



Année Universitaire : 2015-2016



Master Sciences et Techniques : Géosources et Environnement

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Valorisation des boues de la station d'épuration des eaux usées Fès (STEP-Fès)

Présenté par:

AFGANE Rachida

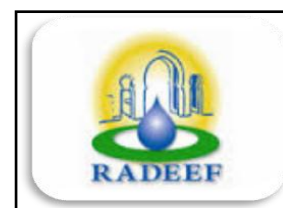
Encadré par:

- Mme. N.RAIS FST Fès
- Mr. M. JMILI RADEEF

Soutenu le 16 Juin 2016 devant le jury composé de :

- Mme. N. RAIS
- Mr. R. JABRANE
- Mr. A. EL GAROUANI

Stage effectué à : RADEEF



INTRODUCTION

Les eaux usées contiennent divers polluants organiques et inorganiques. Leur rejet direct dans la nature sans traitement s'avère très néfaste sur l'environnement et l'Homme d'où l'importance de ce traitement.

Au Maroc, et pendant les dernières années plusieurs stations d'épurations des eaux usées (STEP) ont été mises en place vue la croissance démographiques, la consommation humaine, industrielle, agricole et les sécheresses répétées.

La station d'épuration des eaux usées de la ville de Fès, est la plus grande station au Maroc, d'une capacité de 1,2 million Équivalent Habitant, et traite tout type d'eau usée (domestique, agricole, industrielle). A la sortie de STEP-Fès l'eau épurée, jetée dans le milieu naturel, est accompagnée par une production de quantités non négligeables de boues dont il faut s'en débarrasser, ainsi STEP-Fès a choisie de les éliminer en les mettant en décharge.

La mise en décharge s'avère une technique peu valorisante et est légalement interdite dans de nombreux pays (directive 1999/31/CE). L'incinération de boues a un coût prohibitif et présente un risque lié à l'impact de gaz toxiques sur l'environnement tel que celui de la dioxine (ADEME, 1999). La valorisation énergétique et agricole des boues sont des techniques vertes permettant de transformer les boues considérées des déchets industriels à un produit de valeur minimisant la pollution.

Le présent travail vise à suivre le devenir des boues de STEP-Fès après leur mise en décharge ainsi que les caractériser par l'analyse de leurs paramètres physico-chimiques et bactériologiques, afin de prendre une décision sur la possibilité de les valoriser avec l'une des filières répondant à la protection de l'environnement et la minimisation de la pollution.

Chapitre 1

Présentation de RADEEF

- *Description de la régie, de ses domaines d'activités ainsi que l'organigramme hiérarchique.*

I. Présentation générale

La Régie Autonome intercommunale de Distribution d'Eau et d'Électricité de la Wilaya de Fès (RADEEF) est un établissement public à caractère industriel et commercial, doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière, placé sous la tutelle du Ministère de l'Intérieur.

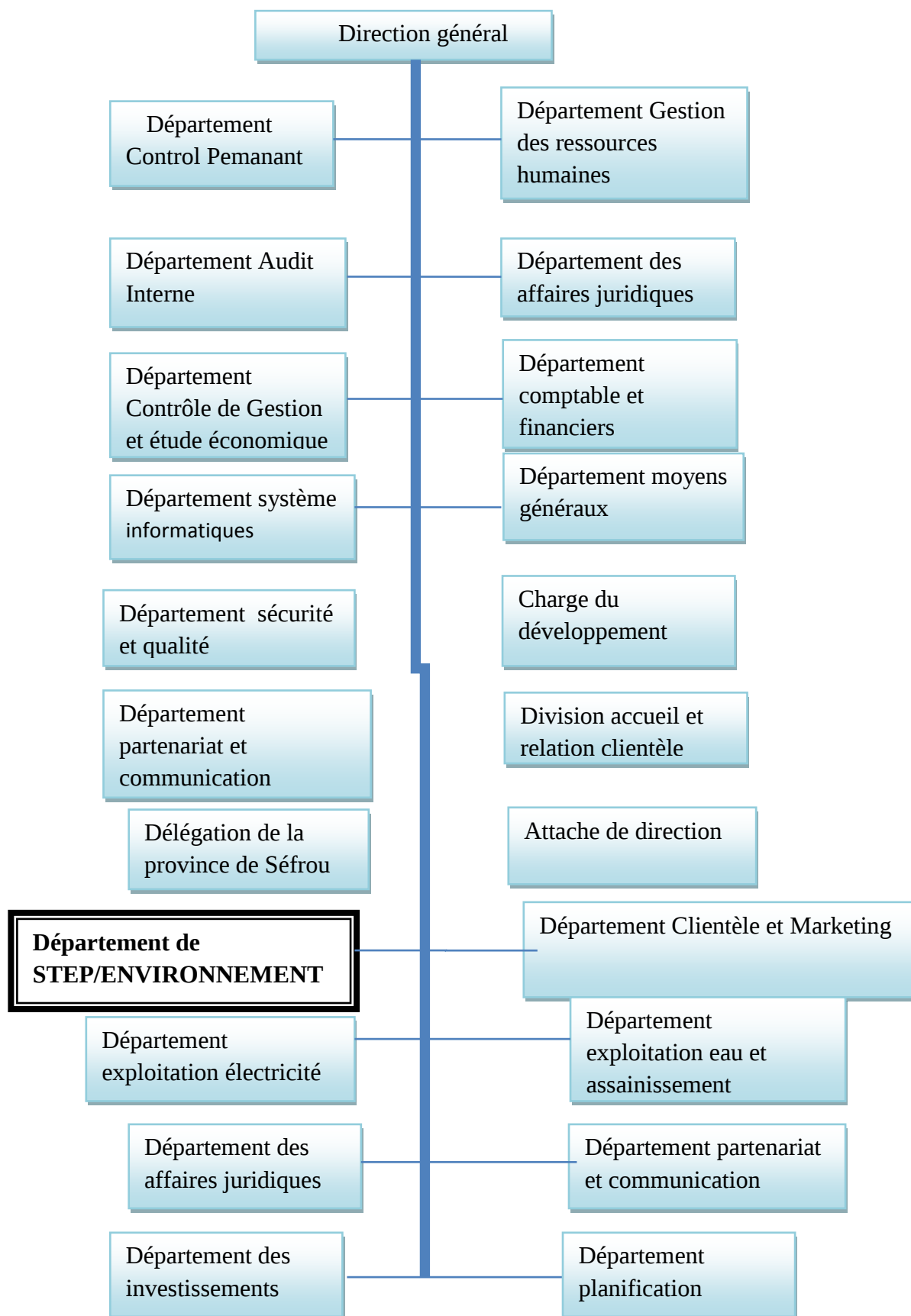
La RADEEF a été créée par délibération du conseil municipal de la ville de Fès en date 30 avril et 29 août 1969 en vertu du Dahir n° 1.59.315 du 23 Juin 1960 relatif à l'Organisation communale, et ce après l'expiration du contrat de concession dont bénéficiait la Compagnie Fassie d'Électricité (CFE) au titre de la distribution de l'énergie électrique.

Par arrêté du 25 Décembre 1969, le Ministre de l'Intérieur a approuvé la délibération du conseil communal de la ville de Fès en date du 29 Août 1969 concernant la création de la RADEEF, fixant la dotation initiale établissant son règlement intérieur ainsi que son cahier des charges.

En Janvier 1970, la RADEEF s'est substituée la compagnie fassie pour la gestion du réseau électrique et à la ville de Fès pour la gestion du réseau d'eau potable, elle a été transformée en régie intercommunale suite à l'arrête du ministère de l'intérieur N°3221 de la 2/10/1985 portant autorisation de créer le nouveau syndicat des communes pour la gestion de l'eau potable dans 19 communes.

A compter de 1/1/1996 la RADEEF a été chargé de la gestion du réseau d'assainissement liquide de la ville de Fès.

Organigramme de Direction :



II. Les activités de la RADEEF

1-Électricité

La Régie (RADEEF) assure la distribution de l'énergie électrique moyenne tension et basse tension à plus de 1.076.251 habitants répartis sur l'ensemble du territoire de la préfecture de Fès qui regroupe la commune urbaine de la ville partagée en arrondissements : Agdal, Zouagha , Saiss, Médina , Jnanates, Mérinides, et les communes Ain Chkef et Mechoir.

