

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique-Alger

Département Génie de l'environnement



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme
D'ingénieur d'état en génie de l'environnement

Présenté par : Mlle BOUKEBECHE Nessrine

Thème

Caractérisations des boues de la station
d'épuration de Baraki

Soutenu le 18 Juin 2016.

Devant le jury composé de :

Mme	HELLAL Amina	Pr	Présidente
Mr	NAMANE Abdelkader	MCA	Promoteur
Mr	BELKAID Ishek	Doct	Co-promoteur
Mme	ARRAR Jazia	MCA	Examinatrice

2016

الملخص :

الهدف من هذه الدراسة هو فحص الحمأ الصادر من محطة تطهير المياه من وجهة نظريير ببراقى و جهة نسبةا لمادة الجافة و إمكانية الهيدروجين « pH » و السماحية الكهربائية 'نسبة الملوثات الهيدروكربونية ' العناصر المخصبة كالمواد العضوية و الازوت 'النسبة C/N, الفوسفور, البوتاسيوم, الكالسيوم و المغنزيوم, مع مقارنة نسبة هذه العناصر الموجودة في الحمأ مع التي هي موجودة في السماد' لاسيما العناصر المعدنية مثل النحاس و الزنك, النيكل, الكاديوم, الزئبق و الرصاص' مقارنين هذه النسب مع القيم الحدية الموضوعه من طرف AFNOR و في الأخير درسنا العوامل البيولوجية مع مقارنتها بالعوامل البيولوجية لتربة خصبة, دراسة هذه العوامل تسمح بتحديد تقنية تعزيز الحمأ.

الكلمات المفتاحية محطة معالجة, الأوصاف, تعزيز, العوامل الفيزيائية و الكيماوية, البيولوجية حماة

Abstract :

The objective of this study is to examine muds of these waste treatment plant of Baraki, point of view of their dryness (percentage of matter dries), the hydrogen potential electric conductivity and the rate of polluting hydrocarbons, and the fertilizing elements like the percentage of organic matter and total nitrogen, report C/N, cogitates, potassium, calcium and magnesium, while comparing with the percentage of the manure of cattle, plus the contents of metal elements traces like zinc, copper and nickel, cadmium, mercury and lead, while comparing with the limiting values fixed by AFNOR, Finally the biological parameters with a comparison with those of the fertile plates. The study of these parameters makes it possible to predict with which one can develop these muds
., **Keywords:** mud of sewage treatment plant, characterization, valorization, parameters physico-chemical, biological.

Résumé :

L'objectif de cette étude est d'examiner les boues de la station d'épuration de Baraki, de point de vu de leur siccité (pourcentage de matière sèche), le potentiel hydrogène, la conductivité électrique et le taux des polluants hydrocarbures, et les éléments fertilisants comme le pourcentage de matière organique et d'azote total, le rapport C/N, phosphore, potassium, calcium et magnésium, tout en comparant avec les pourcentage du fumier de bovins, plus les teneurs en éléments traces métalliques comme le zinc, le cuivre et nickel, cadmium, mercure et le plomb, en comparant avec les valeurs limites fixées par AFNOR, Enfin les paramètres biologiques avec une comparaison avec celles des soles fertiles. L'étude de ces paramètres permet de prédire avec quelle technique, on peut valoriser ces boues.

Mots clés : boue de station d'épuration, caractérisations, valorisation, paramètres physico-chimique, biologiques.

Dédicace

A...

Mon dieu qui me donne le pouvoir pour finir ce travail

*Mes parents qui me sont les plus chers au monde,
dont l'amour et les sacrifices n'ont pas cessé de
comblé ma vie.*

*Mes adorables sœurs: Natalie Hamida,
Houria.*

A mon très chère frère Ahmed.

Mes amies : Rania, Wissem, Zahra, Hadjer, dahbiya.

Mes amis : Zinou ,Bessem, ishek. Amine.

Je dédie ce travail...



Remerciement

Je tiens à remercier tout particulièrement Monsieur Abdelkader NAMANE qui a suivi mon travail tout au long de sa réalisation de ce projet de fin d'étude et dont les conseils prodigués m'ont été fort utiles. Je lui dois également une entière disponibilité, ce qui m'a permis de tirer profit pleinement de son expérience et de ses connaissances.

Mes sincères remerciements vont également à, Mr Ishak BELKAID qui m'aide à compléter ce travail, et bien évidemment et un grand remerciement à Mr le sous-directeur de la station de Baraki « Sofiane HERAOUI » pour sa disponibilité, Mes remerciement vont également à Mlles Baya BENNOUAR, et Mm Yasmine BOUHALOUANE , et à tous le personnel de la station d'épuration de Baraki Alger pour leur accueil et leur gentillesse.

Ils n'ont épargné aucun effort pour mettre à ma disposition tout ce dont j'avais besoin afin de mener à bien mon travail.

Mes plus vifs remerciements sont également dirigés à Mr Redouane l'ingénieur de laboratoire de pédologie de l'Ecole Nationale Supérieur d'Agronomie qui m'a aidé à enrichir ce travail.

Je ne saurais oublier tous mes enseignants du département de génie de l'environnement pour la qualité de la formation qui nous a été dispensée durant les trois années de notre spécialité à l'Ecole nationale Polytechnique.

Que messieurs les membres de jury trouvent ici toute ma haute considération pour avoir accepté d'examiner et de juger mon travail de fin d'études. Je cite : Pr Mme HELLAL (présidente) et Dr Mme Jazia ARRAR (examinatrice).

Je remercie enfin tous ceux qui de près ou de loin m'ont soutenu durant la préparation de ce travail soit par leurs conseils ou par leur soutien moral

Table des matières

Dédicace

Remerciement

Résumé

Liste des tableaux

Liste des Figures

Abréviation

Introduction générale :	13
chapitre1. Généralité sur les eaux usées et les différents procédés de traitement..	16
1.1. Généralités sur les eaux usées :	16
I.2. les procédés de Traitement des eaux usées	16
1.2.1. Les traitements préliminaires :	16
1.2.2. Les traitements primaires :	16
1.2.3. Les traitements secondaires :	16
Chapitre2 Les procédés de traitement des boues :	21
2.1. L'épaississement :	22
2.1.1 Epaississement gravitaire :	22
2.1.2 Epaississement accéléré :	22
2.1.3 Epaississement par flottation :	23
2.1.4 Epaississement centrifuge :	24
2.2. Stabilisation des boues :	24
2.2.1. Voie biologique :	24
2.2.2. Voie chimique :	25
2.2.3. Voie thermique :	26
2.3. Déshydratation :	26
2.3.1. Filtres rotatifs :	26
2.3.2. Filtre à disque :	26
2.3.3. Filtre à bande presseuse :	27
2.3.4. Filtres- presses :	27
2.3.5. Le séchage :	27

2.4. Valorisation et élimination des boues résiduaires :	28
2.4.1. Le compostage :	29
2.4.2. La méthanisation :	30
2.4.2.1. Thermique :	30
2.4.2.2. Cogénération :	30
2.4.3. Valorisation agronomique :	30
2.4.4. Valorisation énergétique :	31
2.4.5. L'élimination des boues :	32
Chapitre 3 : Impact environnemental et le risque sanitaire des boues :	34
3.1. L'impact sur l'environnement :	34
3.2. Risque sanitaire :	34
3.2.1. Les éléments traces inorganiques :	34
3.2.2. Les éléments traces organiques :	36
3.2.3. Eléments biologiques :	37
Chapitre 4 : Présentation générale de la station d'épuration :	40
4.1. Le fonctionnement de la STEP :	40
4.2. Les Différents données sur la station :	41
Chapitre 5 : Matériels et Méthodes :	47
5.1. Introduction :	47
5.2. Objectif de la caractérisation Des boues :	47
5.3. Échantillonnage :	47
5.4. Méthode d'analyse des boues :	47
5.4.2. Tests effectués sur les boues :	47
5.4.2.1 Tests sur les paramètres physico-chimiques :	47
1. humidité (Hu):	48
2. matières sèches (MS) (siccité) :	48
3. Test de pH :	48
4. Test de conductivité :	48
5. matière volatile sèche « MVS » et la matière minérale:	48
6. Détermination du taux des polluants hydrocarbures (TPH) :	48
7. détermination de l'azote totale et la quantité, carbone organique et le rapport C/N:	49
8. détermination des alcalins et des alcalins terreux :	49
Chapitre 6 : Résultats et discussions :	52

6.1. Détermination de la siccité et humidité:.....	52
6.2. Les mesures de pH :	53
6.3. Les mesures de la conductivité :	53
6.4. Détermination de la matière volatile sèche « MVS » et la matière minérale « MM ».....	54
6.5. Détermination du taux des polluants hydrocarbures :.....	55
6.6. Détermination d'azote totale et du carbone organique et le rapport C/N :	55
6.7. Les alcalins et les alcalins terreux :	56
6.8. Paramètres biologiques :	58
Conclusion générale :	61
Références bibliographiques	64
Annexes	70

Liste des tableaux :

Tableau2.1. Concentrations limites des éléments traces selon le type du sol.(mg/kg) (Ramdani,2015)	29
Tableau 2.2. Variations d'accumulation des ETM dans certaines espèces végétales. (Petit,2007).....	31
Tableau 3.1. Valeurs toxicologiques proposés par OMS des quelques métaux (union des industries chimiques françaises ,2006).....	36
Tableau 3.2 Valeurs toxicologiques proposés par OMS des quelque hydrocarbure qui peuvent servir cancérigènes (Union des industries chimiques françaises ,2006).....	37
Tableau4.1. Les teneurs en quelques métaux mesurés pendant une année 2015 des boues issues de la station d'épuration de Baraki.....	42
Tableau 4.2 : la quantité des boues en fonction de volume d'eau à traiter	46

Liste des Figures :

Figure 1.1. Schéma simplifié d'un procédé à boues activées (Amadou, 2007).....	17
Figure 1.2. Traitement biologique sur lit bactérien. (Djabali,2008)	17
Figure 1.3. Synoptique d'une station d'épuration comportant un disque biologique. (Djebali ,2008)	18
Figure 1.4. Schéma d'un fonctionnement général d'une station d'épuration (Bureau des programmes d'enseignement, 2009).....	19
Figure 2.1. Filières de traitement des boues d'épuration (Fabiél , 2009).....	21
Figure 2.2.Schéma d'une grille d'épaississement par drainage (Koller, 2004)	22
Figure 2.3. Épaississement raclé à entraînement central. (koller, 2004).....	23
Figure 2.4. installation d'épaississement par flottation (cellule rectangulaire).(Gaïd, 2008)	23
Figure 2.5. Le principe d'une unité de stabilisation par nitrite (Gaïd, 2008).....	26
Figure 2.6. Schéma du fonctionnement d'une serre à séchage solaire. (AMORCE, 2012)	28
Figure 2.7. Schéma de la composition principale du lit de sable. (AMORCE, 2012)	28
Figure 2.8. Cogénération moteur à gaz, (Bachman, 2012)	29
Figure4.1.Une photo prise de google earth de la station d'épuration de Baraki	41
Figure 4.2. La DCO entrant et sortant de la STEP en (tonne/jour) pendant l'année 2015.	42
Figure 4.3. L'évaluation de la DBO ₅ entrant et sortant de la STEP en (tonne/jour) pendant l'année 2015.	42
Figure 4.4. Les MES entrants et sortants de la STEP en (tonne/jour) pendant l'année 2015.	43
Figure 4.5. Les débits des boues entrantes et sortantes des digesteurs en (kg de MS/Jour).	44
Figure 4.6. L'évaluation de la quantité des boues stockées en (tonne) dans la STEP pendant les années 2014 et 2015	45
Figure6.1. L'évaluation de la siccité des échantillons pendant un mois.	52
Figure 6.2. L'évaluation de l'humidité des échantillons.	52
Figure6.2. L'évaluation de pH des boues pendant un mois.	53

Figure 6.4. L'évaluation de la conductivité des boues pendant un mois.	53
Figure 6.5.L'évaluation de la quantité sèche et la matière minérale en (%) dans les boues pendant un mois.	54
Figure 6.6. L'évaluation des taux des polluants hydrocarbures pendant un mois.	55
Figure 6.7. Représentation des valeurs du pourcentage d'azote totale dans les quatre échantillons.	55
Figure 6.8 représentation des pourcentages de carbone organique dans les quatre échantillons	56
Figure6.9. représentation du rapport C/N et la valeur de blocage d'azote.....	56
Figure6.10. Représentation de pourcentage de calcium dans les boues	57
Figure6.11. Représentation de pourcentage de magnésium dans les boues.....	57
Figure6.12. Représentation de pourcentage de sodium dans les boues	58
Figure 6.13. Représentation des pourcentages de potassium par rapport à la matière sèche	58
Figure 6.1.Le nombre des bactéries dénombré à 37°C.....	59

Abréviation :

ADEME	Agence de l'environnement et la Maîtrise de l'Energie, France
AFNOR	Association Française de Normalisation
APS	Algérienne presse service
CE	conductivité électrique
CNESST	Commission des normes, de l'équité de la santé et de la sécurité du travail
DBO	demande biologique en oxygène
DBO₅	demande biologique en oxygène pendant cinq jours
DCO	demande chimique en oxygène
ETM	élément trace métallique
HAP	hydrocarbure aromatique polycyclique
MES	matière sèche en suspension
MM	matière minérale
MO	matière organique
MS	matière sèche
MVS	matière volatile sèche
OMS	organisation mondiale de la santé
PCB	Polychlorobiphényle
PEHD	Polyéthylène Haute Densité
pH	potentiel hydrogène
PVC	Polychlorure de vinyle
SAA	spectrophotométrie d'absorption atomique

*Introduction
générale*

Introduction générale :

La Terre est bien la planète de l'eau, mais juste 0,0196% du volume totale d'eau est disponible à l'utilisation de l'homme, alors que 40 000 millions de km³/an constitué à la seule source d'eau douce renouvelable (pluie, évapotranspiration - évaporation). (Centre d'information sur l'eau, 2013)

L'Algérie est classée parmi les pays les plus déficitaires en eau. De part son appartenance à la zone géographique du "Middle-East and North Africa (MENA), où sa pluviométrie moyenne annuelle est estimée à 89 mm, et afin d'assurer sa sécurité alimentaire à la fin de la prochaine décennie, de ce fait l'état algérien a construit jusqu'à aujourd'hui 165 stations d'épuration (APS,2015), Le volume global de l'eau traité est de 800 millions de m³ annuellement, Ce développement du secteur de l'assainissement génère des quantités de boues de plus de 250 000 T/an (APS,2015), alors que ces grandes quantités des boues contenant des polluants extraits des eaux usées sont toujours mis en décharge. Ce qui représente à la fois un déplacement des problèmes de pollution, et une perte de matériel potentiellement réutilisable ou recyclé.

Alors que le 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.

Selon leurs origines, ces boues contiennent différents types de polluants, notamment métalliques, organiques et microbiologique, et suivant les concentrations de ces polluants on valorise ces boues.

Pour cet essai, on a cherché à faire une caractérisation physico-chimique et biologique de quatre échantillons de boues pris pendant un mois, de la station d'épuration de Baraki.

Dans ce contexte, on a jugé utile de partager notre travail en trois grandes parties :

Introduction générale

- ❖ La Première partie : présente des généralités sur les eaux usées, et les procédés du Traitement de l'eau usée, des boues résiduaires, de l'impact environnemental et du risque sanitaire des boues sur la santé publique. En plus d'une présentation générale de la station d'épuration de Baraki.
- ❖ La deuxième partie apporte une vue générale sur les différents matériels et méthodes d'analyse.
- ❖ La troisième partie englobe tous les résultats obtenus, à partir des analyses physico-chimiques et biologiques ainsi qu'une conclusion .

Chapitre 01

Généralité sur les eaux
usées et les différents
procédés de traitement

1. Généralité sur les eaux usées et les différents procédés de traitement

1.1. Généralités sur les eaux usées :

En parlant de l'eau usée il semble important d'avoir une idée sur sa définition, sa composition et son origine, ainsi que les différentes méthodes utilisées pour son épuration.

Les eaux usées, sont des eaux chargées des polluants, provenant essentiellement de l'activité humaine. à la suite d'un usage domestique, industriel, donc on peut diviser les eaux usées en deux types :

Les eaux usées domestiques : qui sont essentiellement porteuses de pollution organique, détergents, graisses et en germes fécaux et pathogènes, ces eaux usées se répartissent en eaux ménagères et les eaux des pluies, (O. El hachemi , 2012)

Les eaux industrielles : elles ont généralement une composition spécifique et directement liée au type d'industrie considérée (J.Rodier , C.Bazin ,P. Bourtin., P. Chambon , H. Champsaur, L. Rodi, 2005).

I.2. les procédés de Traitement des eaux usées

Les stations d'épuration des eaux résiduaires, indépendamment du type de traitement, réduisent la charge organique et les solides en suspension les constituants biologiques, pour cela les eaux passent par les différents étapes suivant :

1.2.1. Les traitements préliminaires :

En tête d'une station d'épuration, ces procédés permettent de retenir les matières volumineuses grâce à des grilles (dégrillage), les sables (dessablage), les matières flottantes grossières (écumage) et les liquides moins denses que l'eau (désuilage) (H. Djeddi, 2007).

1.2.2. Les traitements primaires :

Il fait appel à des procédés physiques naturels, filtration et décantation primaire des particules en suspension dans les eaux usées, afin de faciliter les traitements biologiques.

1.2.3. Les traitements secondaires :

Ils sont basés sur l'utilisation des micro-organismes aérobies afin de dégrader la matière organique biodégradable contenue dans l'eau à traiter, ces traitements sont divisés en deux types, le premier type c'est le traitement sur support libre où on utilise les boues activées

mélangées avec l'eau dans un bassin d'aération, puis ce mélange (eau+boues activées) passe dans un clarificateur où la séparation des deux phases s'effectue (A.Chikh, A. Lamraoui, 2011)

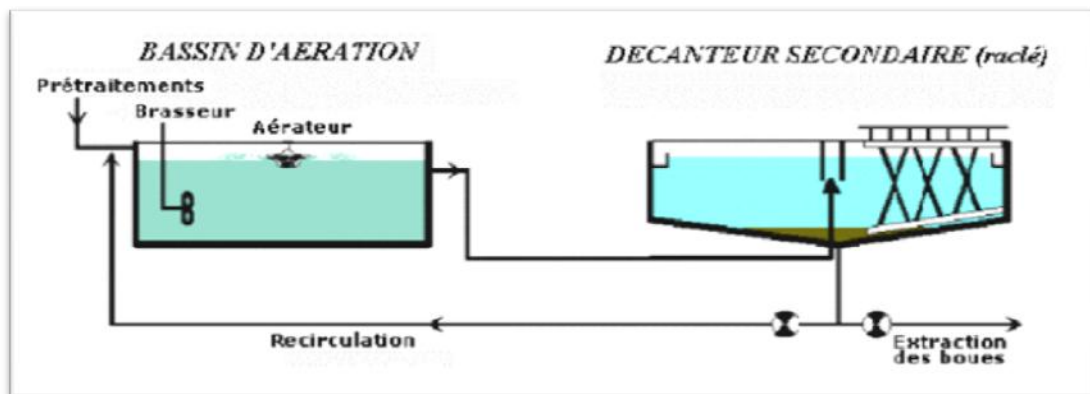


Figure 1.1. Schéma simplifié d'un procédé à boues activées (H.Amadou, 2007)

Et l'autre type c'est traitement sur un support fixe comme le disque biologique, lit bactérien où on dispose les bactéries sur un support (généralement c'est de cailloux) et on alimente l'eau à l'aide d'un dispositif (sprinkler) qui est fixé en générale en haut de lit.

