



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة والأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Sécurité industrielle et Environnement

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hygiène et Sécurité Industrielle

Spécialité : Sécurité Industrielle et Environnement
Sécurité Prévention Intervention

Thème

Analyse physico-chimique et métallique d'une boue issue de la STEP du complexe CO.G.B Labelle de Bejaia

Présenté et soutenu publiquement par :

Mr. KHALED Khalil (SPI)

Mlle. BELATRENCH Khadidja (SIE)

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Mme BELOUFA Khadidja	MAA	IMSI	Présidente
Mme HEBBAR Chafika	Prof	IMSI	Encadrante
Mr. NADJI Mohamed amine	MAA	IMSI	Examineur

2022/2023

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions le Tout Puissant Allah de nous avoir guidé tout au long de la vie et de nous avoir donné la bravoure et la patience pour surmonter tous les obstacles. Malgré des circonstances difficiles, nous avons pu accomplir cette tâche et vous la remettre aujourd'hui.

Nous tenons à remercier sincèrement Madame **HEBBAR Chafika**, professeur à l'Université d'Oran 2/Mohamed Ben Ahmed qui nous a honoré d'avoir accepté l'encadrement de ce travail, pour son leadership dans l'organisation de ce projet, ainsi que pour tous ses conseils dans l'élaboration et la conception de ce mémoire.

Nous tenons également à exprimer notre gratitude aux membres du jury pour leur volonté de présider et d'examiner ce travail.

Un Remercîment spécial à Mme **NASRI Hania** et Mr **CHAFFI Karim**,
Quoi que nous disions, les mots ne sauraient exprimer nos profondes
gratitudes pour leurs aides.

Nous adressons également nos remerciements à toute l'équipe du complexe CO.G.B Labelle et toutes les personnes qui ont contribué, directement ou indirectement à la réalisation de ce travail sois de près ou de loin.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A l'âme de ma chère mère pure que Dieu lui fasse miséricorde

Maman, comme j'ai rêvé que tu serais avec nous aujourd'hui pour assister à ma soutenance pour voir le fruit de tes efforts, et te remercier devant tout le monde pour tous les efforts que tu as faits pour moi, mais le destin a voulu nous séparer malheureusement

Tu nous as quitté à l'âge des fleurs, et je ne t'ai même pas rendu une petite part de tes faveurs

Tu resteras à jamais dans mon cœur, **JE T'AIME POUR TOUJOURS**
Maman

À mon père pour sa présence, son sacrifice et son soutien durant mes études.

A mes chères sœurs Chaïma et Chiraz, La source de ma joie et de mon courage, je vous adore.

A mes chers zizi et nana qui étaient mes deuxièmes parents

A mes tantes Nadjet, Razika et Soria qui ont toujours été présentes pour moi et qui ont tout fait pour me soutenir.

A mes chers oncles Ghani et Didine
A dada El Madjid, Hanifa et Walid

A mes meilleures amis Saif eddine, Lamine et Anouar.

Atous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer

Et surtout à mon Binôme Samra, aux moments passés et partagés ensemble. Tu as été à mes côtés durant mes pires et bons moments,

Merci.

KHALIL.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A ma chère **Mama** qui a souffert pour offrir mes besoins, qui a tout fait pour me soutenir et pour me rendre heureuse, quoi que je fasse, je ne peux pas rembourser mes dettes envers toi, ta présence à mes côtés m'a toujours donné la force pour avancer. **JE T'ADOURE MAMA.**

A ma Grand-Mère et mon grand-père qui étaient comme mes parents. Que Dieu prolonge vos vies.

À mon père pour sa présence, son soutien, que Dieu te préserve et te procure santé et longue vie.

A mes chères sœurs Saadia, Khadidja, et Halima qui ont toujours été Présentes pour moi et qui m'ont aidé et soutenu

A mes frères Slimane, Ahmed et surtout Benatia mon épaule solide.
Je vous aime

A mon petit frère Mohamed qui est né il y a quelques jours

A toute ma famille et surtout Boulanouar et Houda

A mes meilleures amies Rafika, Kawther, Chaima, et Sana.

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer

Et surtout à mon Binôme Khalil, sans toi nous ne ferions pas ce travail.

Merci beaucoup pour ton soutien.

SAMRA.



Résumé : L'étude de la caractérisation des boues de la station d'épuration de CO.GB labelle, entreprise agroalimentaire implantée au niveau de la zone industrielle de la wilaya de Bejaia à environ 1Km du chef-lieu de la ville, a été réalisée durant la période allant du 09 mai au 08 juin de l'année. Notre étude se base d'une part sur la réalisation de différentes analyses physicochimiques des échantillons de boues minérales et organiques, et d'autre part, sur la détermination des concentrations métalliques des boues de la station d'épuration et de les comparer avec d'autres travaux effectués.

Mots clés : STEP CO.GB labelle (Bejaia), boues, métaux lourds, MES, DBO5, DCO.

ملخص تم إجراء دراسة توصيف الحمأة من محطة معالجة مياه الصرف الصحي وهي شركة غذائية ذات طبيعة زراعية تقع في المنطقة الصناعية لولاية بجاية على بعد كيلو متر واحد من عاصمة المدينة خلال الفترة من مايو 09 إلى 08 يونيو من العام. تعتمد دراستنا من جهة على تحقيق مختلف التحليلات الفيزيائية والكيميائية لعينات المعادن والحمأة العضوية ، ومن جهة أخرى ، على تحديد التركيزات المعدنية للحمأة في محطة المعالجة ومقارنتها مع غيرها. ملخص .انتهى العمل

كلمات مفتاحية. COD ، BOD5 ، MES ، بجاية ، الحمأة ، المعادن الثقيلة ، STEP CO.GB

Abstract: The study of the characterization of sludge from the CO.GB La belle wastewater treatment plant, an agri-food company located in the industrial zone of the wilaya of Bejaia about 1 km from the capital of the city, was carried out during the period from May 9 to June 8 of the year. Our study is based on the one hand on the realization of various physicochemical analyzes of the samples of mineral and organic sludge, and on the other hand, on the determination of the metal concentrations of the sludge of the treatment plant and to compare them with other work done

Keywords: STEP CO.GB labelle, Bejaia, sludge, heavy metals, MES, BOD₅, COD.

Liste des abréviations

Al₂(SO₄)₃ : Sulfate d'alumine
BM : Boue Minérale
BO : Boue Organique
Ca(OH)₂ : lait de chaux
CDH : Conditionnement des huiles
CE : Conductivité électrique
CET : Centre d'Enfouissement Technique
CH₄ : Méthane
CO.G. B Labelle : Corps Gras de Bejaia labelle
DBO : Demande biologique en oxygène
DBO₅ : Demande Biologique en Oxygène durant cinq jours
DCO : Demande Chimique en Oxygène
Eq/Hab : Equivalent Habitant
H₃PO₄ : Acide phosphorique
g/l : gramme par litre
m³/an : mètre cube par année
MES : Matière en Suspension
m³/jour : mètre cube par jour
m³/h : mètre cube par heure
MG : Matière grasse
MS : Matières solides
ms/cm : Milli siemens par mètre
MVS : Matière Volatile Solide millilitre
NaCl : Chlorure de sodium
Na₂CO₃ : Carbonate de sodium (ou Carbonate de soude)
Na₂SO₄ : Sulfate de sodium
Ni : Nickel
NH₄⁺ : Ammonium
NO₂⁻ : Nitrites
NO₃⁻ : Nitrates
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
ONA : Office National de l'assainissement
PCI : puissance calorifique inférieure
PH : Potentiel d'hydrogène
P₂O₅ : Pentoxyde de phosphore
ppm : partie par million
REUE : Réutilisation des eaux usées épurés
REUT : Réutilisation des eaux usées traitées
SAA : La spectrophotométrie d'absorption atomique
SME : Système de Management Environnemental
SPA : société de production agro-alimentaire
STEU : Stations d'épuration urbaines

Liste des figures

Figures du chapitre I :

Fig. I.1 : Schéma descriptif des étapes de prétraitement.....	06
Fig. I.2: Etapes d'épuration.....	10
Fig. I.3 : Pourcentage de potentiel hydrique (A : Nord ; B : Sahara)	16
Fig. I.4 : Répartirions des volumes des eaux usées par zone.....	16
Fig. I.5 : Boues primaires.....	19
Fig. I.6 : Boues biologiques.....	20
Fig. I.7 : Boues physico-chimiques.....	20
Fig. I.8 : Caractéristiques physiques des boues.....	21

Figures du chapitre II :

Fig. II.1 : localisation de la STEP.....	23
Fig. II.3 : la flottation.....	27
Fig. II.4 : la neutralisation.....	28
Fig. II.5 : coagulant.....	29
Fig. II.6 : le bassin biologique.....	29
Fig. II.7 : bassin de dégazage	30
Fig. II.8 : Press-DEG.....	31
Fig. II.10 : Début d'analyse.....	32
Fig. II.11 : Haute.....	34
Fig. II.12 : Homogénéisation de la boue par agitation du flacon.....	35
Fig. II.13 : pH mètre.....	37
Fig. II.14 : Détermination de la matière grasse.....	37
Fig. II.15 : Boues minéralisées.....	39
Fig. II.16 : Spectrophotomètre d'absorption atomique ICE 3000 SERIES AA.....	40
Fig. II.17 : Principe de la méthanisation	44
Fig. II.18 : Principales phases du processus de méthanisation.....	45
Fig. II.19 : Equivalence énergétique de méthane	45

Figures du chapitre III :

Fig. III.1 : Evolution du Pourcentage de la matière sèche de la boue minérale et organique de la STEP	51
Fig. III.2 : Evolution de la DCO de la boue minérale et organique de la STEP.....	52
Fig. III.3 : évolution de la DBO de la boue minérale et organique de la STEP	53
Fig. III.4 : Evolution de MES de la boue minérale et organique de la STEP.....	54
Fig. III.5 : Evolution de MVS de la boue minérale et organique de la STEP.....	55
Fig. III.6 : Evolution du pH de la boue minérale et organique de la STEP.....	56
Fig. III.7 : Evolution de la matière grasse de la boue minérale et organique de la STEP	57
Fig. III.8 : Evolution de la conductivité électrique de la boue minérale et organique de la STEP	58
Fig. III.9 : Concentration du Plomb dans les boues de la STEP	59
Fig. III.10 : Concentration du zinc dans les boues de la STEP	60
Fig. III.11 : Concentration du cuivre dans les boues de la STEP	61
Fig. III.12 : Concentration du nickel dans les boues de la STEP	62

Fig. III.13 : Concentration du cobalt dans les boues de la STEP	63
Fig. III.14 : Concentration du cadmium dans les boues de la STEP de.....	64
Fig. III.15 : Comparaison des résultats de la matière sèche avec d'autres travaux.....	65
Fig. III.16 : Comparaison des résultats de la DCO avec d'autres travaux.....	66
Fig. III.18 : Comparaison des résultats de la MVS avec d'autres travaux.....	67
Fig. III.19 : Comparaison des résultats du pH avec d'autres travaux.....	67
Fig. III.20 : Comparaison des résultats de la matière grasse avec d'autres travaux....	68
Fig. III.21 : Comparaison des résultats de la conductivité avec d'autres travaux.....	69
Fig. III.22 : Comparaison des résultats du plomb avec d'autres travaux.....	70
Fig. III.23 : Comparaison des résultats du zinc avec d'autres travaux.....	70
Fig. III.24 : Comparaison des résultats du cuivre avec d'autres travaux.....	71
Fig. III.25 : Comparaison des résultats du nickel avec d'autres travaux.....	72
Fig. III.26 : Comparaison des résultats du cobalt avec d'autres travaux.....	72
Fig. III.27 : Comparaison des résultats du cadmium avec d'autres travaux.....	73

Liste des tableaux

Tableaux du chapitre I :

Tableau I.1 : Normes de rejets internationales OMS	13
Tableau I.2 : Valeurs limites des paramètres de rejet dans un milieu récepteur ...	14

Tableaux du chapitre II :

Tableau II.1 : Teneurs limites en ETM actuelles et à long terme retenues par la commission européenne et les flux maximums cumulés apportés par les boues en 10 ans.....	41
Tableau II.2 : Composition du Biogaz	46

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique sur les eaux usées, STEP et Boues résiduaires.....	3
I.1. Bilan de connaissances générales sur les eaux usées	3
1.1. Définition d'une eau	3
1.2. Définition d'une eau usée	3
1.3. Types d'eaux usées	3
1.4. Épuration des eaux usées	5
1.5. Étapes et Procédés d'épuration des eaux usées	5
1.6. Réutilisation des eaux usées épurées	11
1.7. Risques liés à l'utilisation des eaux usées	12
1.8. Réglementation mondiale et nationale des eaux usées	13
I.2. Bilan de connaissance générale sur les STEP	16
2.1. État des lieux de l'assainissement en Algérie.....	16
2.1.1. Situation de l'assainissement en Algérie.....	16
2.2. Contexte et objectifs de la valorisation des boues.....	17
I.3. Bilan de connaissance générale sur les boues résiduaires	19
3.1. Définition d'une boue de station d'épuration	19
3.2. Types de boues	19
3.2.1 Boues primaires (boue de prétraitement)	19
3.2.2 Boues biologiques (boue secondaire)	20
3.2.3 Boues physico-chimiques (boue tertiaire)	20
3.3. Caractéristiques physiques des boues.....	21
Chapitre II : Matériels et Méthodes	22
II.1. Zone d'étude : STEP de Spa.....	22
1.1. Description de la station d'épuration CO.G.B Labelle de Bejaia	22
1.1.1. Station d'épuration de CO.G.B Labelle	22
1.1.2. Source et nature des effluents (Documentation interne CO.G.B, 1989)	23
1.1.3. Différentes étapes de traitements	25
II.2. Performance de la STEP du Spa	32
2.1. Analyse physicochimique de la boue issue de la STEP	33
2.1.1 Mesure du pourcentage de la matière sèche des boues	33
2.1.2 Mode opératoire de D.C.O	34
2.1.3 Méthode d'analyse de MES	35
2.1.4 Détermination de la DBO5	36
2.1.5 M.V.S de Boue	36
2.1.6 Détermination du pH	36

2.1.7	Détermination de la matière grasse	37
2.1.8	Conductivité électrique (CE)	38
2.2.	Analyse métallique de la boue issue de la STEP	38
2.2.1.	Préparation des échantillons	38
2.2.2.	Protocole de caractérisation des métaux lourds	39
2.2.3.	Dosage des métaux lourds	39
2.3.	Règlementation mondiale et nationale des boues.....	40
II.3.	Différentes voies de valorisation et d'élimination des boues.....	43
3.1	Valorisation agricole des boues	43
3.1.1	Intérêts sanitaires, économiques et environnementaux	43
3.1.2	Valeur agronomique des boues d'épuration : engrais	43
3.2	Valorisation énergétique des boues	44
3.2.1	Méthanisation : Définition et Principe	44
3.2.2	Principales phases du processus de méthanisation.....	44
3.2.3	Equivalence énergétique du méthane	45
3.2.4	Composition du Biogaz	46
3.2.5	Propriétés du biogaz	46
3.2.6	Voies de valorisation du biogaz : thermique, électrique et énergétique	47
3.3	Différentes voies de valorisation et d'élimination des boues	47
3.3.1	Épandage : Apports des boues sur le sol, selon une répartition régulière	47
3.3.2	Méthanisation : Matière organique +microorganismes(anaérobiose) Biogaz.	48
3.3.3	Compostage: Matière organique (boue+Co- produit) + microorganismes.....	48
3.3.4	Incinération	49
3.3.5	Mise en décharge ou Centre d'Enfouissement Technique (CET)	49
Chapitre III :	Résultats et discussion	51
III.1	Résultats de l'analyse physicochimique de la boue issue	51
1.1	Pourcentage de la matière sèche	51
1.2	Demande chimique en oxygène (DCO)	52
1.3	Demande biologique en oxygène (DBO ₅)	53
1.4	Matière en suspension	54
1.5	Matière volatile sèche (MVS)	55
1.6	Potentiel d'hydrogène	56
1.7	Matière grasse	57
1.8	Conductivité électrique	58
III.2	Résultats de l'analyse métallique de la boue issue	59
2.1	Résultats de l'analyse du Plomb de la boue issue.....	59
2.2	Résultats de l'analyse du zinc de la boue issue.....	60
2.3	Résultats de l'analyse du cuivre de la boue issue	61
2.4	Résultats de l'analyse du Nickel de la boue issue	62
2.5	Résultats de l'analyse du cobalt de la boue issue	63

2.6 Résultats de l'analyse du cadmium de la boue issue	64
III.3 Discussion : Comparaison des résultats trouvés avec d'autres travaux.....	65
3.1 Analyses physicochimiques.....	65
3.1.1 Pourcentage de la matière sèche.....	65
3.1.2 Demande chimique en oxygène (DCO)	65
3.1.3 Demande biologique en oxygène (DBO ₅)	66
3.1.4 Matière volatile sèche (MVS)	67
3.1.5 Potentiel d'hydrogène	67
3.1.6 Matière grasse	68
3.1.7 Conductivité électrique.....	69
3.2 Analyses métalliques.....	69
3.2.1 Analyse du plomb.....	69
3.2.2 Analyse du Zinc.....	70
3.2.3 Analyse du cuivre	71
3.2.4 Analyse du nickel	71
3.2.5 Analyse du Cobalt	72
3.2.6 Analyse du Cadmium	73
3.3 Conclusion.....	73
CONCLUSION GENERALE.....	74
Références bibliographiques.....	76
Annexes.....	82

L'or bleu, souvent appelé eau, est un bien inestimable qui est essentiel à la croissance et au développement de l'économie de la société. Elle a deux visages : un qui est utile pour l'homme dans les activités quotidiennes, et l'autre visage qui est après l'utilisation, ses propriétés changent et deviennent des eaux usées rejetées dans les milieux naturels. [1]

Après l'utilisation, l'eau se transforme en eau brute à partir de laquelle nous pouvons extraire des boues actives qui peuvent être réutilisées dans plusieurs domaines, telles que l'agriculture comme matières organiques, engrais...

Vu l'importance de l'eau dans la vie, les eaux usées sont une ressource précieuse que le monde doit apprendre à exploiter, et pour cela la méthode d'épuration par boues activées est la plus utilisée en Algérie pour le traitement des eaux usées. Ce procédé a des propriétés de purge impressionnantes et un degré de fiabilité crucial.

Le traitement des eaux usées a pour but de nous fournir de l'eau épurée et de dégrader les matières polluantes, cette pollution est transformée en boues actives que l'on sépare de l'eau par décantation ou par déshydratation, qui seront ensuite traitées pour être utilisées dans une variété de champs industriels et agricoles. Ces boues sont riches en matières organiques, éléments fertilisants (azote, phosphore et potassium) et oligo-éléments (zinc, métaux ferreux, cuivre et manganèse).

Les boues doivent être considérées comme une matière première qui peut être réutilisée et pour cela plusieurs solutions ont été envisagées pour l'élimination et la valorisation des boues d'épuration. Au Royaume-Uni, 67 % des boues produits sont épandues sur le sol (67 % destinés à l'agriculture et 33 % au réaménagement des villes et au remplissage des vides), 29 % sont flottants dans la mer et 4 % sont incinérées. [2]

En réintégrant les éléments minéraux dans le sol, le recyclage ou la valorisation agricole des boues après compostage aide à guérir les carences minérales et à régénérer les sols arides fertiles. Cela permet une connexion plus étroite aux cycles naturels. D'un point de vue économique il semble que la valorisation des boues résiduelles par épandage soit le moyen le plus efficace.

Dans ce contexte et en vue de compléter nos connaissances et d'étudier l'efficacité des stations d'épuration à boues actives pour réduire les charges polluantes, on a été chargé de faire un stage pratique au niveau du complexe CO.G.B de Bejaia, particulièrement dans la station d'épuration des eaux usées.

En effet, l'eau est largement utilisée dans les différents ateliers de production du Complexe des Corps Gras de Bejaia (CO.G.B) (savonnerie, raffinage, margarinerie, etc.). Cette eau ne doit pas être rejetée dans la nature avant d'être traitée.

L'objectif de notre travail est de surveiller les différentes étapes du traitement de l'eau usée et de boues actives afin d'évaluer l'efficacité de la station à traiter l'eau. Au moyen de mesures prises pendant trente jours (30) à divers emplacements de stations. Afin de connaître la qualité physico-chimique et métallique de la boue traitée, des analyses ont été réalisées au niveau des laboratoires de la CO.G. B et de CETIC laboratoires et environnement.

Notre travail comporte trois parties :

La première partie de la bibliographie est principalement composée de trois chapitres contiennent une synthèse bibliographique sur les eaux usées, STEP et Boues.

La deuxième partie expérimentale est divisée en trois chapitres traitent de l'introduction des matériaux et des méthodes d'analyses et les différentes voies de valorisation et d'élimination des boues.

Dans la troisième partie nous exposons les résultats des analyses physicochimiques et métalliques de la boue issue et une comparaison avec d'autres travaux.

Enfin, nous concluons notre recherche par une conclusion générale qui résume les principales constatations et présente quelques recommandations.

I.1 Bilan de connaissances générales sur les eaux usées :

1.1 Définition d'une eau :

L'eau (H₂O) sous sa forme la plus pure est un composé simple qui existe naturellement dans l'un des trois états : solide (glace), liquide (brouillard, nuages).

Seulement 3 % de toute l'eau sur Terre est de l'eau douce; la majorité (97 %) est de l'eau salée. C'est ainsi que l'eau douce est distribuée : 31 % dans les eaux souterraines, 69 % dans les calottes glaciaires et moins de 0,03 % dans les eaux de surface. De ces 0,03 %, 2 % se trouvent dans les cours d'eau, 11 % dans les marais et 87 % dans les lacs. Le plus grand réseau de lacs d'eau douce au monde est le bassin des Grands Lacs en Amérique du Nord. [3]

1.2 Définition d'une eau usée :

La majorité des polluants présents dans les eaux usées sont des polluants solubles ou non solubles qui résultent de l'activité humaine. Une eau usée est habituellement un mélange de polluants de ces catégories dispersés ou dissous dans l'eau qui répondait à des besoins domestiques ou industriels. Ainsi, sous l'expression "eaux résiduelles", nous faisons référence aux eaux provenant de diverses sources qui ont perdu leur pureté, c'est-à-dire en raison de l'impact des polluants après avoir été utilisées dans les activités humaines (domestiques, industrielles ou agricoles). [4]

1.3 Types d'eaux usées :

Quatre catégories d'eaux usées sont distinguées en fonction des sources de polluants :

1.3.1 Eaux usées domestiques :

La plupart des utilisations domestiques de l'eau entraînent l'utilisation d'eaux qui sont principalement des vecteurs de polluants organiques. Elles sont divisées en :

- Eaux « ménagères » Ils étaient autrefois les salles de bains et les cuisines ; ils sont généralement chargés de détergents, de grains, de solvants, de débris organiques, etc.

- Eaux "vannes" : Ce sont les déchets des salles de bains, qui peuvent inclure des lessives ainsi que des peintures, mercure des thermomètres, colle, et d'autres produits d'entretien. [1]
- Eaux de buanderie : Ce sont les solutions de nettoyage locales qui contiennent des détergents, des savons plus ou moins émulsionnés avec des graisses. [5]

1.3.2 Eaux usées industrielles :

Les eaux usées industrielles diffèrent grandement des eaux usées domestiques en termes de caractéristiques, selon l'industrie. En plus des matières organiques, azote ou phosphore, ils peuvent aussi contenir :

- Des grains (agricoles, équins),
- Des hydrocarbures (raffineries),
- Des métaux (traitements de surface, métallurgie des métaux),
- Des acides, des bases et divers produits chimiques (agricoles, tanneries),
- Des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs).

Dans certaines circonstances, les eaux industrielles résiduelles doivent être prétraitées par les industries avant d'être déversées dans les réseaux de collecte. [6]

1.3.3 Eaux agricoles :

L'agriculture est une source importante de pollution de l'eau Parce qu'elle utilise des pesticides et des engrais. Elle est la principale responsable de la pollution dispersée. Le ruissellement agricole des terres cultivées qui contiennent des nitrates et des engrais phosphatés, que ce soit sous forme ionique ou en quantités qui empêchent leur absorption par le sol et leur utilisation par les plantes, entraîne un enrichissement en azote ou en phosphate de la couche arable et des eaux des cours d'eau ou des bassins de rétention [7].

1.3.4 Eaux pluviales :

Ce sont des eaux de ruissellement qui se forment après une précipitation. Ils peuvent être particulièrement contaminés par deux mécanismes, notamment au début d'une averse :

- L'érosion du sol et les surfaces imperméables. Les premières précipitations qui se forment sur ces surfaces attirent tout déchet solide ou liquide qui y a été déposé secrètement dans le réseau d'aération.
- La suspension des dépôts des collecteurs. L'évaporation lente de l'eau collectée par le réseau pendant les périodes sèches facilite le dépôt de matériaux inflammables. Le débit d'eau le plus important lors d'une précipitation permet la suspension de ces dépôts. [8]

1.4 Épuration des eaux usées :

Dans l'assainissement, l'épuration est la procédure qui vise à faire les exigences de l'environnement du récipient pour la qualité de l'eau du récipient, afin de prévenir la pollution de l'environnement. [9]

1.5 Étapes et Procédés d'épuration des eaux usées :

Le recyclage de l'eau usée nécessite une série d'étapes impliquant des traitements physiques, Physico-chimiques et/ou biologiques. Plusieurs niveaux de traitement sont définis, y compris : [10]

- Prétraitements.
- Traitement primaire.
- Traitement secondaire.
- Traitements tertiaires.
- Traitement des boues actives.

1.5.1 Prétraitements :

Avant d'être correctement traitées, ou prétraitées, les eaux brutes doivent généralement passer par un certain nombre d'opérations qui ne sont que physiques ou mécaniques. Il est destiné à extraire de l'eau brute la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature ou la dimension peut constituer un défi pour les traitements ultérieurs.

Ces préparations constitueront une première étape cruciale pour assurer un traitement efficace des eaux usées. Il est possible de distinguer trois types principaux :

- Dégrillage.