2-Eau Potable

La régie assure l'alimentation en eau potable pour une population dépassant les 1.204.000 personnes à l'intérieur des villes de FES, SEFROU, BHALIL, ainsi que les communes rurales ; BIR TAM-TAM, RAS TABOUDA, SIDI HRAZEM, AIN TIMGNAI, OULAD TAIB, DOUAR AIT TALEB, et douar AIN ALQUADI.

3-Activité Assainissement Liquide et épuration

Le projet d'assainissement liquide vise à lutter contre la pollution des eaux et en particulier de celui d'Oued Sebou exutoire final des rejets de Fès, rappelant que jusque dans les années 90, Fès baignait dans une mare de pollution excessive.

La RADEEF assure la collecte et l'épuration des eaux usées de la ville de Fès.

Chapitre

2

Station d'épuration des eaux usées de la ville de Fès

- *Traitement des eaux usées de la ville de Fès*
- *Production des boues*
- *Description des procédés de traitement des boues de STEP*

L'épuration des eaux usées consiste à décanter les éléments polluants particuliers et à extraire les éléments dissous qui sont transformés en matière sédimentable suite à un traitement approprié.

La ville de Fès avec une capacité démographique de 1.3 million d'habitants étant la troisième ville à l'échelle nationale, donc déverse un volume très important d'eaux non traitées qui est de 38 millions de m³ engendrant 40% de la pollution de Sebou. L'oued de Sebou est actuellement parmi les oueds les plus pollués à l'échelle nationale, avec des effets néfastes sur la santé, les capacités d'irrigation et la potabilisation de l'eau.

La dépollution d'Oued Sebou est classée parmi les priorités nationales, qui passe impérativement par l'épuration des eaux usées de la ville de Fès, et delà la construction de la STEP en 2012 qui s'appuie sur le traitement biologique des eaux usées (par les boues activées).

Ainsi, à la sortie de la station il en résulte d'une part une eau épurée rejetée dans le milieu naturel, et d'autre part, il reste des sous-produits désignés sous le terme des boues résiduelles (Werther et Ogada, 1999).

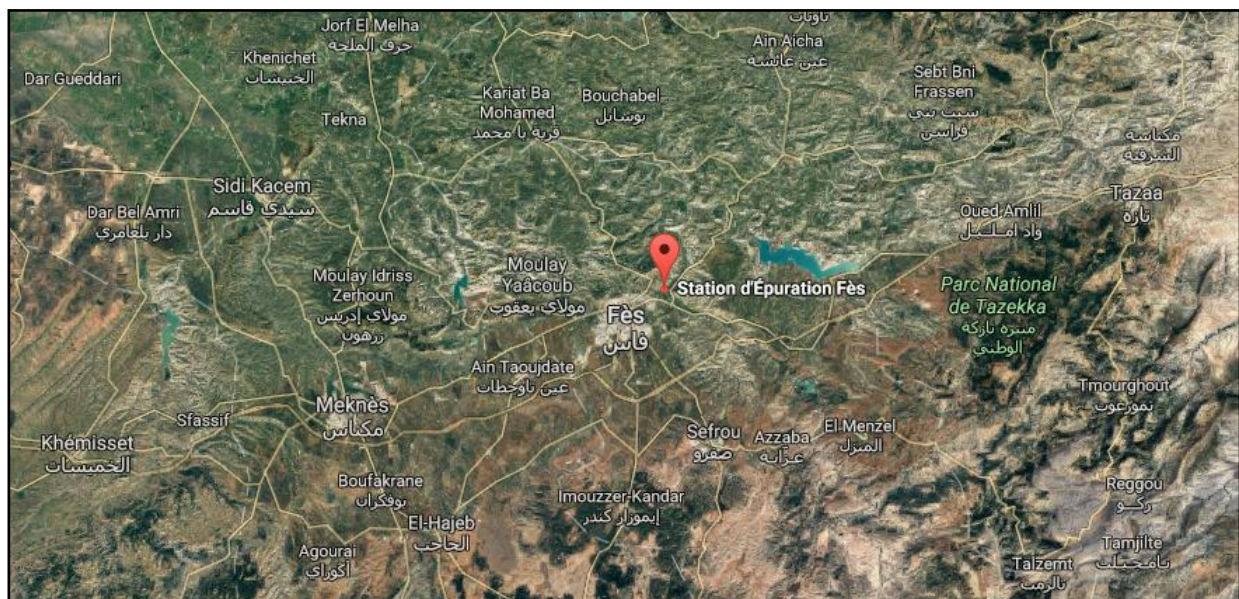


Figure 1: Localisation de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Fès

I. Les boues de STEP-Fès

1. Gisement

Le Maroc en compte aujourd'hui plus de 70 Stations d'épuration localisées principalement dans le Nord, dont la plus grande est celle de la ville de Fès.

La station d'épuration de Fès a commencé ses activités en service prévisionnelle en 2012, elle est d'une superficie de 14 hectares (14ha), adopte un procédé d'épuration de type <<boues activées moyenne charge>> dont la capacité de traitement est de 1,2 million Equivalent Habitant avec un débit de $155.400 \text{ m}^3/\text{j}$.

Fès principale agglomération sur le bassin du Sebou, génère de par sa population d'un million habitants et son parc industriel diversifié, une pollution conséquente évaluée à plus de 105.000 m^3/j d'eaux usées et 64 tonnes/j de matières organiques. Le traitement de ces eaux sur STEP génère environ 51.100 tonnes/an.

2. Origine des boues de STEP

Le traitement des eaux usées au sein de la station d'épuration de Fès se fait en quatre étapes successives, d'où provient l'ensemble de production des boues :

- Les prétraitements : consistent à éliminer la fraction grossière qu'emporte l'eau jusqu'à la station, il s'agit du dégrillage, du dessablage, ainsi que le déshuilage pour enlever les graisses. En effet, il existe une station de prétraitement à Fès "Station de Zenjfour" qui élimine une grande partie des éléments grossiers des eaux avant d'être envoyées à la STEP.
- La décantation primaire : permet de capturer les particules en suspension, et de la boue dans la partie basale des décanteurs.
- Le traitement biologique : Il s'appuie sur l'utilisation de micro-organismes afin de réduire la charge en matière organique contenue dans l'eau usée en présence d'une aération suffisante et conséquente. Ce traitement produit des boues appelées <<boues activées>>.
- La clarification : est la dernière étape de traitement des eaux usées, elle permet d'obtenir la phase aqueuse séparée du floc bactérien utilisé dans la phase précédente.

L'eau traitée est alors rejetée dans le milieu naturel, tandis que les boues résiduelles sont collectées puis traitées en vue de leur valorisation ou de leur élimination.

3. Composition des boues

Les boues produites du traitement des eaux sont essentiellement des particules solides non retenues par les pré-traitements et les procédés de traitement. Ces boues se composent d'éléments fertilisants, notamment en phosphore et en azote, de matières organiques non dégradées, de matières minérales, de micro-organismes et d'eau (environ 99%).

Des éléments indésirables peuvent exister tels que :

- Des ETM (éléments traces métalliques) : Les 7 métaux les plus souvent retrouvés sont: Cadmium (Cd), Chrome (Cr), Cuivre (Cu), Mercure (Hg), Nickel (Ni), Plomb (Pb) et Zinc (Zn)., qui peuvent s'avérer très toxiques s'ils dépassent certaines valeurs.
- Des micropolluants organiques : les substances les plus fréquemment considérées sont les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) et les Composés Traces Organiques (CTO).
- Des micro-organismes pathogènes : virus, bactéries, protozoaires, vers parasites et champignons.
- Des substances à visée thérapeutique, y compris les hormones et en particulier les substances contraceptives, les résidus de traitement cancéreux...

Les substances pharmaceutiques, malgré leur faible concentration dans les boues, restent bioaccumulables et entrent dans la chaîne alimentaire. Elles peuvent donc présenter un risque pour les hommes.

Tableau 1: Différents types de boues de STEP et leur composition

Types de boues	Boues primaires	Boues secondaires ou boues activées	Boues mixtes
Origine	Traitement primaire par décantation	traitement biologique secondaire	Traitement primaire et secondaire
Composition	Matière inorganique	composés organiques avec un petit pourcentage de composés inorganiques	mélange de boues primaires et de boues biologiques

II. Procédés de traitement des boues sur la station d'épuration de Fès

À la sortie des filières de traitement des eaux, les boues contiennent environ 95-99% d'eau. Le traitement des boues consiste à diminuer leur teneur en eau ou augmenter leur siccité afin de réduire leur volume et leur charge fermentescible. L'épaississement, la déshydratation et la stabilisation sont les étapes de ce traitement.