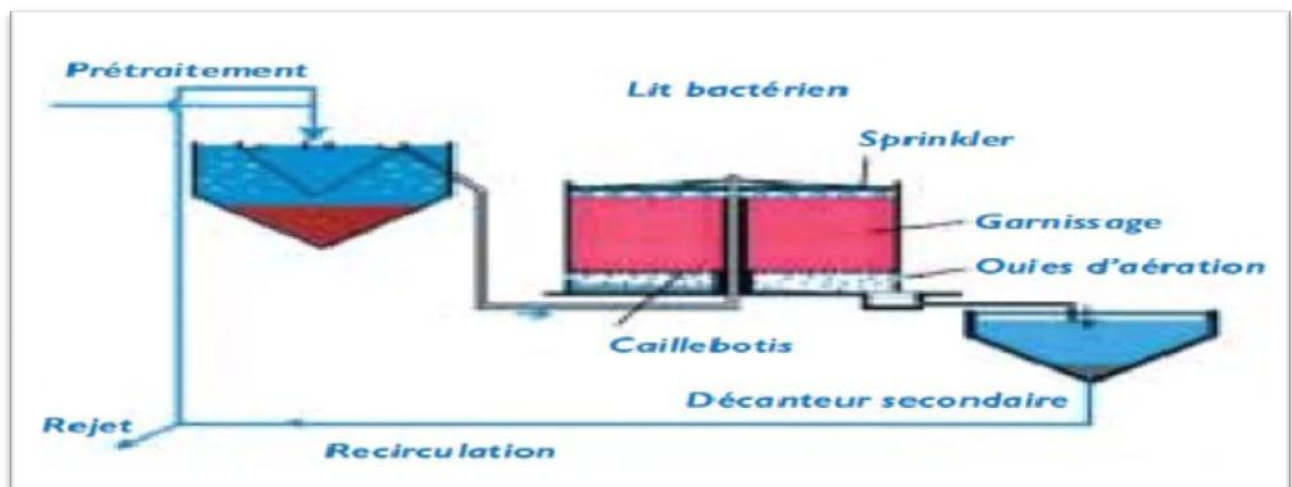


Figure 1.2. Traitement biologique sur lit bactérien. (OUSSAMA DJEBALI, 2008).

Concernant le procédé de disque biologique, le support solide est constitué ici, par un ensemble des disques en parallèles régulièrement espacés par un axe commun pour constituer un tambour (R.Thomazeau,1981).

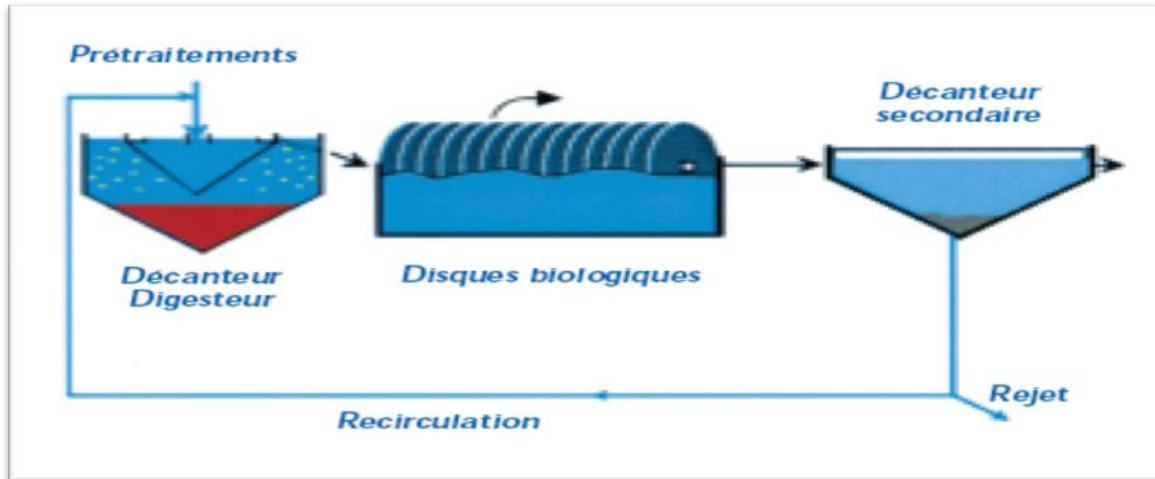


Figure 1.3. Synoptique d'une station d'épuration comportant un disque biologique.
(O. Djebali, 2008)

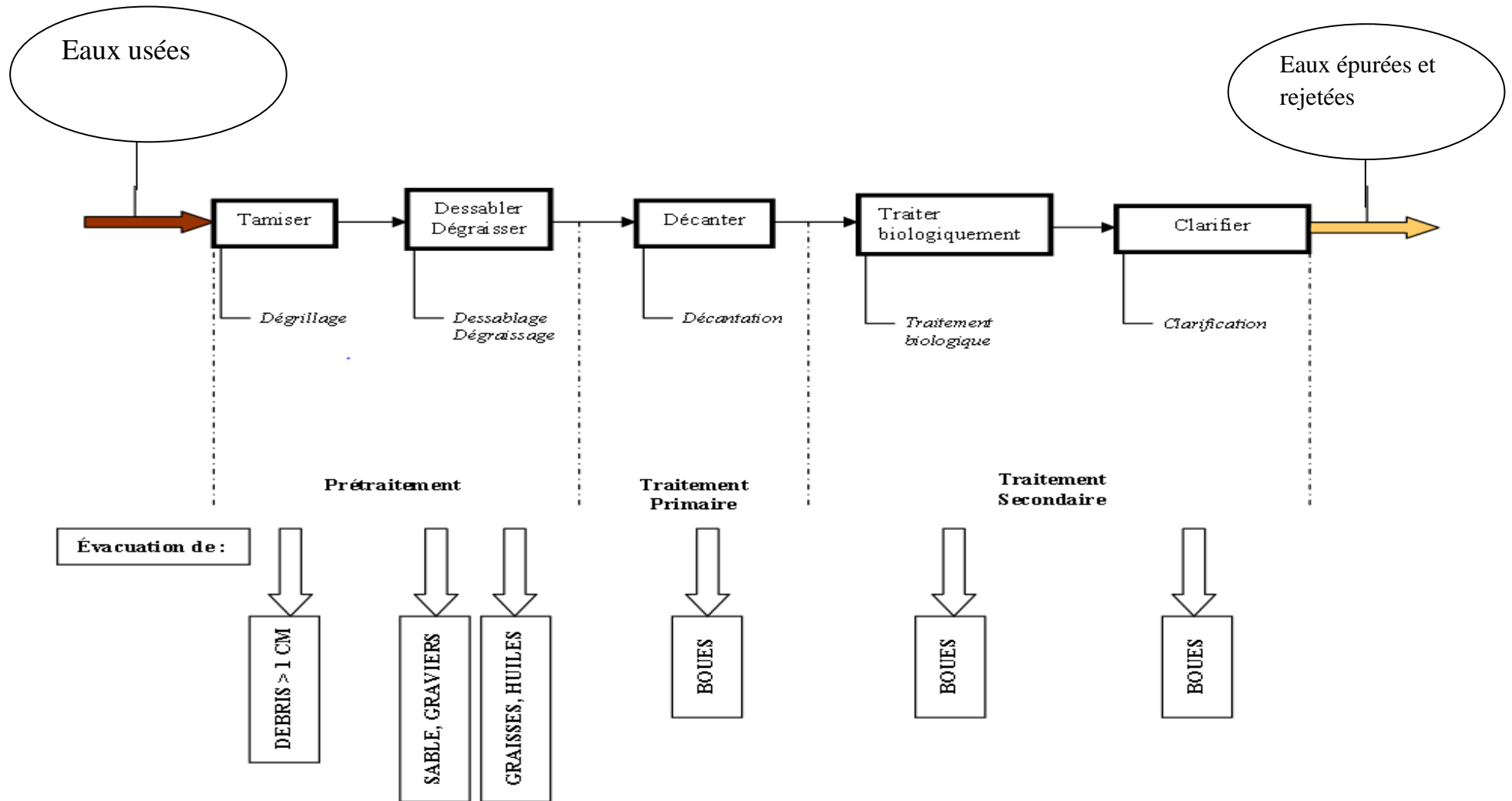


Figure 1.4. Schéma d'un fonctionnement général d'une station d'épuration (O.El hachemi, 2012)

Chapitre 02

Les Procédés de traitement des Boues

2. Les procédés de traitement des boues :

La quasi-totalité des procédés d'épuration des eaux usées urbaines ou industrielles, qu'ils soient biologiques ou physico-chimiques, conduisent à la concentration des polluants sous forme de résidu secondaire (les boues résiduaire). Ces boues se présentent sous forme liquide (95% d'eau en moyenne) avec une forte charge en matière organique hautement fermentescible ainsi que de la matière minérale (A. Wilfried, 2006).

Ces caractéristiques sont problématiques quelle que soit la destination des boues et imposent la mise en place d'une filière de traitement (A. Azzabi, 2012).

Les procédés de traitement des boues peuvent varier suivant leurs natures et la taille de la station d'épuration. et le schéma suivant présente les différentes filières de traitement des boues :

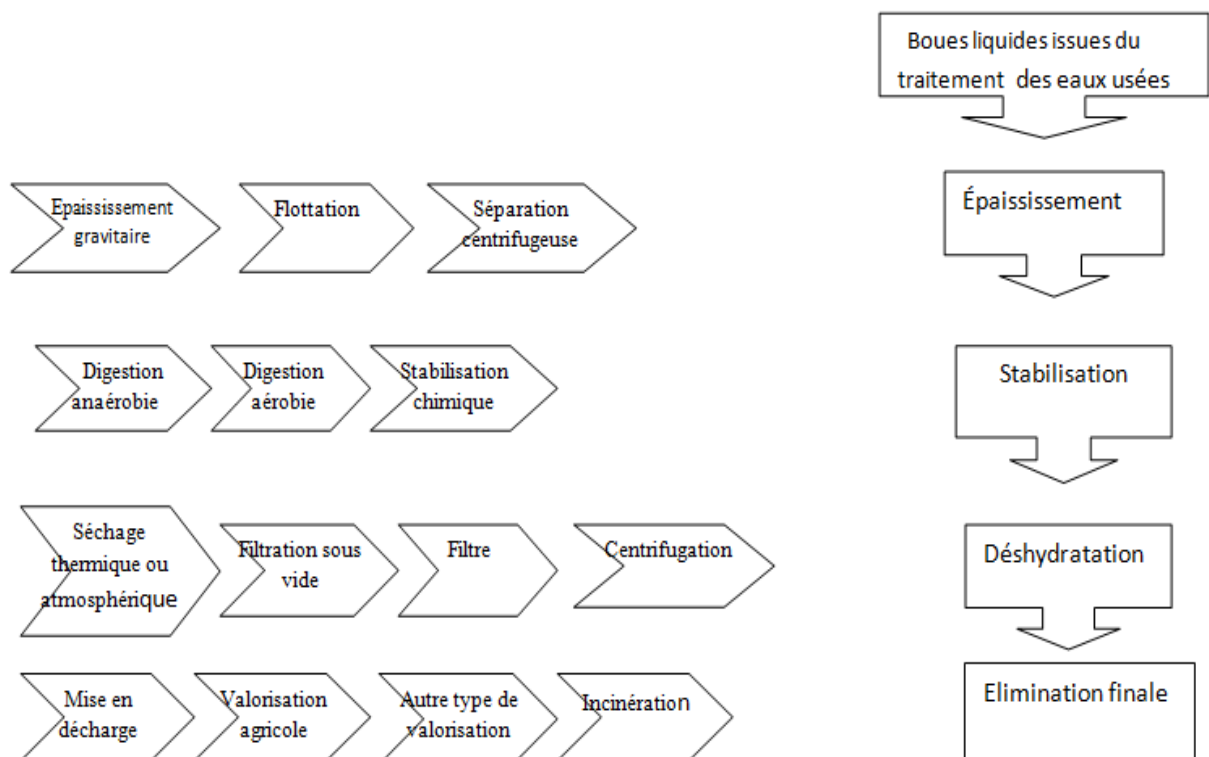


Figure 2.1. Filières de traitement des boues d'épuration (S. Perez Fabiel, 2009)

A partir de ce schéma on détaille le fonctionnement de chaque filière :

2.1. L'épaississement :

Il sert principalement à réduire le volume des boues brutes et constitue une étape préalable aux traitements suivants.

On distingue différentes techniques d'épaississement des boues :

2.1.1 Epaississement gravitaire :

C'est de façon générale la technique de concentration des boues la plus utilisée. Elle consiste à réaliser le séjour des boues dans des ouvrages de forme cylindro-coniques, jusqu'à 5m de diamètre, (45 à 70° sur l'horizontale). (E. Koller, 2004)

Au-delà de cette dimension, on applique un système de raclage et d'agitation lente afin de faciliter le glissement des boues vers la fosse centrale d'où elles sont extraites.

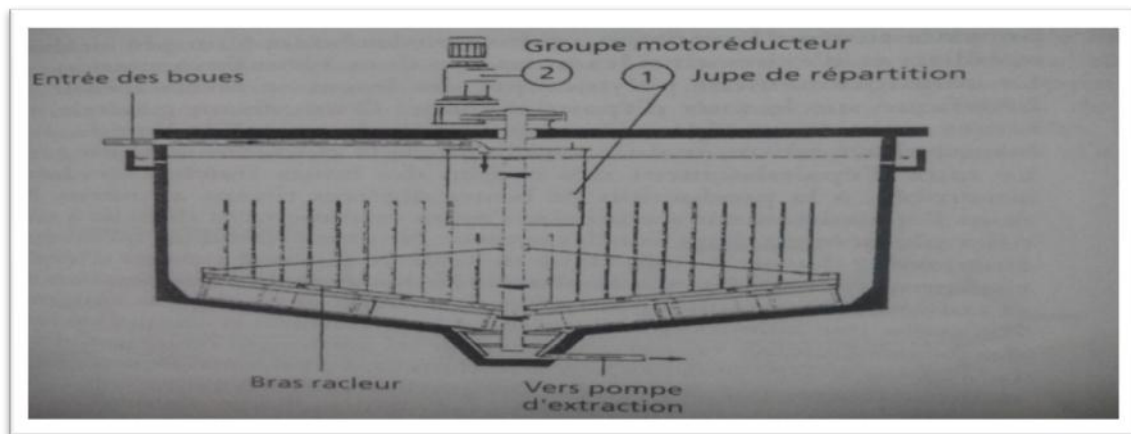


Figure 2.2. Schéma d'une grille d'épaississement par drainage (E.Koller, 2004)

2.1.2 Epaississement accéléré :

L'épaississement gravitaire est d'une exploitation très rudimentaire, mais n'autorise pas de performances exceptionnelles, et afin d'obtenir des boues toujours pompables mais plus concentrées, on peut recourir à l'égouttage naturel, pour cela, on doit augmenter artificiellement la taille à l'aide de poly-électrolytes, La boue préalablement floculée, est épandue sur un champ horizontal de grille fine.

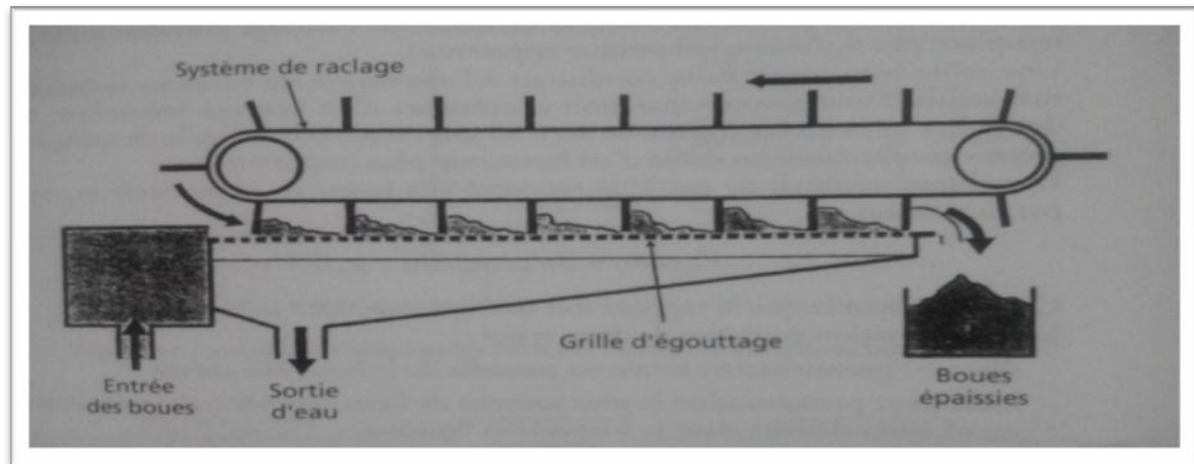


Figure 2.3. Épaissement raclé à entraînement central. (E. Koller, 2004)

2.1.3 Epaississement par flottation :

Le procédé le plus utilisé en traitement des boues est l'aéroflottation qui réalise la production de microbulles d'air selon la technique de pressurisation détente (détente du fluide préalablement en contact avec de l'air comprimé à une pression comprise entre 3 et 6 bar). Pour former des attelages particule-air (E.Koller, 2004), la concentration des boues obtenue est d'ordre 35-50 (A. Willfried , 2006).

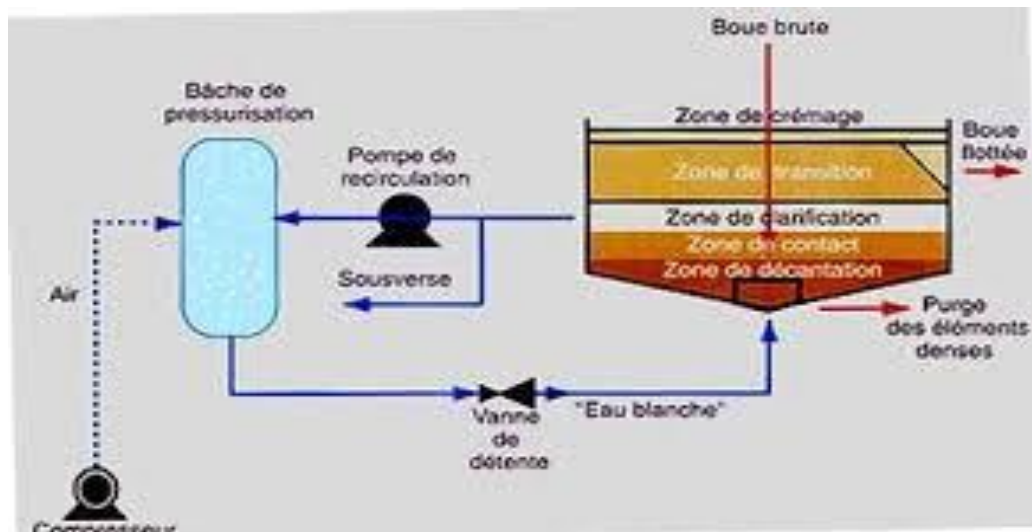


Figure 2.4. installation d'épaississement par flottation (cellule rectangulaire).(A. Gaïd, 2008)

2.1.4 Epaissement centrifuge :

La centrifugation est une opération de séparation mécanique, par action de la force centrifuge, deux à trois phases entraînées dans un mouvement de rotation, dans ce type d'épaissement il est nécessaire d'introduire un peu de polyélectrolyte. (A. Willfried, 2006)

2.2. Stabilisation des boues :

La réalisation d'une stabilisation des boues pour le but de :

- bloquer les fermentations,
- la destruction de micro-organisme pathogène.
- augmenter la siccité, particulièrement en cas de mis en décharge

Cette stabilisation s'effectue par plusieurs voies (biologique, chimique et thermique)

(A. Azzabi, 2012)

2.2.1. Voie biologique :

La réalisation de la stabilisation des boues par voie biologique peut être réalisée à l'aide d'une digestion aérobie ou bien une digestion anaérobie :

2.2.1.1. Digestion aérobie :

C'est par une aération prolongée des boues, que l'on parvient à poursuivre le développement des micro-organismes au-delà de la période de synthèse des cellules, et d'épuisement de substrat. La stabilisation aérobie est fortement influencée par la température et la durée de séjour des boues en aération, (E.Koller,2004)

Le taux de réduction des matières organiques varie entre 20 à 35 % (A. Wilfried, 2006).

