



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Centre Universitaire El Wancharissi de Tissemsilt

Institut des Sciences et Technologies

Département des Sciences de la Nature et de la Vie

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

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Spécialité : Ecologie et Environnement

Option: Protection des Ecosystèmes

Caractérisation des boues résiduaires issues de STEP pour leur valorisation comme amendement organique pour les sols agricoles dans la région de Tissemsilt.

Présenté par : M^{elle} HAMANI Samia

Devant les membres de jury :

Président Mr : ARDJANE T. Adda

MAA C.U. Tissemsilt

Encadreur Mme : NAIMI Souhila

MAA C.U. Tissemsilt

Examineur Mr : OUABEL Habib

MAA C.U. Tissemsilt

Année universitaire : 2019-2020

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail A mes parents, symboles de courage et de volonté, qui ont consacré et sacrifié leurs vies pour mon bien être.

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

A ma famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité.

A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès A tous ceux que j'aime.

Remerciements

Avant tout, je remercie Allah, Dieu le Miséricordieux, l'unique, le Puissant, pour sa guidance et sa protection ;

Je tiens à exprimer mes vifs et sincères remerciements à tous ceux qui de Près ou de loïn m'ont permis d'élaborer ce présent mémoire et plus particulièrement à :

Mme NAIMI pour la confiance qu'elle m'a accordée en acceptant de m'encadrer, pour sa présence, son aide et ses suggestions.

Je remercie vivement l'ensemble des membres du jury qui m'ont fait l'honneur d'examiner mon mémoire

Ainsi que je remercie tout le personnel de la station d'épuration des eaux usées de la Wilaya de TISSEMSILT, de la direction de l'ONA ainsi que du laboratoire de l'INSID Ksar Chellala.

A toutes les personnes auxquelles j'éprouve un très grand respect et qui m'ont permis d'acquérir de grandes connaissances, un grand merci.

Liste d'abréviation

C° : Degré Celsius

°:Degré

%: Pour cent

Fe: Fer

Zn: Zinc

Cu: Cuivre

Cd: Cadmium

Ni : Nickel

Cr: Chrome

J:Jour

MS: Matière sèche

MO: Matière organique

MB: Boue brute

HR: Humidité relative

MES: Matière en suspensions

CTO: Composés trace organiques

ETM: Eléments traces métalliques

STEP : Station de traitement des eaux polluées

CEN: Comité Européen de Normalisation

H₂O₂: Eau oxygénée

Sommaire

Dedicace

Remerciements

Liste d'abréviation

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale..... 1

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

Introduction : 4

1. Processus d'épuration des eaux usées: 5

1.1. Le prétraitement : 5

1.2. Le traitement primaire: 5

1.3. Le traitement biologique: 6

1.4. Le traitement tertiaire: 7

2. Les différents types des boues d'épuration: 8

3. Traitement des boues résiduaires: 12

3.1. Objectifs du traitement des boues résiduaires: 12

3.2. Procédé du traitement: 12

3.2.1. Procédés de réduction de la teneur en eau: 13

3.2.2. Stabilisation des boues: 18

3.2.2.1. Stabilisation biologique: 19

3.2.2.2. La stabilisation chimique: 21

3.2.2.3. Le séchage thermique: 22

3.2.3. L'oxydation thermique:.....	22
4. La composition des boues:	23
4.1. Les éléments utiles:	23
4.1.1. La matière organique :.....	23
4.1.2. Les éléments minéraux:.....	24
4.2. Les éléments indésirables:.....	25
4.2.1. Les éléments traces métalliques (ETM):.....	25
4.2.2. Les composés traces organiques (CTO):.....	26
4.3. Les micro-organismes pathogènes :	26
5. Propriétés des boues:	26
6. La valorisation des boues:	27
6.1. La mise en décharge contrôlée:	28
6.2. L'incinération:	28
6.3. Utilisation agricole des boues:	29
6.3.1. Epandage:	29
6.3.2. Le compostage des boues:.....	31
7. Situation du traitement des eaux usées en Algérie et production de boues:	33
8. valorisation des boues en Algérie:	33

Chapitre 2 : Présentation de la STEP

1. Présentation de la Station de traitement des eaux polluées	35
1.1. Localisation géographique:	35
1.2. Caractéristiques générale de la STEP :	36
2. Procédé de traitement des eaux résiduaires:.....	37
2.1. Prétraitement :	37
2.1.1. Dégrillage:.....	37

2.1.2. Dessablage et déshuilage:.....	39
2.2. Traitement biologique (boues activées):	39
2.3. Clarification (décantation):	40
2.4. Désinfection:	41
2.5. Traitement des boues:.....	42
2.5.1. L'épaississement:	42
2.5.2. Le séchage dans des lits de séchage:	43

Chapitre 3 : Matériels & Méthodes

1. Prélèvements : date, mode, état de la boue:	44
2. Analyses physicochimiques de la boue : matériels, méthodes:.....	44
2.1. Méthodes d'analyse:	44
1. Granulométrie:	44
2. Analyse du pH :.....	45
3. Matière organique :	46
4. La conductivité électrique CE :.....	46

Chapitre 4 : Résultats et discussions

1. Analyses physicochimiques des boues : Présentation, interprétation:	47
1.1. La granulométrie :	47
1.2. Analyses physicochimiques des boues:.....	48
2. Les analyses des ETM : (exploitation de données existantes).....	49
Conclusion générale :	54

Références bibliographiques

Annexe

Résumé

Liste des figures

Figure 01 : Principe d'un bassin de décantation.....	6
Figure 02 : Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration boues activées.....	7
Figure 03 : Les boues primaires	10
Figure 04 : Les boues physico-chimiques	10
Figure 05 : Les boues biologiques	11
Figure 06 : Schéma des différents types de boues dans un procédé de traitement par boues activées	11
Figure 07 : Coupe longitudinal d'un épaisseur gravitaire	14
Figure 08 : Etape d'épaississement des boues par flottation	15
Figure 09 : Déshydratation par filtre presse	17
Figure 10 : schéma de la composition principale du lit de séchage	18
Figure 11 : Principes de la digestion anaérobie des boues	20
Figure 12 : Caractéristiques physiques des boues	27
Figure 13 : Localisation de la STEP de TISSEMSILT	35
Figure 14 : Maquette de la STEP TISSEMSILT	36
Figure 15 : Station de relevage	37
Figure 16 : Dégrilleur grossier	38
Figure 17 : Dégrilleur fin	38
Figure 18 : le bassin de dessablage et déshuilage de la STEP de Tissemsilt	39
Figure 19 : Bassin d'aération	40
Figure 20 : Bassin de décantation secondaire	41
Figure 21 : Bassin de désinfection	41
Figure 22 : Epaisseur	42
Figure 23 : Déshydratation mécanique.....	43

Figure 24 : Lits de séchage	43
Figure 25 : Pipette de ROBINSON	45
Figure 26 : pH mètre	45
Figure 27 : Conductimètre	46
Figure 28 : Diagramme comparatif de (Cu, Fe, Zn, Ni, Cd, Pb, Cr) par rapport à la norme	51
Figure 29 : Diagramme comparatif de (Cu, Fe, Zn,) de la boue de la station d'épuration de Tissemsilt, par rapport à la boue de la station d'épuration de Tiaret	52
Figure 30 : Diagramme comparatif de (pH, CE, MO%) de la boue de la station d'épuration de Tissemsilt, par rapport à la boue de la station d'épuration de Tiaret	53
Figure 31: Carte des limites administratives de la wilaya de Tissemsilt.....	annexe 2
Figure 32: Carte pluviométrique de la Wilaya de Tissemsilt.....	annexe2

Liste des tableaux

Tableau 01 : Stations d'épuration en Algérie	33
Tableau 02 : Résultats des analyses physique de la boue.....	47
Tableau 03 : Répartition des différents types de texture en fonction de classe de texture	48
Tableau 04 : Résultats des analyses physico chimique de la boue	48
Tableau 05 : Classification des sols en fonctions de la CE.....	49
Tableau 06 : Comparaison des résultats chimiques des boues (ETM) avec les normes AFNOR .	50
Tableau 07 : Teneurs en éléments traces métalliques pour les boues en Algérie selon la norme NA 17671. (mg/kgMS)	50
Tableau 08 : la comparaison entre Les boues de station d'épuration de Tiaret et de Tissemsilt ..	52
Tableau 09 : Différents types de boues de STEP	annexe1
Tableau 10 : Les opérations de traitements des boues	annexe1
Tableau 11 : Avantages et inconvénients des techniques l'épaississement et de déshydratation	annexe1
Tableau 12 : Composition en éléments utiles des boues	annexe1
Tableau 13 : Effets de quelques éléments métalliques	annexe1
Tableau 14 : Principaux germes susceptibles d'être présents dans les boues et Principales maladies dont ils sont responsables	annexe 1
Tableau 15 : Répartition mensuelle de la température	annexe2
Tableau 16 : les précipitations annuelles de la wilaya de Tissemsilt	annexe2
Tableau 17 : Répartition mensuelle des vitesses du vent	annexe2
Tableau 18 : Humidité relative moyenne mensuelle	annexe2

Introduction générale

Introduction générale

Depuis toujours l'eau, matière indispensable à la vie, est indissociable de l'activité humaine. Une estimation montre qu'une personne consomme 150 à 200 litres en moyenne d'eau potable par jour. Une fois utilisée, il est nécessaire d'évacuer cette eau dans de bonnes conditions afin de protéger l'environnement. De nombreuses substances sont déversées dans l'eau ce qui altère sa qualité. Cette pollution est produite par des matières minérales et organiques, indésirables ou toxiques qui sont en suspension, en solution ou en émulsion. (Deshayes, 2008 in Maalem et al, 2018)

Les eaux usées issues des diverses activités urbaines ne peuvent être rejetées telles quelles dans l'environnement, car elles contiennent divers polluants organiques et minéraux. (I.N.R.A, 1980 in Ramdani, 2007)

L'un des moyens de lutte contre les eaux polluées que nous a offert la technologie est la création de stations d'épuration des eaux polluées (STEP).

L'Algérie a consenti un effort considérable en matière de traitement des eaux usées; il existe actuellement plus d'une centaine de stations d'épuration.

Quelque ce soit le système d'épuration adopté, le traitement des eaux usées s'accompagne d'une production de quantités de boues non négligeables dont il faut se débarrasser (Ademe, 1999 in Belghaouti, 2013).

Le problème se résume alors en quelques mots empruntés à IONESCO «**comment s'en débarrasser ?**». En effet, ces boues deviennent très vite envahissantes et la solution simple qui consiste à laisser sécher ces déchets au niveau de la station devient ingérable par manque d'espace (Gamrasni, 1979 in Derouiche, 2012).

Quelle solution pour éliminer ces résidus dans les conditions les plus économiques tout en respectant les contraintes liées à la protection de l'environnement et l'hygiène publique ?

Plusieurs filières existent pour l'élimination de ces boues, le choix doit être tributaire du coût d'installation, de l'origine de boues, de la valeur ajoutée du produit qui en résulte et de l'impact que pourrait avoir la filière retenue sur l'environnement. La mise en décharge (appelée

Introduction générale

aussi stockage) s'avère une technique peu valorisante et est légalement interdite dans de nombreux pays.

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.

La valorisation biologique ou agricole (production d'engrais et de compost) fait partie des technologies vertes qui permettent de transformer les boues en produits à haute valeur ajoutée en minimisant les risques de pollution (in Maalem et al, 2018)

Le recyclage par épandage est en général plus économique que l'élimination. En effet, les boues doivent être considérées comme une matière première qui peut être réutilisée. Généralement, ces boues sont riches en matière organique, en éléments fertilisants (Azote, Phosphore et Potassium) et en oligo-éléments (Zinc, Fer, Cuivre, Manganèse) (Inra, 1980 in Derouiche, 2012).

L'Office National de l'Assainissement(ONA) en Algérie a estimé, en 2013, que 539 tonnes de boues résiduaires sont générées par jour. Or, cette quantité ne peut pas être délivrée en état puisque ce déchet pose un sérieux problème pour la santé publique et pour l'environnement. Il peut contenir des polluants (métaux lourds et composés organiques polluants) et des pathogènes dangereux (microorganismes et parasites). Cela impose un traitement adéquat pour l'innocuité et la valorisation de ce déchet (Maalem et al, 2018).

Depuis plusieurs années, des chercheurs Algériens se penchent sur le moyen d'utiliser les boues résiduelles des stations d'épuration pour fertiliser les champs.

L'ONA produit des quantités croissantes de boues. Seulement 25% des boues sont utilisées en agriculture ; 60% sont mises en décharge (Belaid, 2015).

C'est pour cela, qu'il serait intéressant de faire des caractérisations des boues des STEP existantes comme le cas de la wilaya de Tissemsilt pour évaluer la possibilité de leur valorisation en agriculture.

Les boues résiduaires issues de STEP de Tissemsilt sont-elles adaptées à l'utilisation comme amendement organique pour les sols agricoles dans la région de Tissemsilt ?

Introduction générale

L'objectif de ce travail consiste donc à l'étude des caractéristiques physico-chimiques des boues résiduaires de la STEP de Tissemsilt pour leur valorisation comme amendement organique pour les sols agricoles.

Notre mémoire comporte le plan suivant :

- Une introduction générale
- Un premier chapitre consacré à l'étude bibliographique des boues résiduaires.
- Un deuxième chapitre consacré à l'identification et la présentation de la STEP
- Un troisième chapitre consacré au matériel et les méthodes d'analyses.
- Un quatrième chapitre pour la présentation des résultats, leurs interprétations et discussions.
- Une conclusion générale.

Chapitre 1

Synthèse

bibliographique

Introduction :

Les stations d'épuration urbaines assurent le traitement des eaux usées urbaines et/ou industrielles acheminées par les réseaux d'assainissement.

Ce traitement, s'il a pour objet, le rejet d'une eau épurée acceptable par le milieu récepteur, produit également un résidu polluant, désigné sous le terme de boues d'épuration (Jamonet, 1987).

Selon le Comité Européen de Normalisation (CEN) les boues sont définies comme «*un mélange d'eau et de matières solides, séparé par des procédés naturels ou artificiels des divers types d'eau qui le contiennent*».

Donc, les boues sont des matières issues du traitement des eaux usées où, l'épuration de ces eaux, domestiques et/ou industrielles, s'effectue dans une station de traitement des eaux polluées (STEP) en différentes étapes selon des techniques appliquées.

Il en résulte une eau épurée et un résidu principal : les boues.

Cependant, et au cours de l'épuration les boues apparaissent généralement à deux niveaux:

- ✘ Les plus grosses particules solides se déposent au fond du décanteur primaire et forment les boues primaires.
- ✘ Les particules fines dispersées et ces substances dissoutes sont fixées et métabolisées par les bactéries qui se multiplient en présence d'oxygène au cours de l'opération d'aération (Karoune, 2008).

Elles sont composées d'eau et de matière sèche dont les quelles se trouvent des éléments polluants et les métaux lourds.

Les boues sont riches en matière organique et en éléments fertilisants comme l'Azote et le Phosphore, elles présentent un intérêt certain dans le domaine agricole et autre (in Derouiche 2012).

1. Processus d'épuration des eaux usées:

La composition des eaux usées véhiculées par le réseau d'assainissement est extrêmement variable en fonction de leur origine. Elles peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide (des flottants) ou dissoute (des matières en suspension). (Koller, 2004 in Maalem et al, 2018), Ainsi que de nombreux microorganismes, En fonction de leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et du danger sanitaire qu'elles représentent, ces substances peuvent être classées en quatre groupes : les matières en suspension, les micro-organismes, les éléments traces minéraux ou organiques, et les substances nutritives (Zeghoud, 2013 in Maalem et al, 2018).