1. Épaississement

L'épaississement est la première étape du traitement des boues. C'est un procédé simple, consommant peu d'énergie. Il se fait dans des épaisseurs dont la boue ne doit pas dépasser un temps de séjour court qui est de 24 à 48 heures au maximum, afin d'éviter les fermentations.

La STEP utilise deux méthodes pour l'épaississement des boues; l'épaississement gravitaire qui consiste à tasser la boue primaire produite par décantation primaire par gravité, et l'épaississement dynamique par flottation qui sépare la phase solide, des boues biologiques ou boues activées, de la phase liquide provoquée par une remontée à la surface des boues sous l'effet de la pression de fines bulles d'air.

L'épaississement sert principalement à réduire le volume des boues brutes et augmente la siccité à 10%, il constitue une étape préalable aux traitements suivants.. L'eau récupérée est recyclée en tête de la station.

Les boues épaissies et flottées sont additionnées, et envoyées pour être stabilisées.



Figure 2: Épaississement des boues

2. Stabilisation et hygiénisation

Ces deux étapes présentent chacune une finalité différente, mais elles sont regroupées dans une seule étape qui vise à réduire les nuisances biologiques que peut produire les boues déshydratées.

La stabilisation réduit la dégradation biologique des boues et plus particulièrement leur fermentation, réduit les émissions de méthane, les risques de lixiviation, les populations bactériennes et la Demande Biologique en Oxygène (DBO5).

L'hygiénisation, quant à elle, est destinée à réduire la présence d'agents pathogènes dans les boues afin d'éviter une contamination éventuelle dans le cas d'une utilisation pour la valorisation d'un écosystème.

La station d'épuration de Fès stabilise ces boues biologiquement par la méthanisation et chimiquement par chaulage.

2.1.Voie biologique

- Digestion anaérobie : Méthanisation

La méthanisation est la fermentation méthanique des boues dans des cuves (digesteurs), à l'abri de l'air, permettant d'atteindre des réductions de matière organique de 45% à 50% ainsi que du volume des boues (jusqu'à la moitié). Elle correspond donc essentiellement à une technique de stabilisation que d'hygiénisation.

La digestion anaérobie produit d'une part un digestat pouvant être valorisé en agriculture et, d'autre part, du biogaz principalement constitué de méthane (environ 65 %) et de dioxyde de carbone (environ 35%). Les boues obtenues sont appelées <boues digérées> et sont déshydratées avant leur hygiénisation.



Figure 3: Digestion des boues

- La déshydratation

La déshydratation constitue la seconde étape de réduction du volume des boues afin d'obtenir une siccité des boues plus poussée (en moyenne comprise entre 20 et 30 % selon la nature des boues).

La STEP utilise les filtres à bandes pour la déshydratation dont le principe est la compression des boues entre deux bandes de toile. Ce système nécessite l'addition de polymères pour assurer la malléabilité des boues.



Figure 4 : Filtre à bandes

2.2.Voie chimique

- Chaulage

Ce procédé intervient après la déshydratation et consiste à déverser de la chaux vive (CaO) sur les boues, ce qui permet une augmentation du pH des boues (supérieur à 12), l'abattement des bactéries sporulées et les œufs d'helminthes.

Le chaulage réduit très efficacement la contamination fécale ainsi que la croissance des micro-organismes pathogènes d'origine fécale dans les boues. Il permet également de supprimer les odeurs (stabilisation), d'augmenter encore plus la siccité des boues (25-35%) et d'améliorer leur structure (plus granuleuse) pour faciliter le transport ainsi que le stockage.

Synthèse des procédés de traitement sur STEP

Traitement			Avantages	Inconvénients
Épaississement gravitaire			exploitation simple peu couteuse	-faible performance avec les boues biologiques - Temps de séjour très long
Déshydratation à bandes			- performante pour boues biologique - grande productivité - fonctionnement en continu	- incapacité de traiter les boues fibreuses - technique abandonnée
Stabilisation et hygiénisation	Biologique	Méthanisation	- réduction jusqu'à 50% du volume - facile à transporter et stocker - production de biogaz	pas efficace pour l'élimination des germes pathogènes
	Chimique	Chaulage	- Augmentation du pH des boues (>12) - Réduction de la contamination fécale et des germes d'origine fécale - Pas d'odeur indésirable, augmentation de la siccité et de la valeur agronomique facilite le transport et le stockage des boues	manipulation délicate

Chapitre

3

Devenir des boues de STEP

- *Enquête au sein de la décharge contrôlée de la ville de Fès*
- *Description les différentes méthodes de valorisation des boues de STEP*

Afin de suivre le devenir des boues de STEP-Fès on est allé visiter la décharge contrôlée ECOMED qui les reçoit et on a pu collecter l'ensemble des informations suivantes déclarées par le vis Directeur de la décharge et le chef des travaux.

I. Visite à la décharge contrôlée ECO MED

La décharge contrôlée de la ville de Fès suit la société privée ECOMED coordonné avec la ville pour résoudre les problèmes de gestion des déchets ménagers et les déchets similaires à ces derniers. Cette décharge est d'une superficie de 110 ha et se trouve à 12 km du centre ville sur la rocade de Sidi Hrazem.

La RADEEF est chargée de transporter ses boues traitées à la décharge qui les reçoit avec une moyenne de 78 tonnes par jour. Cette réception est à la base d'un compromis entre la décharge et la commune et est conditionnée par la mesure d'un seul paramètre qui est la siccité et qui doit dépasser 30% vue que c'est le paramètre qui pourra influencer sur les travaux au sein de la décharge.

Une fois les boues sont reçues quotidiennement, elles sont pesées et leur siccité est contrôlée avant de les mélanger avec les déchets domestiques pour les tasser ensuite sous forme de couches de deux mètres une sur l'autre jusqu'à 12 mètres, où on commence de récupérer le gaz de méthane qui répond à 30% des besoins en électricité public.

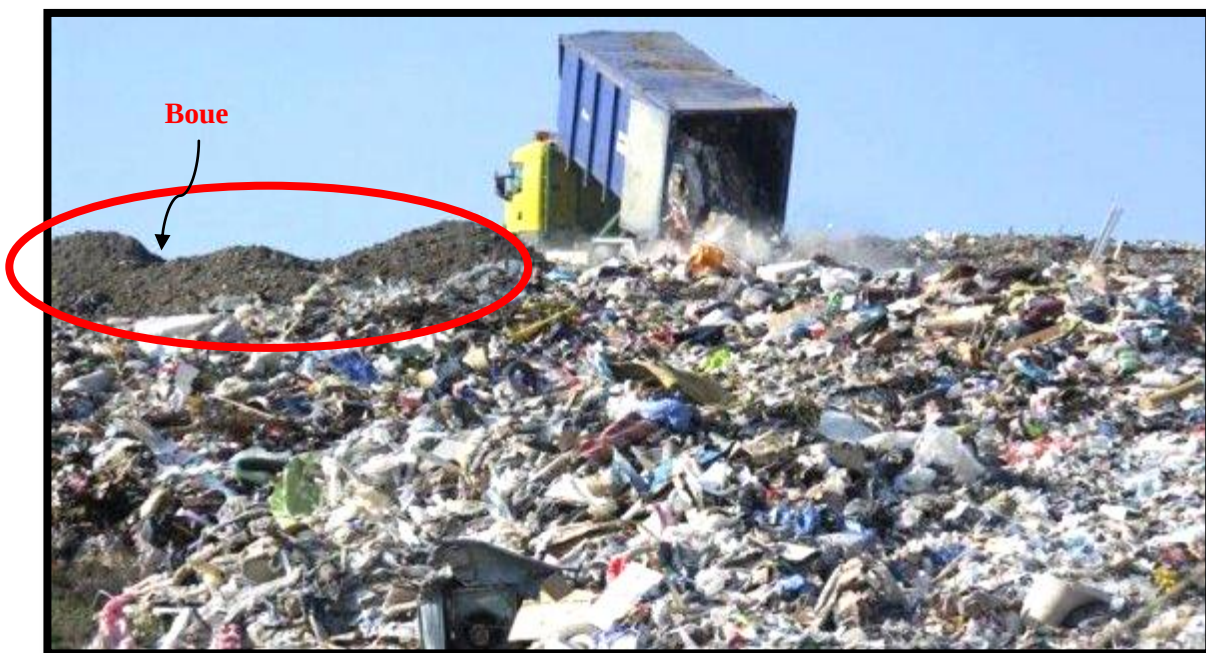


Figure 5: Boues de STEP dans la décharge contrôlée de la ville de Fès

Les risques qui accompagnent la mise en décharge des boues sont multiples ; des risques techniques et environnementaux. En effet, les boues influencent sur le mal fonctionnement des engins de tassement des déchets par leur glissement, ainsi elles déstabilisent les casiers de collecte des déchets, dégagent une mauvaise odeur et le Sulfure d'Hydrogène H₂S considéré comme gaz toxique pour la santé humaine et l'environnement. Heureusement et vue la composition des boues en quelques éléments complexes et toxiques, la décharge a été construite sur des terrains argileux imperméables donc il n'ya pas des risques d'infiltration de éléments toxiques solubles pour atteindre la nappe phréatique.