2.2.1.2. La digestion anaérobie :

La digestion anaérobie, se réalise par fermentation méthanique des boues dans des cuves fermées (digesteur), à l'abri de l'air. Elle permet d'atteindre des taux de réduction des matières organiques de 45 à 50 % (S. Perez Fabiel, 2009).

Pendant la digestion anaérobie on distingue deux phases, la première c'est la phase de liquéfaction pendant laquelle les matières organiques complexes sont converties à l'aide de enzymes extra et intracellulaire en simples molécules (acides aminés, acides gras et surtout acides volatiles (formique, propénoïque, butyrique....), et la deuxième phase où les acides

volatile sont consommées par les bactéries méthaniques et transformés en eau et gaz carbonique (E.Koller, 2004).

Pour une bonne digestion, des boues se caractérisent par un pH présent dans la gamme de (6,8 et 7,8) et une concentration en acides volatils inférieure à 1g/l, et une bonne production de gaz contenant 70% de méthane (F. Ladjel, 2014)

2.2.2. Voie chimique :

Ce traitement est basé sur la variation de pH des boues en utilisant des substances chimiques (la chaux, acide nitrique) dont le pH extrême (pH très acide ou pH très basic) afin de bloquer l'activation des germes pathogènes. (M. Andre ,2004)

2.2.2.1. Stabilisation à la chaux :

Le réactif utilisé est essentiellement la chaux, cette dernière permet d'attendre un pH=12 au moins pendant 3 mois conférant une action stabilisatrice par inactivation des germes (A. Gaïd, 2008)

Sous sa forme CaO elle permet en outre, en réagissant avec l'eau des boues, deux actions supplémentaires

Une action déshydratante poussée d'une part par transformation d'une partie de l'eau libre des boues en eau combiné à la chaux, d'autre part par effet évaporatif par l'effet de la réaction exothermique dégageant 1 160 Kj/Kg CaO (J. Zhang, 2011)

2.2.2.2. Stabilisation des boues aux nitrites (procédé SAPHYR, OTV)

Ce procédé chimique s'effectue en phase liquide, préférentiellement sur des boues épaissies, ces dernières sont admises dans un milieu acide maintenu à un pH entre 2 et 4. Elles sont alors soumises pendant 1 heure à l'action des ions nitrites NO_2^- (M. Andre, 2004) .

Il s'ensuit une destruction des composés réduits odorants (H_2S , mercaptans...), mais également une inactivation des germes responsables de la dégradation des matières organiques. On aboutit à une stabilisation de la boue dans la mesure où celle-ci peut être stockée (A. Gaïd, 2008).

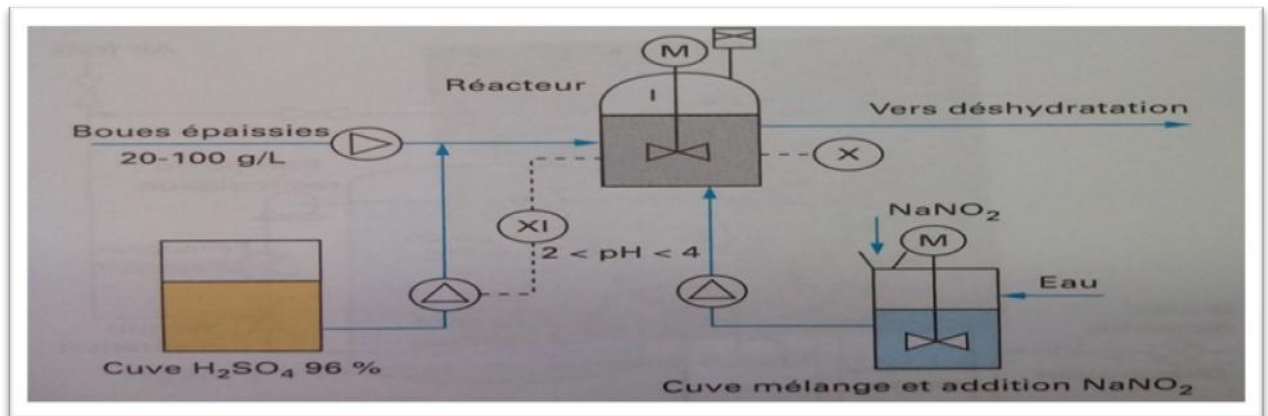


Figure 2.5. Le principe d'une unité de stabilisation par nitrite (A. Gaïd, 2008)

2.2.3. Voie thermique :

Elle peut être assurée soit par une pasteurisation des boues liquides par passage à la température de 70°C pendant une trentaine des minutes, ou bien par séchage thermique partiel ou poussé, ce qui permet de conserver les matières organiques portées à une température de l'ordre de 80 à 100°C, (M. Pimor, 2003) ou bien par autoclavage c'est-à-dire cuisson des boues sous pression équilibrante à 180 – 220 °C pendant une durée de 30 - 90 minutes, et la destruction des germes est évidemment totale (F Meinck, H. Stoof, H. Kohlschütter, 1977) .

2.3. Déshydratation :

On distingue plusieurs procédés artificiels de séchage des boues, on cite :

2.3.1. Filtres rotatifs :

Sont les plus largement utilisés, ces appareils comportent un tambour tournant autour d'un axe horizontal, et dont la partie inférieure plonge dans le bac de filtration, où sont pompées des boues à filtrer. Le tambour se trouve sous vide et est équipé d'un tissu filtrant, sur lequel les solides des boues sont déposés et retenus sous l'effet d'aspiration créé par le vide. Il se forme ainsi. Sur le tissu filtrant, un gâteau cohérent qui. Après son émergence, subit un séchage complémentaire. Dans la dernière partie de sa rotation ce gâteau est ameubli par une chasse d'air comprimé, pour être finalement enlevé par un racloir. (E. Jarde, 2002).

2.3.2. Filtre à disque :

La surface filtrante est partagée en un certain nombre de disques filtrants de forme circulaire, ceux à l'intérieur et auxquels on applique un vide, ces disques sont montés sur

un axe horizontal, et tournent verticalement dans un bac, dans les filtres à disques, l'enlèvement du gâteau se fait également à l'aide de racloirs.

2.3.3. Filtre à bande presseuse :

Une bande sans fin, dont le tissu filtrant peut être adapté au type de boue à traiter dans chaque cas, sur cette bande la boue humide additionnée d'un flocculant est déposée sur la zone de filtration et tout d'abord essorée sous l'action de la pesanteur de filtration par application d'un léger vide, ce type de filtre est un moyen de déshydratation des boues capable d'un haut rendement. (J. Olivier, 2016).

2.3.4. Filtres- presses :

Les filtres presses se composent de 4 à 50 cellules formées par des plaques filtrantes et des cadres disposés alternativement l'un à côté de l'autre, et entre lesquels est chaque fois tendu un tissu filtrant, les plaques filtrantes comportent des cannelures pour l'évacuation du filtrat, la suspension de boue à filtrer est injectée dans les cellules sous pression pouvant aller jusqu'à 15 atm. et est filtrée à travers les tissus (F Meinck, H. Stoof, H. Kohlschütter, 1977).

2.3.5. Le séchage :

Le séchage des boues est une déshydratation quasi-totale des boues par évaporation de l'eau qu'elles contiennent ;

2.3.5.1. Le séchage thermique :

Il repose sur deux méthodes : directe et indirecte. Le séchage direct consiste en une évaporation des boues par convection, via un fluide caloporteur. Le séchage indirect repose quant à lui en un échange de chaleur par conduction, via une paroi chauffée par un fluide caloporteur. En sortie, les boues se présentent sous forme de poudres ou de granulés, avec un taux de siccité pouvant atteindre 90 à 95 %.(Z. Feddane, 2014).

2.3.5.2. Lits de séchage :

la méthode la plus simple de réduire le teneur en eau c'est les lits de séchage bien drainés, dans ce cas toutefois la superficie nécessaire est importante car il faut que les aires de séchage puissent, sous une hauteur de charge de 60 cm , recevoir les boues produites pendant 2 à 3 mois, dans bien des cas, la superficie nécessaire est encore plus importante, (Z. Feddane, 2014) et on distingue deux types de séchage par les lit de séchage :

2.3.5.3. Séchage solaire :

Ce procédé est basé sur l'utilisation des lits de séchage sous serre, ce qui permet de garder la chaleur, d'avoir une température de l'air et des boues plus élevée, mais également d'accélérer le séchage par les rayons du soleil. (AMORCE, 2012)

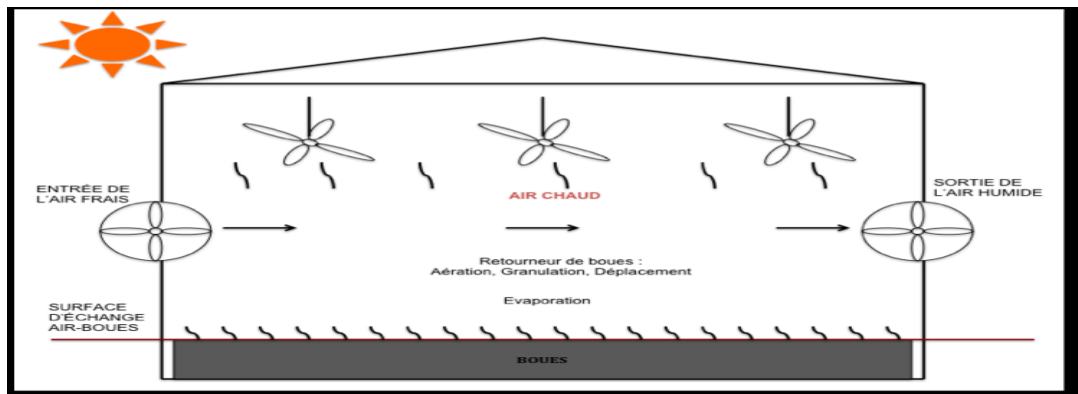


Figure 2.6. Schéma du fonctionnement d'une serre à séchage solaire. (AMORCE, 2012)

2.3.5.4. Lit de sable :

On introduit la boue dans un bassin peu profond contenant des graviers et du sable munis d'un système de drainage, tel qu'une part d'eau traverse le milieu filtrait et d'autre part s'évapore.

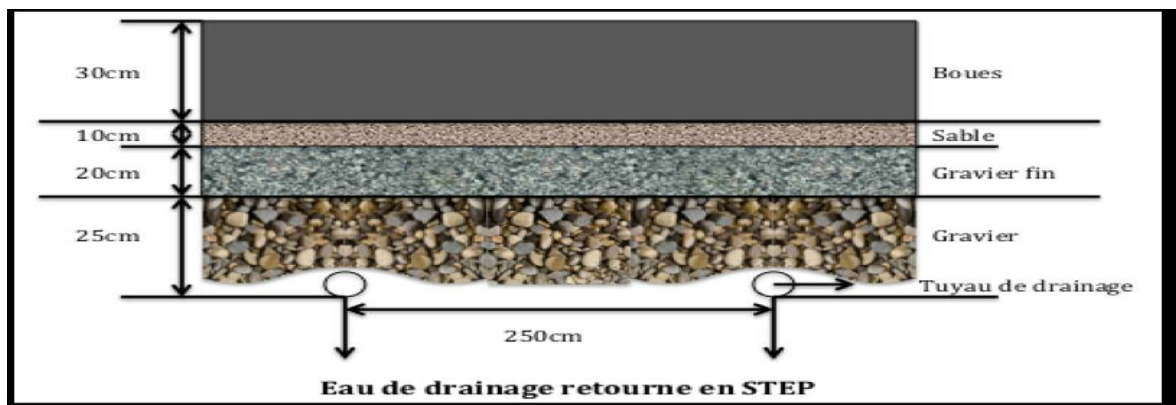


Figure 2.7. Schéma de la composition principale du lit de sable. (AMORCE, 2012)

2.4. Valorisation et élimination des boues résiduaires :

Cette dernière filière de traitement repose sur plusieurs techniques de valorisations comme le compostage, méthanisation et l'incinération ...etc, le choix de la technique de

valorisation favorable est basé sur les caractéristiques physico-chimiques et biologiques des boues.

2.4.1. Le compostage :

Le compostage est défini comme «un processus contrôlé de dégradation des constituants organiques, par une succession de communautés microbiennes évoluant en conditions aérobies, entraînant une montée en température, et conduisant à l'élaboration d'une matière organique humifiée et stabilisée. Le produit ainsi obtenu est appelé compost (J.Olivier, 2003).

L'ajout de ce dernier au sol améliore les qualités physiques et chimiques des sols, tel qu'il augmente la conductivité hydrique et diminue de la densité des sols, De plus, l'incorporation de compost permet de réduire l'acidité du sol, et de diminuer ainsi les risques de la solubilisation des métaux et donc le compost empêche la migration des métaux dans les sols qui endommage les sols et la nappe phréatique (R. Albrecht,2007).

les ETM contenus dans le Compost peuvent être absorbés par les plantes et incorporer ainsi dans la chaîne alimentaire (T.Huynh, 2009), ou bien migrer vers les nappes d'eau souterraines. Pour cela l'épandage de compost doit être conformé aux valeurs limites exigées par la législation du pays, le tableau suivant rassemble Les teneurs limites selon le type du sol dans certains pays :

Tableau2.1. Concentrations limites des éléments traces selon le type du sol.(mg/kg) (N. Ramdani,,2015)

Pays	Type de sol	Cd	Pb	Cr	Hg	Ni	Zn
Allemagne	Argile	1,5	100	100	1	70	200
	Limon	1	70	60	0,5	50	150
	Sable	0,4	40	30	0,1	15	60
Italie		1,0	50	50	1,0	50	150
Canada		4	100	-	1	36	370

Pour l'Algérie aucune norme en termes d'épandage de compost n'existe actuellement.

(N. Ramdani, 2015)

4. 2.4.2. La méthanisation :

La méthanisation, est un processus biologique naturel qui permet de transformer en milieu privé d'oxygène, un substrat complexe pouvant être composé de molécules organiques lourdes, souvent insolubles, en méthane (biogaz) (A. Wilfried, 2006).

Ce biogaz généré peut être valorisé en plusieurs modes :

2.4.2.1. Thermique :

La chaleur de combustion du biogaz peut servir pour la production d'eau chaude, de vapeur à moyenne ou haute pression, ou bien dans des fours de procédés comme la chaudière au gaz naturel, où le biogaz est utilisé en mélange avec le gaz naturel pour réduire l'impact de l'hydrogène sulfuré (J.Zhang, 2011). Le biogaz est utilisable afin de produire de la chaleur pour chauffer les locaux de la STEP, chauffer le digesteur, sécher les boues ou encore alimenter un réseau de chaleur (F.Ladjel, 2014).

2.4.2.2. Cogénération

Le cogénérateur convertit l'énergie du biogaz en énergie électrique, et thermique. Par la force motrice générée par la combustion du biogaz (N. Bachmann, 2012).



Figure 2.8. Cogénération moteur à gaz, (N. Bachmann, 2012)

Cependant, l'application de cette technique de valorisation génère des gaz toxiques comme H_2S et des mauvaises odeurs, ainsi que le biogaz produit est un gaz explosif et sa production et exploitation restent dangereuses. (J. Zhang, 2011).

. 2.4.3. Valorisation agronomique :

La valorisation agronomique des boues sous forme brute, chaulée, compostée ou séchée est réalisée par l'épandage sur les sols. A condition que ces boues présentent un intérêt fertilisant et elles doivent être répondus aux exigences réglementaires d'innocuité,

(Z.Feddane, 2014). Tel que la législation en vigueur prend en compte la durée de l'épandage et les teneurs de sol en éléments inorganiques et les teneurs des boues en éléments organiques et en éléments inorganique (ADEME, 2007).

L'épandage des boues permet le retour au sol de la matière organique et de ses composés fertilisants, réduisant d'autant l'utilisation d'engrais minéraux (Z.Feddane, 2014). Mais dans le cas où les boues épandues ont des teneurs plus élevée que les valeurs limites proposées, elles peuvent poser des risques liées aux odeurs nauséabondes dégagées, et des produits chimiques, surtout métalliques dont la contamination se fait par bioaccumulation ou bioamplification dans les aliments (fruits, céréales, viandes d'animaux ayant été préalablement contaminés).Ce qui menace la santé humaine (F. Le gléau , , 2012).

Le tableau suivant donne une vision sur l'importance d'accumulation de certains métaux dans des espèces végétales.

Tableau 2.2. Variations d'accumulation des ETM dans certaines espèces végétales. (B. Petit, 2007).

Importance de l'accumulation	Elément	Espèce végétale
Fortement accumulatrices	Cadmium, zinc, cuivre Nickel	carotte, laitue, épinard, carotte, laitue, épinard, carotte chou vert
Moyennement Accumulatrices	Cadmium, zinc, cuivre Nickel	chou, céleri, Maïs, betterave, laitue, betterave
Faiblement accumulatrices	Cadmium, zinc, chrome, Cuivre, nickel	betterave, poireau, céréales, poireau, céleri, chou vert pomme de terre, chou vert, épinard, ceréales, maïs, poireau, pomme de terre
Très faiblement Accumulatrices	Cadmium, zinc, plomb Chrome	céréales, maïs, pomme de terre ; pomme de terre, chou vert

2.4.4. Valorisation énergétique :

Elle réalise la destruction de la matière organique par combustion à haute température (+ de 500 °C) produisant des fumées et des matières minérales résiduelles nommées Mâchefer.

Cette valorisation énergétique permet de récupérer la chaleur produite sous forme de vapeur ou d'électricité et Les résidus de l'incinération (Mâchefer) sont utilisables pour les travaux publics (F. LADJEL, 2014) .

L'inconvénient de cette technique de valorisation c'est l'émission des gaz polluants (CO, NOX, SO2, ETM, suies, carbone,) par la combustion des matières organiques, ce qui cause le risque de la pollution atmosphérique (F. LE GLÉAU, 2012).

2.4.5. L'élimination des boues :

Comme les boues résiduairees sont des déchets spéciaux dangereux et D'après les articles 17 et 20 de la partie des déchets spéciaux présentés dans la loi 01-19 du journal officiel de la république algérienne 2001, que le mélange des déchets spéciaux dangereux avec d'autres déchets est interdit, ainsi que le dépôt ou l'enfouissement de ces déchets dans des lieux autres que les sites qui leur sont réservés sont interdits, donc la mise en décharge ou bien l'enfouissement dans un CET des boues résiduairees est interdit.

Chapitre 03 :

Impact environnemental et le risque sanitaire des boues résiduaires

3. Impact environnemental et le risque sanitaire des boues :

3.1. L'impact sur l'environnement :

Comme les boues résiduelles résultent de traitement des eaux usées, industrielles ou urbaines, ou bien de ruissèlement, elles peuvent contenir un large nombre des différents éléments (éléments organiques, minéraux, éléments biologiques), suivant l'élément présent dans la boue et sa teneur, il peut influencer sur la biosphère. Ces modifications peuvent être d'ordre édaphique (par l'apport de matière organique et inorganique ainsi biologique, modification de la structure des sols), microclimatique (augmentation de la température au cours de la fermentation), floristique (installation d'une végétation rudérale), et concernant les modifications de l'air, elles consistent au dégagement des gaz au cours de fermentation comme (H_2S , CH_4 , H_2 ...etc.) (S. ATI, 2010) ces modifications peuvent poser un risque de contamination de l'environnement surtout celles d'ordre édaphique pour les terres et les eaux où on voit une augmentation en teneur des différents éléments (éléments traces organiques, éléments traces inorganiques, éléments biologiques) Cette contamination de l'environnement pose un risque sanitaire pour l'homme (A. Azzabi, 2012).

