



**QUALITÉ PHYSICO-CHIMIQUE DES REJETS DE
STATIONS D'ÉPURATION DE LA VILLE DE
OUAGADOUGOU AU BURKINA FASO**

MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGÉNIEUR 2iE AVEC GRADE DE
MASTER EN EAU ET ENVIRONNEMENT

SPÉCIALITÉ EAU ET ASSAINISSEMENT

Présenté et soutenu le2021 par

Kouamé Eric Serge Landry KAKOU (20160094)

Directeur de mémoire : Pr Yacouba KONATÉ, Maitre de conférences CAMES, 2iE

LABORATOIRE EAUX HYDRO-SYSTEMES ET AGRICULTURE (LEHSA)

Jury d'évaluation du stage

Président : **Dr Seyram SOSSOU**

Membres et correcteurs : **Dr Boukary SAWADOGO**

Promotion [2020 /2021]

DÉDICACES

Je dédie ce mémoire à :

 **KAFANDO JUDITH**

CITATION

« *Q*uand l'eau manque, la vie manque. »

Proverbe ouzbek

REMERCIEMENTS

C'est avec un cœur comblé d'amour et de joie que j'exprime ma gratitude à tous ceux qui ont contribué à l'aboutissement de ce mémoire de fin d'études.

J'exprime mes sincères remerciements :

- ✚ Au **Directeur général** et à l'ensemble du corps professoral de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2ie) pour m'avoir permis d'embrasser des études en Eau et en assainissement en m'accueillant au sein de cet institut.

- ✚ Au Prof. **Yacouba KONATE**, mon directeur de mémoire, pour m'avoir soutenu par tous les moyens qu'il a mis à ma disposition afin que ce travail puisse aboutir, pour ses conseils et encouragements, mais aussi pour son entière disposition malgré ses multiples occupations. Que l'Éternel vous accorde aide, assistance et protection.

- ✚ À **Dr Boukary SAWADO**, pour sa disponibilité, son écoute, ses conseils et pour les corrections apportées au présent mémoire.

- ✚ Au personnel du Laboratoire LEHSA, particulièrement à **M. Moustapha OUEDRAOGO** et **M. Noël TINDOURE**, pour l'assistance et l'aide précieuse qu'ils m'ont apporté lors des prélèvements de terrain et les analyses de laboratoire.

- ✚ À Madame Judith OUEDRAOGO, Mlle Karen AGUE et Mlle Fatima ADO, amie et stagiaire au laboratoire LEHSA pour leurs collaborations et leurs soutiens.

- ✚ Aux étudiants stagiaires, pour leurs précieuses aides lors des prélèvements sur le terrain et les analyses au laboratoire.

RÉSUMÉ

Les préoccupations majeures dans l'opinion publique pour la lutte contre les pollutions des eaux sont en majorité orientées vers la protection de la santé des populations et la préservation de la qualité du milieu naturel. La connaissance de la qualité des rejets des stations d'épuration reste en conséquence un passe obligé, car il faut connaître pour agir (et donc gérer). L'objectif général de cette étude était d'évaluer la qualité physico-chimique des rejets d'eaux usées sortant des stations d'épuration de la ville de Ouagadougou en particulier celle de Zagtouli, Sourgoubila, Kossodo Laïco. Pour atteindre cet objectif, des prélèvements bihebdomadaires ont été effectués sur une période de trois (3) mois avec un échantillonnage ponctuel des effluents brutes et effluents traités issus des différentes STEP. Les paramètres de pollution étudiés sont principalement les paramètres de pollution physico-chimiques globaux, les polluants organiques, les nutriments azotés, phosphorés, et les métaux lourds. Les rendements moyens en MES des quatre (4) STEP étaient respectivement de 57,99% ; de 74,8% ; de 36,06 % et de 95,2% pour les stations de Zagtouli, de Sourgoubila, de Kossodo et de Laïco ; avec des concentrations résiduelles qui respectent les normes de rejet et de réutilisation au Burkina Faso (150mg/L) excepté celle de Zagtouli. Quant à la DBO₅, nous avons enregistré un rendement moyen de 50,52% à Zagtouli ; 31,52% à Sourgoubila ; 68,87% à Kossodo et 68,20% à Laïco. Cependant, nous remarquons que la teneur en DBO₅ des effluents traités est supérieure aux normes de rejet du Burkina Faso (35mg/l). À l'exception des effluents de Laïco, la teneur en DCO observée des STEP n'est pas conforme aux normes de rejet du Burkina malgré les taux d'élimination plus ou moins importants. Malgré le taux d'élimination moyen important des composées azotées et phosphoré observé, leurs teneurs résiduelles restent au-dessus de la limite de tolérance du Burkina Faso. L'élimination des éléments métalliques a donné des teneurs résiduelles satisfaisant conformément à la norme nationale de rejet dans le milieu récepteur. Le ratio d'absorption en sodium nous renseigne que la totalité des effluents traités a un rapport d'adsorption de sodium inférieur à 10, présentant un risque minimal d'accumulation du sodium. La valorisation agronomique des effluents traités constitue certes une nécessité économique. Mais au regard de ces résultats, des traitements supplémentaires sont nécessaires pour protéger la santé humaine et préserver la qualité du milieu

Mots clés :

- 1- Effluents
- 2- Normes de rejet
- 3- Ouagadougou
- 4- Qualité physico-chimique
- 5- STEP

ABSTRACT

The major concerns of public opinion in the fight against water pollution are mainly oriented towards the protection of the health of populations and the preservation of the quality of the natural environment. Knowledge of the quality of waste water treatment plant discharges therefore remains a must, because knowledge is needed to act (and therefore to manage). The general objective of this study was to assess the physico-chemical quality of the waste water discharges from the treatment plants of the city of Ouagadougou, in particular those of Zagtouli, Sourgoubila and Kossodo Laïco. To achieve this objective, biweekly sampling was carried out over a period of three (3) months with a punctual sampling of raw and treated effluents from the different WWTPs. The pollution parameters studied are mainly the global physico-chemical pollution parameters, organic pollutants, nitrogenous and phosphorus nutrients, and heavy metals. The average TSS yields of the four (4) WWTPs were respectively 57.99%; 74.8%; 36.06% and 95.2% for the Zagtouli, Sourgoubila, Kossodo and Laïco stations; with residual concentrations that comply with the discharge and reuse standards in Burkina Faso (150mg/L) except for the Zagtouli station. As for BOD5, we recorded an average yield of 50.52% in Zagtouli; 31.52% in Sourgoubila; 68.87% in Kossodo and 68.20% in Laïco. However, we note that the BOD5 content of the treated effluents is higher than the discharge standards of Burkina Faso (35mg/l). With the exception of the effluents from Laïco, the COD content observed in the WWTPs does not comply with Burkina's discharge standards, despite the more or less significant elimination rates. Despite the high average removal rate of nitrogen and phosphorus compounds observed, their residual contents remain above the Burkina Faso tolerance limit. The elimination of metallic elements gave satisfactory residual contents in accordance with the national standard for discharge into the receiving environment. The sodium absorption ratio tells us that all of the treated effluents have a sodium adsorption ratio of less than 10, presenting a minimal risk of sodium accumulation. The agronomic recovery of treated effluents is certainly an economic necessity. However, in view of these results, additional treatments are necessary to protect human health and preserve the quality of the environment.

- 1- Effluents
- 2- discharge standard
- 3- Ouagadougou
- 4- Physico-chemical quality
- 5- STEP

LISTE DES ABRÉVIATIONS

2ie	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
Ca	Calcium
K	Potassium
Mg	Magnesium
BA	Bassin Anaérobie
BF	Bassin Facultatif
BM	Bassin de Maturation
Cd	Cadmium
Co	Cobalt
Cr	Chrome
DBO₅	Demande Biologique en Oxygène en Cinq jours
DCO	Demande chimique en Oxygène
EUT	Eau Usée Traitée
FAO	Food and Agriculture Organization
Fe	Fer
Ha	Hectare
MES	Matières en Suspension
Na	Sodium
NO³⁻	Nitrate
NTK.	Azote Total Kjeldahl
OD	Oxygène Dissous
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONEA	Office National de l'Eau et de l'Assainissement
Pb	Plomb
pH	Potentiel d'Hydrogène
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
PO₄³⁻	Ortho-phosphate
PSAO	Plan Stratégique d'Assainissement de la ville de Ouagadougou
PT	Phosphore Total
SAR	Ratio d'Absorption en Sodium
STEP	Station d'Épuration
STBV	Station de Traitement de Boue de Vidange
T	Temperature
UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture
Zn	Zinc

Table des matières

LISTE DES ABRÉVIATIONS	vi
Table des matières	vii
LISTE DES TABLEAUX	x
LISTE DES FIGURES	xi
INTRODUCTION.....	1
PARTIE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
I. Généralité sur les eaux usées	3
1. Les eaux usées	3
I.1. Définition des eaux usées	3
I.2. Origines et composition des eaux usées	3
I.2.1. Les eaux usées domestiques.....	3
1.2.2. Les eaux usées industrielles	4
1.2.3. Les eaux pluviales	4
II. Les procédés biologie d'épuration	4
1. Les systèmes intensifs	5
1.1. Les boues activées	5
2.2. Procédés biologiques extensifs.....	6
2.2.1. Système de traitement par lagunage à microphytes	6
III. Paramètres physicochimiques	7
3.1. Paramètres physiques	7
3.1.1. Potentiel d'hydrogène	7
3.1.2. Température	7
3.1.3. Conductivité	8
3.1.4. L'oxygène dissous.....	8
3.1.4. Les matières en suspension (MES)	8
3.2. Paramètres chimiques.....	8
3.2.1. Indicateurs de pollution organique	8
3.2.1.2. Demande chimique en Oxygène	9
3.2.1.3 Rapports DCO/DBO5	9
3.2.2. Paramètres chimiques minéraux (les nutriments)	9
3.2.2.1. Matières azotées	9
3.2.2.2. Le Phosphore.....	10
3.2.2.3. Les sulfates.....	10
3.2.2.4. Calcium	11

3.2.2.5. Le potassium (K ⁺)	11
3.2.2.6. Le magnésium	11
3.2.2.7. Le sodium.....	11
3.2.2.8. Le ratio d'absorption en sodium et risque de salinité.....	12
VI. Mécanismes d'élimination des polluants par lagunage à microphytes	12
1. L'élimination de la charge organique.....	12
2. L'élimination des nutriments	13
VII. Mécanisme d'élimination de la pollution par boue activée.....	14
VIII. Législation et réglementation en matière d'assainissement des eaux usées et des excréta au Burkina Faso.....	15
IX. Réutilisation des eaux usées épurées.....	17
PARTIE II : Matériels et méthode	18
I. Présentation de la zone d'étude.....	18
II. Description des STEP étudiées.....	19
1. La STEP de Kossodo.....	19
2. La STBV de Zagtouli	19
3. La STEP de boues activées de l'hôtel Laïco	20
4. La STBV de Sourgoubila.	21
III. Méthodologie de prélèvements et analyses des rejets des stations	22
1. Prélèvements et échantillonnage	22
2. Analyses des paramètres physico-chimiques	22
2.1. Mesures in-situ	22
2.1.1. Température	22
2.1.2. Potentiel d'Hydrogène.....	22
2.1.3. La Conductivité.....	22
3. Détermination de la SAR	23
4. Évaluation de la Charge volumique et la Charge massique journalière.....	24
5. Traitement des données, calcul des abattements	24
PARTIE III. Résultats et discussion.....	28
I. Caractéristiques des eaux usées brutes et percolât des STEP	28
1. Les paramètres physiques.....	28
2. Les polluants organiques	29
3. Les polluants azotés, phosphorés et soufre	30
4. Les nutriments minéraux.....	31
5. Les éléments traces métalliques (ETM).....	32

