 7.2 : Résultats d'analyse de la siccité.....	74
Tableau 7.3 : Résultats d'analyse de l'MVS.....	75
Tableau 7.4 : Résultats d'analyse de la conductivité électrique.....	76
Tableau 7.5: Résultats des analyses des hydrocarbures de la boue de la station de Réghaia.....	77
Tableau 7.6: Résultats des analyses microbiologiques (dénombrement des FMAT de la boue de la station de Réghaia-2016).....	79

Liste des figures

Figure 1.1: Les filières de traitement et d'élimination des boues d'épuration.....	18
Figure 1.2: Schéma du principe de la digestion aérobie.....	20
Figure 1.3: Schéma du principe de la digestion anaérobie.....	21
Figure 1.4: Principe d'une centrifugeuse.....	24
Figure 2.1: Etapes biologiques du compostage, pouvant être précédées et suivies de traitements mécaniques et/ou physicochimiques divers.....	28
Figure 4.1: Schéma d'une station d'épuration.....	41
Figure 7.1: Variation du pH des boues de STEP de Réghaia.....	73
Figure 7.2: Variation de la siccité des boues de STEP de Réghaia.....	74
Figure 7.3: Variation de la matière volatile sèche des boues de STEP de Réghaia.....	73
Figure 7.4: Variation de la conductivité électrique des boues de STEP de Réghaia.....	76
Figure 7.5: Variation de taux des hydrocarbures pétroliers totaux dans les boues de STEP de Réghaia (2016).....	78
Figure 7.6: Evolution des FMAT de boue de STEP de Réghaia.....	79

Liste des photos

Photo 4.1: Vue de dessus de la STEP de Réghaia.....	42
Photo 4.2: Bassin d'orage.....	44
Photo 4.3: Dégrilleur Automatique.....	45
Photo 4.4: Bassin de dessablage-dégraissage.....	45
Photo 4.5: Décanteur primaire.....	46
Photo 4.6: Bassin d'aération.....	47
Photo 4.7: Clarificateur.....	47
Photo 4.8: Filtre vide et à l'arrêt, Filtre plein pendant le fonctionnement.....	48
Photo 4.9: Epaisseur.....	48
Photo 4.10: Silo à chaux.....	49
Photo 4.11: Bâche de stockage.....	49
Photo 4.12: Centrifugeuse.....	50

Abréviations

ADEME: L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

ANRED: Agence Nationale pour la récupération et l'élimination des déchets

COV: Composés Organiques Volatiles

CRD: Centre de Recherche et Développement

CTO: Composés Traces Organiques

DBO: Demande Biochimique en Oxygène

DCO: Demande Chimique en Oxygène

DHTP: Doses Hebdomadaires Tolérables à long terme

DMI: Dose Minimale Infectante

EPA: Environmental Protection Agency (United State)

ETM: Eléments Traces Métalliques

FMAT: Flore Mésophile Aérobie Totale

HAP: Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

IOM: Institute of Medicine

ISO: Organisation internationale de normalisation

MES: Matière en suspension

MM: matière minérale

MO: Matière Organique

MS: Matière Sèche

MVS: Matière Volatile Sèche

NF: Norme Française

NPP: Nombre le Plus Probable

NPPUC: Nombre le plus probable d'unités cytopathiques

ONA: Office National d'Assainissement

OTV: Omnium de Traitement et de Valorisation

PCB: Polychlorobiphényles

PEHD: Polyéthylène Haute Densité

pH: Potentiel Hydrogène

SNVI: Société Nationale des Véhicules Industriels (Algérie)

STEP: Station d'Épuration des Eaux Usées

TPH: Total Petroleum Hydrocarbons

UFC: Unité Formant Colonie

INTRODUCTION

Introduction :

Dans le contexte actuel du développement durable, la valorisation de déchets est au cœur des préoccupations environnementales (Segalen, 2014).

L'eau consommée ou utilisée par l'homme à l'échelle domestique ou industrielle génère inévitablement des déchets. Ces eaux usées sont généralement dirigées vers les stations d'épuration afin d'être traitées avant leur réintroduction dans le milieu naturel.

Leur traitement dans les stations permet de séparer une eau épurée d'un résidu, les boues (Jardé, 2005), qui sont composées d'eau et de matières contenant des substances minérales et organiques (Comité Sécurité Alimentaire d'APRIFEL, 2001).

Ces boues produites doivent être éliminées ou valorisées en respectant les contraintes réglementaires, environnementales, sanitaires, économiques voire psychologiques (Perez, 2009).

Pour évaluer cette aptitude, il faut déterminer quels traitements leur faire subir, estimer les risques de pollution et enfin connaître leurs possibilités de réutilisation (Hammadi et al., 2008). Les deux voies majeures sont la valorisation agricole et la valorisation énergétique, via l'incinération (Bennamoun et al., 2011).

En général les boues issues des systèmes d'épuration des eaux usées sont reconnues par leur pouvoir fertilisant, en termes de matière organique, d'azote, de phosphore et des oligoéléments. Néanmoins, elles peuvent aussi contenir des éléments traces métalliques (Cr, Zn, Cd, Ni, Pb...) ; des polluants organiques (PCB, HAP...) susceptibles de provoquer des effets nocifs sur les milieux récepteurs, et des polluants émergents (médicaments) qui sont classés parmi les 30000 substances chimiques produites à des quantités au-dessus des normes ; ce qui limiterait la valorisation agricole de ces boues et la nécessité de s'assurer de leur innocuité avant toute utilisation (EL-Fels, 2014).

Dans de nombreux pays, le choix des filières de traitement est orienté vers des filières de traitement par incinération, qui demeure prohibitif pour le contexte algérien.

De point de vue environnemental, l'incinération contribue au dégagement des gaz toxiques (NO, CO, CO₂...) et le plus grave est la transformation des nombreux composés (PCBs) en dioxines.

Cette étude a pour objectif d'apprécier les caractéristiques physiques et chimiques de ces sous-produits de l'épuration afin de leur élimination ou de leur valorisation, de mettre en évidence leur impact sur les différentes composantes de l'environnement et de prévoir des conséquences de leur utilisation sur la santé de l'homme.

Dans une première partie, nous mettons d'abord l'accent sur les propriétés (nature, origine...) des boues. Nous faisons un bref historique sur les traitements des boues ainsi que la destination finale de ces boues et nous précisons les différents risques sanitaires.

Finalement, nous décrivons le fonctionnement de la station d'épuration « Réghaia » et l'étude de quelques caractéristiques physico-chimiques.

Suivront dans une deuxième partie, une description des méthodes et des matériels utilisés pour la caractérisation des boues d'épuration.

Les résultats obtenus sont analysés et discutés en troisième partie, avant de conclure ce travail.

CHAPITRE 1 :
GENERALITES
ET TRAITEMENT DES BOUES

1.1. Généralités sur les boues :

1.1.1. La boue, définition et production :

Le terme « **boues** » est le terme générique employé pour caractériser les résidus ou sous-produits issus des procédés de séparation liquide-solide des installations de traitement et d'épuration des eaux usées résiduaires. La production de boues résulte d'un phénomène d'accumulation consécutif à trois phénomènes combinés et illustrés : la production de micro-organismes actifs ou morts, l'accumulation de matières en suspension minérales et l'accumulation de matière organique non biodégradable. Cette production de boue se développe sur une matière organique qui se trouve sous forme soluble, colloïdale (0,08 à 1 μm), supra-colloïdale (1-100 μm) et enfin particulaire (matières en suspension MES) (Perez, 2009).

Toutes ces boues nécessitent un traitement spécifique qu'elles soient recyclées, réutilisées ou remises dans le milieu naturel.

L'urbanisation et la protection de l'environnement rendent de jour en jour plus difficile le retour pur et simple sans conditionnement préalable de ces produits dans le milieu naturel. Le traitement des boues est devenu un corollaire inévitable du traitement de l'eau, et il nécessite des moyens techniques et financiers parfois supérieur au traitement des eaux usées.

1.1.2. Composition :

L'origine des eaux usées, la période de l'année, le type de traitement adopté, et le conditionnement pratiqué au sein de la station d'épuration sont les principaux paramètres qui influencent la composition des boues résiduaires. Ces dernières représentent un réservoir important de composés organiques, inorganiques (éléments fertilisants, éléments traces métalliques) et d'agents pathogènes (micro-organismes pathogènes, parasites...etc).

1.1.2.1. Eléments fertilisants :

D'importantes quantités en composés inorganiques usuels se retrouvent dans les boues à savoir : N, P, K, Ca et Mg. L'apport de ces composés au sol peut couvrir, en partie ou en totalité les besoins des cultures en Azote, en Phosphore, en Magnésium, Calcium et Potassium. Les éléments en traces tels que le cuivre et le zinc présents dans les boues sont aussi indispensables au développement des communautés du sol. Cependant la valorisation de ce résidu nécessite une bonne connaissance de sa valeur agronomique (EL-Fels, 2014).

1.1.2.2. Eléments traces métalliques :

L'essentiel des contaminations chimiques vient des rejets industriels et dans une moindre mesure des rejets domestiques (utilisation de solvants, déchets de bricolage, peinture...). Ces contaminants chimiques se retrouvent dans les boues à des très grandes concentrations. La présence des éléments traces métalliques (Al, As, Cd, Co, Cu, Hg, Mn, Pb et Se...) est variable dans une boue sous différentes formes chimiques. Ces composés sont toxiques à fortes doses, et sont non seulement non biodégradables mais ils ont tendance à s'accumuler dans les réseaux trophiques (EL-Fels, 2014).

1.1.2.3. Polluants organiques et émergents :

La matière fécale, les déchets ménagers, ainsi que les effluents industriels constituent l'origine des matières organiques dans les boues, telles que les protéines, les acides aminés, les sucres et les graisses, d'origine animale ou végétale et qui restent non toxiques. Avec l'essor et le progrès des méthodes analytiques, la présence de nouveaux produits inattendus « les contaminants émergents » a été décelée. Une multitude de ces polluants peuvent être contenus dans les boues ; notamment les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs), les pesticides principalement les organochlorés, les composés aliphatiques halogènes, les chlorobenzènes, les composés organiques volatiles (COV), les phénols, les dioxines... etc. (EL-Fels, 2014).

1.1.2.4. Les germes, les parasites :

Les boues de STEP sont connues par leur pouvoir de concentrer une très grande diversité d'organismes pathogènes (bactéries, virus, parasites...). Néanmoins un grand nombre de microorganismes est nécessaire au bon déroulement des processus d'épuration.

Compte tenu de la grande diversité d'agents pathogènes, il est difficile de détecter et de quantifier tous les germes. Il est donc nécessaire d'utiliser des organismes indicateurs afin d'évaluer l'efficacité d'hygiénisation du traitement (EL-Fels, 2014).

Chapitre 1 : Généralités et traitement des boues

Tableau 1.1: Les différentes catégories de microorganismes pathogènes isolés des boues d'épuration (Dumontet et al., 2001)

Bactéries	Virus	Helminthes	Protozoaires	Champignons	Levures
Salmonella spp.	Poliovirus	Ascaris lumbrocoides	Giardia lamblia	Aspergillus spp.	Candida spp.
Pseudomonas aeruginosa	Coxsackievirus	Trichuris sp.	Cyclospora cayetensis	Phialophora richardsii	Tricosporon spp.
Listeria monocytogenes	Echovirus	Hymenolepis sp.	Entamoeba histolytica	Geotrichum candidum	Cryptococcus neoformans
Campylobacter spp.	Parvovirus	Taenia saginata	Taxoplasma gondii	Tricophyton spp.	
Clostridium botulinum	Adenovirus	Toxocara (canis et cati)	Sarcocystis spp.	Epidermophyton spp.	
Clostridium perfringens	Reovirus	Diphyllobothrium latum	Cryptosporidium parvum		
Shigella spp.	Virus de l'hépatite A, C et E	Echinococcus granulosus	Encephalitozoon Intestinalis		
Mycobacterium spp.	Rotavirus	Ancylostoma duodenale	Vittaforma corneae		
Staphylococcus (souches coagulase positives)	Astrovirus	Necator amiricanus			
Streptococcus (souches beta hémolytiques)	Calicivirus				
Escherichia coli (souches entéropathogènes)	Coronavirus				
Yersinia enterocolitica	Norwalk-like calicivirus				
Bacillus anthracis	Virus adénoassociés				
Vibrio spp.	Virus Influenza				
Leptospira spp.	Polyomavirus (JC et BK)				
Aeromonas mobiles					
Arcobacter spp.					
Brucella spp.					

1.2. Traitement des boues :

Le traitement des eaux résiduaires est incomplet lorsqu'il n'inclut pas le traitement et la destination finale des boues. Si ces éléments ne sont pas correctement pris en compte, l'effort consenti en matière de dépollution peut être remis en question (Morau, 2006).

Le traitement et l'élimination des boues d'épuration constituent une part importante de l'investissement d'une station d'épuration et la part la plus lourde de l'exploitation (40 à 60% de l'ensemble du traitement des eaux usées) (Koller, 2004).

En résumé, on s'attachera lors du traitement à :

- réduire les volumes et éviter la fermentation (odeurs) ;
- limiter au maximum les risques pathogènes ;
- éventuellement réutiliser ce produit (valoriser).

L'ensemble des filières possibles est résumé en figure 1.1 :

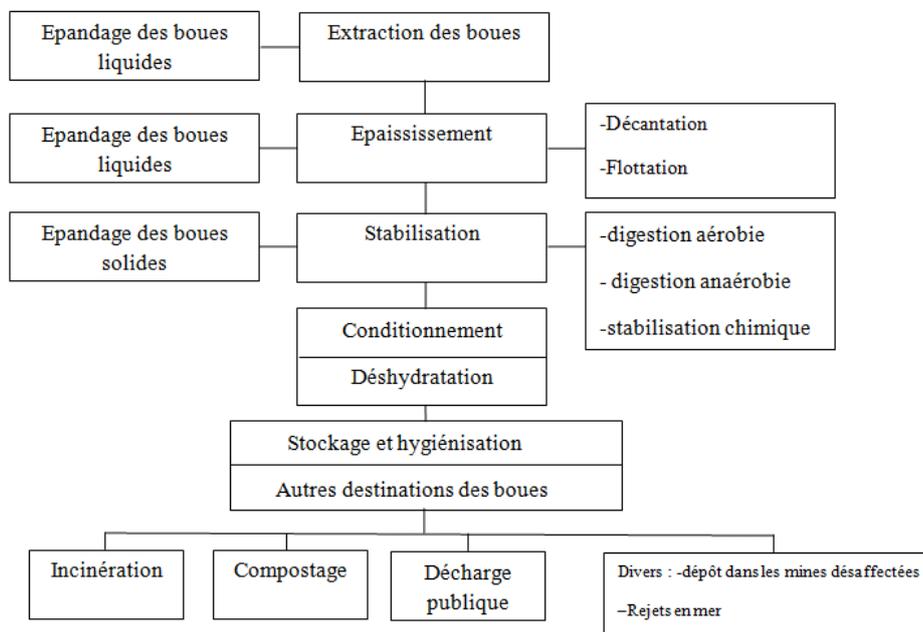


Figure 1.1: Les filières de traitement et d'élimination des boues d'épuration (Koller, 2004).

1.2.1. Epaissement des boues :

C'est le premier stade d'une réduction importante du volume des boues issues des traitements biologiques ou physico-chimiques des effluents urbains.

Les intérêts de l'épaissement sont multiples et l'on cite particulièrement :

- L'amélioration des conditions du fonctionnement et des performances de la digestion par suite (à capacité égale) d'une augmentation du temps de séjour des boues fraîches dans les digesteurs aérobies et anaérobies ;

- La réduction de volume des ouvrages de conditionnement et l'augmentation de la production de tous les dispositifs de déshydratation mécanique ;

- La création, dans le cas d'un épaissement par décantation, d'un volume tampon entre la chaîne de traitement de l'eau et celle des boues, qui permet d'améliorer notablement la sécurité d'exploitation (Koller, 2004).

Différentes techniques sont utilisées pour réaliser l'épaissement des boues :

- la décantation ou sédimentation gravitaire ;

- la flottation ;

- la décantation centrifuge.

1.2.2. Stabilisation des boues :

L'appellation de **boues fraîches** est en général donnée à des boues avant stabilisation, celle de boues **stabilisées**, ou de boues **digérées**, à des boues après stabilisation. L'usage ne veut que le terme 'digérées' soit le plus souvent réservé aux boues stabilisées par voie anaérobie (Degrémont, 1989).

Chapitre 1 : Généralités et traitement des boues

Les boues fraîches ont une très forte teneur en eau, et si elles ne sont pas traitées, elles passent très vite à la digestion acide. Leur déshydratabilité décroît très vite et génère de mauvaises odeurs, qui sont souvent l'objet de plaintes.

De plus, les boues fraîches sont riches en bactéries pathogènes et en œufs de parasites, donc dangereuses du point de vue hygiénique (Institut fresenius GmbH Taunusstein-Neuhof W.Fresenius, 1990).

1.2.2.1. La digestion aérobie :

Comme son nom l'indique, la digestion aérobie met en jeu des phénomènes biologiques essentiellement aérobies. C'est par une aération prolongée des boues, que l'on parvient à poursuivre le développement des microorganismes au-delà de la période de synthèse des cellules, et l'épuisement de substrat, jusqu'à réaliser leur auto-oxydation (mécanisme de respiration endogène).

Comme tout processus biologique, la stabilisation aérobie est fortement influencée par la température. La durée de séjour des boues en aération est au minimum de 10 jours à 20°C, et de 14 jours à 12°C (Koller, 2004).