3.2. Risque sanitaire :

Le risque sanitaire est évalué suivant l'élément présent et sa teneur dans l'environnement

3.2.1. Les éléments traces inorganiques :

Les éléments inorganiques les plus dangereux sur la santé humaine sont les éléments trace métallique, tel que Leur présence dans l'organisme vivant soit par voie respiratoires (contamination par respiration) ou bien par ingestion, cause plusieurs maladies (B. Petit, 2007), on prend des exemples de :

Plomb : provoque des nuisances physiologiques et neurologiques. Et une augmentation de la tension artérielle et l'apparition de dommages vasculaires et intestinaux, ainsi que des troubles au niveau des reins, Les troubles neurologiques sont des affections des systèmes central et périphérique, les symptômes le plus fréquents sont les pertes de mémoire et des perturbations des fonctions cognitives et comportementales, (R. Garnier, 2002).

Cuivre : Le cuivre est aussi, à dose plus élevée et sous ses formes oxydées a un puissant.

Cadmium : il provoque notamment des problèmes rénaux et une augmentation de la tension, Ainsi qu'il est transporté dans le sang fixé à l'hémoglobine, Il se concentre principalement dans le foie et les reins (M.Bailly, 2007).

Zinc : cause des nausées et des troubles du système gastro-intestinal, et seront suivis de complications dans le système respiratoire ainsi que par des affections cutanées. Enfin, Zn est soupçonné être cancérigène pour l'homme. (B.Petit,2007)

Tableau 3.1. Valeurs toxicologiques proposés par OMS des quelques métaux (union des industries chimiques françaises ,2006)

Métaux	Voie d'exposition	Organe critique	Valeur
Cd	Inhalation	Rein	$2.10^{-2} \mu\text{g}/\text{m}^3$
	Ingestion		$2.10^{-2} \text{mg}/\text{kg}/\text{j}$
Cr III	Inhalation	Foie	$60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (métal
	Ingestion		$1,5 \text{mg}/\text{kg}/\text{j}$
Cr VI	Inhalation	Bronches poumons	$1 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	Ingestion		$3 \cdot 10^{-3} \text{mg}/\text{kg}/\text{j}$
Cu	Inhalation	Système digestif	$1 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	Ingestion		$0,5 \text{mg}/\text{kg}/\text{j}$
Ni	Inhalation	Système respiratoire	$9 \cdot 10^{-2} \mu\text{g}/\text{m}^3$
	Ingestion	Rein	$8 \cdot 10^{-3} \text{mg}/\text{kg}/\text{j}$
Pb	Inhalation	Rein, Cellule sanguine,	$0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	Ingestion		$3,6 \cdot 10^{-3} \text{mg}/\text{kg}/\text{j}$
Zinc	Ingestion	Système sanguin	$0,5 \text{mg}/\text{kg}/\text{j}$

3.2.2. Les éléments traces organiques :

Le risque majeur est posé par les éléments hydrocarbures comme les hydrocarbures chlorés et les hydrocarbures aromatiques polycycliques, en donnant des exemples sur ces éléments et leurs effets sur la santé humaine :

Chlorobenzène : Le chlorobenzène est rapidement absorbé par voie pulmonaire, se concentre dans le foie, les reins, les poumons et surtout le tissu adipeux, la formation d'un époxyde intermédiaire réactif responsable de liaisons irréversibles aux macromolécules des cellules hépatiques, rénales et pulmonaires. (L. Cornu, 2005)

Hexachlorobenzène : est une molécule résistante à la dégradation dans l'environnement, s'accumule particulièrement dans les tissus riches en lipides tels que les tissus adipeux ou la peau. (Union des industries chimiques françaises ,2006)

Polychlorobiphényle « PCB » : sont très peu biodégradables et peuvent se bioaccumuler dans les tissus vivants, plus qu'ils sont cancérigènes, elles causent à des faibles expositions chroniques des effets neuro-comportement (vertiges, troubles cognitifs..) pour les enfants et

des perturbations métaboliques ainsi que des effets sur la thyroïde pour les adultes.

(A.Gouzy,2011)

HAP : Les risques les plus importants liés aux HAP sont leur effet mutagène et cancérigène. En effet, certains d'entre eux ont été classés comme cancérogènes probables ou possibles chez l'homme comme (Benzo(a)Pyrène le benzo[k]fluoranthène, le benzo[j]fluoranthène, le benzo[a]anthracène, le benzo[b]fluoranthène), ainsi que cinq éléments de HAP sont des substances toxiques (Benzo(a)anthracène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, Benzo(a)pyrène, Dibenzo(a,h)anthracène)(Union des industries chimiques françaises ,2006)

Tableau 3.2 Valeurs toxicologiques proposés par OMS des quelque hydrocarbure qui peuvent servir cancérigènes (Union des industries chimiques françaises ,2006)

Hydrocarbure	Voie d'exposition	Organe critique	Valeur
Chlorobenzène	Inhalation	Système hépatique	10 µg/m ³
Hexachlorobenzène	Inhalation	des Poumons	1,3.10 ⁻⁴ (µg/m ³)
PCB	Inhalation	Tractus respiratoire	4,6 10 ⁻⁶ (µg/m ³)
Benzo(a)Pyrène	Inhalation	Tractus respiratoire	8,7 10 ⁻² (µg/m ³)

3.2.3. Eléments biologiques :

Les éléments biologiques qui posent un risque sanitaire pour l'homme sont les germes pathogènes, ces germes peuvent pénétrer le corps humain par des différents voie, respiratoire (par les aérosols), ou par ingestion (par leur migration dans les eaux et dans les sols) (N.COHEN, 2006).

Les germes présent souvent dans les boues résiduaires sont *Escharishia coli*, *salmonella*, *Pseudomonas aeruginosa*... etc., et les virus comme virus de l'hépatite qui peuvent causer des maladies mortelles. (J.CHELLE, C.GUENZI, L.HOGUET,, 1990).

Salmonella : la présence de cette bactérie dans l'organisme cause un brutale de fièvre, des douleurs abdominales, de la diarrhée, des nausées et parfois des vomissements (M. JEAN LESNE, 2004)

Escherichia coli : pour les adultes, elle cause Diarrhée et le plus souvent hémorragique (avec du sang), douleurs abdominales et parfois des vomissements. Peut se compliquer d'un Syndrome, cependant elle cause des effets plus néfastes pour les enfants comme la

insuffisance rénale et Dans les cas les plus graves des lésions du système nerveux central peuvent survenir. (N. Cohen, 2006)

virus de l'hépatite : les symptômes de ce virus étant ceux d'une hépatite virale aiguë comme l'ictère, le malaise, l'anorexie, les douleurs abdominales, les nausées, la fièvre, la diarrhée, le changement de couleur des selles ou de l'urine et l'hépatomégalie (F. Traore, 2014).

Chapitre 04 :

*Présentation générale
de la station
d'épuration de Baraki*

4. Présentation générale de la station d'épuration :

SEAAL gère plusieurs stations d'épuration au niveau d'Alger, parmi ces stations, la station d'épuration de Baraki, qui a une capacité épuratoire de 900 000 Eq.Hab. Pour un débit moyen de 146 880 m³/j.

4.1. Le fonctionnement de la STEP :

La chaîne du traitement commence par le relèvement des eaux brutes vers le dégrillage par deux postes de relevage PR1 et PR2 dont chacun est muni d'une fosse d'aspiration et trois Vis de relevage (2 de capacité de 800 m³/h et le troisième de 1400 m³/h). Tel que Les eaux brutes arrivent de la station de pompage SRG2 reprises par les vis d'Archimède du Poste de relevage N°1 (PR1) et relevées vers le Poste de relevage N°2 (PR2). Où elles sont mélangées avec les eaux provenant de l'émissaire BAB ALI, puis relevées avec les vis vers le poste de dégrillage. Les déchets les plus volumineux sont éliminés par Deux dégrilleurs grossiers à grille verticale (6mm). Après l'eau passe à un dégrillage plus fin (2mm), Les eaux dégrillées sont ensuite admis dans 2 canaux aérés parallèles pour subir une élimination combinée des graisses et des sables, ensuite les eaux passent au bassin d'aération et le clarificateur ainsi Par le surverse les eaux épurées rejoignent le bassin tampon avant de rejoindre le milieu naturel, Les boues biologiques décantées en fond d'ouvrage sont pompées et recyclées en tête du bassin d'aération rapidement, et les boues en excès alimentent en partie centrale des deux épaisseurs, Les boues épaissies sont dirigées soit vers la digestion anaérobie soit by-passées directement vers la déshydratation.



Figure4.1. Une photo prise de google earth de la station d'épuration de Baraki

N°	Ouvrage	Nombre
1	PR01	03 vis
2	PR02	03 vis
3	Dégrilleurs	03
4	Dessableurs	04
5	Décanteurs primaires	04
6	Bassins d'aération	04
7	Clarificateurs	08
8	Filtration	07
9	Epaississeurs	02
10	Digesteurs	06
11	Gazomètres	02
12	Torchère	02
13	Déshydratation	12
14	Epaississement mécanique	04

4.2 Les Différents données sur la station:

➤ Polluants entrants à la STEP

La nature et la quantité de polluant entrant à la station, varient selon la quantité et la nature des effluents jetés par les habitants, et les industries de la région, pour notre station la variation pendant une année (on a pris l'année 2015 comme un exemple).

Tableau 4.1. Les teneurs en quelques métaux mesurés pendant une année 2015 des boues issues de la station d'épuration de Baraki

	Janvier	Février	Mai	Juin	septembre	Octobre
<i>Cd</i>	22	<4	16	8	4	<4
<i>Cr</i>	156,8	90,4	76	104	304	62,7
<i>Cu</i>	187,2	150	144	176	676	180,8
<i>Ni</i>	67,2	137,6	96	68	180	17,3
<i>Pb</i>	194,4	115,8	292	116	536	125,4
<i>Zn</i>	957,6	672	568	676	2676	764,3
<i>Hg</i>	0,1	0,06	/	0,05	0,15	<0,0001

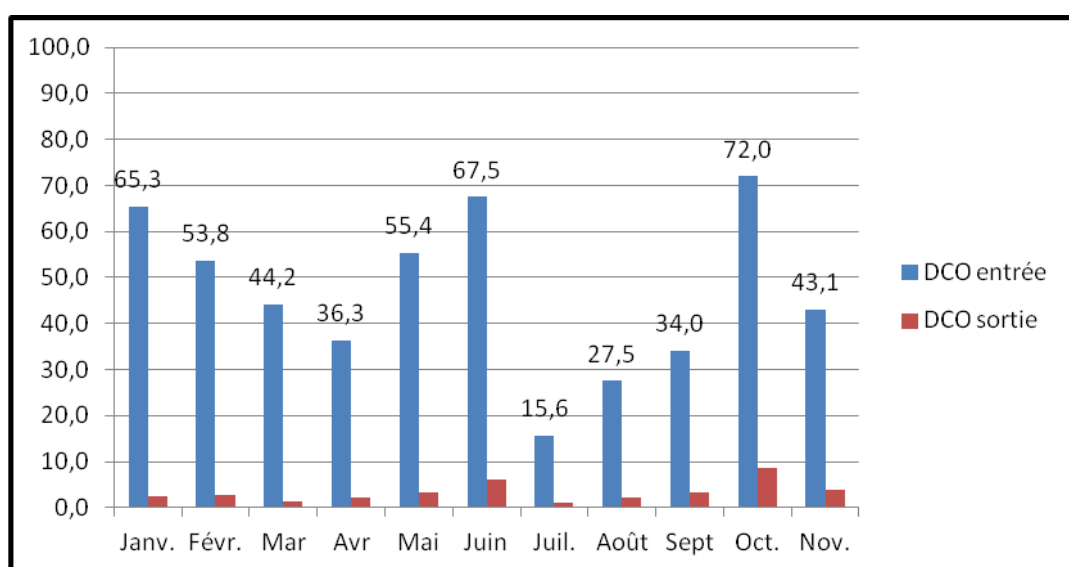


Figure 4.2. La DCO entrant et sortant de la STEP en (tonne/jour) pendant l'année 2015.

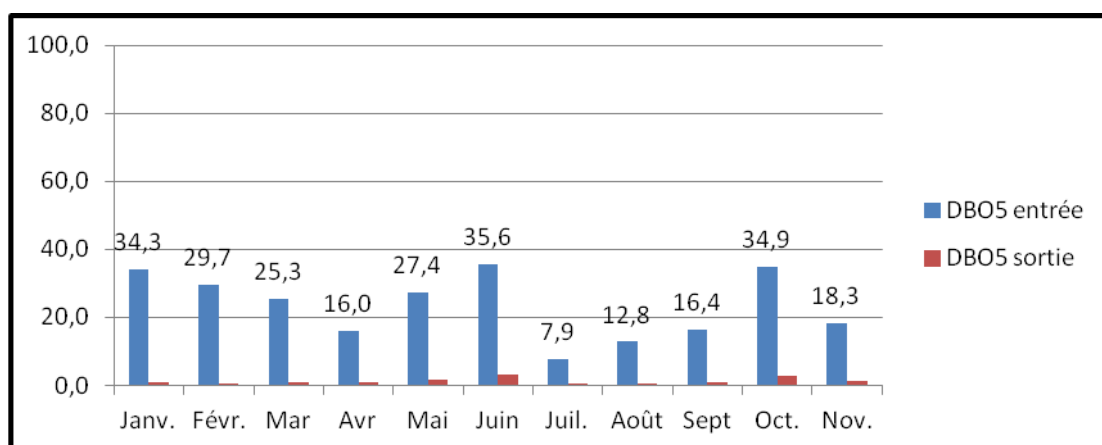


Figure 4.3. L'évaluation de la DBO5 entrant et sortant de la STEP en (tonne/jour) pendant l'année 2015.

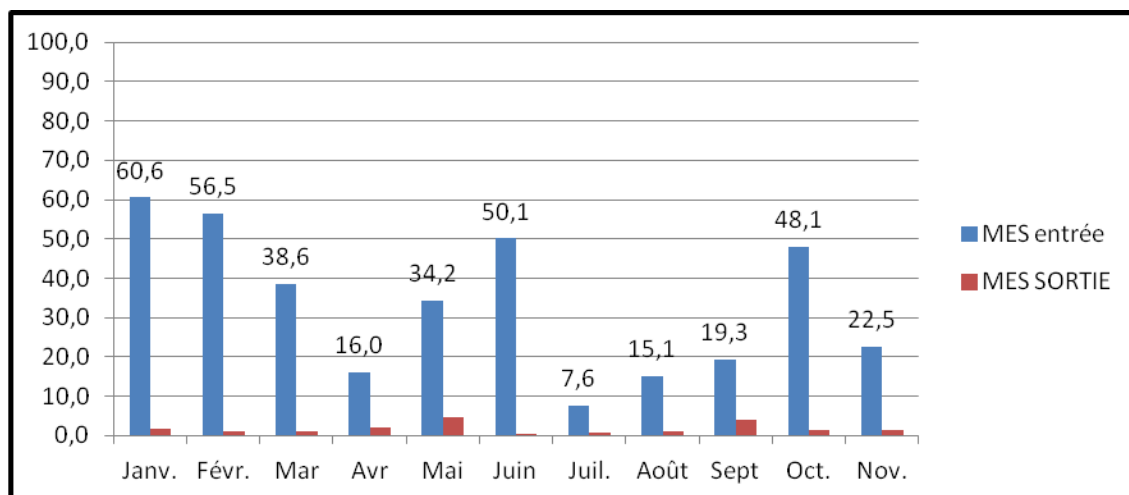


Figure 4.4. Les MES entrants et sortants de la STEP en (tonne/jour) pendant l'année 2015.

D'après l'observation des quantités des polluants entrantes et celles sortantes de la station on remarque qu'une grande quantité des polluants sont éliminés ce qui implique que les boues portent une quantité des polluants importante.

Ainsi que la quantité des boues générée par la station est en fonction de la quantité des polluants éliminée, et le débit d'eau à traiter, pour savoir la quantité moyenne des boues générées pour traiter 1 m³ d'eau brute, on donne le tableau suivant qui exprime la quantité des boues en fonction de volume d'eau à traiter :

Tableau 4.2 : la quantité des boues en fonction de volume d'eau à traiter

	Volume d'eau traité (m3)	Boue générée (T)
Janv.	3 615 828	967
Févr.	8 114 001	1 015
Mars	5 476 900	934
Avr	6 831 184	254
Mai	8 549 310	902
Juin	8 454 304	1 723
Juil.	6 664 767	/
Août	7 559 535	221
Sept	8 453 857	2 662
Oct.	1 027 236	2 765
Nov.	4 681 647	273

D'après ce tableau et le calcul du débit moyen d'eau entrée et la quantité moyenne des boues générées, on déduit que pour traiter 1m^3 d'eau on produit $0,2\text{kg}$ des boues humides .ce qui fait une quantité moyenne de $29,376$ tonne des boues générée par jour.

Les boues générées sont stabilisées par la digestion anaérobie, et l'histogramme suivant présente les quantités des boues entrantes et celles sortantes des digesteurs, dans chaque mois pendant l'année 2015:

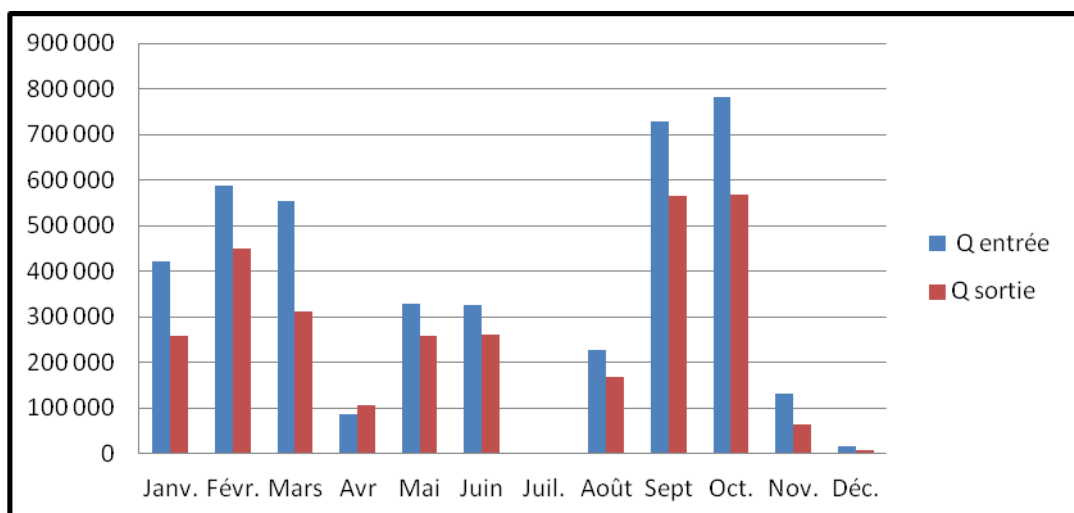


Figure 4.5. Les débits des boues entrantes et sortantes des digesteurs en (kg de MS/Jour).

Après la digestion et la déshydrations, les boues sont stockées dans la station avant de leur éliminer aux décharges, le histogramme suivant donne les différentes quantités stockées.