Pour remédier au moins les risques techniques qui rendent les travaux au sein de la décharge plus difficiles, on a décidé d'isoler les boues dans des bassins profonds pour qu'elles soient éliminées après par leur enfouissement, même si cette solution s'avère peu efficace vue la grande quantité reçue et l'influence du coté climatique qui rend cet enfouissement impossible par l'intermédiaire des pluies qui diminuent la siccité des boues et les rendent liquides.

L'élimination des boues par leur mise en décharge ne paraît pas être la situation délicate pour leur valorisation, car elles ne subissent aucun traitement secondaire en plus de celui effectué à la STEP qui n'est pas suffisant pour mettre une fin à leurs dangers. Au contraire, ces dangers et au sein de la décharge peuvent être plus élevés vue les conditions indésirables présentes là-bas.

Finalement le devenir et la situation des boues de STEP n'est pas satisfaisante, et on doit penser à d'autres solutions pour la remédier et le meilleur devenir pour tout déchet est sa valorisation et sa réutilisation.

II. Valorisation des boues

La valorisation des boues de stations d'épuration des eaux usées est devenue une préoccupation du monde entier, vue l'augmentation de leur production et leur composition diversifiée qui leur révèlent un intérêt économique et environnementale important. Cette valorisation permet de faire passer les boues de STEP d'un statut de "déchet" au statut de "produit", elle est donc une nécessité primordiale pour la protection de l'environnement.

1. Valorisation organique

1. L'épandage

L'épandage des boues d'épuration consiste leur utilisation comme des éléments nutritifs, sur les sols inertes, érodés ou faiblement végétalisés à l'aide de matériels appropriés.

L'épandage des boues d'épuration reste une pratique courante. Cette technique est recommandée pour permettre la réhabilitation des sites stériles tels que les décharges, les carrières. L'aménagement des espaces verts urbains est aussi envisageable.

L'épandage des boues présente des avantages agronomique vue sa composition en éléments fertilisants (N et P), ainsi elles sont disponibles selon les besoins (besoin de stockage), faciles à utiliser, et rentable par comparaison à l'utilisation d'engrais minéraux de commerce.

Malgré les intérêts qu'elle présente, cette valorisation a des limites. Elle est assez mal acceptée quand la présence des ETM, des CTO et les germes pathogènes dans les boues dépassent certaines valeurs.

2. Le compostage des boues

Le compostage est un procédé de stabilisation de la matière organique avant qu'il soit un procédé de valorisation organique produisant un compost. Il présente plusieurs avantages par rapport à l'épandage :

- Réduction du volume des boues et de leur teneur en eau
- Réduction des odeurs
- Meilleure maniabilité (meilleure structure que les boues non compostées)
- Stabilisation et hygiénisation naturelles sans additifs chimiques
- Plus grand intérêt agronomique (une grande quantité d'humus riche en éléments fertilisants).

Le compostage des boues nécessite leur mélange avec des déchets verts qui permettent une meilleure structuration et aération du produit final, et cela vue leur rapport très faible carbone/azote (C/N), et l'absence d'éléments structurants.

L'utilisation du compost fournit aux végétaux un support aéré, un réservoir d'eau et de nutriments. Ceci permet un enracinement important des végétaux, favorise leur productivité et diminue les risques d'érosion.

2. Valorisation énergétique par combustion

Les boues de stations ne sont pas auto-combustibles, elles nécessitent un mélange avec d'autres déchets tels que les déchets ménagers pour qu'elles puissent être incinérées dans des fours spécifiques, et traitées dans des installations de traitement thermique de déchets non dangereux.

L'incinération consiste à la matière organique des déchets par combustion à haute température (+ de 500 °C) produisant de la chaleur qui est récupérée sous forme de vapeur ou d'électricité pour le fonctionnement du four lui-même, pour le chauffage urbain ou industriel. Les résidus de l'incinération (Mâchefer) sont utilisables pour les travaux.

3. Stockage en ISDND

L'intérêt du stockage des boues en ISDND réside dans la valorisation éventuelle du biogaz produit par la fermentation anaérobie des boues ces derniers. Le lieu de stockage doit être confiné et on ignore quel peut être le devenir à long terme, ni la durée du confinement malgré toutes les précautions.

Les boues doivent être préalablement stabilisées et déshydratées (humidité maximale de 70 %). Cette solution a perdu progressivement de son intérêt et se retrouve actuellement interdite pour des raisons financières (procédure de fermeture...) et pour des problèmes environnementaux tels que les odeurs nauséabondes, pullulation de moustiques, entraînement d'éléments fertilisants (nitrates, phosphates) et de produits toxiques par les eaux superficielles et contamination des nappes d'eaux souterraines.

III. Cadre juridique au Maroc

1. Statut des boues au Maroc

Les régions se développent et la population prend de plus en plus conscience de la dégradation de son environnement, un lien étroit s'instaure donc entre la gestion des déchets et la qualité de l'environnement. . Les gestionnaires de ce secteur sont ainsi appelés à trouver des solutions urgentes. A cet effet, des projets réglementaires et des normes qui doivent être respectées doivent être mis en place afin d'obéir aux besoins de l'environnement.

Les boues de STEP du point de vue législatif prennent le statut de « déchets solides industriels »¹ dans la mesure où elles sont générées par l'industrie de traitement des eaux. Il est chargé de ce type de déchet le ministère de l'Équipement qui représente l'autorité compétente en matière de ressources en eau, et s'occupe principalement de la coordination, de la collecte des données, des études, de l'élaboration des lois, de la réglementation, des normes et directives ayant trait à l'environnement.

¹ La loi n°28-00 relative à la gestion des déchets et à leur élimination définit le déchet industriel comme "tout déchet résultant d'une activité industrielle, agro-industrielle, artisanale ou d'une activité similaire"

La réglementation permettant de gérer les déchets solides au Maroc est le principal handicap du secteur. En effet, le contexte juridique est relativement peu favorable à cause de l'inadaptation de certains textes juridiques anciens et de la lenteur dans l'adoption des nouveaux textes. Parmi les textes en vigueur, on peut citer:

✚ La Loi 10-95 sur l'eau : cette loi s'intéresse d'une manière générale à la réglementation des dépôts: elle interdit de déposer ou d'enfouir des déchets solides dans le domaine public hydraulique.

✚ La loi 11-03 relative à la mise en valeur et la protection de l'environnement chargée de la gestion des déchets.

✚ Loi 28-00 : La présente loi a pour objet de prévenir et de protéger la santé de l'homme, la faune, la flore, les eaux, l'air, le sol, les écosystèmes, les sites et paysages et l'environnement en général contre les effets nocifs des déchets. A cet effet, elle vise :

- La prévention de la nocivité des déchets et la réduction de leur production.
- L'organisation de la collecte, du transport, du stockage, du traitement des déchets et de leur élimination de façon écologiquement rationnelle.
- La valorisation des déchets par le réemploi, le recyclage ou toute autre opération visant à obtenir, à partir des déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie.
- La planification nationale, régionale et locale en matière de gestion et d'élimination des déchets.