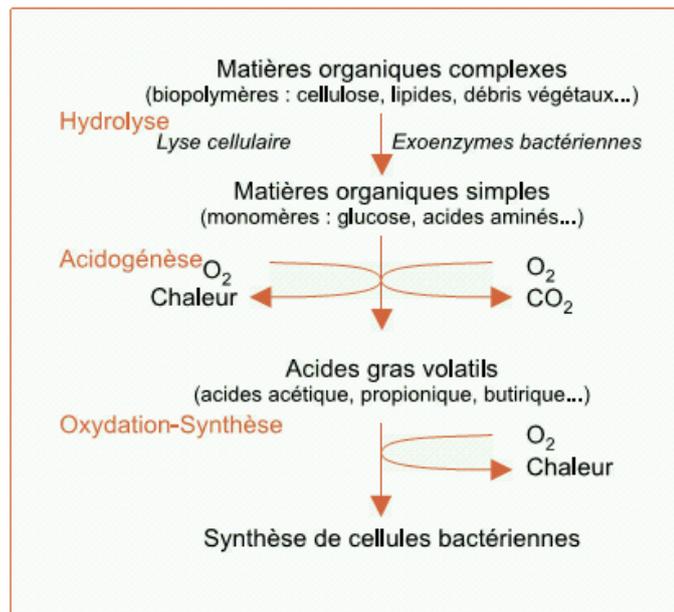


Figure 1.2 : Schéma du principe de la digestion aérobie (BAUDEZ et al., 1998)

1.2.2.2. La digestion anaérobie :

La digestion anaérobie, qui se réalise par fermentation méthanique des boues dans des cuves fermées (digesteurs), à l'abri de l'air, permet d'atteindre des taux de réduction des matières organiques de 45 à 50%.

On distingue, dans le mécanisme de la dégradation des matières organiques par voie anaérobie, deux phases qui coexistent lorsque le digesteur est alimenté en continu :

-Une **phase de liquéfaction**, pendant laquelle les matières organiques (protéines, graisses, glucides) sont dégradées par des enzymes extra et intracellulaires sécrétées par certaines bactéries et converties en molécules plus simples : acides aminés, acides gras et surtout acides volatils (formique, propionique, butyrique...) ;

-Une **phase de gazéification**, où les acides volatils sont consommés par des autres micro-organismes (bactéries méthaniques) et transformés, par l'intermédiaire d'enzymes intracellulaire, en eau, gaz carbonique et méthane, produits ultimes de la digestion.

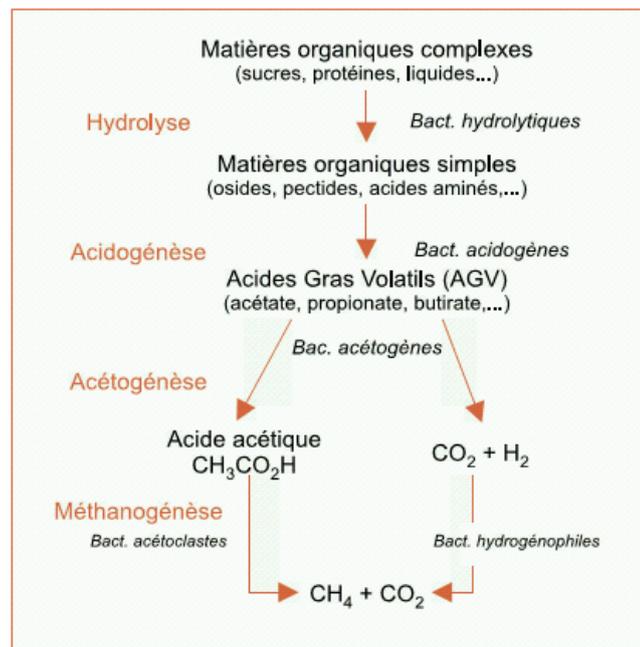


Figure 1.3 : Schéma de principe de la digestion anaérobie (BAUDEZ et al., 1998).

Une bonne digestion des boues se caractérise par :

- Un **pH** de la masse boueuse compris entre **6,8** et **7,8** ;
- Une concentration en **acide volatils** dissous inférieure à **1g/l** ;
- Une bonne production de gaz contenant **70%** de **méthane**, qui constitue en fait le véritable « baromètre » d'une installation de digestion (Koller, 2004).

1.2.2.3. Autres méthodes de stabilisation des boues :

L'arrêt des fermentations peut être obtenu également par voie chimique et thermique :

▪ Stabilisation chimique :

Elle est obtenue par adjonction massive de **chaux** aux boues. L'élévation du pH (supérieur à 10) a pour effet de bloquer les fermentations, en évitant ainsi les dégagements de mauvaises odeurs. Il est toutefois nécessaire, dans la plupart des cas, de déshydrater la boue après chaulage pour supprimer définitivement les nuisances.

▪ Stabilisation thermique :

-par pasteurisation des boues liquides par passage à la température de 70°C pendant une trentaine de minutes. A l'exception de quelques espèces susceptibles de sporuler, les germes bactériens sont détruits ;

-par séchage thermique partiel ou poussé, qui permet de conserver les matières organiques portées à une température de l'ordre de 80 à 100°C ;

-par autoclavage, c'est-à-dire cuisson des boues sous pression équilibrante à 180-220°C pendant une durée de 30 à 90 minutes (Koller, 2004).

1.2.3. Déshydratation des boues :

La déshydratation constitue la seconde étape de réduction du volume des boues au cours de laquelle on réalise sur les boues épaissies, stabilisées ou non, une élimination plus ou moins poussés de leur humidité résiduelle de façon à les amener à l'état solide ou tout au moins « pelletable ».

Chapitre 1 : Généralités et traitement des boues

La forte teneur en eau des boues d'épuration rend leur traitement compliqué ; c'est pourquoi il faut attacher beaucoup d'importance à la réduction de cette teneur en eau.

La diminution de cette eau entraîne également un changement de la qualité des boues (**tableau 1.2**).

Tableau 1.2: Qualité des boues des eaux d'égout pour une teneur en eau décroissante (Institut fresenius GmbH et al, 1990)

Teneur en eau	Qualité des boues
>85%	Liquides et pompables
75-65%	Consistantes, plastiques, boueuses, graisseuses
<65-60%	Solide-friable, non graisseuses
<40-35%	Epandables, solides et stable
<15-10%	Poussiéreuses

On peut avoir pour cela :

- à une déshydratation par drainage naturel (lits de séchage, sacs et bennes filtrants);
- à une déshydratation mécanique relevant de deux principes, la filtration et la centrifugation dont les techniques principales sont (Koller, 2004) :
 - La filtration sous dépression (filtres sous vide) ;
 - La filtration sous pression élevée (filtre-presse, filtre à bande presseuses) ;
 - La décantation accélérée (centrifugeuse),

Le principe de la centrifugeuse peut être assimilé à une sédimentation accélérée, en raison de l'augmentation artificielle du champ de gravitation par l'action de la force centrifuge (à environ 2000 g) (figure 1.4). La centrifugation est précédée d'un conditionnement à l'aide de polymères de synthèse aboutissant à une boue floculée (Baudez et al., 1998).

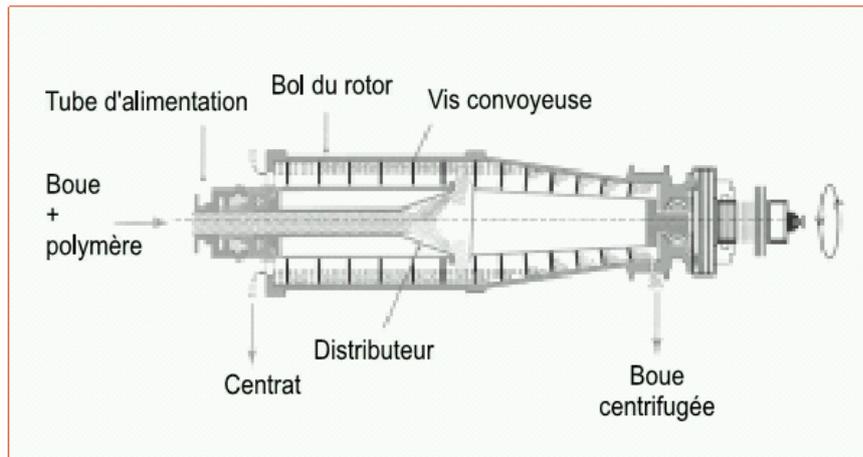


Figure 1.4 : Principe d'une centrifugeuse (BAUDEZ et al., 1998)

1.2.4. Hygiénisation des boues :

L'hygiénisation des boues permet d'obtenir un résidu dépourvu d'agents pathogènes et encourage un épandage contrôlé et sans risques. Elle est indispensable dans certains contextes d'épandages agricoles. Le chaulage représente un mode d'hygiénisation puisque les organismes potentiellement pathogènes sont rendus inertes par l'augmentation du pH (Pony, 2009).

La valorisation agricole des boues résiduelles, et toute forme d'usage permettant un retour au sol des boues, peut se faire après traitement à condition que devront présenter en sortie du processus les concentrations suivantes : (Conseil Supérieur d'hygiène publique de France, 1998)

Salmonella < 8 NPP/10 g MS*
Entérovirus < 3 NPPUC/10 g MS*
Œufs d'helminthes < 3/10 g MS*

*Concentration inférieurs au seuil de détection

CHAPITRE 2 :
VALORISATION ET
ELIMINATION DES BOUES

Les boues d'épuration sont des déchets de la civilisation, contenant des quantités variables de matières indésirables, par exemple des métaux lourds. C'est pourquoi la valorisation et l'élimination soulèvent toujours des difficultés.

2.1. Mise en décharge des boues d'épuration :

Si la valorisation des boues n'est pas possible, ces boues sont souvent mises en décharge. Les méthodes de mise en décharge peuvent être groupées en deux procédés :

- décharge unitaire : mise en dépôt des boues seules,
- décharge mixte : mise en dépôt commune des boues et des déchets solides (Institut fresenius GmbH, Taunusstein-Neuhof, W.Fresenius, 1990).

2.2. Rejet des boues dans haute mer :

Dans les pays côtiers, le transport par bateaux et le rejet des boues en haute mer sont envisageables, bien qu'une pareille solution soit discutable, étant donné que les mers ne peuvent pas recevoir des quantités illimitées de déchets.

Le droit international de l'environnement doté d'un ensemble de normes universelles, de la déclaration de Stockholm de l'agenda 21 et des conventions de protection du milieu marin et de toutes autres conventions.

La déclaration de Stockholm adoptée en juin 1972, cette convention qui ne présente pas de dispositions expresses de protection des eaux continentales relève du principe général de protection contre toute pollution selon lequel les rejets de matières toxiques ou autres ; cette déclaration a fait aussi des recommandations sur la coopération internationale dans le domaine de la protection des eaux continentales contre la pollution et les ressources en eaux en général (Dansou, 2008).

2.3. Dépôt en centre de stockage :

Le stockage prolongé des boues est reconnu pour abaisser leur charge en agents biologiques pathogènes. Toutefois, pour être efficace de ce point de vue, le stockage doit être très long (12 à 18 mois, voire davantage), (Wuart, 2002).

En France, le décret n°97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées stipule dans son article 8 que « des capacités d'entreposage aménagées doivent être prévues pour tenir compte des différentes périodes où l'épandage est soit interdit, soit rendu impossible. Toutes les dispositions doivent être prises pour que l'entreposage n'entraîne pas de gênes ou de nuisances pour le voisinage, ni de pollution pour les eaux ou des sols par ruissellement ou infiltration ».

Les boues solides doivent être entreposées sur une aire étanche, stabilisée avec récupération des jus et des lixiviats.

La couverture de l'ouvrage n'est pas systématique : elle n'est pas nécessaire pour les boues déshydratées par filtre presse par contre elle est vivement conseillée pour les boues déshydratées par centrifugation. Lorsque l'ouvrage est couvert, il est déconseillé de le fermer complètement.

Toutefois, s'il s'avère que l'ouvrage doit être fermé pour mettre en place un système de désodorisation, une ventilation de l'ouvrage suffisante doit être prévue en accompagnement (Direction régionale de l'environnement Nord – Pas de Calais, 2006).

2.4. Séchage et Incinération de boues :

Le **séchage**, terme généralement réservé au **séchage thermique**, consiste à évacuer par évaporation l'eau interstitielle présente dans les boues. Le séchage peut être partiel (teneur en eau résiduelle de 30 à 10 %) ou quasi total (teneur en eau de 5 à 10 %).

L'incinération conduit non seulement à l'élimination totale de l'eau interstitielle mais également à la combustion des matières organiques des boues. C'est le procédé permettant d'obtenir les résidus dont la masse est la plus faible : les cendres, constituées par les seules matières minérales de la boue (Degremont, 1989).

2.5. Compostage des boues d'épuration :

L'accroissement du nombre de STEP en Algérie s'accompagne de production de quantités non négligeables de boues d'épuration. L'objectif du traitement est de les valoriser par réutilisation à des fins agricoles, permettant ainsi d'enrichir les sols sans recourir à des engrais chimiques (Ladjet, Abbou, 2014).

Le compostage est un traitement biologique de déchets organiques permettant de poursuivre un ou plusieurs des objectifs suivants :

- stabilisation du déchet pour réduire les pollutions ou nuisances associées à son évolution biologique ;
- réduction de la masse du déchet ;
- production d'un compost valorisable comme amendement organique des sols (techniques de l'ingénieur, 2010).

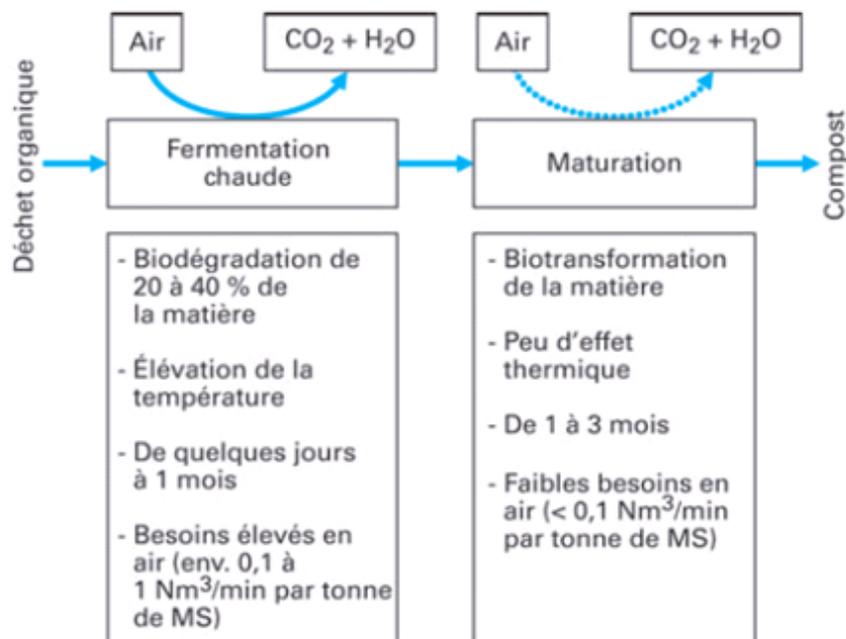


Figure 2.1 : Etapes biologiques du compostage, pouvant être précédées et suivies de traitements mécaniques et/ou physicochimiques divers (Techniques de l'ingénieur, 2010).

Chapitre 2 : Valorisation et Elimination des boues

Le procédé de compostage a différents avantages et utilités dont les principaux sont :

- Procédé biotechnologique, utilisant les potentialités microbiennes, pour transformer les substrats organiques, en un produit (appelé compost) stable et mature et exempt de toute phyto-toxicité.
- Une désodorisation parfaite due à la transformation de l'azote ammoniacal, responsable principale des odeurs, en azote organique par les micro-organismes.
- Il s'agit d'un amendement organique permettant d'améliorer la structure des sols, l'aération, le drainage et la minéralisation des composés organiques.
- Le compost possède d'autres propriétés comme la diminution de l'érosion des sols, l'augmentation de la capacité de rétention en eau ou l'amélioration des échanges gazeux (EL-Fels, 2014).
- Il permet aussi une remédiation de sols contaminés en augmentant la photo-dégradation de pesticides comme l'Irgarol ou en dépolluant un sol contaminé par du pétrole (Albrecht, 2007).

La normalisation et réglementation du compost :

Le tableau 2.1 montre les valeurs limites des métaux dans les boues selon l'arrêté du 8 janvier 1998 dans son Art 21.

Chapitre 2 : Valorisation et Elimination des boues

Tableau 2.1: Teneurs et flux des éléments traces pour les boues en France selon l'arrêté du 8 janvier 1998.

ETM	Teneur dans les boues	
	Valeurs limites (mg/Kg MS)	Flux maximum cumulé en 10 ans (g/m ²)
Cd	20*	0,03**
Cr	1000	1,5
Cu	1000	1,5
Hg	10	0,015
Ni	200	0,3
Pb	800	1,5
Zn	3000	4,5
Cr+Cu+Ni+Zn	4000	6

* 10 mg/kg MS à compter du 1er janvier 2004

** 0,015 g/m² à compter du 1er Janvier 2000

2.6. Valorisation agricole (épandage) :

De par leurs teneurs en éléments minéraux et organiques, les boues peuvent être utilisées comme substituts d'engrais en agriculture. Il s'agit de distinguer la valeur humique des boues de leur valeur fertilisante. La première est représentée par le taux de matières organiques ne subissant pas de minéralisation, la seconde par l'apport en Azote, Phosphore, Potassium, Calcium, Magnésium et certains oligo-éléments. Le rapport C/N définit le potentiel de minéralisation. Plus celui-ci est faible, plus la minéralisation est rapide. Le Tableau 2.2 reprend les teneurs moyennes caractéristiques des éléments fertilisants, exprimées sur base sèche.