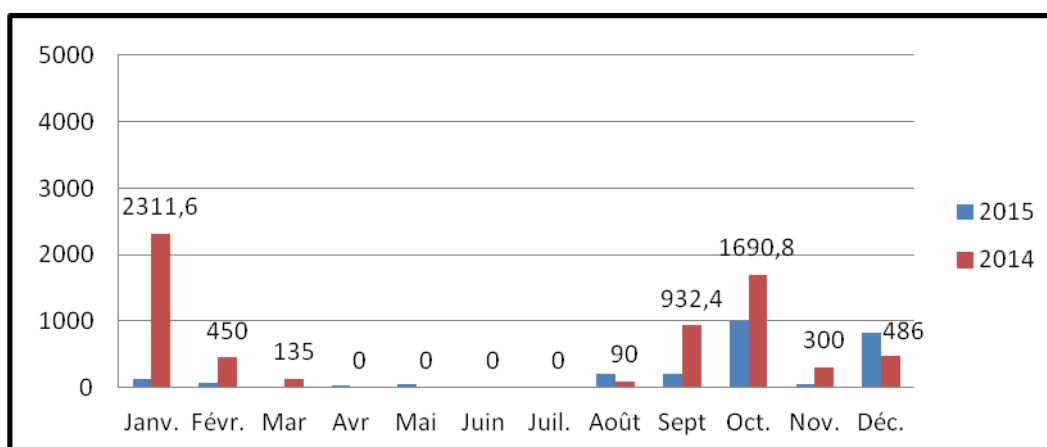


Figure 4.6. L'évaluation de la quantité des boues stockées en (tonne) dans la STEP pendant les années 2014 et 2015

On bien constate que la quantité stocké est assez grande tel qu'elle peut atteindre 2311.6 tonne par mois, ces quantités sont toujours éliminées aux décharges, ce qui fait un grand gaspillage de matière.

Afin d'éviter ce gaspillage et valoriser ces boues, on doit les caractériser d'abord pour bien les destiner et éviter les impacts environnementaux et le risque sanitaire posé par les boues résiduaire.

Chapitre 05 :

Matériels et méthodes

5. Matériels et Méthodes :

5.1. Introduction :

Nous avons étudié la boue issue de la station d'épuration de Baraki qui accueille les eaux d'Oued El Harrach (effluents urbains et rejets industriels).

5.2. Objectif de la caractérisation Des boues :

La caractérisation de la boue nous permet de connaître leur potentiel de valorisation agricole ou énergétique ou bien leur élimination en évitant le risque qui menace la santé publique.

5.3. Échantillonnage :

Pour les besoins de nos analyses, les échantillons homogènes de boues ont été prélevés à la fin de la chaîne de traitement juste après la déshydratation, les boues prélevées ont été conservées dans des récipients en plastique et stockées à une température de 4°C.

5.4. Méthode d'analyse des boues :

5.4.1. Préparation de la poudre des boues pour les différentes analyses :

On a procédé au séchage de cette boue à 105°C pendant 24h, une fois séché, on a broyé cette boue à l'aide d'un broyeur au niveau du laboratoire du génie minier. Cette opération permet aussi d'homogénéiser la matière prélevée, suivi d'un tamisage par un tamis de 2mm afin d'éliminer les grosses particules. Cette poudre sera utilisée pour :

- La détermination de potentiel hydrogène.
- LA détermination de la conductivité électrique.
- Le rapport C/N
- Calcium
- Potassium
- Magnésium
- Sodium

5.4.2. Tests effectués sur les boues :

5.4.2.1 Tests sur les paramètres physico-chimiques :

Certains paramètres ont été effectués dans notre étude, tels que : la matière sèche (siccité), l'humidité, potentiel hydrogène (pH), la conductivité électrique (CE), les matières volatiles

sèches (MVS), taux de pollution des hydrocarbures (TPH), le rapport C/N, et les teneurs des alcalins et alcalin terreaux les éléments traces métalliques (ETM).

1. humidité (Hu):

L'humidité résiduelle est définie comme la masse perdue après séchage à 105°C d'un échantillon. Sa mesure permet de déterminer la matière sèche de cet échantillon ainsi que sa siccité. (ISO 11465,1993)

2. matières sèches (MS) (siccité) :

Cette mesure s'effectue par la mise en place de l'échantillon dans une étuve à 105 °C jusqu'à la stabilisation de masse. Connaissant la masse initiale et la masse finale après perte d'eau. (ISO 11465,1993)

3. Test de pH :

Par définition, il est l'unité de mesure de la concentration en ions hydrogènes, permettant d'évaluer l'acidité ou la basicité d'un milieu. Tel que La mesure est électro métrique au pH mètre dans une suspension boue /eau. Le pH de la boue est déterminé selon la norme (NF ISO 10 390).

4. Test de conductivité :

La mesure est électro métrique au conductimètre dans une suspension boue /eau, selon la norme (ISO 11265).

5. matière volatile sèche « MVS » et la matière minérale:

Le résidu sec obtenu lors de la mesure de la matière sèche est broyé et porté pendant 4 heures dans un four à 550 °C. Connaissant la masse initiale et la masse finale, la teneur en matières volatiles rapportées à la matière sèche est calculée. Pour la majorité des boues, la détermination des matières volatiles est une évaluation approchée de la matière organique (NF EN 12879, 2000)

6. Détermination du taux des polluants hydrocarbures (TPH) :

On détermine le taux des polluants hydrocarbures par le calcul d'un rapport du poids de ces polluants qu'on a les extrait à l'aide d'un solvant organique « dichlorométhane » et le poids des boues fraîches. (AFNOR X43-025,1995).

7. détermination de l'azote totale et la quantité, carbone organique et le rapport C/N:

La méthode utilisée est celle de kjeldahl, le principe de la méthode consiste à transformer l'azote des composés organiques en azote ammoniacal par H_2SO_4 concentré et à ébullition, cet acide oxyde la matière organique, le carbone et hydrogène se dégagent sous forme de CO_2 et H_2O , l'azote transformé en ammoniac est fixé par H_2SO_4 à l'état de sulfate d'ammonium, pour aider à cette transformation, la minéralisation est achevée en présence d'un catalyseur (sulfate de cuivre et sulfate de potassium) qui rend l'action de l'acide sulfurique plus oxydante en augmentant la température d'ébullition, l'ammoniac formé est déplacée de sa combinaison en présence d'une quantité de NaOH en excès, distillée et recueilli dans de l'acide borique. (ISO 11261,1995).

Pour la détermination de la quantité de carbone organique, on applique la relation linéaire entre la quantité de matière organique et celle de carbone organique :

$$CO(\%) = 1,72 MO (\%)$$

1,72 = la proportion moyenne de carbone dans la matière organique.

Ensuite on peut calculer le rapport C/N.

8. détermination des alcalins et des alcalins terreux :

La détermination de ces éléments est basé sur l'utilisation de la spectrophotométrie à flamme, tel qu'on a préparé des solutions de sel de chaque élément avec des concentrations connues, afin de tracer la courbe d'étalonnage. Et ensuite on va passer notre échantillon mélangé avec de l'eau distillée dans l'appareil. (ISO 9964-2,1993)

5.4.2.2 Les paramètres biologiques :

➤ Dénombrement des bactéries ruvivifiable :

L'analyse des boues, se fait en 2 étapes :

La première consiste en l'échantillonnage, passant par l'hydratation du substrat, un vortexage de manière à dissoudre ou disperser les amas, et l'agitation de l'échantillon pour affiner la dispersion des particules les plus grossières.

l'analyse à proprement parlé permet une évaluation de la population présente au sein de l'échantillon, ainsi les flores totales aérobies , nous réaliserons un échantillonnage suivi de dénombrements sur milieu solide simple, après incubation, un dénombrement des UFC (Unité Formant Colonie) permettra de quantifier et de caractériser l'échantillon, Pour l'analyse de la

flore totale aérobie, le milieu de culture préconisé est la gélose PCA (Plate Count Agar). ce milieu nutritif permet une croissance des micro-organismes revivifiables (ISO 6222,1999) .

Chapitre 06 :

Résultats et discussion

6. Résultats et discussions :

6.1. Détermination de la siccité et humidité:

La mesure de la siccité de la boue est importante dans la chaîne de traitement des boues, elle nous indique le poids réel et donc les moyens logistiques à mettre en œuvre pour sa manipulation ultérieure : plus la boue est sèche, plus elle facilite le transport et éventuellement le stockage.

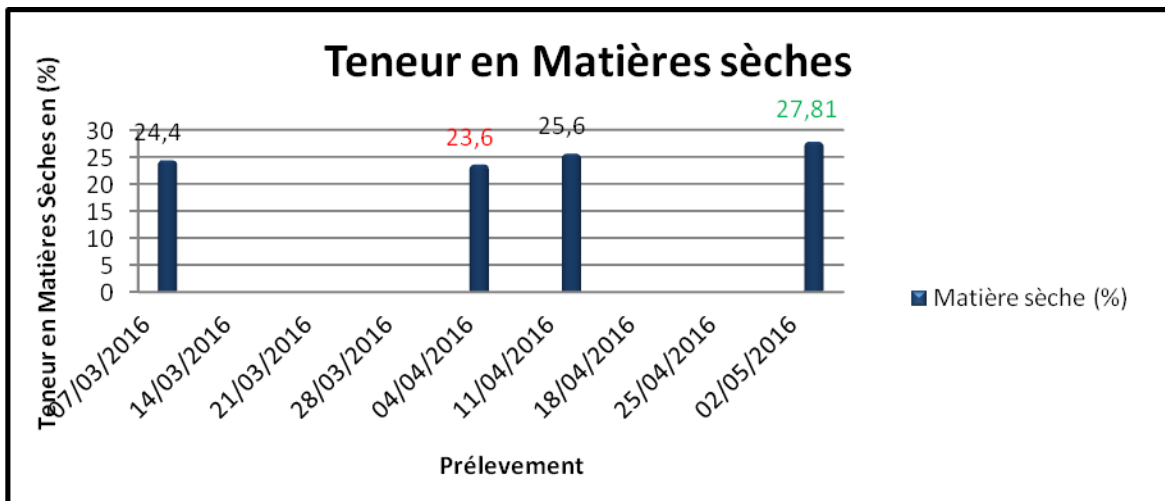


Figure6.1. L'évaluation de la siccité des échantillons pendant un mois.

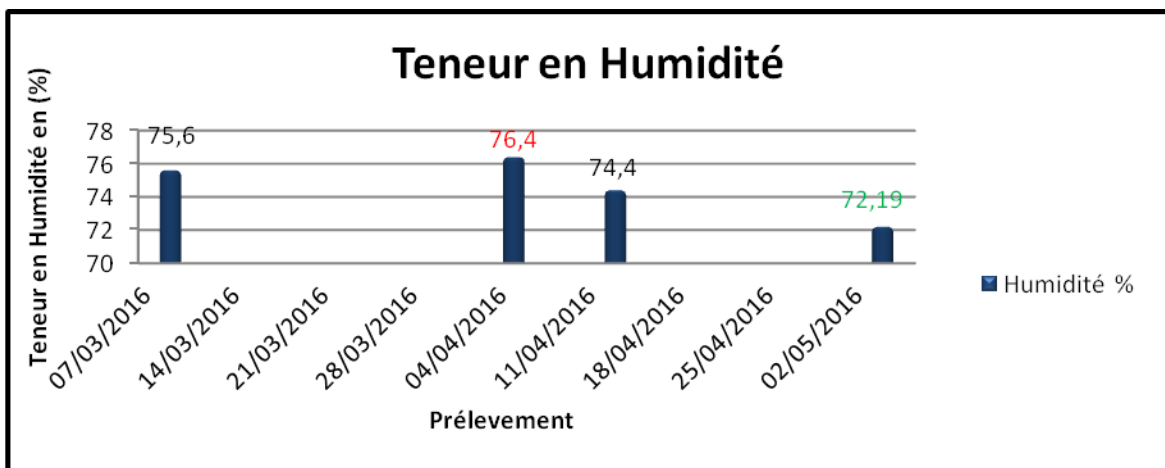


Figure 6.2. L'évaluation de l'humidité des échantillons.

D'après l'observation de la variation de la siccité, et le taux d'humidité, selon (D.Baize 2000) on conclure que trois premiers échantillons sont des boues pâteuse (siccité entre 10% et 25%) et le dernier échantillon est une boue solide (siccité entre 25% et 85).

6.2. Les mesures de pH :

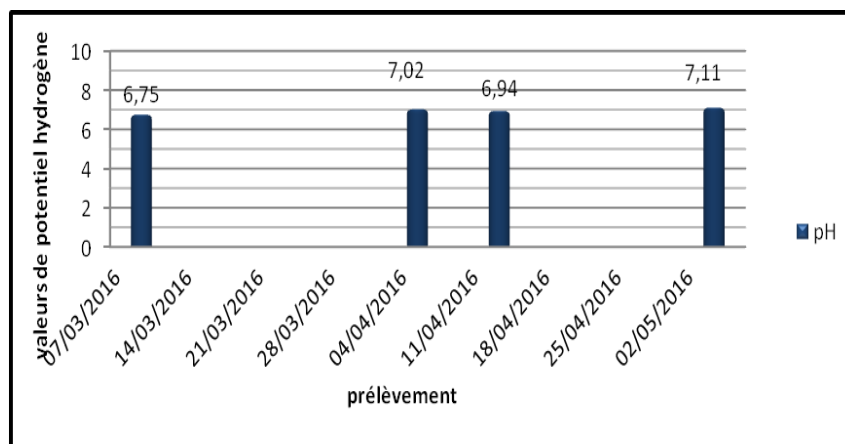


Figure 6.2. L'évaluation de pH des boues pendant un mois.

Selon (B.Le cleche , 2000), les boues qu'ont analysées sont des boues neutres car le pH est compris entre 6,5 et 7,5 (voir le tableau dans l'annexe 03), ce qui fait ces boues souhaitable à la culture (A.Benseghir, 1996). Car le pH ne favorise pas la dissolution des métaux, mais favorise l'adsorption des nutriments par les plantes (C.Rahmoune, 1992).

6.3. Les mesures de la conductivité :

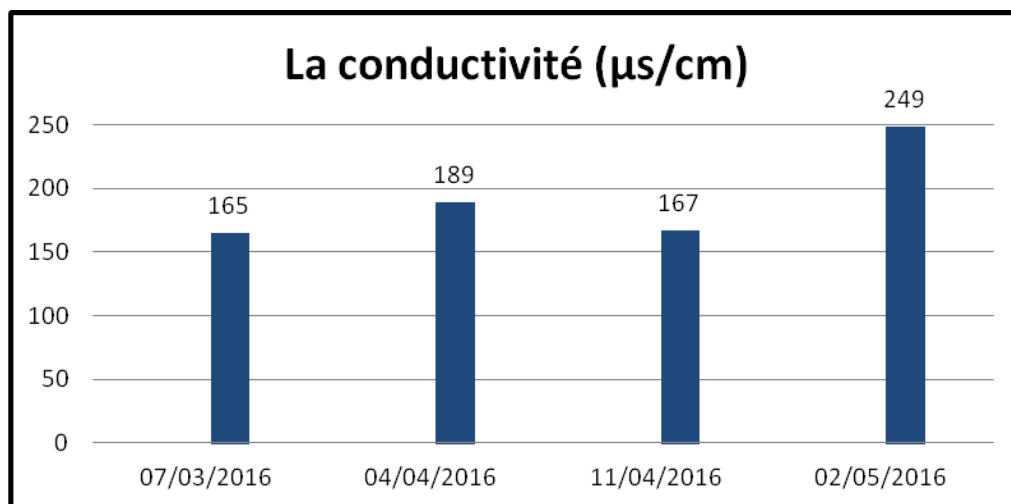


Figure 6.4. L'évaluation de la conductivité des boues pendant un mois.

La conductivité électrique donne une idée sur la salinité du milieu, et la concentration des ions dans ce milieu, dans notre boue la conductivité est variée entre 165 µs/cm et 249 µs/cm à une température de 25 °C, donc et d'après (D.Baize,2000) ces boues sont non salées (voir le tableau dans l'annexe 03), alors ces boues ne provoquent pas l'augmentation de la pression osmotique de la solution du sol, qui peut empêcher l'absorption racinaire, ce qui rend ces boues favorable pour l'utilisation à l'agriculture.

6.4. Détermination de la matière volatile sèche « MVS » et la matière minérale « MM »

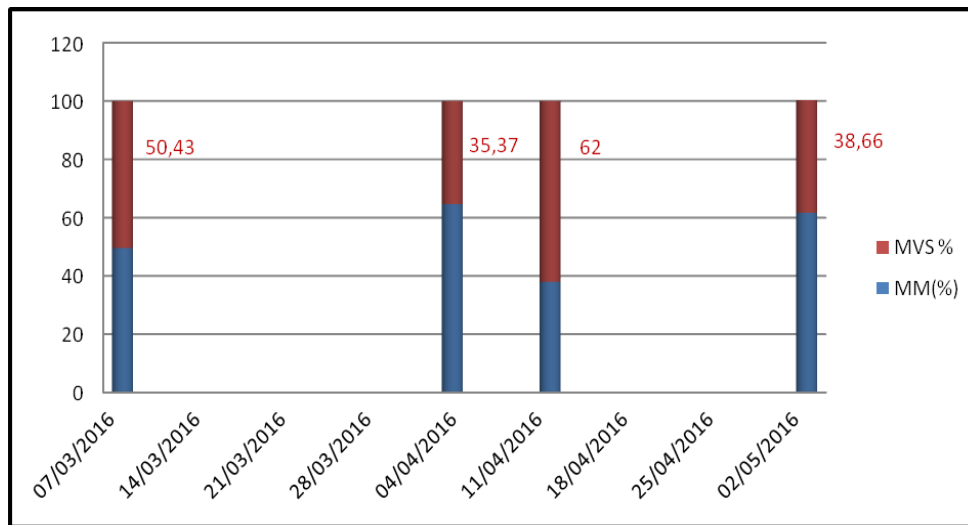


Figure 6.5.L'évaluation de la quantité sèche et la matière minérale en (%) dans les boues pendant un mois.

La mesure de MVS est utilisée pour déterminer la part de matière organique présente dans les MS permettant d'estimer la stabilité des boues, c'est à dire leurs capacités à ne pas fermenter.

Ainsi que le pourcentage de matière organique dans tous les échantillons est supérieur à celle du fumier qui est de 20 à 40% (H. Lounici, 1992).

La quantité des matières volatiles sèches dans le premier et le troisième échantillon est très élevée, ce qui traduit l'instabilité des boues, et ça peut être revenir au mal fonctionnement de digesteur de la station ou bien la boue arrivée au digesteur était de mal qualité

elle contient des produits chimiques toxiques ou bien des éléments minéraux à haut teneur, qui peuvent bloquer l'activité bactérienne responsable à la dégradation des polluants organiques. (J. Lales, 2012)

Par contre le deuxième échantillon et le dernier, où la quantité des matières volatiles sèches est moins élevée ce qui signifie que ces boues sont plus stables.

6.5. Détermination du taux des polluants hydrocarbures :

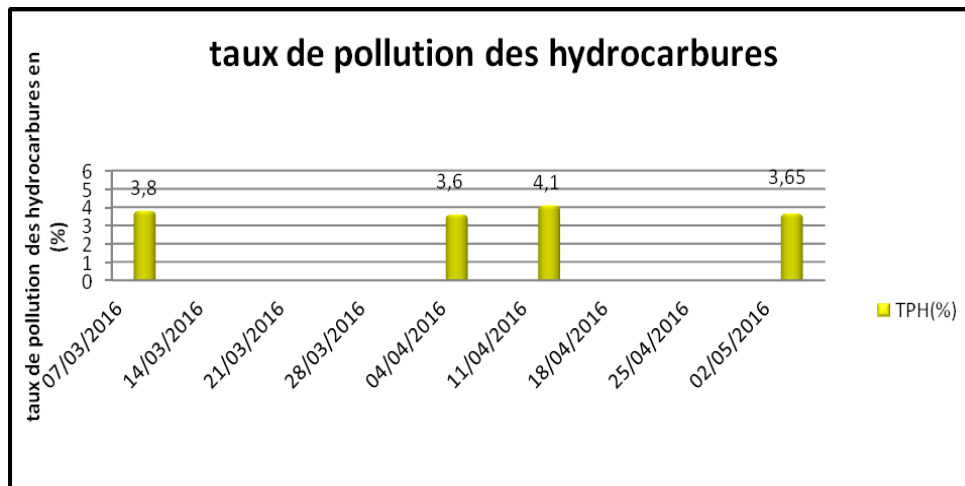


Figure 6.6. L'évaluation des taux des polluants hydrocarbures pendant un mois.

