



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université de Tissemsilt



Faculté des Sciences et de la Technologie
Département des Sciences de la Nature et de la Vie

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme
De Master académique en

Filière : **Ecologie et Environnement**

Spécialité : **Protection des Ecosystèmes**

Présentée par : **Melle GHALEB Razika**

Thème

Caractérisation des boues résiduaires issues de la STEP de Tissemsilt

Soutenu le, 26 septembre 2021

Devant le Jury :

MELIANI Kaddour	Président	M.A.A.	Univ-Tissemsilt
NAIMI Souhila	Encadrante	M.A.A.	Univ-Tissemsilt
OUABEL Habib	Examineur	M.A.A.	Univ-Tissemsilt

Année universitaire : 2020-2021

Sommaire

Dédicace	
Remerciements	
Liste d'abréviations	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	

Chapitre I Synthèse bibliographique

I	Généralités sur les eaux usées.....	3
1.1	Méthodes de traitement des eaux usées.....	3
1.1.1	Prétraitement.....	3
1.1.2	Traitement primaire (décantation - flottation).....	4
1.1.3	Traitement secondaire.....	5
1.1.4	Traitements tertiaires.....	8
1.1.5	Désinfection.....	8
2	La formation et caractéristiques des boues résiduaires.....	9
2.1	Différents types des boues.....	10
2.1.1	Les boues primaires.....	10
2.1.2	Les boues secondaires.....	10
2.1.3	Les boues physico-chimiques.....	11
2.1.4	Les boues mixtes.....	11
2.2	Composition des boues résiduaires.....	12
2.3	Propriétés des boues.....	13
2.3.1	Propriétés physiques des boues.....	13
2.3.2	La teneur en matière sèche.....	14
2.3.3	La teneur en matières volatiles.....	14
2.3.4	La teneur en eau interstitielle.....	14
2.3.5	La viscosité.....	14
2.3.6	La charge spécifique.....	15
2.3.7	La résistance spécifique.....	15
2.3.8	La compressibilité.....	15
2.3.9	Les pouvoirs calorifiques.....	15
2.4	Propriétés chimiques.....	15
2.4.1	Les éléments nutritifs.....	15
3	Techniques de traitements des boues.....	18
3.1	Procédés de réduction de la teneur en eau.....	18
3.1.1	L'épaississement.....	18
3.1.2	La déshydratation.....	20
3.2	Stabilisation des boues.....	21
3.2.1	Stabilisation biologique.....	21
3.2.2	La stabilisation chimique.....	23
3.2.3	Le séchage thermique.....	24
3.2.4	L'oxydation thermique.....	24
4	Gestion des boues de STEP en Algérie.....	24
5	Valorisation des boues en Algérie.....	25

Chapitre II Présentation de la STEP de Tissemsilt

1	Présentation de la Station de traitement des eaux polluées (STEP) de Tissemsilt....	27
2	Caractéristiques générales de la STEP.....	28
3	Procédé de traitement des eaux résiduaires.....	28
3.1	Prétraitement :.....	29
3.2	Traitement secondaire.....	31
3.3	Désinfection:.....	32
4	Traitement des boues:.....	33
4.1	L'épaississement:.....	33
4.2	La déshydratation.....	34
4.3	Le séchage dans des lits de séchage.....	34

Chapitre III Matériels et Méthodes

1	Prélèvement des échantillons.....	35
2	Les méthodes d'analyses des boues.....	35

Chapitre IV Résultats et discussions

1	Présentation des résultats des analyses chimiques:.....	40
2.	Interprétation et Discussions des résultats.....	41
2.1.	Interprétation des résultats des analyses chimique de la boue:.....	41
2.1.1	PH :.....	41
2.1.2	Conductivité électrique (CE) :.....	42
2.1.3	Humidité.....	42
2.1.4	Matière organique.....	43
2.1.5	Calcaire.....	43
2.1.6.	Phosphore assimilable	43
2.2.	Discussions des résultats	43

Conclusion générale

References bibliographiques

Résumé

Abstract

ملخص

Liste d'abréviation

ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

ANRED : Agence Nationale pour l'Élimination des Déchets

DEISA : Développement écologique et industriel, spa Algérie

FNDAE : Fond National de Développement des Adductions d'Eau

INSID : Institut National des sols Irrigation et Drainage

INRA : Institut National de recherches agronomiques

ONA : office National de l'Environnement

CE : conductivité électrique

pH : potentiel d'hydrogène

H% : humidité relative en pour cent

Ppm : partie par million ou milligramme par kg

Mmhos/cm : milimhos par cm

NH₄, NO₃ Ammonium et nitrate

P₂O₅ : phosphore

K ou K₂O : Potassium

Ca, Mg : Calcium, Magnesium

CaCO₃ : calcaire total

Fe: Fer

Zn: Zinc

Cu: Cuivre

Cd: Cadmium

Ni : Nickel

Cr: Chrome

MS: Matière sèche

MO: Matière organique

MB: Boue brute

HR: Humidité relative

MES: Matière en suspensions

CTO: Composés trace organiques

ETM: Éléments traces métalliques

STEP : Station de traitement des eaux polluées

Liste des figures

Figure 1 : les eaux usées.....	3
Figure 2 : Bassin de la décantation primaire.....	4
Figure 3 : Bassin de décantation secondaire.....	5
Figure 4 : Principe des boues activées.....	6
Figure 5 : Mécanisme du lagunage.....	7
Figure 6 : Lit bactérien	7
Figure 7 : Mécanisme du traitement tertiaire.....	8
Figure 8 : Bassin de la désinfection par le chlore.....	9
Figure 9 : Bassin de la désinfection par les UV	9
Figure 10 : Les boues sèches.....	10
Figure 11 : Les boues primaires	10
Figure 12 : Schéma des différents types de boues dans un procédé de traitement par boues activées.....	11
Figure 13 : Coupe longitudinal d'un épaisseur gravitaire	19
Figure 14 : Etape d'épaississement des boues par flottation.....	19
Figure 15 : Déshydratation par filtre presse.....	20
Figure 16 : Schéma de la composition principale du lit de séchage	21
Figure 17 : Bassin d'aération	22
Figure 18 : Principe de la digestion des boues.....	22
Figure 19 : Localisation de STEP de Tisemssilt.....	27
Figure 20 : Maquette de la STEP de Tisemssilt.....	27
Figure 21 : Station de relevage	29
Figure 22 : Dégrilleur grossier	30
Figure 23 : Dégrilleur fin	30
Figure 24 : Le bassin de dessablage et déshuilage de la STEP de Tissemsilt	31
Figure 25 : Bassin d'aération	31
Figure 26 : Bassin de décantation secondaire	32
Figure 27 : Bassin de désinfection	33
Figure 28 : Epaisseur	33
Figure 29 : Filtres-presses.....	34
Figure 30 : Lits de séchage	34
Figure 31 : Pipette de ROBINSON.....	36
Figure 32 : PH mètre	37
Figure 33 : Calcimetre de BERNARD	38
Figure 34 : Conductimètre	39

Liste des tableaux

Tableau 1 : Composition des boues d'aération prolonge	12
Tableau 2 : Caractéristique principales des boues de diverses stations d'épuration	13
Tableau 3 : Caracteristiques agronomiques des boues residuaires	16
Tableau 4 : Efficacité comparée boue /engrais	17
Tableau 5 : Stations d'epuration en Algérie	25
Tableau 6 : Résultats des analyses des boues	40
Tableau 7 : Comparaison des résultats des analyses des boues avec norme AFNOR	41
Tableau 8 :Classification des sols en fonction de la CE,.....	42
Tableau 9 :La comparaison entre deux resultats des boues de station d'épuration de tissemsilt (2020 /2021)	44
Tableau 10 : Résultats de l'analyse granulométrique de la boue	44

Introduction générale

Introduction générale

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. En effet, les eaux usées issues des diverses activités urbaines ne peuvent être rejetées telles quelles dans l'environnement, car elles peuvent contenir divers polluants organiques et minéraux (I.N.R.A, 1980).

Les stations d'épuration 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).

La production des boues, augmente avec le développement des stations d'épurations. Un problème majeur consiste à trouver une 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.

Il est à noter que l'élimination et le traitement des boues résiduelles importe jusqu'à 50% des coûts de fonctionnement d'une usine d'épuration des eaux (Grenier, 1989)

Dans certains pays, quelques solutions qui peuvent être qualifiées de finales pour éliminer les boues d'épuration sont rapportées. L'exemple, au royaume Uni, 67% des boues produites sont épanchées sur les terres (2/3 en valorisation agricole et 1/3 en revalorisation des cités et en remplissage), 29% sont larguées en mer et 4% incinérées (Grenier, 1989).

Le largage en mer représente à la fois un déplacement des problèmes dépollution, et une perte de matériel potentiellement réutilisable ou recyclé. La mise en décharge a les mêmes inconvénients, quant à l'incinération, les coûts du combustible nécessaire remettent en question ce mode d'élimination des boues.

L'Office National de l'Assainissement (ONA) en Algérie a estimé, en 2013, que 539 tonnes de boues sont produites par jour dont 60% vont à la décharge (Belaid, 2015). De ce fait elle constitue un déchet encombrant et qui peut entraîner un problème de santé publique et de pollution de l'environnement avec le temps.

Suite à cela, on pense à la valorisation de cette boue dans quelque domaine que ce soit, dont l'agriculture. Avant sa réutilisation, il est important de connaître le maximum de

Introduction générale

caractéristiques de ces boues, en l'occurrence celles issues des stations d'épuration urbaines comme le cas de la station de Tissemsilt.