- Dessablage.
- Déshuilage et dégraissage

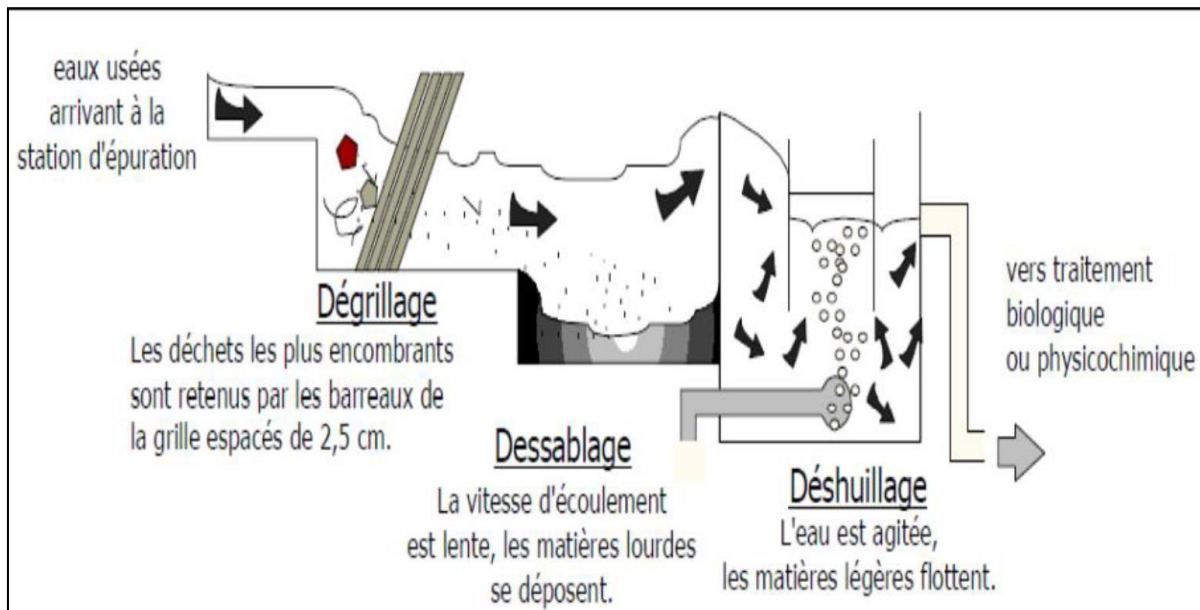


Figure I.1: Schéma descriptif des étapes de prétraitement [11]

1.5.2 Traitement primaire :

➤ **Décantation :**

La méthode la plus populaire pour séparer MES et colloïdes est appelée décantation, et il est pratiquement utilisé par toutes les installations de purification et de traitement de l'eau. Son but est d'éliminer les particules dont la densité est supérieure à celle de l'eau par attraction gravitationnelle.

La vitesse de décantation dépend du taux de descente de la particule, qui lui-même dépend d'un certain nombre d'autres facteurs, y compris la taille et la densité des particules. [12]

➤ **Coagulation et Flocculation :**

La turbidité et la couleur de l'eau sont principalement causées par de très petites particules, souvent appelées particules colloïdales. Ces particules peuvent être éliminées par flocculation et coagulation.

Le but premier de la coagulation est de déstabiliser les particules en suspension.

À l'aide d'un mélange à mouvement lent, la floculation cherche à favoriser les interactions entre les particules instables. [13]

➤ **Filtration :**

Un procédé de séparation connu sous le nom de filtration consiste à faire passer un mélange de solide et de liquide à travers un milieu poreux (filtre) qui retient le mieux les particules solides tout en permettant au liquide de passer à travers (filtrat). [14]

1.5.3 Traitement secondaire (biologique) :

Pour assurer la dégradation des polluants organiques, qui sont éliminés dans la mesure où ils servent de nourriture aux bactéries, l'évaporation biologique dépend des conditions qui permettent aux micro-organismes de croître, à condition que les polluants en question soient biodégradables. [15] Cette procédure consiste à éliminer les DBO5 et les DCO qui restent après la purification physico-chimique. [16]

➤ **Technologie de traitement par culture bactériennes libres :**

La méthode actuelle de traitement en culture bactérienne à vie libre consiste à introduire dans le liquide traité des microorganismes maintenus en suspension sous forme de floes. [17]

1.5.4 Traitement tertiaire :

Après avoir subi des traitements primaires et secondaires insuffisants pour améliorer la qualité de l'eau, le traitement tertiaire vise à éliminer la pollution biologique, azote et phosphate des eaux usées. Afin d'assurer la conservation des milieux naturels des récepteurs ou la réutilisation de l'effluent dans l'agriculture ou l'industrie, le traitement secondaire devient obligatoire et s'impose. Les traitements secondaires visent à améliorer la qualité globale de l'eau. [7] Certaines opérations sont nécessaires pour sa réutilisation. Parmi ces traitements, nous pouvons souligner. [18]

1. Désinfection :

Elle est nécessaire lorsque les eaux usées traitées sont rejetées dans un environnement de piscine.

2. Traitement de finition :

Dans certaines circonstances, il est crucial d'atteindre des concentrations extrêmement faibles de MES, de DCO, de DBO, d'azote et de phosphore

3. Traitement sur charbon actif :

Certaines molécules résistantes au traitement biologique peuvent nécessiter un traitement au carbone actif. Lorsque le STEP reçoit des eaux usées industrielles, il permet fréquemment l'illumination des couleurs de l'effluent.

1.5.5 Traitement des boues actives :

L'ensemble des actions visant à modifier les caractéristiques des boues excédentaires afin de rendre leurs destinations finales fiables et sans problème est appelé traitement des boues. Le traitement de la déshydratation et de la stabilisation est appliqué aux déchets avant leur rejet dans l'environnement ou leur réutilisation à des fins agricoles ou énergétiques. [19]

Les traitements qu'on impose aux boues s'effectuent généralement en plusieurs étapes:

1.5.5.1 Stabilisation :

1. Stabilisation biologique :

Elle réduit le volume de déchets fermentables dans les barils. La stabilisation biologique est effectuée soit par voie aérobie dans les bassins d'aération, soit jusqu'à obtention de billes biologiquement stables à faible teneur en oxygène. La consommation d'énergie de ce procédé rend impossible son utilisation systématique dans les poubelles urbaines. [20] Par conséquent, il peut être par digestion anaérobie dans les digesteurs avec la création d'un biogaz riche en méthane et l'acquisition d'œufs digérés, également connu sous le nom d'œufs anaérobies stabilisés. Une partie de la biomasse ou de la masse de bactéries présentes dans la station doit être prélevée et soutirée régulièrement afin de maintenir l'activité biologique de la station à un niveau élevé. [21]

2. Compostage :

Le compostage est une méthode unique de stabilisation biologique aérodynamique. Il préfère travailler avec des boues déjà déshydratés afin de réduire la quantité de compost

nécessaire. L'apparence du sol et la structure solide des rochers composites leur donnent une stabilité. En raison des données réglementaires et économiques récentes concernant la gestion des déchets, il y a eu une résurgence importante de l'intérêt pour cette technologie. La commission ne représente que 2 % du tonnage des obligations et n'est utilisée que dans les stations de taille moyenne. [22]

3. Stabilisation chimique :

En ajoutant une quantité importante d'argile (10 à 50 % de la matière sèche, généralement 30 %) et en élevant le pH au-dessus de 12, elle empêche l'activité biologique et, par conséquent, l'évolution de la boue. [15] Si la boue est évaluée, l'augmentation de calcium de ce traitement pourrait être bénéfique. [23]

1.5.5.2 Réduction de la teneur en eau de boue :

Plusieurs procédés, dont l'épaississement, la déshydratation et le séchage, sont utilisés pour réduire les volumes à manipuler. Ces processus sont mis en œuvre dans un ordre croissant d'efficacité et de coût. À la lumière de ces procédures, des traitements conditionnels sont fréquemment utilisés pour faciliter la séparation soluble dans un liquide. Ils utilisent des flocculants synthétiques, aussi appelés poly électrolytes, ou des minéraux comme le calcium, le fer ou l'aluminium.

1 Epaississement :

Le but est d'augmenter la siccité (teneur en matière sèche) des boues sans pour autant changer la nature liquide de la boue. Cet épaississement peut être réalisé simplement par des moyens gravitationnels dans un concentrateur ou par des moyens mécaniques (égouttage, flottation ou centrifugation). [24]

2 Déshydratation :

Après la phase d'épaississement, qui a permis l'élimination de 60 à 85% de l'eau, le traitement des boues est terminé avec une déshydratation, qui vise à éliminer autant d'eau restante que possible et modifie l'état physique des boues, celle-ci passant de l'état liquide à l'état solide. [25]

3 Séchage :

Un processus physique appelé séchage permet d'éliminer un liquide par évaporation ou vaporisation. Il faut ajouter une certaine quantité de chaleur au produit à traiter pour y réussir. L'objectif principal du séchage est de fournir l'énergie nécessaire pour vaporiser l'eau libre afin d'atteindre la siccité la plus élevée possible. [15] Le premier endroit où les boues sont lâchées est sur la surface du sable. L'eau interstitielle percole rapidement à travers le sable. Dans le bassin d'aération, il peut être recueilli et envoyé par un système de drainage. Les boues restent à la surface du sable et disparaissent progressivement avec le temps. Ces boues peuvent être enlevées manuellement ou mécaniquement. [26]

1.5.5.3 Elimination finale des boues :

Les flux de déchets industriels doivent être éliminés en tant que déchets conformément aux principes du recyclage des matériaux et de l'énergie après avoir fait l'objet d'un traitement destiné à réduire leurs quantités et leur potentiel de nuisance. Ils sont donc examinés à travers plusieurs voies évolutives. Ils sont précieux en agriculture parce qu'ils sont riches en éléments fertilisants. Ils peuvent également être recyclés par des procédés industriels utilisant une variété de méthodes de destruction thermique et un centre d'enfouissement technique. [27]

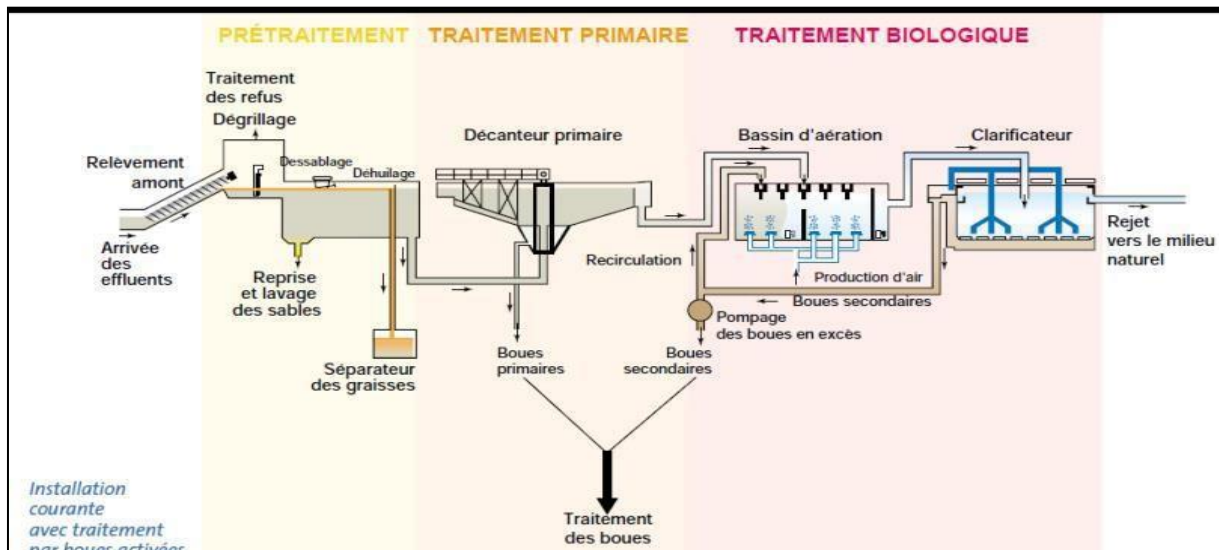


Figure I.2: Etapes d'épuration [28]

1.6 Réutilisation des eaux usées épurées :

1.6.1 Réutilisation mondiale des eaux usées traitées (REUT) :

La réutilisation de l'eau usée est une stratégie future viable compte tenu des pénuries mondiales d'eau. Une fois traitées, les eaux usées peuvent être utilisées à diverses fins, notamment pour irriguer les espaces verts et les cultures, lutter contre les incendies, nettoyer les routes ou même recréer des couches phréatiques.

Depuis 2000, l'REUT connaît une croissance extrêmement rapide, la quantité d'eau recyclée usagée augmentant de 10 à 29 % par an en Europe, aux États-Unis, en Chine et jusqu'à 41 % en Australie. Actuellement, 1, 5 à 1, 7 millions de mètres cubes d'eau par jour sont récupérés dans un certain nombre de pays et d'États, y compris le Mexique, la Chine, la Floride et la Californie. [29]

1.6.2 Réutilisation nationale des eaux usées épurées :

La stratégie nationale algérienne pour le développement durable est actuellement mise en œuvre, entre autres, à travers un plan stratégique qui intègre trois dimensions : sociale, économique et environnementale. La longueur totale du réseau national de santé est de 27 000 kilomètres. Le taux de rétablissement est de 85 c/o lorsque la population est clairsemée. On estime que près de 600 millions de m³ d'eau usée sont rejetés chaque année, dont 550 m³ dans la seule zone urbaine du Nord. D'ici 2023, ce nombre sera proche de 1,15 milliards de mètres cubes. Les zones qui ont toujours été pauvres en eau devraient recevoir la majorité de l'eau d'irrigation recyclée. [30]

1.6.3 Réutilisation municipale :

On trouve de très nombreuses façons de réutiliser l'eau purifiée dans les zones urbaines. En Algérie, la défense civile récupère un volume de 18763 m³/mois d'eau qui a été utilisé pour éteindre les incendies du STEP de Tipaza, et les communautés locales récupèrent 12 m³/mois d'eau qui a été utilisé pour nettoyer la ville du STEP de Boumerdès. [31]

1.6.4 Réutilisation industrielle :

Pour certains pays, l'eau recyclée répond à 85 % des besoins mondiaux en eau industrielle. Dans l'industrie de l'énergie, dans les circuits de refroidissement fermés ou ouverts, le procédé industriel REUE est possible. En outre, ce recyclage est concevable dans les blanchisseries industrielles, les installations de lavage de voitures, l'industrie du papier, la fabrication de métaux et de textiles, les industries de l'électronique et des semi-conducteurs,

etc. Le seul exemple à citer en Algérie est le STEP de Jijel, qui fournit un volume de 15.000 m³/mois d'eau utilisée pour la tannerie Jijel. [31]

1.6.5 Réutilisation Des Eaux Usées Épurées Pour L'irrigation En Algérie :

La contribution de l'eau recyclée utilisée pour l'irrigation peut être calculée en utilisant le rapport entre l'utilisation de l'eau recyclée et l'impact sur les ressources. Cette contribution est de 13,37% pour la région hydrographique de Chelif Zahrez, 21,4% pour les régions hydrographiques de Constantin-Seybousse-Mellegue et 34,92% pour la région hydrographique d'Oranie-ChottChergui. Cette région présente un léger déficit pluviométrique (environ 400 mm/an) par rapport aux autres régions du nord de l'Algérie. La composante de recyclage de l'eau d'irrigation prédomine aujourd'hui avec un ratio de 45%, soit 100% dans le cas du périmètre de Mléta dans la région de l'Oranie de l'Ouest algérien. [31]

1.7 Risques liés à l'utilisation des eaux usées :

1.7.1 Risque microbiologique :

La majorité des pathogènes trouvés dans l'eau usée proviennent des matières fécales des humains et des animaux infectés. Par conséquent, et conformément à [32], le type et la quantité de microorganismes pathogènes présents dans l'eau utilisée dépendent de la santé des populations sources.

Il a été démontré depuis longtemps que les microorganismes pathogènes d'origine animale ne peuvent survivre ni pénétrer à l'intérieur des plantes [33]. Ils vivent donc là où le microclimat est bon pour eux, sur le sol et à la surface des plantes.

Les consommateurs de produits végétaux contaminés présentent des maladies parasitaires causées par des ascaris et des bactéries. Le risque de contamination est plus élevé si l'on utilise de l'eau brute déjà utilisée plutôt que de l'eau traitée déjà utilisée. [34]

1.7.2 Risque chimique :

De faibles concentrations de micropolluants dans les eaux usées traitées présentent des risques de toxicité humaine à court et à long terme.

Par conséquent, la consommation de légumes contaminés pose un risque. Cependant, certains de ces éléments peuvent être utiles pour la croissance des plantes, il est donc important d'établir un équilibre entre le risque pour la santé et l'intérêt agronomique.

Le risque posé par les effets à long terme de ces produits, pour lesquels il n'y a souvent aucune recherche, est encore inconnu. De plus, il n'est pas impossible que de nouveaux composés toxiques apparaissent. Il est donc essentiel de faire preuve de prudence, surtout en ce qui concerne les eaux usées urbaines traitées, qui, dans certains cas, peuvent avoir des propriétés chimiques différentes et des quantités plus élevées. Enfin, il ne faut pas oublier que les oligo-éléments ont tendance à s'accumuler dans les boues STEP plutôt que dans l'eau traitée, ce qui fait que le risque chimique semble plus faible. [35]

1.7.3 Risque environnemental :

Le risque environnemental est intégré simultanément dans un effort pour protéger les ressources en eau et préserver le sol. De plus, ce risque est directement lié aux deux premiers.

Dans un contexte agricole, les effets potentiels d'un excès de bore et d'autres oligo-éléments, l'impact de la salinité sur le rendement, le risque d'alcalinisation du sol par un excès de sodium, la réduction de la perméabilité du sol, l'accumulation d'éléments potentiellement toxiques comme le chlore et le bore, un excès d'éléments nutritifs (azote, phosphore et potassium) ou des brûlures causées par le sel en cas d'appréhension, tous doivent être pris en compte. [35]

1.8 Réglementation mondiale et nationale des eaux usées :

1.8.1 Normes internationales :

Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), le tableau suivant montre comment les normes mondiales pour les eaux usées sont représentées :

Tableau (I.1) : Normes de rejets internationales OMS [36].

Paramètre	Unités	Unités Norme utilisée (OMS)
pH	-	6,5-8,5
DBO ₅	mg/l	<30
DCO	mg/l	<90
MES	mg/l	<20

NH₄⁺	mg/l	<0,5
NO₂	mg/l	1
NO₃	mg/l	<1
P₂O₅	mg/l	<2
Température	°C	<30
Couleur	-	Incolore
Odeur	-	Incolore

1.8.2. Normes Algériennes :

Les valeurs des limites maximales admissibles de rejets d'effluents selon les normes algériennes sont regroupées dans le tableau (I.2).

Tableau (I.2) : Valeurs limitent des paramètres de rejet dans un milieu récepteur [37].

Paramètres	Unités	Valeurs limites
Température	°C	30
pH	-	6,5 à 8,5
MES	mg/l	35
DBO₅	mg/l	35
DCO	mg/l	120
Azote	mg/l	30
Phosphates	mg/l	02
Phosphore total	mg/l	10
Cyanures	mg/l	0,1

Synthèse bibliographique sur les eaux usées, STEP et Boues résiduaires

Aluminium	mg/l	03
Cadmium	mg/l	0,2
Fer	mg/l	3
Manganèse	mg/l	01
Mercure total	mg/l	0,01
Nickel total	mg/l	0,5
Plomb total	mg/l	0,5
Cuivre total	mg/l	0,5
Zinc total	mg/l	03
Huiles et Graisses	mg/l	20
Hydrocarbures totaux	mg/l	10
Indice Phénol	mg/l	0,3
Composés organiques	mg/l	05
Chrome total	mg/l	0,5
(*) Chrome III⁺	mg/l	03
(*) Chrome VI⁺	mg/l	0,1
(*) Solvants organiques	mg/l	20
(*) Chlore actif	mg/l	1
(*) Détergents	mg/l	2
(*) Tensioactifs anioniques	mg/l	10

I.2 Bilan de connaissance générale sur les STEP :

2.1 État des lieux de l'assainissement en Algérie :

L'Algérie a une superficie totale de 2 381 741 km², qui est divisée en 58 wilayas, dont la majorité sont des régions arides avec peu de ressources en eau de surface.[38] Selon Mozas et Alexis, le potentiel hydrologique de l'Algérie est estimé à 18 milliards de mètres cubes par an en moyenne, avec 12,5 milliards de mètres cubes dans les régions du nord (10 milliards de mètres cubes d'évaporation en surface et 2,5 milliards de mètres cubes de ressources en sols renouvelables) et 5,5 milliards de mètres cubes dans les régions sahariennes (0,5 milliard de mètres cubes d'évaporation en surface et 5,0 milliards de mètres cubes de ressources en sols fossiles).[39]

60% des eaux de surface et 15% des eaux souterraines des ressources hydrologiques algériennes sont renouvelables.

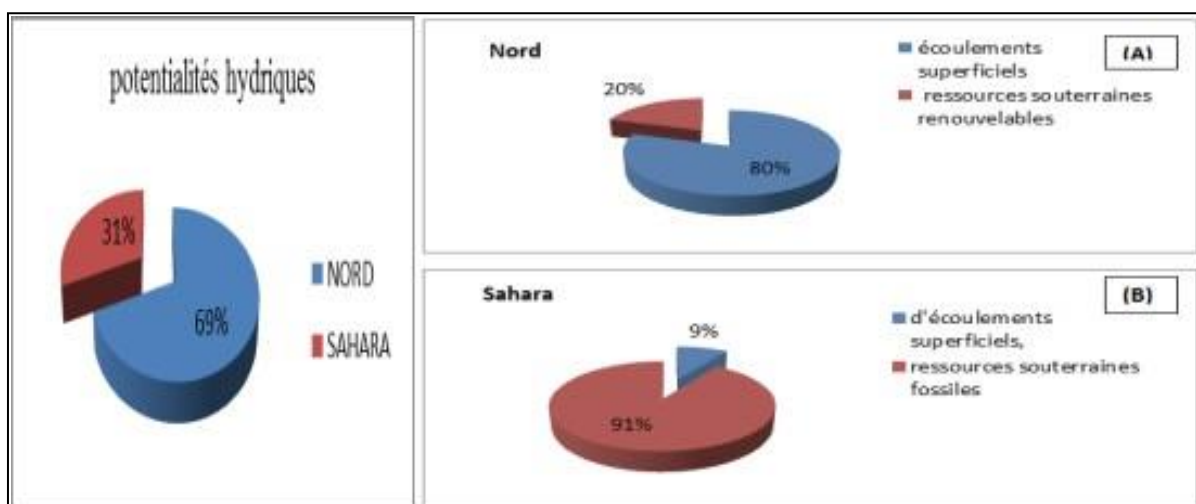


Figure I.3 : pourcentage de potentiel hydrique (A : Nord ; B : Sahara)

2.1.1 Situation de l'assainissement en Algérie :

Pour le 1^{er} trimestre 2022, 67 Millions de m³ des eaux usées ont été épurées par les 167 STEP exploitées par l'ONA,

- ✓ 81 stations de type boues activées ;
- ✓ 83 stations par lagunage naturel ou aéré ;
- ✓ 03 filtres plantés.

Synthèse bibliographique sur les eaux usées, STEP et Boues résiduaire

La capacité nominale globale de ces 167 est de 11 602 678 Eq.hab pour un débit nominal moyen de 1 759 680 m³/j.

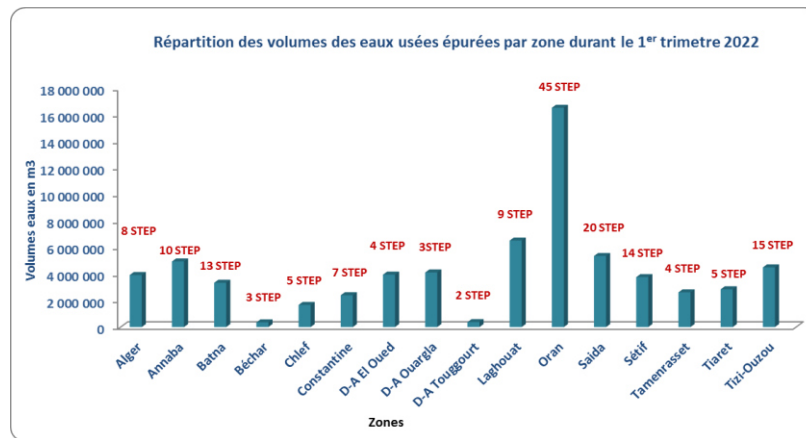


Figure I.4 : repartirions des volumes des eaux usées par zone durant le 1^{er} trimestre 2022 [40]

2.2 Contexte et objectifs de la valorisation des boues :

2.2.1 Contexte actuel :

L'élimination des bassins de traitement des eaux usées est un enjeu important pour notre pays dans le cadre actuel de protection de l'environnement.