6. Débits journaliers et charges volumiques moyennes des percolats et les eaux usées brutes.	33
II. Qualité des effluents traités et Rendements épuratoires des stations	36
1. Variation des paramètres physiques	36
2. Élimination de la pollution organique	39
3. L'élimination des nutriments	43
4. Élimination des éléments traces métalliques (ETM).....	47
5. Évaluation des flux moyens et totaux à la sortie des stations	50
III. Possibilité de valorisation des eaux usées épurées	50
1. Étude comparative des paramètres physico-chimiques des effluents traités avec les réglementations du Burkina Faso	51
2. Évaluation du SAR et le risque salinité des effluents traités.....	52
2. 1. Le ratio d'absorption en sodium.....	52
2.2. Évaluation du risque de salinité	53
Conclusion.....	54
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	I
ANNEXES	IV

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Normes et conditions de déversements des eaux usées dans le milieu naturel	16
Tableau II : Caractéristique des bassins de la station de lagunage de Kossodo	19
Tableau III : caractéristiques des bassins de lagunage de la Step de Zagtouli	20
Tableau IV : Caractéristiques des bassins de la STEP de boues activées de Laico	21
Tableau V: vue synoptique des caractéristiques des bassins de lagunage de la STBV de Sourgoubila	21
Tableau VI:Récapitulatif des appareils et méthodes d'analyse	23
Tableau VII: Paramètres physiques des influents bruts admis dans les stations	28
Tableau VIII: teneur moyenne des polluants organiques en fonction des STEP étudiés	29
Tableau IX : Teneurs moyennes des composées azotées, phosphoreux et du soufre	31
Tableau X: les teneurs moyennes des nutriments minéraux	31
Tableau XI; concentration des ETM dans les percolâts et les eaux usées brutes	32
Tableau XII: charges organiques admises dans les différentes stations étudiées.	34
Tableau XIII: caractéristiques des eaux usées brutes de la littérature en comparaison de celles de notre étude	35
Tableau XIV : Performances épuratoire des stations d'épuration et celles relevées dans la littérature	46
Tableau XV: flux moyens et totaux sortants des différentes stations étudiées	50
Tableau XVI: Qualité des effluents traités et les normes de réutilisation	51
Tableau XVII: Ratio d'absorption en sodium.	52

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Synoptique d'une station d'épuration de boue activée. (CEMADREF, 2002)	5
Figure 2: Situation géographique de la zone d'étude	18
Figure 3 variations moyennes du pH à l'entrée et à la sortie des STEP	36
Figure 4: variation moyenne de la température (°C) à l'entrée et à la sortie des STEP	37
Figure 5 Variation moyenne de la conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à l'entrée et à la sortie des STEP	38
Figure 6: Évolution moyenne de la DCO et les rendements épuratoires des STEP	39
Figure 7: : Évolution moyenne de la DBO5 et rendement épuratoire des STEP	41
Figure 8: Évolution moyenne de MES et rendement épuratoire des STEP	42
Figure 9: Évolution des teneur moyenne en NTK et rendement épuratoire des STEP	43
Figure 10: Évolution des teneurs moyennes en PO_4^{3-} et le rendement épuratoire des stations	44
Figure 11: teneurs moyennes en sulfate à l'entrée et à la sortie des STEP et les rendements épuratoires	45
Figure 12: Teneurs métalliques du percolât à l'entrée et à la sortie et redément épuratoire de la STEP de Zagtouli	47
Figure 13: Teneurs métalliques du percolât à l'entrée et à la sortie de la STEP de Sourgoubilaet les rendements épuratoires	48
Figure 14: Teneurs métalliques des EU brutes et traitées de la STEP de Kossodo et les rendements épuratoires	49
Figure 15: Teneurs métalliques des eaux usées à l'entrée et à la sortie de la step Laïco et les rendements épuratoires	49

INTRODUCTION

La gestion des eaux usées urbaines constitue un problème environnemental majeur dans le monde, particulièrement en Afrique où d'énormes quantités d'eaux usées sont rejetées dans la nature sans aucun traitement préalable. Selon le rapport annuel du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE, 2006), plus de 90% des eaux usées des pays du Sud sont rejetées directement dans la nature sans aucun traitement.

Ce problème est d'autant plus critique en Afrique subsaharienne, compte tenu de l'insuffisance de dispositif adéquat de collecte et de traitement des eaux usées. Ce qui en est le cas au Burkina Faso même si des initiatives ont été prises. En effet, pour résoudre de façon pérenne et efficace les problèmes d'assainissement, le Burkina Faso a élaboré en 1995 un Plan Stratégique d'Assainissement de la ville de Ouagadougou (PSAO). Ce plan vise à mettre en place des stratégies efficaces pour améliorer la gestion des eaux usées et des excréta, et présente les actions à entreprendre pour accroître l'accès de la population à un assainissement amélioré. Dans ce contexte, plusieurs stations d'épuration à vocation publique ou privée ont été construites pour le traitement des eaux usées urbaines et excréta. Il s'agit principalement de la station d'épuration des eaux usées (STEP) de Kossodo, des stations de traitement de boues vidange (STBV) de Sourgoubila et de Zagtoui et de la station d'épuration à boues activées du complexe hôtelier Laïco. Les effluents traités de ces différentes stations sont soit réutilisés en agriculture urbaine pour le maraichage, pour l'arrosage des espaces verts ou rejetés dans la nature. Conscient des enjeux liés à la réutilisation des eaux usées traitées du point de vue de la santé publique et de la protection de l'environnement, le Burkina Faso, à travers le décret N°2015-1205 du 28 octobre 2015, portant normes et conditions de déversements des eaux usées, travaille à la reconquête de la qualité des écosystèmes et la santé humaine.

Depuis l'adoption de ce décret en 2015, très peu d'études ont été consacrées à l'appréciation de la qualité des rejets d'effluents de station d'épuration. Pourtant, connaître précisément la qualité des rejets de stations d'épuration et alerter sur les incompatibilités éventuelles par rapport aux normes de rejet requises, s'impose comme une priorité pour une meilleure gestion des stations d'épuration. C'est pourquoi, le Laboratoire Eaux, Hydro-Systèmes et Agriculture (LEHSA) de l'Institut 2IE, a

initié cette étude portant sur l'évaluation de la qualité physico-chimique des rejets des principales stations d'épuration de la ville de Ouagadougou.

L'objectif général de cette étude est de contribuer à la connaissance de la qualité physico-chimique des rejets des principales stations d'épuration de la ville de Ouagadougou, en vue d'aider à la prise de décision sur le contrôle des traitements réalisés et leur optimisation.

Il s'agit plus spécifiquement de :

- Caractériser la qualité physico-chimique des effluents des principales stations d'épuration de la ville de Ouagadougou
- Déterminer leurs performances épuratoires
- Analyser la conformité des effluents traités par rapport aux normes de rejet en vigueur.

Ce présent rapport s'articulera autour de trois parties principales : La première partie présentera la synthèse bibliographique sur le thème. La seconde partie portera sur le matériel et les méthodes utilisés. La troisième partie sera consacrée à la présentation des résultats, ainsi qu'à leurs interprétations et discussions. Enfin sur la base des différents constats nous conclurons et formulerons des recommandations afin de pallier aux insuffisances.

.

PARTIE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Généralité sur les eaux usées

1. Les eaux usées

I.1. Définition des eaux usées

Les eaux usées, ou les eaux résiduaires, sont des eaux chargées de résidus, solubles ou non provenant de l'activité humaine, industrielle ou agricole et parvenant dans les canalisations d'évacuation des eaux usées. Elles représentent une fraction du volume des ressources en eaux utilisables, mais leur qualité très médiocre exige un traitement avant leur rejet dans le milieu naturel (Thomas, 1955)

I.2. Origines et composition des eaux usées

On distingue plusieurs catégories d'eaux usées dont les eaux domestiques, les eaux industrielles, les eaux pluviales et les eaux usées agricoles. Elles sont composées généralement environ 99% d'eau et 1% de matières solides en suspension, colloïdales et dissoutes (SAWADOGO, 2018). Leur caractère polluant demande un traitement préalable avant tout rejet dans un milieu récepteur afin d'éviter d'éventuelles conséquences désastreuses sur les hommes, l'environnement et l'écosystème aquatique.

I.2.1. Les eaux usées domestiques

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau et sont essentiellement porteuses de pollution organique. Majoritairement chargées de matières organiques et de produits d'entretien ménagers (Mohammed et Abdelhamid , 2012), les eaux domestiques sont composées de :

- **Eaux ménagères** (salles de bains et cuisines eaux d'éviers, lavabos, douches, baignoires, appareils) sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques.
- **Eaux-vannes** (rejets des toilettes) contiennent des matières organiques azotées et des germes fécaux.

1.2.2. Les eaux usées industrielles

Tous les rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestique sont qualifiés de rejets industriels. Cette définition concerne les rejets des usines, mais aussi les rejets d'activités artisanales ou commerciales. Elles sont généralement composées des eaux de fabrication, eaux des circuits de refroidissement, eaux de lavage des sols et des machines, rejets des services généraux. Très différentes des eaux usées domestiques, leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre **(SAWADOGO, 2018)**.

En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent contenir des produits toxiques des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures. Certaines de ces eaux usées doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte ou un traitement complet pour une réutilisation envisageable.

1.2.3. Les eaux pluviales

Les eaux de pluie ne sont pas dépourvues de substances nuisibles et peuvent constituer une source importante de pollution pour les cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. Elles sont majoritairement chargées :

- d'impuretés, au contact de l'air (fumées industrielles, résidus de pesticides, etc.)
- de résidus déposés, en ruisselant sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus, métaux lourds...).

Réalisée en station d'épuration en zone d'assainissement collectif, ou grâce à des dispositifs autonomes en zone d'assainissement non collectif, l'épuration des eaux pluviales et de ruissellements permet d'éliminer les matières solides et les substances dissoutes dans les eaux usées **(Fathallahz1 et al., 2014)**.

II. Les procédés biologie d'épuration

L'eau est utilisée presque dans la plupart des secteurs d'activités tels que l'industrie, l'agriculture, l'élevage, etc. L'utilisation de cette ressource ne peut se faire sans production des eaux usées susceptibles d'affecter l'écosystème. C'est pourquoi il est impératif de mettre en place des systèmes de traitement des eaux usées afin de réduire la charge polluante et d'améliorer les conditions de vie environnementales et sanitaires.

1. Les systèmes intensifs

Les techniques les plus développées au niveau des stations d'épuration urbaines sont des procédés biologiques intensifs. Le principe de ces procédés est de localiser sur des surfaces réduites et d'intensifier les phénomènes de transformation et de destruction des matières organiques que l'on peut observer dans le milieu naturel. Trois grands types de procédés intensifs sont généralement utilisés parmi lesquels nous avons les boues activées

1.1. Les boues activées

C'est le procédé le plus répandu actuellement pour l'épuration des eaux résiduaires urbaines des petites, moyennes ou grandes collectivités. Le procédé à boues activées est un système dans lequel des micro-organismes sont mis en contact avec des eaux usées renfermant des matières biodégradables pendant un temps suffisant. Ces amas biologiques sont maintenus en agitation au sein de l'eau de façon à assurer un contact avec toute la partie de l'effluent. L'oxygène est fourni en quantités suffisantes par des aérateurs (Gomella, C, Guerre. H. 1982)

Ainsi, dans le bassin d'aération, en présence d'oxygène, les micro-organismes vont se développer et se reproduire aux dépens des matières biodégradables formant ainsi des floccs décantables. Orientés par la suite vers un clarificateur assurant la séparation l'eau traitée et les boues produites. Une partie de ces boues sera expédiée vers les organes de traitement de boues et l'autre partie est recirculée dans le bassin d'aération (Debiche, 2014).