Le processus d'épuration des eaux usées comprend trois grandes étapes principales; le **prétraitement**, les **traitements primaires**, le **traitement biologique** parfois suivis par un quatrième niveau de traitement, appelé **traitement tertiaire**.

1.1. Le prétraitement :

La première étape de traitement consiste en un prétraitement visant à éliminer les déchets volumineux susceptibles d'endommager les équipements, par simples procédés de séparation physique. Ainsi, on y retrouve une étape de **dégrillage**, retenant ainsi les matières les plus volumineuses. L'étape de **dessablage** vient ensuite débarrasser les eaux usées des sables et graviers. Une étape de **dégraissage** (ou encore appelée déshuilage) vient parachever ces prétraitements. Elle consiste à racler les particules grasses se trouvant en surfaces des eaux naturellement ou par flottation via une injection d'air au fond de l'ouvrage (in Belghaouti, 2013).

Le prétraitement permet d'éliminer 10 à 15% de la pollution initiale des eaux usées (Koller, 2004 in Maalem et al, 2018).

1.2. Le traitement primaire:

Une fois ces étapes de dégrossissage réalisées, les eaux usées vont subir des procédés physiques ou physico-chimiques visant à éliminer, par décantation la charge de matière organique et minérale en suspension. C'est ce que l'on appelle le traitement primaire.

Ces traitements ne permettent d'obtenir qu'une épuration partielle des eaux usées. L'eau va alors passer au travers de bassins décanteurs, à faible vitesse permettant ainsi la sédimentation des particules au fond des bassins, et leur enlèvement via des pompes.

Une étape de coagulation-floculation préalable à la décantation permet d'améliorer l'épuration. C'est le traitement physico-chimique.

Cette technique comporte une première phase d'adjonction d'un réactif (**sels de Fer** ou d'**Aluminium**) qui provoque l'agglomération des particules en suspension, provoquant ainsi leur chute au fond de l'ouvrage.

90% des matières en suspension peuvent alors être éliminées (Quénéa et Belhadj-Kaabi, 2009).

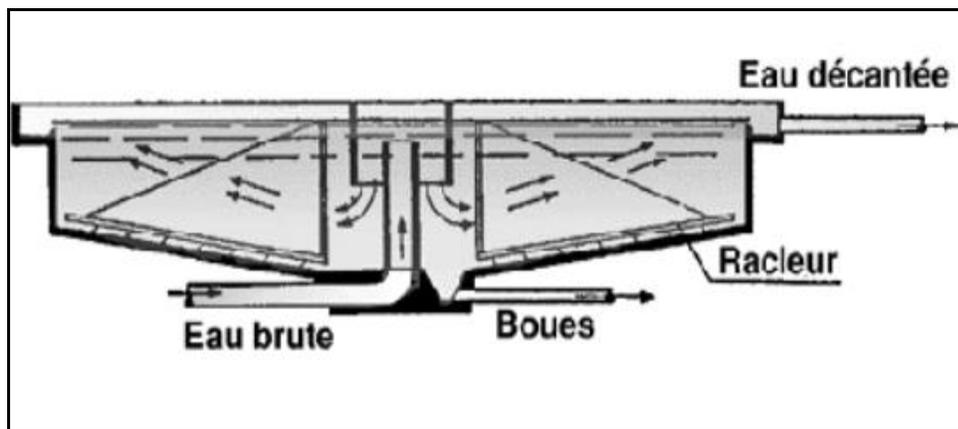


Figure 01: Principe d'un bassin de décantation.

1.3. Le traitement biologique:

Ces traitements consistent en une consommation de la matière organique contenue dans les eaux usées et d'une partie des matières nutritives (azote et phosphore) par des microorganismes déjà présents dans ces eaux, et ce généralement en présence d'air ou d'oxygène.

La croissance de la faune et de la flore donne lieu à des flocs plus ou moins abondants qu'on éliminera par décantation ou filtration (Vedry, 1975 in Derouiche, 2012).

Si la culture bactérienne est maintenue en suspension (libre) et dans un ouvrage aéré et alimenté par l'effluent à traiter (bassin d'aération), il s'agit du procédé à boues activées (Canler et al, 2011 in Maalem et al, 2018).

Dans le procédé de type lit bactérien par contre, la culture est fixée ou retenue sur un support solide (Jardi, 2002).

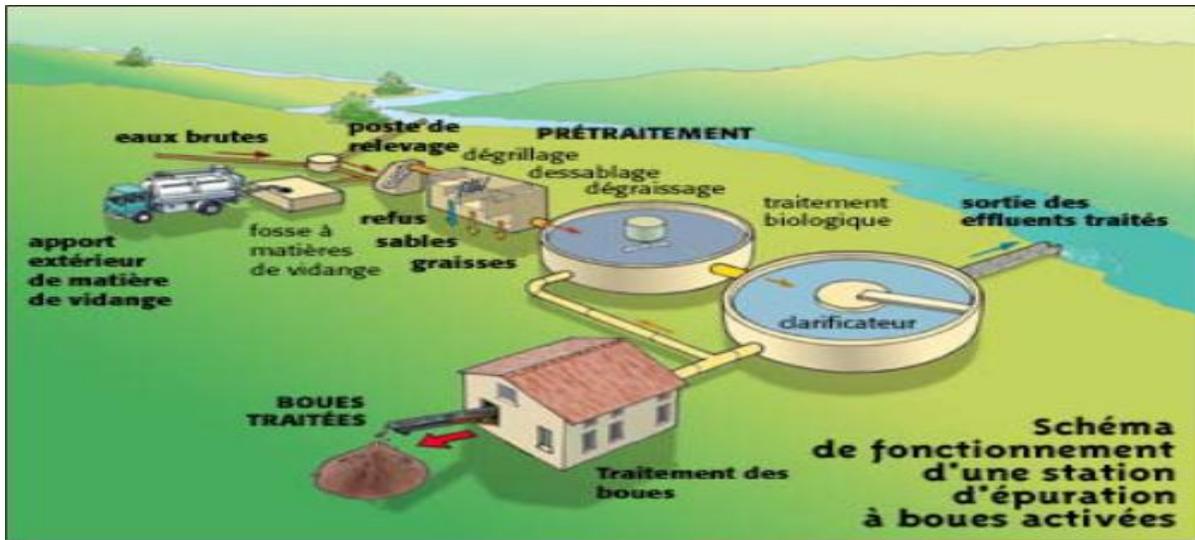


Figure 02: Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées (Quénéa et Belhadj-Kaabi, 2009).

1.4. Le traitement tertiaire:

Ces traitements complémentaires concernent l'azote, le phosphore et la désinfection.

L'élimination de l'azote est obtenue grâce à des traitements dits de « *nitrification/dénitrification* ». En effet, l'azote organique se transforme en ion ammonium (NH_4^+) dans les eaux usées. Cet ion ammonium est transformé par les cultures bactériennes en nitrates NO_3^- : C'est l'étape de **nitrification**. La dénitrification intervient en deuxième lieu, et repose sur l'action des bactéries dénitrifiantes qui vont transformer les *nitrates en azote gazeux*.

L'élimination du phosphore ou « *déphosphatation* » consiste à provoquer l'accumulation du phosphore dans les cultures bactériennes des boues afin d'y être piégées.

La désinfection vient parachever le traitement en éliminant les germes potentiellement pathogènes encore présents dans l'eau.

L'épuration des eaux usées, nous venons de le voir produit d'un côté de l'eau épurée et de l'autre, des sous-produits que l'on appelle «**boues**» (Quénéa et Belhadj-Kaabi, 2009).

2. Les différents types des boues d'épuration:

L'appellation des différents types de boues résulte de la combinaison de plusieurs critères :

- ✗ Nature de l'effluent (urbain, laiterie, abattoir, papeterie,...),
- ✗ Caractéristique du traitement des eaux (primaire, physico-chimique, biologique),
- ✗ Procédé de stabilisation (aérobie, anaérobie, chaulage, compostage),
- ✗ Etat physique des boues (liquide, pâteux, solide, pulvérulent, granulé),
- ✗ Type de matériel de déshydratation (filtre-presse, centrifugeuse, table d'égouttage,...).

L'ensemble des combinaisons possibles montre qu'il existe en théorie un grand nombre de types de boues. Toutefois, en résumant les situations les plus fréquemment rencontrées (Guy, 2003 et Emillian, 2004 in Derouiche, 2012). Moins poussés résultent finalement des boues liquides, pâteuses ou solides dont le classement est réalisé en fonction de leur siccité (pourcentage de matières sèches qu'elles contiennent) :

-Les boues liquides: (siccité variant de 1 à 10 %) :

Sont issues de l'épaississement des boues biologiques par voie gravitaire (siccité 2-3% MS) ou mécanique (5-7 % MS). Elles proviennent des petites stations des zones manipulent à la façon du lisier de porcs ou de bovin ; une croissance importante des peuplements forestiers lors qu'il y a eu apport de boues liquides (Karoune, 2008).

-Les boues pâteuses: (siccité variant de 10 à 30 %) :

Proviennent des boues liquides déshydratées mécaniquement (siccité 16-20% MS). Dans certains cas, elles subissent un conditionnement supplémentaire à la chaux qui accroît la siccité du produit brut (25% MS). Ces boues pâteuses sont produites dans des stations de taille moyenne.

Elles sont difficiles à stocker et surtout à épandre avec régularité. En outre, elles présentent souvent de graves problèmes d'odeurs, sauf dans le cas d'un traitement complémentaire à la chaux (Bodet, 2001 in Maalem et al, 2018).

-Les boues solides chaulées:

Résultent soit de boues pâteuses traitées à la chaux (siccité 30% MS), soit boues liquides épaissies traitées à la chaux et déshydratées mécaniquement (siccité 40% MS). Elles sont produites par des stations de taille moyenne ou de grande taille et représentent plus de 30 % des tonnages de boues évacuées (in Maalem et al, 2018).

Les boues solides chaulées se stockent, se manipulent et s'épandent facilement.

Par ailleurs, elles présentent beaucoup moins de problèmes d'odeurs que les boues liquides et les boues pâteuses non chaulées (Bodet, 2001 in Maalem et al, 2018).

-Les boues solides:

Compostées (siccité 45% MS) sont issues du mélange de boues pâteuses avec un support ligno-cellulosique structurant (déchets d'espaces verts, copeaux...).

Les boues compostées sont plus faciles à stocker que les boues solides chaulées. Elles s'épandent aussi facilement et sont pratiquement sans odeur (Bodet, 2001 in Maalem et al, 2018).

A partir d'une « filière de traitement des eaux », on peut distinguer en fonction de l'étape de traitement où sont prélevées les boues différents types de boue.

Selon les différents types de traitement des eaux usées, on distingue :

-Les boues de prétraitement (boue primaire):

Ce sont les dépôts récupérées par simple décantation des eaux usées n'ayant pas subi de traitement, elles sont très hétérogènes, riches en matières minérales (micro- sables, terres) et contiennent de 65 % à 70 % de matières organiques putrescibles et susceptibles d'évolution. (Duchene, 1998 in Ramdani, 2007)

Elles sont riches en eau; environ 90 à 95 %, et présentent une odeur fétide (Debba, 1998 in Ramdani, 2007).



Figure 03: Les boues primaires (Ladjel et Abbou, 2014).

-Les boues physico-chimiques:

Ces boues sont issues de l'agglomération des matières organiques particulières ou colloïdales contenues dans les eaux par l'addition d'un réactif coagulant dont les plus courants sont les acides et les bases, les Sulfates d'Aluminium ou de Fer, les chlorures ferreux ou ferrique (in Jardi, 2002).



Figure 04: Les boues physico-chimiques (Ladjel et Abbou, 2014).

-Les boues biologiques (secondaire):

Ce sont les boues issues des clarificateurs ou décanteurs après traitement biologique que se soit en culture libre (boues activées) ou en culture fixées (lits bactériens ou bassin d'aération)

Elles sont donc constituées essentiellement de corps bactériens et de leurs sécrétions, elles sont de couleur sombre, très organiques (75 %) plus homogènes que les boues primaires et ont moins d'odeur que les précédentes (Debba, 1998 et Duchene, 1990 in Ramdani, 2007).



Figure 05: Les boues biologiques (Ladjel et Abbou, 2014).

-Les boues mixtes (boues primaires + boues biologiques):

C'est le mélange de boues primaires et de boues activées ou provenant de lit bactérien (Emillian, 2004 in Derouiche, 2012). (Voir le tableau dans L'annexe n°1)

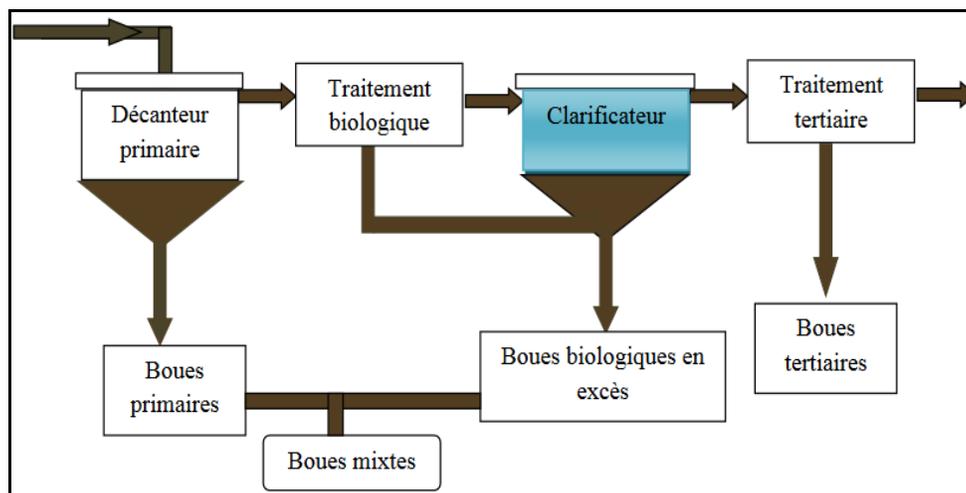


Figure 06: Schéma des différents types de boues dans un procédé de traitement par boues activées (Telli, 2013 in Maalem et al, 2018).

Les boues font l'objet de diverses phases de traitement visant à réduire leur volume, à les stabiliser et à les rendre facilement manutentionnaires pour les évacuer de la station d'épuration.

Avant ces traitements, elles portent le nom de boues fraîches, terme qui recouvre généralement l'association boues primaires– boues secondaires.

En fonction de la qualité de l'eau à épurer, et du mode de traitement adopté, on distingue deux grandes familles:

-Les boues à caractère minéral.

-Les boues à caractère organique (Morel, 1977 in Ramdani, 2007).

3. Traitement des boues résiduaire:

3.1. Objectifs du traitement des boues résiduaire:

Les traitements spécifiques des eaux usées engendrent une matière organique hautement fermentescible (Guy, 2003 et Ouardas, 2009 in Derouiche, 2012).

Trois principaux objectifs de traitements des boues seront distingués :

1. Des traitements d'épaississement et /ou déshydratation et le séchage, des traitements de réduction de la teneur en eau pour améliorer leurs caractéristiques physiques, et de concentrer et diminuer le volume des boues à stocker et à épandre (Emillian, 2004 in Derouiche, 2012).

2. Des traitements de stabilisation (réduction de nuisance olfactive) pour réduire la fermentescibilité des boues afin de limiter ou d'annuler les mauvaises odeurs (Guy, 2003 et Emillian, 2004 in Derouiche, 2012).

3. Des traitements d'hygiénisation qui visent à éliminer la charge des microorganismes pathogènes (Guy, 2003 et Emillian, 2004 in Derouiche, 2012).