L'augmentation des STEP en Algérie s'accompagne de la production de quantités non négligeables de boues d'épuration. Le but du traitement est de réduire la quantité des boues produites, mais aussi d'augmenter leur valeur par :

- La réutilisation à des fins agricoles pour revitaliser le sol sans recourir à des engrais chimiques;
- Valoriser leur potentiel énergétique à base de biogaz. [40]

2.2.2 Objectif de la valorisation des boues :

- gérer la gestion de ces produits auxiliaires;
- Ajouter de la valeur en créant (énergie, amendement, engrais, cimenterie, etc.);
- Éliminer les nuisances olfactives;
- contribuer à promouvoir le développement durable et la protection de l'environnement. [40]

I.3 Bilan de connaissance générale sur les boues résiduaires :

3.1 Définition d'une boue de station d'épuration :

Une boue est souvent définie comme un résidu organique ou minéral qui peut être solide, liquide ou même pâteux. Elle se distingue par son apparence, mais plus précisément, c'est son origine chimique qui détermine sa filière de traitement [41]

Les boues d'épuration sont des déchets recyclables produits par les procédés d'évaporation des eaux usées industrielles et urbaines. Ces suspensions complexes sont faites d'eau, de matériaux organiques et inorganiques de différentes tailles et d'une gamme très diversifiée de micro-organismes. [41]

3.2 Types de boues :

La dernière étape et la plus importante dans le traitement de l'eau usée est la création de boues. Selon l'origine, On distingue différents types de boues:

3.2.1 Boues primaires (boue de prétraitement) :

Ils sont obtenus par décantation directe d'un résidu insoluble. Certaines boues sont directement attribuables à un certain type de pollution. Ils sont fabriqués par les secteurs de la cellulose, des mines et de la transformation des minéraux, ainsi que par les industries agroalimentaires qui produisent des déchets à base de fibres. [42]



Figure I.5 : Boues primaires [40]

3.2.2 Boues biologiques (boue secondaire):

Ce sont des boues produites d'un traitement bactérien de fluides à concentrations modérées (10 g/l). Ils comprennent beaucoup de matériaux organiques et sont principalement faits de restes de bactéries qui ont été "cultivés" dans les travaux de purification. Ces bactéries se nourrissent de substances organiques trouvées dans l'eau usagée qui a été digérée. [43]



Figure I.6 : Boues biologiques [40]

3.2.3 Boues physico-chimiques (boue tertiaire):

Bien que physiquement similaires aux boues primaires, les boues physico-chimiques contiennent également certains produits flocculants. Si un réactif, comme le fer ou l'aluminium, ou d'autres agents flocculants ont été ajoutés à l'eau utilisée pendant le traitement, il peut y avoir des particules fines agglomérées et une séparation améliorée. Par conséquent, 90 % des SEM peuvent être saisis. Séparés par date, les boues obtenues renvoient une partie importante des sels minéraux de l'eau brute et de l'agent coagulant. [43]



Figure I.7 : Boues physico-chimiques [40]

3.3 Caractéristiques physiques des boues :








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

Figure I.8 : Caractéristiques physiques des boues [40]

Chapitre II : Matériels et Méthodes

II.1 Zone d'étude : STEP de Spa :

1.1 Description de la station d'épuration CO.G.B Labelle de Bejaia :

1.1.1 La station d'épuration de CO.G.B Labelle :

La station d'épuration UP 7 comprend :

- ✓ 4 bacs de stockage des eaux usées provenant des différents ateliers de Production,
- ✓ Un flottateur pour l'élimination de la matière grasse,
- ✓ Un épaisseur pour l'élimination de la salinité,
- ✓ Un bassin d'aération à boue activée avec 04 turbines d'aération : c'est un réacteur biologique dans lequel s'effectue la transformation de la matière organique par les microorganismes aérobies,
- ✓ Un bassin de dégazage : placé à l'aval du bassin d'aération, il facilite l'élimination des bulles d'air présente dans la liqueur en transit vers le décanteur secondaire,
- ✓ Un clarificateur dans lequel s'effectue la séparation de l'eau épuré et de la matière en suspension,
- ✓ Un dispositif de recirculation assurant le retour vers le bassin d'aération des boues biologique récupérées dans le dégazeur. Cela permet de maintenir dans ce bassin la quantité de micro-organismes nécessaire pour assurer le niveau d'épuration recherché
- ✓ Un dispositif d'extraction et de traitement des boues (Pressdeg),
- ✓ Un dispositif de récupération et de recyclage de l'eau.

1.1.2 Situation de l'entreprise CO.GB labelle Bejaia :

Le complexe industriel CO.GB labelle Bejaia, implanté dans la zone industrielle de la capitale des Hammadides est considéré l'un des plus grands complexe en Algérie disposant d'une technologie de pointe, il s'étend sur une superficie de 108800 m², dont 56500 couvert. Il est limité par :

- ✓ La route des Aurès et l'ENTP/SPA à l'ouest
- ✓ ALCOST/SPA et oued sghir au nord
- ✓ SN LB liège au sud
- ✓ L'EDIMIA à l'est



Figure II.1 : localisation de la STEP (Plans iphone)

1.1.3 Source et nature des effluents (Documentation interne CO.G.B, 1989) :

Compte tenu de l'importance de la charge polluante continue que reçoit la station d'épuration, si le complexe fonctionne normalement conformément à la technologie prévue, le STEP doit recevoir des rejets bien définis quant à leur composition.

➤ **Bâtiment de raffinage :**

Le raffinage des huiles fait rejeter chaque jour 185m³ d'eau usées chargé de :

- ✓ Matière grasse,
- ✓ Les mucilages,

- ✓ Savon provenant des eaux de lignes de neutralisation,
- ✓ Les acides citriques,
- ✓ Na Cl provenant du procédé de wintérisation (extraction des cires dans l'huile raffinée),
- ✓ Na₂CO₃ provenant de procédé de wintérisation,
- ✓ Na₂SO₄ provenant du procédé de scission des pates,
- ✓ H₃PO₄ provenant du procédé d'hydrolyse,
- ✓ MES (matières en suspension).

➤ **Tour de refroidissement raffinage :**

Les circuits de refroidissement à eau propre sans pollution organique peuvent être évacués directement vers l'extérieur sans traitement. Cependant, la quantité de matière verte qui est entraînée dans le circuit de refroidissement de vente d'eau ne dépasse jamais 300 ppm et oscille souvent autour de 120 ppm. Cependant, gardez à l'esprit que les matières organiques existent généralement en très petites quantités. En ce qui concerne les purges, elles se produisent à la station du bassin biologique pour le traitement des eaux usées.

➤ **Lavage des sols du bâtiment de raffinage :**

Il était prévu de laver le sol dans ce bâtiment en une quantité qui atteindrait un volume total de 18 m³/j pour une production moyenne maximale de 100 kg de matériel herbeux. Le lavage de la terre passe à la carafe où elle est combinée avec des produits de raffinage des déchets.

➤ **Bâtiment de conditionnement d'huile :**

Concernant cet atelier, le seul polluant à prendre en compte est la perte accidentelle d'huile des bouteilles perforées. On prévoit que ce bâtiment utilisera un maximum de 18 m³/j d'eau de lavage des sols chargée de 90 kg d'herbe. Le bassin de décanteur est utilisé pour recueillir cette eau.

➤ **Bâtiment de savonnerie :**

Le débit moyen dans cet atelier est de 1 m³/h à partir du raffinage de glycérine contenant du glycol, du naphthalène et du matériel herbeux.

➤ **Lavage des sols du bâtiment de la savonnerie :**

Pour cette structure, on prévoit un volume maximal de 18 m³/jour rempli d'un maximum de 100 kg d'herbe. L'ensemble de ces eaux s'écoulait dans le bassin de stockage ou le bassin décanteur.

➤ **Tours de refroidissement de la savonnerie :**

- ✓ Les tours de refroidissement des eaux propres de la savonnerie et de la glycérierie, comme celles de raffinage, sont pour les mêmes raisons directement rejetées dans l'égout.
- ✓ Les tours de refroidissement des eaux dites sales sont purgées vers le traitement des eaux usées et aboutissent au bassin d'aération biologique.

➤ **Bâtiment de la margarinerie :**

Les rejets de la margarinerie contiennent essentiellement de la matière grasse

1.1.4 Différentes étapes de traitements :

➤ **Prétraitement :**

✓ **Stockage :**

Quatre sacs de 50 m³ (A, B, C et D) contiennent les divers effluents de production des usines qui utilisent des matières organiques, minérales et à base d'herbe.

Dans le but de produire les acides gras distillés nécessaires à la fabrication du savon, les eaux de raffinage et de CDH usagées seront stockées dans le bac A, qui a un entonnoir pour recueillir la grasse. Ce fond de savon sera ensuite utilisé pour créer le savon. Tandis que les déchets de l'atelier savonnerie et margarinerie seront stockés dans le bassin D.

Les deux autres bacs, d'autre part, sont destinés au stockage gravitationnel de l'eau transvasé pour empêcher tout désossage. Le contenu des quatre réservoirs de stockage sera déplacé à l'intérieur de la station afin que les eaux stockées puissent subir divers traitements.



Figure II.2 : le prétraitement

➤ **Traitement physico-chimique :**

Le traitement physico-chimique comporte 2 étapes :

- ✓ **Elimination de la matière grasse :**
- **Acidification :**

L'eau brute provenant des bacs de stockage des eaux usées de L'UP07 est soumise à une acidification dans un réservoir de mélange par l'ajout de l'acide sulfurique afin d'obtenir un pH de 2 à 4. Le poste d'acidification est accompagné par une boucle de régulation d'un pHacide. L'acidification du milieu favorise la séparation et la composition de la matière grasse.

➤ **Flottation :**

La flottation consiste à séparer les matières grasses contenues dans le liquide en les rassemblant par les racleurs vers un bac de stockage pour devenir une huile acide dans le raffinage. Elle est effectuée par l'insufflation de quelques millions de bulles d'air

Celles-ci se fixent aux particules grasses. Elles sont éliminées par un système de raclage. L'eau épurée, ayant un pH acide, s'écoule par un déversoir vers le bac de neutralisation.

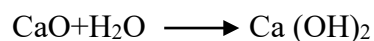


Figure II.3 : la flottation

✓ **Elimination de la salinité.**

➤ **Neutralisation :**

Les eaux usées provenant des différents ateliers de production contiennent des composés acides ou alcalines nécessitant une neutralisation avant de les rejeter dans le milieu naturel. L'eau sortante du flottateur est acide. Elle passe donc dans un bac de neutralisation par le lait de chaux à 10% selon la réaction :



Ce poste de neutralisation est doté d'une boucle de régulation de pH qui indique la nature de l'eau :

- Si le pH est inférieur à 6.5 donc le pH mètre donne un signal pour l'ouverture de l'électrovanne afin de rejeter le lait de chaux au premier bac.
- Si le pH est supérieur ou égale à 8, le pH mètre donne un signal pour l'arrêt du dosage au lait de chaux par la fermeture de l'électrovanne.

Les eaux neutralisées sont pompées vers l'épaississeur où se déroule la décantation des précipités formés.



Figure II.4 : Neutralisation.

➤ **Épaississement par décantation :**

Le but de l'épaississement est de séparer les particules de l'eau par décantation. Pour faciliter ce processus, nous ajoutons un coagulant tel que le sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3$, qui sera automatiquement injecté dans l'épaississeur avec une capacité de 23 m³ cylindro-cône forme. Les particules décantées créent des boues d'extraction qui sont retirées du fond de l'évaporateur pendant que le liquide est envoyé dans le bassin biologique. [18]



Figure II.5 : coagulant

➤ **Traitement biologique :**

Les eaux résiduaires industrielles de la station de CO.G.B Labelle sont chargées de matières organiques et sont susceptibles d'un traitement d'épuration biologique au niveau d'un bassin d'aération de forme rectangulaire et d'un volume de 1300 m³.

Les effluents ayant subi un traitement physico-chimique sont envoyés vers le bassin biologique qui permet la dégradation des matières organiques des eaux usées grâce à des bactéries aérobies. Les 4 turbines de surfaces apportent l'oxygène nécessaire à la vie et à la croissance bactérienne et brassent la liqueur.



Figure II.6 : Bassin biologique

➤ **Dégazeur et recyclage des boues :**

La liqueur mixte provenant (eau + boue) du bassin biologique est envoyée vers un bassin rectangulaire d'un volume de 123 m³ pour la succion des boues. Les boues biologiques décantent et le liquide surnage. Ce décanteur possède à la surface un pont roulant racleur et suceur qui consiste à aspirer la boue puis l'envoyer vers la rigole de recyclage, tandis que le liquide surnageant passe vers un clarificateur.



Figure II.7 : Bassin de dégazage

➤ **Traitement tertiaire – Clarification / Filtration :**

L'effluent provenant du bassin de dégazage passe à travers une tuyauterie vers un décanteur circulaire d'un volume de 30 m³. Pour baisser la teneur en DCO à 120 mg/l et garantir une teneur en matière en suspension (MES) inférieure à 60 mg/l. Il est nécessaire de traiter l'eau à l'aide d'une combinaison d'un flocculant et un coagulant.

Le décanteur clarificateur est constitué par un bassin à fond plat, muni à sa base d'une série de tuyaux perforés permettant d'introduire l'eau à traiter sur tout le fond du décanteur. Pour alimenter le collecteur inférieur d'une manière discontinue, différents moyens peuvent être employés. Il consiste à stocker, pendant un certains temps, un volume d'eau brut, que l'on fait pénétrer ensuite dans l'appareil d'une manière aussi rapide que possible [44]

➤ **Traitement des boues :**

Les boues issues de l'épaississeur et du bassin de dégazage et celles piégées dans le clarificateur contiennent une teneur importante en eau. Pour l'éliminer, nous procédons à un

drainage sur un support filtrant avant pressage. Des polyélectrolytes sont appliqués dans le conditionnement des boues industrielles.

La déshydratation est l'étape finale de l'épuration qui s'effectue dans un appareil appelé «PRESSDEG». Elle permet, par compression d'éliminer une quantité d'eau et de transformer les boues en gâteaux. Ces derniers sont rejetés dans une benne avant d'être envoyés vers la décharge publique et l'eau résultante est recyclée dans le bassin biologique.

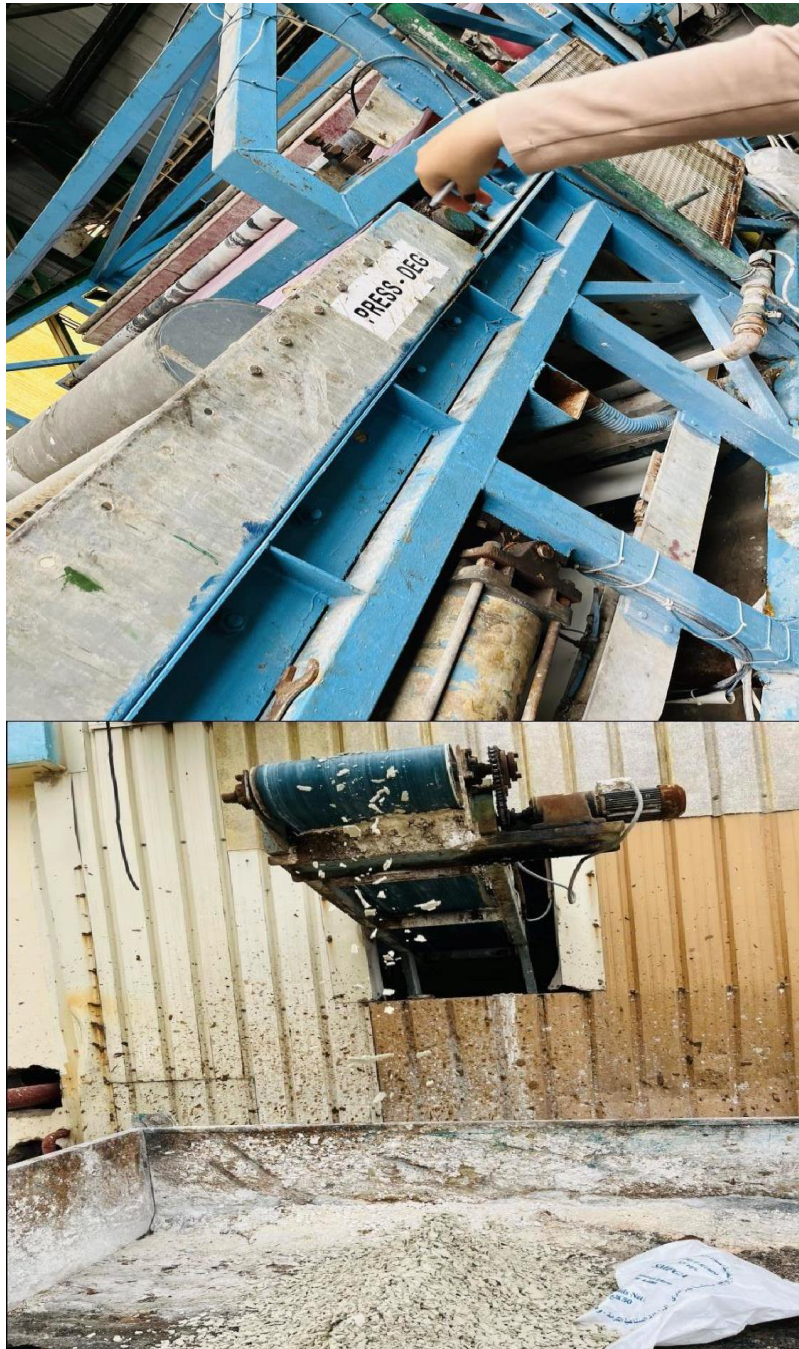


Figure II.8 : PressDEG

II.2 Performance de la STEP du Spa :

➤ Echantillonnage :

Notre expérimentation consiste à analyser les boues de la station d'épuration en vue de connaître leurs qualités physico-chimiques et métalliques.

L'échantillonnage proprement dit a été réalisé au cours de la période s'étalant du 09 mai au 08 juin de l'année 2023

➤ Les prélèvements :

On a pu prélever des échantillons de boue à l'aide d'une louche comme ceci :

- ✓ Au centre de l'épaississeur on a prélevé des échantillons de boue minérale
- ✓ Au centre du dégazeur on a prélevé des échantillons de boue organique

Les échantillons récoltés sont mis dans les bocaux en verre ou en plastique opaque probablement lavés, étiquetés. Les échantillons sont transportés au laboratoire d'analyse de CO.GB labelle de Bejaia dans une glacière, conservé au frais (4 C°).



Figure II.9 : Début d'analyse

2.1 Analyse physicochimique de la boue issue de la STEP :

2.1.1 Mesure du pourcentage de la matière sèche des boues :

➤ **Mode opératoire :**

- ✓ On rince d'abord un creusé vide avec de l'eau distillée ;
- ✓ On sèche le creusé, puis on le pèse ;
- ✓ On prend une quantité de boue, puis on la met dans le creusé vide séché ;
- ✓ On pèse le creusé et la boue ;
- ✓ On met le creusé à l'étuve à 105°C pendant 4 à 8 heures.
- ✓ Une fois refroidit dans le dessiccateur on pèse notre boue séché

Le calcul de la siccité se fait par la formule suivante :

$$\% \text{ MS} = \text{P2} - \text{P0} \times 100 (\%) / \text{P1} - \text{P0}$$

P0= le creusé vide (en g)

P1= le poids de la boue + le creusé (en g)

P2= le poids de la boue après le séchage (en g)

2.1.2 Mode opératoire de D.C.O :

- ✓ On ouvre une cuve ronde contient de jeu de réactif, on l'a tien inclinée.
- ✓ On ajoute lentement, sans mélanger 2 ml de notre échantillon à analyser prélevé préalablement avec une micropipette à pipette.
- ✓ On ferme la cuve à fond, on l'insert dans le récipient de sécurité et on secoue.
- ✓ On la place ensuite dans le bloc chauffant (réacteur DCO), et on enclenche le chauffage à 148C° pendant 2h.
- ✓ On fait sortir la cuve du bloc chauffant, on la secoue et on laisse refroidir à température ambiante. Puis on nettoie la cuve à l'extérieur.
- ✓ On mesure l'absorbance avec un photomètre de type N ANOCOLOR® et PF-10.



Figure II.10 : la haute

2.1.3 Détermination de la DBO₅ :

Cette méthode consiste à mesurer la consommation d'oxygène par voie biologique à température constante de 20°C et pendant un temps limité par convention à 5 jours. La DBO₅ a été mesuré en utilisant un DBO-mètre et la valeur de la DBO₅ est affichée directement sur son écran.



Figure II.11 : DBO mètre

2.1.4 Méthode d'analyse de la matière en suspension (MES) :

➤ Matériels utilisés :

- ✓ Flacon.
- ✓ Coupelle de porcelaine.
- ✓ Etuve à 105°C.
- ✓ Dessiccateur.
- ✓ Eprouvette 100 ml.
- ✓ Pince pour les coupelles.

➤ Mode opératoire :

- ✓ Bien homogénéiser la boue activée, par agitation du flacon.
- ✓ Peser une coupelle de porcelaine, propre et sèche : poids m_0 en gr.
- ✓ Introduire dans cette coupelle un volume V de boue activée de 50 ml
- ✓ Placer le dans l'étuve à 105°C, jusqu'à l'évaporation totale de l'eau contenue dans la boue activée. Cette étape nécessite au moins 12h.
- ✓ Peser la coupelle, après refroidissement, dans un dessiccateur

Expression de résultat :

$$Mes = [(m_1 - m_0) \times 1000] / V \text{ (mg/l)}$$

M_0 : La masse initiale de la coupelle en mg.

M_1 : La masse finale de la coupelle en mg.

V : Le volume de l'échantillon en ml



Figure II.12 : homogénéisation de la boue par agitation du flacon

2.1.5 M.V.S de Boue :

➤ **Matériels utilisés :**

- ✓ Coupelle de porcelaine.
- ✓ Four à moufle 550°C.
- ✓ Dessiccateur.
- ✓ Pince pour les coupelles.

➤ **Mode opératoire :**

Cette analyse est effectuée après la détermination des Mes

- ✓ A la fin de l'analyse des Mes, déterminer le poids des coupelles en porcelaine et des matières sèches qu'elles contiennent.
- ✓ Placer ensuite les coupelles en porcelaine dans un four à moufle 550°C pendant une durée de 2 heures.
- ✓ Après refroidissement dans le dessiccateur, les creusets ne contiennent que les cendres et à nouveau peser

Calcule de M.V.S de boue :

$$\text{M.V.S} = \text{P2} - \text{P3} \times 1000 / \text{volume d'échantillon}$$

P2= le poids de la boue après le séchage en gramme (g) (M.S)

P3= le poids de la boue après calcination (M.M.S)

2.1.6 Détermination du potentiel d'hydrogène (pH) :

➤ **Principe :**

Cette mesure physico-chimique s'effectue à l'aide d'un pH-mètre, permet de savoir si l'échantillon d'eau est acide, basique ou neutre.



Figure II.13 : PH mètre

2.1.7 Détermination de la matière grasse:

Peser 10g d'échantillon de la boue dans une cartouche d'extraction soit P_e ce poids, boucher à l'aide d'un coton et placer dans le soxhlet, mettre 150ml d'hexane dans un ballon de 500 ml préalablement pesé vide soit P_0 ce poids, raccorder le soxhlet au ballon déposer sur un chauffe ballon extraire pendant 4h , chasser le solvant par distillation et sécher le contenu du ballon en position horizontal pendant 1h à $105\text{ }^{\circ}\text{C}$, après refroidissement au dessiccateur P_1 soit ce poids

Avec :

$$\text{MG}(\%) = (P_1 - P_0) * 100 / P_e$$



Figure II.14 : Détermination de la matière grasse

2.1.8 Conductivité électrique (CE) :

Pour dissoudre les électrolytes, l'échantillon boues est extrait dans un rapport avec l'eau distillée. La conductivité électrique (CE) de l'extrait filtré est mesurée à l'aide d'un conductimètre, et le résultat est corrigé pour la température à 25 °C.

2.2 Analyse métallique de la boue issue de la STEP :

2.2.1 Préparation des échantillons :

L'étape la plus longue est la préparation des échantillons. Son but est d'obtenir un échantillon représentatif d'une boue avec une concentration de polluant aussi proche que possible de celle de la boue d'origine.

Les nombreux points soulevés dans l'analyse sont les suivants :

- ✓ Prétraitement des échantillons ;
- ✓ Extraction des polluants des échantillons ;
- ✓ Purification des extraits avant analyse.

Les démarches expérimentales pour la dissolution de notre échantillon sont :

- ✓ Séchage de la boue dans une étuve à 105°C pendant quatre (04) heures à Huit (08) heures.
- ✓ Calcination de la boue séchée dans le four à moufle à 525°C pendant un temps allant deux (02) heures. Les cendres obtenues en général sont facilement solubilisées en milieu acide.
- ✓ Calcination de la boue dans un four à Agatha, suivie de dompter la poudre pour éliminer les particules plus grosses. Les échantillons calcinés préparés sont utilisés pour mesurer divers polluants en utilisant une attaque acide. Nous avons préparé 1g de boue et une solution préalablement préparée d'eau égale (un mélange de 30 ml d'acide chlorhydrique à 38% et de 10 ml d'acide nitrique à 52%), et mélangé 1g de chaque échantillon de boue avec 10 ml d'eau égale. Toute la charge a été placée sur une plaque chauffée qui a été chauffée pendant trois heures à une température de 150 °C. Ce chauffage est connecté à un appareil qui utilise le reflux pour capturer la vapeur.

- ✓ Après refroidissement, le mélange est filtré à l'aide d'une pompe à vide dans un flacon à un col de 25ml. Le filtre est ensuite placé dans un entonnoir, le mélange est versé, et le perméat est recueilli dans un flacon avec de l'eau de distillation de couleur jauge. À la fin de cette étape, les échantillons sont entreposés dans des circonstances qui leur permettront de subir diverses analyses.



Figure II.15 : boues minéralisées

2.2.2 Protocole de caractérisation des métaux lourds :

Pour la détermination des métaux dans les échantillons, nous avons opté à la technique utilisée au sein du complexe CO.GB labelle Bejaia :

- La spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA).

2.2.3 Dosage des métaux lourds :

2.2.3.1 Principe :

La spectrophotométrie par absorption permet de doser une soixantaine d'éléments chimiques à l'état de traces (quelques mg/litre=ppm). L'analyse se base sur l'absorption de photons par des atomes à l'état fondamental, où nous utilisons à cet effet des solutions. La méthode est :

- Quantitative proportionnelle : il faut donc établir une courbe d'étalonnage.

Les mesures ont été effectuées avec un spectrophotomètre d'absorption atomique de type ICE 3000 SERIES AA Spectromètre, équipé d'un atomiseur piloté au moyen du logiciel.

Le principe de l'absorption est que la solution est aspirée en continue dans un nébuliseur qui la transforme en brouillard fin. Ce brouillard est ensuite aspiré vers le brûleur, où la flamme évapore l'eau et casse les molécules en atomes isolés.



Figure II.16 : Spectrophotomètre d'absorption atomique ICE 3000 SERIES AA Spectromètre.