La figure 1 présente ci-dessous une vue synoptique dus station d'épuration à boues activées

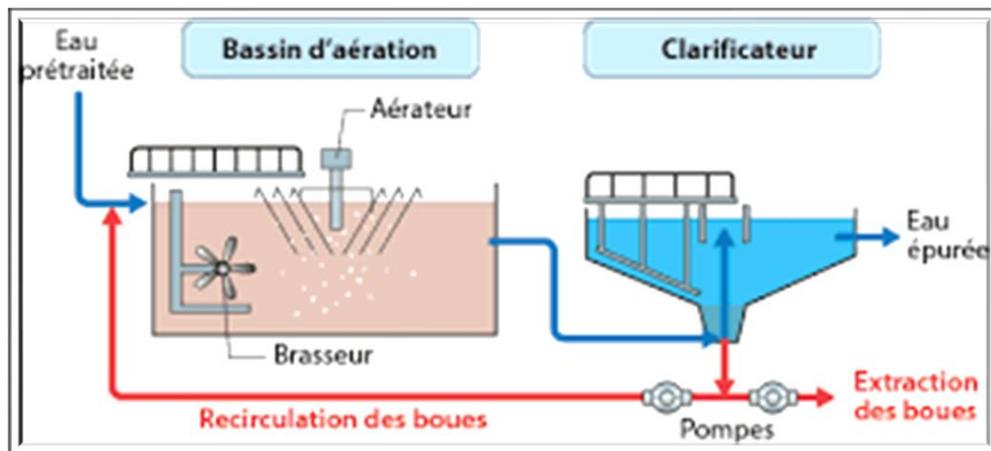


Figure 1 : Synoptique d'une station d'épuration de boue activée. (CEMADREF, 2002)

2.2. Procédés biologiques extensifs

2.2.1. Système de traitement par lagunage à microphytes

Le lagunage à microphytes est une technique biologique d'épuration des eaux usées, où le traitement est assuré par une combinaison de procédés aérobies et anaérobies, impliquant un large éventail de micro-organismes (essentiellement des algues et des bactéries) favorisant la transformation de la matière (Pearson, 2005).

Ce système est souvent composé de : l'étage de bassin anaérobie (BA), l'étage de bassin facultatif (BF) et l'étage de bassin de maturation (BM) (Koné, 2002). Les bassins dans chaque étage peuvent être regroupés en parallèle ou en série et jouent un rôle spécifique dans le traitement de l'eau usée.

✚ Étage de bassin anaérobie

L'étage de bassin anaérobie permet d'abattre la charge polluante carbonée (DBO₅, DCO, MES) et de stabiliser les boues en plus de les traiter. Il reçoit des charges polluantes relativement élevées qui sont exprimées en demande biochimique en oxygène (DBO₅) par unité de volume (UNESCO, 2008).

À cause de la profondeur et la charge organique élevée, il y a aucune couche aérobie et toute l'activité biologique est anaérobie. Cette pollution est réduite par sédimentation et digestion anaérobie à des profondeurs de 2 à 5 m avec un temps de séjour court (un à plusieurs jours). Au fond du bassin anaérobie, la minéralisation de la matière organique soluble en suspension est assurée par les bactéries qui la transforment en eau, gaz carbonique, nitrates et phosphates. Ces composés vont être assimilés par les algues qui grâce à la lumière du soleil vont effectuer la photosynthèse pour assurer leur métabolisme et libérer de l'oxygène pour la vie des bactéries.

L'inconvénient majeur que présente le bassin anaérobie est le dégagement d'odeur qui est due à l'élimination de l'hydrogène sulfuré. Pour éliminer les nuisances olfactives et maintenir les conditions anaérobies une couche de l'eau épurée est laissée à la surface ou même équipé le bassin d'un aérateur (UNESCO, 2008).

✚ Étage de bassin facultatif

L'étage de bassin facultatif contribue généralement à l'élimination de la pollution organique, mais aussi de l'azote et du phosphore. Les bassins sont moins profonds (1-2m) que les bassins anaérobies afin de permettre la pénétration des radiations solaires et le traitement aérobie de la pollution

dissoute (**Djiguemde, 2013**). L'activité photosynthétique des algues dans le bassin permet une variation des paramètres au cours de la journée (oxygène dissous monte et descend avec l'intensité lumineuse, pH augmente avec la consommation de CO₂ dissous dans l'eau). Les eaux traitées du bassin facultatif sont généralement de couleur verte caractérisant ainsi la présence des algues. Elles peuvent aussi être colorées en rouge à cause de la présence de bactéries pourpres réductrices de soufre.

Étage de bassin de maturation

Les étages de maturation constituent la dernière étape de traitement des eaux usées par lagunage à microphytes. Ils sont entièrement en aérobie sur toute la profondeur (1 à 1,5m) et ont pour rôle majeur d'affiner l'épuration par élimination d'une grande partie de la pollution bactérienne due aux germes pathogènes nuisibles à la santé (**SAMA, 2013**). Leurs faibles profondeurs permettent une bonne pénétration de la lumière favorisant le développement des algues, des microorganismes aérobies et anaérobies facultatifs.

III. Paramètres physicochimiques

Les eaux usées peuvent être caractérisées selon plusieurs paramètres, parmi lesquels les paramètres physicochimiques.

3.1. Paramètres physiques

3.1.1. Potentiel d'hydrogène

Il traduit l'acidité ou l'alcalinité du milieu. C'est un des paramètres très déterminants dans le processus d'élimination des pathogènes, des nutriments, mais aussi du contrôle des odeurs. Un pH trop acide inhibe l'activité des bactéries méthanogènes et engendre des odeurs désagréables. Toutefois, un pH trop basique réduit l'activité microbienne. Selon **Guerrin, (1981)** le pH des eaux usées domestiques est généralement autour de la neutralité (6,7 et 7, 2). Des valeurs de pH supérieur à 8,5 favorisent l'inactivation des E. Coli selon **Davies-Colley et al., (1999)**

3.1.2. Température

La température agit, comme un facteur physiologique, sur le métabolisme de croissance des microorganismes vivants dans l'eau. Elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz (en particulier l'O₂) dans l'eau, ainsi que la détermination du pH et la vitesse des réactions chimiques (**Salembere, 2009**)

3.1.3. Conductivité

La conductivité d'une eau fournit une indication précise sur sa teneur en sels dissous (salinité de l'eau). Elle s'exprime en $\mu\text{Sm}/\text{cm}$ et elle est l'inverse de la résistivité qui s'exprime en ohm/cm . La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau (**Duchêne, 1990**).

3.1.4. L'oxygène dissous

Les concentrations en oxygène dissous (O_2 dissous) constituent l'un des plus importants paramètres de qualité des eaux dans la mesure où il est indispensable à la vie aquatique et à la dégradation des polluants biodégradables permettant l'autoépuration. L'oxygène dissous dans les eaux des STEP provient essentiellement de l'atmosphère, de l'activité photosynthétique des algues et des systèmes d'aération. La concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière, car elle dépend de nombreux facteurs tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments. Cette concentration en oxygène dissous est également fonction de la vitesse d'appauvrissement du milieu en oxygène par l'activité des organismes aquatiques et les processus d'oxydation et de décomposition de la matière organique présente dans l'eau. Globalement, plus la concentration en oxygène dissous (OD) est proche de la saturation, plus l'aptitude des bassins à absorber la pollution est importante (**Rodier, 1996**).

3.1.4. Les matières en suspension (MES)

Ce sont des particules solides très fines et généralement visibles à l'œil nu, théoriquement, elles ne sont ni solubilisées, ni à l'état colloïdale (**El Hachemi O et al., 2012**). Elles limitent la pénétration de la lumière dans l'eau, diminuent la teneur en oxygène dissous et nuisent au développement de la vie aquatique. Ces matières sont en relation avec la turbidité, leurs mesures donnent une première indication sur la teneur en matière colloïdale d'origine minérale ou organique. La teneur en matières en suspension est obtenue par la pesée après filtration ou centrifugation et séchage à 105°C . Elles sont exprimées en milligramme par litre (mg/l)

3.2. Paramètres chimiques

3.2.1. Indicateurs de pollution organique

3.2.1.1 Demande biochimique en oxygène (DBO)

Demande Biochimique en Oxygène : c'est la quantité d'oxygène que les bactéries utilisent pour décomposer partiellement ou pour oxyder totalement en dioxyde de carbone (CO₂) les substances organiques dans l'eau, en un temps donné, à l'aide de leur système enzymatique (**Blifert, 2001**).

3.2.1.2. Demande chimique en Oxygène

C'est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques y compris les matières biodégradables et non biodégradables par voie chimique. Elle est l'une des plus importants critères utilisés dans la conception d'une station d'épuration des eaux usées afin de déterminer le degré de traitement nécessaire (**Maïga, 2010**).

3.2.1.3 Rapports DCO/DBO5

Le rapport entre DCO et DBO5 est un indice essentiel de la biodégradabilité de l'eau. Il est souvent très différent pour les eaux résiduaires urbaines (ERU) et évolue en divers stades du traitement. La valeur de la DCO est toujours plus élevée que celle de la DBO5 (**Grosclaude, 1999**). Pour qu'une pollution soit biodégradable, le rapport doit être inférieur à 2,5 (Bordet, 2007).

La biodégradabilité d'une eau usée est généralement par le rapport DCO/DBO₅ (**Rodier, 2009**)

- ✓ DCO/DBO5 < 3 effluent facilement biodégradable ;
- ✓ 3 < DCO/DBO5 < 5 effluent moyennement biodégradable ;
- ✓ DCO/DBO5 > 5 effluent difficilement biodégradable.

3.2.2. Paramètres chimiques minéraux (les nutriments)

3.2.2.1. Matières azotées

L'azote provient essentiellement des déjections humaines comme les urines sous forme d'urée, d'acide urique et d'ammonium.

Selon **Rodier, (1996)**, l'azote se retrouve dans la nature sous plusieurs formes. On distingue :

- ✚ L'azote moléculaire (N₂) qui se retrouve sous forme gazeux dans l'atmosphère (78% dans l'air)
- ✚ L'azote organique(N) rencontré dans les composés organiques (acides aminés, protéines...)
- ✚ L'azote ammoniacal (NH₃⁺) existant sous forme réduite soluble ;
- ✚ le nitrate (NO₃⁻) et le nitrite (NO₂⁻) qui sont les formes oxydées sont respectivement stable et instable . Le nitrite est le composé intermédiaire de l'ammoniac en nitrate ;
- ✚ L'azote total qui constitue la somme de toutes les formes d'azotes ;
- ✚ L'azote Kjeldhal par contre est la teneur de l'azote sous forme organique et ammoniacale.

Le produit final de la réduction de l'azote organique est l'azote ammoniacal sous la forme d'ammonium ionisé (NH_4^+) et l'ammonium non ionisé NH_3 .

Le déplacement de l'équilibre de la réaction $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NH}_3$ en faveur de la forme non ionisée (NH_3) dépend du pH et de la température.