Le cadre juridique relatif aux déchets est très vétuste, fragmenté et non spécifique, et par conséquent ne répond plus aux contraintes actuelles d'optimisation de la gestion de ce secteur, et cela malgré l'approbation de la loi 28-00 pour la gestion des déchets au Maroc. Cette dernière reste insuffisante et a des effets négatifs sur l'environnement, la santé des populations, le tourisme et la qualité de vie en général. Les problèmes de gestion des déchets dans le pays proviennent de :

- l'insuffisance de dispositif nécessaire à leur traitement.
- la défaillance de la collecte et des traitements des déchets.
- l'absence des activités de recyclage.
- l'absence de collecte et de mise en décharge en milieu rural.

En effet, il n'existe toujours pas des textes juridiques s'intéressant aux boues de station d'épuration d'une manière spécifique et détaillée en ce qui concerne leur gestion en général et même l'absence de normes de qualité pour leur mise en décharge ou leur valorisation sauf

qu'elles sont considérées comme non dangereux d'après le décret n° 2-07-253 du 14 rejeb 1429 (18 juillet 2008) portant classification des déchets et fixant la liste des déchets dangereux.

2. Cahier de charge de la RADEEF

Le cahier de charge de la RADEEF ne souligne aucun article qui s'intéresse aux boues de la STEP, à leur gestion ni aux normes et les valeurs limites qu'elles ne doivent pas dépasser dans leur composition avant leur mise en décharge. En effet, le seul paramètre mentionné et contrôlé avant la mise en décharge est la siccité des boues. La RADEEF s'est mis d'accord et a signé une convention avec la commune chargée de la décharge sur la valeur de la siccité des boues qui ne doit pas être inférieure à 30% pour que la décharge puisse accueillir ces boues.

IV. Contexte réglementaire international (exemple de la France)

Différentes filières de valorisation/élimination des boues

Cette partie est inspirée des différents textes juridiques français relatifs à la gestion des boues d'épuration.

➤ Épandage / compostage

Les articles R211-25 à R211-47 du **code de l'environnement français** précisent que les boues d'épuration ne peuvent être épandues sur les terres agricoles que si elles présentent un intérêt pour l'alimentation des cultures. En outre, ces articles (complétés par l'arrêté du 8 janvier 1998), définissent toutes les obligations qui s'imposent au producteur de boues.

L'arrêté du 8 janvier 1998² modifié fixe les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles. Ces textes indiquent également les conditions d'épandage et apportent les garanties nécessaires de leur innocuité.

Le code de l'environnement impose à l'exploitant de réaliser à ses frais un Plan d'Épandage qui contient :

- Une étude préalable sur les caractéristiques des boues, du sol et leur aptitude à l'épandage, sur les modalités techniques de la mise en œuvre (les périodes et les matériels d'épandage, les conditions de stockage). L'étude doit également prévoir une autre filière d'élimination en cas d'incident.

³ Arrêté du 08/01/98 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n° 97-1133 du 08/12/97 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées.

- Un enseignement des pratiques d'épandage dans le « Registre d'épandage ». Il s'agit d'une synthèse des activités d'épandage contenant les parcelles épandues, les caractéristiques des boues, des sols, etc. Ce registre doit être transmis au préfet tous les ans et le producteur de boues doit garder le document original pendant 10 ans.

L'arrêté du 18 mars 2004³ précise les modalités d'application pour les composts conformes à la norme NFU 44-095, publiée en 2002. En effet, les composts issus de boues d'épuration urbaines peuvent également faire l'objet d'une commercialisation lorsqu'ils répondent aux critères définis dans la norme NF U44-095 relative aux composts contenant des matières d'intérêt agronomique issues du traitement des eaux.

Le compost de boues est soumis aux mêmes textes réglementaires que les boues brutes dont il est issu. Seules des boues qui pourraient, de par leur composition, être directement recyclées en agriculture peuvent être compostées dans la perspective d'un épandage agricole.

➤ Valorisation des boues par incinération

Les deux directives européennes relatives à l'incinération (N° 89/369/CEE du 8 juin 1989⁴ et N° 89/429/CEE du 20 juin 1989⁵) ont été révisées par la directive 2000/76/EC du 4 décembre 2000 sur l'incinération des déchets. L'objectif de cette directive est de limiter les effets négatifs de l'incinération et de la co-incinération sur l'environnement et la santé.

Il n'existe pas de réglementation spécifique à l'incinération des boues d'épuration en France. Le seul arrêté applicable est celui du 20 septembre 2002 (modifié par l'arrêté du 3 août 2010) relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets non dangereux qui transpose la Directive incinération de 2000.

L'ensemble des dispositions applicables aux installations d'incinération de résidus urbains, au titre de la protection de l'environnement, sont alors à prendre en compte (domaine d'application, conditions d'incinération, normes d'émissions, mesures de sécurité, ...). En réalité, ce sont plus

³ Arrêté du 18 mars 2004 relatif aux vérifications auxquelles doit procéder le responsable de la mise sur le marché des matières fertilisantes répondant à la norme NF U 44-095 composts contenant des matières d'intérêt agronomique issues du traitement des eaux

⁴ Directive n° 89/369 du 08/06/89 concernant la prévention de la pollution atmosphérique en provenance des installations nouvelles d'incinération des déchets municipaux

⁵ Directive n° 89/429 du 21/06/89 concernant la réduction de la pollution atmosphérique en provenance des installations existantes d'incinération des déchets municipaux

les contraintes techniques (taux d'humidité et pouvoir calorifique) que réglementaires qui conditionnent l'incinération des boues.

Stockage des boues

L'arrêté du 9 septembre 1997 (modifié le 19 janvier 2006) relatif aux installations de stockage de déchets non dangereux autorise le stockage des déchets de catégorie D, c'est à dire les déchets assimilables aux déchets ménagers. Cette catégorie est composée de substances dont le comportement en cas de stockage est fortement évolutif et conduit à la formation de lixiviats et de biogaz par dégradation biologique. Les boues sont donc autorisées en installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND) si elles contiennent au moins 30 % de matière sèche.

Chapitre

4

Prise de décision : Choix de la filière de valorisation adaptée

- *Analyse des boues*
- *Choix de la filière de valorisation*

En fonction de critères clés qui permettront de savoir quelle filière répondra le mieux à nos priorités et nos objectifs :

- ✓ Tout d'abord le domaine d'applicabilité du procédé donne une présélection de tous les procédés envisageables à partir des caractéristiques principales des boues (= les "critères d'entrée").

Critères d'entrée :

- Quelles quantités annuelles ?
 - Quelle teneur en MS ?
 - Quelle teneur en matière organique ?
 - Valorisation agricole envisageable (contraintes réglementaires et normes)
 - État de stabilisation ou hygiénisation
-
- ✓ Ensuite d'autres aspects sont pris en compte des boues (minimalisation des coûts et des risques économiques, gestion du risque sanitaire, minimisation des impacts environnementaux, problèmes spécifiques liés à la composition des boues pour un procédé donné, limitations des procédés, ...).

Pour prendre une décision en fonction de ces critères, la caractérisation détaillée des boues afin de déterminer leurs caractéristiques physico-chimiques est obligatoire. Dans cet égard, leur analyse est envisagée.

Cette analyse a été faite sur trois types de boues : une boue "fraîche" qui a été récupérée juste après le traitement des eaux, une deuxième qui est stockée pendant trois mois dans le Hall de stockage à la STEP, et une troisième prélevée à la décharge contrôlée reçue là-bas depuis plus qu'un an. Ces trois types de boues ont été prélevés afin de pouvoir suivre l'évolution de leurs caractéristiques physico-chimiques en fonction du temps et pouvoir ainsi noter les changements dans leur état et prendre une décision sur la possibilité de leur valorisation et choisir la filière délicate pour cet égard.

L'analyse des boues suit une procédure spécifique vue leur composition complexe.

I. Analyse des boues

Avant l'analyse de la boue, on procède à un prétraitement pour sa préparation pour l'analyse suivant un protocole de prétraitement : NF ISO 11464 : 2006 – Qualité du sol – Prétraitement des échantillons pour analyses physico-chimiques.

1. Préparation de la poudre de boue pour les différentes analyses

1.1.Séchage

Étaler toute la matière sur un plateau ne pouvant provoquer aucune contamination, en une couche dont l'épaisseur ne doit pas être supérieure à 5 cm, et la sécher dans une étuve à 105°C pendant 24 heures.

1.2.Broyage et tamisage

On prépare la poudre de boue en broyant l'échantillon dans un mortier, pour le tamiser ensuite afin d'éliminer les éléments grossiers.