2.2.3.2 Mode opératoire :

Pour la détermination des teneurs en métaux lourds nous avons procédé de la manière suivante : après établissement d'une courbe d'étalonnage qui délimitera la fourchette de mesure d'un métal bien spécifique, on prend une petite quantité de l'échantillon est prise dans un bécher préalablement préparé on plonge dedans un tube qui compose notre équipement, la solution est aspirée et la lecture de l'absorbance correspondante se fait directement sur l'écran de la SAA.

2.3 Règlementation mondiale et nationale des boues :

2.3.1 Règlementation mondiale :

L'option privilégiée dans la logique de la politique européenne de gestion des déchets qui privilégie le recyclage des matériaux est l'expansion. Depuis 1998, le règlement n°

86/278/CEE du 12 juin 1986 définit les pratiques agricoles pour les étangs municipaux de traitement des eaux usées. La Commission a l'intention de mettre à jour cette directive en proposant des valeurs limites ETM pour les étangs. (Tableau II.1)

Tableau II.1 : Teneurs limites en ETM actuelles et à long terme retenues par la commission européenne et les flux maximums cumulés apportés par les boues en 10 ans [45]

ETM (ppm)	Directive actuelle		Long terme (vers 2025)	
	Valeur limite dans les boues (g/t)	flux maximums cumulés, apporté par les boues 10 ans (g/ha)	Valeur limite dans les boues (g/t)	Flux maximum cumulés, apporté par les boues en 10 ans (g/ha)
Cd	20-40	150	2	6
Cr	-	-	600	1800
Cu	1000-1750	12000	600	1800
Hg	16-25	100	2	6
Ni	300-400	3000	100	300
Pb	750-1200	15000	200	600
Zn	2500-4000	30000	1500	4500

2.3.2 Règlementation nationale :

Après avoir été informé de plusieurs risques liés aux aspects bactériens et métaux lourds, l'expansion en Algérie se produit. En outre, l'agriculteur n'est autorisé à cultiver des colonies d'abeilles que dans des cultures de plantes ornementales (pépinière) dans les régions Step suivantes : Hadjout, Boumerdès, Kolea, Ain defla et Chelif. La valeur ajoutée agricole des bovins est encore au stade expérimental, avec quelques tentatives limitées dans certains STEP. En l'absence d'un cadre réglementaire. Le processus de gestion environnementale que l'ONA a lancé permet d'identifier les facteurs environnementaux et, par conséquent, de créer un plan d'action pour en atténuer les effets. [46]

Il faudra réduire l'impact de la production de boue, qui est encore un facteur environnemental important.

Les lois et règlements qui régissent la réglementation de l'évaluation des boues agricoles en Algérie sont les suivants :

- **Loi n°2001-19 du 12 Décembre 2001** : relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets qui oblige à trouver une solution au devenir des boues de STEP.

- **Décret Exécutif n°2006-104 de 28 Février 2006** : fixant la nomenclature des déchets qui classe les boues de STEP comme des déchets spéciaux voir même dangereux en cas de présence d'eaux d'origine industrielle. [46]

II.3 Différentes voies de valorisation et d'élimination des boues :

3.1 Valorisation agricole des boues :

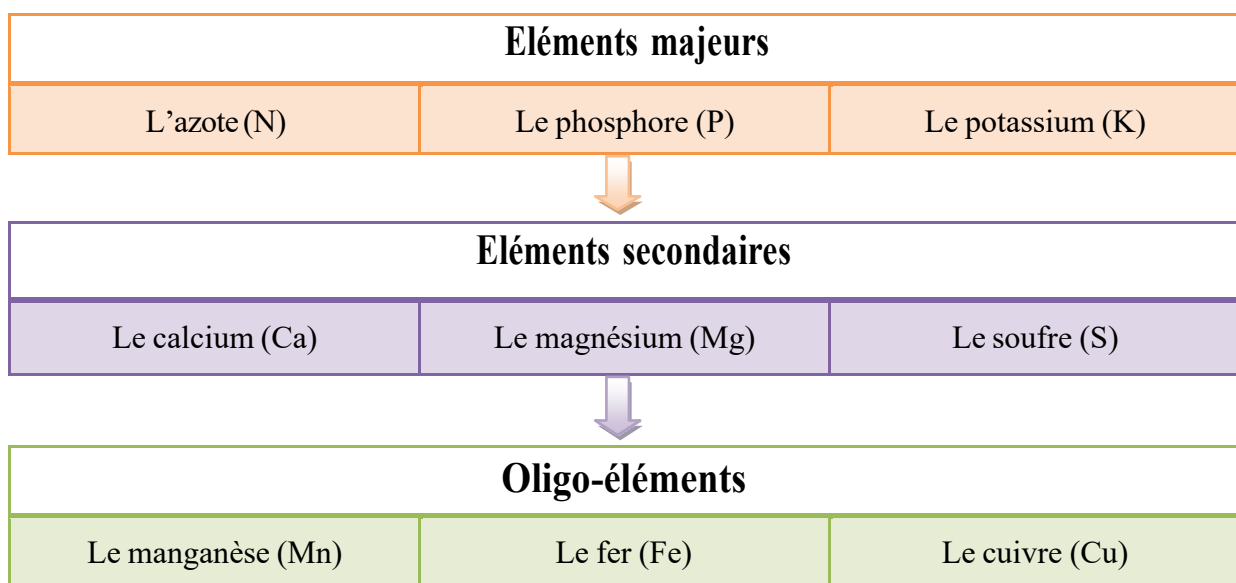
L'utilisation agricole est l'approche la plus avantageuse sur le plan économique et la plus respectueuse de l'environnement. Le produit doit être attrayant et aussi homogène que possible pour une utilisation optimale ou indésirable.

Cette pratique, utilisée depuis plus de 30 ans, constitue une alternative particulièrement respectueuse de l'environnement car elle permet de recycler la matière organique nécessaire au sol. En outre, les boues ont un engrais légèrement acide, permettant à l'agriculteur d'utiliser des engrais moins conventionnels et de réduire les coûts. Que ce soit sous sa forme (expansion d'un liquide, pâte, solide ou semi-solide), l'évaluation agricole doit être précédée d'une enquête approfondie qui prend toutes les précautions scientifiques, techniques et juridiques nécessaires. [47]

3.1.1 Intérêts sanitaires, économiques et environnementaux :

- ✓ Le recyclage de l'économie des ressources non renouvelables et de l'environnement naturel.
- ✓ Éviter d'investir dans des filières plus coûteuses.
- ✓ Réalisation d'économies suite à la flambée spectaculaire du prix des engrais. [40]

3.1.2 Valeur agronomique des boues d'épuration : engrais : [40]



3.2 Valorisation énergétique des boues :

3.2.1 Méthanisation : Définition et Principe :

➤ Définition de la méthanisation

La méthanisation (aussi appelée fermentation anaérobie) est un processus biologique qui permet l'utilisation de matières organiques partiellement dégradées en l'absence d'oxygène (processus appelé digestion anaérobie). Ce procédé permet de produire du biogaz, une source d'énergie renouvelable, ainsi qu'un digestat utilisé comme engrais. [40]

➤ Principe de la méthanisation :

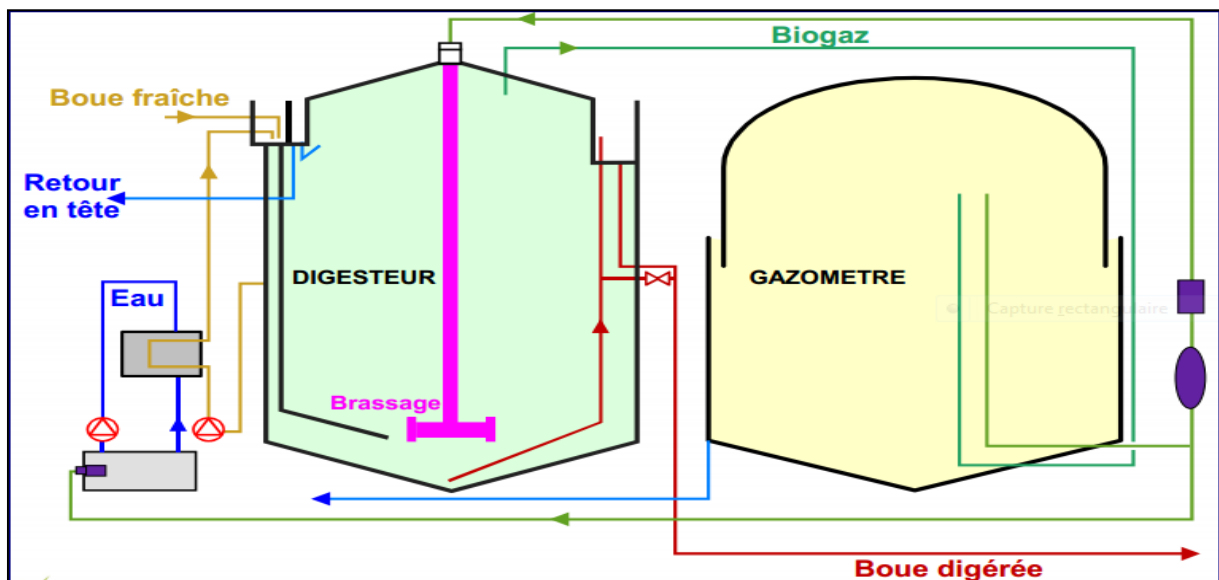


Figure II.17 : Principe de la méthanisation [40]

3.2.2 Principales phases du processus de méthanisation :

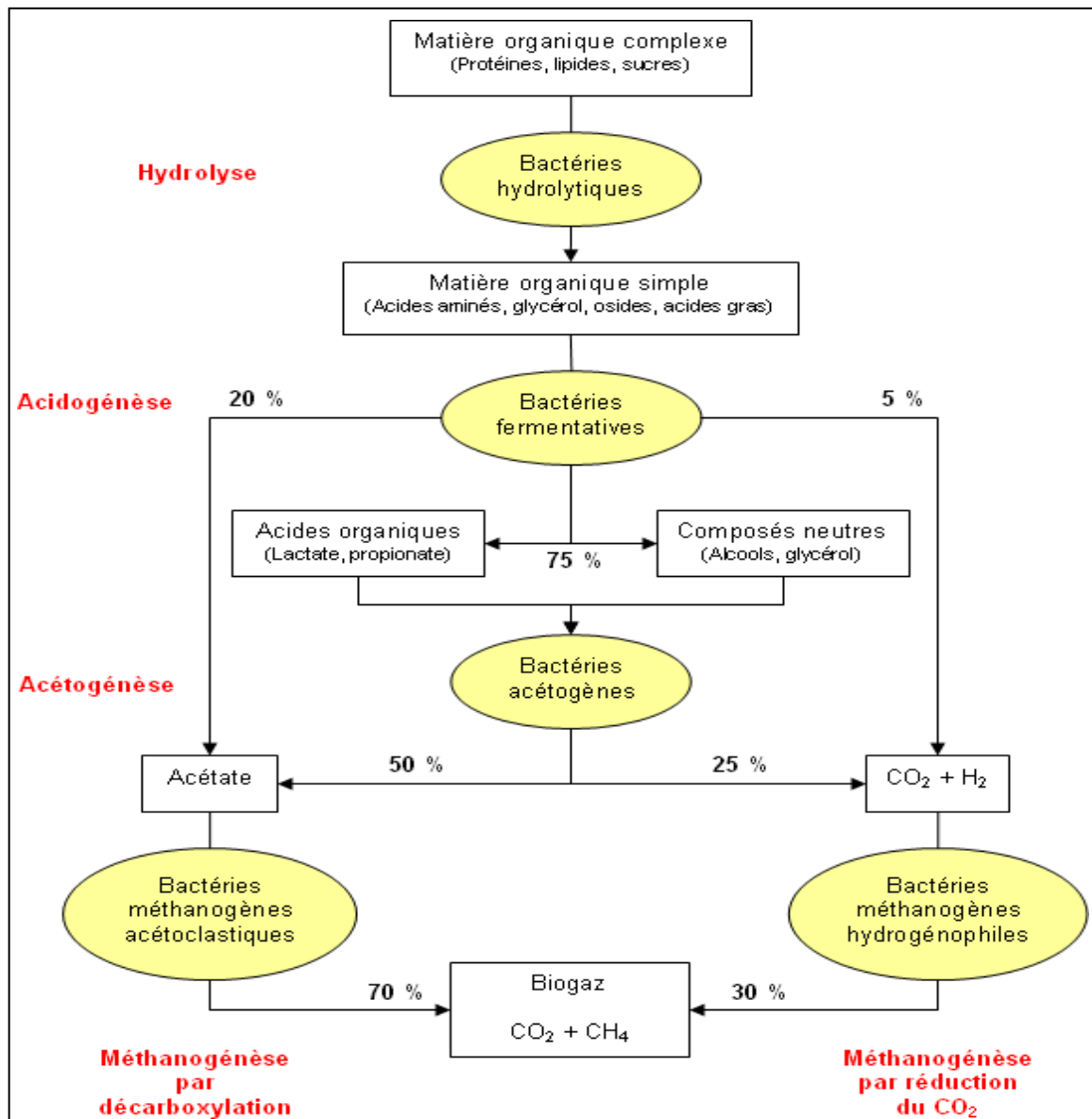


Figure II.18 : Schéma descriptif des principales phases du processus de méthanisation [40]

3.2.3 Equivalence énergétique du méthane :

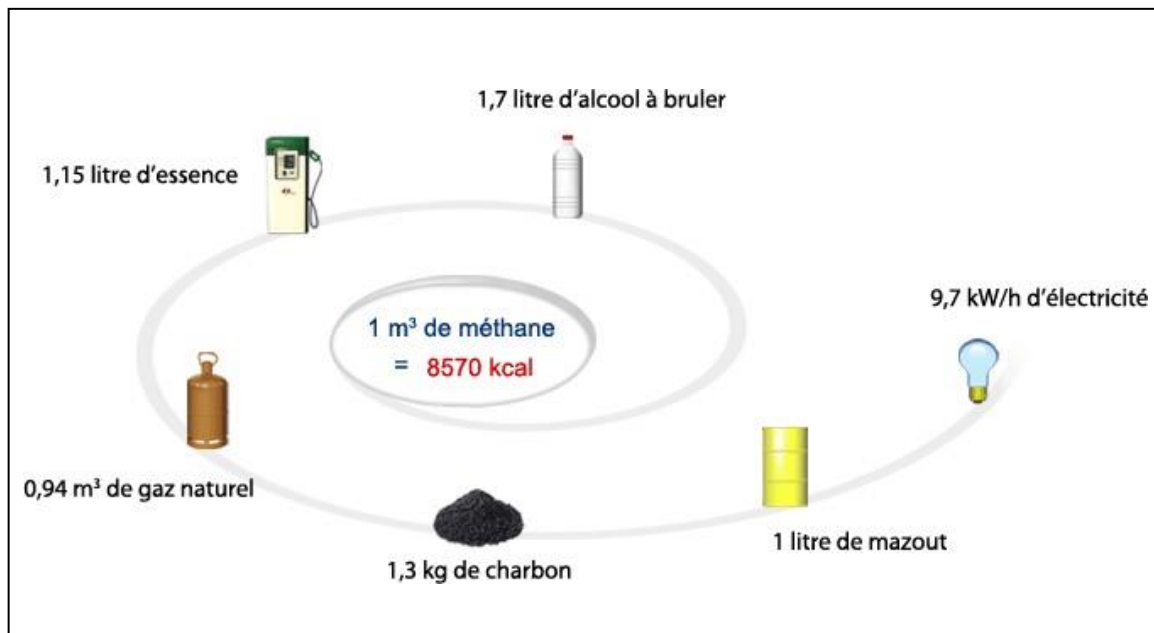


Figure II.19 : Equivalence énergétique du méthane [40]

3.2.4 Composition du Biogaz :

Les principaux composants du biogaz sont le méthane inflammable et le gaz carbonique inerte. L'hydrogène et le soufre d'hydrogène (H₂S) sont deux gaz supplémentaires qui peuvent contribuer de façon mineure à la composition du biogaz. La quantité de ces gaz est étroitement liée au degré d'avancement de la méthanisation. [40]

Tableau II.2 : Composition du Biogaz [40]

Nature du gaz	Proportion (en %)
Méthane (CH ₄)	50 - 80
Dioxyde de carbone (CO ₂)	20 - 50
Hydrogène sulfuré (H ₂ S)	0 - 0,5

3.2.5 Propriétés du biogaz :

Parce que c'est un gaz qui est sensiblement plus léger que l'air, le biogaz brûle avec deux fois moins de calories par unité de volume que le gaz naturel. Cette énergie renouvelable peut être utilisée de diverses façons, y compris la combustion pour la production de combustible, d'électricité et de chaleur.

Le PCI est la puissance calorifique inférieure lorsque l'eau produite par cette combustion est encore en phase vapeur :

- ✓ Le PCI du méthane à 0°C à pression atm = 9,94 kWh/m³.
- ✓ Pour le biogaz, le PCI sera proportionnel à sa teneur en méthane (par exemple, pour un biogaz contenant 70% de méthane, le PCI sera de $9,94 \times 0,7 = 6,96$ kWh/m³).

3.2.6 Voies de valorisation du biogaz : thermique, électrique et énergétique :

➤ Valorisation thermique:

- ✓ Pour chauffer le digesteur, les locaux pour sécher les boues
- ✓ la teneur en CH₄ du biogaz peut descendre jusqu'à 20%.
- ✓ La chaleur de combustion du biogaz peut aussi servir pour la production d'eau chaude

➤ Valorisation électrique: au moins 40% de méthane

➤ Valorisation énergétique mixte ou cogénération

Production du **biocarburant**, un minimum de 96% de méthane

Injection du méthane épuré dans le **réseau de gaz naturel** (pas encore autorisée) [40]

3.3 Différentes voies de valorisation et d'élimination des boues :

3.3.1 Épandage : Apports des boues sur le sol, selon une répartition régulière :

Un changement dans la structure du sol a un impact favorable sur les caractéristiques physiques du sol, en particulier sa conductivité hydrologique et sa porosité totale, [48] la stabilité structurale, la densité apparente et le mouvement de l'air et de l'eau, la pénétration des racines dans le sol et la disponibilité des nutriments pour les plantes [49]

1 La stabilité structurale :

La stabilité des agrégats est corrélée à la quantité de carbone organique dans le sol. [50] Les quantités sont plus stables dans cette condition cyclique puisqu'elles augmentent sensiblement avec les boues. [51]

L'apport de boues résiduelles améliore la stabilité structurale du sol [52]

2 Réserve en eau :

Selon les mêmes auteurs, l'incorporation de boues dans le sol limoneux entraîne une augmentation de 5% de la teneur en eau. La richesse des boues en matière organique améliore l'équilibre hydrique du sol en augmentant la réserve d'eau utilisable. Toutefois, une telle action exige une contribution importante au dioxyde de carbone. Selon certains auteurs, seules les extensions de boue à fortes doses (plus de 100 TMS/ha) sont capables d'affecter positivement le rendement de l'eau utilisable. L'expansion des boues résiduaires peut également avoir un impact sur l'approvisionnement en eau du sol. [53]

3 La perméabilité :

L'expansion des boues dans le sol le rend plus perméable ou accélère l'infiltration d'eau, ce qui affecte la structure. Cette augmentation semble être le résultat d'une concentration anormalement élevée de matière organique suite aux modifications (organique, fumier, lisier, compost, boues). [54]

3.3.2 Méthanisation: Matière organique +microorganismes (anaérobiose) Biogaz :

La méthanisation permet de valoriser les boues des stations d'épuration urbaines (STEU) et industrielles (STEP) pour produire de l'énergie. la méthanisation des boues se réalise dans une cuve fermée, brassée et chauffée. La matière y séjourne environ 3 à 4 semaines et produit du biogaz. Ce dernier est récupéré, stocké et valorisé pour la production de chaleur, d'électricité et carburant pour véhicules.

La méthanisation des boues permet :

- ✓ de réduire de 40 % en moyenne les quantités de boues à traiter dans la station.
- ✓ d'éliminer fortement les nuisances olfactives.
- ✓ de réduire les teneurs en composés organiques volatils.
- ✓ de produire une matière bien acceptée en agriculture (le digestat) facilitant l'élaboration d'un plan d'épandage.
- ✓ de faciliter la récupération de l'azote et du phosphore qu'elles contiennent ;
- ✓ de valoriser énergétiquement du biogaz en chaudière, cogénération (chaleur et production d'électricité) ou en injection. [55]

3.3.3 Compostage: Matière organique (boue+Co- produit) +microorganismes :

Le règlement régissant le retour des conteneurs au sol (qu'ils soient vides ou remplis de compost) a été discuté dans le cadre de la proposition législative 2019 relative à la lutte contre le gaspillage et l'économie circulaire. La loi 1 a été officiellement publiée dans la revue le 11 février 2020, et elle contient un article (article 86) spécifiquement consacré aux stations d'épuration. Avant le 1er juillet 2021, cette disposition exige une révision de la réglementation régissant l'utilisation des réservoirs d'évaporation. De plus, un processus réglementaire sera utilisé pour déterminer les circonstances dans lesquelles les boues peuvent être compostées. Ces dispositions pourraient toucher les bacs de compostage pour les barils de purification. Ces derniers sont construits essentiellement sur l'idée de combiner :

- ✓ La boue, déchet organique pâteux, compact et fermentescible. Par « boue » il est entendu boues issues du traitement des eaux usées domestiques ;
- ✓ Un co-produit structurant, dont la fonction est notamment d'apporter une porosité nécessaire pour l'aération du tas de compost. Ce rôle est en général assuré par des déchets verts et/ou par les refus de criblage. [56]

3.3.4 Incinération :

Réaliser l'annihilation des matières organiques des déchets par la combustion à haute température (plus de 500 °C), ce qui entraîne des émissions et des restes de matières minérales connues sous le nom de cendre. Le but des économies d'énergie est d'utiliser la chaleur au lieu des combustibles fossiles pour le chauffage industriel ou urbain. [57]

Les résidus de l'incinération peuvent être utilisés pour les travaux publics. [58]

Les principales limites de cette méthode sont directement liées à un investissement très coûteux, malgré son potentiel de réduction significative du volume de déchets. Les boues seules ne sont pas auto-combustibles; elles ont plutôt besoin de contenants spéciaux et d'une combinaison avec d'autres déchets, comme les déchets domestiques dangereux. [59]

Ce traitement peut être réalisé avec ou sans optimisation énergétique, mais son impact environnemental est inintéressant car il entraîne une pollution atmosphérique.

3.3.5 Mise en décharge ou Centre d'Enfouissement Technique (CET) :

La mise en décharge implique le remplissage de boue (parfois mélangés avec des procédures de gestion) tout en tenant compte de certaines exigences. Compactage des déchets, excavation du site, récupération et traitement des fluides de rejet (lixiviats), équipement et gestion du site [60] Les boues doivent probablement être stabilisées et déshydratées (une teneur en humidité minimale de 30 % MS ou une humidité maximale de 70 %) avant d'être entreposées en décharge. [61]

Chapitre III : Résultats et discussion :

III.1 Résultats de l'analyse physicochimique de la boue issue :

Un tableau de données a été établi (voir annexe 10) pour montrer l'évolution de chaque paramètre mesuré au cours de la période d'étude, qui est définie du 9 mai au 8 juin 2023.

Ce tableau présente les résultats des analyses physico-chimiques de divers échantillons, il s'agit de (pourcentage de la matière sèche, DCO, DBO5, la matière en suspension MES, MVS, PH, la matière grasse MG, la conductivité électrique (CE).

1.1 Pourcentage de la matière sèche :

D'après la figure III.1, l'évolution à long terme de la matière sèche permet de quantifier l'évolution de sa teneur minérale et organique, en outre les résultats du STEP de CO.GB Bejaia varient entre 18,29 % et 43,17% avec une moyenne de 30,83% au niveau de la boue minérale et entre 1,57 % et 17,33 % avec une moyenne de 8,784% au niveau de la boue organique.

Les résultats obtenus dans les analyses de la boue minérale sont largement écartés par rapport à ceux de la boue organique.

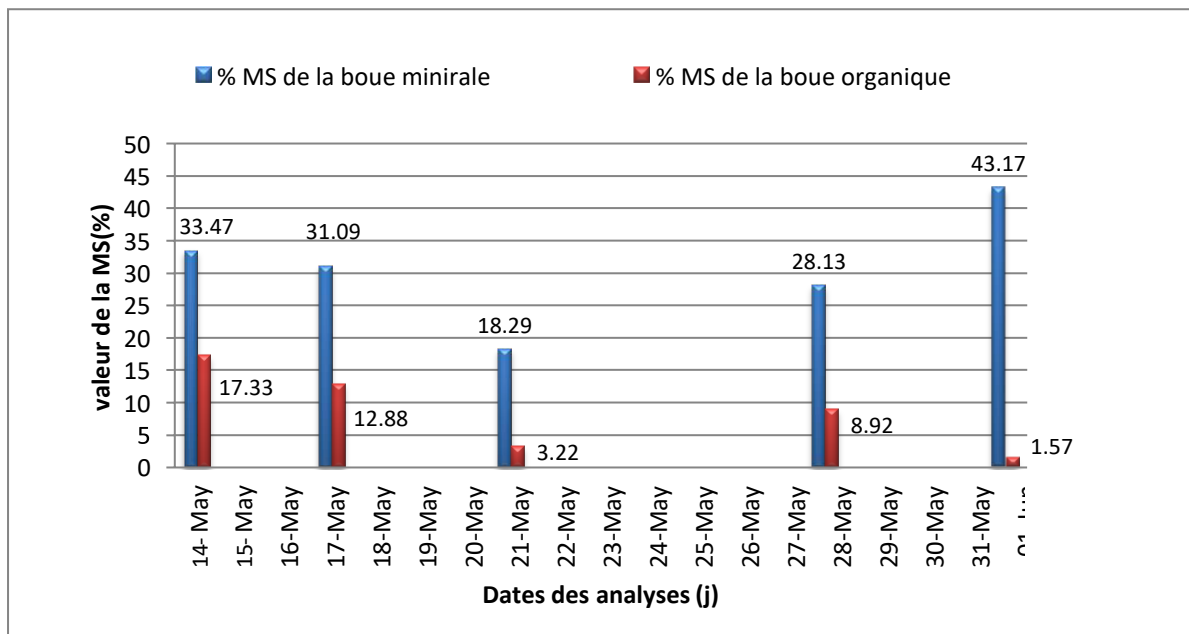


Figure III.1 : évolution du Pourcentage de la matière sèche de la boue minérale et organique de la STEP de CO.GB labelle Bejaia

1.2 La demande chimique en oxygène (DCO) :

La figure suivante montre l'évolution du DCO pour la boue minérale avec des valeurs plus élevées, enregistrant un maximum de 91000 PPM, un minimum de 69000 PPM, et une moyenne de 81000 PPM, par opposition au boue organique, qui a enregistré un maximum de 86000 PPM, un minimum de 61000 PPM, et une moyenne de 74800 PPM.