La présence de l'azote ammoniacal dans les eaux traduit généralement un processus de dégradation incomplète de la matière organique. De façon générale grâce à la présence de l'oxygène dissous et en fonction du caractère oxydant dans les bassins, les phénomènes de nitrification transforment très rapidement l'azote ammoniacal en nitrite puis en nitrate.

En plus de la toxicité de la forme ammoniacale et nitrique, l'azote intervient dans le phénomène de l'eutrophisation. Sa caractérisation et sa quantification sont donc primordiales pour les rejets liquides dans le milieu naturel (**Deronzier et al, 2001**).

3.2.2.2. Le Phosphore

Le phosphore a pour origine les industries du traitement de surfaces des métaux, les laveries industrielles des fabrications, d'engrais agroalimentaire. Comme l'azote il est à l'origine du phénomène d'eutrophisation c'est-à-dire la prolifération excessive d'algues et de plancton dans les milieux aquatiques (**Duchêne, 1999**). Le phosphore se trouve dans les eaux résiduaires sous formes :

- ✚ d'ortho-phosphate, soluble PO_4^{3-} ;
- ✚ de polyphosphate qui a tendance à s'hydrolyser en ortho-phosphate;
- ✚ de phosphore non dissous

3.2.2.3. Les sulfates

Les sulfates sont l'un des éléments majeurs des composés dissouts dans l'eau de pluie. Leurs présences dans les eaux usées est généralement due à des rejets en provenance d'ateliers de blanchiment (laine, soie, etc.), d'usines de fabrication de cellulose (pâte à papier, etc.) et d'unités de décoloration. La présence de sulfates dans les eaux résiduaires urbaines (ERU) entraîne des nuisances olfactives, la corrosion des réseaux, les dysfonctionnements des stations de traitement des eaux usées par voie biologique dû à la formation du sulfure d'hydrogène.

3.2.2.4. Calcium

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires, sous forme de carbonates. Ces sels se rencontrent dans presque toutes les eaux naturelles ainsi que dans les rejets d'eaux usées qui parfois sont destinées à l'irrigation des cultures. Le calcium fait partie intégrante de l'alimentation des plantes et intervient sur un certain nombre de propriétés physiques du sol tel que stabilité structurale et dynamique de l'eau (Yara, 2018). C'est pourquoi, il est important d'effectuer un suivi régulier de sa concentration en irrigation.

3.2.2.5. Le potassium (K⁺)

Le potassium est un macronutriment essentiel qui affecte favorablement la fertilité du sol, le rendement des cultures et leur qualité, Sa concentration dans l'eau usée traitée secondaire varie de 10 à 30 mg/l (Wahiba, D, 2012). Il faut noter cependant que, un excès de fertilisation potassique conduit à une fixation éventuelle du potassium à un état très difficilement échangeable, à une augmentation des pertes par drainage en sols légers, à une consommation de luxe pour les récoltes (FAO, 2002)

3.2.2.6. Le magnésium

Malgré le fait que la quantité nécessaire à une croissance optimale ne soit en rien comparable à la concentration en éléments primaires, le magnésium est un constituant vital de la chlorophylle, et joue donc un rôle majeur dans le bon fonctionnement de la photosynthèse des cultures (Yara,2018). Elle contribue avec le calcium à la dureté et l'alcalinité des eaux.

3.2.2.7. Le sodium

Le sodium est un élément secondaire dont la teneur naturelle dans les sols est faible, mais toujours suffisante pour les besoins des cultures. Cette teneur est en général inférieure ou égale à 0,03‰ (SAWADOGO, 2018). L'analyse du sodium informe sur la salinité du sol. Dans le cas de réalisation des rejets des station d'épuration, sa présence dans les eaux requiert une attention particulière, car un excès de sodium entraîne un risque de dégradation de la structure du sol, particulièrement visible en surface par une aggravation de la battance (Sou/Dakouré et al., 2013). En cas de forte teneur, la croissance des végétaux est fortement perturbée et le pH du sol s'élève significativement.

3.2.2.8. Le ratio d'absorption en sodium et risque de salinité

Certains annoncent qu'une eau contenant un haut degré de sénilité (conductivité électrique inférieure à 1500s/cm) et une grande quantité de sodium ($SAR = 6$) ne doit pas être utilisée en irrigation. Néanmoins dans certains endroits en manque d'eau, l'eau très saline peut être en tant que supplément pour d'autres ressources.

Les risques de sodisation relatifs à une eau d'irrigation sont caractérisés par deux paramètres : le ratio d'absorption en sodium (SAR) qui rend compte du rapport entre les concentrations en sodium et en alcalinoterreux et la conductivité des effluents irrigués. Pour classer les eaux d'irrigation, le laboratoire de salinité des sols des USA (1954) propose les conditions énoncées à l'annexe III

VI. Mécanismes d'élimination des polluants par lagunage à microphytes

1. L'élimination de la charge organique

Plusieurs facteurs interagissent ensemble pour permettre la dégradation de la charge carbonée dans un système de lagunage à microphytes. L'élimination de la DBO₅, la DCO et les MES repose principalement sur la relation symbiotique entre algues et bactéries. À cela s'ajoute la décantation de la matière au fond des bassins.

Les algues

Les algues ou microorganismes photosynthétiques contiennent de la chlorophylle, d'où la coloration verte des bassins de lagunage. Cette chlorophylle leur permet d'utiliser la lumière du soleil comme source d'énergie, c'est la base du processus de la photosynthèse. Les algues assimilent ainsi les sels minéraux et le gaz carbonique des eaux usées pour se développer et rejettent de l'oxygène grâce à la photosynthèse.

Les bactéries

Les bactéries sont des microorganismes responsables en grande partie de la dégradation de la matière organique. Elles rejettent les produits de leur dégradation sous forme de gaz carbonique et de matière soluble dans le milieu, favorable à la prolifération des algues. Deux types de bactéries interviennent dans le processus d'épuration par lagunage ; les bactéries anaérobies qui peuvent se développer sans oxygène et les bactéries aérobies qui ont besoin d'oxygène pour leur synthèse. Dans les lagunes, les bactéries anaérobies agissent au fond des bassins (UNESCO, 2008). En effet,

en cet endroit où la lumière ne pénètre pas, ces bactéries anaérobies dégradent les sédiments issus de la décantation de la matière organique. Un dégagement de gaz carbonique et de méthane se produit à ce niveau. Quant aux bactéries aérobies elles interviennent à la pleine d'eau. L'oxygène nécessaire à leur respiration provient d'une part de l'agitation de la surface de l'eau par l'air et d'autre part par l'activité des algues microscopiques en suspension dans l'eau.

La decantation

Elle joue un rôle important dans le processus d'élimination de la charge organique. Dans les bassins anaérobies où la lumière ne pénètre pratiquement pas, les matières organiques particulières contenues dans les eaux usées décantent et forment des sédiments au fond des bassins (**ZONGO, 2013**). Les bactéries anaérobies dégradent les sédiments issus de la décantation de la matière organique. Ce processus permet une élimination de la majeure partie de MES. Les matières en suspensions constituent une bonne partie de la pollution organique ; leurs abattements contribuent donc à un meilleur rendement de la DBO et de la DCO (**Mara, 2003**)

2. L'élimination des nutriments

Elimination de azote

L'élimination de l'azote dans les bassins de lagunage s'effectue sous plusieurs formes, l'assimilation par les algues et la rétention dans les boues accumulées au fond des bassins, l'ammonification ; l'assimilation ; la nitrification ; la dénitrification. Chacune de ses réactions est indépendante du milieu et de l'état d'oxydation. La majeure partie de l'azote est éliminée dans le bassin facultatif et de maturation à travers l'incorporation de l'ammoniac dans les cellules algales. L'efficacité d'élimination de l'azote est généralement inférieure à 70% (**Ferra et avci, 1982, Mara, 1996, Pearson et al., 1996, Mara, 1997 ; Middlebrooks et al., 1999**)

Elimination du phosphate

Les phosphates (PO_4^{3-} , H_2PO_4 HPO_4^{2-}) peuvent être éliminés par précipitation sur un complexe insoluble avec un cation (par exemple. Ca^{2+} , Mg^{2+} Al^{3+} Fe^{3+}) dans les bassins de lagunage facultatifs et de maturation. L'élimination des phosphates dépend d'un ensemble d'éléments comme la température, la conductivité et le pH et de la concentration des cations (**Goldman et al., 1982a ; Montin et al., 1992**). Selon (**Mara, 1996 ; Pearson et al., 1996**), l'efficacité d'élimination du phosphore varie généralement de 40 à 50% dans les systèmes de lagunage

Élimination des métaux lourds

Les métaux lourds peuvent être éliminés par divers procédés dans les bassins de lagunage. Les principaux procédés d'élimination des métaux lourds sont les suivants :

- ✓ La sédimentation des solides des eaux usées
- ✓ L'adsorption de la biomasse algale/bactérienne et des boues de fond
- ✓ Bioaccumulation dans la Biomasse algale/bactérienne (et sédimentation ultérieure)
- ✓ Précipitation

L'efficacité de l'élimination des métaux lourds par les systèmes de lagunage varie selon des différents métaux et du type de système. Mais en général, elle s'améliore en fonction du nombre et du type de bassin. Selon (**Smillie et Loutit, 1982 ; Nejmeddine et al., 2000**), La plupart des éliminations se font dans des bassins primaires (anaérobies ou facultatifs) et sont dues à la sédimentation des solides auxquels le métal lourd a adsorbé, mais aussi par la participation des colonies algales.

Les études antérieures menées par **Toumi et al., (2000)** ont montré que le système de lagunage élimine 92% le cuivre, 71% le plomb et 91% le zinc.

VII. Mécanisme d'élimination de la pollution par boue activée

Élimination de la matière carbonée

L'élimination de la pollution carbonée à boue activée est organisée comme une chaîne alimentaire, les bactéries étant à la place des producteurs et se multipliant de manière proportionnelle à la charge organique. Les autres organismes établissent des relations de prédation ou de compétition.

Les bactéries minéralisent la matière organique alors que les autres organismes favorisent leur élimination, participant ainsi au maintien d'une biomasse bactérienne constante et à la clarification du liquide interstitiel.

Élimination du phosphore

Elle repose sur la génération de deux phases

Voie biologique

Phase anaérobie : des germes aérobies stricts qui, sous l'action du stress anaérobie, libèrent du phosphore dans le milieu et accumulent des réserves de polyhydroxybutyrate.

Phase aérobie : les mêmes germes aérobies strict réabsorbent le phosphore libéré plus celui présent dans l'eau usée en hydrolysant leur réserve de polyhydroxybutyrate : on parle d'assimilation

pléthorique. Globalement, il y a eu plus de phosphore absorbé que de phosphore libéré, le phosphore de l'eau usée ayant été transféré de la phase liquide vers la phase solide. Il sera donc éliminé dans les boues lors de la phase de décantation.

Voie physico-chimique.

Le phosphore soluble des orthophosphates et des polyphosphates est éliminé par précipitation avec le coagulant. Le phosphore particulaire sera éliminé lors de l'étape de décantation avec les autres matières en suspension.

Elimination de l'azote

Dans les systèmes de boue activées, l'élimination de l'azote se fait essentiellement par Nitrification/dénitrification. La dénitrification est le processus par lequel certaines bactéries réduisent les nitrates en azote gazeux. La dénitrification biologique est une partie intégrante de l'élimination biologique de l'azote, associée à l'étape de nitrification, en vue de respecter la norme de rejet en azote total.