Chapitre 2 : Valorisation et Elimination des boues

Tableau 2.2: Teneur moyenne en éléments fertilisants dans les boues d'épuration, en % de MS (Agence Nationale pour la récupération et l'élimination des déchets, 1988).

Azote total (exprimé en N)	1 à 8%
Phosphore (exprimé en P ₂ O ₅)	2 à 7%
Soufre (exprimé en S)	0.8 à 1.5%
Calcium (exprimé en CaO)	2 à 8% 10 à 30% si chaulage des boues
Magnésium (exprimé en Mg)	0.3 à 1%
Potassium (exprimé en K ₂ O)	< 1%
Sodium (exprimé en Na)	< 1%

Pour une valorisation par épandage, deux éléments – clés doivent être pris en considération :

- Le degré de stabilisation de la boue
- La texture de la boue : liquide, pâteuse, solide ou sèche. (Tableau 2.3)

Les contraintes d'odeurs, les exigences sanitaires et la qualité physique de la boue constituent des conditions fondamentales pour que l'épandage agricole soit possible (Morau, 2006).

Tableau 2.3 : Appréciation des différentes textures de boues en valorisation agricole [Source OTV]

Nature de la boue	Stockage	Epannage	Intérêt pour l'agriculture
Boue liquide	-	+	+
Boue pâteuse	-	-	+
Boue solide			
-Boue chaulée	+	++	++
-Boue compostée	++	++	+++
Boue séchée	++	++	+++

On distingue trois familles d'éléments ou composés pouvant altérer la qualité des boues destinées à l'épandage :

Chapitre 2 : Valorisation et Elimination des boues

• **Les éléments traces métalliques** et plus particulièrement les métaux lourds (Cd, Hg, Pb). Certains de ces métaux se classent dans la catégorie des oligo-éléments (Zn, Cu) et sont utiles à la croissance végétale. Cependant, en teneurs trop élevées, ils deviennent toxiques. Quant aux métaux lourds, les risques pour la santé sont aujourd'hui bien connus. Les teneurs admises sont précisées dans les textes réglementaires.

• **Les polluants organiques :**

Les polluants organiques sont des produits chimiques (hydrocarbures, détergents.) qui sont plus ou moins dégradés par l'activité microbologique du sol. Leur présence dans les boues d'épuration est à des teneurs faibles de l'ordre du $\mu\text{g}/\text{kg}$ de MS. Cependant, au même titre que les ETM, les polluants organiques, peuvent devenir toxiques pour les micro-organismes des sols à haute dose ; or ces derniers sont indispensables à la fertilité des sols. Ces polluants organiques, qui sont très peu ou pas toxiques pour les plantes (ils ne sont pas assimilables ou partiellement assimilable), se retrouvent comme contaminants superficiels dans les pâturages, prairies, etc. et représentent donc un vrai risque de toxicité pour les humains et les animaux d'élevage (Dudkowski, 2001).

Tableau 2.4: Teneurs limites en composés-traces organiques dans les boues en France selon l'arrêté du 8 janvier 1998 (Art 21).

Composés-traces	Valeur limite dans les boues (mg/kg MS)	Flux maximum cumulé par les boues en 10 ans (mg/m^2)
Total des 7 principaux PCB *	0,8	1,2
Fluoranthène	5	7,5
benzo(b) fluoranthène	2,5	4
benzo(a)pyrène	2	3

* PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180

- **Les micro-organismes pathogènes :**

Les boues d'épuration peuvent être porteuses d'agents pathogènes car même après une digestion, les boues ne doivent pas être mises en contact directe avec des végétaux susceptibles d'être consommés crus. Les agents pathogènes les plus probables de trouver dans des boues sont : des bactéries (Salmonelles), des virus (l'Hépatite B), des protozoaires (Entamibes) et des helminthes (Ascaris). Une hygiénisation à la chaux permet de réduire considérablement le nombre de pathogène et ainsi minimiser les risques de contamination (Stadelman, 2002).

CHAPITRE 3 :

RISQUES SANITAIRES

L'accroissement du nombre de STEP en Algérie s'accompagne de production de quantités non négligeables de boues d'épuration. L'Algérie produit plus de 593 tonne/jour (Données ONA, 2013). Ces boues sont actuellement :

- soit mises en décharge ;
- soit épandues sur terrains agricoles et forestiers.

Le problème de l'élimination de ces boues va donc se poser de façon cruciale dans un proche avenir.

Dans cette optique, une nette augmentation du recyclage des boues en agriculture surtout devrait être observée car ces boues ont une composition qui permet de couvrir plus ou moins partiellement les besoins des végétaux en azote, phosphore.... Elles peuvent également contribuer avec leurs composés organiques au maintien du stock humique des sols.

Cette pratique traduit en revanche par un risque sanitaire qui demande à être correctement évalué et maîtrisé aussi bien sur le plan biologique (bactéries, virus, parasites...) que du point de vue chimique (éléments traces...) ou organique (HAP, PCB...).

3.1. Risques biologiques :

Les traitements usuels appliqués aux eaux et aux boues de station d'épuration permettant un abattement important mais non total de la charge microbiologique (Conseil Supérieur d'hygiène publique de France, 1998).

Tableau 3.1 : Principaux agents pathogènes pour l'homme et/ou l'Animal d'intérêt sanitaire pouvant être retrouvés dans les boues Résiduaire (d'après EPA, 1992).

+++ : très sensible ++ : moyennement sensible + : faiblement sensible
± : sensibilité douteuse - : non sensible

Chapitre 3 : Risques sanitaires

Catégorie		Pathologie	Cible		
			Homme	Animal	
Bactéries	Salmonella sp	Salmonellose	+	+++ (veaux et autres espèces)	
	Shigella sp	Dysenterie bacillaire	+	±	
	Yersinia sp	Gastroentérite	+	+	
	Vibrio cholerae	Choléra	+	-	
	Campylobacter jejuni	Gastroentérite	+	+	
	Escherichia coli (souches pathogènes)	Gastroentérite	+	+++ (toutes espèces)	
Virus	Virus Entériques	Virus de l'Hépatite A et E	±	-	
		Virus de Norwalk et apparentés	+	-	
		Rotavirus	+	+ (veaux, porcelets)	
	Entérovirus	Poliovirus	Poliomyélite	+	-
		Coxsackievirus	Méningite, Pneumonie, Hépatite	+	-
		Echovirus	Méningite, Paralyse, Diarrhée	+	-
		Réovirus	Infection respiratoire, Gastroentérite	+	±
		Astrovirus	Gastroentérite	+	-
		Calicivirus	Gastroentérite	+	-
	Parasites	Protozoaires	Cryptosporidium sp	Gastroentérite	+
Giardia intestinalis			Diarrhée	+	++ (chien)
Entamoeba histolytica			Dysenterie	+	
Balantidium coli			Diarrhée, Dysenterie	+	+ (porc)
Toxoplasma gondii			Toxoplasmose	+	+ (chat)
Helminthes		Ascaris lombricoïdes	Troubles gastro-intestinaux	+	-
		Trichuris trichiura	Diarrhée, Douleurs abdominales	+	-
		Toxocara sp	Diarrhée, Douleurs abdominales	+	+ (chien)
		Taenia sp	Nervosité, Insomnie, Troubles digestifs, Anorexie	+	+++ (bovin)
		Hymenolepis	Nervosité, Insomnie, Troubles digestifs, Anorexie	+	-

Tableau 3.2 : Dose minimale infectante des principaux agents pathogènes des boues résiduaires (Conseil Supérieur d'hygiène publique de France, 1998).

Micro-organismes	DMI*
Virus	10^2
Bactéries	10^2-10^6
Helminthes	1-10
Protozoaires	$10-10^2$

*DMI : dose susceptible de provoquer chez 100% des individus une infection.

On remarquera que les bactéries ont des DMI bien plus élevées que les virus et les parasites.

3.2. Risques chimiques :

Ces risques, contrairement aux risques micro biologiques, ne sont pas des risques immédiats mais des risques potentiels liés à l'accumulation à long terme. Parmi les composés réglementés, on distingue les éléments traces métalliques ETMs (arsenic, cadmium, chrome, nickel, plomb, zinc, mercure, sélénium...) et les contaminants organiques (benzo(a)pyrène, phtalates, PCB, dioxines...) (Conseil Supérieur d'hygiène publique de France, 1998).

3.2.1. Risques liés à la présence d'éléments traces métalliques (ETM) :

-L'ingestion du Plomb, Mercure, Cadmium peut entraîner des risques pour la santé. Pour interpréter l'évaluation de ce risque, plusieurs éléments sont à prendre en compte tels que le niveau de contamination alimentaire, la durée d'exposition, l'estimation des quantités ingérées et les valeurs limites d'exposition que constituent les doses hebdomadaires tolérables à long terme (DHTP).

Il faut aussi tenir compte de données métaboliques telles que le site de stockage (foie, tissu adipeux, système nerveux) ou la perte de poids de l'individu (lors d'un amaigrissement les quantités bio-disponibles peuvent augmenter et être secondairement sources potentielles de risque accru) (Comité Sécurité Alimentaire d'APRIFEL, 2001).

Dans cette partie, nous allons étudier la toxicité de certains métaux qui font l'objet de notre étude expérimentale, ces métaux sont : Le cadmium (Cd), Le chrome (Cr), Le plomb (Pb), Le zinc (Zn), Le Nickel (Ni).

1- Le Cadmium :

Parmi les effets sanitaires du Cadmium on peut citer :

-Les lésions rénales et le cancer du poumon figurant parmi les plus graves effets du Cadmium sur la santé (Kenney et al, 2003).

-Diarrhée, douleurs d'estomac et vomissements importants, fracture des os.

-Problème du système nerveux central, désordre psychologique (Miquel, 2001).

2- Le Chrome :

L'absorption du Chrome se fait par toutes les voies : respiratoire, digestive, transcutanée. Concernant sa métabolisme, le chrome est retrouvé au niveau sanguin en majeure partie dans les hématies, il se fixe sur le foie, les reins, l'os (en particulier la moelle osseuse, ce qui peut expliquer par les troubles sanguin observés chez les individus atteints de chromisme : anémie hyperleucocytose, éosinophilie), les phanères, les glandes endocrines en particulier l'hypophyse. Le chromisme peut se manifester par de l'eczéma de contact par sensibilisation, de l'asthme, des rhinites et des cancers broncho-pulmonaires et des cavités nasales (Thérèse et al, 2009).

3- Le Plomb :

Lorsque le Plomb pénètre dans le milieu sanguin, le métal est rapidement mobilisé à plus de 95 % par les érythrocytes puis distribué dans tous les organes mous. Il s'accumule dans le foie, les reins, le cerveau, le cœur et seuls 3 % environ restent dans le plasma sanguin (Goldberg et al, 1977).

Le plomb constitue un poison du système nerveux, et peut provoquer des dommages irréversibles dans le développement de l'enfant (Greenwood, Earnshaw, 1984).

4- Le Zinc :

Aucune toxicité n'a été signalée pour le Zinc d'origine alimentaire, bien que l'exposition professionnelle ou les interventions pharmacologiques puissent produire des symptômes (Schoomaker et al., 1978).

5- Le Nickel :

Les risques pour la santé humaine dus à l'exposition professionnelle à des composés du Nickel peuvent être divisés en trois catégories principales :

-allergies ;

-rhinites, sinusites et affections respiratoires ;

-Cancers des cavités nasales, des poumons et d'autres organes (Encyclopédie de sécurité et de santé au travail).

3.2.2. Risques liés à la présence de composés traces organiques (CTO) :

Les composés traces organiques sont des produits chimiques (hydrocarbures, détergents, restes de peintures et de solvants, produits de nettoyage ou de désinfection...) qui sont plus ou moins dégradés par l'activité microbologique du sol. Cependant, au même titre que les ETM, les CTO peuvent à haute dose, devenir toxiques pour les microorganismes des sols. Ils sont néanmoins indispensables à leur fertilité.

La réglementation a retenu comme indicateur deux composés résistants à la biodégradation :

- Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs),

-Les Polychlorobiphényles (PCB) (Comité Sécurité Alimentaire d'APRIFEL, 2001),

Les composés organiques peuvent se dégrader en des sous-produits volatils ; le risque d'inhalation pour les travailleurs dépend de la possibilité de ces composés à se concentrer dans l'atmosphère ambiante dans des locaux de compostage fermés non aérés (Henk Heida et coll, 1995).

CHAPITRE 4 :

DESCRIPTION DU FONCTIONNEMENT

DE LA STEP

4.1. Description d'une station d'épuration classique :

Une station d'épuration (STEP) est un ensemble d'installations et procédés où sont dirigées les eaux usées pour éliminer les différents polluants. Nous nous intéresserons particulièrement à une STEP type Boues Activées (Perez, 2009).

La **Figure 4.1** représente schématiquement les opérations rencontrées dans une station d'épuration.

Le prétraitement peut comporter un dégrillage, un dessablage et un déshuilage.

Le traitement primaire se limite à des opérations de séparation liquide-solide et liquide-liquide comme la décantation gravitaire et la flottation. Les boues primaires soutirées en pied de décanteur.

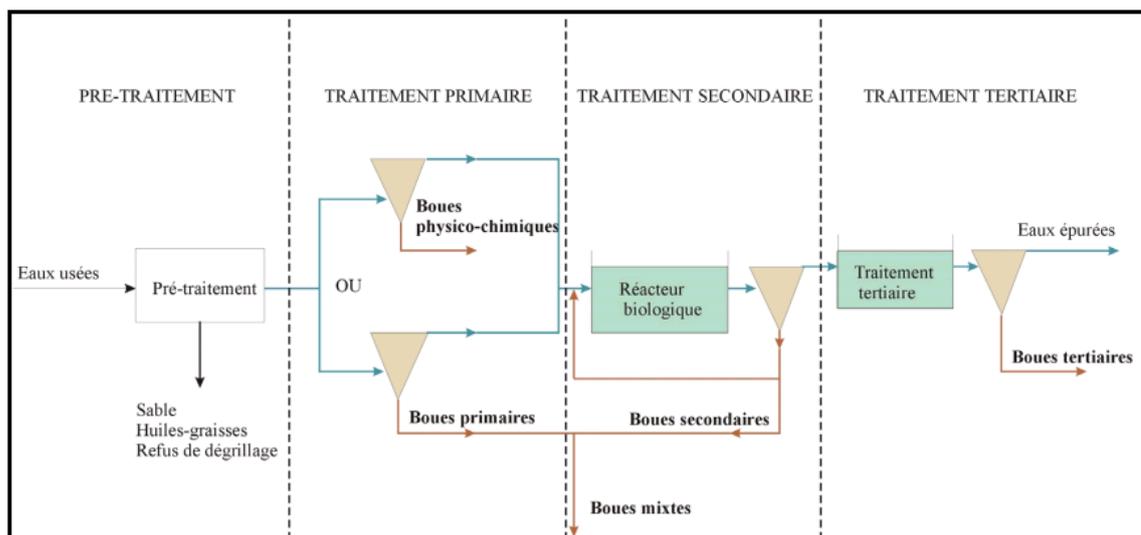


Figure 4.1 : Schéma d'une station d'épuration (Léonard, 2002).

Le traitement secondaire est essentiellement biologique et a pour but la dégradation des matières organiques biodégradables. L'assimilation de ces matières organiques par une flore de microorganismes produit des composés gazeux d'une part et de la biomasse d'autre part (croissance cellulaire). La biomasse produite en excès, la **boue secondaire**, doit être retirée du système afin d'assurer la continuité de l'épuration.

Ces boues sont très organiques (plus de 50% sur base sèche) et contiennent essentiellement des microorganismes et leurs sécrétions.

Le traitement tertiaire a pour but d'affiner l'épuration selon les qualités exigées pour l'eau rejetée. Les traitements tertiaires les plus courants sont la nitrification-

dénitrification et la dé-phosphatation. Dans ces deux cas, il s'agit également de procédés biologiques qui produisent des boues dites tertiaires. Dans certains cas, le traitement tertiaire a lieu au sein du réacteur biologique secondaire (par un séquençage dans le temps) et les boues secondaires et tertiaires sont confondues.

Jusqu'à ces dernières années, la majorité des stations ne comportaient pas de traitement tertiaire (Léonard, 2002).

4.2. La station d'épuration de Réghaia :

4.2.1. Localisation de la station d'épuration :

La station d'épuration de Réghaia est localisée au bord la mer méditerranée, l'installation est construite sur la rive gauche du lac de Réghaia.



Photo 4.1 : Vue de dessus de la STEP de Réghaia

Chapitre 4 : Description du fonctionnement de la STEP

4.2.2. Caractéristiques de la station :

La STEP de Réghaia est de type boues activées fonctionnant en faible charge ($C_m=0,17$ kg DBO/kg MVS/Jour), associée à une dénitrification en tête et une dé-phosphatation simultanée par injection du chlorure ferrique avec une capacité nominale de 400 000 Equivalent habitants. Elle est dimensionnée pour recevoir une quantité d'eau estimée à 80 000 m³/jour (Malek, 2014).