Le pourcentage des hydrocarbures présents dans les boues est important, et ça revient aux rejets huileux de l'industrie de NAFTAL, et les industries de peinture comme Entreprise nationale des peintures et produit d'encre, ainsi que les industries de plastique où les PCB sont utilisés comme des plastifiants, donc ces hydrocarbures contenus dans les boues sont de nature pétrolière ce qui signifie que ces boues sont toxiques (P. Chevalier, 2015). Cependant, la présence des hydrocarbures dans les boues à haute teneur augmente le pouvoir calorifique des boues ce qui rend la valorisation énergétique plus possible.

6.6. Détermination d'azote totale et du carbone organique et le rapport C/N :

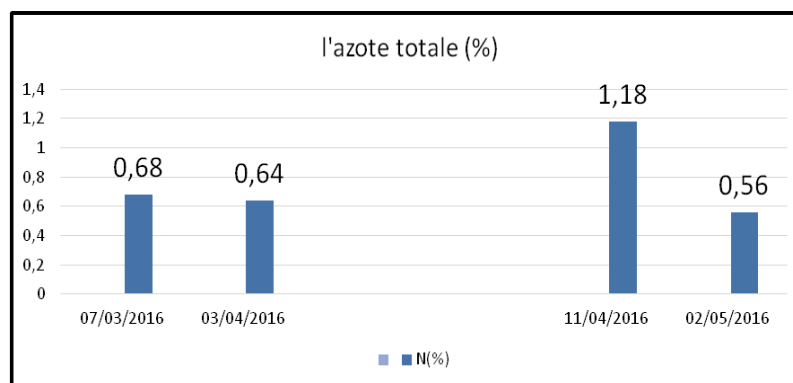


Figure 6.7. Représentation des valeurs du pourcentage d'azote totale dans les quatre échantillons.

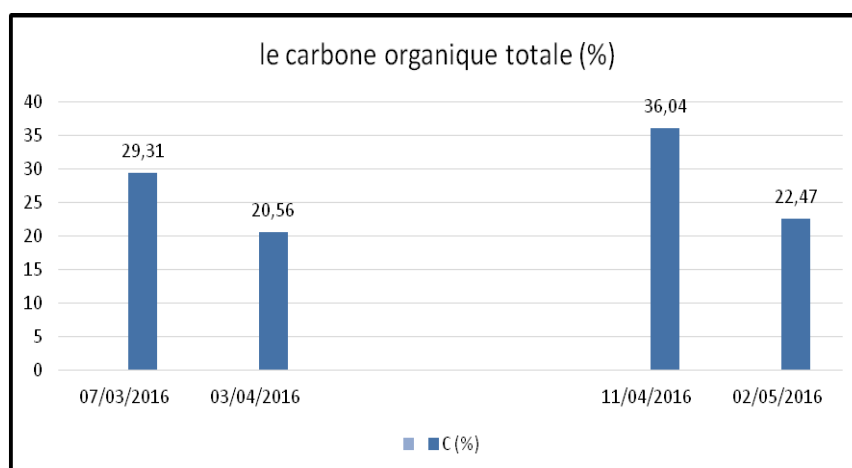


Figure 6.8 représentation des pourcentages de carbone organique Dans les quatre échantillons

La quantité d'azote totale est négligeable par rapport à la quantité portée de carbone organique.



Le rapport C/N

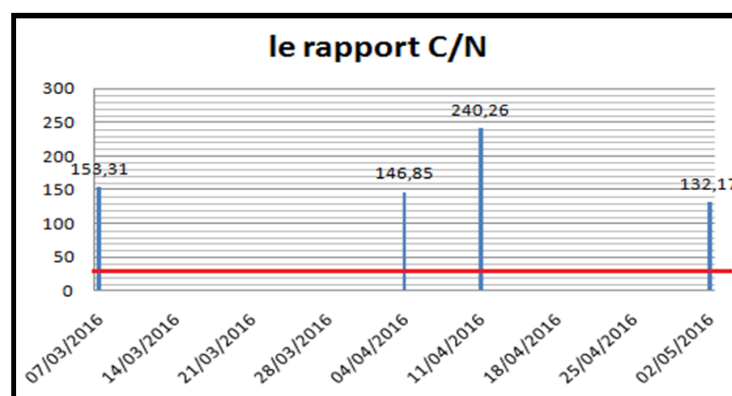


Figure 6.9. représentation du rapport C/N et la valeur de blocage d'azote

Le rapport C/N est important à connaître en agriculture, il permet de pouvoir nous renseigner sur l'activité biologique du milieu, en effet, autant le rapport C/N est faible, plus la biodégradabilité des boues est facile.

La valeur du rapport C/N des échantillons prélevés est comprise entre 132,17 et 240. Etant donné que ce rapport est supérieur à 30, ce qui peut provoquer un blocage d'azote en raison d'une stabilisation insuffisante (H. Lounici, 1992).

6.7. Les alcalins et les alcalins terreux :

Calcium :

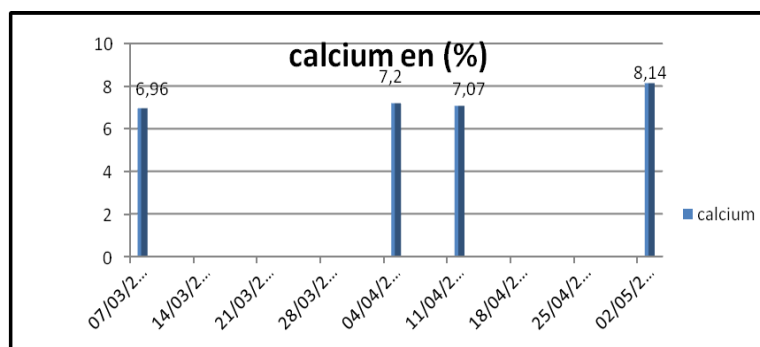


Figure6.10. Représentation de pourcentage de calcium dans les boues

Le calcium est introduit dans plusieurs procédés de fabrication, comme les savons chimiques et les pâtes de papier, et les literais et les produits pharmaceutiques.

La teneur en calcium dans nos échantillons, est variée entre 6,96 et 8,14 %, ce qui fait ces boues riches en calcium, en comparant avec la teneur du fumier qui est comprise entre 1% à 2%.(MAPAQ, 1997).

➤ **Magnésium:**

Le magnésium entre dans la composition de très nombreux alliages d'aluminium, ainsi dans la fabrication de brique et il est utilisé pour la protection des pièces d'acier soumises à une corrosion.

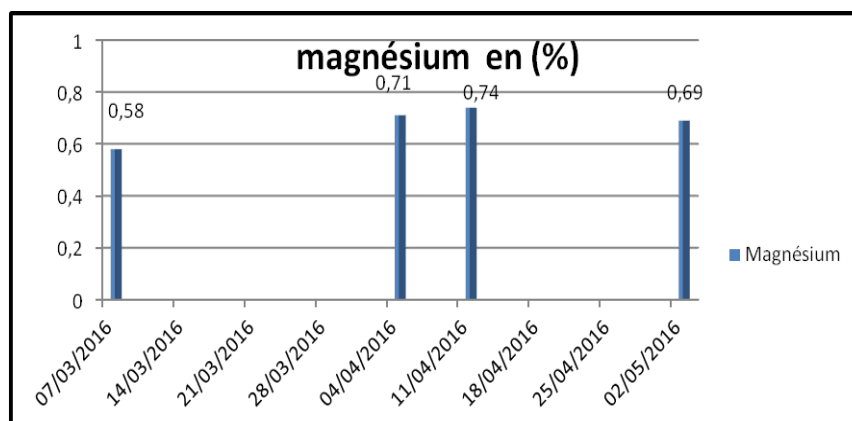


Figure6.11. Représentation de pourcentage de magnésium dans les boues.

La quantité de magnésium porté par les boues est très importante, toujours en comparant avec la quantité porté par un fumier qui est d'ordre de 0,2 à 0,4 % de matière sèche.(MAPAQ., 1997).

➤ **Sodium :**

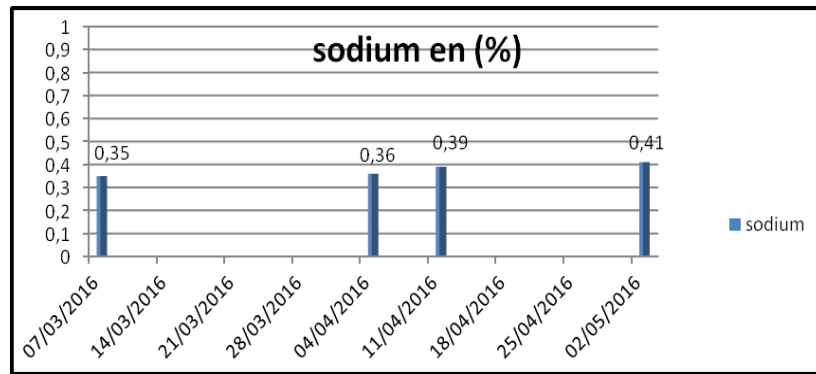


Figure 6.12. Représentation de pourcentage de sodium dans les boues

Le sel de sodium est très utilisé dans les industries alimentaires, ainsi que l'activité humaine emploie cet élément, ainsi il introduit dans la fabrication des savons chimiques, malgré cela, les concentrations de sodium dans les boues qu'on a analysé sont comprises entre 0,35% et 0,41%, ce qui traduit la pauvreté des boues en sodium. Par rapport à un fumier qui a une concentration de sodium de 0,99% (A. Siboukeur, 2013), on peut dire alors que le sodium n'a été pas extrait des eaux usées.

➤ **Potassium :**

Le potassium est très utilisé dans le domaine alimentaire et pharmaceutique et les produits cosmétiques. Ainsi que le potassium est très important pour les plantes.

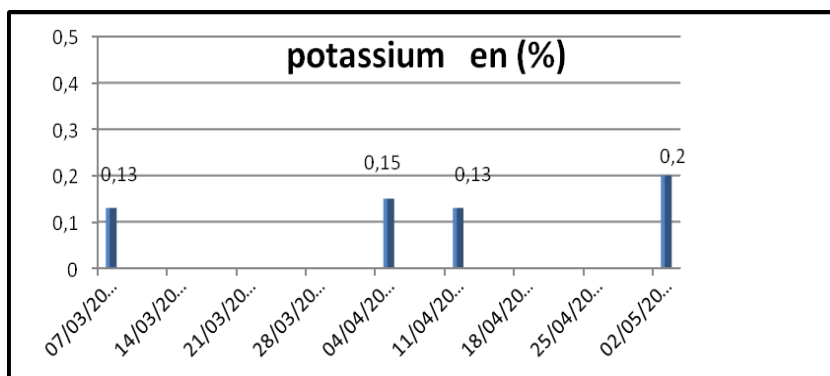


Figure 6.13. Représentation des pourcentages de potassium par rapport à la matière sèche

Les boues sont pauvres en potassium par rapport au fumier qui a un pourcentage de 1% à 3% de potassium (MAPAQ., 1997), alors pour utiliser ces boues en agriculture, il faut apporter un des engrais contiennent de potassium comme un complémentaire.

6.8. Paramètres biologiques :

➤ **Le dénombrement des bactéries revivifiable:**

Après des dilutions successives, on a obtenu un nombre des bactéries dénombrable aux dilutions de 10^{-10} et 10^{-11} .

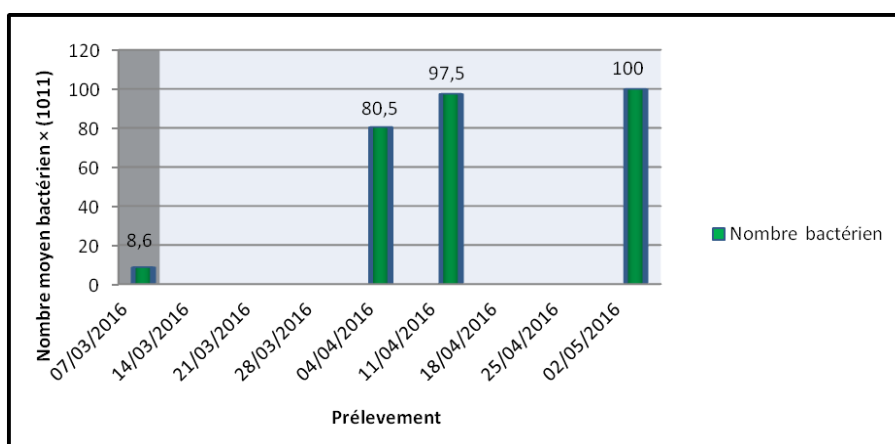


Figure 6.1. Le nombre des bactéries dénombré à 37°C

Le nombre des bactéries revivifiables est compris entre $8,6 \cdot 10^{10}$ et 10^{13} UFC/ml, ce qui fait un nombre bactérien important tel que pour une sol fertile le nombre des bactéries revivifiable est d'ordre 10^9 à 10^{10} (A. Williams, 1999), ça permet de dégrader les polluants organiques restants dans les boues, plus que les micros organismes revivifiables aident à l'humification des sols. Ce qui donne une meilleure porosité à l'air, et à l'eau dans les sols, ainsi une bonne rétention d'eau et des sols, et donc une réduction importante de l'érosion.

Cependant, on a observé des taches reviennent aux champignons dans les boites pétries, tel que les algues généralement provoquent peu de dégâts sur les feuilles et le bois (S. Karoune, 2008)

Conclusion générale

Conclusion générale :

L'objectif essentiel de notre travail consistait en une caractérisation physico-chimique et biologique des boues finales issues de la station d'épuration de Baraki, et ce afin de résoudre le problème d'évacuation des boues résiduelles, et de choisir la bonne technique d'évaluation.

Les analyses physico-chimiques effectuées sur les boues nous ont permis d'observer les caractéristiques suivantes :

- Une grande proportion d'humidité
- Un pH dans le domaine neutre
- Une conductivité faible
- Un taux des polluants hydrocarbures assez important.

Concernant les éléments fertilisants :

- La forte richesse en matières organiques
- La forte teneur en calcium
- Très faibles teneurs en potassium et d'azote.
- La forte teneur en potassium et magnésium.

Les analyses biologiques traduisent la forte richesse des boues en bactéries revivifiables

Ce type des boues de forts aspects organiques, sont utilisées pour l'amendement sur les sols pauvres en matière organique.

Ainsi que ces boues sont riches en éléments fertilisants, ce qui les rend un bon correcteur des éléments fertilisants des sols.

Le rapport C/N et la teneur élevée des hydrocarbures, ainsi la teneur de cadmium, qui prend de temps en temps une grande valeur par rapport à la norme, et la grande concentration des polluants hydrocarbures qui posent le problème avec l'utilisation de ces boues en agricole, et on peut proposer comme une solution pour corriger le rapport C/N par l'ajout d'un engrais azoté industriel, et pour le problème des polluants hydrocarbures, la solution qu'on peut proposer pour les éliminer ,

soit on utilise un liant hydraulique ou bien on utilise les méthodes biologiques « bioremédiation », ça est selon la nature des hydrocarbures présentés dans les boues, dans le cas d'une teneur élevée de cadmium on peut ajouter des débris verts pour diminuer la concentration de métal et augmenter la concentration de la matière organique.

Enfin pour éviter tout enrichissement en éléments traces métalliques des sols soumis aux épandages de boues de STEP, l'Algérie doit se doter d'un dispositif réglementaire, qui indique que les boues de STEP doivent être considérées comme des déchets, mais également comme une matière fertilisante. Ces textes fixeront les précautions d'usage vis-à-vis de la qualité des boues et des propriétés des sols. Ils définissent en outre des distances d'isolement où l'épandage n'est pas autorisé, indépendamment de la nature des sols.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

- **A. Azzabi**, Influence des boues résiduelles sur le comportement d'une culture sous-jacente à tougourt, mémoire de magistère, université kasdi Merbah, Ourgla, 2012.
- **A. Benseghir**, Amélioration des techniques de production hors-sol du chêne liège : conteneur- substrats- nutrition minérale. Master en sciences forestières CEMAGREF, 1996.
- **A. Chikh, A. Lamraoui**, Réalisation d'une serre pour le séchage des boues résiduelles : Simulation et expérimentation, PFE, Ecole Nationale Polytechnique, alger, 2011.
- **ADEME**, Valorisation des risques sanitaire des filières d'épandage des boues de stations d'épuration, ADEME conventions n°03 75 c 0093 et 06 75 C 0071, France, 2007.
- **AFNOR X43-025**, ultrasonic extraction with dichlorométhane HPLC-fluorescence, 1995.
- **A. Gaïd**, Traitement des boues, technique d'ingénieur, C 5 221, France. 2008.
- **AMORCE**, Boues de Station d'Épuration : Techniques de traitement, Valorisation et Elimination, Série Technique-DT 51, 2012.
- **APS**, Eau et assainissement: le programme algéro-européen EAU II couronné de succès, Algérienne presse service, site web.<http://www.aps.dz/economie/35052-eau-et-assainissement-le-programme-alg%C3%A9ro-europ%C3%A9en-eau-ii-couronn%C3%A9-de-succ%C3%A8s>, 2016.
- **A. Siboukeur**, Appréciation de la valeur fertilisante de différents types de fumier, mémoire de fin d'étude, université kasri merbah, ourgla, 2013
- **A. Willfried**, Valorisation des boues de stations d'épuration, fluviales et marines, thèse de doctorat, école des mines de Douai, France, 2016.
- **B. Le Clech**, Agronomie « des bases aux nouvelles orientations », Edition synthèses Agricole. 2000.
- **B. Petit**, Actualisation des connaissances sur les éléments biologiques et minéraux persistants dans les boues des stations d'épuration, impact sur la santé publique , thèse de doctorat, école nationale vétérinaire d'Alfort, 2007.
- **C. Rahmoune**, Interaction entre le cadmium et le zinc chez le pois (*Pisumsativum* L) en culture hydroponique. Thèse de doctorat en Sciences agronomiques. Faculté

- des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique, 1992.
- **D. Baize**, Guide des analyses en pédologie, 2^{ème} édition revue et augmentée. Edition I.N.R.A, Paris, France, 2000.
 - **D. Kadem**, Evaluation comportement des métaux lourds (Cd-Cr-Cu-Ni-Pb et Mn) dans les sols à vocation agricole et à végétation naturelle soumis à une pollution atmosphérique, thèse de doctorat, université mentouri Constantine, 2005.
 - **E. Jarde**, Composition organique de boues résiduaires de stations d'épuration lorraines : Caractérisation moléculaire et émetts de la biodégradation, thèse de doctorat, l'Université Henri Poincaré, Nancy I, 2002.
 - **E. Koller**, Traitement des pollutions industrielles, 628 54 KOL, paris, 2004.
 - **FD T97-001-1**, Caractérisation des boues - Essais des boues - Partie 1 : détermination de la siccité limite, 2011
 - **F. Ladjel**, Perspective de valorisation agricole ou énergétique des boues issues des STEP, article scientifique, office national de l'assainissement, oran, 2014
 - **F. Le gléau**, Étude d'un dispositif de traitement de fumées issues de l'incinération de déchets industriels spéciaux, thèse de doctorat, école des mines de douai et l'université lille 1, 2012
 - **F. Meinck, H. Stoof, H. Kohlschütter**, Les eaux résiduaires industrielles 2^{ème} édition, 628 36 MEI, paris, 1977.
 - **F. Traore**, Dépistage de l'hépatite B chez les migrants originaires d'Afrique subsaharienne et d'Asie : étude qualitative sur les freins des médecins généralistes, thèse de doctorat, université paris DIDEROT, 2014.
 - **H.Amadou**, Modélisation du séchage solaire sous serre des boues de station d'épuration urbaines. Thèse de doctorat, Université de Louis Pasteur – Strasbourg I, 2007
 - **H. Djeddi**, Utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaine, mémoire de Magistère, Université mentouri-Constantine, 2007.
 - **H. Lounici**, Conditionnement et valorisation des boues urbaines de la station d'épuration des eaux usées de Baraki, thèse de magister, école national polytechnique, alger, Algérie, , 1992
 - **ISO 10390**, Qualité du sol – Détermination du pH, 2005.
 - **ISO 11265**, Qualité du sol – Détermination de la conductivité électrique spécifique, 1994.
 - **ISO 11261**, Qualité du sol -- Dosage de l'azote total, 1995