3.2. Procédé du traitement:

Quel que soit le mode d'épuration des eaux, les boues sont initialement constituées d'eau, de matière organique fraîche très fermentescible, et des matières minérales dissoutes ou insolubles (Ati, 2010 in Belghaouti, 2013).

Les boues d'épuration nécessitent un traitement préalable et ce dans le but de réduire leur volume et d'éviter la putréfaction des matières organiques facilement décomposables (Lefevre, 1977 in Derouiche, 2012).

Trois étapes de traitement sont ici distinguées:

La réduction de la teneur en eau via **l'épaississement et la déshydratation, la stabilisation, L'oxydation thermique.**

3.2.1. Procédés de réduction de la teneur en eau:

A) Epaississement:

L'épaississement se situe à plusieurs niveaux, peut constituer la première étape de la plupart des filières de traitement des boues, le premier stade est la technique la plus simple de la réduction du volume des boues (Guerin et Thomazeau et al, 1987 in Ramdani, 2007). Et permet d'obtenir une boue dont la concentration varie de 15 à 100 g/l. elle peut être donc pompée (Noble, 1997 in Belghaouti, 2013).

Les techniques qui sont le plus souvent utilisées pour l'épaississement:

A.1. L'épaississement statique gravitaire:

Cette technique consiste à introduire la suspension boueuse dans un ouvrage appelé épaisseur de façon à permettre une concentration des boues au fond de l'ouvrage uniquement sous l'action des forces de gravité, la hauteur des boues doit être telle qu'elle évitera toute turbulence dans l'appareil.

Le temps de séjour des boues est assez élevé et est de l'ordre de 10– 15 jours. Cependant, selon la nature de la boue le temps de séjour peut descendre à 5 jours afin d'éviter les phénomènes de fermentation (Gaid, 1984 et Duchene, 1990 in Ramdani, 2007).

Une fois concentrées, les boues sont retirées de l'appareil et alimentent les autres maillons de la chaîne de traitement.

- **L'épaisseur** est une cuve équipée d'un mécanisme racleur tournant à faible vitesse permettant le recyclage et l'agitation lente du processus.

Il existe deux principaux types d'épaisseurs; suivant qu'ils soient mécanisés ou pas:

- ✘ L'épaississeur mécanique est à fond plat, légèrement incliné par rapport à l'horizontal (pente radier 10 à 15°) à un diamètre dépassant les 5 m et atteint souvent 40 m.
- ✘ L'épaississeur statique à fond cylindro-conique à un diamètre inférieur à 5 m le radier fait un angle de 45 à 60° pour accélérer la décantation (in Ramdani, 2007).

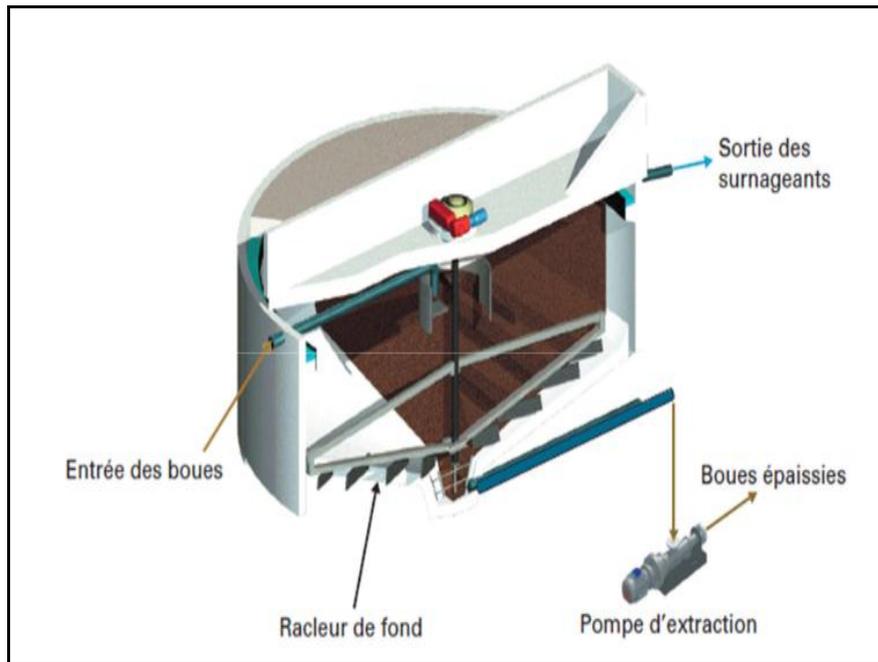


Figure 07: coupe longitudinale d'un épaisseur gravitaire (Mazouni et Ramdani, 2017).

A.2. L'épaississement dynamique:

Il est réalisé sous l'action de forces mécaniques, et s'effectue selon différentes méthodes:

-L'épaississement Par flottation:

De fines bulles d'air permettent à la boue de remonter en surface par captation. Ce procédé est principalement réservé aux boues biologiques de faible densité. (in Belghaouti, 2013) (Concentration de l'ordre de 2 à 8 g/l maxi), en général pour des installations de moyenne et grosse importance (>40 000 Eq.Hab). (Adler, 2005)

Il existe différents procédés pour favoriser la flottation au moyen de divers gaz et de différentes applications. Citons **la flottation à l'air dispersé**, **la flottation à l'air dissous** (Gaid, 1984 in Ramdani, 2007).



Figure 08: Etape d'épaississement des boues par flottation (Quénéa et Belhadj-Kaabi, 2009).

-Par égouttage:

Cette technique est en général utilisée pour des petites STEP et avec des boues Biologiques d'aération prolongée (5 à 10 g/l). Elle permet une réduction du volume de boues de l'ordre de 6 à 7 (siccité de l'ordre de 5 - 8 %). Souvent, la grille d'égouttage est associée à une déshydratation sur filtre bande (voir plus loin). Les ratios suivants sont classiquement observés :

-Consommation énergétique faible (30 à 60 kWh/T MS)

-Vitesse de l'ordre de 8 à 10 m³/m/h

-Polymère : 5 kg/T MS (Adler, 2005).

-Par centrifugation:

Cette technique, comparable à la flottation, est en général utilisée pour des boues biologiques ou de traitements tertiaires physico-chimiques. Elle est en général utilisée pour des STEP moyennes (20 à 100 000 Eq.Hab). Ce procédé est onéreux en investissement et en exploitation mais assure une excellente maîtrise des nuisances olfactives. Elle est compacte, sans odeur, avec un degré d'épaississement important mais impose une consommation de polymères onéreuse.

En association avec des polymères liquides performants et pour des boues comprises entre 6 et 9 g/l, les performances des centrifugeuses permettent de produire des boues à des concentrations de l'ordre de 6 à 7 % et des concentrats à 0.5 g/l (Adler, 2005).

B) La déshydratation:

La déshydratation sert à réduire la teneur en eau par des moyens mécaniques, permettant ainsi l'obtention de boues solides (in Barnat, 2001).

Elle correspond en fait, à une forte augmentation de la siccité (30 à 40 % de matière sèche), et modifier l'état physique des boues, celles-ci passent de l'état liquide à l'état pâteux ou solide.

Généralement, une boue est jugée apte à être déshydratée lorsque sa concentration est au minimum de 15g/l (in Maalem et al, 2018).

Après l'étape de digestion et de post épaissement, les boues produites sur les stations d'épuration restent toujours liquides.

La réduction du coût de leur évacuation passe alors, par une réduction de cette humidité, c'est à dire obtenir les taux de siccité les plus élevées afin de rendre le produit solide ou pâteux, cette réduction est réalisée à l'aide de procédés de déshydratation qui diffèrent selon les principes de fonctionnement (Duchene et al, 1990 in Ramdani, 2007) :

Soit en faisant appelle aux éléments naturels: **lits de séchage**.

Soit par des **procédés mécaniques** :

-Egouttage à travers un support filtrant (système drainant).

-Filtration sous vide (filtration sous dépression).

-Filtration sous pression (filtre presse, filtre à bandes presseuses, continue).

-Décantation accélérée (centrifugeuse) (Ramdani, 2007).



Figure 09: Déshydratation par filtre presse (in Jardi, 2002).

-La déshydratation naturelle (lits de séchage):

C'est une filtration et évaporation naturelles de la boue sur une aire de séchage. La boue passe par deux étapes:

- Filtration naturelle à travers le lit: perte jusqu'à 80% de la teneur en eau.
- Evaporation naturelle (Séchage atmosphérique) (in Guerfi, 2012).

Ce système extensif donne des boues solides à 35 –40 % de siccité mais reste fort dépendant des conditions météorologiques. La boue sèche ainsi obtenue est pelletée, elle contient plus de 50% de matière sèche et peut-être utilisée pour l'agriculture (Jamonet, 1987).

Constitution des lits de séchage:

L'aire de séchage est composée d'une couche supérieure de 10 cm de sable lavé (calibre de 0.5 à 1.5 mm), d'une couche intermédiaire de gravier fin (calibre de 5 à 15 mm) et d'une couche inférieure de gros graviers (10 à 40 mm) reposant sur le sol imperméabilisé et soigneusement nivelé.

Des drains sont disposés, avec une légère pente de 3 à 4% dans la couche de base les lits de séchage sont délimités par des murettes préfabriquées amovibles et les boues sont épandues en couches de 15 à 30 cm (Bechac et al, 1984, Gaid, 1984, Vade Mecum, 1990 in Ramdani 2007).

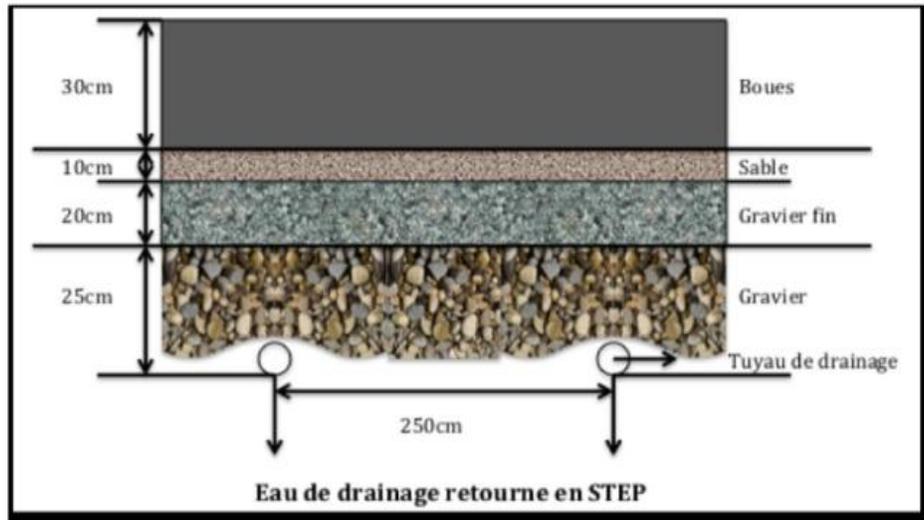


Figure 10: schéma de la composition principale du lit de séchage (Mazouni et Ramdani, 2017).

3.2.2. Stabilisation des boues:

Les boues d'épuration sont composées de matières organiques dégradables, de matières minérales et d'organismes pathogènes.

Comme son nom l'indique, cette technique induit la stabilisation du caractère fermentescible des boues, en dégradant les matières organiques ou en bloquant les réactions.

Elle jouit d'avantages majeurs tels que la valorisation énergétique du biogaz produit lorsque la stabilisation s'effectue par voie anaérobie (Quénéa et Belhadj-Kaabi, 2009).

La stabilisation des boues vise à réduire le taux de matières organiques de manière à empêcher ou du moins à limiter les fermentations.

Les matières organiques sont transformées en matières minérales sous l'action des bactéries. Sur des boues secondaires ou mixtes, on vise en général une réduction des matières organiques au niveau de 60 % des matières sèches totales (in Ramdani, 2007).

Les traitements de stabilisation utilisés sont de type biologique, chimique ou thermique. Ils s'appliquent aux boues mixtes fraîches, aux boues secondaires ou à l'ensemble des boues (Koller, 2004 in Belghaouti, 2013).

3.2.2.1. Stabilisation biologique:

Elle réduit la teneur des boues en matières fermentescibles. La stabilisation biologique se fait soit par :

-Voie aérobie (en présence d'oxygène):

Placées dans un bassin d'aération séparé, appelé bassin de stabilisation les boues subissent une réduction de leur taux de matières volatiles du fait de l'activité des bactéries aérobies, on parle {d'auto-oxydation bactérienne}. La minéralisation de la matière organique aboutit au stade ultime à la formation de gaz carbonique (CO₂) et d'eau (H₂O) (Bechac et al, 1984 et Duchene, 1990 in Ramdani, 2007).

Le taux de réduction de la matière organique varie entre 20 et 35% (in Belghaouti, 2013).

-voie anaérobie (absence d'oxygène):

La stabilisation anaérobie est une fermentation bactérienne en absence d'oxygène qui permet de stabiliser la matière organique (in Ramdani, 2007). La digestion anaérobie est particulièrement intéressante pour les STEP de moyenne et grande capacité puisque la quantité de biogaz produite et revalorisable n'en sera que plus importante.

Cette technique est la plus étendue en France (Quénéa et Belhadj-Kaabi, 2009). Comme son nom l'indique, la digestion anaérobie permet la digestion de l'essentiel de la matière organique contenue dans les boues, à l'exception de quelques **végétaux récalcitrants**, tel que **la lignine** qui, en l'absence d'oxygène est difficilement dégradable. Une première étape consiste en une **hydrolyse** du contenu organique, c'est-à-dire, une décomposition de la matière organique complexe (polymères) en matière organique simple (monomères).

Cette étape d'hydrolyse est par ailleurs reconnue comme limitant dans le processus notamment dans le cas de composés difficilement hydrolysables tels que **la cellulose** ou **les graisses**. Ces monomères vont ensuite subir une **acidogénèse**.

Cette étape est réalisée par les espèces microbiennes dites acidogènes qui vont produire des **alcools** et des **acides organiques** ainsi que **de l'hydrogène** et **du dioxyde de carbone**.

L'**acétogénèse** constitue la 2^{ème} étape de la digestion anaérobie pendant laquelle les sous-produits formés de l'acidogénèse sont transformés en précurseurs directs du méthane : l'**acétate**, le **dioxyde de carbone** et l'**hydrogène**.

La **méthanogénèse** vient parachever le processus de digestion anaérobie. Elle est assurée par des micro-organismes anaérobies et aboutit à la production de **méthane**. Elle est réalisée selon deux voies possibles :

Soit par l'**hydrogène** et le **dioxyde de carbone** via les micro-organismes dits **hydrogéntrophes**, soit à partir de l'**acétate** via les espèces **acétotrophes** (Quénéa et Belhadj-Kaabi, 2009).