Dans ce sens, l'objectif de notre humble étude est de faire la caractérisation physique et chimique des boues résiduelles de la station d'épuration de la ville de Tissemsilt.

Nous avons adopté dans notre mémoire le plan suivant :

- Introduction générale
- Un premier chapitre consacré à l'étude bibliographique des boues résiduelles.
- Un deuxième chapitre est consacré à la présentation de la station d'épuration de Tissemsilt.
- Un troisième chapitre est consacré au matériel et méthodes d'analyse.
- Un quatrième chapitre présente les résultats, leurs interprétations et discussions.
- Conclusion générale et recommandations.

Chapitre I

Synthèse bibliographique

I Généralités sur les eaux usées

Les eaux usées, sont des eaux utilisées et souillées par différentes substances telles que les détergents, les microorganismes, les pesticides, etc. Elles sont issues des différents usages de l'eau liés aux activités humaines domestiques, industriels, ainsi que les eaux de ruissellement. Ces eaux usées sont collectées dans un réseau d'égout ; apparaissant comme un liquide trouble généralement grisâtre ; contenant des matières grasses et des autres en suspension d'origine minéral et organique à des teneurs extrêmement variables (Rodier, 2009).



Figure 1: les eaux usées (Rodier, 2009).

1.1 Méthodes de traitement des eaux usées

Le traitement des eaux usées est ainsi réalisé dans les stations d'épuration. D'un point de vue technique ; une station d'épuration a pour principal travail de dégrader et de séparer les polluants de l'eau (boues ; particules et substances dissoutes) par des procédés chimiques ; physiques et biologique (Fartas et al, 2015)

1.1.1 Prétraitement

Ils ont pour objectif l'élimination des éléments les plus grossiers qui sont susceptibles de gêner les traitements ultérieurs et d'endommager les équipements ; il s'agit des déchets volumineux tels que les sables ; les graviers et les graisses (Aouadi et al).

- **Dégrillage**

Il permet de séparer et d'évacuer les matières volumineuses contenues dans les eaux usées.

Il est constitué d'une grille à barreaux de 6 mm d'écartement. Les déchets sont compactés pour réduire leur volume et envoyés à une filière de traitement adaptée.

- **Dessablage**

Débarrasse les eaux usées des sables et des graviers par sédimentation; l'écoulement de l'eau à une vitesse réduite dans un bassin appelé « dessableur » permet l'extraction des sables (Aouadi et al, 2007). Les particules sont ensuite aspirées par une pompe puis lavées et essorées pour être réutilisées (Moumene et Djemame, 2011).

- **Déshuilage (dégraissage)**

Il s'effectue par flottation ; ou l'injection d'air au fond de l'ouvrage permet la remontée en surface des corps gras, les graisses sont raclées à la surface puis stockées avant d'être éliminées (mise en décharge ou incinération) (Aouadi et al, 2007).

1.1.2 Traitement primaire (décantation - flottation)

Si les prétraitements visent à l'élimination des matières solides, des sables, et des matières minérales qu'on peut récupérer par surnage, le traitement primaire élimine plus de la moitié des matières en suspension et constitue une pré-épuration non négligeable quoique insuffisante pour garantir la qualité du rejet en milieu naturel. Il fait appel à différents procédés physiques et / ou chimiques. Les matières décantables se déposent au fond ou flottent à la surface par différence de densité ou après adjonction de produits agglomérant les matières et accélérant leur flottation ou leur sédimentation (Karaali et al, 2009).



Figure 2 : Bassin de la décantation primaire (Karaali et al, 2009)

- **Décantation primaire classique**

Elle consiste en une séparation des éléments liquides et des éléments solides sous l'effet de la pesanteur. Les matières solides se déposent au fond d'un ouvrage appelé "décanteur" pour former les "boues primaires". Ces dernières sont récupérées au moyen d'un système de raclage. Ce traitement élimine 50 à 55 % des matières en suspension (Aouadi et al, 2007).

- **Floculation-décantation**

Cette étape de traitement désigne l'ensemble des méthodes physicochimiques utilisées pour réduire la charge de matières en suspension. L'objectif est de faire coaguler les particules en suspension dans l'eau et de les récupérer grâce à la décantation. Pour ce faire, on ajoute un coagulant qui favorise les particules à s'agglutiner en floes. Les floes se déposent ensuite au fond du bassin pour former un lit de boues. Ces boues sont récupérées pour être traitées (Aouadi et al, 2007).

1.1.3 Traitement secondaire

Ces traitements permettent d'éliminer les polluants dissous. Pour cela on utilise des populations de micro-organismes capables de les consommer (Moulins et al, 2013).



Figure 3 : Bassin de décantation secondaire (Moulins et al, 2013).

- **Boues activées**

Le principe des boues activées réside dans une intensification des processus d'auto-épuration que l'on rencontre dans les milieux naturels.

Le procédé -boues activéesll consiste à mélanger et à agiter des eaux usées brutes avec des boues activées liquides, bactériologiquement très actives. La dégradation aérobie

de la pollution s'effectue par mélange intime des microorganismes épurateurs et de l'effluent à traiter. Ensuite, les phases -eaux épurées et -boues épuratrices sont séparées.

Ce procédé est utilisé aujourd'hui dans la majorité des stations. Il permet d'obtenir des performances poussées pour éliminer le carbone, l'azote, voire le phosphore (Elafri et al, 2007).

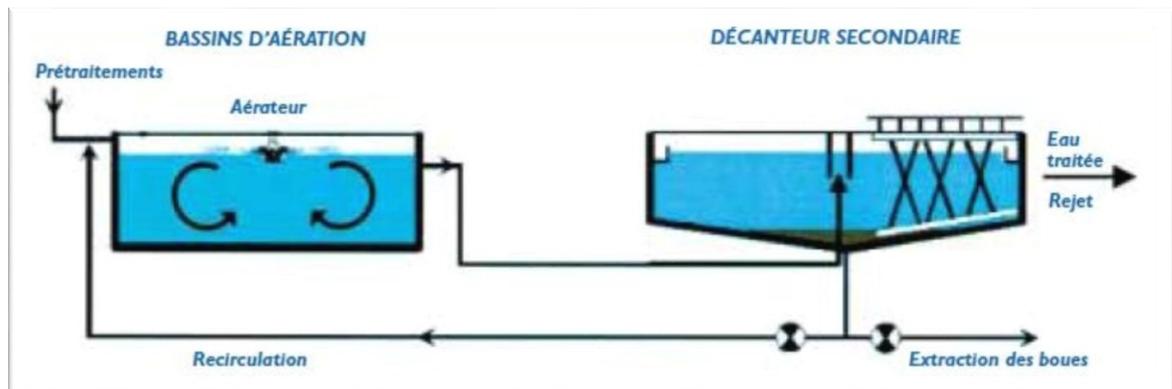


Figure 4 : Principe des boues activées (Elafri et al, 2007).

- **Lagunage**

Le lagunage est un procédé d'épuration qui consiste à faire circuler des effluents dans une série de bassins pendant un temps suffisamment long pour réaliser les processus naturels de l'auto-épuration. Il est pratiqué dans les régions très ensoleillées, dans des bassins de faible profondeur. Le principe général consiste à recréer, dans des bassins, des chaînes alimentaires aquatiques.

Le rayonnement solaire est la source d'énergie qui permet la production de matières vivantes par les chaînes trophiques. Les substances nutritives sont apportées par l'effluent alors que les végétaux sont les producteurs du système en matière consommables et en oxygène.

Les bactéries assurent la part prépondérante de l'épuration et la microfaune contribue à l'éclaircissement du milieu par ingestion directe des populations algales et des bactéries.

Ce procédé simple demande des surfaces importantes car les temps de réactions sont très longs. Pour que le lagunage s'effectue dans les meilleures conditions d'aérobiose, tout en évitant les odeurs et la prolifération des insectes, il faut prévoir une décantation primaire des effluents (Hattem, 2008 in Fartas et al, 2015).

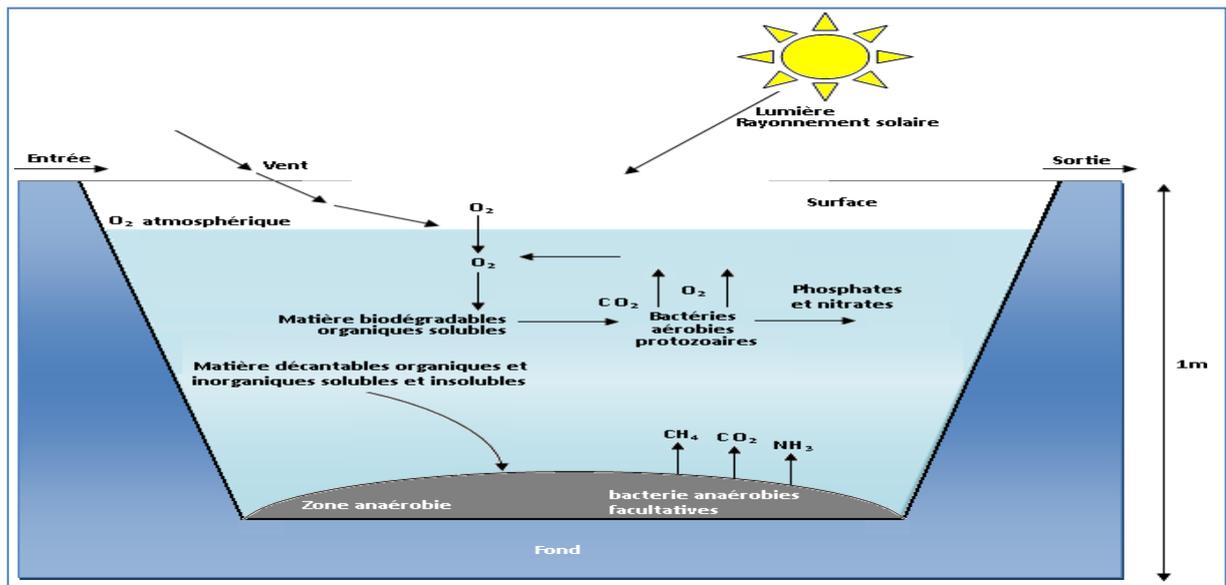


Figure 5 : Mécanisme du lagunage (Hattem, 2008).