VIII. Législation et réglementation en matière d'assainissement des eaux usées et des excréta au Burkina Faso

La norme est représentée par un chiffre qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser ou une limite inférieure à respecter. Un critère donné est rempli lorsque la norme est respectée pour un paramètre donné. Une norme est fixée par une loi, une directive, un décret de loi. Le secteur de l'assainissement est régi par un ensemble documentaire constitué de loi et des directives internationales. Les textes juridiques applicables en matière d'assainissement dans la caractérisation des eaux usées et du percolât traités des stations d'épuration en vue d'une valorisation agronomique ou de rejeté dans le milieu naturel sont en premier lieu, les lois et les règlements nationaux en matière d'assainissement. Les plus importants textes et leurs décrets d'application sont les suivants :

1. Loi n° 23/94/ADP du 19 mai 1994 portant Code de santé publique ;
2. Loi n° 014/96/ADP du 23 mai 1996 portant réorganisation agraire et foncière au Burkina Faso ;
3. Loi n° 005/97/ADP du 30 janvier 1997 portant Code de l'environnement au Burkina Faso ;
4. Loi N°010/98/AN du 21 avril 1998 portant modalités d'intervention de l'État et répartition de compétences entre l'État et les autres acteurs du développement ;
5. Loi n° 002-2001/AN du 08 février 2001 relative à la gestion de l'eau au Burkina Faso ;

6. Loi n° 055-2004 du 21 décembre 2004 portant Code général des collectivités territoriales au Burkina Faso ;
7. Loi n°022-2005/AN du 24 mai 2005 portant Code de l'hygiène publique ;
8. Loi n° 017-2006/AN du 18 mai 2006 portant code de l'urbanisme et de la construction au Burkina Faso.

En ce qui concerne les valeurs limites de rejet des eaux usées et excréta pour la réutilisation en agriculture, le Burkina Faso utilise toujours les directives de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Le tableau I ci-dessous présente les normes et conditions de déversements des eaux usées dans le milieu naturel du Burkina Faso.

Tableau I : Normes et conditions de déversements des eaux usées dans le milieu naturel

PARAMETRES	NORMES
PH	6,4 – 10,5
Température (°C)	40
Na ⁺ (mg/l)	&300
Ca ²⁺ (mg/l)	500
Mg ²⁺ (mg/l)	200
DBO ₅ (mg/l)	40
DCO (mg/l)	150
MES (mg/l)	150
NTK (mg/l)	35
NH ₄ (mg/l)	1
NO ₃ ⁻ (mg/l)	50
NO ₂ ⁻ (mg/l)	1
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	5

Source : décret N°20151205/PRES-TRANS/PM/MERH/MEF/MARHASA/MS/MRA/MICA /MME/MIDT/MAD du 28 octobre 2015 portant normes et conditions de déversements des eaux usées. JO N°01 DU 07 JANVIER 2015

IX. Réutilisation des eaux usées épurées

Dans un contexte économique et sanitaire, les eaux usées sont utilisées dans cinq grands domaines dans le monde (**GWI, 2013**) : les usages agricoles (30 %), les usages urbains (30 %), les usages industriels (20 %), les usages environnementaux (20 %), et les usages potables directs (anecdotiques).

Les eaux réutilisées en agriculture sont bénéfiques dans la mesure où elles assurent la protection des travailleurs et des consommateurs, notamment vis-à-vis du risque microbiologique d'une part, et d'autre part la 10 récupération de nutriments (notamment azote et phosphore) pour les cultures (**Drechsel et al., 2011**).

Quant à leurs usages publics, elles sont nombreuses et comprennent l'arrosage des parcs publics ou des terrains de golf, l'eau pour les chasses d'eau dans des complexes sportifs ou commerciaux, le lavage des voitures (**Jiménez and Cisneros, 2014**).

La réutilisation des eaux usées traitées peut permettre de restaurer efficacement ces milieux qui ont une valeur d'usage importante directe (tourisme, usages récréatifs) ou indirecte (filtration naturelle de l'eau, piège à carbone...). Le maintien d'un débit minimum d'étiage d'un cours d'eau peut également être un objectif, d'autant plus que c'est une obligation réglementaire (JORF, 1992 ; US EPA, 2012) cité par(**Erwan Carré, 2017**) .

PARTIE II : Matériels et méthode

I. Présentation de la zone d'étude

Le cadre général de l'étude est à **Ouagadougou**, la capitale politique du Burkina Faso. La ville est située au cœur de la province du Kadiogo avec une population de 2,5 millions d'habitants en 2015 (INSD, 2015) sur une superficie de 518 km². Elle est située au centre du pays entre les coordonnées géographiques 1°28 à 1°36 de longitude ouest et 12°20 à 12°26 de latitude nord (Kientéga et al, 2001). Le climat est de type soudano-sahélien avec une seule saison des pluies couvrant la période de mai à septembre. La ville de Ouagadougou connaît une température annuelle moyenne de 28,2°C et les précipitations annuelles sont de 700 mm en moyenne (**BITIE, 2013**). La figure 3 ci-dessous présente la situation géographique de la zone d'étude

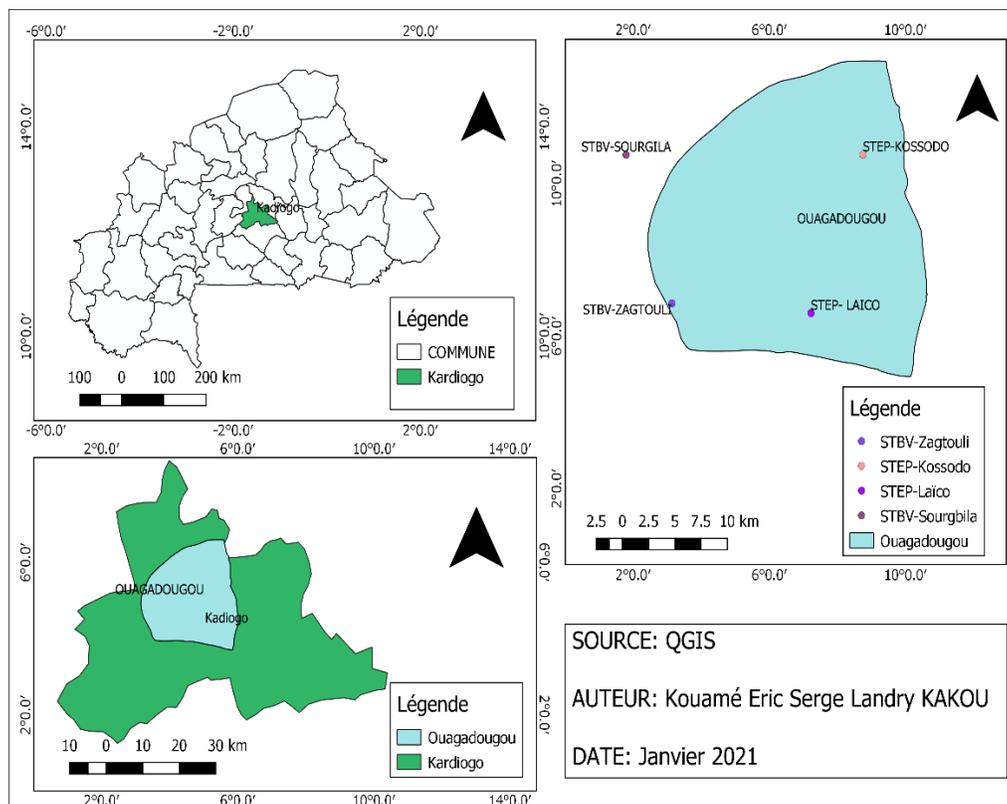


Figure 2: Situation géographique de la zone d'étude

II. Description des STEP étudiées

La ville de Ouagadougou est dominée par les activités économiques comme l'industrie, l'artisanat, et l'hôtellerie, etc. La majorité de ces secteurs d'activités produit des quantités importantes d'eaux usées, dont le traitement avec des eaux usées domestiques est assuré parfois par des systèmes d'épuration publique et privée. Notre étude a porté sur 4 grandes de la ville de Ouagadougou

1. La STEP de Kossodo

La STEP de Kossodo est un système de lagunage à microphytes, située dans la zone industrielle de Kossodo. L'aire du traitement occupe une surface de 13ha et est prévue à terme sur 20ha. Sa capacité de traitement est estimée à 140 000 équivalents habitants, avec un volume total d'environ 180 000 m³. Les eaux usées brutes de la STEP de Kossodo proviennent du centre-ville de Ouagadougou, des hôtels Silmandé et Azalaï Hôtel indépendance, l'hôpital Yalgado OUEDRAOGO, de la Brasserie BRAKINA et de l'abattoir frigorifique de Ouagadougou. Elle est composée de trois (03) bassins anaérobies en parallèle, deux (02) bassins facultatifs en parallèle et de trois bassins de maturation en série. Une canalisation de rejet s'ouvrant sur 11 ha d'espaces aménagés pour l'irrigation située en aval de la station. Les caractéristiques géométriques des différents bassins de lagunage sont données dans le tableau III.

Tableau II : Caractéristique des bassins de la station de lagunage de Kossodo

Désignation	Surface (m ²)		Volum&e (m ³)		Profondeur (m)
	Fond	Crête	Eau	Total	Eau
Bassin anaérobie (BA3)	1681	4082	10235	4,7	4
Bassin Facultatif (BF2)	27025	31940	51500	2,5	1,8
Bassin Maturation 1 (BM1)	12524	16166	27000	2,7	1,2
Bassin Maturation 2 (BM2)	5964	8529	6850	2,7	1,2
Bassin Maturation 3 (BM3)	5964	8529	6850	2,7	1,2

2. La STBV de Zagtoui

La STBV de Zagtoui est localisée dans la commune rurale de Zagtoui, une zone péri-urbaine située à l'Ouest de la capitale, sur la route de Bobo Dioulasso et occupe une superficie de 15 Ha.

Il s'agit d'une station traitement des boues de vidange composée de 96 lits de séchage couplé à un système de lagunage à microphytes en aval, assurant le traitement du percolât des boues. Ce dernier comprend trois bassins dont un bassin anaérobie recevant le percolât en provenance du lit séchage, un bassin facultatif et un bassin de maturation. Les boues traitées proviennent des ménages, des services privés et publics de la ville. La STBV a été dimensionnée pour une capacité de 125 m³ /J à l'horizon 2010 et de 250 m³ /J à l'horizon 2020. Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques des bassins de lagunage de Zagtouli.

Tableau III : caractéristiques des bassins de lagunage de la Step de Zagtouli

	Profondeur(m)	Surface à mi profondeur (m ²)	Volume (m ³)	Temps de Séjour (j)
Bassin anaérobie	2.5	180	450	3
Bassin facultatif	1.5	1500	2250	14
Bassin maturation	1	450	450	3
Total			3150	20

3. La STEP de boues activées de l'hôtel Laïco

La station de boues activées de l'hôtel Laïco est située à Ouaga 2000 au sein du complexe Hôtelier Laïco. La station reçoit et traite les eaux usées en provenance de la cuisine, de la pâtisserie et des chambres de l'hôtel et du centre commercial de ladite complexe. Cette station est composée :

- **d'une bêche de relevage** couplée à un dégrilleur en dysfonctionnement qui permettait de retenir les déchets grossiers indésirables ;
- **d'un dégraisseur** assurant la retentions des huiles et les graisses ;
- **d'un bassin d'aération** : composé de deux aérateurs à fonctionnement alterné ;
- **de deux clarificateurs** ;
- **d'une salle de chloration** servant à la désinfection de l'eau clarifiée avant d'être réutilisée pour l'arrosage des espaces verts du complexe. Ce système de chloration est actuellement hors service. Le tableau IV présente les caractéristiques des bassins de la station de boues activées de l'hôtel Laïco.