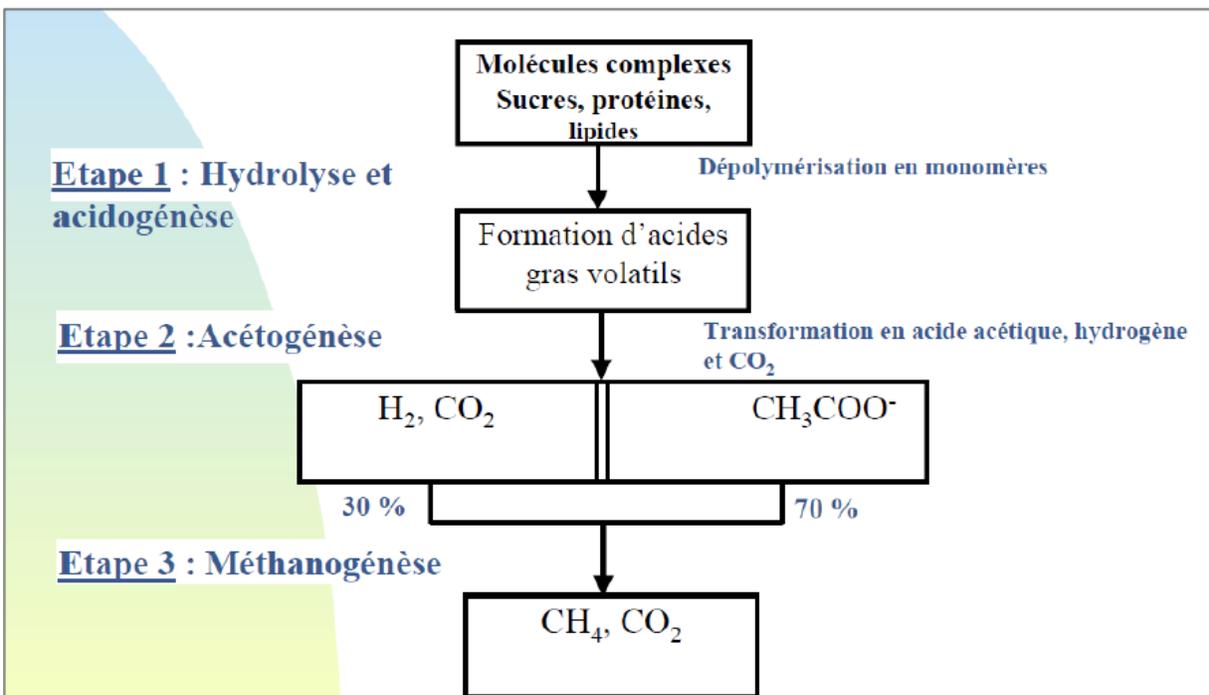


Figure 11: Principes de la digestion anaérobie des boues (Quénéa et Belhadj-Kaabi, 2009).

-Le compostage:

Le compostage est également un procédé de stabilisation par voie aérobie. Il reproduit en accéléré le processus de décomposition de la matière organique dans le sol. Brièvement, le procédé s'effectue en deux étapes majeures: la première durant laquelle la matière organique fraîche est dégradée à hautes températures (50 à 70 °C) sous l'action de bactéries. Cette élévation de température est essentiellement d'origine biologique due à l'activité microbienne; la deuxième

phase dite de maturation est une phase de dégradation moins soutenue. C'est après la phase de maturation que le compost peut être utilisé comme amendement pour les sols. Le fait de transformer les boues en compost permet de limiter les nuisances olfactives et de changer l'aspect des boues en de conventionnels terreux (Quénéa et Belhadj-Kaabi, 2009).

Le compostage se pratique dans des stations de moyenne taille et ne représente que 2% des tonnages des boues (in Belghaouti, 2013).

3.2.2.2. La stabilisation chimique:

-Le chaulage:

La stabilisation par voie chimique est également employée et se réalise par chaulage. Contrairement au compostage, le chaulage ne transforme pas la matière organique (Quénéa et Belhadj-Kaabi, 2009).

Le chaulage bloque simplement l'activité biologique, et donc l'évolution de la boue, par adjonction d'une quantité importante de chaux (10 à 50 % de la matière sèche, en général 30 %), élevant le pH au-delà de 12.

La chaux utilisée peut se présenter sous deux formes différentes: Chaux vive (CaO) ou Chaux éteinte (Ca(OH)₂) (Koller, 2004 et Gamarasni, 1984 in Belghaouti, 2013).

Ces pH élevées inhibent ou tuent les bactéries et donc en particulier les bactéries pathogènes qui y subsistent (Duchene, 1990 in Ramdani, 2007). Les boues sont ainsi déshydratées et stabilisées (blocage de tous les micro-organismes provoquant l'arrêt des fermentations et l'émission de mauvaises odeurs). Par ailleurs, le chaulage ne modifie pas le caractère nutritif des boues pour le sol (Quénéa et Belhadj-Kaabi, 2009).

-La stabilisation aux nitrites:

La stabilisation aux nitrites étant réalisée sur une boue épaissie, les nuisances olfactives sont éliminées dès le début de la filière. La boue peut ensuite être stockée plusieurs mois, sans dégager d'odeurs.

Cette technique permet de stabiliser la boue, mais aussi de l'hygiéniser de façon plus ou moins importante, selon le mode de traitement utilisé:

✘ **Mode de stabilisation+hygiénisation partielle:**

La boue épaissie est admise dans un milieu acide maintenu à un pH de l'ordre de 3.

Elle est alors soumise à ce traitement, pendant un minimum de 30 minutes. Ce traitement oxyde les composés malodorants (H₂S,...) et élimine les agents responsables de la dégradation des matières organiques (action bactéricide).

✘ **Mode de stabilisation+hygiénisation poussée:**

Le principe de fonctionnement est le même que dans le premier cas, mais les paramètres de fonctionnement sont optimisés:

- ✓ pH plus faible, de l'ordre de 2.
- ✓ Temps de séjours plus long, au moins 2 heures
- ✓ Concentration plus forte en nitrites (in Belghaouti, 2013).

3.2.2.3. Le séchage thermique:

Il permet une élimination quasi-totale de l'eau, les boues obtenues sont pulvérulentes ou en granulés, mais en raison du coût énergétique, ce procédé reste peu utilisé. Deux grands procédés de séchages sont couramment utilisés

-Le séchage direct: la boue est séchée par contact avec un gaz chaud.

-Le séchage indirect: la boue est séchée par contact avec une paroi chauffée par un fluide (Noble, 1997 et Boutin, 1982 in Belghaouti, 2013).

3.2.3. L'oxydation thermique:

L'oxydation thermique est la filière qui répond le mieux aux critères de réduction de volume et d'hygiénisation. La boue est alors complètement minéralisée et les germes pathogènes détruites.

Il existe deux types d'oxydations:

- ✘ En phase gazeuse: incinération et co-incinération.
- ✘ En phase liquide: oxydation par voie humide (OVH).

-L'incinération dans un four spécifique:

Cette opération s'effectue généralement dans un four à lit de sable fluidisé, une combustion efficace en phase gaz, nécessite un temps de séjours contrôlé, une température optimale et uniforme, ainsi qu'une turbulence élevée.

-La co-incinération avec les ordures ménagères

Opération s'effectue, soit par pulvérisation d'une boue à 25 % de siccité directement dans le four d'ordures ménagères, soit par mélange d'une boue séchée (60 à 98% de siccité) avec les déchets ménagers (Noble, 1997 et Boutin, 1982 in Belghaoui, 2013).

4. La composition des boues:

La composition exacte des boues varie en fonction de l'origine des eaux usées, de la période de l'année et du type de traitement et du conditionnement pratiqué dans la station d'épuration. En général, Trois sortes d'éléments sont présentes dans les boues:

- Des éléments utiles.
- Des éléments indésirables (Contaminants chimiques inorganiques et organiques).
- Des micro-organismes pathogènes (in Boulahbal, 2011).

4.1. Les éléments utiles:

4.1.1. La matière organique :

Les boues contiennent généralement autant de matière organique qu'un fumier.

Leur concentration en matière organique peut varier de 30 à 80 %. Celle-ci est constituée de matières particulaires éliminées par gravité dans les boues primaires, des lipides (6 à 19 % de la matière organique), des polysaccharides, des protéines et des acides aminés (jusqu'à 33 % de la matière organique), de la lignine, ainsi que des produits de métabolisation et des corps microbiens résultant des traitements biologiques (digestion, stabilisation) (in Boulahbal, 2011).

4.1.2. Les éléments minéraux:

D'une manière générale, les boues contiennent des quantités appréciables en éléments nutritifs. Selon la dose appliquée, les boues peuvent couvrir, en partie ou en totalité, les besoins des cultures en éléments nutritifs (**Azote**, en **Phosphore**, **Magnésie**, **Calcium** et **Soufre**), elles peuvent aussi corriger les carences à l'exception de celle en potassium (Zebarth et al, 1999. in Boulahbal, 2011).

Ce sont donc ces éléments qui déterminent la qualité agronomique des boues. Les éléments les plus importants sont les suivants:

-L'Azote:

La teneur en Azote des boues représente 3 à 7% de la matière sèche (MS). Cet Azote est présent sous différentes formes, plus ou moins rapidement assimilables par les plantes. Il est présent sous formes: d'Azote organique et d'Azote minéral (NH_4). Les boues ne contiennent généralement pas d'Azote nitrique (NO_3) ou d'Azote nitreux (NO_2), sauf à l'état de traces (Grimaud, 1996. in Boulahbal, 2011).

-Le Phosphore:

5 à 6% du phosphore total des boues se trouvent sous forme de **Phosphate organique** et que le **Phosphore minéral** étant surtout constitué par des associations avec les composés du Fe, d'Al du Ca et du Mg qui abondent dans la plus part des boues (Juste, 1979 in Derouiche, 2012).

Il est assimilable à hauteur de 70% la première année, une efficacité qui est voisine de certains types d'engrais.

Compte tenu du prix du superphosphate utilisé comme engrais, cet élément (le phosphore) constitue un facteur intéressant pour la valorisation des boues (Impens et Avril, 1992 ; O.T.V, 1997 in Boulahbal, 2011).

-Le Potassium:

Les boues sont généralement pauvres en Potassium. Elles contiennent souvent 0,5 à 1,5% de la MS, car cet élément reste en solution dans les eaux rejetées (Impens et Avril, 1992 ; O.T.V, 1997 in Boulahbal, 2011).

-Le Calcium:

Les boues sont très riches en Calcium. Leur teneur en cet élément varie de 4 à 5,5% de la MS. Quand elles sont traitées par la chaux, elles se comportent comme de véritables amendements calcaires (O.T.V, 1997. in Boulahbal, 2011). Les boues contiennent du calcium en quantité appréciable : Des valeurs de 0.2 à 1.5% du CaO dans les boues liquides et de 2 à plus de 20% de CaO dans les boues solides (Anred, 1982 in Derouiche, 2012).

-Le Magnésium:

Selon impens et avril (1992), les sels de Magnésium sont très solubles et sont donc éliminées dans l'eau épurée. La teneur des boues en Magnésium est faible, elle varie de 0.5 à 1,5% de la MS (in Boulahbal, 2011).

4.2. Les éléments indésirables:

Selon Ademe (1995), les boues contiennent des éléments indésirables à savoir : les éléments traces métalliques (ETM) et les composées traces organiques (CTO).

4.2.1. Les éléments traces métalliques (ETM):

Les éléments traces métalliques sont normalement présents dans les sols et certains sont indésirables à la croissance des plantes (ils font partie des oligo-éléments) (Guy, 2003 et Terce, 2000 in Derouiche, 2012).

Les boues résiduaires concentrent entre 70 et 90% des quantités d'**ETM** des eaux usées entrantes dans la station d'épuration. L'essentiel de ces éléments vient des rejets industriels et dans une moindre mesure des rejets domestiques (utilisation de solvants, peinture...).

Leur épandage apporte des quantités non négligeables dont certains sont des oligo-éléments (Zinc, Cuivre, Fer), indispensables à faibles doses aux plantes, toxiques s'ils dépassent un certain seuil.

D'autre, comme le Cadmium, le Plomb, et le Mercure sont toxiques même à faibles doses (Benterrouche, 2007 in Boulahbal, 2011).

4.2.2. Les composés traces organiques (CTO):

Ce sont des produits chimiques d'origines domestiques (détergents, solvants, peinture...), industrielles, urbaines (eau de ruissellement drainant la pollution liée à la circulation automobile...), plus ou moins bien dégradés dans les sols (Laurif, 2003 in Derouiche, 2012)

Malgré leur aspect non cumulatif, les **CTO** peuvent, à forte dose, devenir toxiques pour les micro-organismes responsables de la fertilité des sols (in Boulahbal, 2011).

4.3. Les micro-organismes pathogènes :

Les micro-organismes jouent un rôle essentiel dans les processus d'épuration, aussi bien en station que dans le sol (Belaid, 2015 in Maalem et al, 2018). Les boues en contiennent des milliards, seul une petite partie est pathogène (virus, bactérie, protozoaires, champignons...), (Adrian, 2008 in Derouiche, 2012), provenant des eaux des abattoirs et industries traitants des produits d'animaux. (Ecrin, ,2000 in Derouiche, 2012)

Pour la majorité des pathogènes, la durée de vie est limitée dans le sol. En revanche, les éléments parasitaires présentent une résistance plus élevée dans ces milieux. C'est pour cela, les boues doivent subir un prétraitement avant leur utilisation en agriculture (Garrec et al, 2003. in Boulahbal, 2011). L'oxydation thermique est la filière qui répond le mieux aux critères de réduction de volume et d'hygiénisation (in Belghaouti, 2013). (Voir le tableau dans L'annexe n°6)

5. Propriétés des boues:

Les boues d'origine primaires ou secondaire se présentent sous forme d'un liquide contenant des particules homogènes en suspension, leur volume représente de 0.05 à 0.5% du volume d'eau traité pour les boues fraîches alors qu'il est légèrement inférieur pour les boues activées et autres procédés biologiques. La floculation permet d'augmenter le volume des boues particulièrement, leur poids de 10% environ.

La couleur de boues varie entre le brun et le gris, leur odeur est souvent très désagréable car ce sont des produits facilement fermentescibles et il y a un début de décomposition pour leurs traitements ultérieurs (Jaroz, 1985 in Belghaouti, 2013).

-La teneur en matière sèche et siccité S:

C'est le paramètre principal de la définition de filière et surtout un des plus faciles à mesurer. MS est exprimée en g/L. Rapporté à la masse totale de boue, on l'exprimera en fraction massique S qui correspond à la siccité. Il permet de connaître la quantité de boue à traiter, quel que soit son niveau de concentration dans la filière de traitement (Kormanik, 1972 in Guerfi, 2012).

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

Boues biologiques, plus ou moins déshydratées				Boues biologiques stabilisées		Autres boues
						
1-5% MS	6-8% MS	10-30% MS	60-80% MS	30-40% MS	45% MS	50% MS
Boues liquides	Boues égouttées	Boues pâteuses	Boues séchées	Boues solides chaulées	Boues compostées	Boues cellulosiques

Figure 12: Caractéristiques physiques des boues (Ladjel, Abbou, 2014).

6. La valorisation des boues:

Pour les STEP, les boues sont un produit final de chaque cycle d'épuration. Ces boues doivent être enlevées des bassins afin de permettre la réalisation de nouveaux cycles d'épuration (Belaid, 2015 in Maalem et al, 2018).

6.1. La mise en décharge contrôlée:

La mise en décharge contrôlée consiste en un enfouissement des boues (souvent mélangées avec les ordures ménagères) en tenant en compte de certaines conditions : compactage des résidus, site étanche, récupération et traitement des jus de décharges (lixiviats), équipement et gestion du site (El-fadel et al, in Amir, 2005). 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. Les décharges ne doivent plus accepter que des déchets qui ne peuvent plus être raisonnablement valorisés ou à caractère non dépolluables ou dangereux appelés aussi déchets ultimes (in Amir, 2005).

Or les boues ne correspondent pas à des déchets ultimes puisqu'elles sont valorisables (source nutritive, énergie...).

Une directive européenne du 26 avril 1999 a planifié la réduction progressive de la mise en décharge des déchets municipaux biodégradables, dont les boues d'épuration, jusqu'en 2015 (in Jardi, 2002).

6.2. L'incinération:

La boue incinérée représente 15% à 20% du tonnage des boues, mais induit de forts coûts pour les exploitants des stations d'épuration (in Jardi, 2002). L'incinération provoque la destruction de la matière organique des déchets par combustion à haute température (+ de 500 °C) produisant des fumées et des matières minérales résiduelles nommées cendres.

Dans l'objectif d'une valorisation énergétique des déchets, la chaleur produite est récupérée sous forme de vapeur ou d'électricité pour le fonctionnement du four lui-même, pour le chauffage urbain ou industriel (Prevot, 2000 in Amir, 2005).