Cette différence doit être clarifiée en présence de sels qui agissent sur la DCO.

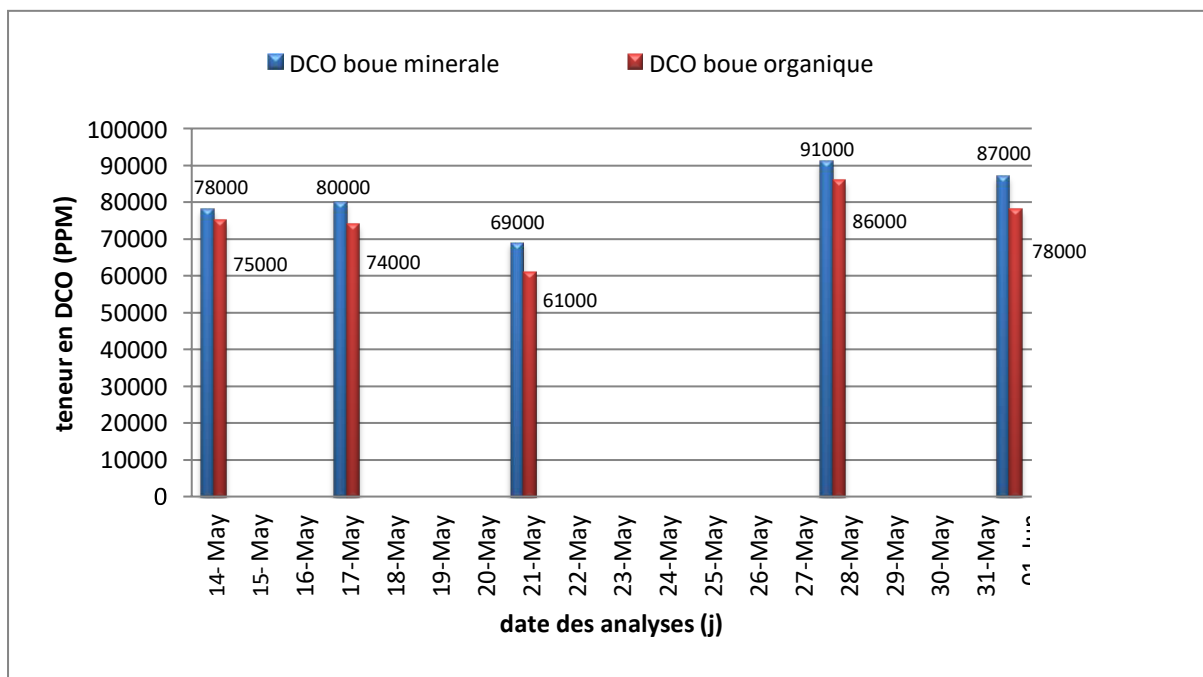


Figure III.2 : évolution de la demande chimique en oxygène de la boue minérale et organique de la station d'épuration de CO.GB labelle Bejaia

1.3 La demande biologique en oxygène (DBO5) :

La figure III.3 montre que les valeurs de DBO5 vont de 21098,45 ppm à 24687,87 ppm avec une moyenne de 22801,789 ppm pour la boue minérale et de 19876,45 ppm à 22678,78 ppm avec une moyenne de 21162,326 ppm pour la boue organique.

Cette modification des valeurs de DBO5 est remarquablement conforme à la modification des valeurs de la DCO.

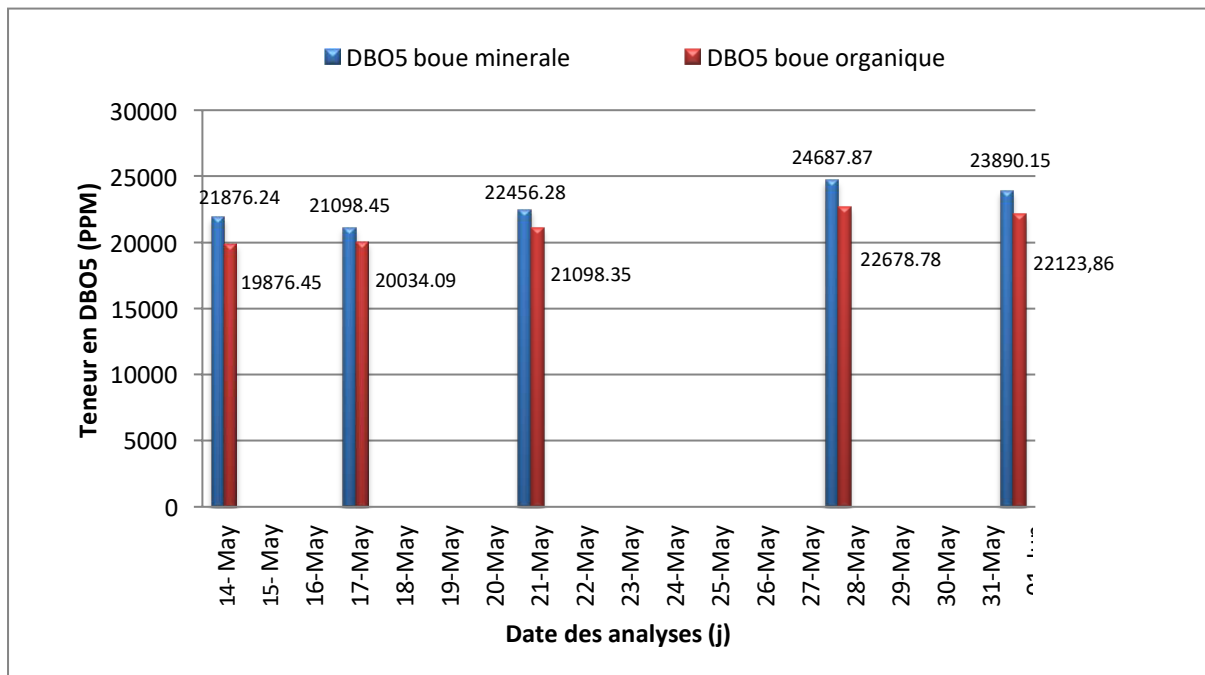


Figure III.3 : évolution de la demande biologique en oxygène de la boue minérale et organique de la station d'épuration de CO.GB labelle Bejaia

1.4 La matière en suspension :

Selon la figure III.4, l'évolution des valeurs de la matière en suspension de ces boues montre que les valeurs de la boue minérale et de la boue organique sont identiques, enregistrant avec le premier des valeurs maximales de 340 PPM et des valeurs minimales de 193 PPM avec une moyenne de 273 PPM et le deuxième atteignant des valeurs maximales de 333 PPM et des valeurs minimales de 206 PPM sans dépasser des valeurs moyennes de 269,6 PPM.

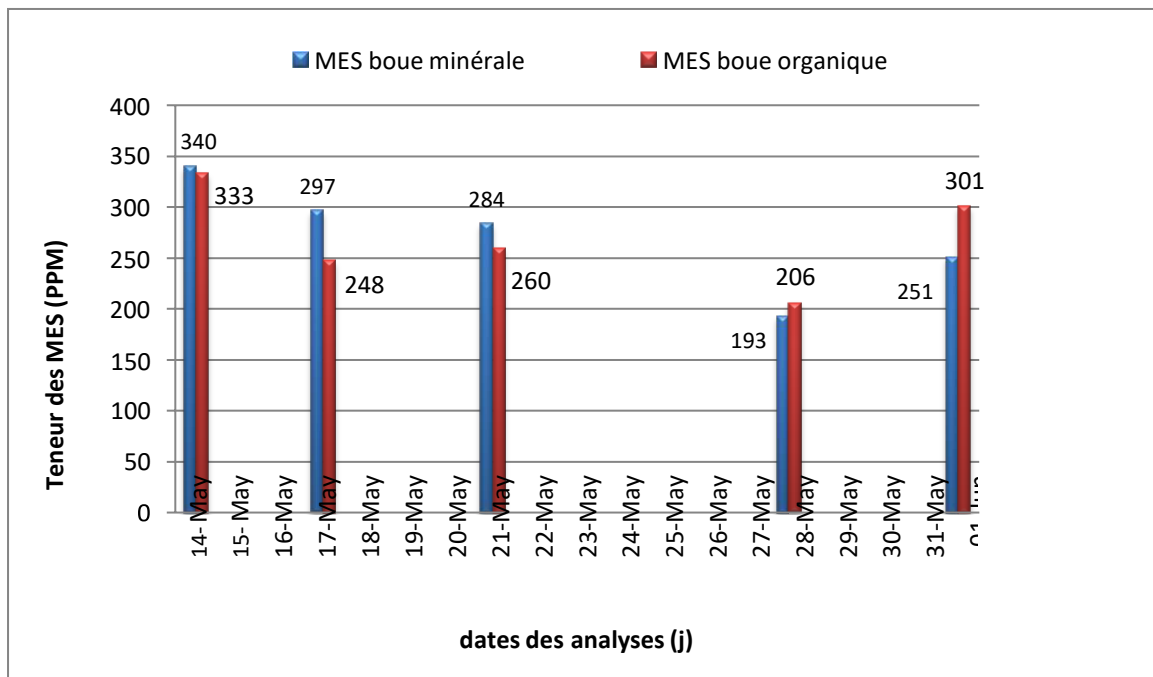


Figure III .4 : évolution de la matière en suspension (MES) de la boue minérale et organique de la station d'épuration de CO.GB labelle Bejaia

1.5 La matière volatile sèche (MVS) :

La figure III.5 montre que la MVS au niveau de la boue minérale varie entre 107,87 g et 100,5 g avec une moyenne de 102,816 g, et la MVS au niveau de la boue organique varie entre 101,34 g et 101,01 g avec une moyenne de 100,614 g, ce qui indique que les valeurs moyennes des deux boues sont presque identiques. Ceci s'explique par la richesse de boues étudiées en matière organique dans les deux boues, minéral et organique.

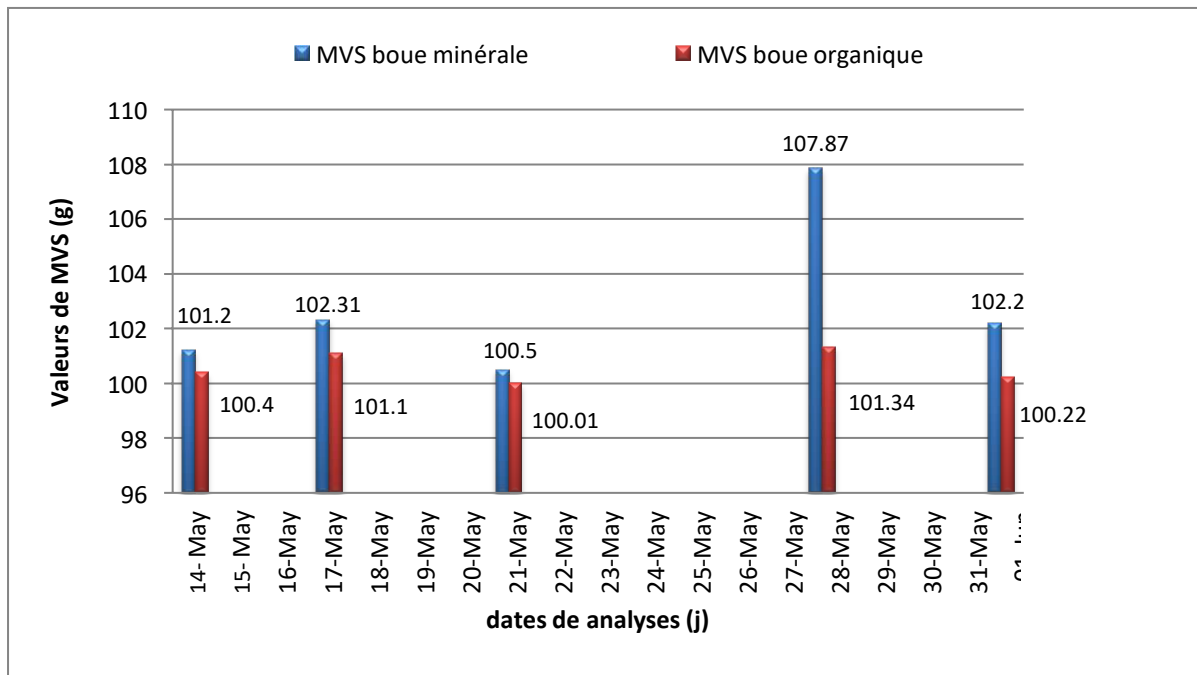


Figure III .5 : évolution de la matière volatile sèche (MVS) de la boue minérale et organique de la station d'épuration de CO.GB labelle Bejaia

1.6 Le potentiel d'hydrogène :

D'après les résultats (figure III.6) , nous avons constaté que les valeurs de pH des boues minérales se situent entre 6,82 et 6,38 avec une médiane de 6,642 et les valeurs de pH des boues organiques entre 6,62 et 6,3 avec une médiane de 6,492 , ce qui indique que les valeurs moyennes des deux boues sont presque identiques. Cela peut s'expliquer par la présence de l'étape de neutralisation dans le processus de traitement de l'eau. En raison de sa capacité à neutraliser les milieux acides ou basiques, les sédiments formant des boues sont également rendus neutres.

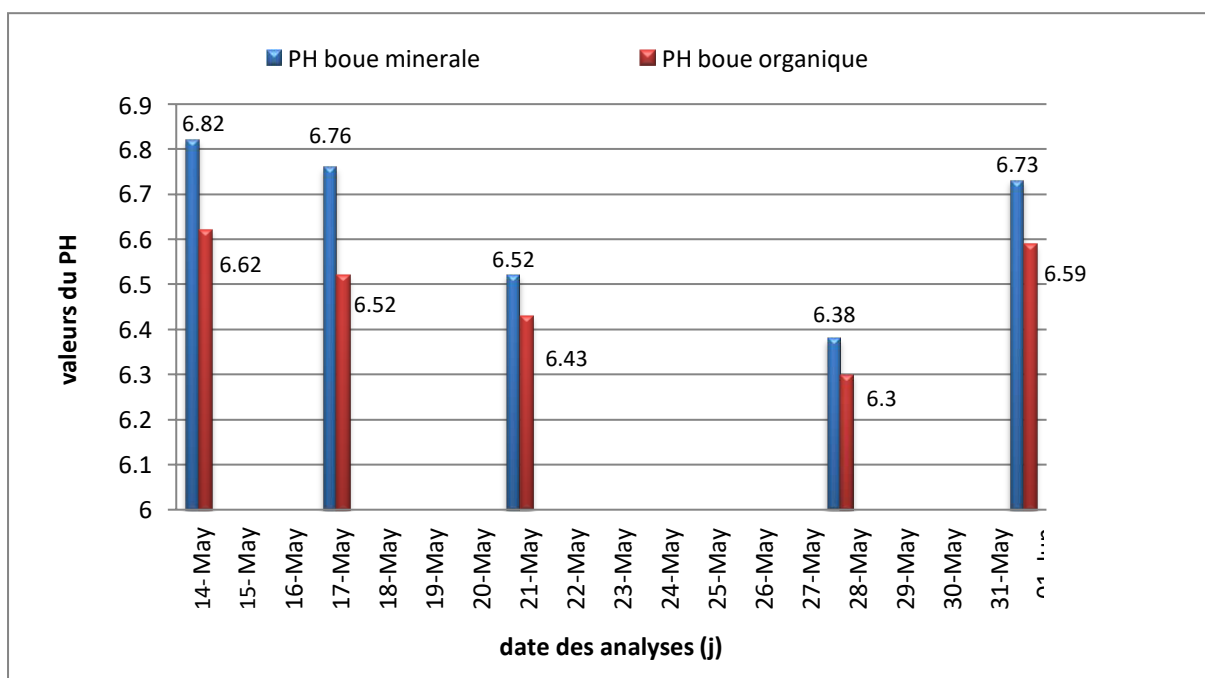


Figure III.6 : évolution du potentiel d'hydrogène de la boue minérale et organique de la station d'épuration de CO.GB labelle Bejaia.

1.7 La matière grasse :

Selon la figure III.7, le pourcentage de la matière grasse dans les boues minérales varie entre 3,5 et 0,21% avec une moyenne de 1,734 %, tandis que dans les boues organiques, les valeurs sont très élevées sachant que le pourcentage varie entre 17,12 et 7,81 %, avec une moyenne de 12,424 %. Cela est causé par la dégradation de la matière grasse dans le bassin biologique.

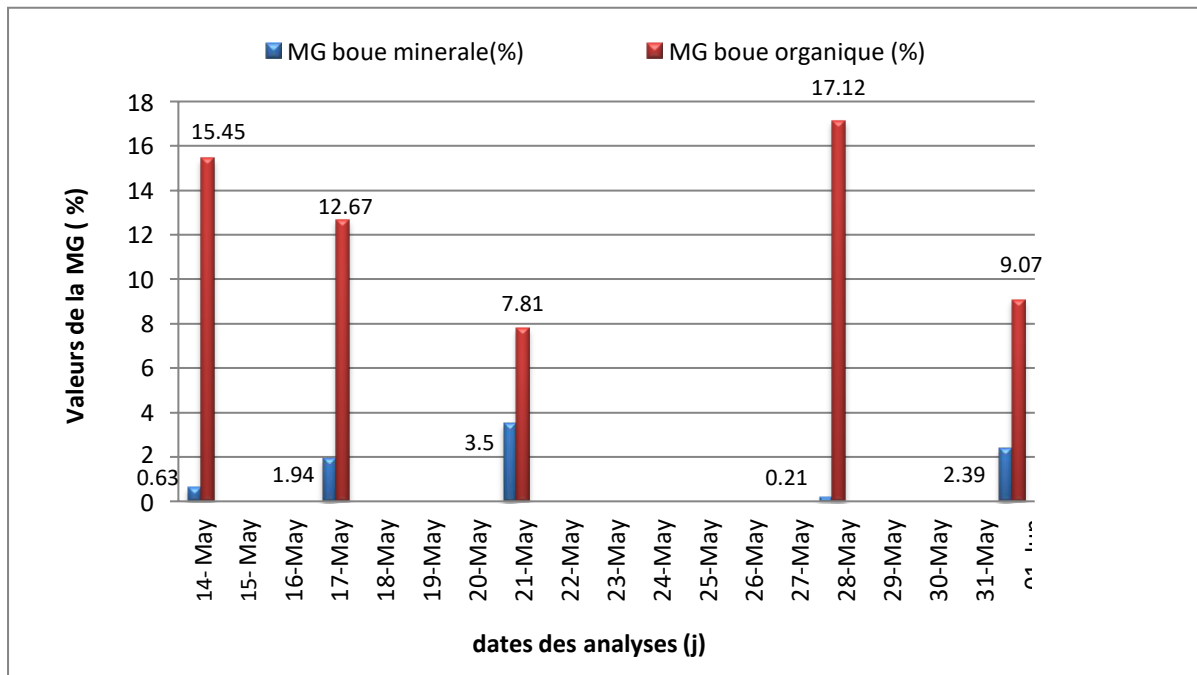


Figure III.7 : évolution de la matière grasse de la boue minérale et organique de la station d'épuration de CO.GB labelle Bejaia

1.8 La conductivité électrique :

Selon la figure III.8, l'évolution des valeurs de conductivité électrique de ces boues montre que les valeurs de la boue minérale sont supérieures aux valeurs de la boue organique, avec le premier enregistrant des valeurs maximales de 22,13 ms/cm et des valeurs minimales de 8,43 ms/cm avec une moyenne de 13,602 ms/cm et le second atteignant des valeurs maximales de 10,67 ms/cm et des valeurs minimales de 5,91 ms/cm sans dépasser des valeurs moyennes de 8,14 ms/cm

La nature des deux boues est différente, la boue minérale étant nettement plus riche en matière minérale que la boue organique, ce qui peut s'expliquer par l'ajout de chaux après l'étape d'aération dans le bassin biologique.

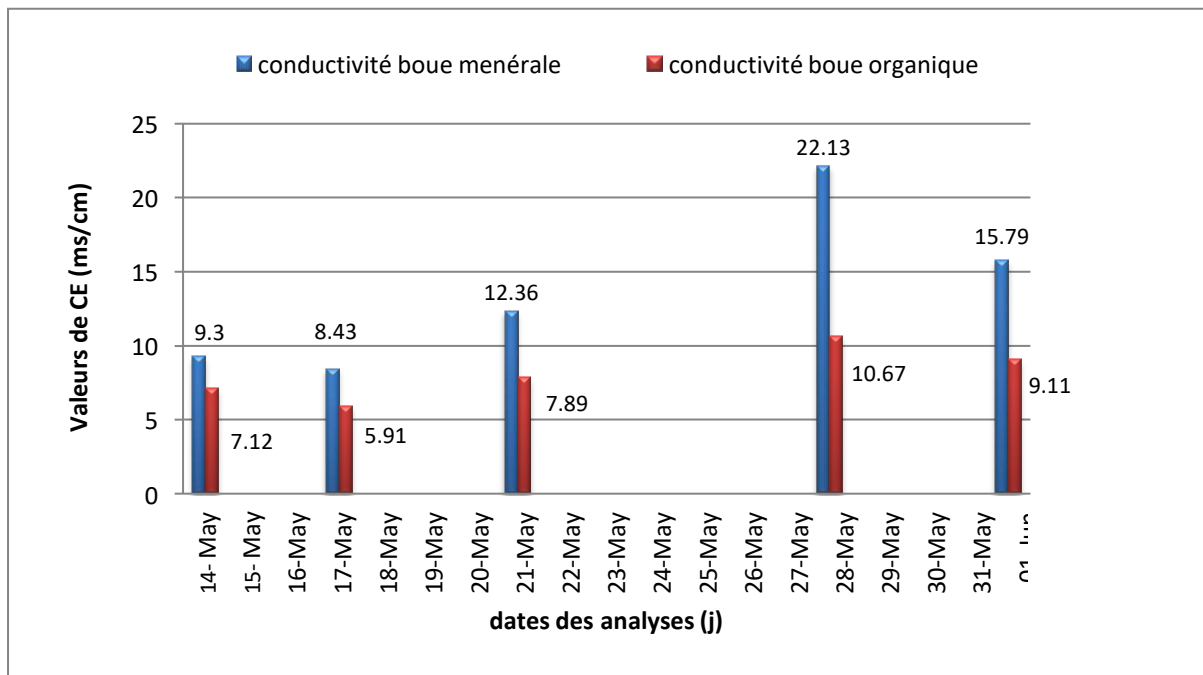


Figure III .8 : évolution de la conductivité électrique de la boue minérale et organique de la station d'épuration de CO.GB labelle Bejaia

III.2 Résultats de l'analyse métallique de la boue issue :

En raison de la toxicité environnementale importante des métaux lourds, les autorités publiques ont décidé de réglementer les émissions en fixant des teneurs limites. Elle détermine clairement une liste de métaux à surveiller car la liste varie selon l'environnement considéré : émissions atmosphériques, rejets d'eau, règles régissant l'épandage des boues.

Lorsque ces substances sont absorbées au-delà de la capacité d'assimilation du corps, elles deviennent toxiques. Ceci a été discuté en relation avec la norme française pour les limites de micropolluants métalliques dans les boues agricoles. Cinq(05) échantillons de boues étudiés, nous avons recherché six (06) métaux lourds ; le plomb (Pb), le Zinc (Zn), le cuivre (Cu), le Nickel (Ni), le cobalt et le Cadmium (Cd).

Un tableau de résultats a été établi (voir l'annexe 11).

2.1 Plomb :

Selon la figure ci-dessous, il est possible de montrer que la concentration de plomb dans les boues de la STEP de CO.GB la belle Bejaia varie entre 24,14 et 9,47 mg/kg, mais qu'elle est bien inférieure à la norme de 1200 mg/kg de plomb nécessaire à leur utilisation agricole

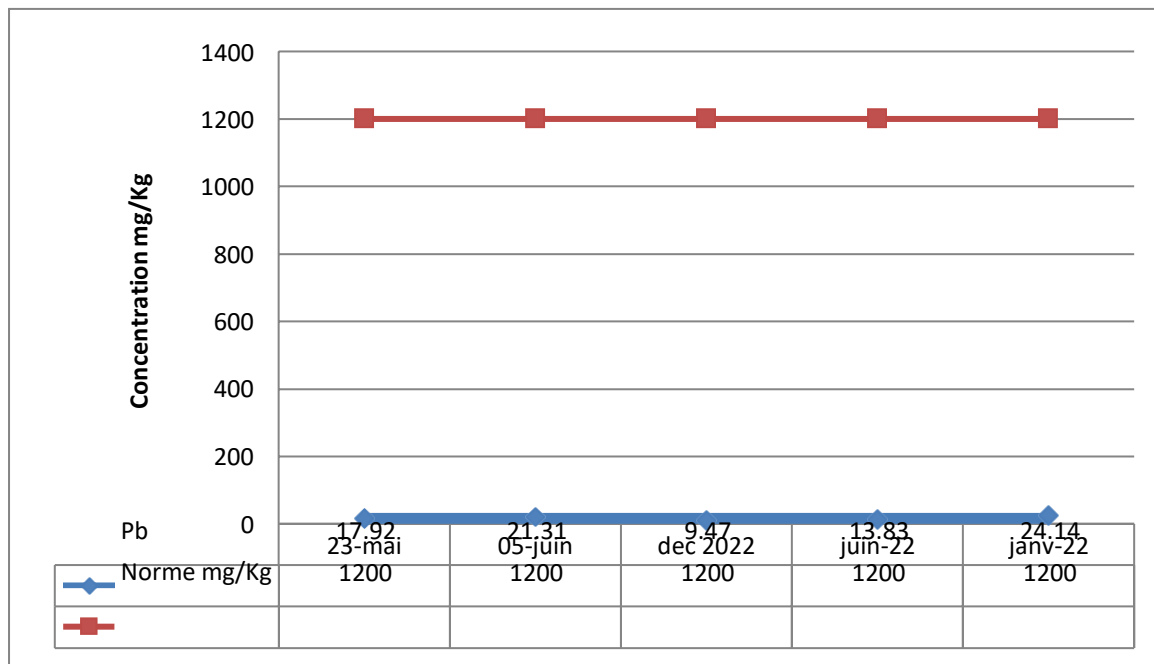


Figure III.9 : Concentration du Plomb dans les boues de la STEP de CO.GB labelle Bejaia

2.2 Zinc :

La figure ci-dessous montre les concentrations de zinc observées dans les boues de la STEP CO.GB labelle Bejaia, les concentrations variant entre 100,5 et 41,56 mg/kg.