Cette poudre sera utilisée pour les différentes analyses chimiques :

- Détermination du pH et la CE
- Détermination le taux d'humidité et celui de la matière organique.
- Détermination des métaux lourds.

1.3.L'échantillonnage

Pour faire une analyse, cela demande de savoir prélever un échantillon fiable de ce qui est analysé. L'échantillonnage ne se fait pas arbitrairement mais suit une méthode afin de prélever un échantillon représentatif de l'ensemble des boues. Il s'agit du quartage qui s'appuie sur le mélange des prises élémentaires d'un tas de boues, les diviser en quartiers. Deux quarts sont éliminés, les 2 quarts restant sont mélangés de nouveau. Ce processus est répété jusqu'à obtenir la quantité de matière appropriée qu'on conserve dans des récipients plastiques.

2. L'analyse physico-chimique de la poudre de boue

2.1.Détermination du pH (NF EN 12176)

Le pH de la boue préparée est déterminé par le pH-mètre en diluant une portion de cette dernière dans l'eau distillée.

2.2.Détermination de la conductivité électrique

La CE est déterminé par un conductivimètre dans la même solution préparée pour la détermination du pH.

2.3.Calcul d'humidité et/ou siccité : (NF ISO 11465)

La siccité est le pourcentage massique de matière sèche. Ainsi une boue avec une siccité de 10% présente une humidité de 90%.

Elle est déterminée à partir du pourcentage en poids obtenu après séchage à l'étuve à 105°C pendant une nuit, soit environ 15heures. La différence entre le poids avant et après séchage exprime la teneur en eau de l'échantillon initial.

$$H(\%) = (m_1 - m_2)/m_0 * 100$$

Avec :

m_0 : Masse de l'échantillon

m_1 : Masse du creuset + masse de l'échantillon

m_2 : Masse de l'échantillon après séchage

2.4.Détermination du taux de la matière organique

On détermine le taux de matière organique avec le même échantillon séché pour le calcul de l'humidité du poids m_2 en le brûlant dans le four à 500°C pendant 2 heures. On le laisse refroidir et on pèse pour obtenir un troisième poids m_3 .

$$MO(\%) = (m_2 - m_3) * 100$$

2.5.Étude granulométrique des boues

La granulométrie des boues a été faite pour l'objectif de diviser ses différentes fractions (sables, limons et argiles), et calculer leur pourcentages.

3. Détermination de la composition chimique de la boue

L'analyse de la composition chimique des boues nécessite leur minéralisation pour réparer une solution qui contient les différents éléments chimiques à analyser. La minéralisation qui se fait par différentes méthodes qu'on spécifie selon l'objectif du manipulateur.

L'objectif de notre travail est l'analyse environnementale des boues: On veut déterminer la composition chimique des boues (principalement les métaux lourds), afin d'évaluer leur degré de pollution afin de s'assurer de leur conformité pour une valorisation agricole ou pour la mise en décharge, et delà le choix d'une mise en solution douce avec l'eau régale qui ne libère pas nécessairement tous les éléments (les silicates, certains oxydes, par exemple).⁶

- Minéralisation des boues par attaque acide (à l'eau régale) (NF-ISO 11466)

On mélange 1g de la poudre de boue préparée avec 0,5 ml d'eau, 7 ml d'acide chlorhydrique (HCl), et 2.5 ml d'acide nitrique (HNO₃) goutte à goutte. On chauffe le mélange à température ambiante qu'on augmente peu à peu jusqu'au reflux (environ 2 heures).

On filtre le tout et on récupère la solution dans un récipient de 50ml, et on complète avec l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

La solution est analysée dans le spectromètre à absorption atomique (ICP-AES).

4. Analyse bactériologique des boues (NF EN ISO 7899-2, NF EN ISO 9308-1)

L'analyse de la charge bactérienne que portent les boues reste aussi l'un des paramètres de leur caractérisation vue l'influence de cette charge sur leur qualité et conditionne leur devenir quand il s'agit de microorganismes pathogènes qui risquent de nuire aux cultures. Notre analyse s'est basée sur les microorganismes aérobies, les entérocoques, les œufs d'helminthes, et l'*Escherichia Coli*.

- Identifier les dilutions sur les fioles (10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6}) et les plats de Pétri (10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6}).
- Ajouter le 0,5 g sol à l'Erlenmeyer contenant 50 ml d'agar (Ceci est la dilution 10^{-2})
- Agiter pendants au moins un minute.

⁶ NF EN 13657 (février 2003) Caractérisation des déchets - Digestion en vue de la détermination ultérieure de la part des éléments solubles dans l'eau régale contenus dans les déchets.

- Prélever 0,5 ml à l'aide d'une pipette stérile et déposer dans une fiole contenant 4,5 ml d'agar 0,1 %. (Ceci est la dilution 10^{-3}).
- Agiter pendant au moins une minute.
- Répéter les étapes 4 et 5 pour les trois autres dilutions (10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6}).
- En commençant par la dilution la plus faible (10^{-6}), pipetter 1 ml sur chacun des 2 plats de Pétri contenant le milieu PDA. Étendre sur toute la surface avec le bâtonnet (hockey) stérile. (La dilution 10^{-6} en premier.)

Effectuer les mêmes étapes pour les dilutions de 10^{-5} , 10^{-4} .

- Sceller les plats de Pétri à l'aide du Ruban Parafilm.
- Incuber les plats de Pétri à la température de la pièce.
- Observer après 24, 48 et 72 heures.
- Noter le nombre de colonies/plat de Pétri/dilution.
- Calculez le nombre de microorganismes par gramme de sol selon la formule suivante :
nombre de colonies /plat $\times$ le facteur de dilution = nombre d'organismes / 1 gramme de sol.

II. Résultats des analyses :

1. Paramètres physico-chimiques

	Boue fraîche	Boue de stockage (3mois)	Boue de décharge (1 an)
pH	6.56	7.72	7.09
Calcimétrie (%)	10.86	15.21	20.23
CE (μs/cm)	1822	1741	1410
Siccité (%)	20.4	28.74	32.7
MO (%)	40.43	52.11	45.01

• Description et Discussion

Les résultats des analyses des trois types des boues montrent que leurs caractéristiques physiques changent et évoluent durant le temps.

Le pH des boues ne connaît pas de grands changements durant le temps ; les boues fraîches sont caractérisées par un pH acide qui va à la basicité après certains mois de stockage par le biais des précipitations qui augmentent le pH, mais juste après la mise en décharge cette basicité peut diminuer vue le contact avec d'autres déchets et leurs lixiviats acides.

Le pourcentage des calcaires dans les boues est aussi un paramètre important pour leur caractérisation, et comme les résultats le montre il ya une évolution croissante dans leur présence.

La conductivité électrique nous renseigne sur la salinité des boues. Sa valeur élevée dans les boues fraîches est due aux additifs chimiques et des sels ajoutés lors du traitement et son évolution décroissante durant le temps paraissent raisonnable par l'intermédiaire des précipitations qui diminuent cette salinité peu à peu.

La siccité des boues est un paramètre qui est considérée le plus important avant et après la mise en décharge parce qu'il conditionne les fermentations des boues, les mauvaises odeurs émises, ainsi le fonctionnement des engins et du matériels techniques au sein de la décharge. Les valeurs de la siccité sont relatives car dépendent essentiellement des méthodes de séchage et de déshydratation adaptées lors du traitement, du facteur temps et des facteurs climatiques (température, précipitations) qui changent l'état physique de la boue en général (pâteuse, liquide, sèche...). Pour les boues de STEP-Fès leur siccité est généralement égale ou inférieure à 30% avant d'être transporter à la décharge, où ça devient relatif selon les facteurs dit précédemment.

La matière organique dans les boues est très importante, cela est dû à la composition des eaux usées épurées qui sont riches en éléments organiques. Elle connaît une évolution quand elle est stockée et cela peut être expliqué par sa dégradation et décomposition. Par contre, sa diminution dans les boues de décharge est sûrement due à leur mélange avec quelques déchets inorganiques mais reste malgré cela toujours importante.

D'après les résultats obtenus des analyses physico-chimiques, on peut déjà déduire que les boues fraîches nécessitent un traitement secondaire pour qu'elles puissent s'adapter avec une filière de valorisation précédemment décrite. Dans cet égard, la détermination de la composition chimique des boues et leur charge bactériologique a été envisagée pour les boues de stockage pour pouvoir déterminer si l'on peut les valoriser d'une autre manière au lieu de leur mise en décharge.