- **ISO 9964-2**, Water quality — Determination of sodium and potassium — Part 2: Determination of potassium by atomic absorption spectrometry, 1993
- **ISO 6222**, Qualité de l'eau -- Dénombrement des micro-organismes revivifiants -- Comptage des colonies par ensemencement dans un milieu de culture nutritif gélosé, 1999.
- **J.Chelle, C.Guenzi, L.Hoguet**, Risques microbiologiques et travail dans les stations d'épuration des eaux usées, Fiche medico-technique N°34, Institut national de recherche et de sécurité, 1990
- **J. Lales**, Méthanisation des boues de stations : règle de l'art et état des lieux sur les bassins Rhône –méditerranée et corse, article scientifique, agence de l'eau Rhône méditerranées corse, 2012.
- **J. Olivier**, Etude des filières à bande pour la déshydratation mécanique des boues résiduaires urbaines, thèse de doctorat, école doctorale des sciences exactes et de leurs applications, France, 2003.
- **J.Rodier, C.Bazin, P Bourtin., P. Chambon, H. Champsaur, L. Rodi**,
L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Ed. Dunod, Paris.8eme edition, 2005.
- **J. Zhang**, Procédé de traitement anaérobie des boues et de valorisation du biogaz, thèse de doctorat, L'institut national polytechnique de lorraine, 2011.
- **L.Cornu**, Chlorobenzène, article scientifique, institut national d'environnement et risque sanitaire, 2005.
- **MAPAQ**, Guide régional sur la composition des fumiers et lisiers sur les fermes de la montagne-Est, Bureau des renseignements agricole de Saint-Hyacinthe, France, 1997.
- **M.Andre**, Stabilisation et traitement électrochimique des boues d'épuration municipales et industrielles, projet de fin d'étude, université du Québec institut national de la recherche scientifique eau, terre et environnement, 2004.
- **M. Bailly**, Cadmium et ses composés, article scientifique, Unité cancer environnement France, 2016.
- **M. Jean lesne**, Evaluation et gestion des risques liés à Pseudomonas aeruginosa dans les établissements de thermalisme, article scientifique, école nationale de la santé publique France, 2004.
- **M.Matcalf, L.Eddy**, Caractérisation des boues, article scientifique, université sherbooke, canada, 2004.

- **M. Pimor**, Suivi de fonctionnement d'installation de séchage thermique de boues résiduaire urbaines, projet de fin d'étude, université des mines douai France, 2003 .
- **N. Cohen**, Risque hygiénique lié à la présence des Escherichia coli dans les viandes et les produits carnés, article scientifique, institut pasteur Maroc. 2006.
- **NF EN 12879**, Caractérisation des boues - Détermination de la perte au feu de la matière, 2000.
- **NFU 440-051, AFNOR**, Limite des teneurs en ETM, CTO, agents pathogènes, inertes et impuretés. sèche, 2006.
- **N. RAMDANI**, Transformation de la matière organique au cours du co-compostage des boues de station d'épuration et de déchet, thèse de doctorat, université d'oran 1 ahmed ben bella, 2015.
- **O. Djebali**, Contribution à la Réhabilitation de la Station d'Epuration deBaraki, PFE, Ecole Nationale Polytechnique, 2008
- **O. El hachemi**, Traitement des eaux usées par lagunage en milieu désertique (OASIS DE FIGUIG) : performances épuratoires et aspectoplanctonique , Thèse de doctorat, Université Mohammed Premier, Oujda- maroc, 2012.
- **P. Chevalier**, Enjeux de santé publique relatifs aux activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures gaziers et pétroliers, article scientifique, institut national de la santé publique, Québec 2015
- **R. Albrecht**,Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts, thèse de doctorat, université Paul cezanne aix-marseille III, 2007.
- **R. Garnier**, Les effets du plomb sur la santé, article scientifique, direction de la gestion des risques des milieux, paris ,2002.
- **R. Salahddine**, Caractérisation physico-chimiques et valorisation des boues résiduaire urbaines pour la confection de substrat de culture en pépinière hors-sol, mémoire de magistère, université hadj lakhder, batna ,2011 .
- **R.Thomazeau**, Station d'épuration, Édition Technique & documentation(Lavoisier), 1981
- **S. Ati**, Etude de l'effet des boues résiduaire sur sol cultivé, mémoire de magistère, université de hadj lakhdar, batna, 2010.
- **S. Karoune**, Effets des boues résiduaire sur le développement des semis du chêne liège, mémoire de magistère, Université Mentouri Constantine, 2008
- **S. Perez Fabiel**, Etude de la biodégradabilité de boues secondaires soumises à un traitement thermique à 65°C et du couplage digestion anaérobie et digestion

thermophile aérobie pour la réduction de boues, thèse de doctorat, l'institut national des sciences appliquées de Toulouse, 2009

- **T. Huynh**, Impact des métaux lourds sur l'interaction plante/ver de terre/microflore tellurique, école doctorale science de la vie et de santé, thèse de doctorat, paris, 2009.
- **Union des industries chimiques françaises**, Identification des dangers Relations dose/effet et dose/réponse Valeurs toxicologiques de référence, article scientifique France, 2006.
- **T.Wiliams**, Phages in sol, encyclopédie de toxicologie, école de biologie scientifique, université de Liverpool, Royaume-Uni, 1999.
- **Z. Feddane**, Valorisation des boues de la station d'épuration de complexe GP1/Z EN ENGRAIS, mémoire de master, Université des Sciences et Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, 2014.

Les Annexes

ANNEXE 01

Des données relatives aux polluants entrants et sortants de la station d'épuration :

Tableau 7.1. Les polluants entrants et le rendement d'élimination de ces polluants de la station d'épuration de Baraki en (Tonne / Jour)

	Le débit des polluants entrants			Rendement d'élimination de la pollution STEP		
	MES T/J	DCO T/J	DBO ₅ T/J	DBO ₅	DCO	MES
Jan	60,6	65,3	34,3	97%	96%	99%
Févr	56,5	53,8	29,7	98%	95%	98%
mar	38,6	44,2	25,3	97%	94%	97%
avr	16,0	36,3	16,0	94%	92%	95%
mai	34,2	55,4	27,4	94%	90%	95%
Juin	50,1	67,5	35,6	91%	89%	93%
Juil	7,6	15,6	7,9	94%	91%	95%
Août	15,1	27,5	12,8	96%	92%	95%
Sept	19,3	34,0	16,4	94%	90%	95%
Oct	48,1	72,0	34,9	92%	88%	95%
nov	22,5	43,1	18,3	94%	91%	94%

Tableau 7.2. Les quantités des boues entrantes aux digesteurs et celles entrantes au déshydrateur

	Quantité de boue épaissie envoyée vers les digesteurs kg de MS/j	Quantité de boue digérée envoyée vers la déshydratation kg de MS/j
Janv.	421 418	257 720
Févr.	586 947	449 038
Mars	553 635	311 903
Avr	85 739	105 640
Mai	328 325	259 196
Juin	324 749	262 115
Juil.	0	0
Août	227 173	168 120
Sept	727 725	565 894
Oct.	782 362	568 240
Nov.	132 680	64 950
Déc.	16 427	7 870

Annexe 01

Tableau 7.3. Les teneurs des boues en métaux pendant l'année 2014 et 2013

	janv.-14	févr.-14	mars-14	avr-14	mai-14	juin-14	juil-14	août-14	sept-14	oct-14	nov-14	Dec-14
Cd	NP	NP	NP	NP	<4	<4	<4	<4	<4	<4	20,4	38
Co	NP	NP	NP	NP	52	40	86	83	98	29,6	<4	<4
Cr	NP	NP	NP	NP	140	56	60	41	140	80,8	92,8	310,4
Cu	NP	NP	NP	NP	168	220	200	200	208	181,2	187,2	152,4
Fe	NP	NP	NP	NP	30392	18280	/	/	/	/	20804	13532
Mn	NP	NP	NP	NP	188	296	265	210	376	155,6	182,8	148,8
Mo	NP	NP	NP	NP	/	/	/	/	/	/	/	/
Ni	NP	NP	NP	NP	136	136	136	47	121,2	64,4	46,8	149,2
Pb	NP	NP	NP	NP	192	132	127	492	332	139,2	224,8	170,8
Zn	NP	NP	NP	NP	744	623	840	976	836	732	943,2	851,6
Hg (CRD)	NP	NP	NP	NP	1,9	0,12	0,09	4,5	2,75	/	0,2	0,145

Annexe 01

	attaque janvier-2013	attaque février-2013	attaque mai-2013	attaque juin-2013	attaque juin-2013	Juillet-2013	Aout-2013	Septembre-2013	OCT-2013	NOV-2013
<i>Cd</i>	<4	<4	6,4	8,01	10,78	18,4	15,2	24,8	<4	<4
<i>Co</i>	<4	<4	12	43,51	43,77	<4	<4	<4	<4	<4
<i>Cr</i>	152	2016	145,6	125,56	81,99	121,6	105,2	117,6	159,2	163,6
<i>Cu</i>	56	96	161,2	190,63	233,21	152,8	128	136,4	192,8	190
<i>Fe</i>	13940	/	19508	18834,96	19168,95	17404	15160	15876	19608	18364
<i>Mn</i>	184	/	178	223,47	356,984	164,8	155,2	154	192	174
<i>Mo</i>	/	/	50	33,24	49,75	83,6	54,8	56,8	140,4	110,8
<i>Ni</i>	20	40	35,6	14,24	<4	34	42,8	35,6	54,8	53,2
<i>Pb</i>	84	192	326	242,23	274,17	240	243,2	255,6	220,8	187,6
<i>Zn</i>	320	6240	619,6	619,9	530,68	520,8	461,2	499,6	718,8	759,6
<i>Hg (CRD)</i>	/	/	0,71	/	/	0,175	0,245	0,13	/	/

ANNEXE 02

Les méthodes et les résultats des expériences :

❖ Test d'humidité et la siccité

Tout d'abord on pèse le poids de récipient ensuite on tare la balance et pèse 50g de la boue, enfin on met le récipient contenant les boues dans l'étuve à 105°C pendant 24h et vérifier la stabilisation du poids.

Le taux d'humidité est exprimé par l'équation N° 1 :

$$\text{Humidité (\%)} = \frac{M1 - M2}{M1 - M0} \times 100 \quad \text{Eq 01}$$

Le calcul du taux d'humidité est présenté ci-dessous.

❖ Le taux d'humidité de la boue est donné comme suit :

D'après l'équation N° 1. Les calculs sont les suivantes :

○ Echantillon un :

$$\text{Humidité (\%)} = \frac{280,4 - 242,67}{280,4 - 230,5} \times 100$$

$$\text{Humidité (\%)} = 75,6 \%$$

○ Echantillon deux :

$$\text{Humidité (\%)} = \frac{280,3 - 242,2}{280,3 - 230,4} \times 100$$

$$\text{Humidité (\%)} = 76,4 \%$$

○ Echantillon trois :

$$\text{Humidité (\%)} = \frac{280,3 - 243}{280,3 - 230,4} \times 100$$

$$\text{Humidité (\%)} = 74,4 \%$$

○ **Echantillon quatre :**

$$\text{Humidité (\%)} = \frac{280,7 - 244}{280,7 - 230,4} \times 100$$

$$\text{Humidité (\%)} = 72,19 \%$$

❖ Et la siccité est exprimée par l'équation N°2 :

$$\text{Siccité (\%)} = \frac{M2 - M0}{M1 - m0} \times 100 \quad \text{Eq 02}$$

Où :

M_0 : poids de récipient.

M_1 : poids initial de la boue sèche après quelle d être constant.

M_2 : poids final de la boue sèche.

○ **Echantillon une :**

$$\text{Siccité (\%)} = \frac{249,67 - 230,5}{280,4 - 230,5} \times 100$$

$$\text{Siccité (\%)} = 24,4 \%$$

○ **Echantillon deux :**

$$\text{Siccité (\%)} = \frac{242,2 - 230,5}{280,3 - 230,5} \times 100$$

$$\text{Siccité (\%)} = 23,6\%$$

○ **Echantillon trois :**

$$\text{Siccité (\%)} = \frac{243 - 230,4}{280,3 - 230,4} \times 100$$

$$\text{Siccité (\%)} = 26,6 \%$$

○ **Echantillon quatre :**

$$\text{Siccité (\%)} = \frac{244 - 230,4}{280,7 - 230,4} \times 100$$

$$\text{Siccité (\%)} = 27,81 \%$$

❖ **Test de pH :**

Le pH du sol est déterminé selon la norme (NF ISO 10 390) comme suit : on réalise une suspension de 1/5 de la poudre des boues dans l'eau distillée , on agite le mélange pendant quelques minutes, puis on le laisse reposer 4 heures. Sauf qu'on a mélangé la solution pendant 20 minutes avant d'effectuée à l'aide d'un pH-mètre.

❖ **Test de conductivité :**

L'échantillon est extrait dans un rapport d'extraction de 1:5 (m/V) avec de l'eau à une température de $(25 \pm 1) ^\circ\text{C}$, afin de dissoudre les électrolytes. La conductivité électrique spécifique de l'extrait filtré est mesurée par conductimètre à une température de $25 ^\circ\text{C}$. (ISO 11265).

❖ **Test de matière volatile sèche « MVS » et la matière minérale :**

On pèse une masse du creuset en céramique, ensuite on tare la balance et pèse une masse connue de boue séchée à 105°C , on place le creuset contenant la masse sèche dans un four à 550°C pour une période de 4h afin d'assurer la volatilité de tous les matières volatile dans la masse sèche.

Le MVS est exprimé par l'équation N° 3 :

$$\text{MVS} = M_1 - M_0$$

Eq 03

Où :

M_1 : la masse finale après le brulage dans 550°C . Qui représente la matière minérale

M_0 : la masse de la matière sèche à 105°C .

○ **Echantillon un:**

$$\text{MVS} = 2,3 - 1,14 = 1,16\text{g}$$

Cette masse contient dans une masse des boues sèche de 2,3g donc la masse des matières volatiles dans 100g des boues sèches est 50,43g

$$\text{MVS} = 50,43\text{g}/100\text{g de matière sèche}$$

○ **Echantillon deux :**

$$\text{MVS} = 1,7 - 1,0986 = 0,6014\text{ g}$$

Donc

$$\text{MVS} = 35,37\text{g}/100\text{g de matière sèche}$$

○ **Echantillon trois :**

$$\text{MVS} = 2 - 1,24 = 0,76\text{g}$$

Donc :

$$\text{MVS} = 62\text{g}/100\text{g de matière sèche}$$

○ **Echantillon quatre :**

$$\text{MVS} = 1,5 - 0,92 = 0,58\text{g}.$$

Donc :

$$\text{MVS} = 38,66\text{g}/100\text{g de matière sèche}$$

❖ **Détermination du taux des polluants hydrocarbures (TPH) :**

L'extraction des hydrocarbures du s a été réalisée dans un ultrason de modèle Bioblock Scientifique (88155) en se basant sur la méthode de bi-lavage :

- On prend 2g des boues fraîches dans un erlen de 50mL ;
- Mélanger avec 1,5g de sulfate de sodium, Na_2SO_4 ;
- Ajouter 12mL de solvant dichlorométhane CH_2Cl_2 ;
- Mettre l'erlen dans un bain d'eau distillée contenue dans la cuve de l'ultrason pendant 10 minutes pour un premier lavage ;

- Rajouter 6ml de dichlorométhane et mettre à l'ultrason pendant 10 minutes pour un deuxième lavage ;
- Le mélange (extrait-solvant) est filtré à l'aide d'un papier filtre ordinaire dans un tube bien fermé, puis le contenu du tube est distillé à l'aide d'un ballon dans un rotavapor à 40°C ;
- Après distillation l'extrait est laissé à sécher pour être ensuite pesé. La quantité du gasoil extraite est déterminée par différence avec la masse vide du ballon pesée initialement.

Le taux des polluants hydrocarbures TPH est exprimé par l'équation N°4 :

$$\text{TPH (\%)} = \frac{M1 - M0}{M} \quad \text{eqt 04}$$

Où :

M_0 : la masse de ballon à vide.

M_1 : la masse de ballon contenant les hydrocarbures après le séchage dans l'étuve

M : poids de la boue fraîche.

○ **Echantillon un:**

$$\text{TPH (\%)} = \frac{105,4896 - 105,4136}{2}$$

$$\text{TPH (\%)} = 3,8\%$$

○ **Echantillon deux :**

$$\text{TPH (\%)} = \frac{70,8660 - 70,7940}{2}$$

$$\text{TPH (\%)} = 3,6\%$$

○ **Echantillon trois :**

$$\text{TPH (\%)} = \frac{62,6484 - 62,5664}{2}$$

$$\text{TPH (\%)} = 4,1\%$$

○ **Echantillon quatre :**

$$\text{TPH (\%)} = \frac{62,5120 - 62,4390}{2}$$

$\text{TPH (\%)} = 3,65\%$

❖ Détermination de l'azote totale :

On pèse 5mg de la poudre des boues et les introduit dans un matras de kjeldahl de 500ml, et on ajoute 20ml d'eau distillée, et on laisse le mélange en contact pendant 30 minutes, ensuite on ajoute 10 g de K_2SO_4 et 1g de CuSO_4 , et 30 ml de H_2SO_4 concentré, enfin on porte le mélange en ébullition jusqu'à la décoloration.

On laisse refroidir le matras et on met le tout dans une fiole de 100ml en ajustant le volume par de l'eau distillée

➤ Le dosage :

On prend 20 ml d'extrait et ajoute 20 ml de NaOH (40%) dans un tube et on place de dernier dans le distillateur, On mettre en marche la distillation jusqu'à l'obtention de d'un volume du distillat de l'ordre de 10 ml, ensuite on ajoute 20ml d'acide borique H_3BO_3 avec des quelques goutte de rouge de méthyle comme un indicateur .enfin on titre par H_2SO_4 de 0,05 N.

On titre le blanc par H_2SO_4 de 0,05 N.

On titre le blanc par H_2SO_4 de 0,05 N (ISO 11261,1995)

$$\text{Azote totale (\%)} = \frac{(v1 - v2) * 0,05 * 14 * 100}{v * p * 1000}$$

Où :

V1 : volume de l'acide dilué ajouté au mélange d'extrait plus acide borique.

V2 : volume de l'acide dilué ajouté au blanc.

P : prise d'essai (5mg).

Echantillon une :

V1 :50,5ml d'acide sulfurique dilué.

V2 : 9,8ml d'acide sulfurique dilué.

Echantillon deux :

V1 :39,8

Echantillon trois

V1=41,9 ml

Echantillon quatre :

V1= 46,22ml

❖ **Détermination de pourcentage de carbone organique :**

On calcule le pourcentage de carbone organique par l'équation suivante :

$$\text{MO (\%)} = 1,72 \times \text{C (\%)}$$

1,72 correspond à la proportion moyenne de carbone dans la matière organique selon (ISO 9001,2000)

Tel que le pourcentage de matière organique est presque le même de celui de matière volatile sèche.