- **Lit bactérien**

L'épuration des eaux par lits bactériens, quelques fois appelé filtre bactérien ou filtre percolateur est une méthode d'épuration biologique par cultures fixées. C'est un procédé intensif de traitement qui consiste à faire ruisseler l'eau à traiter sur une masse de matériaux de surface spécifique comprise entre 50 et 200 m^2/m^3 , servant de support aux micro-organismes épurateurs qui y forment un film plus ou moins épais.

Au cours de la percolation de l'eau au travers du lit les matières organiques sont éliminées par le biofilm (Fartas et al, 2015).



Figure 6 : Lit bactérien (Fartas et al, 2015)

1.1.4 Traitements tertiaires

Cette étape permet de séparer, par décantation, l'eau dépolluée et les boues ou résidus secondaires issus de la dégradation des matières organiques. Cette décantation est opérée dans des bassins spéciaux, les "clarificateurs".

L'eau, dans la plupart des cas, peut alors être rendue au milieu naturel, dans une rivière, à la mer ou à l'océan. Des traitements complémentaires destinés à éliminer l'azote et le phosphore peuvent être utilisés selon les contraintes de qualité du milieu naturel où sont rejetées les eaux (Fartas et al, 2015).

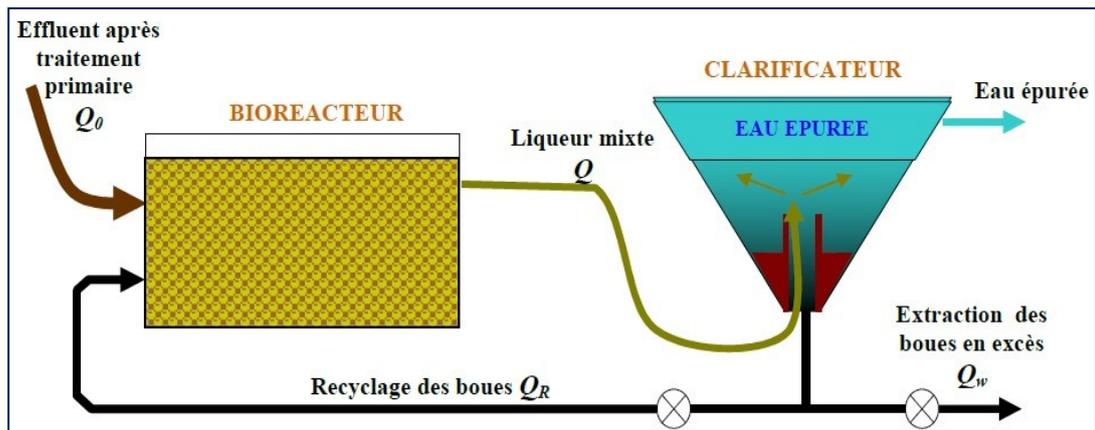


Figure7 : Mécanisme du traitement tertiaire (Bassompierre, 2007).

1.1.5 Désinfection

- **Désinfection par le chlore (Javel)**

Après la récupération des eaux clarifiées, ces dernières seront envoyées vers un bassin rectangulaire formé des chicanes afin de recevoir des doses de javel qui sont préparés dans deux cuves de préparations de javel à partir de l'hypochlorite de calcium, cette javellisation permet de détruire tous germes avant le rejet. (Moumene et Djemame, 2011).



Figure 8 : Bassin de la désinfection par le chlore (Moumene et Djemame, 2011).

- **Désinfection aux rayons ultraviolets**

Le principe d'action des UV repose sur le fait que les rayons ultraviolets sont des ondes électromagnétiques qui correspondent à une gamme de longueur d'onde comprise entre 100 et 400 nm. (Boucherite et al, 2009).

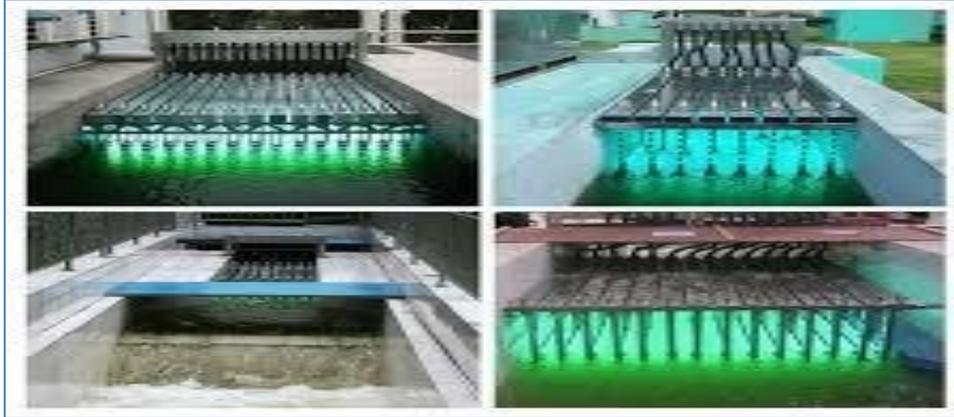


Figure 9 : Bassin de la désinfection par les UV (Bassompierre, 2007).

2 La formation et caractéristiques des boues résiduaires

Les boues résiduaires sont définies par le Comité Européen de Normalisation comme «un mélange d'eau et de matières solides, séparé par des procédés naturels ou artificiels des divers types d'eau qui le contiennent». Les boues sont issues du traitement des eaux usées domestiques ou industrielles.

Il en résulte une eau épurée que l'on rejette dans le milieu naturel et un résidu principal : les boues. Ce résidu est constitué de matières minérales inertes, d'azote, de phosphore et de matières organiques (Boucheikh et Menouer, 2014).



Figure 10 : Les boues sèches (Boucheikh et Menouer, 2014).

2.1 Différents types des boues

2.1.1 Les boues primaires

Récupérées par simple décantation des eaux usées n'ayant pas subi de traitement, elles sont très hétérogènes, riches en matières minérales et contiennent de 65 % à 70 % de matières organiques putrescibles et susceptibles d'évolution (Duchene, 1990).



Figure 11 : Les boues primaires (Duchene, 1990).

2.1.2 Les boues secondaires

Ce sont les boues issues des clarificateurs ou décanteurs après traitement biologique que se soit en culture libre ou en culture fixées

Elles sont donc constituées essentiellement de corps bactériens et de leurs sécrétions (Duchene, 1990 et Debba, 1998).

2.1.3 Les boues physico-chimiques

Variantes des boues primaires sont obtenues par adjonction de réactifs visant à coaguler la fraction colloïdale des matières contenues dans les eaux usées. Présentent des concentrations assez élevées (Duchene, 1990).

2.1.4 Les boues mixtes

Telle est l'appellation du mélange des boues secondaires avec les boues primaires. Les boues mixtes sont celles qui sont issues de la quasi-totalité des filières de traitement complètes. (Morel, 1977).

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.

La stabilisation conduit aux boues digérées soit aérobies soit anaérobies, (Morel, 1977).

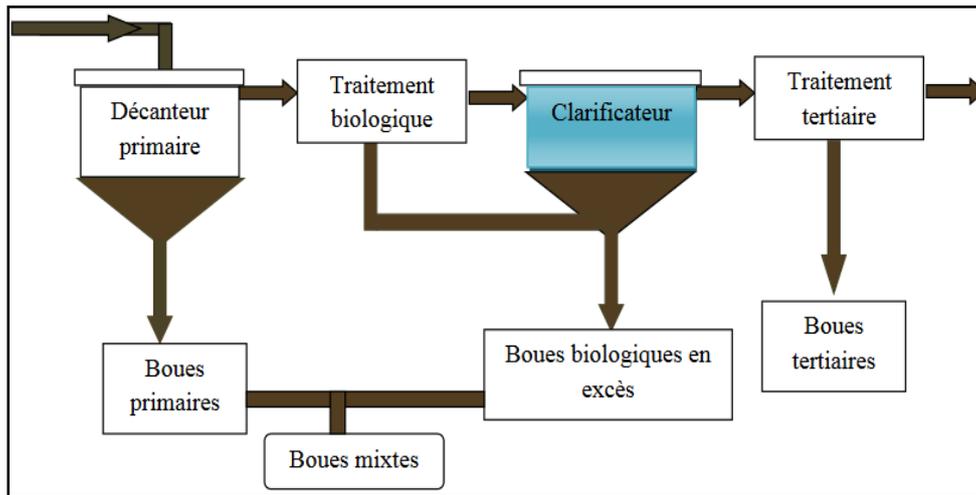


Figure 12 : Schéma des différents types de boues dans un procédé de traitement par boues activées (Telli, 2013)

2.2 Composition des boues résiduares

Comme il a été signalé auparavant, la composition des boues résiduares est fonction de nombreux paramètres notamment de la composition des eaux usées, du caractère du réseau d'assainissement, du type de traitement des eaux et des boues.