Les résidus de l'incinération (mâchefer) sont utilisables pour les travaux publics (Werther et Ogada, 1999 in Amir, 2005).

L'incinération présente plusieurs intérêts : destruction de la boue, réduction du volume de déchets, hygiénisation totale de la boue et valorisation possible de la chaleur des fumées en chaleur et/ou en électricité (Renou, 2006 in Maalem et al, 2018).

Et il présente des contraintes principalement liées à un investissement très coûteux. Les boues seules ne sont pas autocombustibles, elles nécessitent des fours spéciaux et un mélange avec d'autres déchets tels les déchets ménagers.

L'élimination des cendres et des mâchefers exigent une décharge contrôlée de classe 1 ou une unité d'inertage. 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 (NO, NO₂, CO, SO, dioxine, etc.) (Mininni, et al, 2004 ; Nammari et al, 2004 in Amir, 2005). Qui ont fait l'objet de réglementations spécifiques.

6.3. Utilisation agricole 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 (Afgane, 2016). Elle vise aménager les ressources naturelles et à éviter tout gaspillage de matière organique dû à l'incinération ou à l'enfouissement dans les décharges. Les boues résiduelles peuvent ainsi remplacer ou réduire l'utilisation excessive d'engrais coûteux (Lambkin et al, 2004 in Amir, 2005).

6.3.1. Epannage:

L'épandage se fait sur des terres agricoles et représente 55 à 65% du tonnage des boues. Il s'agit de la voie privilégiée et la plus satisfaisante pour le recyclage des boues d'épuration depuis 1975 en France (in Jardi, 2002).

L'épandage des boues épurées consiste en 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 (Afgane, 2016).

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. Les boues doivent respecter le principe "d'intérêt agronomique" et soient exemptes de grandes teneurs en polluants inorganiques ou organiques. Elle est assez mal acceptée quand la présence des **ETM**, des **CTO** et les germes pathogènes dans les boues dépassent certaines valeurs (Afgane, 2016).

Les textes réglementaires:

En droit Européen, la Directive 86/278/CEE du Conseil du 12 juin 1986 soumet l'épandage de boues à des obligations diverses afin que leur utilisation soit correcte.

En droit Français, une nouvelle réglementation est entrée en vigueur dès le début de l'année 1998 à travers deux textes (le décret du 8 décembre 1997, et l'arrêté du 8 janvier 1998). L'objectif de ces textes est d'apporter des garanties nécessaires d'innocuité lors des épandages. Cette réglementation a pris le relais d'un ensemble de textes ambigus qui classaient les boues à la fois comme des matières fertilisantes et comme des déchets (Barnate, 2001).

La réglementation impose des conditions d'épandage très strictes:

- ✘ Tout épandage est subordonné à une étude préalable
- ✘ L'épandage ne peut être pratiqué que si cela a un intérêt pour la plante
- ✘ Les boues doivent avoir une qualité attestée par des analyses complètes
- ✘ Les principes de transparence et de traçabilité doivent être respectés
- ✘ La filière d'épandage doit être détaillée
- ✘ Un suivi rigoureux doit être mis en place (Moletta, 2003).

Les conditions techniques de mise en œuvre sont bien définies. Comme par exemple:

- ✘ La pente doit être inférieure à 7%

- ✘ La distance minimale des habitations est de 100 m ou 20 m s'il y a enfouissement immédiat des boues
- ✘ Des délais minimums de récolte sont à respecter en fonction du type de culture (il y a des périodes d'épandage)
- ✘ On ne peut pas épandre sur des sols enneigés, gelés ou pendant de fortes pluies (il faut donc prévoir des stockages) ;
- ✘ On ne peut pas épandre sur des terres non régulièrement travaillées (Moletta, 2003).

Quelle quantité à apporter ?

La quantité de boues que l'on peut épandre par année va dépendre des types de cultures réceptrices, de la composition des sols, de la composition des boues. C'est donc une donnée que l'on recalcule pour chaque cas. Cette quantité est de quelques tonnes de matière sèche par hectare et par an (Moletta, 2003).

6.3.2. Le compostage des boues:

Le compostage est un processus de décomposition et de transformation « contrôlées » de déchets organiques sous l'action de populations microbiennes diversifiées évoluant en milieu aérobie (Sharma et al, 1997 in Amir, 2005). Des communautés différentes de micro-organismes se succèdent lors du compostage, elles sont constituées majoritairement de Bactéries, d'Actinomycètes, de Champignons (ou Mycètes), de Protozoaires ou d'Algues (Tuomela et al, 2000, Hassen et al, 2001 in Amir, 2005).

Grâce à ses caractéristiques chimiques, le compost peut assurer en même temps la fertilité et l'équilibre du sol.

Suivant leurs origines, les composts peuvent avoir des différences dans leur qualité fertilisante. Les caractéristiques standard d'un compost proposées par Brinon (2000) et Scotland (2004) sont:

Un pH de l'ordre de 7,0-8,5, une humidité de 35-55 %, une teneur en matière organique supérieure à 25 %, une teneur en azote total (Kjeldahl) de l'ordre de 8,1 Kg/tonne de matière fraîche. Le Calcium avec une teneur optimale de 50 Kg de CaO/tonne de matière fraîche), le Potassium (6,7 K₂O Kg/tonne de matière fraîche), le Phosphore (3,4 P₂O₅ Kg/tonne de matière fraîche), Magnésium (2 Kg/tonne de matière fraîche) et Soufre (1 Kg/tonne de matière fraîche) (in Amir, 2005).

Dans le compostage, on a une consommation des molécules facilement fermentescibles et une montée naturelle en température au-dessus de 70 °C.

Pendant plusieurs heures à plusieurs jours en fonction des conditions de réalisation. Cette chaleur est générée par les micro-organismes eux-mêmes et constitue une hygiénisation de la matière car elle réduit de manière importante la quantité de micro-organismes pathogènes.

Ce compostage se fait à partir de boues (partiellement déshydratées) et de déchets ligneux broyés (déchets verts, palettes...) qui jouent le rôle de structurants. Ils permettent ainsi à l'oxygène d'atteindre l'intérieur de l'andain (Moletta, 2003).

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) (Afgane, 2016).

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 (Afgane, 2016).

Plusieurs auteurs ont démontré que les apports répétés des boues compostées ont favorisé l'agrégation et la stabilité structurale des sols limoneux, l'augmentation du PH du sol, après un apport de boues chaulées, contribue aussi à cette stabilisation de la structure. De ce fait et lorsque la structure est plus stable, le sol résiste mieux au ruissellement et à l'érosion hydrique. La matière organique des boues compostées donne au sol une meilleure rétention en eau en limitant les remontées capillaires, ceci réduit les problèmes de sécheresse.

Les boues compostées contiennent une matière organique plus stable qui améliore la densité apparente et par conséquent la porosité du sol. L'apport des boues se traduit par l'augmentation de la capacité d'échange cationique du sol et la disponibilité des éléments nutritifs pour les cultures (in Boulahbal, 2011).

7. Situation du traitement des eaux usées en Algérie et production de boues:

Dans une optique de protection des ressources hydriques et du littoral par une législation de plus en plus ambitieuse, quant à la qualité des eaux usées déversées dans le milieu naturel, l'Algérie compte actuellement 154 unités de traitement (Tableau 01) implantées sur le territoire National. L'ensemble de ces installations traite annuellement environ 900 millions de mètre cube d'eaux usées et produit plus de 400 000 tonnes de matière sèche de boues. Cette production est appelée à augmenter avec les futurs projets de mise en place de nouvelles installations de traitement des eaux usées.

C'est pourquoi le recyclage des boues, longtemps considéré comme un aspect secondaire du traitement des eaux usées, révèle maintenant toute son importance et doit être pris en considération (in Benoudjit, 2016).

Tableau 01: Stations d'épuration en Algérie (in Benoudjit, 2016).

Stations d'épuration	Nombre
Boues activées	67
Lagunage naturel	59
Lagunage aéré	20
Filtre à sable	4
Filtre planté de roseaux	1
Jardin filtrant	1
Oxydation alternée	1
Réacteur séquentiel discontinu	1
Total	154

*: Ministère des Ressources en Eaux (2015).

8. valorisation des boues en Algérie:

La valorisation agricole des boues est le moyen le plus simple et le plus courant d'utiliser ces produits. D'une part, le gestionnaire des stations trouve un moyen économique d'évacuer les boues et d'autre part, les boues présentent un intérêt agronomique pour l'agriculteur dans la mesure où elles peuvent avoir des caractéristiques similaires à celles des engrais. Ces boues

seront cédées gratuitement aux agriculteurs dans un premier temps et ce, avant l'établissement d'une convention, après avoir évalué les coûts de transport notamment et la valeur du produit lui-même.

Par ailleurs, le travail, a été initié par le ministère des Ressources en Eau, pour l'élaboration de la norme Algérienne de la valorisation agricole des boues d'épuration, la norme NA 17731 «Valorisation des boues des stations d'épuration». Cette norme a pour objet de fixer les dénominations et les spécifications physico-chimiques et biologiques des boues issues des ouvrages de traitement des eaux usées urbaines et les conditions de leurs utilisations. Elle fixe également les restrictions de leur usage en fonction de la concentration en éléments traces métalliques et des agents pathogènes, avec un guide qui fixe les conditions d'utilisation de ces boues.

Avant de lancer l'utilisation des boues issues de l'épuration des eaux usées, il est indispensable de sensibiliser, d'informer et de former les agriculteurs sur les normes de valorisation de ces boues en tant que fertilisants. Les boues ne peuvent pas être utilisées pour toutes les cultures et pour tous les types de sol, ajoutant que la fréquence de l'enrichissement du sol avec les boues est d'une seule fois tous les trois ans.

En effet, la norme algérienne de la valorisation agricole des boues de station d'épuration, en l'occurrence la norme NA 17 731, a été publiée par l'Institut algérien de normalisation (IANOR) en novembre 2017, Une journée d'étude sur l'économie de réutilisation des eaux épurées a déjà été organisée au profit des agriculteurs du périmètre de Hennaya (Tlemcen). D'autres actions sont prévues à Ain Temouchent et Sidi Belabes. Ces actions font partie d'un programme national visant à promouvoir la valorisation des boues en les exploitants dans l'agriculture.

A la fin de l'année 2015, la production des boues au niveau des 58 STEP de type boues activées, gérées par l'ONA, était estimé à 54.000 tonnes de matières sèches par an. Elle a atteint, en 2016, les 90.000 tonnes de matières sèches par an, produites par 63 stations à boues activées. A horizon 2020, la production de boue devrait augmenter à plus de 50 % et devrait atteindre une quantité estimée à plus de 150.000 tonnes/an (in Maalem et al, 2018).

Chapitre 2

Présentation de la STEP

1. Présentation de la Station de traitement des eaux polluées

(STEP) de Tissemsilt:

1.1. Localisation géographique:

La STEP de la Tissemsilt est fonctionnelle depuis 2013, elle a été construite par DEISA entreprise Espagnole de traitement et d'épuration des eaux qui fait partie du groupe COMSA Corporation.

Elle a une superficie de 7 hectares, elle est située à l'Est de la ville sur la route N14, elle est responsable du traitement des eaux usées des communes de Tissemsilt et Ouled Bessem, elle utilise le procédé de boue active (faible charge) comme procédé d'épuration.



Figure 13: Localisation de la STEP de Tissemsilt.



Figure 14: Maquette de la STEP de TISSEMSILT (Prise personnelle).

1.2. Caractéristiques générale de la STEP :

- **Capacité:** 150.000 eq/hab (équivalent par habitant).
- **Débit nominal en (m³/j) :**27.000 m³/jour.
- **Date de mise en service : 2013**
- **Procédé de traitement:** boue active.
- **Milieu à protéger:** ville de Tissemsilt.
- **Nature de flux:** Eaux urbaines.
- **Lieu de rejet : Oued Bougara.**
- **Milieu récepteur:** Barrage de Bougara, Tissemsilt.

Consistance physique:

- Ouvrage de prétraitement (dégrillage, dessablage-dégrossissage).
- Bassin d'aération;4 bassins.
- Bassin de clarification; 2 bassins.
- Bassin d'épaississement; 2 épaisseurs.

- 24 lits de séchage.

2. Procédé de traitement des eaux résiduaires:

L'épuration des eaux usées dans la STEP de la ville de Tissemsilt consiste à un prétraitement (dégrillage, dessablage et déshuilage), un traitement biologique secondaire par boues actives (4 bassin aération de traitement biologique). Les eaux usées sont acheminées vers une station de relevage, son rôle est de lever les effluents pour subir un traitement postérieur. Au niveau de la station de relevage, les éléments grossiers sont retirés et éliminés au moyen d'un dégrilleur (grilles grossières). La station de relevage est équipée de 7 pompes



Figure 15: Station de relevage

2.1. Prétraitement :

Le prétraitement permet d'éliminer les éléments les plus grossiers (feuilles, tissus, brindilles...).

On distingue trois étapes principales, des déchets volumineux (dégrillage), des sables et graviers (dessablage) et des huiles (dégraissage et déshuilage).

Le prétraitement comporte le dégrillage, le dessablage et le déshuilage.

2.1.1. Dégrillage:

Le dégrilleur installé peut retenir les déchets plus ou moins volumineux (papiers, feuilles, matières plastiques...), ces dégrilleurs sont mécaniques. Dans la station de Tissemsilt, on distingue deux dégrilleurs avec le calibre gros et fin.

✓ **Dégrilleur grossier:**

L'eau passe à travers les grilles qui retiennent les déchets volumineux (les chiffons, les plastiques, ...etc.). Les déchets déposés dans ces grilles sont collectés et tombent dans la bande transporteuse qui les déplace vers le conteneur à l'extérieur.

Les résidus recueillis sont déposés à la décharge.

Ensuite Au niveau de relevage l'effluent est relevé à l'aide de pompes (7 pompes).



Figure 16: Dégrilleur grossier



Figure 17: Dégrilleur fin

2.1.2. Dessablage et déshuilage:

À ce stade, les particules denses et les huiles sont éliminés, ce qui peut endommager les pompes et les conduites et de gêner l'oxydation biologique, se fait dans un appareillage appelé Dessableur-Déshuileur.

Le dessablage débarrasse les eaux usées des sables par sédimentation. Dans ce bassin l'écoulement est lent et stable pour récupérer le gravier, sables et particules minérales plus ou moins fines en suspension.

Au même moment, l'injection de fines bulles d'air dans un bassin permet de faire remonter les huiles et les graisses plus légères que l'eau à la surface, où elles seront ensuite retirées par raclage.



Figure 18: Le bassin de dessablage et déshuilage de la STEP de Tissemsilt.

2.2. Traitement biologique (boues activées):

Dans un bassin (bassin d'aération) qui est équipé de dispositifs d'aération (insufflation d'air) au moyen d'un brassage assuré par agitateurs se déplaçant en rond, dans ce bassin les microorganismes dégradent les matières organiques dissoutes, sous l'influence de l'air insufflé, les microorganismes se reproduisent très rapidement; parce que l'air insufflé leur fournit l'oxygène dont ils ont besoin pour se développer tout en se nourrissant de la pollution organique.



Figure 19: Bassin d'aération

2.3. Clarification (décantation):

A la suite du traitement biologique, la clarification ou la décantation secondaire permet de recueillir les matières polluantes agglomérées par les micro-organismes sous forme de boues.

Cette décantation se fait dans des ouvrages spéciaux, le plus souvent circulaires, appelés clarificateurs ou décanteurs secondaires.