2. Composition chimique

Tableau 2: Résultats des analyses de la composition chimique de la boue (F.El Madani; Evolution de la siccité des boues de STEP-Fès; 2014)

Paramètre	Ag	As	Ba	Cd	Co
[] en mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	0,346	< 0,01	< 0,01
Paramètre	Mo	Ni	Pb	Sb	Cr
[] en mg.kg ⁻¹	< 0,01	0,035	0,034	< 0,01	9,194
Paramètre	Cu	Fe	Se	Zn	Mn
[] en mg.kg ⁻¹	0,148	4,664	< 0,01	0,377	0,072

La composition chimique des boues de stockage a montré que ces dernières portent une charge métallique faible sauf pour le chrome (Cr) et le fer (Fe) qui sont relativement présents avec des quantités remarquables.

3. Paramètres bactériologiques :

Paramètre	Micro-organismes aérobie	Entérocoques	Œufs d'helminthes	Escherichia-Coli
Valeur	1,1 10 ⁶	7,2 10 ⁴	Présente	Absente

Pour les paramètres bactériologiques, on a choisi les boues de stockage et nous assistons à une charge biologique portée par les bactéries étudiées : Les micro-organismes aérobie, les Entérocoques, sont présents avec des quantités remarquables, l'Escherichia-coli est absente, au contraire des œufs d'helminthes qui apparaissent dans la boue.

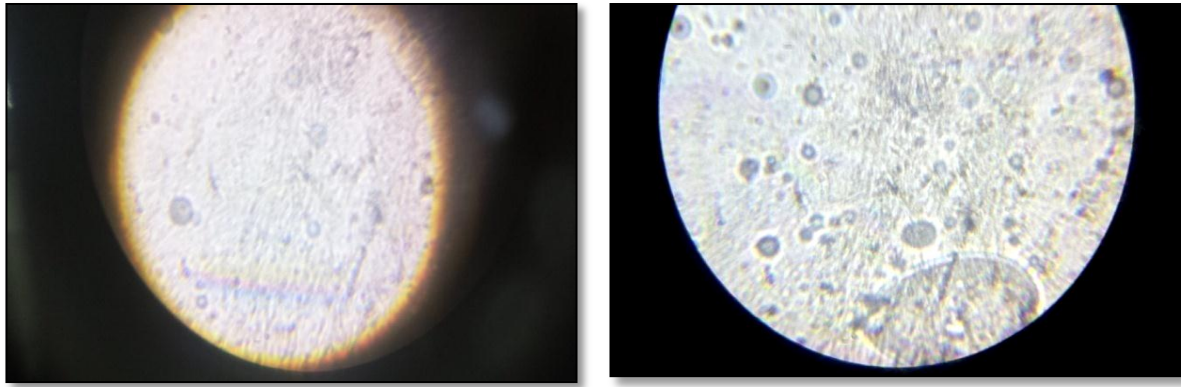


Figure 6: Œufs d'Helminthe observée dans le microscope

L'Absence Escherichia-Coli est testée par l'apparition d'une coloration rose au dessus des tubes d'essai.

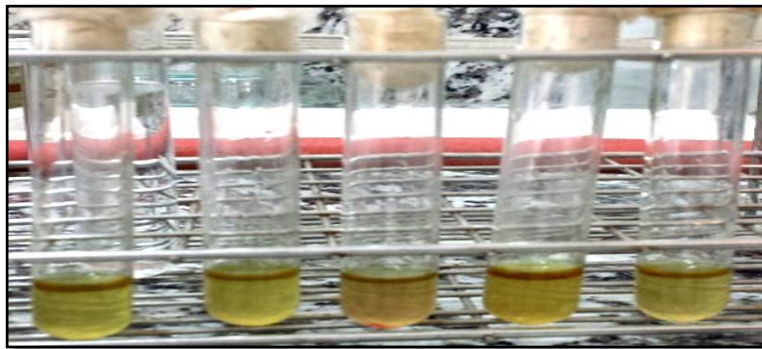


Figure 7: Absence d'Escherichia-Coli

III. Choix de la filière de valorisation

La combustion des boues est une méthode d'exploitation pour la production énergétique. Son application pour les boues de STEP-Fès, est possible même pour les boues directement en sortie des unités de traitement des eaux mais cela paraît très difficile vue les contraintes techniques essentiellement qui exigent la présence des installations de combustion spécifiques (fours, générateurs...), qui de point de vue économique sont coûteux. En plus des problèmes techniques et économiques, la loi marocaine interdit toute industrie pouvant atteindre à l'environnement et engendrant une pollution de ce dernier mais ne contient toujours pas les détails sur les domaines d'application et les conditions d'incinération, les normes d'émissions, et mesures de sécurité ce qui ne permet pas l'encouragement de cette filière.

L'épandage et le compostage des boues sont conditionnés par leurs caractéristiques physico-chimiques, la présence de certains éléments chimiques et bactériologiques avec des teneurs bien précises, répondant aux normes internationales. Il s'agit des valeurs des éléments fertilisants, des ETM, et des germes pathogènes.

L'analyse des particularités physico-chimiques des trois types de boues de STEP-Fès montre que leur acidité est légèrement basique ($6 < \text{pH} < 7$) donc approprié aux normes du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF) qui exige un pH supérieur à six ($\text{pH} > 6$) pour utiliser les boues dans le domaine d'agriculture, mais on remarque que les boues fraîches et ceux de la décharge peuvent s'avérer dangereuses dans certains cas, car leur pH peut connaître avec le temps des diminutions importantes à cause des conditions de traitement, de transport et de dépôt à la décharge. Par contre, les boues de stockage avec leur pH basique (7.72) montrent qu'elles sont les plus favorables du point de vue acidité ainsi que du point de vue salinité exprimée par la conductivité électrique qui est très favorable pour l'utilisation agricole.

La texture des boues de culture est aussi un facteur physique pris en compte, car elle conditionne les retenues du sol en eau qui peuvent causer des risques environnementales comme la pollution des eaux potables par infiltration, ou ruissèlement si le pourcentage des sables est élevé (texture sableuse) ou le risque d'eutrophisation (texture limoneuse). Les boues de culture sont conditionnées par la granulométrie suivante :

Fraction	Pourcentage
Argiles	15 à 25 %
Limons	15 à 25 %
Sables	40 à 50 %

Les boues analysées ont une texture limono-argileuse avec un pourcentage en limons et argiles de 70% et 30% pour les sables, ce qui rendra leur utilisation en culture difficile et de là l'idée de les mélanger avec des déchets verts pour améliorer leur structure et leur aération.

La teneur en eau ou l'humidité des boues est un autre facteur nécessitant un contrôle pour que ces dernières soient compostées. En effet, une teneur en eau trop faible en eau limite le développement microbien, et dans le cas d'une humidité trop élevée, l'eau sature les espaces lacunaires et étouffe les microorganismes dans le tas du mélange à composter (Kulcu et Yaldiz, 2004). En règle générale, l'humidité des déchets à composter doit être ajustée à une valeur comprise entre **50% et 70%** ce qui n'est pas le cas pour nos boues qui ne dépassent pas les 30% et cela après un temps de stockage mais peuvent être séchées si on améliore les conditions de déshydratation et de stockage et en procédant au séchage à l'air libre.

La matière organique joue un rôle primordial dans le fonctionnement du sol, sa structuration, et l'apport en éléments nutritifs. Elle est présente dans les sols avec des teneurs qui varient entre 1% et 5% qui sont faibles pour assurer la fertilisation et le bon rendement du sol de culture et de là la nécessité d'en ajouter sous forme "d'engrais organiques. La boue de STEP-Fès analysée est très riche en matière organique (52.11% qui représente la moitié du poids de la matière sèche) qui reflète la richesse de ces boues de point de vue organique et leur intérêt agronomique.

La matière organique est un réservoir d'éléments nutritifs, et en se basant sur sa quantité on peut dire que ces derniers y sont présents avec des teneurs importantes pour compenser leur faible teneur dans le sol surtout l'azote et le phosphore qui risquent le plus d'être présents en quantité limitée, et surtout qu'ils représentent l'essentiel que les plantes tirent du sol pour leur croissance et développement. Certains parmi eux sont nécessaires en quantité relativement importante, d'autres sont essentiels en très petites quantités donc il faut en ajouter périodiquement avec des doses bien calculées et précises.