Après épaissement, une boue liquide d'aération prolongée à la composition

Pondérale moyenne suivante :

Tableau 1 : Composition des boues d'aération prolongée (Documentation technique FNDAE, n° 09)

BOUES RESIDUAIRES	
- Phase liquide : 95 % à 98 % %Eau : 950 g / l	- Phase solide : 2 à 5 %
- Sels dissous : 1 à 2 g / l	- Matières minérales : 30 à 40 %

	poids sec - Matières organiques : 60 à 70 % poids sec
- Matières grasses	: 4 à 8 % de la matière sèche
- Azote (N)	: 4 à 7 % de la matière sèche
- Phosphore (P)	: 2 % de la matière sèche
- Potassium (K)	: 0,25 % de la matière sèche
- Métaux lourds	: 0,15 % de la matière sèche

En fonction du procédé d'épuration, les variations de concentrations des boues liquides peuvent être résumées comme suit (tableau 2).

Tableau 2 : Caractéristique principales des boues de diverses stations d'épuration (Documentation technique FNDEA, 1990).

Procédé	Matière sèche (g / l)	Matière organique (%)
- Boues activées en aération prolongée	20 à 50	60 à 70
- Lit bactérien	40 à 70	50 à 60
- Lagunage aéré	40 à 60	60 à 70
- Lagunage naturel	50 à 100	30 à 60
- Décanteur digesteur	70	40 à 60

Pour chacun des procédés, les principaux facteurs de variations sont :

- Réseau unitaire : augmente la teneur en matière minérale de phase solide de 5 à 10

% par rapport à un réseau séparatif.

- Déphosphoration : augmente la teneur en phosphore de la phase solide jusqu'à 8-10 % (mais que l'on retrouvera en grande partie redissoute dans la phase liquide des boues) (Duchene, 1990).

2.3 Propriétés des boues

2.3.1 Propriétés physiques des boues

A la sortie de la station d'épuration, les boues renferment beaucoup d'eau, par des procédés mécaniques ou thermiques, elles peuvent perdre une partie de l'eau et prendre l'un des états physiques suivants :

- **liquide** : avec un pourcentage de matière sèche de 2 à 10 %
- **Pâteuse** : d'une teneur en matière sèche de 15 à 25 %
- **Solide** : avec un pourcentage de matière sèche de 25 à 50 % (Glemas, 1980).

2.3.2 La teneur en matière sèche

Il s'agit de mesurer le poids des résidus sec après chauffage à (105 °C) jusqu'au poids constant, on l'exprime généralement en pourcentage, celui ci varie de 3 à 8 % de matière sèche (Jaroz, 1985).

2.3.3 La teneur en matières volatiles

On mesure cette teneur par la différence entre le poids de boues sèches (105°C) et celui de cette même boue après chauffage jusqu'au poids constant à 550 °C, cette teneur varie de 60 à 85 % des matières sèches. (Djamonet, 1987).

2.3.4 La teneur en eau interstitielle

L'eau contenue dans la boue se présente sous deux formes :

- Eau libre qui s'élimine facilement par filtration ou décantation.
- Eau liée contenue dans les molécules chimiques, les substances colloïdales et les cellules de matières organiques qui ne peut s'éliminer que par la chaleur.

On mesure la proportion entre l'eau liée et l'eau libre par la perte de poids à température constante en fonction du temps (Degrement, 1978).

2.3.5 La viscosité

Les boues ne sont pas des liquides newtonien, on mesure leur viscosité en fonction de la contrainte de cisaillemen , cette viscosité permet de définir leurs caractères qui est important pour leur transport (A.F.E.E , 1974)

2.3.6 La charge spécifique

Il est exprimé en ($\text{Kg} / \text{m}^2 / \text{j}$). C'est la quantité de la matière sèche décantée sur l'unité de surface,cette charge dépend de la teneur en matières volatiles. (A.F.E.E, 1974).

2.3.7 La résistance spécifique

Il s'agit de mesurer l'aptitude à la filtration des boues sous une pression donnée, selon (Mathian, 1986), cette résistance (s'exprime en m / Kg ou en Sec^2 / g) (A.F.E.E, 1974).

2.3.8 La compressibilité

Lorsqu'on fait croître la pression au dessus d'un filtre, on obtient un écrasement du gâteau et une augmentation de la résistasse à la filtration, la représentation logarithmique de la résistance spécifique en fonction de la pression donne une droite qui permet de déterminer le coefficient S de compressibilité, lorsque la pression augmente et atteint des valeurs de l'ordre de 10 bars, la filtration de l'eau contenue dans les boues est pratiquement bloquée, on atteint alors la siccité limite.(Degrement, 1989).

2.3.9 Les pouvoirs calorifiques

Les teneurs en matières organiques des boues leur donne une aptitude à la combustion non négligeable qui permet de les incinérer. (A.F.E.E, 1974).

2.4 Propriétés chimiques

2.4.1 Les éléments nutritifs

Les boues contiennent certains éléments utiles à la croissance des plantes, il s'agit des teneurs en **azote** total, **phosphore** (exprimé en **P2O5**) **potassium** (exprimé en **K2O**) et le **Mg**, il s'agit des substances qui favorisent la croissance des plantes et donc qui ont une très grande importance pour l'utilisation agricole des boues, soit par épandage directe, soit par compostage avec les ordures ménagères.

Tableau 3 : Caractéristiques agronomiques des boues résiduelles (Boutin, 1982)

Eléments	Azote	Phosphore	Potassium	Matière Organique
Boues fraîches	3.5 / 4.5	2 / 3	0.5/ 1	60 / 80
Boues digérées	2 / 2.5	1 / 2	0.2 / 0.5	40 / 65

- **Teneur en matière organique :**

Il s'agit de carbone organique contenu essentiellement dans la phase solide qui se transforme dans le sol en matière organique stable peu ou lentement biodégradable (Glema, 1980 ; Debba, 1998).

La fraction humique (ou coefficient isohumique) des boues urbaines est estimée à 20 % de matière organique et peut atteindre 40 % ; ce qui signifie qu'une tonne de matière sèche de boue apporte au sol 200 Kg d'humus ou plus (Vade Mecum, 1990 ; Debba,1998).

- **Teneur en azote (N) :**

L'azote se trouve dans des boues sous différentes formes plus ou moins rapidement assimilables par la plante. L'azote de la matière en suspension est essentiellement organique, celui contenu dans la phase liquide est souvent sous forme minérale représentée par l'ammonium (10 % de l'azote total) ou nitrate (Glema,1980 ; Vade Mecum, 1990).

Tableau 4 : Efficacité comparée boue /engrais (Vade Mecum, 1990)

Produits	Indice
- Ammonitrate	100
- Boues du type laiterie, liquide	60 à 90
- Boues urbaines liquide, stabilisées ou digérées	40 à 50
- Lisier	40 à 50
- Boues urbaines solides, stabilisées ou digérées	20 à 25
- Fumier de ferme	20 à 25
- Compost urbain	5 à 10

- Teneur en phosphore (P)

Le phosphore des boues représente de 3 à 8 % de matière sèche. Il se trouve pour l'essentiel dans la phase solide des boues sous forme minérale et peut donc être assimilé rapidement par les plantes, le taux d'assimilabilité est donc de l'ordre de 60 à 80 % (Glemas, 1980, Pommel, 1981 et Vade Mecum, 1990).

Un apport de phosphore est toujours bénéfique pour le sol. Car il est bien fixé et peut être utilisé même ultérieurement.

- Teneur en potassium (K)

En règle général, les boues sont pauvres en potassium (en valeurs moyennes de 0,5 % des matières sèches) qui n'est pas retenu lors du traitement des eaux résiduaires..

- Teneur en calcium et magnésium (Ca, Mg)

Les boues contiennent du calcium en quantité appréciables : 0,2 à 1,5 % de CaO de la matière sèche dans les boues liquides et de 2 à 20 % de CaO de la matière sèche dans les boues solides (Debba, 1998, Vade Mecum, 1990). Les boues contiennent aussi du magnésium mais à un degré moindre de 0,4 à 1 % de la matière sèche.

3 Techniques de traitements des boues

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).

Selon le but de leur utilisation, des traitements complémentaires sont appliqués pour :

Réduire leur teneur en eau et leur volume et d'éviter la putréfaction de la matière organique facilement décomposable (Brame, Lefevre, 1977).

Stabiliser la matière organique en diminuant sa fermentescibilité.

Pour les hygiéniser, si nécessaire détruire les micro-organismes pathogènes.

3.1 Procédés de réduction de la teneur en eau

Pour réduire les volumes à manipuler, différents procédés sont mis en œuvre comprenant, par ordre croissant d'efficacité et de coût, l'épaississement, la déshydratation et le séchage (Ademe, 1996).

3.1.1 L'épaississement

Est la première étape du traitement par concentration, il réduit le volume à transférer sur la filière et permet d'obtenir une boue dont la concentration varie de 15 à 100 g/l. elle peut être donc pompée.

- L'épaississement statique gravitaire

Il s'effectue par décantation dans une cuve cylindrique à fond conique, sous la seule action de la pesanteur, la boue épaissie est évacuée par le bas.