Les boues obtenues dans ce bassin sont appelées « boues secondaires », cette partie des boues « secondaires » est évacuée vers le traitement des boues ; l'autre partie est recyclée vers le bassin d'aération pour maintenir la masse biologique nécessaire au fonctionnement de l'installation.



Figure 20: Bassin de décantation secondaire

2.4. Désinfection:

La désinfection des eaux traitées est obtenue par une injection de l'eau de javel, après cette étape l'eau épurée peut être rejeté dans le milieu naturel (barrage de Bougara)



Figure 21: Bassin de désinfection

2.5. Traitement des boues:

2.5.1. L'épaississement:

La boue secondaire issue de la décantation secondaire, est transférée vers le puits de boue, puis évacuée soit vers l'épaississeur (boue en excès), ou vers le bassin d'aération pour maintenir la masse biologique nécessaire au fonctionnement de l'installation.

La boue arrive dans l'épaississeur à l'aide de pompes (4 pompes), L'épaississement consiste en une décantation des boues humides dans une cuve cylindrique à fond conique, la boue épaissie est extraite par le fond de l'ouvrage, alors que le liquide surnageant est évacué par le haut de la cuve. Dans l'épaississeur la boue est débarrassée d'une grande partie de son eau.

La station d'épuration est équipée de deux épaississeurs.



Figure 22: Epaississeur

En période hivernal, la boue subit une déshydratation mécanique. La déshydratation constitue la seconde étape de réduction du volume des boues.

Le processus se fait en ajoutant des polymères à la boue épaissie afin de faciliter la séparation des phases solide et liquide des boues.

La machine de séchage, va permettre à la boue d'être pressée entre deux plateaux, équipés de toiles filtrantes. En sortie, la boue se présente sous forme solide.



Figure 23: Déshydratation mécanique.

2.5.2. Le séchage dans des lits de séchage:

Ce procédé consiste à répartir la boue à déshydrater sur une surface drainante (composée de plusieurs couches de gravier et de sable de granulométries variables), à travers laquelle s'écoule l'eau interstitielle. Pour non seulement tirer parti du phénomène d'évaporation naturelle, mais de l'accélérer par les rayons du soleil. On parle alors de séchage solaire.

Pour être tout à fait performant, le séchage à l'air nécessite, si possible un temps sec et relativement chaud. Il existe 24 lits de séchage.



Figure 24: Lits de séchage.

Chapitre 3 :

Matériels & Méthodes

En raison du problème du confinement à cause du Covid 19, nous n'avons pas pu effectuer toutes les analyses (les analyses des éléments fertilisants comme l'Azote, le Phosphore et le Potassium), nous avons exploité des analyses existantes effectués par ONA en 2014 sur des boues de la STEP de Tissemsilt.

1. Prélèvements : date, mode, état de la boue:

Les boues utilisées dans notre essai proviennent de la station d'épuration de Tissemsilt qui traite les eaux usées de ville de Tissemsilt et Ouled Bessem. Dans ce cours d'eau, se déversent les rejets domestiques.

Les boues ont été prélevées en date 08 Février 2020, A dix heures du matin, elles sont d'une couleur noire (La couleur de boue au niveau des lits de séchage varie entre le noir, le brun et le gris), sans odeur désagréable.

2. Analyses physicochimiques de la boue : matériels, méthodes:

Les analyses physiques (granulométrie), analyses physico-chimiques (pH, matière organique),.

Les éléments traces métalliques, ETM (Zinc, Cuivre, Nickel, Cadmium, Plomb et le Fer) n'ont pas été effectués seulement des résultats datant de 2014 ont été exploités.

Les analyses physiques et physico- chimiques des boues ont été réalisées au niveau de laboratoire de l'institut National des sols, de l'irrigation et du drainage (INSID) en date de septembre 2020.

2.1. Méthodes d'analyse:

1. Granulométrie:

La granulométrie a pour but de déterminer la composition granulométrique du sol et de déduire sa texture. On utilise la méthode Internationale (la pipette de ROBINSON) pour la fraction inférieure à 0.02mm (argile, limons).

Les sables ont été récupérés par tamisage. Cette méthode consiste à détruire les tailles des particules en tentant de les faire passer (admission ou refus) dans des orifices de plus en plus petits, l'utilisation des tamis n'est pas possible pour des particules de dimensions inférieurs à 50 microns (50 μ m), les particules les plus fines sont étudiées en observant leur vitesse de chute dans un milieu fluide moins dense qu'elles, les grains les plus gros (les plus lourds) tombent plus vite que les petits grains (les plus légers).

Selon la méthode internationale, la dispersion des argiles par l'exametaphosphate de sodium et la destruction de la matière organique par de l'eau oxygénée (H₂O₂) se font au préalable, avant de commencer l'analyse granulométrique. Les taux de chaque fraction sont exprimés en pour-cent (%).



Figure 25: Pipette de ROBINSON

2. Analyse du pH :

Le pH indique l'acidité ou l'alcalinité des milieux. Sa mesure a été réalisée par un pH-mètre sur une suspension plus ou moins diluée (20g de substrat ou boue dans 50 ml d'eau distillée (rapport terre /eau distillée = 2/5)) et agitée pendant quelques minutes.



Figure 26: pH mètre

3. Matière organique :

La détermination de la teneur en matière organique a été obtenue par le dosage du taux de Carbone. Le taux de la matière organique : (%) MO = 1.72 x C%

Ou : **MO** : matière organique.

C : le carbone organique.

La teneur en carbone organique est déterminée par la méthode d'ANNE, c'est la méthode par voie humide basée sur l'oxydation de la matière organique en gaz carbonique (CO₂) par le Bichromate de Potassium (K₂ Cr₂ O₇) en milieu sulfurique (H₂SO₄). L'excès de bichromate de potassium est titré par une solution de sel de Mohr, en présence d'indicateur coloré le diphénylamine dont la couleur passe du bleu foncé au bleu vert.

4. La conductivité électrique CE :

La conductivité électrique CE permet d'obtenir rapidement une estimation de la teneur globale en sels dissous. Elle est exprimée en (ms/cm) ou (mmhos/cm³) et a été mesurée à l'aide d'un conductimètre électronique sur un extrait de substrat (Rapport d'extraction de 1/5 pour dissoudre les électrolytes). Laisser en repos une demi-heure, ensuite, faire la mesure de la conductivité en notant la température.



Figure 27: Conductimètre

Chapitre 4

Résultats et discussions

1. Analyses physicochimiques des boues : Présentation, interprétation:

1.1. La granulométrie :

Parce que l'équipement de station d'épuration des eaux usées de Tissemsilt ne fonctionnait pas correctement, nous essayons de faire la granulométrie de ces boues, afin déterminer les fractions contenues dans ces derniers (sable, limon et d'argile).

L'analyse granulométrique consiste à classer les éléments du sol d'après leurs grosseurs et de déterminer le pourcentage de chaque fraction. La comparaison de ces différentes fractions avec un triangle textural définit le type de texture du sol. (Bonneau et al, 1995 in Ramdani, 2007).

La granulométrie permet d'apprécier la perméabilité, l'aération, la rétention en eau et en éléments, et la capacité d'échange cationique (Baize, 1988 in Ramdani, 2007).

Les résultats de l'analyse granulométrique de la boue sont présentés dans le tableau ci-dessous

Tableau 02: Résultats de l'analyse granulométrique de la boue.

Fraction granulométrique	taux (%)
Argile	12,32
Limon	43,47
Sable	44,21
Texture	Limoneuse

La boue est constituée des 3 fractions suivantes :

43,47% de limons, de 44,21% du sable et 12,32%d'argile, Ces boues ont une texture limoneuse selon le triangle textural (voir annexe n°3).

On peut classer la boue de la station d'épuration dans la classe de la texture : moyenne. (Classification de Henin (1969) in Derouiche 2012)

-Les textures sont regroupées en trois classes.

Tableau 03: Répartition des différents types de texture en fonction de classe de texture

Classe de texture	Type de texture
Texture fin	Argilo sableuse ; argileuse
Texture moyenne	Limoneuse
Texture grossière	Limono sableuse, Sablo limoneuse, sableuse

Les textures moyennes ne provoquent pas l'asphyxie du système racinaire et permettent un bon développement des racines, une texture lourde par contre peut entraîner les phénomènes d'asphyxie radiculaire (Cotenie, 1976 in Derouiche, 2012).

1.2. Analyses physicochimiques des boues:

Le pH est un paramètre essentiel dont dépend la mobilité des métaux lourds dans la phase minérale. En effet les métaux lourds sont mieux retenus dans un pH élevé (in Benoudjit, 2016).

La conductivité électrique est un bon indicateur de la concentration des sels solubles dans l'échantillon (in Benoudjit, 2016).

Les résultats des analyses physico chimique des boues (pH, Conductivité électrique, Matière organique) sont présentés dans le tableau ci-dessous

Tableau 04: Résultats des analyses physico chimiques de la boue.

Paramètres	Résultats
Ph	7,16
Conductivité électrique mmhos/cm	2,58
Matière organique %	1,54

-Interprétation des analyses physico chimiques de la boue:

Les résultats de l'analyse physico-chimique de la boue testée ont montré que cette boue renferme 1,54% de matière organique, Une teneur beaucoup plus faible que celle de la norme (40-65%) (Lacee, 1985 in Chouial et al, 2017) : donc les boues ne sont pas trop riches en matière organique.

Le pH des boues est considéré comme neutre, avec une valeur de 7,16 et relativement favorable à toutes les espèces, il représente une condition favorable au développement de l'activité des micro-organismes dans le sol.

La boue présente une conductivité électrique de l'ordre de 2,58 mmhos/cm, Ce qui indique la concentration des sels solubles est faible, cela n'aura pas d'effets négatifs sur le sol. D'après les classifications de Diehl 1975, la boue de la station d'épuration de la ville de Tissemsilt est faiblement salée.

Tableau 05: Classification des sols en fonctions de la CE (Diehl, 1975 in Derouiche, 2012).

classe	Désignation	Conductivité électrique (mmhos/cm)
0	Non salé	<2,5
1	Faiblement salé	2,5-5
2	Moyennement salé	5-10
3	Salé	10-15
4	Fortement salé	15-20
5	Très fortement salé	20-27,5
6	Hyper salé	>40

2. Les analyses des ETM : (exploitation de données existantes)

Les métaux lourds proviennent des rejets domestiques, des eaux pluviales et de ruissellement, des rejets industriels et artisanaux ainsi que des retombées atmosphériques. Ils sont nécessaires au bon développement des plantes. Mais s'ils sont présents en quantités trop importantes, ils présenteront un risque potentiel (Petit, 2007 in Debiche 2014).

La concentration des métaux dans les boues dépend du type de l'eau résiduaire qui est traitée et de la méthode de traitement (Eckenfelder, 1989 in Mazouni et Ramdani, 2017).

Les analyses effectués par l'Office National d'Assainissement (ONA) en 2014 (tableau 06) rapporte les résultats obtenus pour les teneurs en métaux lourds des boues.

Tableau 06: Comparaison des résultats des ETM avec les normes

Paramètres	Résultats (mg/kg)	norme AFNOR (mg/kg)
Zinc	408	3000
Cuivre	72	1000
Nickel	31	200
Cadmium	1	20
Plomb	76	800
Fer	294	5000
Chrome	26	1000

Tableau 07: Teneurs en éléments traces métalliques pour les boues en Algérie selon la norme NA 17671. (mg/kgMS) (Benoudjit, 2016).

Eléments traces métalliques	Teneurs (mg/kg de MS)*
Cd	20
Cr	1000
Cu	1000
Hg	10
Ni	200
Pb	800
Se	100
Zn	3000
Cr+Cu+Ni+Zn	4000

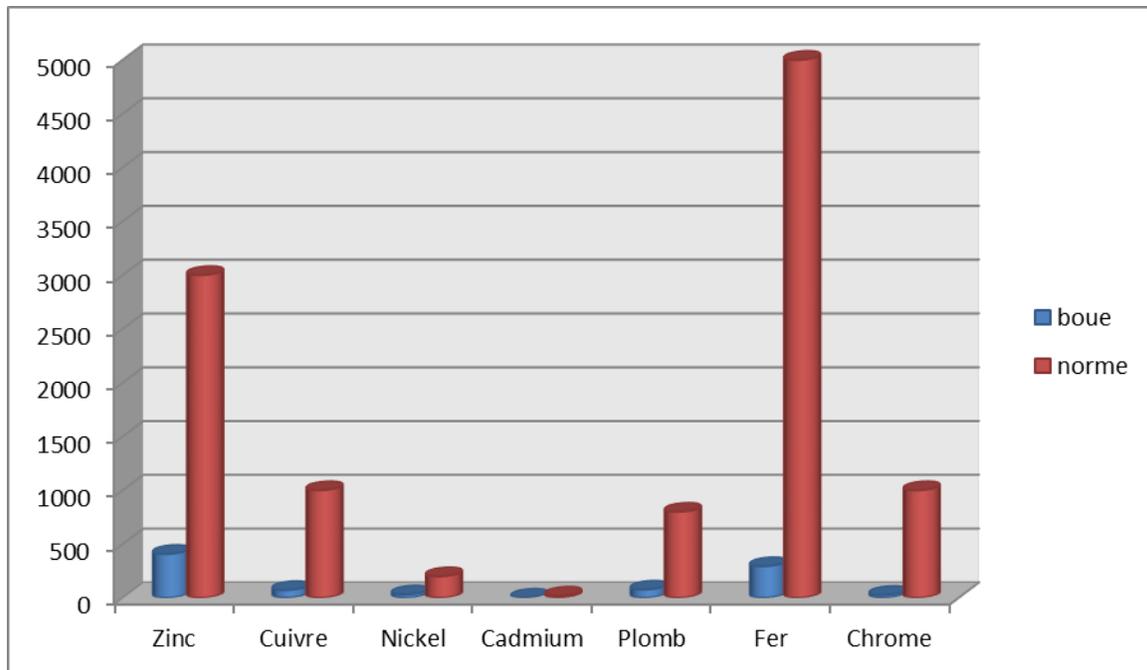


Figure 28: Diagramme comparatif de (Cu, Fe, Zn, Ni, Cd, Pb, Cr) par rapport à la norme

-Interprétation des analyses des ETM de la boue:

Les boues ont toujours été considérées comme substrats toxiques car elles renferment souvent des quantités élevées en métaux lourds.

Les résultats des analyses des boues de la STEP de Tissemsilt datant de 2014 ont montré que les concentrations de métaux lourds (Cuivre, Fer, Zinc, Nickel, Cadmium, Plomb et Chrome) étaient inférieures aux valeurs limites donnés par la norme. Ces concentrations des métaux lourds dans les boues ont une origine des eaux traitées urbaines.

3. La comparaison entre les boues de station d'épuration de Tiaret et de Tissemsilt:

Par la comparaison entre les boues de station d'épuration de Tiaret (Derouiche, 2012) et de Tissemsilt, on constate que dans les 2 wilayas les boues ne dépassent pas les normes;

Tableau 08: La comparaison entre Les boues de station d'épuration de Tiaret et de Tissemsilt

Paramètres	Boue résiduaire de STEP de Tissemsilt	Boue résiduaire de STEP de Tiaret
Zinc (mg/kg)	408	850
Cuivre (mg/kg)	72	143,12
Nickel (mg/kg)	31	/
Cadmium (mg/kg)	1	/
Plomb (mg/kg)	76	/
Fer (mg/kg)	294	94,33
Chrome (mg/kg)	26	/
Ph	7,16	7,20
Conductivité électrique (mmhos/cm)	2,58	3,34
Matière organique (%)	1,74	25,11

A partir du tableau 08 nous pouvons noter que la valeur du zinc et Cuivre dans la boue de STEP de Tiaret est plus élevée par rapport à la boue de STEP de Tissemsilt, en contraire, la valeur du Fer est très élevée dans les boues de STEP de Tissemsilt.