Et pour usage agricole, les boues destinées à l'épandage doivent être entre 2500 et 4000 mg/kg de concentrations de zinc, et ce n'est pas le cas de nos données donc les boues de la STEP de CO.GB sont très pauvres en Zinc.

En plus de ses nombreux avantages, le zinc est considéré comme une composante essentielle de la nutrition humaine et animale. Il protège contre le cadmium et le plomb et fonctionne comme un antioxydant contre les radicaux libres. D'un point de vue physiologique, et sans que la toxicité joue un rôle.

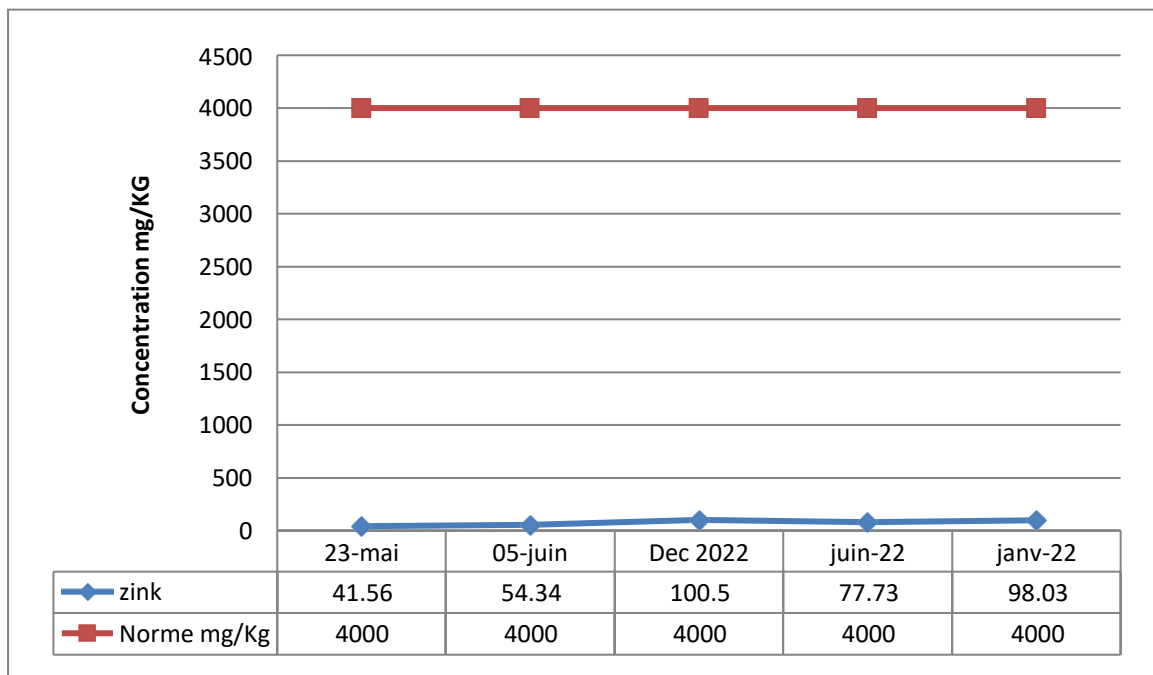


Figure III.10 : Concentration du zinc dans les boues de la STEP de CO.GB labelle Bejaia

2.3 Le Cuivre:

En agriculture, les graines de cuivre sont utilisées comme fongicides ou algicides. En dehors de la pollution industrielle ou de la transformation agricole, ce métal résulte généralement par la corrosion des tuyauteries de distribution.

Les résultats de la dose de cuivre sont montrés dans le graphique ci-dessous, qui montre que les concentrations de cuivre trouvées dans les boues pour la STEP de CO.GB Bejaia varient entre 38,54 et 138,93 mg/kg. Toutes les valeurs sont inférieures à la limite nécessaire de 1750 mg/kg.

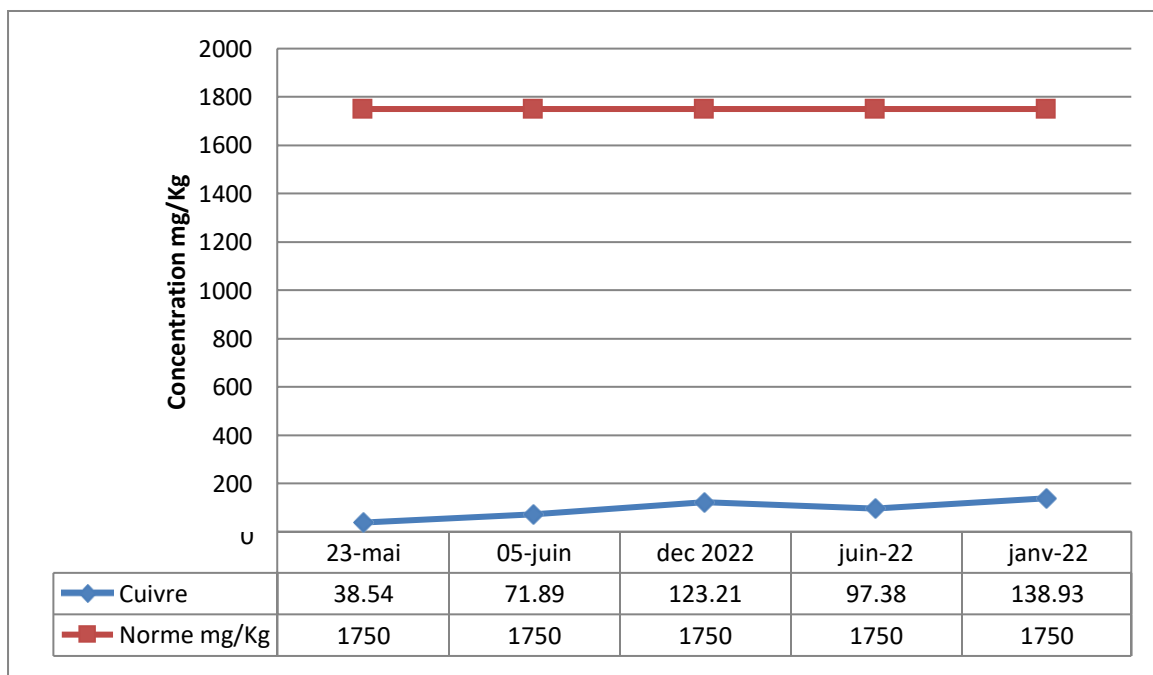


Figure III.11 : Concentration du cuivre dans les boues de la STEP de CO.GB labelle Bejaia

2.4 Le Nickel :

La figure ci-dessous montre les résultats des analyses des boues étudiés. Nous observons que les concentrations de nickel des deux boues de la STEP de CO.GB labelle Bejaia ne dépassent pas 63,45 mg/Kg et ne répondent pas aux normes prévues pour leur utilisation en agriculture, soit 400 mg/kg.

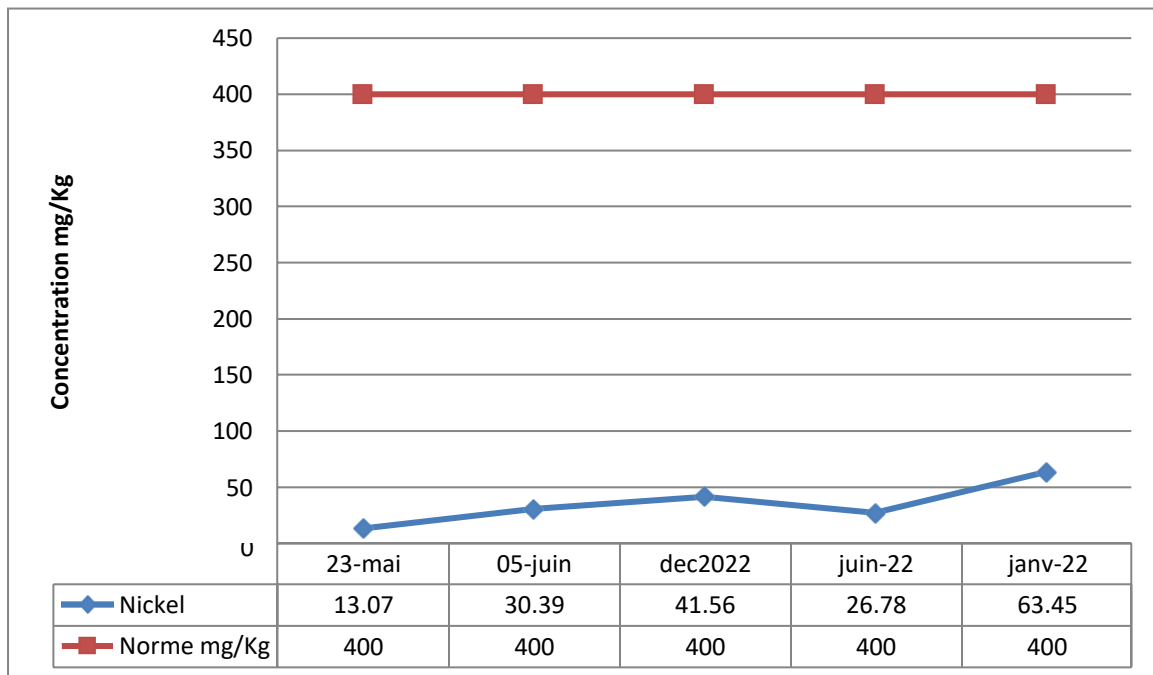


Figure III.12 : Concentration du nickel dans les boues de la STEP de CO.GB labelle Bejaia

2.5 Cobalt :

Les résultats des analyses des boues étudiées sont donnés sur la figure ci- dessous, des traces de cobalt ont été trouvées dans la gamme de 0,43 à 1,56 mg/kg dans les boues. Ces traces sont probablement le résultat d'une industrie. Les règlements européens, les lignes directrices L'OMS et les directives du Conseil de l'Europe ne précisent pas les limites de cobalt pour les boues à usage agricole.

Le cobalt est largement utilisé dans la fabrication d'alliages spéciaux très durables; les minéraux de cobalt sont également utilisés comme peintures colorées et émaux céramiques, comme catalyseurs, et comme oligo-éléments dans les usines.

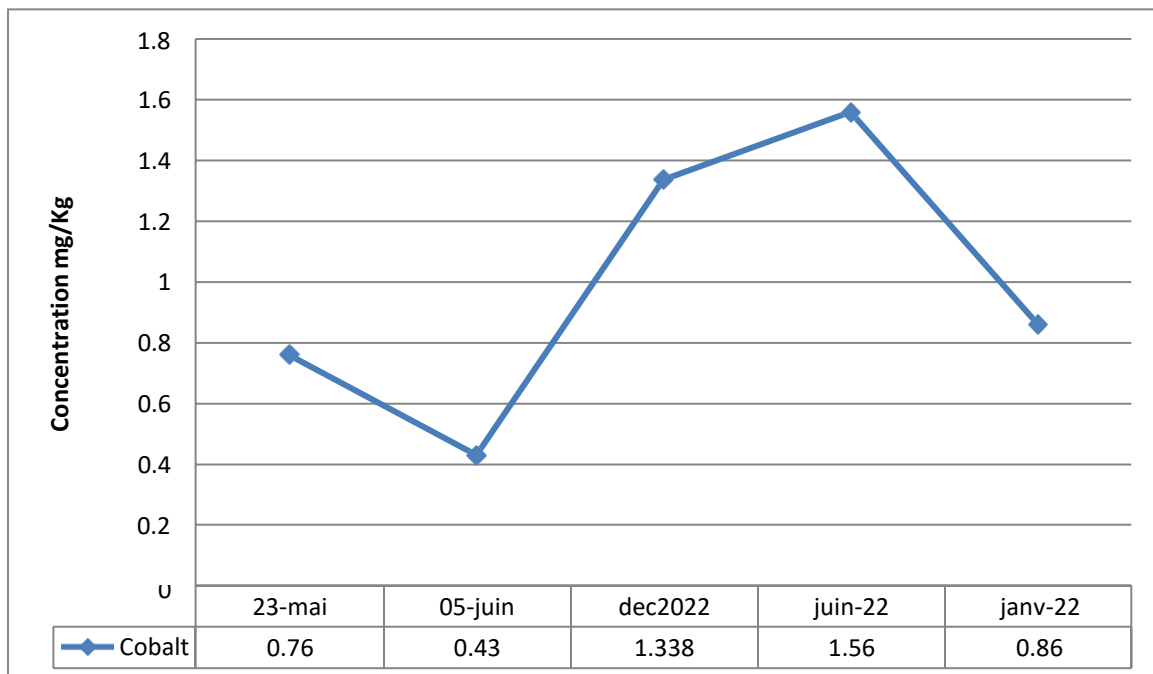


Figure III.13 : Concentration du cobalt dans les boues de la STEP de CO.GB labelle Bejaia

2.6 Cadmium :

Selon la figure ci-dessous, les résultats des analyses du cadmium effectuées sur les boues de la STEP de CO.GB labelle Bejaia montrent que la concentration maximale de cadmium est de 19,82 mg/kg, ce qui est inférieur à la norme requise.

La présence accidentelle de cadmium dans l'environnement sous forme d'objets galvanisés, de boues de purification et d'engrais ne fait qu'accroître la charge polluante de l'environnement qui nous entoure.

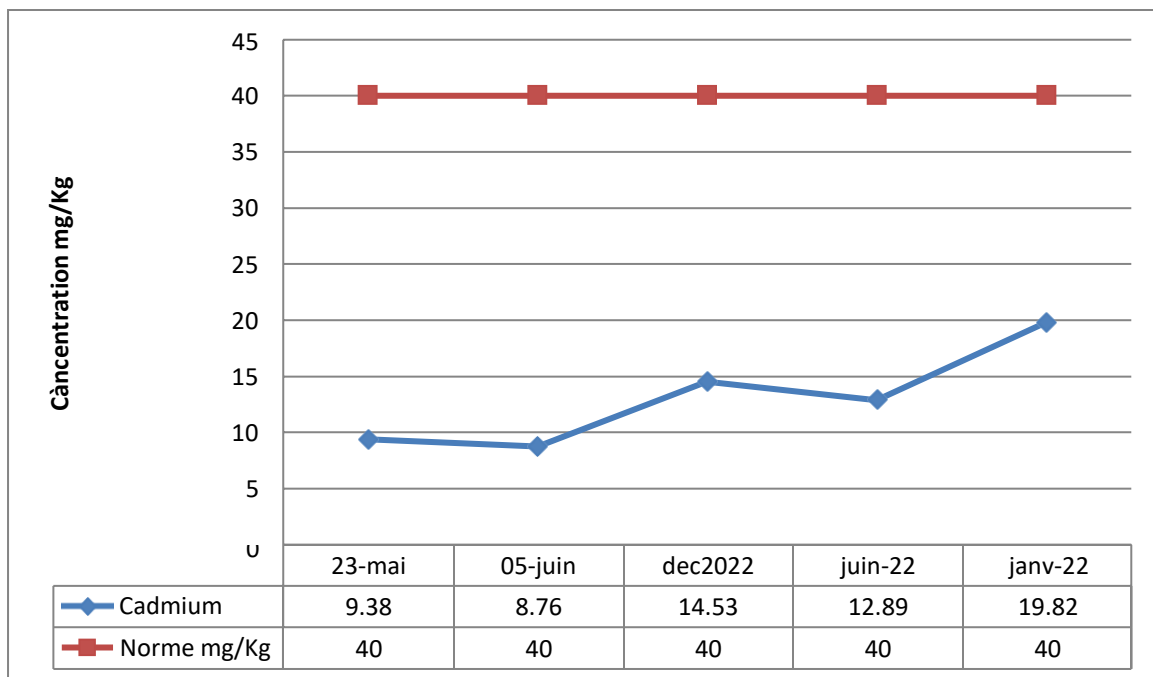


Figure III.14 : Concentration du cadmium dans les boues de la STEP de CO.GB labelle Bejaia

III.3 Discussion : Comparaison des résultats trouvés avec d'autres travaux :

A la fin des analyses physicochimiques et métalliques, on a fait une petite comparaison avec d'autres travaux réalisés ces dernières années [LOUCIF et MAUCHE 2020, ZERGUINI et BOULOUFA 2018, FERRADJ et IDER 2017] et les analyses réalisés par la CO.GB labelle Bejaia l'année 2022.

3.1 Les analyses physicochimiques :

3.1.1 Pourcentage de la matière sèche :

En 2020 LOUCIF et MAUCHE ont mesuré le pourcentage de la matière sèche et ont trouvés une valeur moyenne de 18,32% pour la boue minérale et 8,9% pour la boue organique, aussi ZERGUINI et BOULOUFA 2018 ont trouvés 17,29 et 8 pour la boue minérale et organique successivement, ces résultats sont très proche a celles qu'on a trouvés lors de nos analyse.

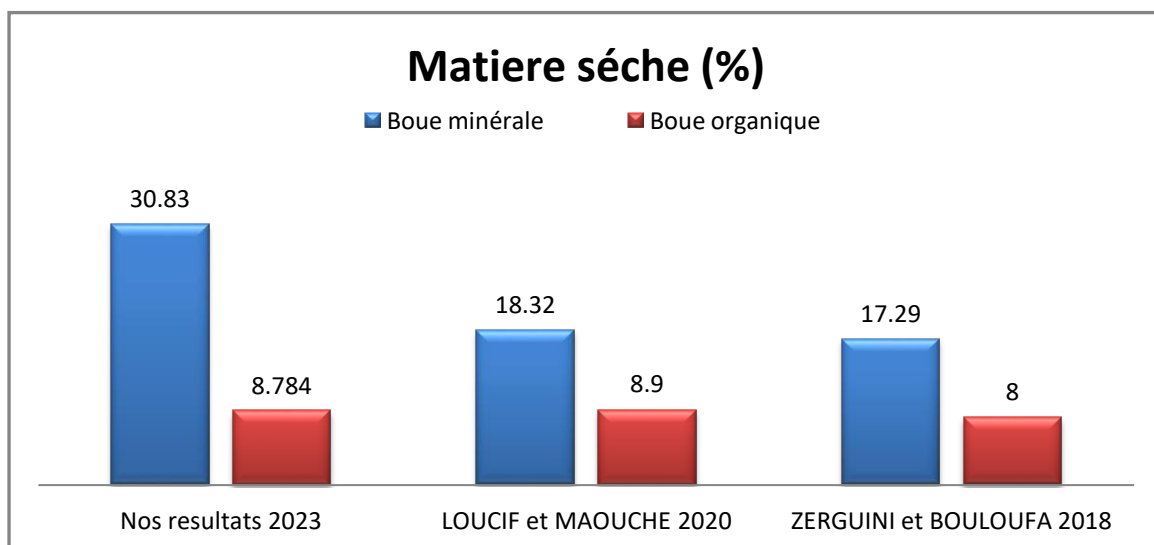


Figure III.15 : comparaison de nos résultats de la matière sèche avec d'autres travaux

3.1.2 La demande chimique en oxygène (DCO) :

Les résultats trouvés par LOUCIF et MAUCHE 2020 se rapprochent de nos résultats sachant qu'ils ont trouvés 77500 PPM pour les boues minérales et 72800 PPM pour les boues organiques.

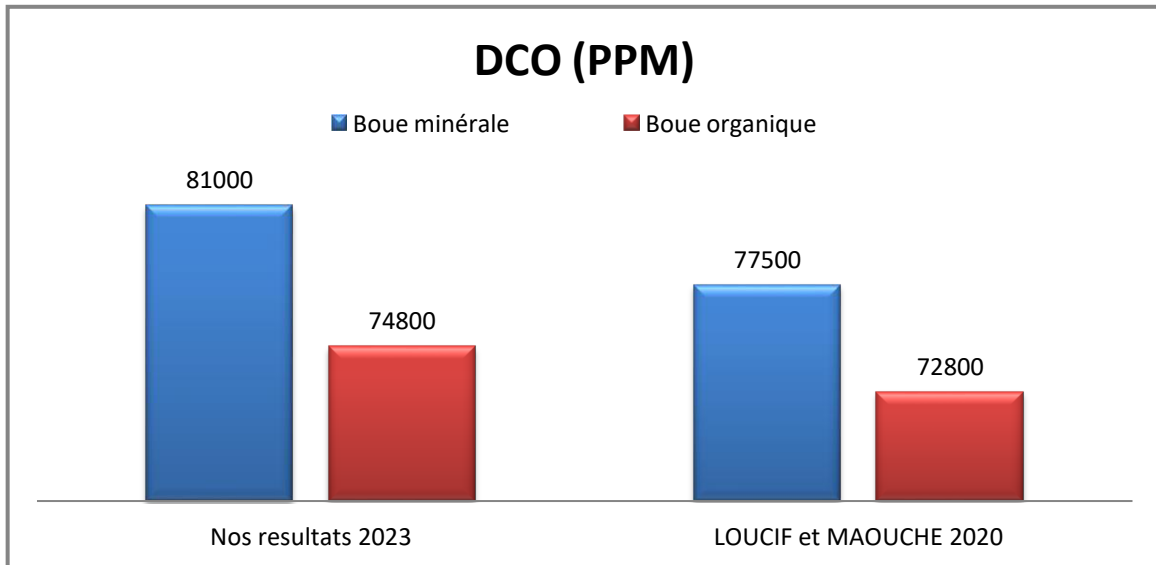


Figure III.16 : comparaison de nos résultats de la DCO avec d'autres travaux

3.1.3 La demande biologique en oxygène (DBO5) :

Les résultats obtenus dans les analyses des deux boues de la STEP de CO.GB labellée sont presque identiques avec ceux trouvés par **LOUCIF et MAOUCHE 2020** [22142,92 PPM (BM) 20799,99 PPM(BO)].

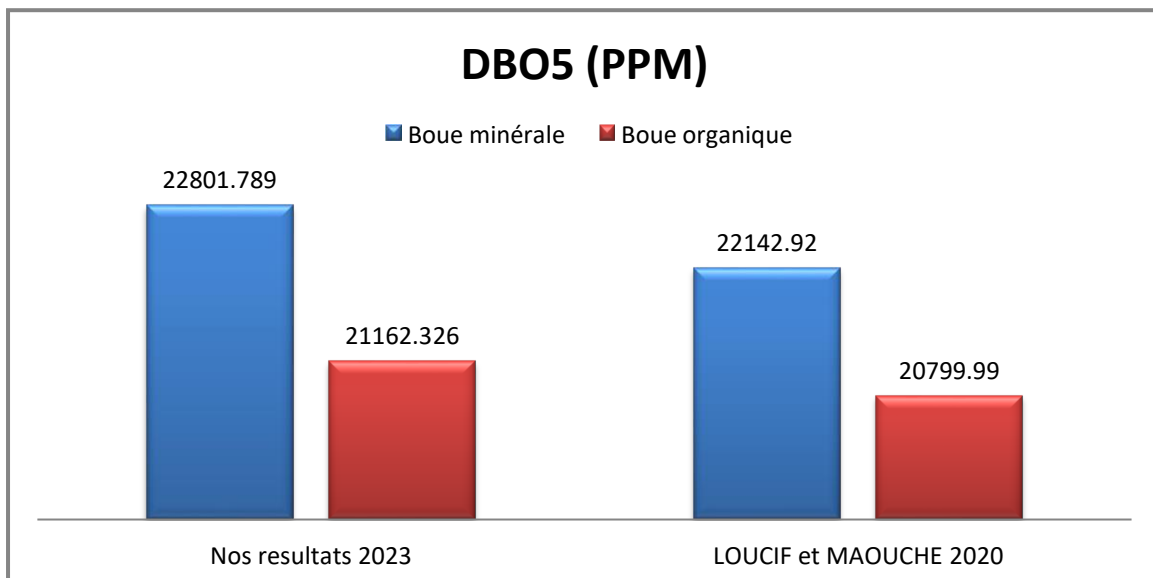


Figure III.17 comparaison de nos résultats de la DB5 avec d'autres travaux:

3.1.4 La matière volatile sèche (MVS) :

LOUCIFI et MAOUCHE 2020, en mesurant la matière volatile sèche, ils ont trouvés une valeur moyenne de 102,29 g pour la boue minérale et 100,89 g, ces résultats sont identiques aux notre, contrairement a **ZERGUINI et BOULOUF**A, qui ont enregistré des résultats complètement différents avec une moyenne de 3,42 g pour la boue minérale et 3 g pour la boue organique.