Tableau IV : Caractéristiques des bassins de la STEP de boues activées de Laico

	Profondeur (m)	Surface à mi profondeur (m ²)	Volume (m ³)
Bassin aération	3,2	84,21	269,47
Clarificateur 2	4,1	28,26	115,87

4. La STBV de Sourgoubila.

La STBV de Sourgoubila est localisée dans la périphérie de la commune rurale de Sourgoubila, non loin du village de Gonsin, à 5 km de la sortie Nord-Ouest de Ouagadougou sur la route nationale N°2 (route de Ouahigouya). Elle s'étend sur une superficie de 4 hectares, avec une capacité moyenne de 240 m³/Jour. Il s'agit d'une station mixte de traitement des boues de vidange, composée 40 lits de séchage (reparti en quatre blocs) associé à un système de lagunage à microphytes en aval, assurant le traitement du percolât des boues. Ce système de lagunage comprend trois (03) bassins dont un bassin anaérobie recevant le percolât en provenance du lit séchage, un bassin facultatif et un bassin de maturation. Les effluents traités sortant du bassin de maturation sont recueillis gravitairement dans une fosse puis drainés vers un espace vert aménagé au sein de ladite station. Le tableau V ci-dessous met en relief les caractéristiques des bassins de lagunage de la STBV de Sourgoubila.

Tableau V: vue synoptique des caractéristiques des bassins de lagunage de la STBV de Sourgoubila

	Profondeur (m)	Surface à mi profondeur (m ²)	Volume (m ³)	Temps de Séjour (j)
Bassin anaérobie	2,5	120,80	302	2
Bassin facultatif	1,5	1 049,33	1574	11
Bassin maturation	1,5	288,00	432	3
Total			2308	16

III. Méthodologie de prélèvements et analyses des rejets des stations

1. Prélèvements et échantillonnage

Les prélèvements ont été effectués deux fois par semaine (chaque lundi et jeudi) pendant douze (12) semaines (juillet à octobre). Les échantillons ont été prélevés à l'entrée et à la sortie de chaque station à l'aide d'une canne muni d'un godet de prélèvement. Les échantillons ont été ensuite conditionnés dans une glacière et envoyés au laboratoire LEHSA (2IE) pour être analysés.

2. Analyses des paramètres physico-chimiques

2.1. Mesures in-situ

2.1.1. Température

Les mesures de la température exprimée en degré (°C) ont été effectuées par plongée, à l'aide d'un multimètre selon la méthode AFNOR 90-008. La lecture est faite après stabilisation de la valeur.

2.1.2. Potentiel d'Hydrogène

Les mesures du pH ont été possibles grâce à un pH-mètre portatif de type 3310 SET2 muni d'une électrode, selon la méthode AFNOR T 90-08. On plonge l'électrode dans l'échantillon prélevé et on lit directement la valeur du pH après stabilisation.

2.1.3. La Conductivité

Pour évaluer les conductivités des échantillons nous avons utilisé un conductivimètre portatif de type 3310 SET1 associé à une électrode, par plongé selon la méthode AFNOR 90-031. ses données sont exprimées en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Pour les paramètres de pollution azotée phosphoré sulfureux et les métaux le tableau VII présente l'ensemble des appareils et les méthodes utilisés.

Tableau VI:Récapitulatif des appareils et méthodes d'analyse

Paramètres	Unités	Appareils	Méthodes
MES	mg/L	Balance	AFNOR T 90 105
DBO ₅	mg O ₂ /L	Armoire thermostatée	Méthode aux Oxitop
DCO	mg O ₂ /L	Spectrophotomètre 890.	Méthode standard
NO ₃ ⁻	mg/l	Spectrophotomètre 3900	HACH 8039 méthode de réduction au cadmium
NTK	mg/l	Minéralisateur K436/distillateur BUCHI K 355	HACH 8051 Méthode Kjeldahl
PO ₄ ³⁻	mg/l	Spectrophotomètre 3900	HACH 8114 Méthode PhosVer 3
SO ₄ ²⁻	mg/l	Spectrophotomètre 3900	HACH 8051 Méthode sulfaver
Na ²⁺ et K ⁺	mg/l	Photomètre à flamme JENWAY PFPT	Photométrie à flamme
Ca ²⁺ et Mg ²⁺	mg/l		Méthode complexométrique
SAR	meq/l		Par calcul
Métaux lourds	mg/l	MP-AES	Méthode EPA 200.7

3. Détermination de la SAR

Le Taux d'Adsorption du Sodium (SAR) est utilisé pour déterminer la qualité de l'eau en Sodium, calculé de la façon suivante :

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} \quad \text{Exprimé en meq/L. avec}$$

Na : concentration en sodium

Ca : concentration en calcium

Mg : concentration en magnésium

La qualité du Sodium est classifiée selon les seuils suivants :

- ✓ 0 meq/L à 3 meq/L : Très bonne qualité
- ✓ 3 meq/L à 6 meq/L : Bonne qualité

- ✓ 6 meq/L à 9 meq/L : Qualité médiocre
- ✓ Au-delà de 9 meq/L : Très mauvaise qualité

4. Évaluation de la Charge volumique et la Charge massique journalière

La charge polluante d'une unité étant la quantité de DBO₅, DCO ou MES véhiculé en une journée, Elle est exprimée en gDBO₅/m³*j et KgDBO₅/j/Kg MVS*m³ se déterminée suivant la relation :

$$C_v = \frac{Q_{\text{rejet}} * C_i}{V} ; \quad C_m = \frac{L_0 * Q}{S_v * V}$$

Q rejet : le débit d'eaux usées rejetées en (m³/j)

C_i : concentration de l'un des paramètres DCO, DBO₅, MES en (mg/l)

L₀ : [DBO₅]

Q = Débit

V = Volume aérateur (Volume du bassin d'aération)

S_v = [MVS] dans l'aérateur

5. Traitement des données, calcul des abattements

Le traitement des données a été réalisé en utilisant Excel 2016. La performance épuratoire des stations est donnée par la différence des concentrations à l'entrée et à la sortie de chaque unité de traitement et s'exprime en pourcentage. La formule ci-dessous utilisée pour la détermination du rendement.

$$R (\%) = \frac{[P_e] - [P_s]}{P_e}$$

avec R : rendement épuratoire exprime en pourcentage (%)

[P_e : concentration du paramètre de l'effluents bruts

[P_s] : concentration du paramètre de l'effluent traité

PARTIE III. Résultats et discussion

I. Caractéristiques des eaux usées brutes et percolât des STEP

1. Les paramètres physiques

Les paramètres physiques tels que le pH, la conductivité et la température sont des facteurs qui influencent sur l'activité bactérienne lors du processus d'épuration des effluents.

Le tableau VII présente les valeurs moyennes des paramètres physiques (la température, la conductivité et la température) des effluents bruts étudiés pendant la période d'observation.

Tableau VII: Paramètres physiques des influents bruts admis dans les stations

Paramètres	n	Kossodo	Sourgoubila	Zagtouli	Laïco
Ph	26	8,47	8,18	8,75	8,38
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	26	1 855,71	3 039,16	4894,78	647,56
Température ($^{\circ}\text{C}$)	26	29,17	27,41	29,26	29,16

n : nombre d'échantillons

Les valeurs moyennes du pH obtenues des effluents bruts de Kossodo Sourgoubila, Laïco et Zagtouli sont respectivement de 8,47 ; 8,18 ; 8,75 ; 8,38 et prouvent qu'ils constituent un milieu favorable aux réactions chimiques et biochimiques. C'est aussi un facteur déterminant pour la croissance des micro-organismes vivants dans l'eau en particulier les bactéries (**Rodier, 2009**), car la plupart d'entre elles préfèrent des pH neutres ou légèrement alcalins compris entre 6,5 et 8,5 (**Mara et al., 2004**).

Les conductivités moyennes obtenues dans les influents bruts de STEP de Kossodo, Sourgoubila, Laïco et Zagtouli sont respectivement de 1855,75 $\mu\text{s}/\text{cm}$; 3099,10 $\mu\text{s}/\text{cm}$; 4894,78 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et 647,56 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Les fortes valeurs de conductivités enregistrées du percolât de Zagtouli et de Sourgoubila traduisent une concentration élevée en sels dissouts du percolât qui peuvent s'expliquer par le fait que 90% des BV reçues des STBV proviennent des fosses septiques **ONEA, (2016)**. Ce sont des ouvrages d'assainissement autonomes à l'intérieur desquels se produisent des réductions biologiques par des processus anaérobies, les matières organiques sont transformées en sels dissouts d'où la forte conductivité dans la phase liquide des boues de vidange. Une étude menée

par (Tinto, 2016) sur le percolât brut de la STVB de Zagtouli a rapporté une valeur de 6368,46 μS $\mu\text{s/cm}$ supérieure à celles observées dans les effluents bruts Sourgoubila et de Zagtouli. Cette différence de valeurs peut être dû à un effet de dilution considérable pendant la saison pluvieuse période de notre étude. La conductivité importante observée dans les effluents bruts de Kossodo met en exergue l'origine à la foi industrielle et domestique de ces eaux usées. Cette valeur moyenne obtenue est similaire à celle trouvée par (Houasni, 2018) sur la station de traitement des eaux usées de Ain Defla.

La matière organique est dégradée en l'absence d'oxygène par une population des bactéries hydrolytiques, acétonémiques et des bactéries méthanogènes. La bonne digestion anaérobie dans le bassin anaérobie du système exige une température supérieure à 15 °C et un pH aux alentours de 6 à 8 (Konaté et al., 2007 et Henze et al., 1996). La valeur moyenne des températures observées respectivement à la station de Kossodo, Sourgoubila, Laïco et de Zagtouli (29,17°C ; 27,41°C ; 29,26°C et 29,16°C) des effluents bruts respectifs répondent à cette exigence et aux normes nationales (45°C) de rejet des eaux dans le réseau d'assainissement.

2. Les polluants organiques

Les polluants organiques évalués pendant notre période d'observation sont entre autres les MES, la DBO₅ et la DCO. Le tableau VIII présente la teneur moyenne de ces différents paramètres dans les eaux usées brutes et des percolâts en fonction des STEP étudiées.

Tableau VIII: teneur moyenne des polluants organiques en fonction des STEP étudiés

Paramètres	n	Kossodo	Sourgoubila	Zagtouli	Laïco
MES (mg/l)	26	255,71	185,56	265,82	95,56
DBO5(mg/L)	26	503,33	146,67	269,44	358,3
DCO (mg/L)	26	744,83	433,23	666,83	325,89
DCO/DBO5	26	1,48	2,95	2,47	0,91

n :nombre de prélèvement

Les concentrations moyennes en MES enregistrées dans les influents bruts de la station de Kossodo, Sourgoubila, Zagtouli et de Laïco sont respectivement de 255,56 mg/l ; 185,56 mg/l ;

265,82 mg/l ; et 95,6 mg/l. Les teneurs obtenues des percolât en provenance des lits de séchage sont largement inférieures à celles obtenues par **Kuffour et al., (2009)** (860-1960 mg/l). Ces valeurs expliquent que, une partie des matières en suspension a été retenue sur les lits de séchage (pour la station de Sourgoubila et Zagtouli) et au niveau de la filière de prétraitement des différentes stations (Kossodo et Laïco). Les concentrations en MES des influents bruts sont largement inférieurs à la norme de rejet des eaux usées des eaux dans le réseau d'égout du Burkina Faso (1000 mg/l).