Quant à la valeur de la matière organique, elle est très faible dans les boues de la station d'épuration de Tissemsilt, contrairement aux boues de la station d'épuration de Tiaret, qui ont une valeur élevée.

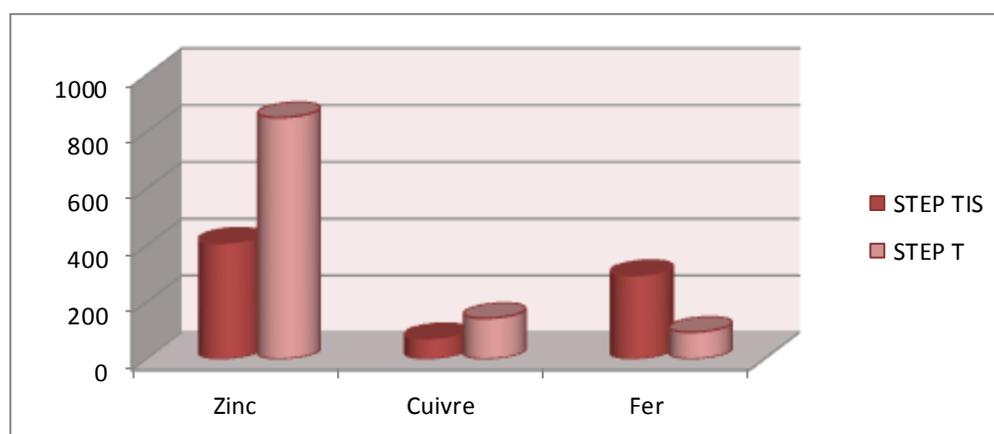


Figure 29: Diagramme comparatif de (Cu, Fe, Zn,) de la boue de la station d'épuration de Tissemsilt, par rapport à la boue de la station d'épuration de Tiaret

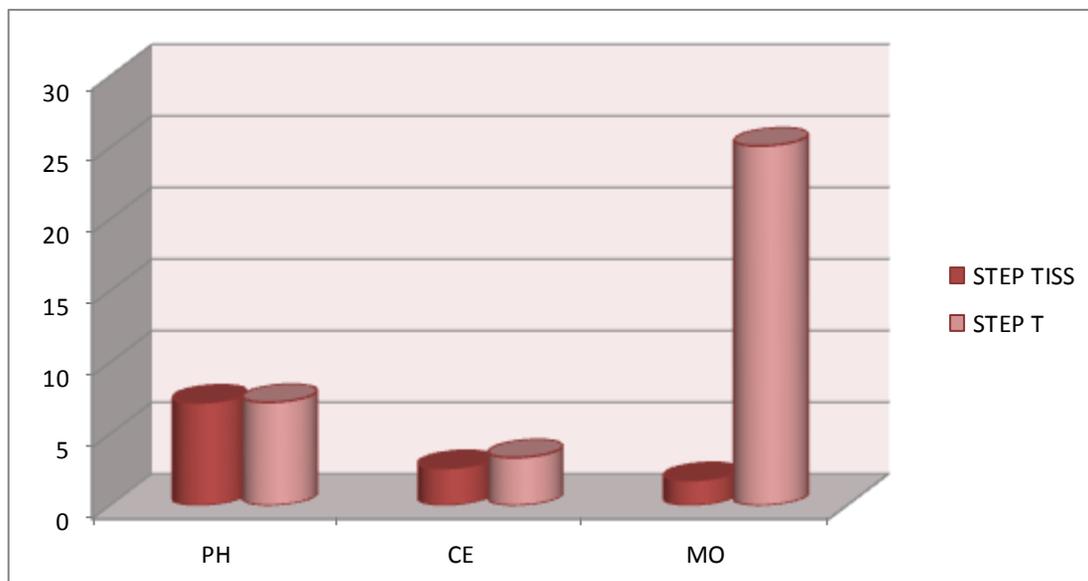


Figure 30: Diagramme comparatif de (pH, CE, MO%,) de la boue de la station d'épuration de Tissemsilt, par rapport à la boue de la station d'épuration de Tiaret

-En conclusion nous pouvons dire :

Des analyses physico-chimiques de la boue ont été effectuées pour déterminer ses caractérisations et son potentiel d'utilisation dans le domaine agricole.

Les concentrations en métaux lourds présents dans la boue résiduaire sont inférieurs aux valeurs limites donnés par la norme, et les caractéristiques physiques et physico-chimiques sont considérées comme favorables pour l'agriculture, la présence de matière organique jusqu'à 1,54%, la valeur du pH neutre de 7,16 et la conductivité électrique de 2,58 ms/cm des boues indiquent que les boues de STEP de Tissemsilt sont faiblement salée. Le texture est **Limoneuse** (texture moyenne).

Les analyses des ETM doivent être actualisées pour obtenir un résultat plus précis avant tout épandage agricole.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale :

Le système d'épuration constitue une solution importante pour récupérer un volume important d'eaux usées, mais les résidus de traitement doivent être éliminés de manière non polluante. .

Les analyses physico-chimiques des boues de la station d'épuration de Tissemsilt ont montré qu'elles étaient faiblement riches en matière organique avec 1,54%. Néanmoins, la valeur enregistrée dans la conductivité électrique des boues indique qu'elles sont faiblement salées, et le pH de la boue est proche de la neutralité.

Pour ce qui est des concentrations en éléments traces métalliques dont plusieurs auteurs précisent que ces éléments sont dangereux pour les végétaux et les animaux et peuvent se révéler toxiques à trop fortes doses, les valeurs de la boue de l'année 2014 montrent que les concentrations de métaux lourds (Cuivre, Fer, Zinc, Nickel, Cadmium, Plomb et Chrome) étaient inférieurs aux valeurs limites donnés par la norme.

Pour être exploitées en agriculture, les boues doivent être conformes à la nouvelle réglementation Algérienne (2017), spécifique à la nature chimique des boues. L'intérêt de l'utilisation des boues résiduaires comme amendement, doit être renforcée par des accompagnements sous forme de conseils, contrôle et suivi techniques avant tout épandage de boue par les agriculteurs. Cette procédure consiste à analyser périodiquement les ETM ainsi que les éléments fertilisants comme le NPK.

La valorisation agricole peut être considéré comme une solution idéale pour l'élimination de ces résidus en général mais il reste, quelle doit respecter les contraintes liées à la protection de l'environnement et l'hygiène publique.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

ABID.L: La couverture sanitaire de la wilaya de Tissemsilt, 5P

ADLER.E. (2005): Eléments sur l'épuration des eaux usées et la gestion des sous-produits de l'assainissement, Centre d'Affaires des Monts d'or 69290 St Genis les Ollières, 87P. France

AFGANE. R. (2016) : Valorisation des boues de la station d'épuration des eaux usées (STEP-Fès), Thèse Master, Université de Fès, 39P. Maroc

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. Université de Toulouse, 341P

BARNAT.S. (2001): les boues d'épuration document de synthèse, Comité Sécurité Alimentaire d'APRIFEL, France 43P

BELAID. D. (2015): utilisation des boues résiduelles de station d'épuration en Algérie, collection dossier agronomiques. 22 p

BELGHAOUTI.T. (2013): Caractérisation physico-chimique et valorisation d'une boue de station d'épuration. Thèse de Magister université d'Oran, Algérie, 135P

BENMESSAOUD A, KHERCHOUCHE I, (2017): Étude d'impact du barrage Koudiet-Rosfadi la Wilaya de Tissemsilt sur l'environnement, Thèse Master, Université de Khemis-Miliana, Algérie, 88P

BENOUDJIT .F, (2016): Caractérisation et Valorisation des Boues Issues d'un Office d'Assainissement. Cas ONA Boumerdès (STEP Boumerdès). Thèse de Doctorat Université M'Hamed Bougara-Boumerdes, Algérie, 130P

BOULAHBAL.O. (2011):contribution à l'étude de l'évolution de la matière organique des boues dans le sol. Mémoire de magister, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie, Algérie, 81P

CANLER J.P. ET PERRET J.M. (2013) :La réduction des boues par voie biologique par le procédé MycET Document technique n° 39, Agence de l'eau, Centre de Lyon , 51P

CHERFOUH. R, (2019): Impacts à long terme de boues résiduaires et d'eaux usées épurées urbaines sur les sols agricoles de Corso wilaya de Boumerdès: Paramètres agronomiques, concentrations et spéciations des éléments traces métalliques. Thèse de Doctorat, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie, 227p

CHOUIAL M, BENAMIROUCHE S, BELBELDI O, (2017) : Performances et limites d'utilisation des boues des stations d'épuration pour l'élevage de plants forestiers en pépinière : Cas du pin maritime (Pinus pinaster Ait.), Revue Agriculture V8 n°1, 55- 67 pp. Université Ferhat Abbas Sétif 1, Algérie.

DEBICHE. Y, (2014) : étude des éléments traces métalliques persistants dans les boues des stations d'épuration à boues activées, mémoire de Master, Ecole Nationale Supérieure d'hydraulique-ARBAOUI Abdellah, Algérie 76p

Références bibliographiques

DEROUICHE. F. (2012) : Contribution à l'étude des boues résiduaires comme amendement organiques pour les cultures maraichères. Mémoire de magister université Oran,, Algérie, 126P

GUERFI. Z. (2012):impact de l'utilisation des boues résiduaires sur les propriétés physico-chimiques des sols de la haute Vallée de la Medjerda wilaya de Souk Ahras. Mémoire de Magister Université Badji-Mokhtar Annaba, Algérie 97P

JAMONET B, (1987) : Le traitement des boues résiduaires. Univ des sciences du Langue doc, Montpellier, 10p

JARDI. E, (2002) : Composition organique de boues résiduaires de stations d'épuration lorraines : Caractérisation moléculaire et effets de la biodégradation. Thèse de doctorat. Université Henri Poincaré, Nancy I, France.287p

KAROUNE. S, (2008) : Effet des boues résiduaires sur le développement des semis de chêne Liège (Quercus Suber l.) Magister Ecologie Végétale, 244P, Université Mentouri, Constantine

LADJEL .F, ABOU.S. (2014) : Perspectives de valorisation agricole et énergétique des boues issues des STEP en Algérie. ONA d'Oran, 49P

MAALEM.T, SAIDIA .C, TOGO. I. (2018):Caractérisation bactériologique des boues résiduaires des stations d'épuration des eaux usées: cas de la station de Guelma. Thèse Master Université 8 Mai 1945 Guelma, Algérie, 121P

MAZOUNI. A, RAMDANI. A, (2017): Traitement et valorisation des boues de station d'épuration d'Oued D'Hous.la ville de Bouira. Thèse Master Université akli mohand oulhadj – bouira, Algérie, 71P.

MOLETTA, R. (2003): Le traitement des boues des stations d'épuration, Document d'information générale -Diffusion référencée libre 6P

QUÉNÉA .K, BELHADJ-KAABI, F. (2009) : Estimation de performances épuratoires : Caractérisation de boues de station d'épuration. Thèse Master, Université Pierre et Marie Curie, École des Mines de Paris& École Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêt, France, 49P

RAMDANI .N. (2007): Contribution à l'étude des boues urbaines de la station d'épuration des eaux usées résiduaires. Effet sur la fertilité d'un sol sableux. Mémoire de Magister Université d'Oran, Algérie, 154P

TIR .E, (2015): Analyse spatiale et cartographie de la régénération forestière post-incendie dans la Wilaya de Tissemsilt, Mémoire de Magister Université Aboubakr Belkaïd –Tlemcen, Algérie, 87P

Annexes

Annexe n°1 : Caractéristiques des boues

Tableau 09: Différents types de boues de STEP (Debiche, 2014)

Type de boue	Boues primaires	Boues biologiques (boues activées)	Boues mixtes	Boues physico-chimiques
Origine	Traitement primaire par décantation	Traitement biologique secondaire	Traitement primaire et secondaire	Décantation après traitement avec un réactif
Composition et siccité	Matière inorganique	Composés organiques avec un petit pourcentage de composés organiques	Mélange de boues primaires et de boues biologiques	
	Couleur grise siccité 5%	Boues granulaire, de couleur brun-jaunâtre, pulvérulente et de décantation difficile siccité 1-2%	Siccité 5%	Siccité 4-5%

Tableau 10: les opérations de traitements des boues (Duchene, 1990 in Derouiche, 2012).

Opération	Objectif
Stabilisation	Limiter les nuisances potentielles (odeurs)
Concentration	Réduire le volume d'eau pour faciliter le transport
Stockage	Optimiser la gestion du traitement des boues (extraction / évacuation)
Homogénéisation	Fabriquer un produit de qualité relativement constante
Reprise	Evacuation
Conditionnement	Modifier les caractéristiques de la boue afin de faciliter la séparation des 2 phases solide/liquide
Déshydratation	Augmenter la siccité pour obtenir une meilleure qualité de boues (pâteuses ou solides)

Tableau 11 de avantages et inconvénients des différentes techniques de traitement des boues ;

1 : techniques de l'épaississement (Adler, 2005).

Procédé	Avantages	Inconvénients
Epaississeur statique	Simplicité & facilité d'exploitation Faible consommation énergétique Investissement réduit	Importante emprise au sol Performance médiocre pour boues biologiques Nuisances olfactives possibles
Flottateur	Simplicité & facilité d'exploitation Surface réduite & nuisances contrôlées	Faible adaptabilité Consommation élect. élevée
Table d'égouttage	Simplicité & facilité d'exploitation Compacité & nuisances contrôlables	Main d'œuvre, eaux de lavage Polymère indispensable
Centrifugeuse	Compacité & souplesse d'utilisation Nuisances contrôlées	Texture de boues médiocre Maintenance & entretien spécialisés, coût élevé Consommation élect. élevée

2 : techniques de déshydratation (Adler, 2005).

	Avantages	Inconvénients
Centrifugeuses	Fonctionnement continu, Automatisation facile, Equipement compact, Contrôle des nuisances par capotage intégral	Maintenance & entretien spécialisés, texture médiocre des boues, Nuisances sonores (nécessité isolation phonique), Consommation élect. élevée
Filtres à bandes	Fonctionnement continu, Equipement capotable, Simplicité & facilité d'exploitation, coût d'investissement modéré	Siccité réduite, Consommation élevée d'eaux de lavage, Surveillance nécessaire,
Filtres presses	Siccité élevée, Bonne texture des boues, Automatisation facile	Fonctionnement discontinu, Equipement lourd, Consommation de réactifs, Surveillance nécessaire, coût d'investissement élevé
Lits de séchage	Siccité élevée, Facilités d'exploitation, Absence de conditionnement, Coût d'investissement faible	Sensibilité aux variations climatiques, Coût d'exploitation élevé Surface nécessaire importante

Tableau 12: Composition en éléments utiles des boues (in Belghaouti, 2013).

Type de boue les éléments utiles	Boues compostées	Boues liquides	Boues pâteuses	Boues sèches	Boues chaulées
Teneur en matières sèches MS	40-60	2-à 6	18-22	90-95	25-40
Teneur en matière organiques %MS	80-90	65-70	65-70	50-70	30-40
Teneur en matières minérales% MS	10-20	30-35	30-50	30-50	60-70
pH	6-7	6,5-7	7-8	6-8	9-12
Rapport Carbone / azote(C / N)	15-25	4-5	5-6	4-6	8-11
Azote (Kg N/T brute)	5-9	2-4	8-12	30-50	6-10
Phosphore(kg P ₂ O ₅ /T brute)	6-8	2-3	6-9	50-70	6-10
Potassium (kg K ₂ O/T brute)	1-2	0,9	0.8	5	1
Chaux(Kg CaO/T brute)	10-30	1-3	5-15	40-60	60-90

Tableau 13: Effets de quelques éléments métalliques (Meinck et al, 1977).