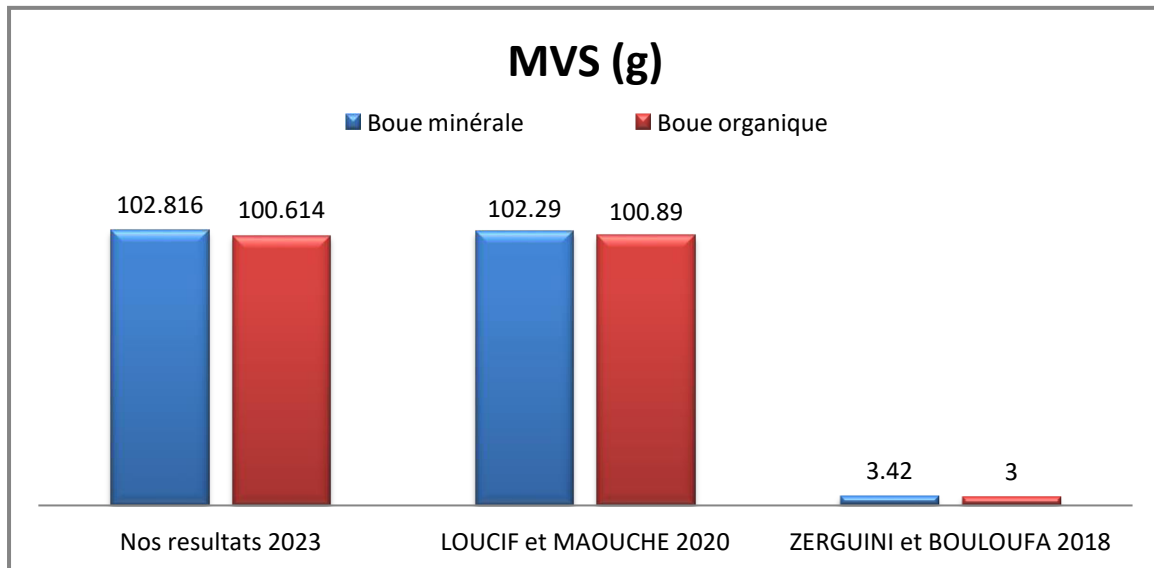


Figure III.18 : comparaison de nos résultats de la matière volatile sèche avec d'autres travaux

3.1.5 Le potentiel d'hydrogène :

Comparant les résultats du PH de **LOUCIF et MAOUCHE**, on les trouve identique avec nos résultats dans les deux boues minérale et organique 6,63 et 6,48 successivement, alors que **ZERGUINI et BOULOUF**A ont enregistré une augmentation de résultats par rapport à nous avec une moyenne de 7,09 pour la boue minérale et 6,9 pour la boue organique.

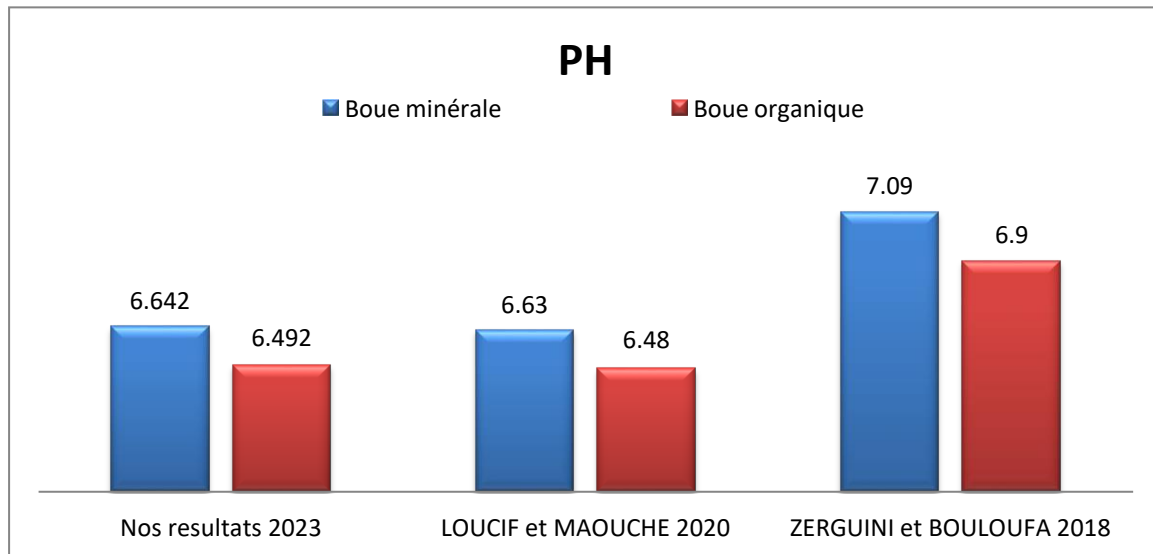


Figure III.19 : comparaison de nos résultats du PH avec d'autres travaux

3.1.6 La matière grasse :

En réalisant les analyses de la matière grasse des différents échantillons de STEP de CO.GB labelle Bejaia on a trouvé des résultats différents par rapport à ceux trouvés par **LOUCIF et MAUCHE** dans les boues organiques (8,18%), par contre les résultats de la matière grasse dans la boue minérale sont presque pareils (2,22%).

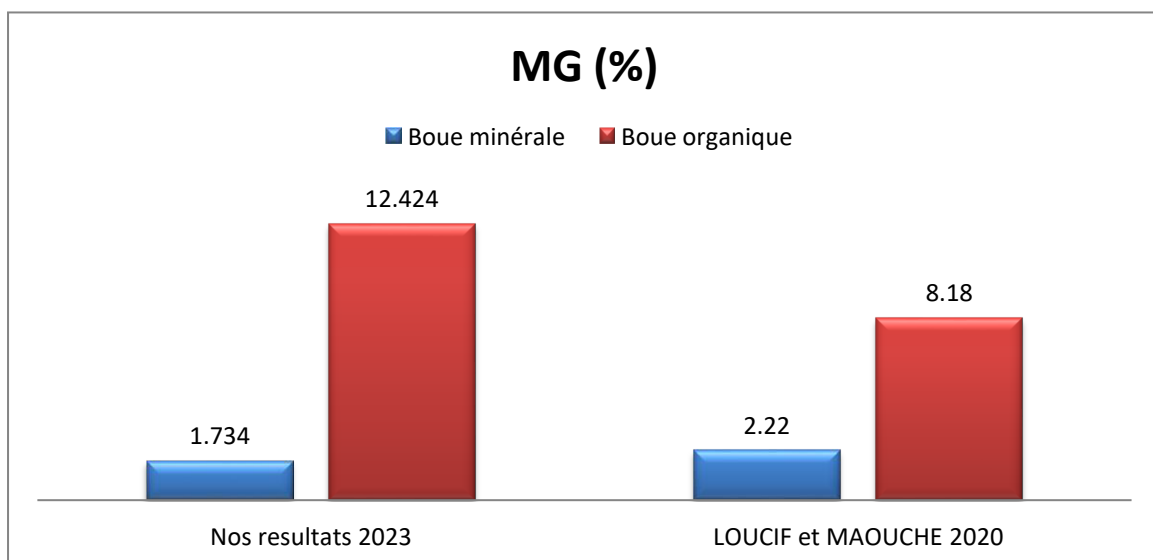


Figure III.20 : comparaison de nos résultats de la matière grasse avec d'autres travaux

3.1.7 La conductivité électrique :

Les résultats trouvés par **LOUCIF et MAOUCHE** de la conductivité électrique sont proche à celles qu'on a trouvé dans la boue minérale et organique sachant qu'ils ont trouvés 11,99 ms/cm pour la boue minérale et 8,41 pour la boue organique, contrairement à **ZERGUINI et BOULOUDA** qui ont trouvés des résultats avec une différence remarquable par rapport aux notre avec une moyenne de 26 ms/cm (BM) et 15 ms/cm (BO).

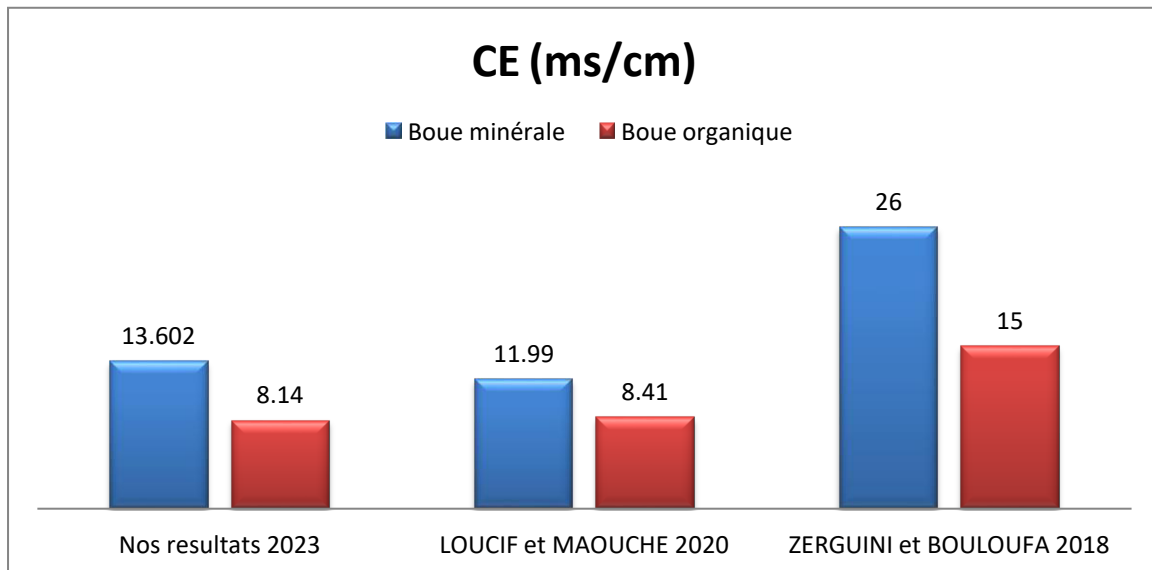


Figure III.21 : comparaison de nos résultats de la conductivité électrique avec d'autres travaux

3.2 Les analyses métalliques :

3.2.1 Le plomb :

Les résultats de notre analyse de l'année 2023 sont proches aux résultats de l'année 2022 que la STEP CO GB labelle a réalisé, mais lorsqu'on les compare avec celle de **FERRADJ et IDER**, on trouve une large différence avec une moyenne de 97,2 mg/Kg sachant que tous les analyses sont réalisées avec la même méthode qui est La spectrophotométrie par absorption atomique.

Et la on peut dire que la boue de la STEP de souk el tennine est plus riche que la boue de la STEP CO.GB labelle Bejaia malgré que les deux sont loin de la norme nécessaire de 1200 mg/Kg

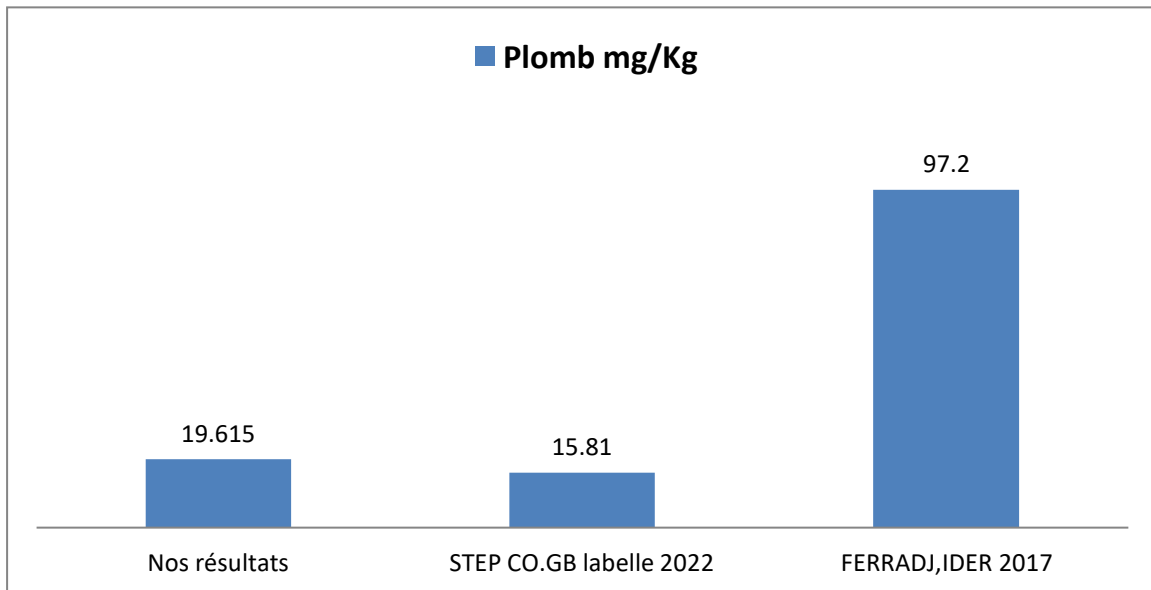


Figure III.22 : comparaison de nos résultats du plomb avec d'autres travaux

3.2.2 Zinc :

Comparant les résultats d'analyse de **FERRADJ et IDER** avec nos résultats et les résultats de 2022, on remarque une grande déférence sachant que le zinc dans la boue de la STEP de CO.GB labelle ne dépasse pas 92,08 mg/Kg et dans la STEP de souk el tennine est 1000 mg/Kg.

Donc on peut dire que la boue de la STEP de CO.GB labelle est quasiment dépourvue de zinc.

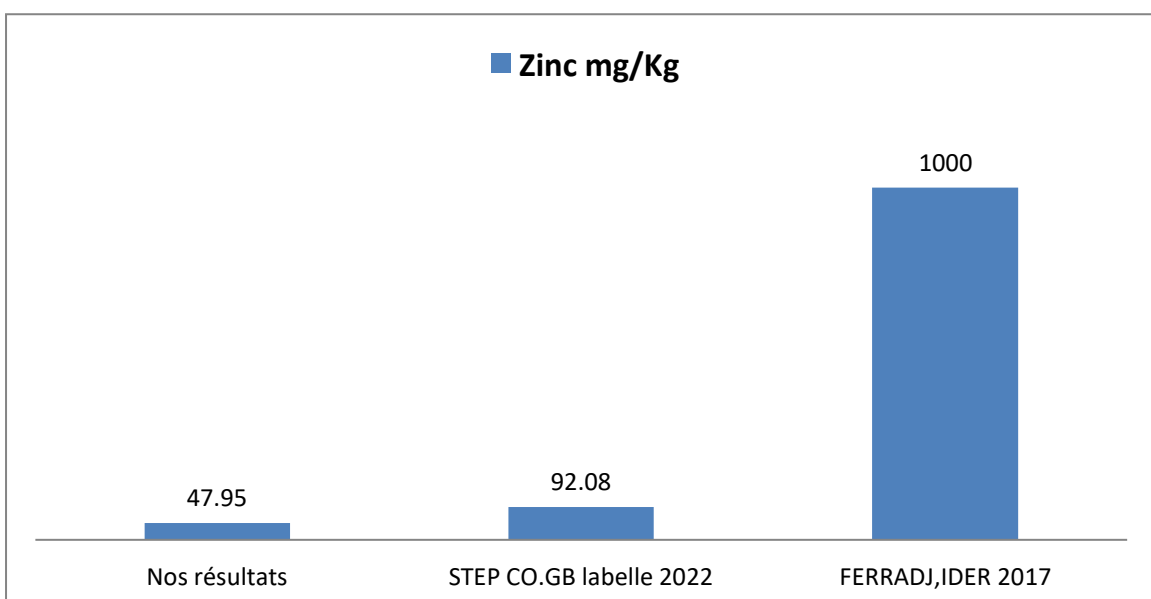


Figure III.23 : comparaison de nos résultats du zinc avec d'autres travaux

3.2.3 Le cuivre :

Les résultats qu'on a trouvés sont différents par rapport à ceux trouvés l'année passé et par **FERRADJ et IDER** l'année 2017 sachant qu'on a trouvé une moyenne de 4,3 mg/Kg ,la STEP de CO.GB a trouvé une moyenne de 55,215 mg/Kg l'année 2022 et FERRADJ et IDER ont trouvés une moyenne de 119,84mg/Kg.

Les trois résultats nous montrent que la boue dans les deux STEP est très pauvre de cuivre.

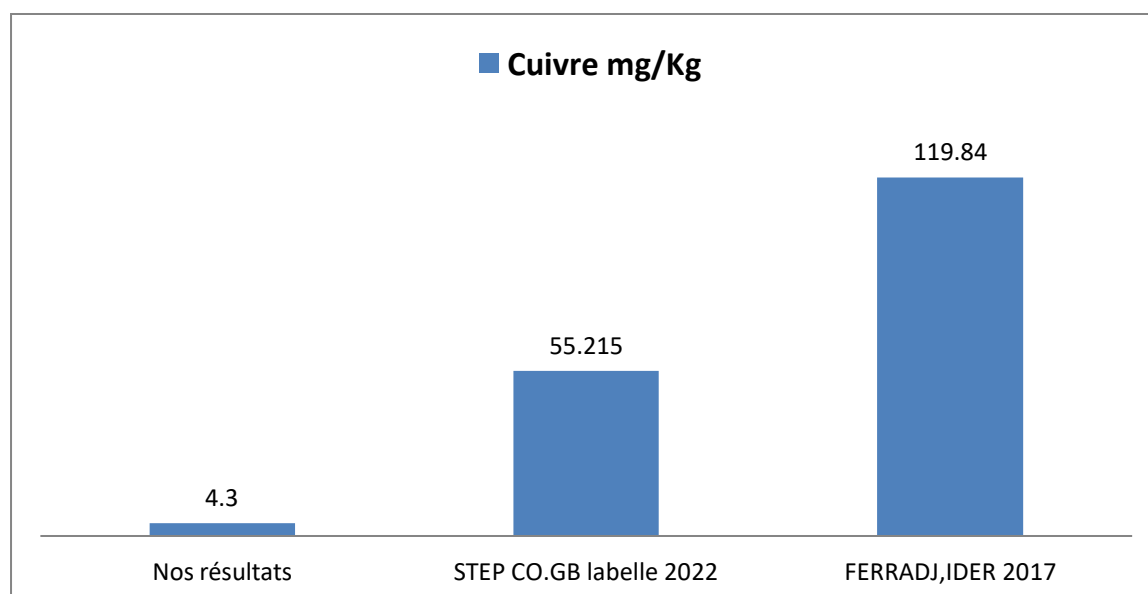


Figure III.24 : comparaison de nos résultats du cuivre avec d'autres travaux

3.2.4 Le nickel :

Nos résultats sont similaires à ceux trouvés par la STEP CO.GB labelle en 2022 par une moyenne de 43,93 mg/Kg, mais ils sont différents par rapport a celle de **FERRADJ et IDER** avec une moyenne jusqu'à 180 mg/Kg.

Ces résultats prouvent que la boue de la STEP de souk el tennine contient plus de nickel que la boue de la STEP du complexe CO.GB labelle

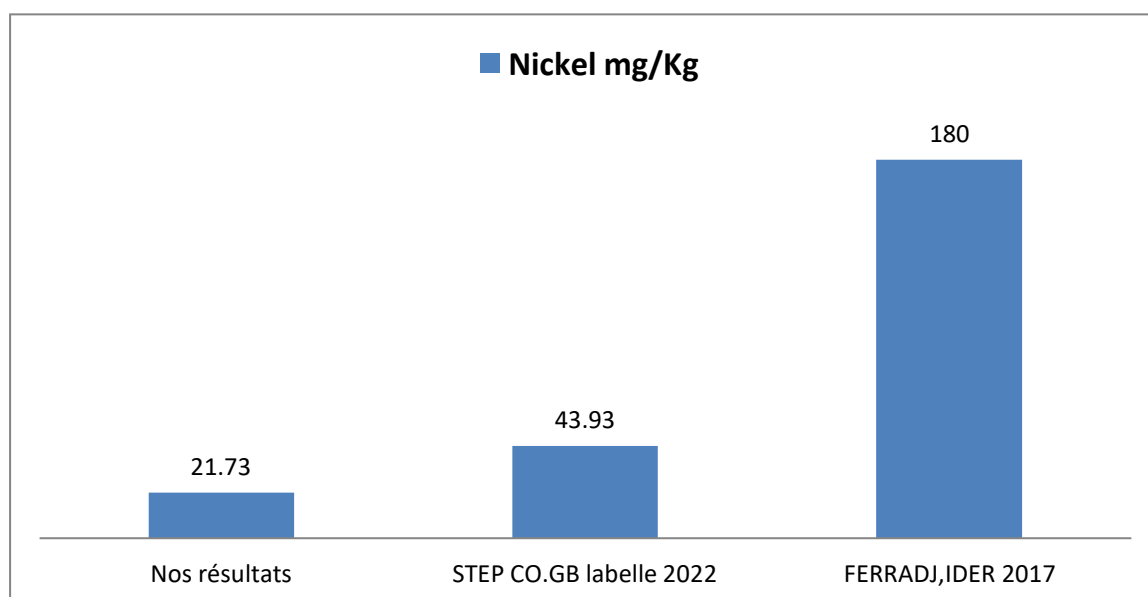


Figure III.25 : comparaison de nos résultats du nickel avec d'autres travaux

3.2.5 Cobalt :

Nos résultats se rapprochent de résultats de la STEP CO.GB labelle et **FERRADJ et IDER** 1,25 mg/Kg et 2,5 mg/Kg successivement.

Puisque l'OMS et les directives du Conseil de l'Europe ne précisent pas la norme de cobalt pour les boues à usage agricole donc on ne peut pas savoir si les boues son riches ou pauvre du cobalt.

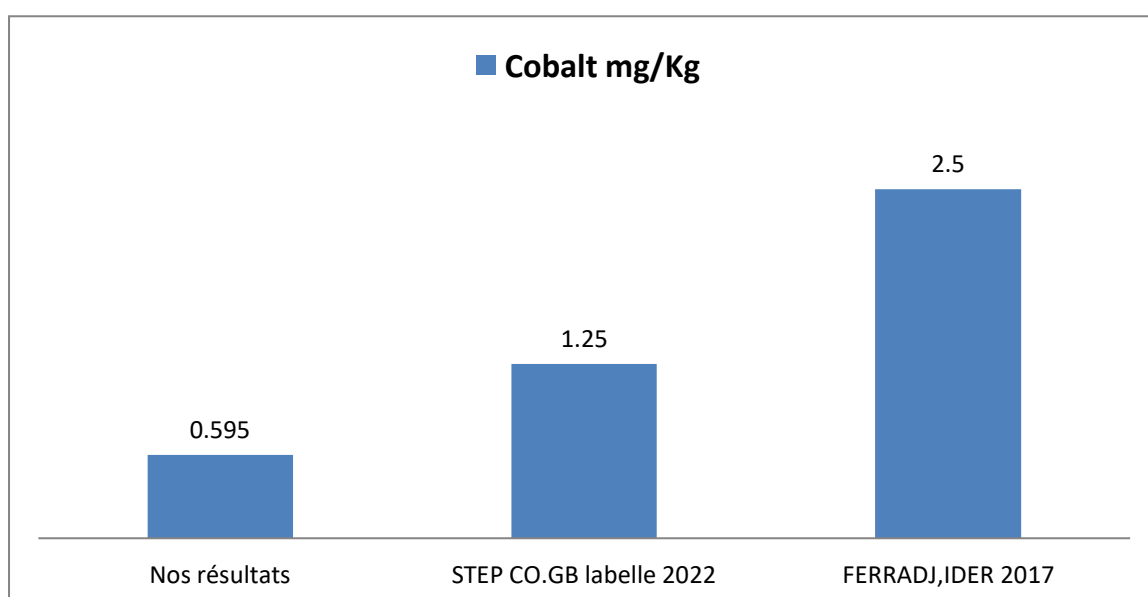


Figure III.26 : comparaison de nos résultats du cobalt avec d'autres travaux

3.2.6 Cadmium :

En 2022, la STEP du complexe CO.GB labelle, en mesurant le cadmium dans la boue, ils ont trouvés une valeur moyenne de 15,75 mg/kg, et cette année 2023 lorsqu'on a fait les analyses on a enregistré une diminution de la concentration du cadmium dans les boues avec une moyenne de 9,07 mg/Kg.

FERRADJ et IDER lors de leurs analyse ont trouvés des résultats très proches aux notre avec une moyenne de 11,5 mg/Kg.

Toutefois, on peut prévoir que les concentrations de cadmium des boues ne répondent pas à la norme exigée dans les trois analyses.

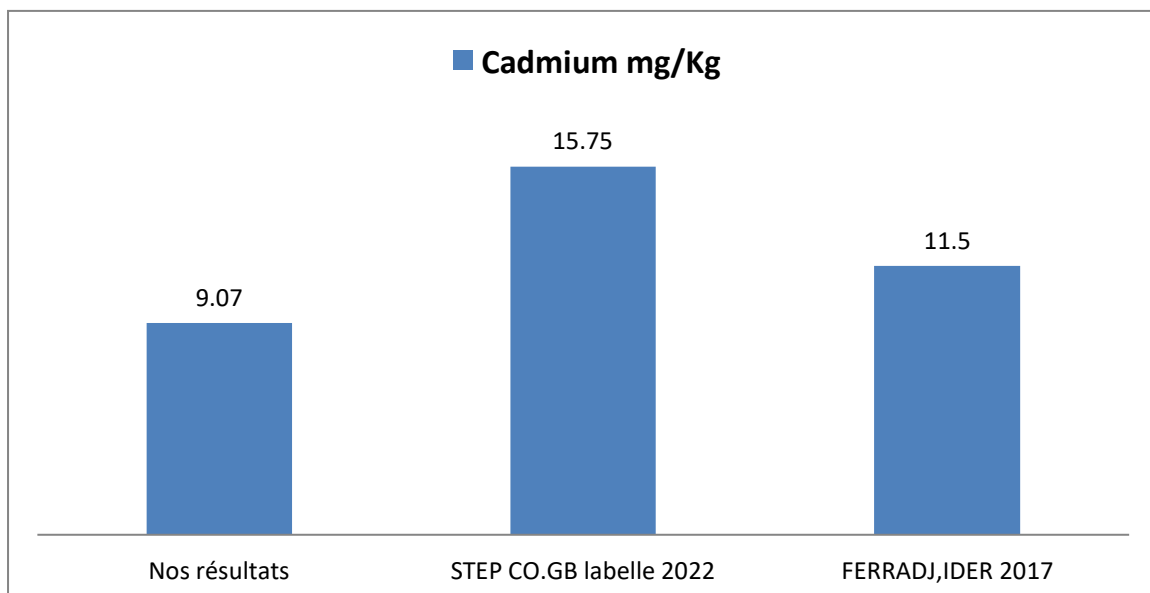


Figure III.27 : comparaison de nos résultats du cadmium avec d'autres travaux

3.3 Conclusion :

D'après les analyses réalisées des boues de la station d'épuration du complexe CO.GB labelle Bejaia nous avons trouvés que ces boues contiennent une quantité importante de minéraux qui peuvent être bénéfiques pour les sols et pour les concentrations des métaux lourds on a découvert qu'elles sont minimales par rapport aux normes fixées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), qui ne nuisent pas à l'agriculture.