❖ **Détermination de pourcentage des alcalins et alcalins terreux :**

Pour tracer les courbes d'étalonnage de potassium :

On met 0,52g de KCl (contient 1g de K), dans 1l d'eau distillée, on prend 10ml de la solution mère et compléter le volume à 100ml par l'eau distillée (dilution de 10 fois), à partir de cette solution on prend 5, 10, 15, 20 ml et ajuster au 100ml par l'eau distillée, par ce procédé on réalise des solutions de 5,10,15,20 ppm de K.

Pour tracer les courbes d'étalonnage de sodium 0,4 g de NaCl et pour le magnésium on prend 0,25g de MgCl₂ et pour le calcium on prend 0,36g de CaCl₂ et on suit le même protocole précédent, finalement on passe les solutions dans la spectrophotométrie de flamme.

➤ Les courbes d'étalonnage des alcalins et les alcalins terreux :

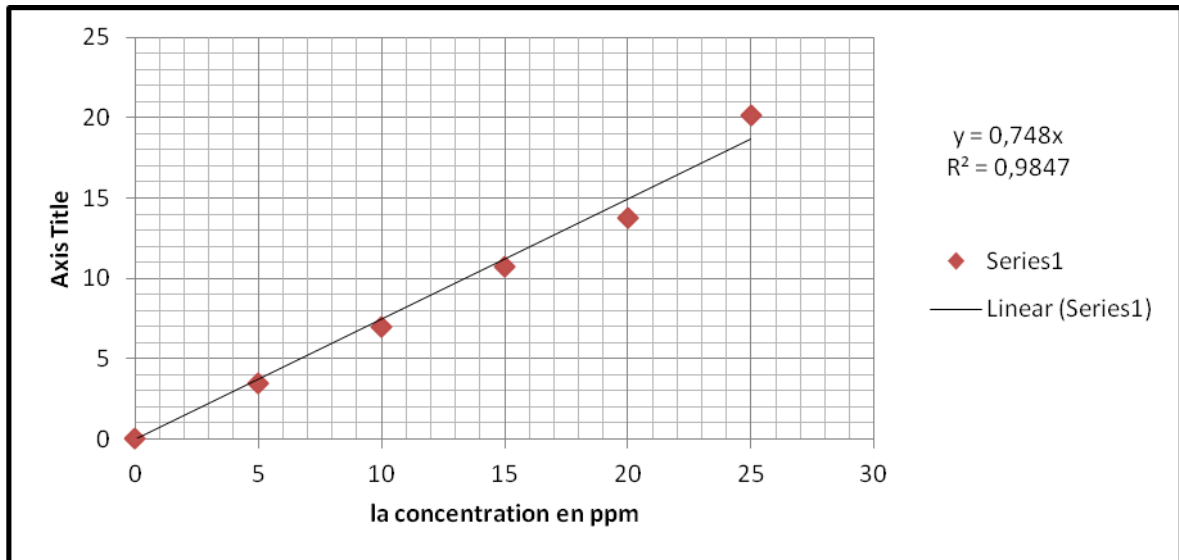


Figure7.1. La courbe d'étalonnage de la concentration de potassium en fonction d'absorbance

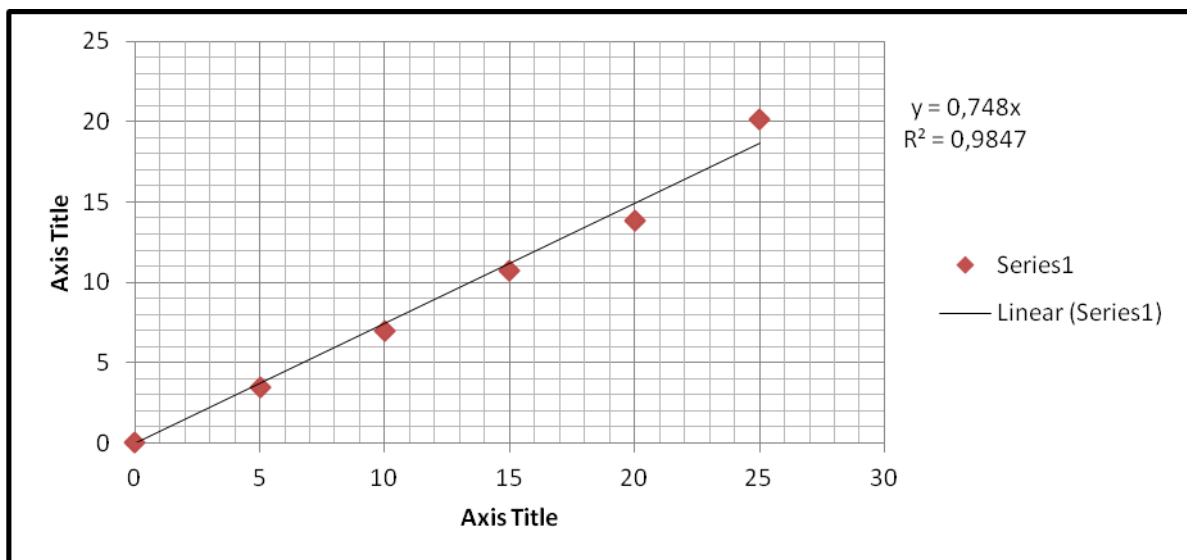


Figure7.2 la courbe d'étalonnage de sodium en fonction d'absorbance.

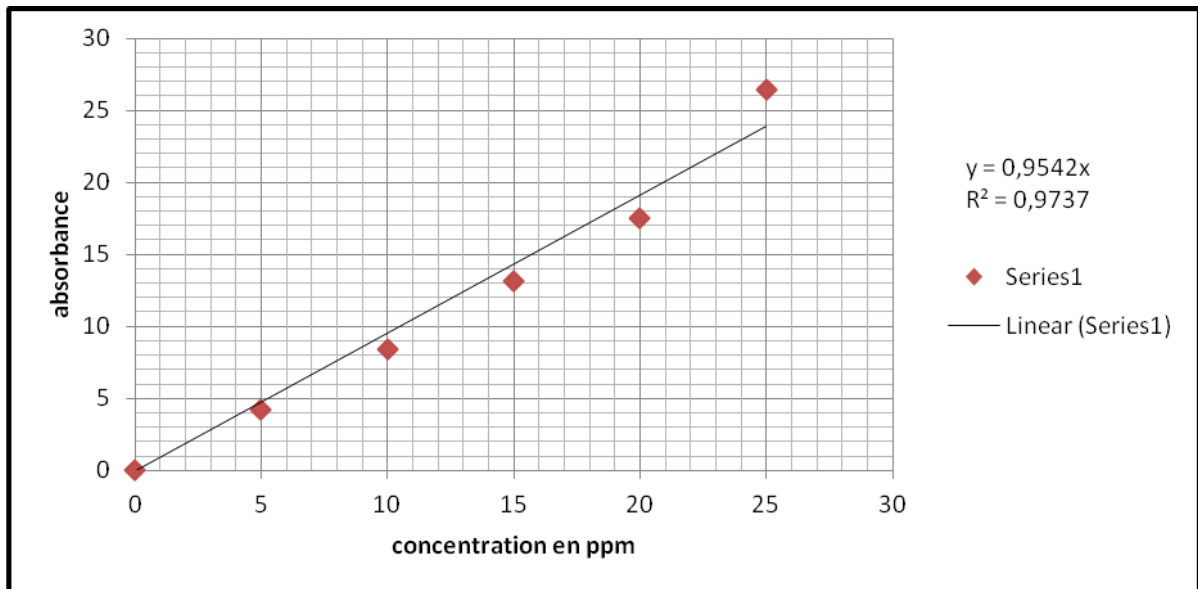


Figure7.3.La courbe d'étalonnage de calcium en fonction d'absorbance

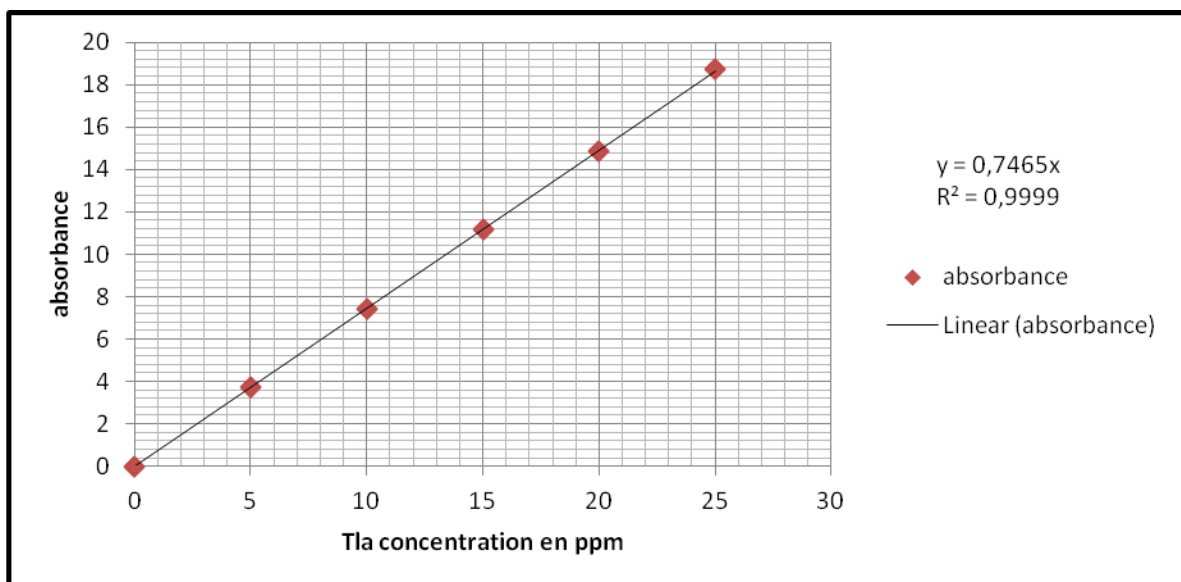


Figure7.4. La courbe d'étalonnage de magnésium en fonction d'absorbance.

Pour déterminer le pourcentage de chaque élément on met 5g de la poudre des boues dans un litre de l'eau distillée. (Solution mère). Et passe cette solution dans l'appareil. Pour le calcium la spectrophotométrie n'a pu pas détecter la concentration car elle était très élevée pour cela on a réalisé une dilution de 100 fois, et pour le magnésium les valeurs d'absorbance sont étés hors l'intervalle d'étalonnage pour cela on a réalisé une dilution de 10 fois.

Tableau7, 4 les valeurs d'absorbance et les concentrations correspondantes

	Absorbance				La concentration correspondante (ppm)			
Ca ²⁺ (dilution de 100fois)	3,32	3,43	3,34	3,15	3,48	3,6	3,5	3,1
Mg ²⁺ (dilution de 10foi)	2,16	2,64	2,76	2,57	2,9	3,55	3,7	3,45
K ⁺	4,87	5,61	4,87	7,48	6,5	7,5	6,5	10
Na ⁺	13,09	13,46	14,59	15,33	17, 5	18	19,5	20,5

❖ Détermination les teneurs des quelques éléments traces métalliques :

Pour réaliser la minéralisation totale des boues, On pèse 1g de la poudre des boues sèches et la met dans un tube à essai. Puis on ajoute une quantité de 2,5 ml d'eau distillée à la poudre des boues plus 2,5 ml d'acide nitrique à pourcentage massique 65% plus 7,5 d'acide chlorhydrique à pourcentage massique 37%, On mélange le tout et le garde en obscurité pendant 12h,

On met le tube dans un bain marie à 100 C° pour 2h afin d'accélérer la réaction d'oxydation des métaux, Après le refroidissement de mélange, on filtre la solution dans une fiole de 25ml, et on rince le tube à essai par l'eau distillée et filtre le résidu enfin on ajuste par l'eau distillée jusqu'à le trait de jauge de la fiole.

On passe la solution dans la spectrophotométrie d'absorption atomique afin de déterminer les teneurs des ETM

❖ Les paramètres biologiques :

➤ Le dénombrement des bactéries Ruvivifiable :

✚ Préparation de l'eau physiologique

On prend 9 g de NaCl et la mettre dans une fiole de 1 l et compléter le volume par l'eau distillée.

✚ La méthode :

On prépare 13 tubes à essai, l'un contient 10 ml d'eau physiologique et les 12 autres contiennent 9ml d'eau physiologique, après de mettre ces tubes avec de la gélose dans un autoclave afin de les stériliser, on Pèse 1 g de la boue fraîche et Allume deux bacs benzène et nettoie le payasse par l'eau de javel, Devant ces deux bacs on met le 1g de la boue fraîche dans le tube de 10 ml d'eau physiologique (solution mère) et agite le mélange pendant une minute , après on réalise la dilution à 10^{-1} jusqu'à 10^{-12} . Après, Par une micro pipette de 1 ml on prend de chaque solution fille 1ml et la met dans une boîte pétrie ensuite on ajoute la gélose et afin d'assurer l'homogénéisation de la distribution des bactéries dans la boîte pétrie on mélange le tout par un mouvement circulaire sur le payasse.

Après la solidification de la gélose devant les bacs benzène, On incube les 12 boites dans une étuve à 37°C pendant 48h. Ensuite le dénombrement est effectué directement sur les boites pétries.

✚ Préparation des dilutions

À partir de la solution mère

- Pipeter 1 ml de solution mère et verser le sur le tube de l'eau physiologique.
- Pipeter 1 ml à partir du tube 1 et verser le sur le tube de l'eau physiologique.
- Pipeter 1 ml à partir du tube 2 et verser le sur le tube de l'eau physiologique.

- Pipeter 1 ml à partir du tube 3 et verser le sur le tube de l'eau physiologique.
- Et ainsi de suite pour les autres tubes jusqu'à le tube 12

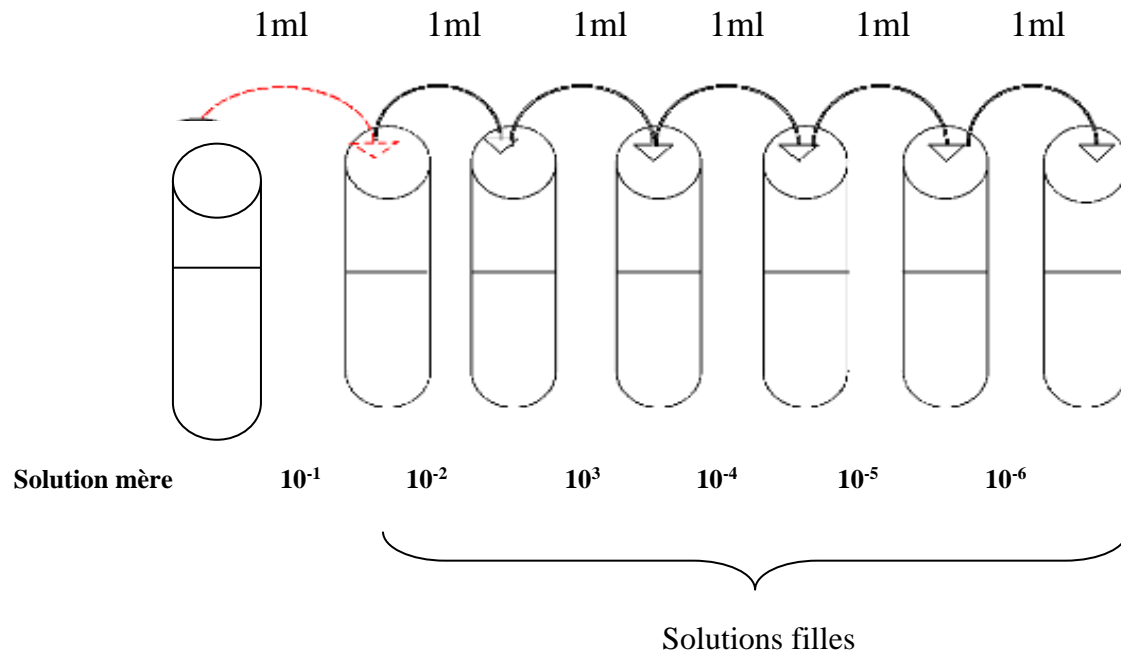


Figure 7.5. Schéma de préparation des dilutions.

Le nombre des bactéries présentes est s'exprimé par l'équation N°5 :

$\text{Nombre de bactérie} = \frac{\text{le dénombrement}}{\text{coefficient de dilution}}$

ANNEXE 03

La nature des boues selon la siccité, pH, CE, ainsi la norme sur les métaux lourds :

❖ La siccité :

Tableau 7.4. La nature des boues suivant leur degré de siccité

Nature des boues	Siccité
Boues liquides	0 à 10%
Boues pâteuses	10 à 25%
Boues solides	25 à 85 %
Boues sèches	>85%

Source : METCALF, ETCALF, 2004

❖ Le pH :

La concentration du milieu en ions H⁺ détermine sa réaction mesurée par le pH. Les différentes classes du pH sont représentées dans le tableau suivant.

Tableau 7.5. Echelle de classification du pH dans l'extrait 1/5 :

pH	<3,5	3,5-4,2	4,5-5	5-6,5	6,5-7,5	7,5-8,7	>8,7
Classes	Très acide	Acide	Faiblement acide	Hyper acide	Neutre	Basique	Très basique

Source: Le Clech, 2000

❖ Conductivité électrique :

Tableau 7.6. Echelle de la salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait 1/5

Classe	Désignation	Conductivité électrique (ms/cm) à 25°C
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	Excessivement salé	27,5-40
7	Hyper salé	>40

Source : Baize, 2000.

❖ **Métaux lourds****Tableau 7.7.Valeurs limites de la valorisation agricole :**

VALEURS LIMITES VALORISATION AGRICOLE		
Zinc (Zn)	mg/kg MS	3000
Mercure (Hg)	mg/kg MS	10
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	10
Nickel (Ni)	mg/kg MS	800
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	1000
Chrome (Cr)	mg/kg MS	1000
Plomb (Pb)	mg/kg MS	800
Cr+Cu+Ni+Zn	mg/kg MS	4000

Source AFNOR-NF U44-051,2006

ANNEXE 04**Les principales sources des polluants entrants à la station :****NAFTAL** au niveau de kherrouba**Tuboplaste** : tubes PVC tube, pvc joint intégré, tube pvc assainissement /pression, tube PEHD eau/ gaz**MATP** : Manufacture Transformation Articles Papeterie, Transformation, fabrication et commercialisation de papier (papier à cigarettes massa, cahiers, fournitures de bureau, boîtes)**Industrie du papier d'Afrique****Sacherie & Cartonnerie** de Oued Smar, Spa, SACAR**ENPEC** - Entreprise Nationale des Produits d'Electrochimie, Spa : accumulateurs, batteries et piles électriques rechargeable par usage pièce pour batteries**ARCOMETAL** : l'art de la construction métallique**Papeterie****ramdan**

Altub : société algérienne de fabrication des tubes, tuyaux, gaines et canalisations en métaux ferreux par usage

MAVIA : montage et assemblage de véhicules industriels

PARFUMERIE ET COSMETIQUE FABRICATION

Cablofil : fabrication des câbles électriques

Master aluminium

NEGGAZI : Ménuiserie d'aluminium.

Metaltech : Maintenance des matériel industriel et et production des systèmes de commande de véhicules automobiles.

BATICIM : société de construction de structures métalliques industrialisées, Fabrication des revêtements de sols en métal grilles, grillages et clôtures en métal

Société algérienne de fabrication de tubes à acier laminé
Entreprise national des peintures et produit d'encre

Source : <http://www.annuaire-algerie.eu/annuaire/fr/oued-smar/ville-37701/>, 2016