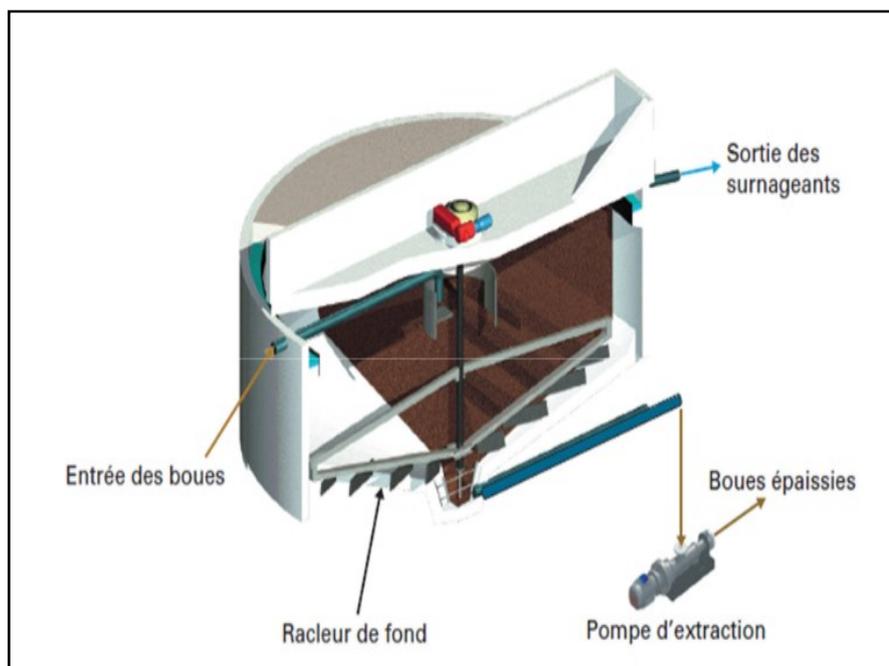


Figure 13 : Coupe longitudinale d'un épaisseur gravitaire (Mazouni et Ramdhani, 2017)

- L'épaississement dynamique

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

:

- **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.



Figure 14 : Etape d'épaississement des boues par flottation.(Quénéa et Belhadj-Kaabi, 2009).

- **Par égouttage** : la boue floculée est épaissie par égouttage sur une toile filtrante.
- **Par centrifugation** : la boue floculée est épaissie sous l'effet de la force centrifuge (Noble, 1997)

3.1.2 La déshydratation

La déshydratation constitue la deuxième étape de réduction du volume des boues. Les techniques d'hydratation sont :

a. Séchage par des procédés mécaniques (déshydratation mécaniques)

On distingue deux modes de déshydratation mécanique:

□ **La déshydratation sur décanteuse centrifuge**

L'eau est séparée de la boue sous l'effet d'une accélération de plusieurs milliers de gramme en termes de siccité, cette technique permet généralement d'obtenir de meilleures performances que le filtre à bandes.

□ **La déshydratation par filtration** : Il existe deux techniques,

- Sur filtre à bande : la boue floculée est déshydratée par compression et

cisaillement entre deux toiles.

- Sur filtre à plateau : la boue conditionnée est déshydratée par compression entre deux plateaux (J.Pronost et al, 2002).



Figure 15 : Déshydratation par filtre presse. (in Jardi , 2002).

b. Séchage sur lit

La technique des lits de séchage se pratique à l'air libre sur des boues liquides et combine l'évaporation naturelle et le drainage de l'eau libre à travers une couche filtrante de sable ou de graviers. Ce système extensif donne des boues solides à 35 – 40 % de siccité mais reste fort dépendant des conditions météorologiques (Jamonet, 1987).

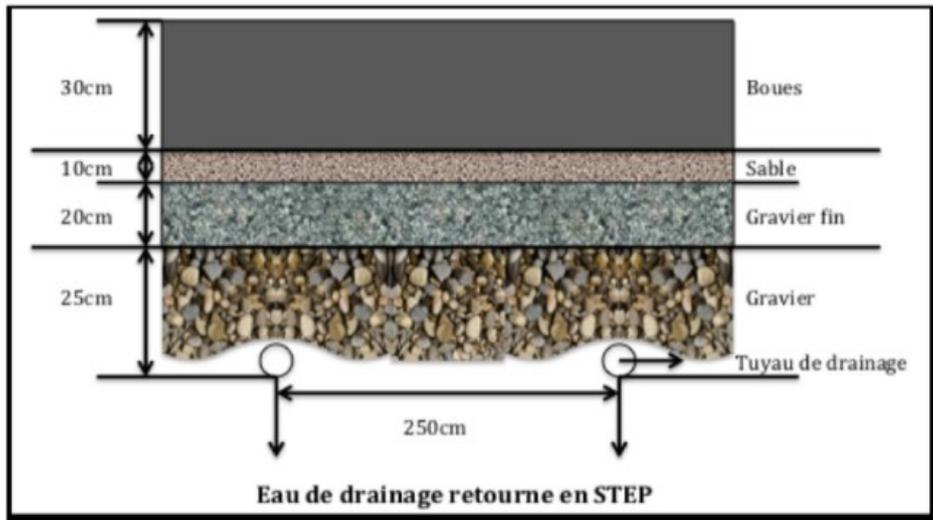


Figure 16 : Schéma de la composition principale du lit de séchage. (Mazouni et Ramdani, 2017).

3.2 Stabilisation des boues

La stabilisation consiste à réduire le volume, le pouvoir fermentescible des boues (odeur) issues de l'épuration biologique, mais aussi à les pasteuriser afin d'éliminer les germes bactériens pour pouvoir les valoriser (Plagellat, 2004).

Les traitements de stabilisation utilisés sont de type biologique, chimique ou thermique. (Koller, 2004).

3.2.1 Stabilisation biologique

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

- **Voie aérobie (en présence d'oxygène)**

Dans les bassins d'aération, jusqu'à l'obtention des boues à une teneur non négligeable en oxygène et biologiquement stable. Le taux de réduction de la matière organique varie entre 20 et 35% (Alexandre, 1979).



Figure 17 : Bassin d'aération. ONA(2007)

□ Voie anaérobie (absence d'oxygène)

Dans les digesteurs avec production d'un biogaz riche en méthane, on obtient des boues appelées « Anaérobies » ou « stabilisées anaérobies » le taux de réduction de la matière organique est de 30 à 50%.

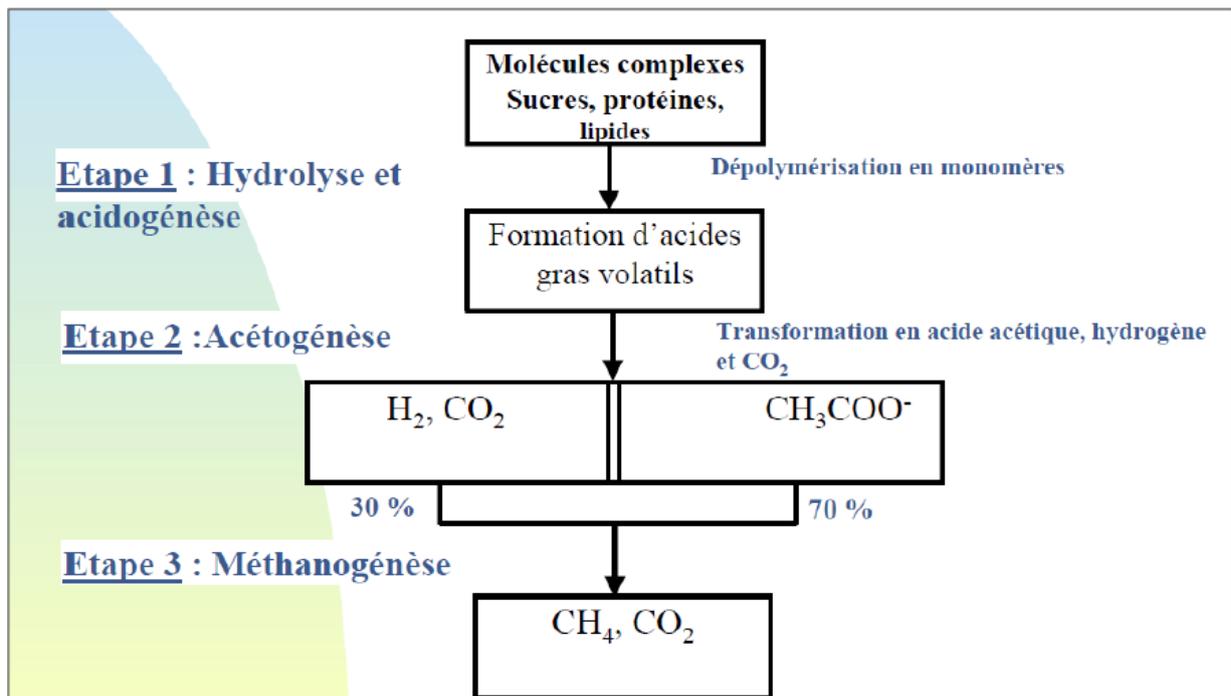


Figure 18 : Principe de la digestion des boues.(Quénéa et Belhadj-Kaabi, 2009).

□ Le compostage

Le compostage constitue un procédé particulier de stabilisation biologique aérobie. Il se réalise de préférence sur des boues déjà déshydratées de façon à économiser l'approvisionnement en support de compostage, les boues n'étant pas auto-compostables.

Les boues compostées ont un aspect de « terreau » et présentent une structure solide, elles sont stables. On constate actuellement un fort regain d'intérêt pour cette technique en raison des nouvelles données réglementaires et économiques concernant la gestion des déchets.

Le compostage se pratique dans des stations de moyenne taille et ne représente que 2% des tonnages des boues (O.P.E.C.S.T, 2001).

3.2.2 La stabilisation chimique

Le chaulage

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).

Ce traitement apporte un appoint en calcium qui peut être bénéfique lors de la valorisation de la boue. Le chaulage suppose généralement une déshydratation préalable des boues (Gamarasni, 1984 et Koller, E. (2004).

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 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, 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.