La pollution organique du percolât (Zagtouli et Sourgoubila) et des eaux usées brutes (kossodo et Laico) exprimée en DBO₅, a donné des concentrations moyennes de 269,44 mg/L ; 503,33mg/L ; 146,67 mg/L ; 358,3 mg/L respectivement à Kossodo, Sourgoubila, Laïco et Zagtouli. À l'exception du percolât brute de la STEP de Sourgoubila, les concentrations moyennes sont conformes à la limite de charge organique admissible dans les bassins anaérobies, recommandés par **Mara, (1976) et Arthur, (1983)** (100 à 400 mg/L DBO₅).

Concernant la DCO, les concentrations des effluents bruts des quatre stations respectives a donné des valeurs moyennes de 744,83 mg/l ; 433,23 mg/l ; 666,83 mg/l ; 325,89 mg/l. Les concentrations enregistrées sont largement au-dessous ceux obtenues par **ZONGO, (2013)** dans les eaux brutes de kossodo (1302,85 mg/l) et par **OUEDRAOGO, (2016)** dans le percolât brut de la STEP de Zagtouli (1015 mg/l). Toutes ces caractéristiques montrent une grande variabilité du percolât et des eaux usées.

L'évaluation de la biodégradabilité des effluents bruts de Kossodo, Sourgoubila, Zagtouli et Laïco par le ratio DCO/DBO₅ nous donne des valeurs moyennes respectives de 1,48 ; 2,95 ; 2,47 ; 0,91. Le ratio moyen DCO/DBO₅ < 3 indique que le percolât et les eaux usées brutes sont des effluents bruts biodégradables

3. Les polluants azotés, phosphorés et soufre

Le tableau X présente la teneur moyenne des effluents bruts en azote total Kjeldahl, en ortho-phosphate et en sulfate en fonction des STEP.

Tableau IX : Teneurs moyennes des composées azotées, phosphoreux et du soufre

Paramètres	n	Kossodo	Sourgoubila	Zagtouli	Laïco
NTK (mg/L)	26	209,33	348,15	184,7	184,77
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	26	81,76	53	23,06	32,94
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	26	46,02	215,15	171,92	16,65

n :nombre d'échantillon

La teneur en azote total Kjeldahl, nous donne des valeurs moyennes de 209,33 mg/l ; mg/l ;348,15 mg/l, 343,33 mg/l et 184,77 mg/l respectivement dans les effluents bruts de Kossodo, Sourgila, Zagtouli et de Laïco.

La teneur en nutriments phosphorés représentés par les ortho-phosphates, révèle des valeurs moyennes respectives de 46,02 mg/l ; 215,15 mg/l ; 171,92 mg/l ; 16,65 mg/l respectivement dans les effluents bruts de Kossodo, Sourgila, Zagtouli et de Laïco. Ce nutriment si important, dont l'abondance dans les eaux usées pourrait être à l'origine du phénomène d'eutrophisation, enregistre des valeurs largement supérieures aux ceux de **Tinto, (2016)**, excepter les eaux de Kossodo et de l'Hôtel.

4. Les nutriments minéraux

Le tableau X présente les teneurs moyennes en nutriment minéraux des influents bruts en fonction des stations étudiées.

Tableau X: les teneurs moyennes des nutriments minéraux

Paramètres	n	Kossodo	Sourgoubila	Zagtouli	Laïco
Na(mg/L)	26	307,66	237,94	249,56	318,79
Ca(mg/L)	26	178,18	298	254,46	202,75
Mg(mg/L)	26	88,15	131,14	289,61	91,05
K(mg/L)	26	88,09	164,24	211,6	88,25

n :nombre d'échantillon

L'analyse des nutriments minéraux tels que le Ca²⁺ ; Mg²⁺ et K⁺ des effluents bruts de toutes les stations d'épuration étudiées a donné des teneurs moyennes inférieurs à la réglementation nationale

de rejet dans le milieu naturel. Cependant quant à la concentration moyenne en sodium, nous observons que les effluents bruts de Kossodo et de Laïco ne sont pas conformes aux normes de rejet (300 mg/l). Concernant les effluents bruts de Kossodo, cela s'explique par l'utilisation de la soude caustique dans le lavage des cuves et des bouteilles au sein de la brasserie (ZONGO, 2013).

5. Les éléments traces métalliques (ETM)

Le tableau XI met en évidence les concentrations des ETM dans les percolâts (Sourgoubila et Zagtouli) et les eaux usées brutes (Kossodo et Laïco).

Il apparaît que les effluents bruts reçus par les quatre sont peu chargés en éléments traces métalliques, en particulier le cadmium, le cuivre et le chrome. Les sels de chrome s'emploient comme mordants pour les teintures et comme colorants. Le cadmium est généralement associé au zinc, il est utilisé pour le revêtement électrolytique des métaux, dans certains alliages, pour la fabrication d'accumulateurs, de peintures et de plastique. La présence du cuivre dans ces eaux peut s'expliquer par la corrosion des tuyauteries en cuivre utilisées dans le réseau.

Tableau XI; concentration des ETM dans les percolâts et les eaux usées brutes

	Kossodo	Sourgoubila	Laïco	Zagtouli	Norme Burkina Faso
Al (mg/L)	1,75	0,596	1,16	1,95	20
Cd (mg/L)	-0,002	0,002	0,002	0,005	1
Cr (mg/L)	0,008	0,002	0,005	0,013	5
Cu (mg/L)	0,051	0,038	0,054	0,14	2
Fe(mg/L)	1,468	1,115	0,933	7,16	20
Mn (mg/L)	0,134	0,202	0,068	0,33	-
Pb (mg/L)	0,033	0,035	0,039	0,049	2
Zn (mg/L)	0,113	0,162	0,086	0,53	20

En ce qui concerne l'aluminium et fer, comparativement la concentration de chrome et du plomb, le tableau XI nous présente des concentrations très élevées de l'ordre de 1,75 mg/l et 1,468 mg/l à Kossodo ; 0,596 mg/l et 1,115 mg/l à Sourgoubila ; 1,16 mg/l et 0,933 mg/l à la Laïco ; 1,95 mg/l et 7,16 mg/l. à Zagtouli. Ces fortes concentrations du percolât (Zagtouli et Sourgoubila) et des influents bruts de Laïco témoignent de leurs origines domestiques du percolât issue des boues et

des eaux usées. Quant à la teneur relevée de kossodo, cette forte teneur émane des activités industrielles et des eaux de l'abattoir.

Cependant il est à noter que ces teneurs sont conformes à la réglementation nationale (20 mg/l) de rejet des eaux usées dans le milieu récepteur.

L'évaluation des teneurs en cadmium et en chrome a donné des valeurs de -0,002 mg/l ; 0,002 mg/l ; 0,002 mg/l, 0,005 mg/l et 0,008 mg/l ; 0,002 mg/l ; 0,005 mg/l ; 0,013 mg/l respectivement dans les effluents bruts de Kossodo, Sourgoubila, Zagtouli et de Laïco. Les teneurs obtenues sont largement inférieures à ceux trouvées **SADIA et Ahmed, (2013)** et aux normes nationales de rejets. Concernant le plomb, les concentrations enregistrées sont d'ordre de 0,033 mg/l à Kossodo ; 0,035 mg/l à Sourgoubila ; 0,039 mg/l à Laïco ; 0,049 mg/l à Zagtouli. Ces teneurs sont conformes aux valeurs limites de rejets Burkina Faso (2 mg/l) (décrets 2015). La teneur du cuivre et du zinc a donné des valeurs de 0,051 mg/l ; 0,038 mg/l ; 0,054 mg/l ; 0,14 mg/l et 0,113 mg/l ; 0,162 mg/l ; 0,086 mg/l ; 0,53 mg/l respectivement dans les effluents bruts de Kossodo, Sourgoubila, Laïco et Zagtouli.

6. Débits journaliers et charges volumiques moyennes des percolats et les eaux usées brutes.

La quantification des débits a été l'un des obstacles majeurs rencontrés durant la période étude, car aucune des stations étudiées ne disposait de débitmètre exceptée Kossodo. L'application des méthodes classiques était quasiment impossible en raison du niveau d'eau important dans les regards. De ce fait les débits évalués pour les différentes stations sont de Kossodo (5462 m³/j), Sourgoubila (144 m³/j), Zagtouli (95,24 m³/j) et Laïco (124 m³/j). À partir de ces valeurs, on en déduit que la charge organique volumique moyenne est de 95,80 g DBO₅/m³ /j ; 69,94g DBO₅/m³ /j, 61,86 g DBO₅/m³ /j, 0,21 (kg/m³*j) respectivement pour la station de Zagtouli, Sourgoubila, Laïco et de Kossodo. L'observation des valeurs moyennes montre que 100% de STEP de lagunage étudiées fonctionnent en moyenne en sous charge durant la période hivernale de notre étude, charge (<100g DBO₅/m³ /j), contrairement pour un fonctionnement normal des lagunes anaérobies (100 - 400 kg DBO₅/m³ /j). Toutefois, il faut aussi noter qu'il y a parfois les conditions de fonctionnement anaérobies $\lambda V > 100g \text{ DBO}_5/m^3/J$ avec des valeurs maximales d'ordre de 249,04 g DBO₅/m³/j ; 119,21 g DBO₅/m³/j ; 186,67 g DBO₅/m³ /j respectivement dans les effluents bruts de Kossodo Sourgoubila et Zagtouli. La charge massique moyenne observée à Laïco révèle que la station

fonctionne à forte charge avec une valeur moyenne de 2.90 KgDBO₅/Kg MVS m³/j. La figure XII nous donne les charges organiques volumiques et massiques journalières des différentes stations étudiées.

Tableau XII: charges organiques admises dans les différentes stations étudiées.

STEP	Charges volumique (gDBO ₅ /m ³ *j)		
	Min	Max	Moy
Lagunage Kossodo	26,68	249,04	89.53
Lagunage Sourgoubila	47,68	119,21	69,94
Lagunage Zagtouli	66,37	186,67	95,8
	Charges massique (kgDBO ₅ /Kg MVSm ³ * j)		
Boue activée Laïco	1,19		2,90

QUALITÉ PHYSICO-CHIMIQUE DES REJETS DES STATIONS D'ÉPURATION DE LA VILLE DE OUAGADOUGOU

Tableau XIII: caractéristiques des eaux usées brutes de la littérature en comparaison de celles de notre étude

Pays	Types de système	Types de bassin	Cv (gDBO ₅ /m ³ /j)	Prof(m)	TS	Concentration des effluents bruts									Reference
						pH	CE	T	MES	DBO ₅	DCO	NTK	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁺	
Burkina Faso	Lagunage	3BA-2BF-3BM	89,53	4,7-2,5-2,7	30	8,47	1 855,71	29,17	255,71	503,33	744,83	209,33	46,02	81,76	Présente étude
		BA-BF-BM	69,9	2,5-1,5-1,5	14	8,18	3 039,16	27,41	185,56	146,67	433,23	186	215,15	53	
		BA-BF-BM	95,8	2,5-1,5-1	20	8,75	4 894,78	29,26	265,82	269,44	666,83	343,22	171,92	23,06	
	Boue activée				3,2-4,1		8,38	647,56	29,16	95,6	358,3	325,89	184,77	16,65	
Burkina Faso	Lagunage	BA-BF-BM	136,29	2,5-1,5-1	20	7,62	6368	30,23	423,07	644	993,3		77,21	17,97	Tinto (2016)
Burkina Faso	Lagunage	BA-BF-BM				7,56	5 570,00	33,98	230,75	532,75	1 015,17		90,52	31	OUEDRAOGO (2016)
Burkina Faso	Lagunage	BA-BF-BM		1,6-1,4-0,3	19	7,47	655	29,6	320	489	652	209,3	5,13		Maïga et al.,(2008)
Algerie	Boue activée					7,16		15,81	356,92	110-652	694,93		0,33-18,39		Ali (2015)
Algerie	Boue activée					7,99	1750	16,9	318	274	753,3				Dekhil.s et Zaibet.M (2013)