4.2.2.1. Caractéristique de l'eau à traiter :

La station d'épuration de Réghaia reçoit les eaux domestiques de la commune de Réghaia, Ain Taya, Rouïba, El Marsa, Bordj el Bahri, Bordj el Kiffan et H'raoua ainsi que les eaux usées de zone industrielle de Rouïba-Réghaia regroupant 130 usines et déversant au quotidien 20 000 m³ de déchets (Medarbel, Amrouche, 2012).

4.2.2.2. Données du STEP :

Paramètres	Entrée		Sortie	
	Concentration (mg/L)	Flux (T/j)	Concentration (mg/L)	Flux (T/j)
MES	249,5	20,0	20,0	1,6
DBO₅	197,5	15,8	15,0	1,2
DCO	357,0	28,6	50,0	4,0
Azote global	23,7	2,0	10,0	0,8
Phosphore global	6,3	0,5	3,0	0,2

Paramètres	Entrée
Débit moyen journalier	80 000 m ³ /j
Débit moyen horaire	3 333 m ³ /h
Débit de pointe de temps sec	5 022 m ³ /h
Débit de pointe de temps de pluie	8 118 m ³ /h

4.2. 3. Fonctionnement de la station d'épuration :

(Notice de Fonctionnement et d'Exploitation de la station d'épuration de Réghaia, 2013)

Arrivée des eaux brutes et l'ouvrage de Comptage :

Des réseaux du type mixte acheminent les eaux usées urbaines et industrielles vers l'entrée de la station. Ces eaux usées sont ensuite acheminées du bassin d'arrivée vers le bassin de comptage pour quantifier le débit journalier par mesure de hauteur d'eaux par deux sondes ultrasons en amont de deux canaux venturis ($2 \times 9360 \text{ m}^3/\text{h}$).

Un déversoir d'orage de volume 4000 m^3 a été installé pour la réception des eaux qui surpassent le débit de $8118 \text{ m}^3/\text{h}$, doté de deux pompes submersibles ($2 \times 180 \text{ m}^3/\text{h}$), quatre agitateurs et un déversoir vers le canal de BY-PASS au cas de trop plein.



Photo 4.2 : Bassin d'orage

Le bassin d'orage recueille les eaux d'entrées, lorsque le débit dépasse les capacités des collecteurs d'entrée (lors de crues).

Dégrillage :

Il consiste à faire passer les eaux usées au travers des grilles dont les barreaux retiennent les éléments solide (cotons tiges, morceaux de papier, de plastique, de bois...).



Photo 4.3 : Dégrilleur Automatique

Deux dégrilleurs automatiques sont montés dans les canaux, chacun est composé d'une grille courbée en acier galvanisé à nettoyage automatique par un peigne rotatif diamétral. Un contacteur à flotteur monté en amont enclenche le nettoyage du champ de grille.

En cas d'arrêt des dégrilleurs les eaux sont dirigés vers un dégrilleur manuel de secours à champ plat. Les refus sont envoyés vers une benne de stockage au moyen d'un tapis roulant.

Dessablage/Dégraissage :

Après l'élimination des déchets solide, les effluents sont ensuite admis dans trois canaux, pour subir une élimination combinée des graisses par flottation et des sables par sédimentation.



Photo 4.4 : Bassin de dessablage-dégraissage

Afin de maintenir en suspension les matières organiques, les canaux sont brassés à l'air en continu par insufflation d'air à partir des compresseurs. L'air est acheminé par des tuyauteries alimentant des diffuseurs installés au fond des bassins.

Dans le dernier tiers en aval ; chaque canal est équipé de trois aérateurs mécaniques immergés, produisant des micro bulles d'air particulièrement favorables à la flottation

Chapitre 4 : Description du fonctionnement de la STEP

des graisses. Ces derniers sont poussés par des racleurs vers une goulotte de récupération, puis dans une fosse de stockage.

Le sable décante dans la partie inférieure des canaux. Le mélange eau / sable est relevé au moyen d'air lifts et envoyés vers une goulotte. L'extraction du sable se fait soit par une vis d'Archimède soit par un classificateur à sable.

Décantation primaire :

La décantation est une séparation obtenue en laissant se déposer, sous l'effet de la gravité et de l'absence de mouvement, un solide ou un liquide en suspension au sein d'un autre liquide de densité inférieure.

Au terme de ce traitement, l'eau a perdu la plupart des matières en suspension mais elle est encore chargée de pollution dissoute.

L'alimentation du décanteur circulaire se fait en partie centrale. Une jupe de répartition assure une équi-répartition du volume sur l'ensemble de surface. Les boues décantées sont raclées et dirigées vers le puits à boue.



Photo 4.5 : décanteur primaire

Bassin d'aération :

Le bassin d'aération est le réacteur biologique dans lequel s'effectue la transformation de la matière organique par les microorganismes aérobies, associée à une dénitrification la pollution dissoute est transformée en gaz et biomasse.

Afin d'éviter la décantation des boues dans le fond de l'ouvrage, les aérateurs doivent brasser efficacement le contenu du bassin.



Photo 4.6 : Bassin d'aération

Clarificateur :

Le clarificateur est un ouvrage circulaire de base cylindro-conique, il assure la séparation de phase boues / eau traitée après le traitement biologique d'une part et la concentration des boues en vue de leur recirculation / extraction d'autre part.



Photo 4.7 : Clarificateur

Le mélange est admis dans une jupe appelée Clifford. L'eau épurée est évacuée par surverse, les boues sont récupérées sur le radier où une pente est aménagée pour faciliter leur reprise. Une lame siphonoïde évite le départ de flottants. Un pont racleur permet d'une part de récupérer rapidement les boues au fond de l'ouvrage et de les orienter vers le puits central et, d'autre part, de récupérer les flottants et de les diriger vers une fosse à écumes. Les boues sont reprises par des pompes de recirculation vers le bassin d'aération.

Filtration :

L'opération de filtration consiste à faire passer les eaux épurées sur un lit filtrant constitué de sable. Des impuretés restent piégées entre les espaces inter granulaires du sable.

Chapitre 4 : Description du fonctionnement de la STEP

Les particules de MES seront enlevées du matériel filtrant sous la force de l'air et des eaux propres envoyés dans le sens contraire d'écoulement des eaux destinées à la filtration et envoyées vers les clarificateurs.



Photo 4.8 : Filtre vide et à l'arrêt Filtre plein pendant le fonctionnement

Épaississement des boues :

L'épaississement consiste à réduire le volume de boues et l'augmentation de leur concentration par gravité. Les boues alimentent l'ouvrage au centre et se précipitent au fond de l'ouvrage sous l'effet de la gravité, tandis que le surnageant récupéré au niveau de la goulotte rejoint le poste toutes eaux. Les boues épaissies au fond de l'ouvrage sont menées vers les bassins de stockage.



Photo 4.9 : Épaississeur

Stabilisation chimique des boues :

Le chaulage consiste à amener et maintenir un pH supérieur à 12. Le pouvoir fermentescible de la boue peut être diminué, au moins temporairement, par l'adjonction de la chaux. Cette opération permet une inactivation des germes pathogènes.



Photo 4.10 : Silo à chaux

Le lait de chaux est transporté vers les jupes de tranquillisation des deux épaisseurs par deux conduites en PEHD, trois pompes doseuses dont une de secours assurent le dosage voulu.

Stockage des boues :

Les boues mixtes peuvent être stockées avant leur envoi vers la centrifugation, le stockage a pour but d'homogénéiser les deux types de boues produites au niveau de la STEP et ce par une agitation continue.



Photo 4.11 : Bâche de stockage

Déshydratation des boues par centrifugation :

La centrifugation des boues se base sur la différence de densité entre les matières sèches et l'eau qu'elles contiennent.

La boue arrive à la machine avec une certaine vitesse horizontale. La partie liquide traverse alors toute la centrifugeuse dans sa zone la plus centrale tandis que les matières solides restent plaquées contre le bol extérieur sous la force de sa vitesse de rotation.

Chapitre 4 : Description du fonctionnement de la STEP

La vis intérieure tourne dans le même sens que le bol mais à une vitesse plus importante pour récupérer les boues et les évacuer en sens inverse de l'eau jusqu' à la deuxième sortie de la machine.



Photo 4.12 : Centrifugeuse

Les centrifugeuses sont alimentées à partir des bâches de stockages.

Les boues déshydratées sont envoyées vers les bennes au moyen des tapis transporteuses ensuite sont envoyées vers 03 aires de stockage d'une capacité de 4600 m².

CHAPITRE 5 :

CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

DES BOUES DE REGHAIA

Chapitre 5 : Caractéristiques physico-chimiques des boues de Réghaia

Avec l'augmentation continue du volume d'eaux usées à assainir, les boues résiduelles d'épuration s'accumulent dans les stations. Il devient donc indispensable de pouvoir maîtriser leur stockage et leur éventuel transport en attendant leur valorisation énergétique ou agricole.

La valeur agronomique des boues est également à prendre en considération. On a évalué cette valeur grâce aux paramètres suivants :

5.1. La matière organique :

Les apports de boues d'épuration vont permettre d'accroître les sources en matière organiques dans le sol et donc enrichir ce dernier en carbone organique. Les composés organiques présents dans les boues vont permettre d'améliorer certaines propriétés du sol tel que la porosité ou la structure. Pour des sols particuliers (en conditions semi-arides), l'apport de boues augmente de façon importante les teneurs en matière organique, en azote, en carbone organique des sols, et améliore le niveau de la porosité et le taux d'humidité du sol (Jardé, 2005).

Les boues des stations d'épuration de Réghaia présentent une concentration de 34% en matière organique, traduisant une influence minérale des rejets industriels n'ayant pas subi de traitement en sortie d'usines (Nakib, 2015).

Tableau 5.1 : Caractéristiques des boues d'épuration de Réghaia, du fumier de bovins et du compost urbain (Nakib, 2015).

Paramètres	Réghaia	Fumier	Compost
MO %	34	-	33
C %	21,6	-	15
N %	1,45	1,5	1,15
C/N	14,89	16,45	13,15
P ₂ O ₅ %	2,2	0,8	1,05
K ₂ O %	0,05	1,35	1,1
MgO %	1,2	6,1	0,745
CaO %	-	1,1	5,75

5.2. Le rapport C/N :

Le rapport C/N d'une boue d'épuration permet d'apprécier qualitativement la capacité de minéralisation de l'azote organique contenu dans les boues. Plus ce rapport est élevé, plus la minéralisation de l'azote est lente, ça explique le fait que le carbone est utilisé par les microorganismes comme source d'énergie et qui il est converti en CO₂, alors que l'azote s'intègre essentiellement dans les tissus microbiens.

D'après les résultats d'analyse des boues d'épuration de Réghaia par Nakib (2015), ces boues renferment un rapport C/N supérieur à 12, donnent des boues susceptibles de provoquer un blocage temporaire d'azote en raison d'une stabilisation insuffisante, laissant un excès de carbone facilement fermentescible.

La valeur du rapport C/N est différente d'une station à l'autre à cause de la charge massique et du type de stabilisation des boues. Pour une charge massique moyenne de 0,25 kg DBO₅/kg MVS/jour au niveau de la station de Réghaia et une stabilisation chimique des boues au lait de chaux, le rapport C/N des boues est élevé. Les boues de la station de Réghaia, carencées en azote (1,45 N %MS), avec un rapport C/N de 14,89 juste à la limite proposée par Grimaud (1996), évoluent peu et risquent de prolonger l'immobilisation de l'Azote du sol.

Afin d'éviter le lessivage d'Azote, la boue doit être épanchée pendant la période de croissance des plantes, l'Azote est donc assimilé, et sa perte par volatilisation et percolation sera réduite.

5.3. La richesse en fertilisants :

L'Azote(N) :

L'Azote joue un rôle primordial dans le métabolisme des plantes en tant que constituant majeur des protéines. Il est essentiel pour la croissance des plantes.

Les teneurs en azote des boues de STEP de Réghaia restent comparables à celles de fumier et du compost, d'où l'intérêt de ce produit de fertiliser les cultures en N.

Chapitre 5 : Caractéristiques physico-chimiques des boues de Réghaia

Le Phosphore (P) :

Le Phosphore transporte l'énergie dans la plante. Il favorise la croissance générale de la plante, notamment du système racinaire et des tiges. En fin de végétation, il est stocké dans les organes de réserves pour servir au développement des futures pousses.

Les teneurs en phosphore représentent une valeur de 2,2% MS, elles dépassent 2 à 3 fois celles de fumier et de compost. Ces valeurs élevées dues au mode de conditionnement des boues de Réghaia. Leur floculation par la chaux Ca(OH)_2 conduit à la production de Phosphates insolubles (Lounici, 1992).

Le Potassium (K) : renforce la résistance des cultures aux maladies, à la sécheresse et au gel.

Les apports de potassium par les boues résiduelles de Réghaia sont négligeables, ils sont faibles en comparaison à celles du compost et du fumier, l'épandage de fortes doses de boues ne dispense donc pas l'agriculteur d'apporter un engrais minéral potassique.

Le Magnésium (Mg) :

La concentration de magnésium dans le sol peut varier de 0,05 % à 1,34 %. En effet, mesure que la concentration de magnésium décroît dans la solution du sol, le magnésium qui est attaché aux sites d'échange des particules de sol est libéré pour rétablir cet équilibre entre la solution du sol et les sites d'échange du sol. C'est le constituant central de la chlorophylle. Il participe aussi à des réactions enzymatiques liées au transfert d'énergie (Maba, 2007).

Les teneurs moyennes en Magnésium représentent 1,2 % MS, ces teneurs ont tendance à être très inférieures à celles du fumier mais plus élevées que celle du compost.

Chapitre 5 : Caractéristiques physico-chimiques des boues de Réghaia

Tableau 5.2: Teneur en éléments fertilisants dans les boues d'épuration de Réghaia, en % de MS (ANRED, 1988).

Paramètre	Boue de Réghaia	Teneur moyenne (ANRED, 1988)
Azote total (N) %	1,45	1 à 8
Phosphore (P ₂ O ₅) %	2,2	2 à 7
Calcium (CaO) %	-	2 à 8 10 à 30 si chaulage
Magnésium (MgO) %	1,2	0.3 à 1
Potassium (K ₂ O) %	0,05	< 1

Les boues de STEP de Réghaia représentent des teneurs acceptables en N, P, et K dans leurs valeurs fertilisantes en comparaison avec celles précisées par l'Agence Nationale pour la récupération et l'élimination des déchets 1998, en exception le Magnésium avec une valeur de 1,2 %.

5.4. Les éléments traces métalliques :

Quel que soit la destination finale des boues, la connaissance des teneurs en éléments-traces métalliques est primordiale, surtout en cas de valorisation.

Les éléments traces métalliques sont des polluants engendrés par l'activité humaine qui ont un fort impact toxicologique. Les métaux toxiques sont nombreux, mais on peut citer surtout l'arsenic, le cadmium, le plomb et le mercure. Ils ont des impacts sur les végétaux, les produits de consommation courante et sur l'homme.

Il a donc été nécessaire de réglementer les teneurs en éléments traces métalliques des boues d'épuration de Réghaia. Il existe aussi des teneurs limites des effluents en éléments traces métalliques comme nous le verrons dans cette partie. Les origines anthropiques des éléments traces métalliques sont diverses, on peut citer notamment l'industrie du traitement de surface (source : SNVI).

Les teneurs des métaux lourds de la boue de la station de Réghaia pour l'année 2015 ont donné les résultats suivants :

Chapitre 5 : Caractéristiques physico-chimiques des boues de Réghaia

Tableau 5.3 : les Analyses des métaux lourds de la boue de la station de Réghaia pour l'année 2015 (NORME NF U44-051-Amendements organiques, 2006).

	NFU44-051 (mg/kg MS)	Janvier-2015	Février-2015	Mars-2015	Avril-2015	Mai-2015	Juin-2015	Juillet-2015	Aout-2015	Septemb re-2015	Moyenne (mg/kg MS)
Cd	3	34	<4	4	8	<4	8	6,9	<4	8	5,54
Co	/	<4	36,4	12	12	28	<4	<4	48	72	24,48
Cr	120	993,2	1468	3472	2136	2580	2256	5967,9	7260	11816	4216,56
Cu	300	59,2	150	128	100	112	88	242,8	436	448	196
Fe	/	5560	6836	/	/	/	/	74296,3	/	/	28897,43
Mn	/	116	162,4	328	292	328	252	515,4	688	780	384,64
Mo	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Ni	60	102	39,2	128	80	92	76	74	164	148	100,35
Pb	180	71,6	28,064	232	240	224	112	148	556	520	236,85
Zn	600	4196	4240	7920	7356	10864	7168	18248,9	2676	21080	9305,43
Hg	/	0,08	0,08	0,08	2,6	/	0,1	/	0,06	0,05	0,435

Les teneurs en métaux lourds des boues d'épuration de la station d'épuration de Réghaia sont très élevées et dépassent souvent la norme NF U44-051. Cette pollution prend sa source au niveau de la zone industrielle de Rouiba-Réghaia, notamment le Chrome hexavalent et le zinc, émanant de l'unité industrielle SNVI, dont l'une des activités est le traitement de surface et galvanisation.

Tableau 5.4 : apports des métaux lourds en dépassement en comparaison avec la norme NFU44-051 et les doses limites de boue applicable au sol :

	Cadmium	Chrome	Nickel	Plomb	Zinc
Réghaia (2015) (mg/kg MS)	5,54	4216,56	100,35	236,85	9305,43
NFU44-051 (mg/kg MS)	3	120	60	180	600
NFU44-051 gr/ha/épannage	45	1800	900	2700	9000
Dose limite de boues T/ha.an	4,72	1,4	50,6	10,6	3,34
NFU44-051 gr/ha/10 ans	150	6000	3000	9000	30000
Dose limite de boues T/ha.10 ans	15,74	6,68	1 168,54	35,43	11,15

Chapitre 5 : Caractéristiques physico-chimiques des boues de Réghaia

Le Chrome constitue le facteur limitant le plus restrictif pour l'utilisation des boues d'épuration dans l'agriculture. Le chrome limite l'utilisation de ces boues à 1,4 T/ha.an, sans dépasser 6,68T/ha pour une utilisation sur 10 ans.