3.2.3 Le séchage thermique

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.

3.2.4 L'oxydation thermique

L'oxydation thermique est la filière qui répond le mieux aux critères de réduction de volume et d'hygiénisation.

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 contrôlés, une température optimale et uniforme, ainsi qu'une turbulence élevée.

- **La co-incinération avec les ordures ménagères**

L'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 ménagères (Boutin, 1982 et Noble, 1997).

3.3- Les différentes formes de valorisation des boues

Actuellement les boues sont valorisées dans plusieurs domaines

- l'épandage direct des boues en agriculture.
- la valorisation ou la mise en centre de stockage des sous-produits après

oxydationthermique.

- L'épandage direct des boues en agriculture

La valorisation agricole des boues résiduaires peut être considérée comme le mode de recyclage le plus adapté pour rééquilibrer les cycles biogéochimiques (C(carbone), N(azote), P(phosphore)..), pour la protection de l'environnement et d'un très grand intérêt économique.

Elle vise à ménager les ressources naturelles et à éviter tout gaspillage de matière organique due à l'incinération ou à l'enfouissement dans les décharges **NA 442 .(2006).** Les boues résiduaires peuvent ainsi remplacer ou réduire l'utilisation excessive d'engrais coûteux. L'épandage agricole est une pratique très ancienne permettant de profiter des capacités biologiques naturelles des sols, à digérer les boues et en réintroduire leurs éléments dans les cycles naturels.

- La valorisation ou le stockage des sous-produits après oxydationthermique

L'utilisation, sous certaines conditions, des sous-produits d'oxydation thermique dans les bétons ou en techniques routières est une voie prometteuse. Cette forme de valorisation en est encore au stade expérimental, **Baes, C. F., Mesmer, R. E. (1976).**

La destination finale des sous-produits d'oxydation thermique est intimement liée aux techniques de traitement mises en œuvre.

4 Gestion des boues de STEP en Algérie

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 05) 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 (Benoudjit, 2016 in Hamani, 2020).

Tableau 5 : Stations d'épuration en Algérie (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).

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 estimée 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 (Maalem et al, 2018).

Chapitre II

Présentation de la STEP de

Tissemsilt

1 Présentation de la Station de traitement des eaux polluées(STEP) de Tissemsilt

La station d'épuration prévue pour la ville Tissemsilt, est destinée à traiter les eaux domestiques, avant le rejet dans l'oued bougara, se trouve à la sortie de la ville.

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 OuledBessem, elle utilise le procédé de boue active (faible charge) comme procédé d'épuration.



Figure 19 : Localisation de STEP de Tissemsilt

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.



Figure 20 : Maquette de la STEP de Tissemsilt (Prise personnelle).

2 Caractéristiques générales 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.

3 Procédé de traitement des eaux résiduaires

Les eaux usées sont acheminées vers une station de relevage, un dégrilleur (grilles grossières) automatique est installé dans la station de relevage afin de retenir et éliminer les éléments grossiers.

La station de relevage est équipée de 7 pompes



Figure 21 : Station de relevage

3.1 Prétraitement :

Le prétraitement a pour effet d'éliminer les éléments les plus grossiers qui sont susceptibles de gêner les traitements ultérieurs et d'endommager les équipements. Il s'agit de déchets volumineux (feuilles, tissus, brindilles...), des sables et graviers et des huiles.

Le prétraitement commence par ;

- Le dégrillage :

Les dégrilleurs assurent la protection des équipements électromécaniques et réduisent les risques de colmatage des conduites mises en place dans la station d'épuration.

Dans la station de Tissemsilt, on distingue deux dégrilleurs avec le calibre gros et fin.

A l'arrivée, l'eau usée en provenance des égouts passe entre les barreaux métalliques d'une grille qui retiennent les déchets volumineux (papiers, feuilles, matières plastiques, objets divers...)

Les déchets déposés dans ces grilles sont collectés et tombent dans la bande transporteuse qui les déplace vers le conteneur à l'extérieur.

Les sept pompes remontent l'eau à un niveau supérieur.



Figure 22 :Dégriilleur grossier



Figure 23 :Dégriilleur fin

-Dessablage et déshuilage:

Le prétraitement se poursuit par le dessablage - dégraissage : élimination des graisses par flottaison et des matières lourdes par décantation.

Les sables et graviers susceptibles d'endommager les installations en aval (ensablement de conduites, des bassins, usure des pompes et autres organes métalliques...) se déposent au fond de bassins conçus à cet effet. Ils sont récupérés de différentes façons : raclage vers une fosse de collecte, pompe suceuse... Le dessablage débarrasse les eaux usées des sables par sédimentation

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 24 : Le bassin de dessablage et déshuilage de la STEP de Tissemsilt.

3.2 Traitement secondaire

Ce traitement comporte deux phases :

- traitement biologique (boues activées).
- traitement de clarification (décantation secondaire).

-Traitement biologique (boues activées):

L'effluent est introduit dans des bassins équipés de dispositifs d'aération (insufflation d'air...) (au moyen d'un brassage assuré par agitateurs se déplaçant en rond), où des microorganismes, naturellement présents dans l'effluent, dégradent les matières organique dissoutes. L'air insufflé leur fournit l'oxygène nécessaire pour respirer et ils se développent en se nourrissant de la pollution organique.



Figure 25 : Bassin d'aération

- Clarification (décantation):

La clarification permet de séparer par décantation l'eau épurée des boues « secondaires » issues du traitement biologique. 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 26 : Bassin de décantation secondaire

3.3 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 27 : Bassin de désinfection

4 Traitement des boues:

Le traitement permet de réduire le volume d'eau et d'éliminer les différentes matières polluantes et fermentables.

4.1 L'épaississement:

La boue secondaire issue de la décantation secondaire, 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.

Cette étape permet d'augmenter le taux de siccité de boue.

La station d'épuration est équipée de deux épaississeurs.



Figure 28 : Epaississeur

4.2 La déshydratation

La déshydratation permet de produire une boue pâteuse ou solide.

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 29 : Filtres-presses

4.3 Le séchage dans des lits de séchage

La boue sera soumise à une déshydratation dans des lits de séchage (composée de plusieurs couches de gravier et de sable de granulométries variables), se trouvant à proximité de la station

La boue est placée sur des lits de sable pour séchage à l'air libre. La percolation dans le sable et l'évaporation sont les étapes essentielles du processus de déshydratation. Et 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 30 : Lits de séchage

Chapitre III

Matériels et Méthodes

1- Prélèvement des échantillons

Les boues issues du traitement des eaux usées domestiques utilisées proviennent de la STEP de la commune de Tissemsilt. Les échantillons ont été collectés directement des lits de séchage en collaboration avec ma collègue (voir Hamani,2020) le 08 février 2020, à dix heures du matin, elles sont de couleur noire, sans odeur désagréable. L'échantillon de cette collecte fut entreposé dans un endroit sec, protégé des aléas climatiques pendant une année. Pour les besoins de notre étude, nous avons utilisé un échantillon de cette même boue à l'état un peu plus sec.

2- Les méthodes d'analyses des boues

Les analyses du pH et CE ont été réalisées au niveau de laboratoire de l'université de Tissemsilt, en Avril 2021.

Les analyses de l'Humidité, taux de matière organique, Taux de calcaire total et le taux de Phosphore assimilable ont été réalisées au niveau de laboratoire de l'institut National des sols, de l'irrigation et du drainage (INSID) de Ksar Chellala, en date de juin 2021.

2.1--L'humidité :

C'est la perte de poids après séchage à 105°C exprimée en % ou en ‰ (pour mille) par rapport à la boue séchée à l'air.

$$H = \frac{P_{air} - P_{105^{\circ}C}}{P_{air}} * 100$$

Cette détermination est facile à réaliser par simples pesées après séchage en étuve d'une durée suffisante de 24H à une température de 105°C.

L'utilisation de capsule en verre à couvercle rodés permet d'éviter une ré-humectation au court du transport de l'étuve à la balance, elle est aussi appelée (humidité résiduelle) quantité d'eau restante. (Baize 1988)

2.2-Matière organique :

En fait, le taux de matière organique passe par le dosage du carbone organique car ces deux paramètres sont liés par l'équation suivante : $MO (\%) = 1.72 \times C (\%)$

La teneur en carbone organique est déterminée par la méthode ANNE qui se base sur un titrage par le sel de Mohr. Ce dernier oxyde les bichromates de potassium ($K_2Cr_2O_7$) qui

sont dans la solution. Les bichromates vont être fixé avec les molécules de carbone ce qui reste des bichromates va être oxydé par le sel de Mohr. (Derouiche 2012).

$$C\% = (y-x) \cdot 0.61/p$$

Y: la quantité de sel de Mohr qui a oxydé tous les bichromates dans l'essai

X: la quantité de sel de Mohr qui a oxydé tous les bichromates dans l'échantillon du sol

P: la prise d'essai

La quantité réduite est proportionnelle à la teneur en carbone organique

2.3-Le pH :

Il indique l'acidité ou l'alcalinité des milieux. Il n'a pas de signification hygiénique, sa mesure a été effectuée par la méthode électro-métrique à l'aide d'une ph-mètre, après dilution de la boue dans de l'eau (20g de substrat ou boue dans 50 ml d'eau distillée (rapport boue /eau distillée = 2/5))



Figure 32 : PH mètre

2.4-Dosage du calcaire total :

Le dosage du calcaire total contenu dans un échantillon de sol ou substrat est déterminé par gazométrie. Son principe est fondé sur la réaction caractéristique du carbonate de calcium (CaCO_3) au contact de l'acide sulfurique (HCl).