Conclusion générale

Le stage pratique que nous avons entrepris au sein du complexe CO.G.B Labelle nous a permis d'approfondir notre connaissance théorique et d'acquérir certaines méthodes de traitement des eaux usées industrielles et de boue active.

Le présent travail avait comme objectif de suivre les différentes phases de traitement de boues et effectuer des analyses physico-chimiques et métalliques pour plusieurs échantillons pour mesurer la qualité de la boue traité.

Le travail ci-dessus nous ont aidés à mieux comprendre les eaux usées et les boues, leurs origines et leurs effets sur la santé humaine et, surtout, sur l'environnement. La première partie de l'étude comprenait une synthèse bibliographique des eaux usées et de leurs méthodes de traitement et les risques liées à leurs utilisations, en outre, nous avons présenté la situation de l'assainissement en Algérie, dans un autre point on a parlé sur les boues résiduaire, leurs types et caractéristiques physiques.

Dans la deuxième partie nous avons présenté la station d'épuration du complexe CO.GB labelle, les différentes méthodes et matériels utilisés dans les analyses physico-chimiques et métalliques de la boue issue, on a parlé sur les différentes voies de valorisation et d'élimination de la boue ; valorisation agricole et énergétique.

La troisième partie est une présentation des résultats obtenus des analyses physico-chimiques et métalliques des différents échantillons faites au sein des laboratoires du complexe CO.GB labelle Bejaia de CETIC laboratoires et environnement, et on a terminé cette partie par une comparaison de nos résultats trouvés avec d'autres travaux.

Les résultats des analyses montrent que le DCO, DBO5, matière grasse font partie des substances chimiques et organiques qui ont été retenues dans les boues, et qui ont servi à déterminer les paramètres de pollution. Ces valeurs sont des concentrations importantes de minéraux qui peuvent être bénéfiques pour les sols et qui appuieraient la valeur de la boue comme engrais naturel remplaçant les engrais chimiques qu'on utilise pour nos terres qui polluent encore l'environnement.

Les analyses des éléments métalliques des boues de la station d'épuration du complexe CO.GB labelle sont minimales ou négligeables par rapport aux normes établies par législation

algérienne et européenne. En raison de la répartition des terres agricoles dans la région de Bejaia, la valorisation agricole des boues sera la meilleure voie d'un point de vue économique. Les boues seront recyclées en compost et en produits pouvant servir d'engrais dans les exploitations agricoles.

Il est souhaitable que ce travail mérite d'être étudié en profondeur sur une longue période de temps en utilisant des boues à diverses doses de variables et en effectuant des analyses sporadiques, augmenter le nombre de répétitions dans chaque parcelle afin de s'appuyer sur une analyse statistique plus concluante.

Pour améliorer le rendement de la station d'épuration et de laboratoire centrale de la CO.G.B Labelle, nous proposons un certain nombre de perspectives résumées comme suit :

- ✓ Une amélioration de la gestion des processus au niveau des ateliers de production, ainsi qu'une réduction de la redevance polluante au niveau des eaux usées.
- ✓ Respecter la qualité et la quantité des effluents envoyés au STEP
- ✓ Remettre en service les installations à l'arrêt (pont racleur succeur, la pompe de pressurisation).
- ✓ Effectuer les analyses métalliques dans laboratoire centrale de la CO.GB labelle au lieu de les faire ailleurs
- ✓ Augmenter le nombre des analyses métalliques (tous les mois au lieu de six mois par exemple), et cela peut aider au valorisation agricole.

- [1] GUENDOUZZ et MEKKI N. 2018. Dimensionnement d'une station d'épuration pour la ville de Sidi – Aich (Béjaia) ; Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme Master académique en Hydraulique; Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 120p.
- [2] Grenier Y., (1989). La valorisation des boues d'épuration des eaux pour la fertilisation des forêts. Thèse ing Canada, rech, Forest, 189 p.
- [3] «Canada -2011 -de l'eau 101 introduction aux microsystem.pdf». Consulté le: 11 Mai 2023. [En ligne]. Disponible sur:
<http://www.waterqualitytraining.ca/files/WQ1010%20Workbook%20French.pdf>
- [4] Rejsek F., 2002. Analyses des eaux, les aspects réglementaires et techniques. Centre régional de documentation pédagogique d'aquitaine, France .165-239 p.
- [5] CHAOUCH ALIMA. 2013. Surveillance de l'état de fonctionnement d'un procédé biologique de dépollution, Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme Magister en Diagnostic et surveillance des systèmes ; Université 20 août 1955, Skikda.142p
- [6] SAFA M et LEKHAL S. 2019. Evaluations des performances des traitements des eaux usées (cas de la STEP de TIARET), Mémoire de fin d'études pour l'obtention de diplôme du Master en Sciences Agronomiques ; Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, 99p.
- [7] METAHRI M.S.2012. Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes cas de la step de la ville de tizi-ouzou, thèse de doctorat, université mouloud mammeri, tiziouzou, 172p.
- [8] NADER ABDELKADER .2014. Eaux usées épurées de la cuvette de Ouargla Gestion et risques environnementaux, Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Magistère en Ecologie saharienne et environnement, Université Kasdi Merbah – Ouargla.169p
- [9] Saggai M M, «Contribution à l'étude d'un System d'épuration à plantes macrophytes pour les eaux usées de la ville de Ouargla. Mem. Mgister. Univ. Ouargla.64p.», 2004
- [10] Memento A., 1989. Technique de l'eau, tome II, 9^{ème} édition Cinquantenaire.

- [11] Degremont R., 1978. Mémento technique de l'eau .8ème édition technique et documentation Lavoisier, 1200 p.
- [12] OUALI ,2001
- [13] LADJEL, 2006
- [14] DEGREMONT, 2005
- [15] Koller, E., (2004). Traitement des boues issues de l'épuration. IN « Traitement des pollutions industrielles ». Technique et ingénierie, Dunod, Paris, 115 p
- [16] Koller, E., (2009). Traitement des pollutions industrielles, Eau, Air, Déchets, Sols, Boues, 2ème édition, Dunod, 569 p.
- [17] Gaid, A., (1993). Traitement des eaux usées urbain. Ed. Technique de l'ingénieur, traité environnement, France, volume C 5220, pp 1-28.
- [18] Dégremont., (1989). Mémento technique de l'eau, 8ème édition, tome 1 & 2, 1459 p.
- [19] Blondeau F ; 1985 : traitement centralisé des boues T.S.M l'eau, n°6, JUIN PP 231-242.
- [20] Alexandre D, 1979 : Valorisation des boues, utilisation en agriculture.
- [21] Comité National des Boues (CNB), 2001 : Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture collection « valorisation agricole des boues d'épuration ». Ed.Ademe. France.
- [22] O.P.E.C.S.T; 2001:Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé, par Miquel G. Rapport n°261.pp100-261.
- [23] Nakib M, 1986: Contribution à l'étude des possibilités d'utilisation des eaux usées et des boues d'épuration dans l'agriculture Thèse de Magistère.INA, Alger, 81p.
- [24] Collection OTV. , 1997 : Ouvrage collectif. Traiter et valoriser les boues. Collection OTV. N°2. 457P
- [25] Grosclaude, G., (1999). L'eau, usage et polluants, tome 2. Ed. INRA, Paris, 210 p.

- [26] Molleta, R., (2007). Gestion des problèmes environnementaux, 2^{ème} édition, Paris, 441 p.
- [27] Guiblin, E., (2014). Elimination finale des boues d'épuration. Ed. Technique de l'ingénieur. Volume G1450, pp 1- 11.
- [28] Bakiri Z., 2007. Traitement des eaux usées par des procédés biologique classique : expérimentation et modélisation. Mémoire de magister, université ferhat Abbas –sétif .19,20p
- [29] Lazarova et Brissaud, 2007
- [30] «MRE,-Document interne. Ministère des Ressources en Eau, Algérie, 15p». 2012.
- [31] LAID BOUCHAALAL ,(2017) Ressources Hydriques: Traitement Et Reutilisation Des Eaux Usees En Algerie Water Resources Treatment And Reuse Of Wastewater In Algeria Article · May 2017
- [32] Crook et al., (2005)
- [33] Sheikh et al., 1999
- [34] Tamraebt,2011
- [35] Monchalin (1999)
- [36] BENFIALA I et HAOULI Z. 2017.Le rendement épuratoire de la station d'épuration de la ville de Guelma ; Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme Master en Hydraulique ; Université Badji Mokhtar ; Annaba.p113.
- [37] BOUMAARAFI Amina.2019. Etude de performance d'un décanteur secondaire « station d'épuration de la ville d'Ain Beida », Mémoire de fin d'études pour l'obtention de diplôme du Master en Hydraulique, Université Larbi Ben M'hidi, Oum EL Bouaghi, 170p.
- [38] Bouchaala, L ,Charchar , N, & Gherib , A. (2017). Ressources Hydriques : Traitement et Reutilisation des Eaux Usees en Algerie = Water Resources Treatment and Reuse of Wastewater in Algeria. Algerian Journal of Arid Environment, 7(1), 84-95. <https://doi.org/10.12816/0045919>
- [39] Mozas, M., &Ghosn, A. (2013).État des lieux du secteur de l'eau en Algérie. 27.

[40]

[http://onadz.org/IMG/pdf/Perspectives de valorisation agricole et energetique des boues issues des STEP en Algerie-2.pdf](http://onadz.org/IMG/pdf/Perspectives_de_valorisation_agricole_et_energetique_des_boues_issues_des_STEP_en_Algerie-2.pdf)

[41] Saada M et Sefiani K 2021 Évolution des paramètres physico-chimique des eaux usées dans la wilaya de Mila pendant la pandémie COVID-19 Mémoire de fin d'études pour de l'obtention du diplôme Master en Protection des Ecosystème, Centre Université Abdelhafid Boussouf-Mila 104P

[42] Murillo M., (2004).Caractérisation de l'Effet d'un Traitement au Peroxyde d'Hydrogène sur une boue –Application la Réduction de la Production de Boue, Thèse de doctorat, INSA

[43] Canler J. et Perret M.,2013. La réduction de boues par voie biologique par le procédé MycET,Article scientifique en unité de recherche milieux aquatique écologie et pollutions,Centr de lyon,51page.

[44] Dégremont.,(1985). Mémento technique de l'eau. Documentation intérieur de l'entreprise.79 p.

[45] Gaultier Jean-Pierre et al : Devenir des éléments traces métalliques dans les sols du Vexin Français soumis à des épandages des boues ; dossier de l'environnement, Institut National des Sciences Appliquéesde Toulouse, 360p

[46] Berchiche C.; Ladjimi S, 2010: Contribution à l'étude de la valorisation et de la caractérisation des boues résiduaire issues de la station d'épuration Est de Tizi-Ouzou. Essai expérimental sur le blé dur. Triticum durum. Var. Vitron pp 34-35.

[47] Collection OTV. , 1997 : Ouvrage collectif. Traiter et valoriser les boues. Collection OTV. N°2. 457P.

[48] Dridi B et ToumiC., 1999 :Influence d'amendements organiques et d'apport de boues sur les propriétés d'un sol cultivé. Edition et Gestion des sols 6. 1. Pp7-14.

[49] Dexter A R, 1997: Physical proprieties of tilled soils. Soil and tillage research.43, 41-63.

- [50] Stengel P; Douglas J T. Guérif J. Goss M J; Monnier G & Cannell R Q, 1984: Factors influencing the variation of some properties of soils in relations to their suitability for direct drilling. *Soil & Tillage Research*, 4, 35-53.
- [51] Angers DA & Caron J, 1998: Plant-induced changes in soil structure: processes and feedbacks. *Biogeochemistry* N, I, 42, pp55-72
- [52] Garcia Orenes F.; Guerrero C. ; Matarx-Solera J.; Navarro-Pedreno J. ; Gomez I. ; et Mataix-Beneto J. ; 2005 : Factors controlling the aggregate stability and bulk density in two different degraded soil amended with biosolids. *Soil and Tillage Research*. V. 82. Issue 1. pp.65-76.
- [53] Morel. 1981, Guckert. 1981: influence of limed sludge on soil organic matter and soil physical properties of soils. reidel publishing company. Company, catroux Gand L'hermite P, Dordrecht Holland, pp25-42
- [54] Morel. et jacquin. 1978 : utilisation agricole des boues résiduelles chaulées Incidence de trois années d'épandage sur la fertilité d'un sol neutre de limon. Ministère de l'environnement. Comité sci-sol et déchets solides.29p.
- [55] Aussel, H., Le bàcl, C., Dornier, G.,(2004). Le traitement des eaux usées, institut national de recherche et de la sécurité (INRS), point des connaissances. Ed. 5026, pp.1-3.
- [56]] <https://www.astee.org/publications/le-compostage-des-boues-depuration/> consulté le [31/05/2023]
- [57] Prévôt H. 2000 : La récupération de l'énergie issue du traitement des déchets. Rapport du conseil général des mines. Juillet 2000. qualité et valeur agronomique, Ademe édition, Paris, pp. 224.
- [58] Werther J, Ogada T. (1999). Sewage sludge combustion. *Progress in Energy and Combustion Science*. 25,55–116.
- [59] Ademe, 1999 : Situation du recyclage agricole des boues d'épuration municipales: production, qualité et valeur agronomique, Ademe édition, paris, pp. 224

- [60] El-fadel, M., khoury, R., 2000. Modeling Settlement in SWM Landfills: a Critical review in environ. Sci. Technol.30, 3, 327-361
- [61] Allen, a., 2001: Containment landfills: the myth of sustainability. Engineering geology, p1-19, 60
- [62] ZERGUINI. S, BOULOUFA. K 2018. Analyse des boues de la station d'épuration de souk el tenine en vue d'une valorisation agricole, mémoire de fin de cycle, université A.MIRA-Bejaia
- [63] LOUCIF. L, MAOUCHE.N 2020. Contribution à la caractérisation des eaux et boues de la station d'épuration de CO.GB labelle Bejaia, mémoire de fin de cycle, université A.MIRA- Bejaia
- [64] FERRADJ.A, IDER.B 2017. Contribution à l'évaluation des boues des deux Stations d'Epuration des Eaux Usées Urbaines d'Oued D'Hous/Bouira et Souk El Tenine/Béjaia en vue de leur revalorisation, université de Bouira

Annexe 1 : Présentation de l'entreprise CO.G.B « Labelle »

Historique et implantation géographique :

Le complexe CO .G.B est implantée dans la zone industrielle de Bejaia. Il s'étend sur une surface de 108.800 m2 dont 56.500 m2 sont couvertes.

Lancé au début du XX ème siècle sous le nom de S.I.A.N (Société Industrielle de l'Afrique du Nord), l'entreprise démarre par l'extraction de l'huile du grignon d'olive et la fabrication du savon.

C'est en 1940 qu'a démarré le raffinage de l'huile de colza et de l'huile de tournesol.

De 1953 à 1967, la société se lance dans la fabrication du savon de ménage, de toilette ainsi que de leur conditionnement.

En 1974, il est procédé à la nationalisation de la S.I.A.N. Ainsi naquit la SO.GE.D.I.A (société de gestion et de développement des industries alimentaires).

En 1982, fût crée l'E.N.C.G (entreprise nationale des corps gras) avec l'unité de production N°07 qui démarrera en 1988.

La CO.G.B est née après la restructuration du complexe en 1997 et deux ans plus tard l'unité de fabrication de la margarine a été lancée.

En 2006, avec la privatisation partielle de CO.G.B, 70% passent sous la gestion de « la belle » SPA et 30% restent étatiques.

Le complexe de corps gras de Bejaia a une stratégie industrielle : la proximité du port favorisant l'opération d'import /export sachant que la plus part de ses matières premières sont importées.

Production de l'unité :

Le complexe est conçu pour :

- ✓ La raffinerie d'huile alimentaire,
- ✓ La fabrication de savon de toilette,
- ✓ La fabrication de savon de ménage,

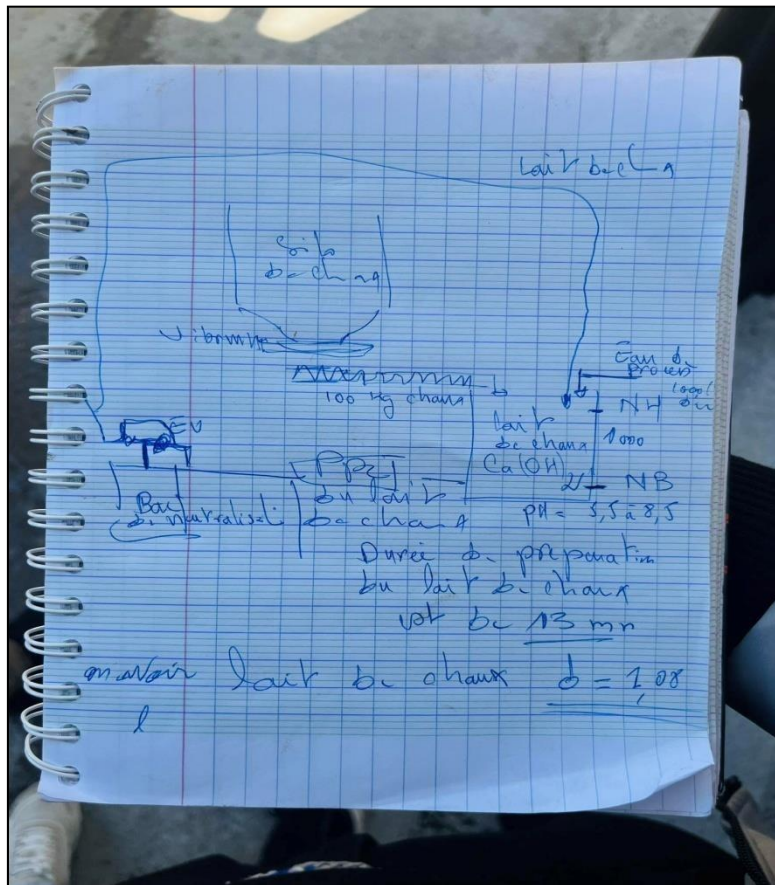
- ✓ La distillation des acides gras
- ✓ Le conditionnement des huiles alimentaires,
- ✓ Le traitement des eaux en production,

La présentation de laboratoire d'analyse :

Le service laboratoire a pour objectif d'améliorer la qualité des produits fabriqués au sein de cette unité. A cet effet, des analyses physico-chimiques sont effectués sur les matières premières et auxiliaires, sur les produits en cours de fabrication ainsi que sur les produits finis. Il est composé de 3 laboratoires :

- ✓ Laboratoire des huiles et margarines,
- ✓ Laboratoire de traitement des eaux,
- ✓ Laboratoire de savon

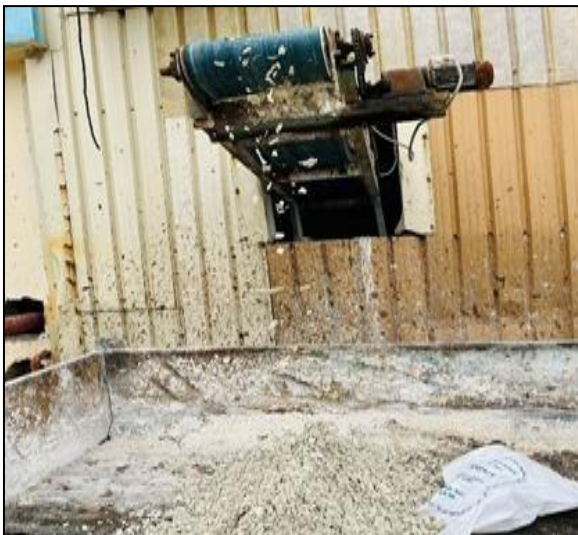
Annexe 3 : schéma de preparation du lait de chaux



Annexe 4 : la chaux



Annexe 5 : Les etapes de traitement des boues actives




Annexe 6 : PH mètre de la STEP



Annexe 7 : laboratoire centrale de la CO.GB labelle



Annexe 8 : Système de management qualité (Dosage taux de matières grasses dans les eaux usées)

	SYSTEME DE MANAGEMENT QUALITE	Edition du 16.03.2014
	DOSAGE DU TAUX DE MATIERES GRASSES DANS LES EAUX USEES	Réf: MO 8242- 39 Page : 1/1

Principe :
 Les matières grasses sont extraites de l'échantillon à pH de 4.5 par l'hexane puis sont dosées après évaporation du solvant. Le but de cette méthode est la détermination de la matière grasse totale non soluble dans l'eau

Matériel :

- Ampoule à décantier
- Ballon à col rodé
- Balance analytique
- Etuve réglée à 105°C
- Dessiccateur
- Evaporateur rotatif sous vide

Réactifs

- Acide sulfurique H₂SO₄ à 20%
- Une solution salée saturée,
- Hexane
- Méthyle orange (indicateur coloré)


Mode opératoire :

- Introduire 100 ml d'eau à analyser (V) dans une ampoule à décantier,
- Acidifier avec 25 ml d'acide sulfurique concentré à 20%, ajouter 75 ml d'hexane,
- Bien agiter pour séparer le complexe acide sulfurique- matière grasse,
- Rincer l'ampoule avec une solution salée, et attendre que les couches se séparent (par décantation)
- Récupérer la phase aqueuse dans un bécher et faire couler la phase hexanique dans un ballon préalablement lavé, séché, pesé (P₁),
- Evaporer le solvant par distillation puis par étuvage pendant 15 min,
- Peser le ballon après refroidissement dans un dessiccateur pendant 15min (P₂)

Expression des résultats

$$MG (\%) = (P_2 - P_1) \times 100 / V$$

Annexe 9 : Système de management qualité (Mesure de la Demande Biologique en Oxygène DBO5)

	SYSTEME DE MANAGEMENT QUALITE	Edition du 16.03.2014
	MESURE DE LA DEMANDE BIOLOGIQUE EN OXYGENE DBO5	Réf: MO 8242-24 Page: 1/2

Principe : Cette méthode consiste à mesurer la consommation d'oxygène par voie biologique à température constante de 20 C° et pendant un temps limité par convention à 5 jours (Quali, 2001).

Matériel

- Incubateur thermostatique (température 20C°),
- Agitateur magnétique,
- Flacons porte échantillons en verre teinté munis de godets en caoutchouc,
- Barreaux magnétiques
- DBO-mètre Aqualytic

Réactifs :

- ATU (inhibiteur de nitrification),

Choix du volume de l'échantillon

La valeur de la DBO₅ est approximativement estimée à 80% de la valeur de la DCO mesurée, choisir le volume de la prise d'essai selon les intervalles de mesure de la DBO₅ dans le tableau suivant, multiplier le résultat obtenu à la fin par le facteur correspondant

Volume de la prise d'essai (ml)	Intervalle de mesure (mg/l)	Facteur
432	0-40	1
365	0-80	2
250	0-200	5
164	0-400	10

Mode opératoire

- Rincer le flacon Porte échantillon avec l'échantillon à analyser,
- Y verser la quantité nécessaire auparavant déterminée d'échantillon à analyser à l'aide des fioles jaugées.
- Mettre le barreau magnétique dans le flacon.
- Ajouter la quantité nécessaire de l'inhibiteur de nitrification selon le volume de l'échantillon à analyser,
- Mettre le godet en caoutchouc en place,
- Déposer deux pastilles de soude dans le godet en caoutchouc,
- Placer les flacons sur la plaque agitatrice du DBO-mètre.
- Démarrer la mesure appuyer sur les boutons **S** et **M** simultanément pendant deux secondes jusqu'à apparition de (-) puis (00), qui indique que toute valeur auparavant enregistrée a été effacée,
- Mettre le flacon dans l'incubateur réglé à une température de 20° pendant 05 jours
- La lecture de la valeur en cours se fait en appuyant sur le bouton (S),
- Les valeurs lues 1F, 2F, 3F, 4F ou 5F indique que la mesure du jour,

COGB Labelle
Chef Service Laboratoire
K. DJAFRI

Annexe 10 : Tableau des Résultats d'analyses physicochimiques des boues minérales et organiques de la station d'épuration de CO.G.B

Labelle-Bejaia

	La matière sèche des boues (%)		DCO (PPM)		DBO5 (PPM)		La matière en suspension (MES) (PPM)		M.V.S de boue (g)		PH		La matière grasse (%)		Conductivité électrique (ms/cm)	
	M	O	M	O	M	O	M	O	M	O	M	O	M	O	M	O
14 Mai	33.7	17.33	78000	75000	21876.24	19876.45	340	333	101.2	100.4	6.82	6.62	0.63	15.45	9.3	7.12
17 Mai	31.09	12.88	80000	74000	21098.45	20034.09	297	248	102.3	101.1	6.76	6.52	1.94	12.67	8.43	5.19
21 Mai	18.29	3.22	69000	61000	22456.28	21098.35	284	260	100.5	100.01	6.52	6.43	3.5	7.81	12.36	7.89
28 Mai	28.1	8.92	91000	86000	24687.87	22678.78	193	206	107.87	101.34	6.38	6.3	0.21	17.12	22.13	10.67
01 Juin	43.17	1.57	87000	78000	29890.15	22123.86	251	301	102.2	100.22	6.73	6.59	2.39	9.07	15.79	9.11

Annexe 11 : Tableau des Résultats d'analyses métalliques des boues minérales et organiques de la station d'épuration de CO.G.B Labelle-Bejaia

	Plomb (mg/Kg)	Zinc (mg/Kg)	Cuivre (mg/Kg)	Nickel (mg/Kg)	Cobalt (mg/Kg)	Cadmium (mg/Kg)
23 mai	17,92	41,52	38,54	13,07	0,76	9,38
05 juin	21,31	54,34	71,89	30,39	0,43	8,76
Dec 2022	9,47	100,5	123,21	41,56	1,338	14,53
Juin 2022	13,83	77,73	97,38	26,78	1,56	12,89
Janv 2022	24,14	98,03	138,93	63,45	0,86	19,82