5.4.1. Le Cadmium :

Les sels de Cadmium sont employés dans la photographie, la fabrication des feux d'artifice, les caoutchoucs, la porcelaine, etc.

Les oxydes de Cadmium sont utilisés dans l'industrie chimique, pour la galvanoplastie, dans les accumulateurs électriques, comme stabilisants pour matières plastiques, et pigment pour émaux (Di Benedetto, 1997).

Toutes les concentrations de Cadmium dans les boues de Réghaia sont supérieurs à 3 mg /kg de MS (cette valeurs représente le seuil de la concentration de cadmium dans les boues).

5.4.2. Le Chrome :

Le Chrome, est utilisé sous forme de ferrochrome pour la production d'aciers inoxydables et d'alliages divers. Il est également employé comme pigment pour la peinture, le caoutchouc, le papier, l'encre d'imprimerie, ou encore pour le tannage des peaux. Le chromage est utilisé pour donner un aspect décoratif et assurer une bonne résistance à la corrosion atmosphérique (Di Benedetto, 1997).

Les concentrations de Chrome varient entre 993,2 et 11816 mg/Kg de MS. La valeur moyenne est 35 fois plus élevée que la valeur limite pour la valorisation agricole des boues (NF U44-051).

On enregistre pour le mois de septembre 2015, une valeur trop élevée dépassant 98 fois la norme NF U44-051.

5.4.3. Le Nickel :

On remarque que les concentrations de Nickel dans les boues de la station d'épuration de Réghaia dépassent le seuil fixé par la norme NF U44-051 de 60 mg/kg MS sauf une

Chapitre 5 : Caractéristiques physico-chimiques des boues de Réghaia

valeur de 39,2 mg/kg MS enregistrée le mois d'Avril 2015, avec une valeur maximale de 164 mg/Kg MS.

5.4.4. Le Plomb :

Les composés chimiques du Plomb sont importants pour leurs applications industrielles: matière active des accumulateurs, cristallerie, verrerie technique (tubes de télévision), fabrication des pigments, de peintures anticorrosion, de stabilisants pour les plastiques, de glaçures pour les céramiques et les poteries, etc. (Di Benedetto, 1997).

Les concentrations du Plomb dans les boues de la STEP de Réghaia oscillant entre 28,064 et 556 mg/kg MS et toutes les valeurs sont inférieure à 180 mg/kg MS valeur limite pour la valorisation agricole des boues dans les mois janvier, février, juin et juillet 2015 avec un dépassement de 197 % de la norme **NF U44-051** à 5 reprises à une moyenne de 354,4 mg/kg MS.

5.4.5. Le Zinc :

On remarque des dépassements de la concentration de Zinc pour tous les mois, un très grand pic est enregistré le septembre 2015 avec une valeur de 21080 mg/kg MS.

Les dépassements enregistrés sont toxiques, que ce soit pour l'être humain ou pour l'environnement.

5.4.6. La somme (Cr+ Cu+ Ni+ Zn) :

Nous constatons des dépassements pour tous les mois pour l'année 2015. La plus grande somme (Cr+ Cu +Ni + Zn) enregistrée est de 33492 (mg/ kg MS) pour le mois de septembre, dépassant environ de 31 fois la norme **NF U44-051** (1080 mg/kg MS).

Chapitre 5 : Caractéristiques physico-chimiques des boues de Réghaia

5.5. Les oligo-éléments :

Les effets toxiques des éléments traces métalliques (ETM) sur les végétaux ont été largement étudiés. Certains ETM sont des oligoéléments pour les plantes, c'est à dire qu'ils sont indispensables en faible quantité à la réalisation de certains processus vitaux (inférieure à 100 mg /kg MS). Ce sont le bore (B), le chlore (Cl), le calcium (Ca), le cuivre (Cu), le fer (Fe), le manganèse (Mn), le molybdène (Mo), le sodium (Na), le nickel (Ni) et le zinc (Zn). D'autres sont néfastes pour les processus biologiques (le plomb Pb, le mercure Hg et le cadmium Cd) (ADEME, 1995).

Tableau 5.5 : Teneurs des oligoéléments dans les boues de Réghaia (2015)

Elément	Moyenne
Fer (Fe) mg/kg MS	28897,43
Cobalt (Co) mg/kg MS	24,48
Manganèse (Mn) mg/kg MS	384,64
Cuivre (Cu) mg/kg MS	196

-Le fer (Fe) :

Oligoélément essentiel pour les plantes. Il est absorbé par les racines des plantes sous la forme d'ion ferreux Fe^{2+} . Sa concentration habituelle dans la matière sèche des plantes est de 100 mg/kg. Le fer joue un rôle dans la synthèse de la chlorophylle, la production des hydrates de carbone, la respiration cellulaire, la réduction des nitrates et des sulfates et l'assimilation de N.

Niveau critique : C'est la concentration de fer dans les sols ou les végétaux en dessous de laquelle le système sol/plante est considéré comme carencé en Fe et il convient alors d'appliquer du Fe afin d'augmenter de façon considérable le rendement. Le niveau critique dépend du sol, de la culture, de la variété et du rendement potentiel. De façon générale, le niveau critique du fer est estimé à 2,5 - 4,5 mg/kg de Fe.

Toxicité : Un état associé aux effets non désirés dus à un excès de fer dans les sols et les plantes, possible dans les sols très acides fortement réduits et dégradé (Selhani, 2009).

Chapitre 5 : Caractéristiques physico-chimiques des boues de Réghaia

-Le Cuivre(Cu) :

Le Cuivre est un Oligoélément qui intervient comme catalyseur dans de nombreuses réactions biochimiques au niveau de la cellule.

Le corps humain contient entre 75 et 100 mg de Cuivre, principalement stocké dans le foie et le cerveau.

Toxicité : Si le cuivre est, à très faible dose, un oligo-élément indispensable à la vie, à des doses plus élevées, il présente une action toxique importante pour l'environnement. Car le principal problème, c'est que le cuivre est un produit non biodégradable : il s'accumule et finit par atteindre des teneurs toxiques, notamment dans les sols, mais aussi, après lessivage par l'eau de pluie et transport par l'eau de ruissellement, dans les eaux des rivières et les sédiments.

La limite supérieure de l'apport quotidien tolérable pour le cuivre est fixée entre 1 mg/jour pour les jeunes enfants (de 1 à 3 ans) et 10 mg/jour pour les adultes (IOM, 2001).

On remarque que la concentration moyenne de Cuivre dans les boues de Réghaia est 196 mg/Kg MS largement inférieure à la **Norme NFU44-051** ; et il ne présente donc aucun danger pour la valorisation de ces boues dans l'agriculture.

- Le Cobalt (Co) :

Oligoélément important pour certains processus végétaux. Il sert de cofacteur d'enzyme et de constituant de la vitamine B12. Le cobalt est essentiel à la fixation de l'azote. La teneur moyenne est de 10 mg de Co par kilogramme de sol, mais peut être comprise entre 1 et 300. Il est absorbé par les racines des végétaux sous la forme de Co^{2+} (Selhani, 2009).

Les boues étudiées présentent une concentration en Cobalt de 24,48 mg/Kg de boue, valeur non toxique pour la plante et le sol.

Chapitre 5 : Caractéristiques physico-chimiques des boues de Réghaia

-Le Manganèse (Mn) :

Oligoélément métallique essentiel pour les plantes. Il est absorbé par les plantes sous forme de Mn^{2+} . Le manganèse est connu pour activer plusieurs enzymes telles que l'arginase et les enzymes capables de transporter le phosphate. Il est aussi important pour le métabolisme de N et l'assimilation du dioxyde de carbone.

Niveau critique : le niveau critique de Mn dans les sols est estimé à 20 mg/kg (10 à 30) de Mn dans la matière sèche des plantes.

Toxicité : Les concentrations toxiques dans les cultures sont de l'ordre de 200 à 5 000 mg/kg de Mn (Selhani, 2009).

La valeur 384,64 mg/kg de Mn trouvée dans les boues étudiées ne dépasse pas le seuil de toxicité.

CHAPITRE 6 :
DESCRIPTION DES ECHANTILLON
ET DES METHODES ANALYTIQUES

6.1. Méthode d'analyse des boues :

Notre étude consiste à étudier la possibilité de valoriser ou éliminer les boues issues de la station d'épuration de Réghaia, il est donc nécessaire de connaître les caractéristiques de ces boues afin de choisir la destination finale la plus appropriée pour la régie.

Dans cette optique, des boues prélevées au niveau de la station ont fait l'objet des analyses physico-chimiques, microbiologiques avec une attention particulière pour les éléments traces organiques (Hydrocarbures totaux).

6.1.1. Echantillonnage :

- **Point de prélèvement :**

L'échantillon a été prélevé au niveau des aires de stockage des boues déshydratées de la station d'épuration des eaux usées du Réghaia.

- **Matériel et mode de prélèvement :**

Le prélèvement a été effectué manuellement à l'aide d'une pelle et un récipient en plastique.

Dates des prélèvements :

Tableau 6.1 : Dates des prélèvements des échantillons des boues de Réghaia

Echantillon	Date
Echant 1	07/03/2016
Echant 2	03/04/2016
Echant 3	11/04/2016
Echant 4	24/04/2016

Chapitre 6 : Description des échantillons et des méthodes analytiques

6.1.2. Conservation des échantillons :

Les échantillons des boues ainsi récupérés sont mis dans un récipient en plastique et enveloppés dans des sachets en plastiques. Une fois elles sont ramenées au laboratoire les échantillons ont été scindés en deux parties : une partie conservée humide à une température de 4°C dans un réfrigérateur (dénombrement des microorganismes, taux des hydrocarbures) et une autre est déshydratée puis broyée puis tamisée en vue d'être analysée (pH, conductivité.).

6.1.2. Préparation de la poudre de boue pour les différentes analyses :

Au niveau du laboratoire, nous avons préparé la poudre pour analyser, pour cela nous avons procédé la manière suivante :

- **Déshydratation** : par séchage dans une étuve à 105°C pendant 24 h jusqu'à élimination totale de l'humidité.
- **Broyage et tamisage** : broyage de la boue séchée dans un mortier en agate puis tamisage de la poudre (<2 mm) afin d'éliminer les variations de composition granulométrique, pour obtenir un échantillon homogène.

6.2. Principe d'analyses :

Les échantillons préparés ont fait l'objet des analyses suivantes :

6.2.1. La Matière sèche (MS) :

C'est la quantité de matière résultante de la déshydratation. La concentration en MS permet de connaître la quantité de boue à traiter, quel que soit son niveau de concentration dans la filière de traitement. La détermination de la teneur en MS s'effectue à une température de 105°C dans une étuve pendant 24 h jusqu'à élimination totale de l'humidité.

Chapitre 6 : Description des échantillons et des méthodes analytiques

6.2.2. La siccité :

La boue est essentiellement constituée d'eau et de matières sèches (MS). Le pourcentage d'eau représente l'humidité alors que le pourcentage de matière sèche est la siccité.

Méthode : (la norme NF X31-102)

- On a pris 6 échantillons de boues
- On a déposé la boue à analyser et peser le creuset plein
- On a placé le creuset à l'étuve à 105°C pendant 24 h
- On a laissé le creuset à refroidir dans un dessiccateur (préserve le produit déshydraté de l'humidité).
- On a pesé après déshydratation le creuset.

Calcul de la siccité :

Elle est déterminée par la relation suivante :

$$S = (M_2 * 100) / M_1$$

S: La Siccité

M₁ : masse de l'échantillon dont on mesure la siccité

M₂ : masse du même échantillon après séchage à 105°C.

6.2.3. La Matière volatile sèche (MVS) :

La MVS est déterminée après incinération de l'échantillon à une température de 550°C. Elle constitue la quantité de matière organique (MO) des boues.

Méthode :

- On a placé le creuset contenant la matière sèche au four à 550°C pendant 2 heures
- On a refroidi au dessiccateur.
- On a pesé le creuset contenant les cendres

Chapitre 6 : Description des échantillons et des méthodes analytiques

MVS=MS-MM

MVS : matière volatile sèche

MM : matière minérale

MS : matière sèche

6.2.4. Le Potentiel Hydrogène (pH) :

Le potentiel Hydrogène, plus connu sous le nom de pH permet de mesurer la concentration en ions H^+ , il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14.

Le pH joue un rôle capital pour la croissance des microorganismes qui ont généralement un pH optimum variant de 6,5 à 7,5. Lorsque le pH est inférieur à 5 ou supérieur à 8,5, la croissance des microorganismes est directement affectée (Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement).

Matériel utilisé :

- Baguette de verre pour agiter
- Agitateur magnétique et 2 barreaux aimantés
- pH-mètre
- Solution d'étalonnage pH=7 et pH=9

Méthode : (Norme NF EN 12176)

- Peser sur la balance à plateau 10 g de la boue séchée à 105°C, qu'on met dans un bêcher de 50 ml à forme haute.
- Ajouter 25 ml d'eau distillé.
- Laisser en contact 4 heures en agitant de temps en temps avec une baguette de verre.
- Au moment de prendre la mesure, agiter énergétiquement pendant quelques minutes à l'aide de l'agitateur magnétique.
- Après étalonnage de pH-mètre, introduire avec précaution l'électrode de verre dans la suspension, avec l'agitateur en marche.

Chapitre 6 : Description des échantillons et des méthodes analytiques

-Lire le pH lorsque l'aiguille du pH mètre s'est stabilisée, dans la plupart des boues cette stabilisation est réalisée dès la première minute.

-Rincer soigneusement l'électrode après la mesure.

6.2.5. La Conductivité électrique :

Elle permet d'obtenir rapidement une estimation de la teneur en sels dissous ; elle ne s'applique qu'aux terres salées et aux terres à taux de fertilisation très élevé.

-Mesure de conductivité électrique : (Norme NF EN 27888)

Matériel utilisé :

-Conductimètre

-Becher 50 ml forme haute

-Thermomètre précis 1/10 de °C (tenir compte de la température de la solution pour le calcul)

-Agitateur

Méthode :

-prendre 0,1g de boue séchée à 105°C

-ajouter 10 ml d'eau distillé

-Agiter pendant 20 min

-Mesurer la conductivité électrique ($\mu\text{s}/\text{cm}$)

6.2.6. Analyses des hydrocarbures pétroliers totaux :

Le TPH (Total Petroleum Hydrocarbons) représente un dosage de la concentration totale en hydrocarbures dans chaque compartiment de l'environnement (eau, sol, air...). Les TPH sont caractéristique d'une pollution pétrolière mais inclue également les hydrocarbures naturellement présents dans l'environnement.

Aujourd'hui, les techniques de dosage sont très précises mais elles montrent des limites dans la caractérisation des mélanges très complexes et de plus, les coûts peuvent se révéler prohibitifs (Picot et al., 2013).

La méthode gravimétrique basée sur l'extraction par un solvant ainsi que celles basées sur la densité ou les propriétés optiques des éléments à doser. Ce type de méthode peu sensible s'applique mal à des contrôles de routine en raison des pertes par évaporation ou des interférences que peuvent provoquer les éléments qui, tout en étant extractibles, ne sont pas des hydrocarbures (Rodier, 2009).

Le taux de pollution par la méthode d'extraction par un solvant a été déterminé. Ce dernier, permet l'extraction des hydrocarbures de la boue.

Extraction des Hydrocarbures de boue par ULTRASON :

L'extraction des hydrocarbures des boues a été réalisée dans un ULTRASON de modèle BIOBLOCK scientifique (88155) en se basant sur la méthode de bi-lavage :

- On prend 2g de boue à analyser dans un Erlenmeyer de 50ml ;
- Mélanger avec 1,5 g de sulfate de sodium Na_2SO_4 ;
- Ajouter 12 ml de solvant dichlorométhane CH_2Cl_2 ;
- Mettre l'Erlenmeyer dans un Bain marie d'eau distillée contenue dans la cuve de l'ULTRASON pendant 10 min pour un deuxième lavage ;
- Le mélange (extrait-solvant) est filtré à l'aide d'un papier filtre ordinaire dans un tube bien fermé, puis le contenu du tube est distillé à l'aide d'un ballon dans un ROTAVAPOR à 40°C ;

Chapitre 6 : Description des échantillons et des méthodes analytiques

- Après distillation, l'extrait est laissé à sécher pour être ensuite pesé. La quantité des hydrocarbures extraite est déterminée par différence avec la masse du ballon pesée initialement (à vide).

6.2.7. Analyse microbiologique des boues :

Selon les normes internationales, la flore mésophile aérobie totale (FMAT), regroupe tous les germes (Bactéries, levures, moisissure,) reviviscible, elle est utilisée comme un indicateur de pollution global. Elle englobe l'ensemble de microorganismes capables de se multiplier à l'air aux températures moyennes, surtout à une température optimale de croissance située entre 25 et 40°C (Budjul Lobo, 2010)

La Flore Mésophile Aérobie Totale (FMAT) est un indicateur sanitaire qui permet d'évaluer le nombre d'UFC (Unité Formant une Colonie) présentes dans un produit ou sur une surface.

Dénombrement de la flore aérobie mésophile totale : (Norme NF V 08-51).