Il s'agit de comparer le volume de CO_2 dégagé par le contact d' HCl avec un poids précis de sol avec celui dégagé par le contact d' HCl avec CaCO_3 pur et sec en quantité connue,

les conditions de température et de pression restant inchangées. Pour cela, le dispositif utilisé pour la détermination du taux de calcaire total est le Calcimètre de « BERNARD ».

Le calcimètre de BERNARD : est composé d'une burette graduée en millilitre reliée par le bas au moyen d'un tube de caoutchouc a une ampoule et par le haut a un erlen meyer muni a l'intérieur d'un petit tube a essai en verre.



Figure 33 :Calcimètre de BERNARD

2.5-Conductivité électrique :

D'après (Dogar, 1980 et Ben moussa 2005), la conductivité électrique représente la totalité des sels soluble, la mesure de (CE) s'effectue a l'aide d'une conductivimètre avec un rapport(Terre / eau) =1/5 ,sa valeur est exprimée en mmhos\cm. (Derouiche 2012)



Figure 34 : Conductivimètre

2.6-Phosphore assimilable :

L'acide phosphorique est extrait par l'oxalate d'ammonium (le rapport terre eau est 1/25).

Le principe du dosage est basé sur la formation et la réduction d'un complexe de l'acide phosphorique et l'acide molybdique dans une solution d'oxalate d'ammonium contenant un phosphate. L'addition d'un réactif sulfomolybdique et d'une solution d'acide ascorbique provoque par chauffage, le développement d'une coloration bleue dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en orthophosphates.

Chapitre IV

Résultats et discussions

1- Présentation des résultats des analyses chimiques:

Nous présentons les résultats des analyses des boues obtenues dans le tableau suivant :

Tableau 6 : Résultats des analyses des boues

Les paramètres	Résultats
Ph	7.55
Conductivité électrique (mmhos\cm)	0.047
Humidité (%)	0,01
Calcaire total (%)	12,00
Matière organique (%)	1,56
Phosphore assimilable (ppm)	711,49

2- Interprétations et Discussions des résultats :

2.1- Interprétation des résultats des analyses chimique de la boue:

Nous avons remarqué dans les résultats obtenus une variation de plusieurs paramètres.

Tableau 7 : Comparaison des résultats des analyses des boues avec norme AFNOR

Les paramètres	Résultats	NormesAFNOR
Ph	7.55	/
Conductivité électrique (mmhos\cm)	0.047	/
Humidité (%)	0,01	/
Calcaire total (%)	12,00	/
Matière organique (%)	1,56	40-65(%)
Phosphore assimilable (%)	0,07%	0,43-0,87(%)

2.1.1- PH :

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 (Benoudjit, 2016).

Généralement le pH des boues résiduaires est situé dans un intervalle de valeurs bien précis: $6 < \text{pH} < 8$, (Ramdani, 2007).

D'après les résultats le pH des boues est considéré comme neutre, avec une valeur de 7.55. Le pH de la boue ne semble pas être, à priori, un facteur limitant pour son utilisation en agriculture; au contraire il représente une condition favorable au développement de l'activité des micro-organismes dans le sol.

2.1.2- Conductivité électrique (CE) :

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

La conductivité électrique est de l'ordre de 0.047 mmhos/cm, D'après les classifications de Diehl 1975, la boue est non salée, cela n'aura pas d'effets négatifs sur le sol.

Tableau 8 : Classification des sols en fonction de la CE (Diehl, 1975)

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

2.1.3- Humidité

L'humidité contenue dans les boues dépend de la méthode de traitement.

Pour notre station, le système de déshydratation est rudimentaire (lits de séchage) cela conduit à une variable, selon le temps de séjour sur lits et les conditions météorologiques.

D'après les analyses (voir tableau 1), on constate que les boues étudiées sont dans un état très sec.

2.1.4- Matière organique

La matière organique d'un amendement est un paramètre agronomique qui revêt une grande importance en agriculture, puisqu'elle améliore la porosité et le pouvoir de rétention de l'eau des sols (N'Dayegamiye et al., 2004).

Elle favorise ainsi l'enracinement des plantes cultivées, leur approvisionnement en eau et en éléments nutritifs tout en apportant une source de nourriture aux vers de terre et aux microorganismes utiles (Estevez et al., 1992; N'Dayegamiye et al., 2004).

Les résultats de l'analyse physico-chimique de la boue étude montrent que cette boue renferme 1,56% de matière organique, Une teneur beaucoup plus faible que celle de la norme (40-65%) (Lacee, 1985) : donc les boues ne sont pas trop riches en matière organique. D'après les travaux de FNDAE n° 9 , 1990 (tableau 1 et 2 du chapitre 1), les pourcentages de Matière organique sont très élevés dans les boues qui ont un taux d'humidité élevée (max 100g /l de matière solide).

2.1.5- Calcaire

Les résultats obtenus (12% de calcaire) montrent que notre échantillon de boue est bien pourvu en calcaire . D'après Vade Mecum, 1990, nous pouvons trouver de 2 à 20 % de CaO de la matière sèche dans les boues solides.

2.1.6- Phosphore assimilable

. Dans nos résultats la teneur en phosphore assimilable est de 0,07% c'est a dire assez faible (0,43 à 0,87 %). Ceci paraît logique vu que nos boues sont sèches et solides Les boues pâteuses (15% à 25% de matière sèche) sont les plus pourvues en azote et en phosphore. Le phosphore se retrouve le plus souvent dilué dans la phase liquide (Vade Mecum, 1990).

2.2- Discussions des résultats :

En faisant la comparaison des résultats des analyses réalisées pour la même boue l'année passée par Hamani (2020) (voir tableau en annexe n°1) et les résultats de 2021, on constate que les résultats sont assez similaires. Le pourcentage de matière organique est très proche par une teneur de 1,54% pour l'échantillon de 2020 et 1,56% pour la nouvelle analyse.

Quant au pH, les deux résultats donnent un pH neutre dans chacun des résultats des boues.

Pour la valeur de CE dans les résultats des boues anciennes, elle est faible avec une conductivité de 2,58 mmhos/cm. Pour les résultats de la boue de 2021, la valeur salinité est encore plus faible avec 0,047 mmhos/cm.

Concernant des travaux similaires sur les boues de station :

- Des travaux sur les boues de la STEP de Tiaret montrent des valeurs de pH neutres, CE faibles, mais un taux de MO >6 % (Medjber , 2016 ; Derouiche, 2012)
- STEP de Baraki, Alger : pH proche de la neutralité, MO de 17% , un taux de calcaire de près de 12 % et le phosphore assimilable de 0,12% (Igoud, 2001) mais dans cette dernière étude la boue a subi une maturation de 6 mois a l'air libre.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le traitement des eaux usées provenant des agglomérations urbaines engendrent sans cesse une production de boues résiduelles.

Quelque soit leur composition organique, physique ou chimique, elles constituent une contrainte quand à leur élimination dans l'environnement .

A fin de s'assurer de leur non nuisibilité à l'écosystème, il est primordiale de les diagnostiquer sur tous les plans.

Dans ce contexte, nous avons essayé d'aller vers cet objectif dans le cadre de notre mémoire de fin d'étude qui a consisté en « la caractérisation physicochimique des boues résiduelles de la STEP de Tissemsilt » .

Nous sommes arrivé aux conclusions suivantes :

Le pH de la boue est neutre avec une valeur de 7.55. La conductivité électrique est de l'ordre de 0,047 mmhos/cm, les boues ne sont pas salées.

Cette boue est considérée comme pauvre en matière organique avec une valeur de 1,56%, une teneur beaucoup plus faible que celle de la norme de 40-65%.

Le taux de calcaire est assez important (12%) et la teneur en phosphore assimilable est de l'ordre de 711,49 ppm donc 0,07%, une teneur faible mais non négligeable.

Sans oublier que la boue soumise à l'analyse était a l'état solide et très sec.

A la fin de notre caractérisation, nous espérons que ces données serviront de base pour des études similaires. Il est primordiale de compléter les études par une caractérisation plus approfondie touchant plus de paramètres chimiques et éventuellement agronomiques.

A la fin de ce mémoire, nous recommandons de :

- Réaliser un contrôle périodique des eaux usées épurées et des boues résiduelles à la sortie des STEP .
- Tant que la toxicité des boues n'est pas prouvée et actualisée, leur valorisation est conseillée dans des secteurs qui ne touchent pas directement l'alimentation humaine tels que l'urbanisme ou les travaux publics pour diminuer de la contrainte de l'excès de la mise en décharge.
- Pour son élimination, préférer la technique de l'enfouissement contrôlé dans des centres spécialisés dans la mesure permise par la législation de la gestion des déchets.