Eléments	Effet des métaux lourds
Zinc	Provoque une détérioration de l'appareil chlorophyllien et par la suite compromettent l'activité d'assimilation
Chrome	- Empoisonne l'homme, une nette atténuation de la respiration. - Inhibe la décomposition des matières organiques
Nickel	Action toxique se manifeste par un dépérissement général de toutes parties du végétal et destruction graduelle de l'appareil chlorophyllien. - Cancer des voies respiratoires.
Cadmium	Empêche le développement des végétaux, ou même provoque la mort des plantes à des doses élevées. - Cancer des voies respiratoires.
Plomb	- Provoque la maladie d'ITAI-ITAI chez l'homme en combinaison avec le zinc se produit une addition anormale des effets toxiques. - en combinaison avec le cuivre, l'action toxique est potentialisée.

Tableau 14: Principaux germes susceptibles d'être présents dans les boues et Principales maladies dont ils sont responsables (Vade Mecum, 1990 in Ramdani, 2007).

Groupe	Genre	Maladie causée
Bactérie	Salmonella Shigella Escherichia Vibrio Clostridium Leptospira Mycobacterium	Typhoïde – paratyphoïde – entérite Dysenterie Entérite (souche pathogène) Choléra Gangrène – tétanos – botulisme Leptospirose Tuberculose – tuberculose atypique – Granulome de la peau.
Virus	Poliovirus Coxsackie virus A Coxsackie virus B Echovirus Rotavirus Reovirus Hepatitis virus A	Polyomélite – entérite Maux tête – douleurs musculaires Nausées – méningites Fièvres – infections respiratoires Entérites – conjonctivites Affections nerveuses Gastroentérite infantile – Grippe – Diarrhées Hépatites – Hépatites aiguës.

Annexe n°2:

Présentation de la zone d'étude (wilaya de Tissemsilt):

1. Localisation géographique:

Située en plein centre du quart nord-ouest de l'Algérie et des Hauts Plateaux dans leur partie occidentale, la wilaya de Tissemsilt occupe une zone charnière naturelle entre la plaine du Sersou et l'oued Chlef et est délimitée par des barrières naturelles constituées par les monts de l'Ouarsenis au Nord et Djebel Nador au Sud.

Elle se situe au centre du pays à 220 Km d'Alger et à 300 Km d'Oran. S'étalant sur une superficie de 3 151.37 Km² qui abrite une population de près de 327206 habitants, Tissemsilt est cernée par les wilayas de Chlef et Ain Defla au Nord, Médéa à l'Est, Relizane à l'Ouest et Tiaret et Djelfa au Sud.

La nature géomorphologique de la wilaya de Tissemsilt offre trois ensembles distincts : un relief montagneux (les monts de l'Ouarsenis), la région des hauts plateaux et la zone steppique.

Les montagnes occupent une proportion de près de 65 % de la superficie globale, 25 % pour les hauts plaines et 10% pour les steppes. La wilaya abrite le Parc National de Theniet El Had, connu par sa forêt de cèdres, le domaine forestier couvre 20% du territoire de la wilaya (in Abid).

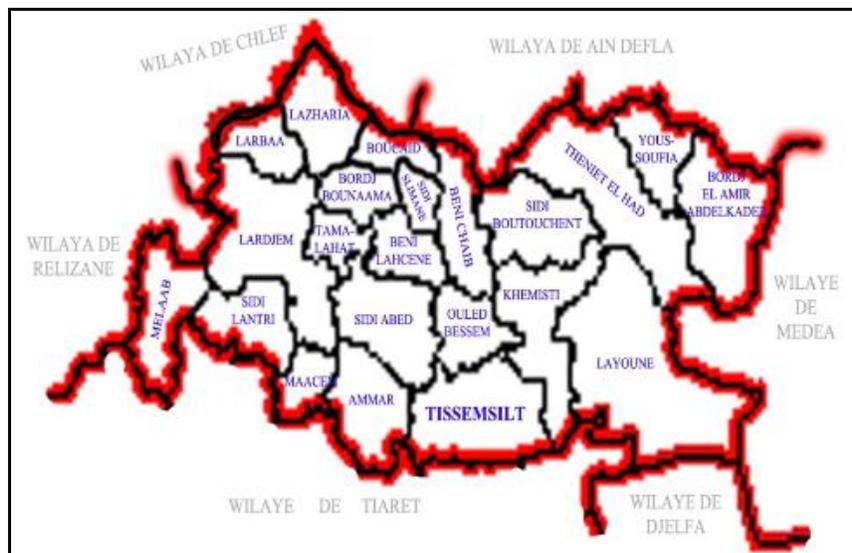


Figure 31: Carte des limites administratives de la wilaya de Tissemsilt.

2. Climat:

Le climat est de type semi-aride au Sud et au Centre de la Wilaya et Sub-humide dans le massif de l'OUARSENIS ;

2.1. Température:

Les températures moyennes mensuelles sont, de novembre à Avril, inférieures à la moyenne annuelle et sont supérieures à cette moyenne de Mai à Octobre, divisant ainsi l'année en deux saisons : l'une froide et l'autre chaude.

Au cours de la saison froide, on relève les moyennes les plus basses pendant les trois mois de Décembre, Janvier et Février, avec un minimum en Janvier.

Au cours de la saison chaude, on relève les moyennes les plus élevées avec un maximum enregistré en Juillet (Tir, 2015).

Dans le mois de Janvier, la température moyenne mensuelle varie le plus souvent, entre 5°C et 10°C, alors qu'en Juillet elle est située entre 20°C et 32, 5°C (Benmessaoud et Kherchouche, 2017).

Tableau 15: Répartition mensuelle de la température (Tir, 2015).

mois T°	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Moyenne interannuelle
T.max	12.1	12.8	15.3	17.7	21	27.5	32.2	31.1	27.7	21.7	16.0	12.8	20.7
T.min	5.4	6	7.2	9.3	11.8	17.2	21.2	20.2	17.4	13	8.7	6.8	12
T.moy	8.3	9	10.8	13	15.9	22	26.3	25.1	21.7	16.7	11.9	9.2	15.8

2.2. Précipitations :

Les précipitations annuelles enregistrées sont regroupées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 16: les précipitations annuelles de la wilaya de Tissemsilt (Benmessaoud et Kherchouche, 2017).

Station	Code de station	Altitude (m)	Année de fonctionnement	Pluie (mm)
Fodda barrage	012108	500	1934	438,50
Bordj Bounaama	012306	1050	1936	544,30
Theniet El-Had	011605	1160	1952	515,80
Layoune	011007	900	1918	515,80
Souk El-Had	012304	550	1911	413,20
Tissemsilt	011006	858	1934	361,50
Toutia El-Hassania	011903	220	1918	451,70

Source : ENYD 2005.

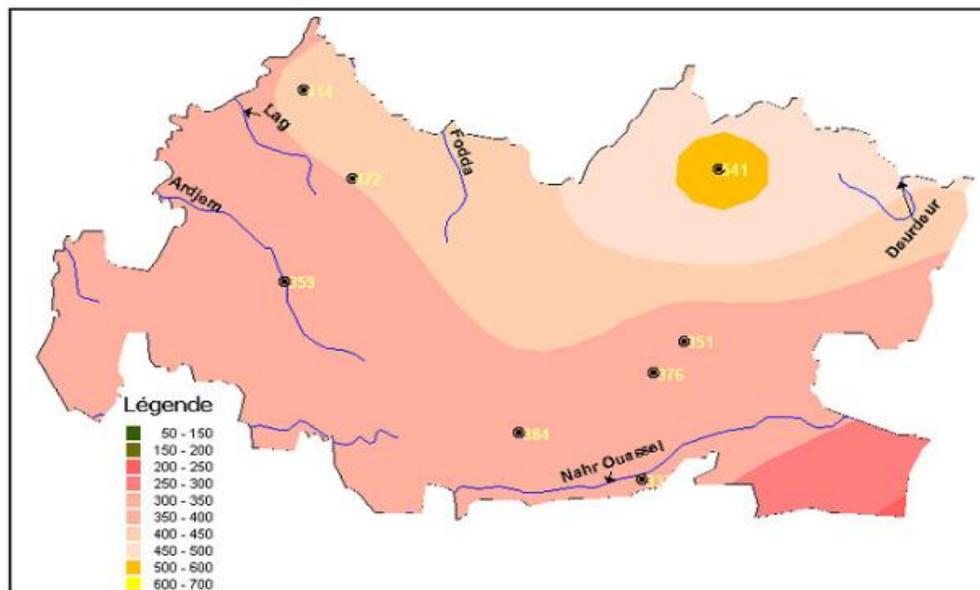


Figure 32: Carte pluviométrique de la Wilaya de Tissemsilt (Tir, 2015).

2.3. Le vent:

Les vents dominants chargés d'humidité soufflent dans la direction Ouest, Nord-Ouest dans la période allant du mois d'Octobre au mois de Mai, et Est, Sud-Est de Juin à Septembre. Ces vents généralement modérés, leur vitesse moyenne mensuelle variant entre 2,5 à 3,6m/s. (Tir, 2015).

Tableau 17: Répartition mensuelle des vitesses du vent.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	année
Vent m/s	2,6	3,6	3,7	3,7	3,8	3,7	3,7	3,4	3,2	3,2	3,5	3,6	3,5

2.4. L'humidité relative:

L'humidité relative est égale au rapport de la tension de vapeur à la tension maximum de la température (%). (Benmessaoud et Kherchouche, 2017).

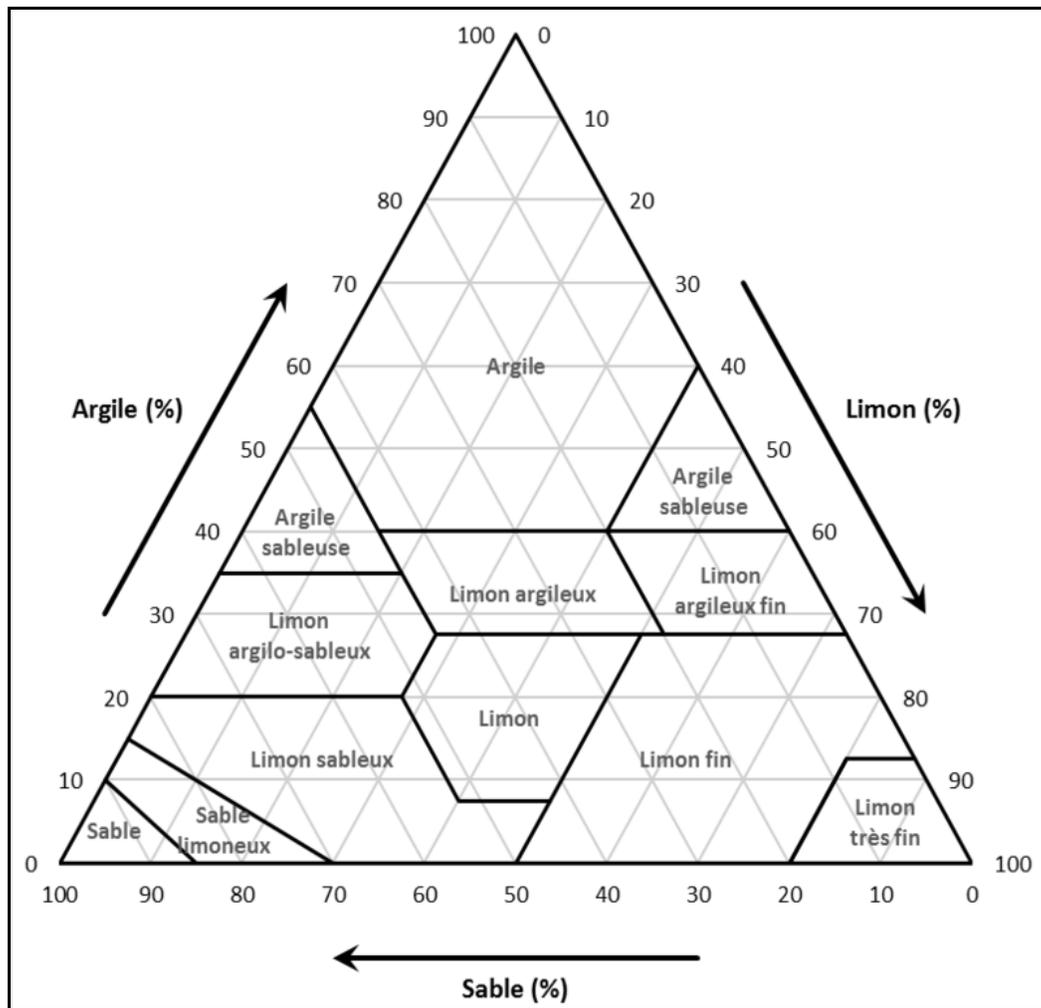
Tableau 18: Humidité relative moyenne mensuelle (Tir, 2015).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	année
Hum moy %	67	55	54	47	44	39	29	37	44	53	62	68	50

La moyenne annuelle de l'humidité relative est de 50%, elle atteint son minimum en mois de Juillet (inférieure à 30%). Tandis que son maximum est enregistré durant le mois de Décembre et de Janvier avec une moyenne supérieur à 65%.

Annexe n°3 :

Triangle textural



Résumé

Le but de cette recherche est d'étudier les caractéristiques des boues issues du procédé d'épuration des eaux usées de la STEP de Tissemsilt.

Ces boues ont été soumises à des analyses ; physique (granulométrie), physico-chimiques (pH, CE, matière organique). Des résultats des ETM de 2014 ont été exploitées. Ces boues se caractérisent par la présence de matière organique de 1,54%, un pH neutre de 7,16, un faible taux de salinité de 2,58 msiémens/cm et une texture moyenne.

Ces paramètres physico-chimiques de la boue peuvent lui donner un intérêt en agriculture, mais les éléments fertilisants comme l'Azote, le Phosphore et le Potassium et également des analyses des ETM doivent être effectués.

Mots clés : Boues épurées, STEP de Tissemsilt, analyses, valorisation agricole.

Abstract

The aim of this research is to study the characteristics of the sludge from the wastewater purification process at the Tissemsilt WWTP. This sludge was subjected to analyzes; physical (particle size), physico-chemical (pH, EC, organic matter) .and ETM analyzes results from 2014 were exploited . These sludges are characterized by the presence of organic matter of 1.54%, a neutral pH of 7.16, a low salinity rate of 2.58 msiémens / cm and an average texture.

These physicochemical parameters of the sludge give it an interest in agriculture, but the nutrients such as Nitrogen, Phosphorus and Potassium must be analyzed, also the ETM analyzes.

Keywords: Purified sludge, Tissemsilt WWTP, analyzes, agricultural valuation.

ملخص

يهدف هذا البحث إلى دراسة خصائص الحمأة الناتجة عن عملية تنقية مياه الصرف الصحي في تيسمسيلت. خضعت هذه الحمأة للتحليل الفيزيائي (حجم الجسيمات)، الفيزيائي الكيميائي (الأس الهيدروجيني EC، المادة العضوية) و ETM (البيانات من 2014). تتميز هذه الحمأة بوجود مادة عضوية بنسبة 1.54%، ودرجة حموضة متعادلة قدرها 7,16 ومعدل ملوحة منخفض يبلغ 2.58 ملي سيمنز / سم وقوام متوسط. تعطي هذه المعلومات الفيزيائية والكيميائية للحمأة إمكانيات للاستعمال في الزراعة، ولكن يجب تحليل العناصر الغذائية مثل النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم، وكذلك تحديث تحاليل ETM.

الكلمات المفتاحية: الحمأة المنقاة، معالجة مياه الصرف الصحي في تيسمسيلت، تحاليل، الاستعمال الزراعي.