Matériel : utilisé

- Pipettes de 1ml et de 10 ml
- Bec bunsen
- Des boites Pétri à ensemencé
- Des tubes à essai à vis
- Portoir de tube
- Javel pour la désinfection de la paillasse
- Autoclaves et étuve

Etapas d'analyse :

a. La stérilisation :

-On a cotonné les pipettes de 1 ml et de 10 ml, après on les a placé par petit paquets dans le papier aluminium puis stériliser au four à 180°C pendant 30 min par expérience. Il faut 7 pipettes de 1 ml et une de 10 ml.

Chapitre 6 : Description des échantillons et des méthodes analytiques

-On a préparé une eau physiologique (9 g de NaCl /litre d'eau distillé). On a rempli avec, exactement, 9 ml chaque tube à essai à vis. Les tubes sont vissés puis stérilisés à l'autoclave (120°C, 20 min). On prépare le milieu de culture (gélose nutritif) dans des flacons de 250 ml (4 flacons) et on le stérilise à 120 °C.

b. Préparation des dilutions :

Avant d'ensemencer les milieux, on effectue des dilutions décimales en cascades de la solution 10^{-1} à 10^{-6} . On prélève stérilement à partir du flacon d'eau à analyser 1ml que l'on place dans un tube contenant 9 ml d'eau physiologique stérile. On homogénéise la solution à l'aide d'un vortex puis on prélève 1 ml de ce tube pour le mettre dans le deuxième tube et ainsi de suite jusqu'au sixième tube. Il est très important de changer de pipette de prélèvement entre les différentes dilutions.

c. Technique :

Pour la solution mère et pour chaque dilution, on utilise deux boîtes de Pétris vides dans lesquelles on introduit aseptiquement exactement 1 ml par boîte. On renferme ensuite aussitôt la boîte puis on introduit, de la même manière pour l'ensemble des boîtes, 15 ml de gélose liquéfiée (maintenue à 45°C). Sans attendre et avant la solidification de la gélose nutritive, on tourne les boîtes de gauche à droite en la maintenant sur la paillasse de bas en haut en décrivant un mouvement de 8 On laisse refroidir durant 15 min et on retourne les boîtes, couvercle en bas pour éviter la condensation de l'eau à la surface. En fin, on incube à 30°C à l'étuve pendant $72 \text{ h} \pm 3 \text{ h}$. On a fait deux lectures après incubation.

d. La lecture :

La lecture se fait à l'aide de comptage de colonie (unité formant colonie UFC), un nombre inférieur à 30 ou supérieur à 300 n'est pas considéré. Le nombre final de germes sera calculé par la loi suivante :

Chapitre 6 : Description des échantillons et des méthodes analytiques

$$UCF = \frac{N}{D} \text{ (germes /g de boue)}$$

UFC : unité formant colonies

D : nombre de la dilution

N : nombre de colonies

CHAPITRE 7 :

RESULTAS ET DISCUSSIONS

7.1. Le potentiel Hydrogène :

Le tableau suivant présente les résultats obtenus des analyses du pH effectuées sur des échantillons de boues prélevés au niveau de la STEP de Réghaia.

Tableau 7.1 : Résultats d'analyse du pH

Echantillon	Valeur
Echant 1	6,71
Echant 2	6,81
Echant 3	6,71
Echant 4	6,96

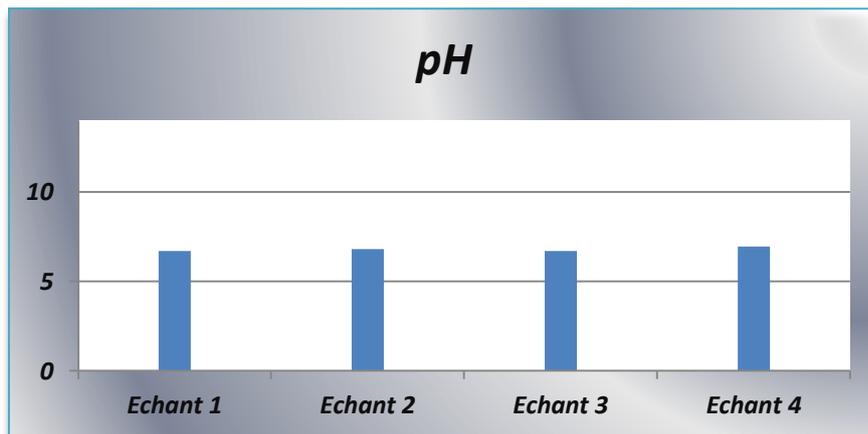


Figure 7.1 : Variation du pH des boues de STEP de Réghaia.

Le pH de boue de Réghaia représente une moyenne de 6,8 qui est voisine de 7, souhaitable, est peut convenir à toutes espèces car l'élévation du pH diminue l'assimilabilité du phosphore (devient insoluble), de même le calcaire bloque la minéralisation de la matière organique et donc diminue la disponibilité en éléments nutritifs pour les plantes.

Le pH semble être le facteur dont l'action sur la mobilité des métaux est la plus déterminante. L'abaissement du pH favorise la mobilité des métaux lourds, notamment par remise en solution de sels métalliques. Inversement, l'augmentation du pH provoque l'immobilisation par formation de composés insolubles ou accroissement de la capacité d'échange cationique (la possibilité d'un substrat de stocker les éléments nutritifs).

7.1. La siccité :

Tableau 7.2 : Résultats d'analyse de la siccité

Echantillon	Siccité (%)	Humidité (%)
Echant 1	33,14	66,86
Echant 2	35,83	64,17
Echant 3	31,9	68,1
Echant 4	36,41	63,59

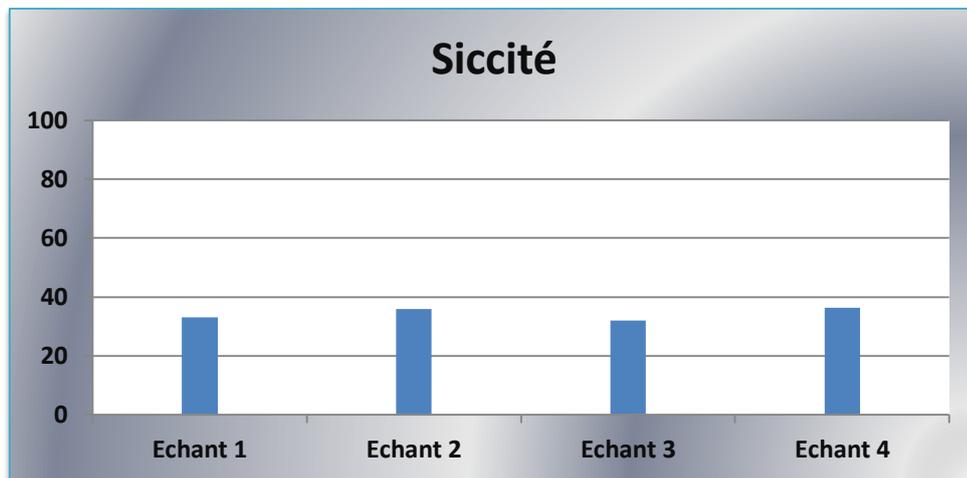


Figure 7.2: Variation de la siccité des boues de STEP de Réghaia.

La mesure de siccité est importante, elle nous indique le poids réel de la boue et donc les moyens à mettre en œuvre : plus la boue est sèche plus elle est facile à transporter ou à stocker.

Le graphe montre une variation plus au moins stable de la siccité oscillant entre 31,9% et 36,41 % d'où une valeur moyenne de 34,15%, ce qui révèle le caractère solide (25 à 50 %) (ADEME, 1996) des boues de la STEP de Réghaia.

7.2. Matière volatile sèche (MVS) :

Tableau 7.3 : Résultats d'analyse de l'MVS

Echantillon	MVS (%)
Echant 1	41,625
Echant 2	45,11
Echant 3	51,28
Echant 4	47,805

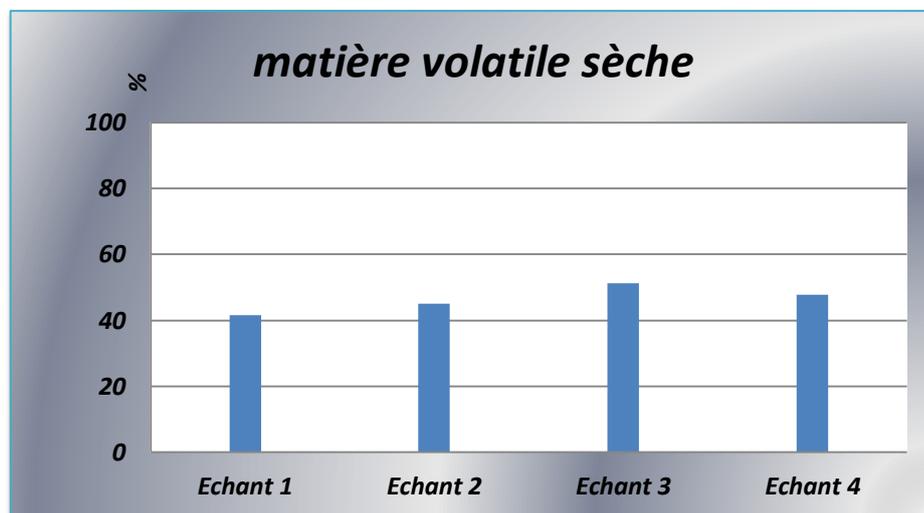


Figure 7.3 : Variation de matière volatile sèche des boues de STEP de Réghaia.

On remarque d'après le graphe que la matière volatile sèche de la boue de Réghaia oscille entre 41,62 % et 51,28 avec une moyenne de 46,45%.

L'MVS représente la quantité de matière organique, la matière organique apportée par les boues de STEP de Réghaia est supérieure à celle du compost urbain (33%) et constitue donc une source intéressante dans la vie de sol.

Ce paramètre livre une indication sur le degré de stabilisation de la boue et son aptitude à divers traitements (déshydratation, incinération...). Plus le taux de MVS est faible, plus la boue est facile à épaisir ou à déshydrater, mais plus son exo-thermicité en incinération est faible.

Nous recommandons le mélange de ces bous au compost urbain, riche en cellulose et en lignine afin d'aboutir un amendement organique « l'humus ».

7.3. La conductivité électrique :

Tableau 7.4 : Résultats d'analyse de la conductivité électrique

Echantillon	Conductivité électrique ($\mu\text{s}/\text{cm}$)
Echant 1	315
Echant 2	195
Echant 3	282
Echant 4	219

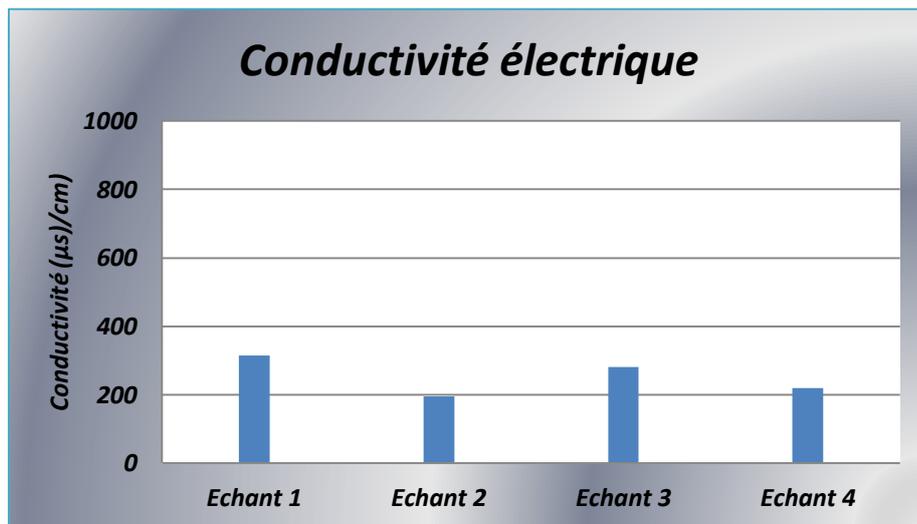


Figure 7.4 : Variation de la conductivité électrique des boues de STEP de Réghaia.

La conductivité électrique donne une idée sur la salinité des boues. Pour une utilisation agricole des boues, lorsque la concentration saline de la solution aqueuse d'un sol est trop élevée, les racines se développent mal et la croissance de la plante est ralentie, on aboutit même dans les cas graves, au dépérissement des plantes. Ainsi que les taux élevés de salinité inhibent la croissance de nombreuses bactéries du sol (Polonenko et al., 1986).

La conductivité électrique de boue de Réghaia est de l'ordre de 252 $\mu\text{s}/\text{cm}$, ce qui indique que ces boues sont faiblement salées (conductivité électrique inférieure à 1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$) (Baize, 2000).

7.4. Les composés traces organiques CTO :

Les boues d'épuration peuvent aussi contenir des Composés Traces Organiques (CTO). Ce sont des composés chimiques dont la présence dans les boues provient principalement du lessivage des chaussées par les eaux de pluie. Ces substances peuvent être persistantes dans les sols. Cependant, les expérimentations montrent que le transfert des CTO apportés par les boues vers les plantes est extrêmement limité. Comme pour les ETM, des valeurs limites ont été définies afin de garantir l'innocuité du recyclage agricole.

Tableau 7.5: Résultats des analyses des hydrocarbures de la boue de la station de Réghaia.

Echantillon	TPH g/100 g boue humide
Echant 1	0,625
Echant 2	0,425
Echant 3	0,355
Echant 4	0,495

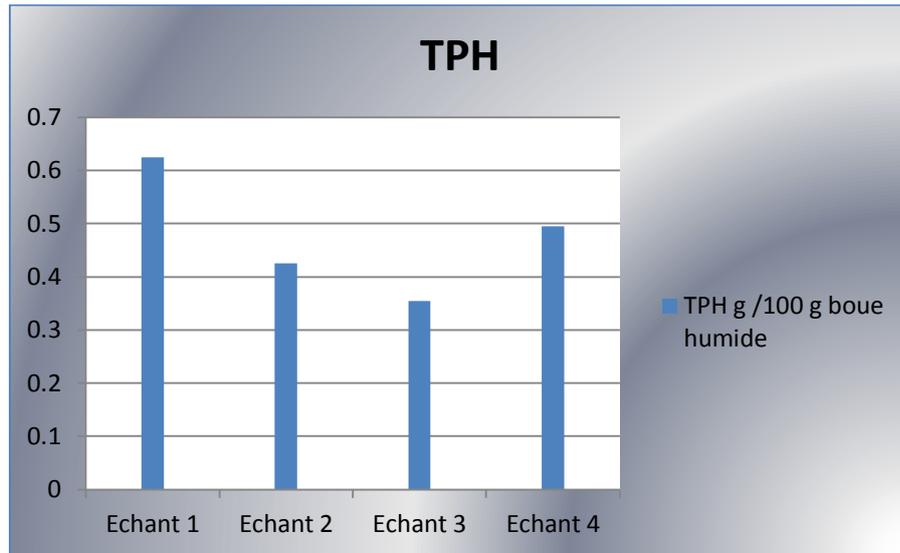


Figure 7.5: Variation de taux des hydrocarbures pétroliers totaux dans les boues de STEP de Réghaia (2016).

Les analyses réalisées au niveau de laboratoire, démontrent que la teneur moyenne en hydrocarbures des boues est très faible 0,47 g/100 g de boue humide, et largement dans les seuils réglementaires (<5%, standards européennes). La STEP de Réghaia n'est pas bien localisée. Elle est construite sur la rive gauche du lac de Réghaia, il y a peu de risque de pollution des eaux de lac par infiltration des hydrocarbures. Cette pollution prend sa source au niveau de la zone industrielle de Rouiba-Réghaia (raffinage des textiles...).

7.5. Les analyses microbiologiques :

Les micro-organismes jouent un rôle déterminant dans les processus d'épuration aussi bien en station que dans le sol. Extraordinairement variés, ils sont présents en abondance dans l'environnement ainsi que dans les déjections animales et les boues d'épuration. Mais seule une infime partie est susceptible de présenter un risque infectieux : les pathogènes (virus, bactéries, champignons, helminthes...).

La flore mésophile aérobie totale (FMAT) est utilisée comme un indicateur de pollution global. Elle englobe l'ensemble de microorganismes capables de se multiplier à l'air aux températures moyennes, surtout à une température optimale de croissance située entre 25 et 40°C.

Tableau 7.6: Résultats des analyses microbiologiques (dénombrement de FMAT de la boue de la station de Réghaia-2016).