Références bibliographiques :

Références bibliographiques :

-  **Ademe. (1996)** : La valeur azotée des boues résiduares de station d'épuration urbaines. 336p
-  **A.F.E.E.(1974)**. Pollution des eaux par l'agriculture et la sylviculture : actes du Séminaire organisé par le comité des problèmes de l'eau de la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies, (Vienne, octobre 1974).
-  **AFNOR**. Norme française NFU 44-041. Matières fertilisantes. Boues des ouvrages de traitement des eaux usées urbaines. Déterminations et spécifications. Juillet 1985.
-  **Alexandre,D.(1979)** : Valorisation des boues, utilisation en agriculture.La tribune de Cebdeau N°.424, 99-107
-  **Ati,(2010)** : Etude de l'effet des boues résiduares sur sol cultivé: Dynamique du phosphore et son utilisation en zone semi – aride. Gestion des ressources naturelles et environnement ; Thèse de magister. Université de Batna.
-  **Aouadi .H, Bensouilh .M, Douakha .R. (2007)** : Le procédé de traitement biologique par boues activées. Mémoire de fin d'étude. Université 08 mai 1945, Guelma, 50p.
-  **Baes, C. F., Mesmer, R. E. (1976)**. The hydrolysis of cations. Wiley, New York, 496 p.
-  **Baize D.**, 1988- Guide des analyses en pédologie 2eme édition revue et augmentée ; édition INRA, Paris France.
-  **Bassompierre. C, (2007)** : Procédé à boues activées pour le traitement d'effluents papetiers : de la conception d'un pilote à la validation de modèles. Thèse de Doctorat. Institut national polytechnique de Grenoble .232p.
-  **BELAID. D. (2015)**: utilisation des boues résiduelles de station d'épuration en Algérie, collection dossier agronomiques. 22 p
-  **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
-  **Boucherite. K, Kadi K, Dafri .F, (2009)** : Caractérisation microbiologique et physico-chimique de l'eau pen.dant son épuration au niveau de la STEP de la ville de Guelma Mémoire d'ingénieur. Université 8 Mai 1945 de Guelma.89p
-  **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

Références bibliographiques :

-  **Boutin .V, (1982) :** Risque sanitaire provenant de l'utilisation d'eau polluée ou de boues de station d'épuration en agriculture .T.S.M, n° 12, pp 547-555.
-  **Brame. V, Lefevre .G. (1977).** Aspects qualitatifs de l'utilisation agronomique des boues résiduelles des stations d'épurations. Bull.d'AFES n°3, pp: 125-140.
-  **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
-  **DEBBA MB (1998) :** contribution a l'étude des boues residuelles :interet agronomique et effet des polluantes dans le sol et le végétal mémoires de magistère en science agronomique universités de mostaghanem 180P
-  **DEGREMENT (1978) :** memento technique de l'eau ,9^e édition ,technique et documentaire paris 1167P
-  **DEGREMENT (1988) :** memnto technique de l'eau ,8^e édition technique et documentaire ,1459P
-  **DEROUICHE. F. (2012) :** Contribution à l'étude des boues résiduelles comme amendement organiques pour les cultures maraichères. Mémoire de magister université Oran,, Algérie, 126P
-  **DOCUMENT TECHNIQUE FNDAE n° 10 (1990),** Elimination de l'azote dans les stations d'épuration biologiques des petites collectivités. Optimisation de la conception et du dimensionnement – Ministère de l'Agriculture, CEMAGREF QEPP Paris, décembre 1990, 60 p.
-  **Duchene p (1990) :** les systemes des traitements des boues des stations d'epuration des petites collictivites, documentations techniques du Fnae N°09 P8-9
-  **DEROUICHE. F. (2012) :** Contribution à l'étude des boues résiduelles comme amendement organiques pour les cultures maraichères. Mémoire de magister université Oran,, Algérie, 126P
-  **BELGHAOUTI.T. (2013):** Caractérisation physico-chimique et valorisation d'une boue de station d'épuration. Thèse de Magister université d'Oran, Algérie, 135P
-  **Elarfi. A, Charchar .N, Sabber .I, (2007) :** valorisation eaux usées in vitro des principaux rejets de la ville de Guelma par le procédé des phragmifiltre. Mémoire d'ingénieur. Université 8 Mai de Guelma. Université 8 Mai 1945 de Guelma.135p
-  **Fartas. K, Laouissi. H, Zouaimia. S. (2015) :** Thème: Etude Microbiologique Des Boues Des Eaux Usées De La Ville De Guelma. Thèse de Master, Université 8 Mai 1945 de Guelma, Algérie, 5P.

Références bibliographiques :

-  **Gamarasni, M.A.(1984)** : Utilisation agricole des boues d'origines urbaines. Source. Paris (F.R).A F E E, 128p.
-  **GLEMAS P(1980)** fertilisation boue, gadoue, composts de finition fabrication et caractéristique ,revue cultivar n° 132 P 44-51
-  **Hatem .D, (2008)** : Traitement des eaux usées urbaines par les procédés biologiques d'épuration. Université Virtuelle De Tunis.34p
-  **Hamani,(2020)** : Caractérisation des boues résiduares issues de STEP pour leur valorisation comme amendement organique pour les sols agricoles dans la région de Tissemsilt.
-  **JAMONET B, (1987)** : Le traitement des boues résiduares. Univ des sciences du Languedoc, Montpellier, 10p
-  **J.,Pronost ,R,Pronost,L.,Deplat.,J.,Malrieu.,J-M.,Berland,(2002)** : stations d'épuration :diapositives constructives pour améliorer leur fonctionnement et faciliter leur exploitation,
-  **JAROZ J (1985)** le traitement des boues residuares ,université des sciences et techniques du languedocmontpellier
-  **JARDI. E, (2002)** : Composition organique de boues résiduares de stations d'épuration lorraines : Caractérisation moléculaire et effets de la biodégradation. Thèse de doctorat. Université Henri Poincaré, Nancy I, France.287p
-  **Karaali. R, Khettal .M, Reggam .R, (2008)** : Etude comparative de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux usées avant et après épuration : cas de la station d'épuration de la ville de Guelma (Nord-est Algérien). Mémoire d'ingénieur. Université 8 Mai de Guelma, 110p.
-  **Koller. E, (2004)** : Traitement des pollutions industrielles eau, air, sols, boues. Ed. Dunod. 424p.
-  **Lacee C. , 1985** : "Analyse des boues" AFEE, T1, 135p, T2, 127p.
-  **MAALEM.T, SAIDIA .C, TOGO. I. (2018)**:Caractérisation bactériologique des boues résiduares 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 aklimohandoulhadj – bouira, Algérie, 71P.
-  **Moulin, Rozen .d, Milena .S, (2013)** :Traitement des eaux usées, 13p.
-  **Moumene .S, Djamame .A, (2011)** : Contribution à l'étude de traitement des eaux usées de la ville de Guelma. Mémoire de Master. Université 8 Mai de Guelma, 101p

Références bibliographiques :

-  **Morel j .J.(1977)** contribution a l'étude des boues residuaires dans le sol ,these docteur universitenancy p122
-  **NA 442 .(2006).** ciment composition,specifications et critere et conformité des ciments courants institut Algérien de normalisation,3eme edition.F.ROUESSAC & A.ROUESSAC, « analyse chimique : methods et techniques instrumentals modernes»,4eme edition, Paris,1998.
-  **Newman A.C.D. (1983):** The specific surface of soil determined by water sorption.J. Soil Sci. 34 23-32.
-  **Noble, C. (1997) :** Traiter et valoriser les boues OTV.
-  **Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques (O.P.E.C.S.T), (2001) :** Les effet des métaux lourds sur l'environnement et la santé.,par Miquel G.Rapport n°261.pp :100-261.
-  **Office national d'assainissement(ONA) (2007)**
-  **PERRON. V,HEBERT. M, (2007) :**CaraCtérisation des boues d'épuration muniCipales ; Partie i : Paramètresagronomiques,article technique.
-  **Plagellat. C, (2004) :** Origine et flux de biocides et filtres UV dans les stations d'épuration des eaux usées Thèse de doctorat .Ecole polytechnique federale de Launese.
-  **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
-  **Rodier .J. (1996) :** L'analyse De L'eau; eaux naturelles, eaux résiduelles, eaux de mer. 8ème édition. Dunod. 1383 p.
-  **Vade Mecum, 1990:** "The training of agricultural teachers in Europe", 215p

Résumé

L'objectif de cette recherche est d'étudier les caractéristiques des boues résiduelles issues de STEP de Tissemsilt.

Ces boues ont été soumises à des analyses physico-chimiques (pH, CE, matière organique, calcaire et P2O5). Ces boues se caractérisent par la présence de matière organique de 1,56%, un pH neutre de 7,55, un faible taux de salinité de 0,047 msiemens/cm, Humidité on constate les boues étudiées sont très sèches, le taux de calcaire 12 %, phosphore assimilable 0,07%, 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, et le Potassium 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 residual sludge from the wastewater treatment plant in Tissemsilt.

This sludge was subjected to analysis physicochemical (pH, EC, organic matter, limestone%, available phosphorus %). This sludge is characterized by the presence of 1.56% organic matter, a neutral pH of 7.55, a low salinity rate of 0.047 mSiemens/cm, humidity, the studied sludge is very dry, a limestone rate of 12%, and available phosphorus 0.07%, and medium texture.

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

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

ملخص

الهدف من هذا البحث هو دراسة خصائص الحمأة المتبقية من محطة معالجة مياه الصرف الصحي في تيسمسيلت.

خضعت هذه الحمأة للتحليل الفيزيائية الكيميائية (الأس الهيدروجيني ، EC ، المواد العضوية والكلس و نسبة الفوسفور). ETMs. تتميز هذه الحمأة بوجود مادة عضوية 1.56% ، ودرجة حموضة متعادلة 7.55 ، ومعدل ملوحة منخفض 0.047 ملي سيمنز / سم ، والرطوبة ، والحمأة المدروسة شديدة الجفاف ، ومعدل الكلس 12% ، والفوسفور القابل للاستيعاب 0.07% ، ونسيج متوسط.

تعطي هذه المعلومات الفيزيائية والكيميائية للحمأة إمكانيات للاستعمال في الزراعة ، ولكن يجب تحليل العناصر الغذائية مثل النيتروجين والبوتاسيوم.

كلمات مفتاحية: الحمأة المنقاة ، معالجة مياه الصرف الصحي في تيسمسيلت ، تحاليل ، الاستعمال الزراعي.