Les éléments nutritifs n'ont pas pu être analysés, mais généralement pour les stations d'épuration des eaux usées qui se basent sur le traitement à "boues activées", les éléments nutritifs ont les valeurs suivantes :

Azote	3 à 9 % de la MS
Phosphore	4 à 6 % de la MS
Potasse	< à 1 % de la MS

Ces pourcentages ont un intérêt pour l'agriculture et surtout qu'ils sont présents dans les sols avec des quantités très faibles nécessitant une compensation.

Le rapport C/N est toujours demandé quand il s'agit d'agriculture car il reflète la minéralisation de la matière organique ou sa dégradation. Ainsi pour que le compostage se fasse dans des conditions optimales, le rapport Carbone/Azote doit être situé entre 15 et 30 car si le mélange à composter est trop faible en azote, il n'aura pas de dégradation de matière organique par contre s'il est élevé on aura un surchauffement et les microorganismes seront tués. Les boues de STEP ont un rapport de 3 à 12, il peut être amélioré par l'ajout d'autres déchets.

Les microorganismes aérobies se développent en présence d'**oxygène**, ce sont principalement des bactéries, des moisissures, et des levures. Ils jouent un rôle fondamental dans la fertilité du sol par la production des minéraux nécessaires à la plante (N, P, K, etc.), ainsi certaines bactéries participent à la libération et la transformation des métaux dans le sol et contribuent ainsi à augmenter ou réduire la toxicité des métaux lourds. Notre boue contient une quantité importante en microorganismes aérobies importante et cela est positive vue leurs rôles indispensables, en plus de ça on a souligné l'absence l'*Escherichia-coli* qui est un microorganisme pathogène, au contraire des œufs d'helminthe qui reflète une contamination.

Les ETM dans tout type de sol risquent de s'avérer très néfastes pour ce dernier s'ils sont présents avec des teneurs élevées, car risquent à être bioaccumulés dans la végétation et donc doivent être contrôlés et suivre les normes pour éviter leur danger. Les résultats des analyses montrent que les quantités des ETM présentes dans les boues sont conformes et très inférieures aux normes internationales, mais cela ne permet pas de négliger la teneur obtenue en chrome (9.19 mg/kg) qui attire l'attention par rapport aux autres valeurs.

Tableau 3 : Valeurs limites des ETM de la norme AFNOR U 44-041

Élément chimique	Valeurs seuils en mg/kg MS
Cd	2
Cr	150
Cu	100
Ni	50
Pb	100
Zn	300

L'épandage/compostage nécessite une étude détaillée des sols agricoles, leur caractéristiques et leur aptitude à recevoir une boue brute ou compostée, ainsi fixer toutes les modalités techniques, matériels, quantité...), cela doit être mentionné dans une loi qui est ajustée aux boues des stations d'épuration car le coté réglementaire reste la première contrainte pour la gestion de ces boues.

En comparant l'épandage et le compostage, le deuxième reste la meilleure méthode pour la valorisation des boues de STEP-Fès car ces dernières compostées présentent un intérêt plus important, leur structure sera plus favorables pour les sols, stables et leur commercialisation est possible.

CONCLUSION

Les boues de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Fès issues du traitement des eaux domestiques et industrielles sont caractérisées par une composition complexe, qui englobe des éléments organiques et inorganiques. La STEP-Fès envoie ses boues à la décharge contrôlée de la ville de Fès. Cette dernière les reçoit sous la condition qu'elles soient d'une siccité qui dépasse 30% pour qu'elle puisse les mélanger avec les déchets domestiques, tasser et enfouir par la suite.

L'analyse de quelques paramètres physico-chimiques des boues en fonction du temps on montré que les boues stockées une durée de temps sont les plus favorables pour la valorisation énergétique et agricoles par rapport à celles obtenues directement après le traitement des eaux usées et celles envoyées à la décharge qui ont un contact direct avec d'autres déchets, malgré cela nécessitent des améliorations au niveau de la siccité des boues, et leur structure.

La composition de la boue de stockage en ETM est conforme aux normes et ne reflète aucun danger dans leur utilisation pour l'épandage ou le compostage, ainsi l'analyse des caractéristiques bactériologiques ont souligné la présence des œufs d'helminthes qui par leur présence peuvent contaminer les sols agricoles.

La valorisation énergétique des boues n'est encouragée pour les boues de STEP, est possible pour tout type de boues mais son application est difficile car il y a l'absence de modalités réglementaires, économiques et techniques.

La valorisation des boues de STEP-Fès par compostage est encouragée d'après ces premières analyses, mais nécessite d'autres analyses plus détaillées pour les boues ainsi que pour les sols de culture. Ainsi il faut trouver des solutions en ce qui concerne les contraintes réglementaires et juridiques qui par la quasi-absence d'une loi encadrant la gestion des boues de STEP en général et des textes fixant les modalités de leur utilisation dans tout domaine risque d'être la plus grande contrainte devant cette valorisation. En plus de ces contraintes, il y a les contraintes techniques et économiques qui exigent un matériel et des techniques spécifiques pour pouvoir suivre les changements des caractéristiques de ces boues durant le temps et en fonction de plusieurs facteurs.

Références bibliographiques :

- Amir, S, 2005, Contribution à la valorisation de boues de stations d'épuration par compostage : devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost, Thèse de Doctorat p.341.
- AMORCE, 2012, Boues de Station d'Épuration : Techniques de traitement, valorisation et élimination, Association au carrefour des collectivités territoriales et des professionnels p. 36.
- AMORCE, 2012, Gestion des boues de stations d'épuration Co-traitement avec les déchets ménagers, Association au carrefour des collectivités territoriales et des professionnels p. 41.
- Cahier des charges d'assainissement liquide, 1996, RADEEF.
- Loi 11-03 relative à la protection et à la mise en valeur de l'environnement, Dahir n° 1 - 03 - 59 du 10 rebii I 1424 (12 mai 2003), B.O du 10 Rebii I 1424 (12/5/2003) ; page 500.
- Loi 12-03 relative à la gestion des déchets solides, Dahir n° 1.03.60 du 10 Rabii I 1424 (12 mai 2003), BO N° 5118 du 19 Juin 2003.
- RECORD, Ch. BAZIN, J. MÉHU Décembre 2004, Meilleures pratiques d'analyse de polluants ciblés dans des matrices solides complexes (déchets, sols et matériaux pollués), Étude n°03-0130/1A p.221.
- REMALD, 2005, « La revue Marocaine d'Administration Locale et de Développement », la loi 10-95 sur l'eau, page 47.
- http://ona-dz.org/IMG/pdf/Perspectives_de_valorisation_agricole_et_energetique_des_boues_issus_des_STEP_en_Algerie-2.pdf
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Texture_du_sol
- www.socpharmbordeaux.asso.fr/pdf/pdf-148/148-077-092.pdf
- <http://phytopath.ca/wp-content/uploads/2014/09/Isolement-des-microorganismes-du-sol.pdf>
- www.biodiversite.nc › ... › *Approche scientifique* › *Micro-organismes*



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Nom et prénom : AFGANE Rachida

Année Universitaire : 2016/2017

Titre : Valorisation des boues de la station d'épuration des eaux usées

Résumé

La station d'épuration des eaux usées de la ville de Fès, est la plus grande station au Maroc, elle traite de grandes quantités d'eaux usées. L'épuration de ces eaux est accompagnée par la production de quantités non négligeables de boues dont il faut s'en débarrasser.

La valorisation des boues de STEP-Fès est devenue une priorité régionale, vue les quantités énormes produites, et les dangers qu'elles peuvent générer vue leur composition complexe et hétérogène. Cette valorisation peut être organique par épandage ou compostage, énergétique par la combustion des boues ou même éliminatoire par leur mise en décharge.

Le choix de la meilleure méthode pour la mise en valeur des boues de STEP-Fès, est fait à la base de plusieurs analyses physiques, chimiques et bactériologiques qui ont aidé à conclure que les boues de STEP-Fès peuvent être compostées et utilisées comme des engrais organiques. Néanmoins, il existe des contraintes réglementaires, économiques et techniques pour cette valorisation.

Mots clés : STEP-Fès, boues activées, valorisation, épandage, compostage, siccité, mise en décharge.