Echantillon	UCF/g de boue humide
Echant 1	1,36. 10 ⁷
Echant 2	2,28. 10 ⁷
Echant 3	2,12. 10 ⁷
Echant 4	2,12. 10 ⁷

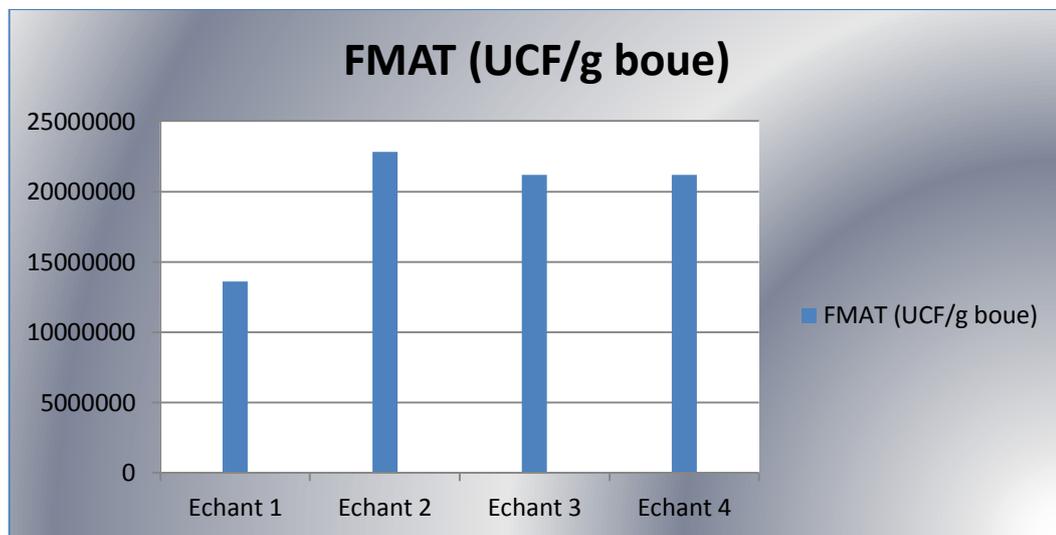


Figure 7.6: Evolution des FMAT de boue de STEP de Réghaia

Les boues de STEP de Réghaia sont également caractérisées par une forte charge microbienne FMAT > 10⁶ UFC/g de boue (Guide Législatif Français, 2000) ce qui traduit un résultat insatisfaisant.

Les résultats des analyses microbiologiques réalisées sur des boues et de compost final montrent que les valeurs moyennes de la flore mésophile aérobie totale ne semblent pas être trop influencées par le compostage. Cependant, ces changements ne reflètent pas les variations de la structure de la communauté microbienne durant le compostage (Rihani et al., 2010).

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS



Conclusions et Recommandations :

Nos recherches, même partielles, ont apporté des précisions analytiques sur la nature des boues de Réghaia. Ils nous ont permis de tirer quelques conclusions et de proposer des recommandations que nous présentons comme suit :

Conclusions

-Les résultats obtenus à l'issue de l'étude, montrent que les boues résiduaire issues de la station d'épuration de Réghaia sont solides (Siccité de 34%), faiblement salées, avec un pH de 6,8.

-Elles présentent une grande hétérogénéité et une variabilité importante dans leur composition. Les teneurs et disponibilité en éléments fertilisants, en matière organique et en substances indésirables sont très variables.

-Nous constatons que les boues issues de la station d'épuration sont riches en matière organique et en éléments fertilisants N, P, K avec des concentrations non toxiques pour la plante et le sol en oligoéléments (Co, Fe, Mn et Cu) susceptibles d'améliorer la fertilité du sol.

- Les boues de la station de Réghaia représentent un rapport C/N de 14,89 risquent de prolonger l'immobilisation de l'azote du sol.

-Les boues étudiées sont contaminées par le Chrome le facteur limitant le plus restrictif pour l'utilisation des boues d'épuration dans l'agriculture. Le chrome limite l'utilisation de ces boues à 1,4 T/ha.an, sans dépasser 6,68 T/ha pour une utilisation sur 10 ans et c'est aussi le cas pour les autres métaux (Cd, Zn, Ni et Pb), ce qui les rend non valorisables en milieu agricole et forestier.

-A travers les résultats obtenus nous avons remarqué l'absence d'une pollution par les hydrocarbures pétroliers (<5%) avec une forte charge microbienne de flore mésophile aérobie totale ($> 10^6$ UFC/ g de boue).

Les analyses des éléments métalliques des boues de la station d'épuration de Réghaia montrent que la valorisation agricole des boues actuellement présente un risque pour les sols et les nappes à cause de la teneur élevée en métaux lourds notamment le chrome.

L'incinération est une autre solution qui permet la valorisation énergétique de tout le carbone présent dans les résidus à traiter, et non pas seulement de la fraction organique biodégradable. Mais il présente des contraintes principalement liées à un investissement très coûteux. Cette technique reste aussi néfaste de point de vue écologique et environnemental puisqu'elle contribue en plus du gaspillage de matières organiques utiles pour le sol, à la diffusion de gaz très toxiques et surtout à effet de serre.

Recommandations

-Le travail sur des processus innovants destinés à éliminer les hydrocarbures contenus dans les boues et à récupérer les métaux lourds qui dépassent les normes pour les valoriser.

-En ce qui concerne la pollution industrielle, nous recommandons de compléter l'étude par une enquête sur les sources de pollutions potentielles afin de responsabiliser les industries polluantes, qui ont le devoir et l'obligation traiter leurs effluents en respectant les normes de rejet.

-L'application du principe pollueur-payeur doit être rigoureusement appliquée, dans ce cas, la qualité des boues sera meilleure.

- Les boues de Réghaia doivent avoir fait l'objet d'un traitement, permettent de réduire, de façon significative, les risques sanitaires liés à leur utilisation, les teneurs en microorganismes pathogènes et en métaux lourds doivent être constamment contrôlées.

-le problème de fermentescibilité doit être rigoureusement maîtrisé, afin d'éviter le gêne occasionné par les odeurs.

Si ces propositions sont mises en pratiques sur le terrain, on aura probablement participé à respecter les normes permettant de l'utilisation de ces boues en milieu agricole et forestier.

Références bibliographiques :

AFNOR. Association française de normalisation, 2006. Normes NFU 440-051. Limite des teneurs en ETM, CTO, agents pathogènes, inertes et impuretés.

ALBRECHT, R. Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts : Nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique. Sciences de la Terre. Université de droit, d'économie et des sciences - Aix-Marseille III, 2007.

ANAELLE, P. Estimation de performances épuratoires : Caractérisation de boues de station d'épuration. Master 2 Sciences de l'Univers. Environnement. Ecologie. Université Pierre et Marie Curie. École des Mines de Paris et École Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts, Septembre 2009.

BAIZE, D. Guide des analyses en pédologie. 2ème édition revue et augmentée. Edition INRA. Paris. France, 2000.

BAUDEZ, J.C. COUSSOT, P. THIRION, F. Rhéologie des boues de stations d'épuration : études préliminaires pour la maîtrise des stockages et épandages. Ingénieries - édition EAT. IRSTEA, 1998, p. 33 - p. 46.

BENAMOUN, L. LEONARD, A. Etude expérimentale et modélisation du séchage de boues générées par l'épuration des eaux usées, Revue des Energies Renouvelables Vol. 14 N°1 (2011) 1 – 12.

BIHAOUI, B. RIHANI, M. MOUNTADAR, M. MALAMIS, D. LOIZIDOU, M. et ASSOBBHEI, O. Valorisation des boues de traitement des eaux usées d'une unité laitière par compostage aérobie. Déchets sciences et techniques N° 58, Avril 2010.

BUDJU LOBO, I. Analyse bactériologique des saucissons vendus dans les alimentations de la ville de Kisangani dans la commune Makiso, Université de Kisangani – Licence, 2010.

Comité Sécurité Alimentaire d'APRIFEL. Les boues d'épuration document de synthèse, Juin 2001.

Conseil Supérieur d'hygiène publique de France. Risques sanitaires liés aux boues d'épuration des eaux usées urbaines. Ed. Lavoisier, 1998.

DANSOU, D.H. Les défis de la protection de l'eau et le droit international de l'environnement. Université de Limoges - Master droit Internationale et comparé de l'environnement, 2008.

Disponible à l'adresse : http://www.memoireonline.com/01/12/5110/m_Les-defis-de-la-protection-de-leau-et-le-droit-international-de-lenvironnement1.html

Degrémont. Mémento technique de l'eau.9ème édition. Tome 1 Ed. Lavoisier. Paris, 1989.

Di Benedetto, M. Méthodes spectrométriques d'analyse et de caractérisation. Dossier SAM : Les métaux lourds, Génie des Procédés", centre SPIN, Ecole des Mines de Saint-Etienne, 1997.

Direction régionale de l'environnement Nord – Pas de Calais. Stockage des boues de stations d'épuration urbaines-Bassin Artois Picardie. Lille. Mars 2006.

DUDKOWSKI, A. L'épandage agricole des boues de stations d'épuration d'eaux usées urbaines. INRA, 2001.

DUMONTET, S. The importance of pathogenic organisms in sewage and sewage sludge. Journal of the Air and Waste Management Association, 2001,51, 848-860.

EL-FELS, L. Suivi Physico-chimique, Microbiologique et Eco-toxicologique du compostage de boues de STEP mélangées à des déchets de palmiers : Validation de nouveaux indices de maturité. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 2014.

Encyclopédie de sécurité et de santé au travail, Les métaux : propriétés chimiques et toxicité, 3ème édition, France.

GRENNWOOD, N.N. EARNSHAW, A.: Chemistry of the Elements, Pergamon press, Oxford, 1984.

GRIMAUD, L. La valeur azotée des boues d'épuration. ADEME. Eau et environnement DEP. Univ Amiens, 1996 ,84p.

Guide Législatif Français N° 8155 du 12 décembre 2000, 32 p.

GUITTONNY-LARCHEVEQUE, M. Valorisation d'un compost de boues urbaines en garrigue pour le reboisement : comportement des jeunes arbres d'une plantation et modifications de la dynamique de la végétation naturelle après amendement. Université de Provence - Aix-Marseille I, 2004.

HAMMADI, L. PONTON, A. et BELHADRI, M. Effet de traitement thermique sur le comportement physico-chimique et rhéologique des boues activées de station d'épuration, *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 11 N°3 (2008) 465 – 472.

HENK, H et coll. Occupational exposure and indoor air quality monitoring in a composting facility. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 56 (1) 39-43, 1995.

HERNANDEZ, L. PROBST, A. PROBST, J.L. and ULRICH, E. Heavy metal distribution in some French forest soils, evidence form atmospheric contamination. *J. Sci. Total Environ.* 312(2003)195-219.

Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement. Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : cadre général Fiche 2.

Institut fresenius GmbH, Taunusstein-Neuhof, W.Fresenius et W.Schneider **Forschungs institut fur Wassertechnologie an der RWTH Aachen (FiW) B.Bohnke et K.Poppinghaus,** Technologie des eaux résiduaires (production, collecte, traitement et analyse des eaux résiduaires). Ed. Springer : Paris Berlin New York, 1990, 1137 p.

JARDE, E. Composition organique de boues résiduaires de stations d'épuration lorraines : Caractérisation moléculaire et effets de la bio dégradation. *Géochimie.* Université Henri Poincaré - Nancy I, 2002.

JOHNSON, M.D, KENNEY, N. STOIKA, A. HILAKIVI-CLARKE.L. Cadmium mimics the in vivo effect of estrogen in the uterus and mammary gland. *Nat.Med* 9 (8). 1081 -1084, Juillet 2003.

KOLLER, E. *Traitement Des Pollutions Industrielles.* 1ér édition. Ed. Dunod, 2004.

LADJEL, F et ABBOU, S. Perspectives de valorisation agricole et énergétique des boues issues des STEP en Algérie. Oran, Mars 2014.

LÉONARD, A. Etude du séchage convectif de boues de stations d'épuration. Thèse de Doctorat en Sciences Appliquées. Université de LIÈGE, 2002

LOUNICI, H. Conditionnement et valorisation des boues urbaines de la station d'épuration des eaux usées de Baraki. Mémoire de Magister, Ecole Nationale Polytechnique, 1992.

MABA, B. Identification des éléments nutritifs majeurs limitants et des stratégies appropriées de fertilisation sous culture de maïs dans l'OGOU-EST. Université de Lomé - TOGO - Ingénieur Agronome, 2007.

Disponible à l'adresse : http://www.memoireonline.com/12/08/1703/m_Identification-des-elements-nutritifs-majeurs-limitants-et-des-strategies-appropriees-de-fertilisatio0.html

MIQEL, G. Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé, Book de 2001, France.

MOORE, M.R. CAMPBELL, B.C. GOLDBERG, A. The chemical environment Academic press, New York, vol.6. p.64, 1977.

MORAU, D. Modélisation des dispositifs de revalorisation énergétique des déchets solides et liquides : séchage, méthanisation, incinération : mise en œuvre d'un outil d'aide à la conception multi-systèmes et multi-modèles. Mechanics. Université de la Réunion, 2006.

NAKIB, M. Etude des possibilités d'utilisation des eaux épurées et des boues d'épuration dans l'agriculture, Thèse de doctorat en science, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, 2015.

Notice de Fonctionnement et d'Exploitation de la station d'épuration de Réghaia, 2013.

PEREZ FABIEL, S. Etude de la biodégradabilité de boues secondaires soumises à un traitement thermique à 65°C et du couplage digestion anaérobie et digestion thermophile aérobie pour la réduction de boues, Thèse de doctorat, L'Institut National Des Sciences Appliqués De TOULOUSE, 2009.

PICOT, A. MONTANDON, F. Écotoxicochimie des hydrocarbures, éd Lavoisier, 15 Avril 2013 - 668 p.

Polonenko, D. R., C. I. Mayfield et E. B. Dumbroff. Microbial responses to salt-induced osmotic stress. Effects of salinity on growth and displacement of soil bacteria. *Plant Soil*, 1986, 92 : 417-425

PRASAD, A. BREWER, S. REWER, G.J. SCHOOMAKER, E.B. et RABBANI, P. Hypocuprenia induced by zinc therapy in adults, 1978.

SEGALEN, C. Complémentarité des propriétés électriques et rhéologiques pour une caractérisation des boues résiduelles. Other. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, 2014.

SELHANI, S. Projet de fin d'études, Etude des possibilités d'utilisation des eaux et boues d'épuration dans l'agriculture : Cas de la station d'épuration de BENI MESSOUS, 2009.

STADELMAN, F.X. Les boues d'épuration : engrais ou déchets. *EAWAG News*, 2002.

Syndicat des Professionnels du Recyclage En Agriculture. Composition des boues, Paris.

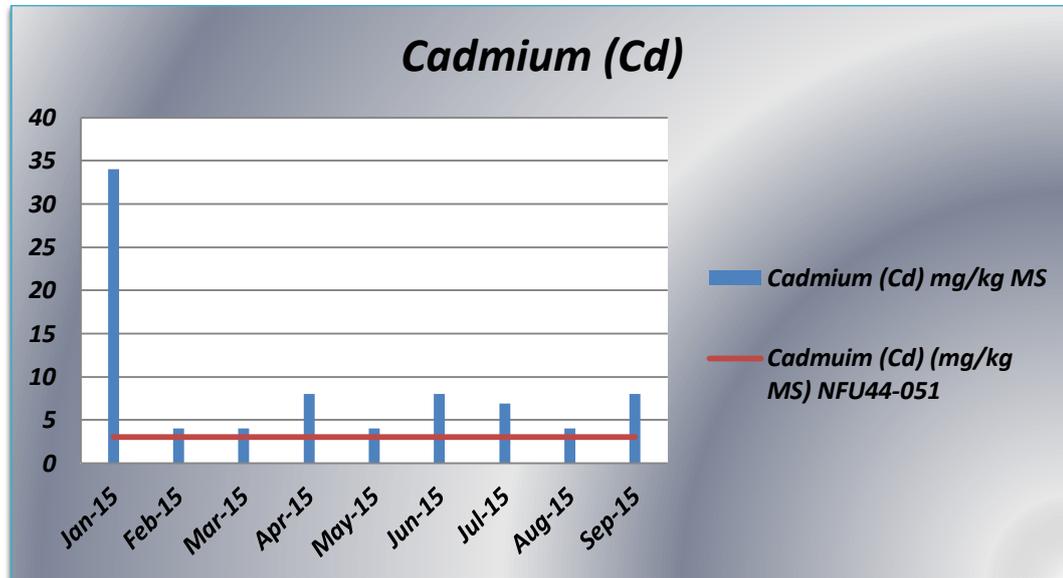
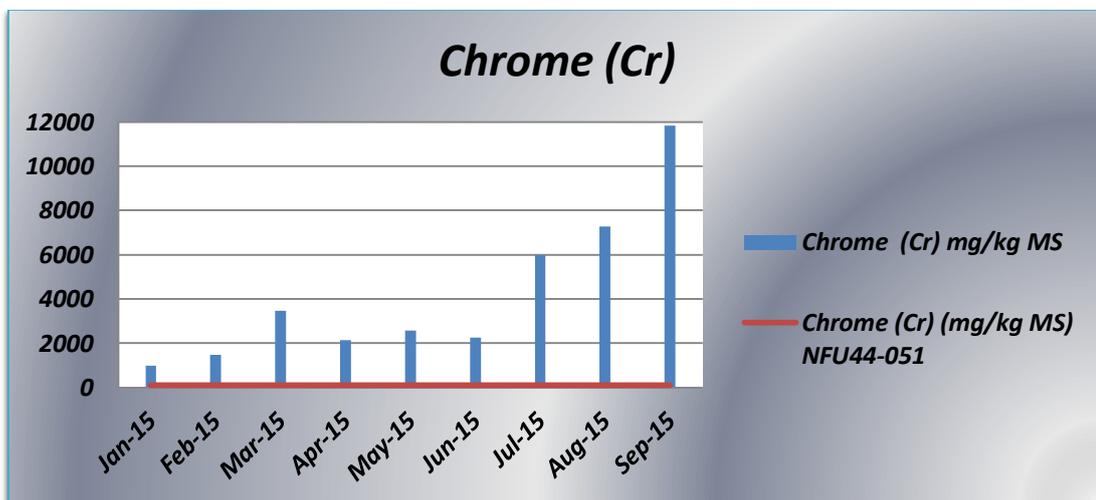
Disponible à l'adresse : <<http://syprea.org/article/composition-boues.html>>

Thérèse, M.J. Le chien, Bioindicateur d'exposition à des contaminants minéraux et organiques d'origine environnementale, ALFORAT, 2009.

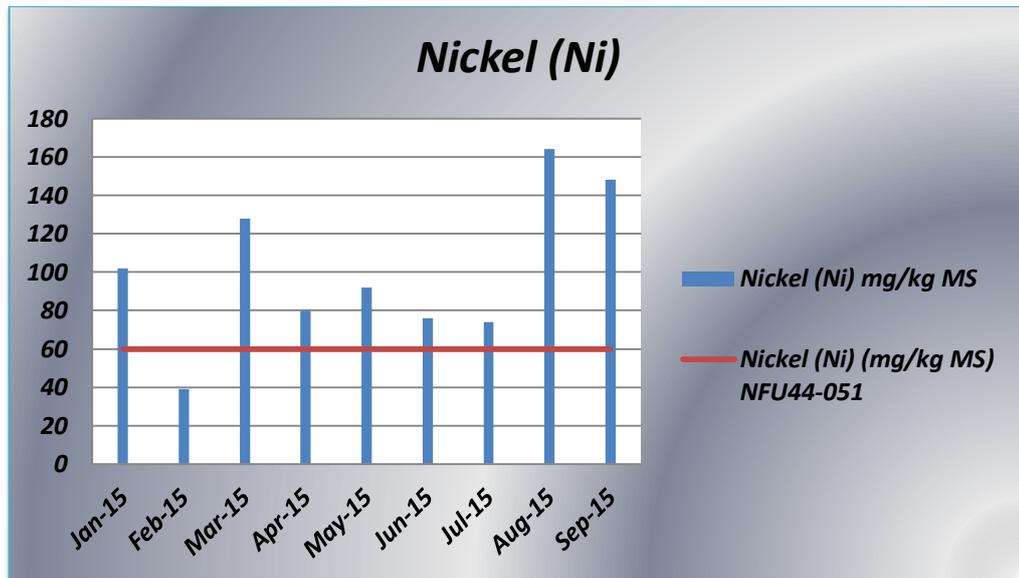
TFYECHE, L. Suivi de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux usées de Ouargla au cours de leur traitement, Mémoire de Master Professionnel, 2014.

Traitements biologiques des déchets, techniques de l'ingénieur, 2010.

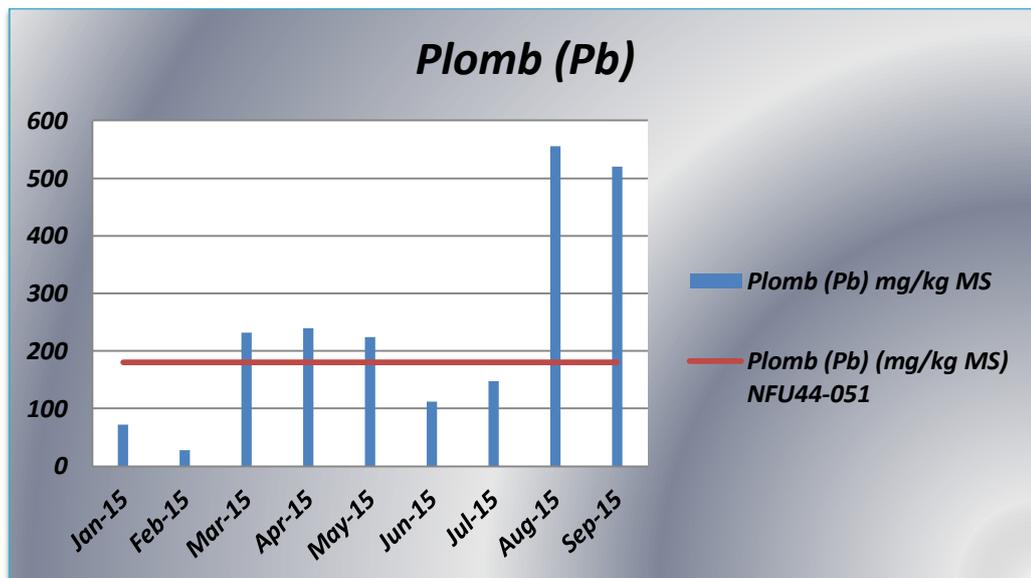
WIART, J. Conception des stockages et gestion par lots des boues d'épuration épandues en agriculture. *Ingénieries- EAT*, 2002. p. 17 - p. 26.

Annexe 1: Valeurs de quelques métaux lourds des boues la STEP de Réghaia-2015**Evolution de la concentration de Cadmium (Cd) des boues de la STEP de Réghaia****Evolution de la concentration de Chrome (Cr) des boues de la STEP de Réghaia**

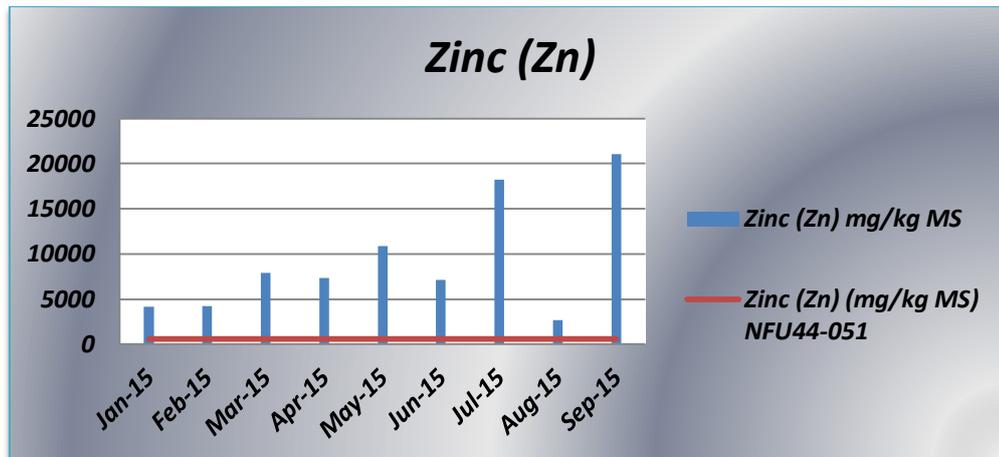
Evolution de la concentration de Nickel (Ni) des boues de la STEP de Réghaia



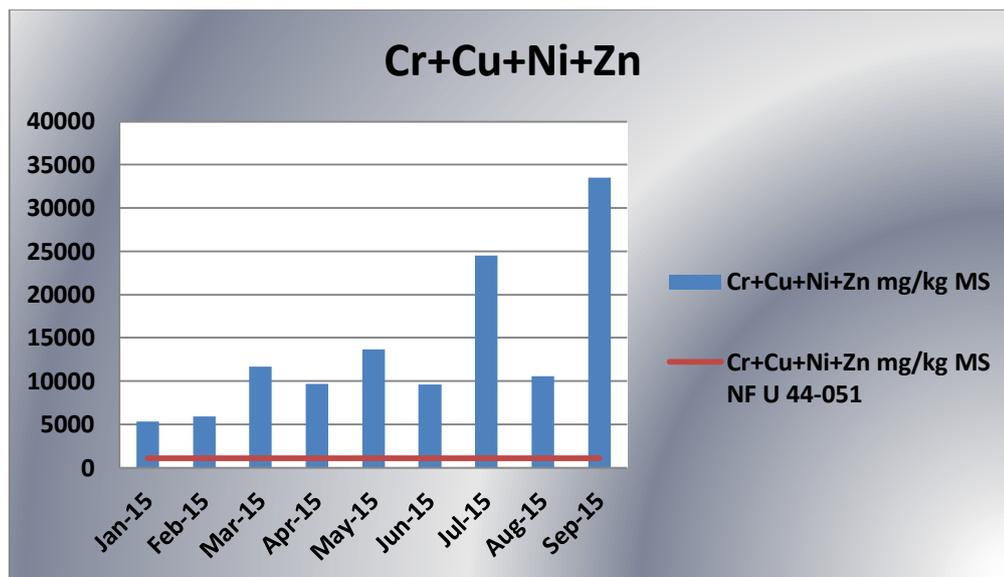
Evolution de la concentration du Plomb (Pb) des boues de la STEP de Réghaia



Evolution de la concentration de Zinc (Zn) des boues de la STEP de Réghaia



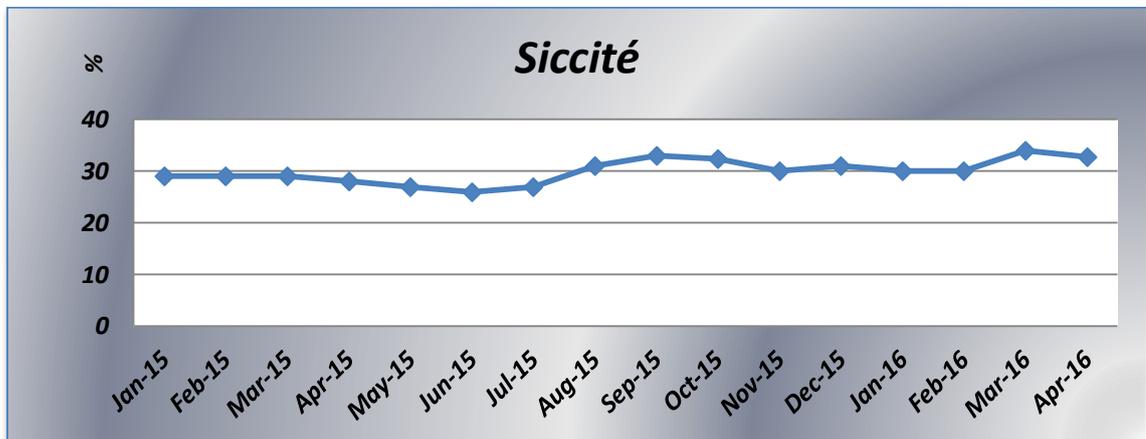
Somme (Cr+ Cu +Ni + Zn) pour les boues de la STEP de Réghaia.



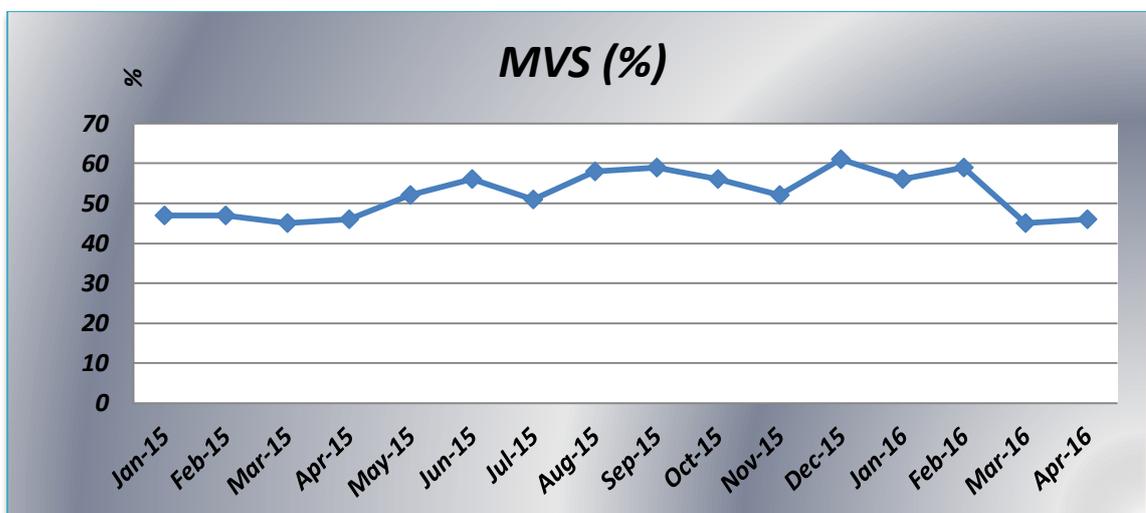
Annexe 2 : Bilans mensuels des analyses des boues. (STEP de Réghaia) 2015-2016

Mois	Siccité %	MVS %	Ratio de production de boue réel/ boue théorique	Ratio de consommation en polymère pour la déshydratation des boues
Janvier-2015	29	47	1,3	5,4
Février-2015	29	47	1,4	5,5
Mars-2015	29	45	1,3	5,9
Avril-2015	28	46	1,4	5,3
Mai-2015	27	52	1,1	6,4
Juin-2015	26	56	1,2	6,5
Juillet-2015	27	51	1,0	6,3
Août-2015	31	58	1,0	4,1
Septembre-2015	33	59	0,8	5,1
Octobre-2015	32,4	56	0,9	3,9
Novembre-2015	30	52	1,1	3,8
Décembre-2015	31	61	1,1	6,5
Janvier-2016	30	56	1,01	6,2
Février-2016	30	59	1,04	6,6
Mars-2016	34	45	0,99	6,7
Avril-2016	32,77	46	0,87	6,9

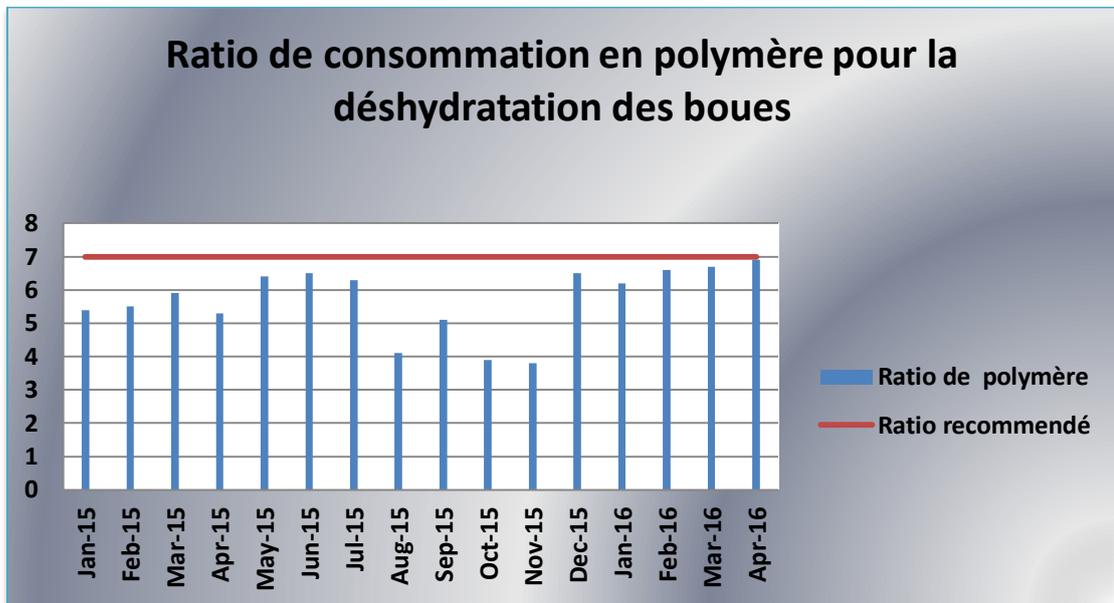
Evolution de la siccité des boues de STEP de Réghaia (2015-2016).



Evolution de MVS des boues de STEP de Réghaia (2015-2016).

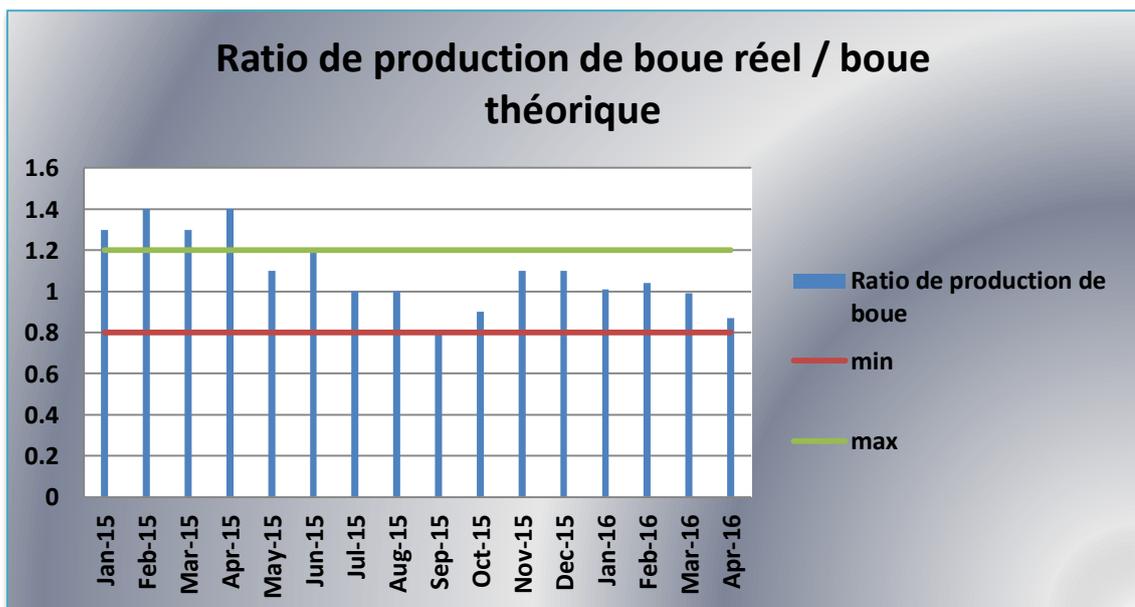


Ratio de consommation en polymère pour la déshydratation des boues :



Le ratio de consommation en polymère est sous le seuil préconisé.

Ratio de production de boue réel / boue théorique :



Le ratio de production de boue réel / boue théorique est dans la gamme recommandée.