II. Qualité des effluents traités et Rendements épuratoires des stations

1. Variation des paramètres physiques

✚ Variation du pH

La figure 3 montre la variation moyenne du pH des effluents à l'entrée(E) et à la sortie(S) des STEP. Les valeurs moyennes du pH observées des effluents bruts et effluents traités sont respectivement de 8,75 et 9,03 pour la STEP de Zagtouli ; de 8,18 et 8,86 pour la STEP de Sourgoubila ; de 8,47 et 8,83 pour la STEP de Kossodo ; et 8,14 et 7,23 pour la STEP de boues activées de Laïco. L'augmentation du pH observé des effluents traités de zagtouli, Sourgoubila et de kossodo montre qu'il y a une importante activité photosynthétique des algues, responsable de l'élévation du pH depuis le bassin facultatif jusqu'au bassin de maturation **OUEDRAOGO, (2016)**. Ces valeurs sont légèrement supérieures à celle trouvée par **Farouch et al., (2010)** à la sortie du bassin de maturation de Taourirt en climat aride avec une moyenne de 8,19. Quant au pH des effluents résiduels de Laïco nous qu'il est légèrement au-dessus de ceux trouvés par **Dekhil S. W. et Zaibet M, (2013)** dans les eaux usées traitées de la station de boue activée Bordj Bou Arreridj. Malgré ces forts résultats enregistrés, nous pouvons affirmer que 100% des stations étudiées de la ville sont en conformité aux normes nationales de rejet dans le milieu récepteur fixé à 10,5.

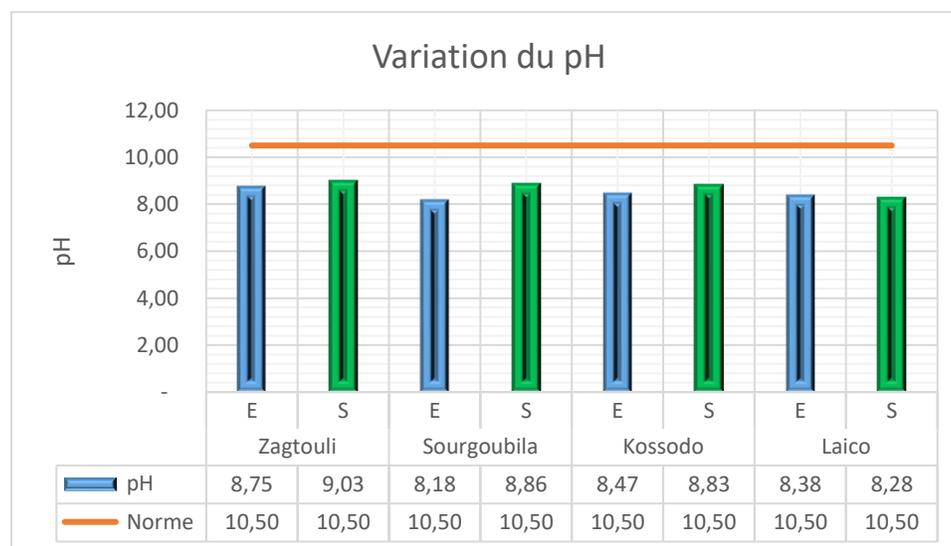


Figure 3 variations moyennes du pH à l'entrée et à la sortie des STEP

✚ Variation de la température

La figure 4 montre la variation moyenne de la température des eaux à l'entrée et à la sortie des STEP.

Les valeurs moyennes des températures observées des eaux à l'entrée et à la sortie des STEP sont respectivement 31,4 °C et 30,7°C pour la STEP de Zagtouli ; 27,42°C et 28,13°C pour la STEP de Sourgoubila ; 29,17°C et 28,40 °C pour la STEP de Kossodo ; 31,5°C et 30,30°C pour la STEP de boues activées de Laïco. L'exception des effluents de la station de Sourgoubila, nous remarquons que les températures des effluents traités sont légèrement supérieures ceux du brut. De telles températures agissent favorablement sur les réactions chimiques et biochimiques, ainsi que sur le développement et la croissance des organismes vivants dans l'eau et particulièrement les micro-organismes (Rodier, 2009).

De façon générale les intervalles de variation de la température traduisent l'influence des conditions climatiques locales. Les températures obtenues des effluents traités sont conformes aux normes nationales de rejet (40°C).

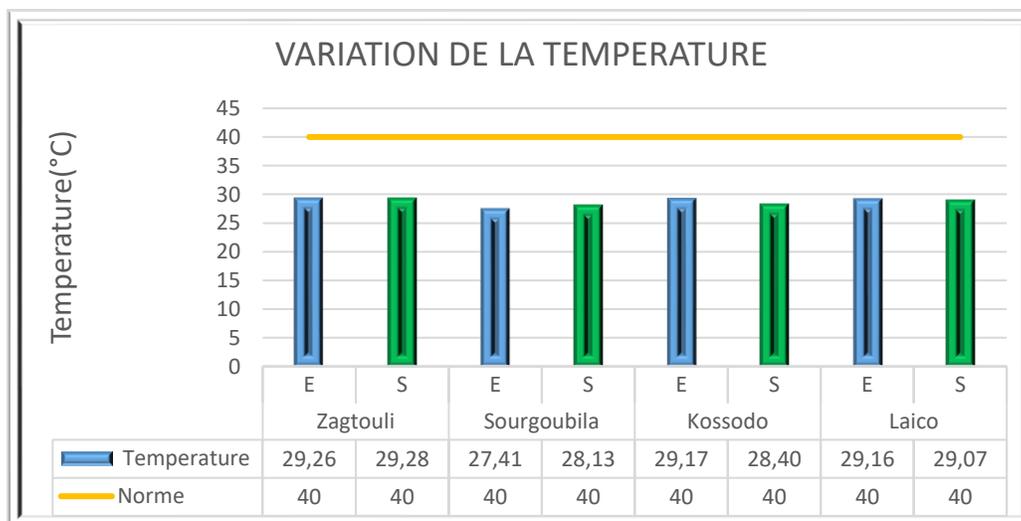


Figure 4: variation moyenne de la température (°C) à l'entrée et à la sortie des STEP

✚ Variation de la conductivité

La conductivité est probablement l'une des plus simples et des plus importantes mesures pour le contrôle de la qualité des eaux usées. Elle traduit le degré de minéralisation globale de l'eau et

renseigne sur le taux de salinité des eaux brutes. La figure 5 présente la variation moyenne de la conductivité de l'eau à l'entrée et à la sortie des stations.

Les valeurs moyennes de la conductivité observées dans les eaux brutes et traitées des unités d'épuration sont respectivement de 4894,78 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 3913,39 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la STEP Zagtoui ; 3039,16 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 2747,79 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la station de Sourgoubila ; 1855,71 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 2164,01 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la station de Kossodo ; 647,56 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 358,39 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la station à boues activées de Laïco. Une Observation globale de ces valeurs montre que la conductivité des effluents traités des stations de traitement est supérieure à celle des effluents bruts, excepté celle de Sourgoubila et Laïco. La forte valeur enregistrée de kossodo a pour origine le rejet direct du surnageant des lits de séchage colmatés dans les bassins de maturation. Les travaux menés par **Tinto, (2016)** sur les percolats traités de Zagtoui ont donné des conductivités supérieures relativement à ceux que nous avons enregistrés des percolats traités dans Zagtoui, et de Sourgoubila.

À l'exception des eaux usées traités de Laïco, les valeurs observées sont au-delà celles trouvées par **ZONGO, (2013)** dans les eaux traitées de Kossodo (1938 $\mu\text{S}/\text{cm}$), aussi qu'à la valeur limite recommandée par l'OMS (2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). De telles conductivités peuvent avoir des conséquences considérables comme la réduction voire inhibition de la croissance des cultures, (**Sou, 2009**)

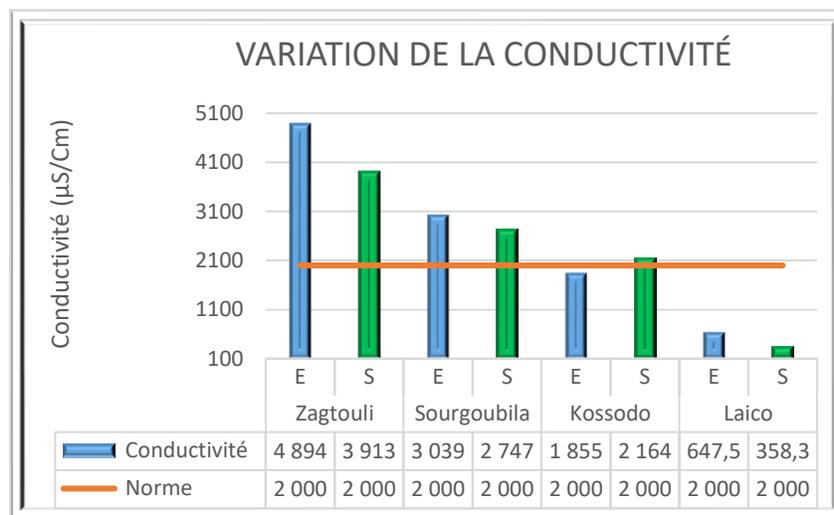


Figure 5 Variation moyenne de la conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à l'entrée et à la sortie des STEP

2. Élimination de la pollution organique

✚ Élimination de la demande biologique en oxygène (DCO)

La DCO permet d'évaluer la concentration de la matière organique ou matière minérale, dissoute ou en suspension dans l'eau, par quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation chimique totale.

La figure 6 présente respectivement les valeurs moyennes (a) et le rendement épuratoire en DCO des quatre stations étudiées (b). Les teneurs moyennes en DCO des influents bruts et des effluents traités observées sur la période d'étude sont de 666,8 mg d'O₂/l et 318 d'O₂ mg/l pour la STEP de Zagtouli ; 433.2 mg d'O₂/l et 308.6 d'O₂ mg/l pour la station de Sourgoubila ; 744.8 mg d'O₂/l et 401,3 mg d'O₂/l pour la STEP de Kossodo ; 3325,93mg d'O₂/l et 68.2 mg d'O₂/l pour la station à boues activées de Laïco. Ce qui représente un taux d'élimination moyen de 50,3% ; de 28,8% ; de 46,17%, de 68,7 % respectivement pour la station de Zagtouli, Sourgbila, Kossodo et Laïco.

Les fortes teneurs résiduelles de 318 mg d'O₂/l ;308 mg d'O₂/l ;401.3 mg d'O₂/l enregistrées respectivement des effluents de zagtouli, de Sourgoubila, et de Kossodo montrent que les eaux épurées sont encore fortement chargées en nutriments organiques et minéraux oxydables.

Les études antérieures menées par **Ech-chafay et al.,(2020)** sur la performance épuration de système de lagunage aéré de la ville d'Outat el haj -Maroc ont donné des concentrations résiduelles largement supérieures aux valeurs obtenues des stations de lagunage . À l'exception de la STEP de Laïco, les valeurs obtenues de la DCO sont largement supérieures à la valeurs limite burkinabè 150 mg d'O₂/L (**arrêté, 2015**) avec un écart de dépassement de 112% ; 404,6% ; 105,5% respectivement pour la station de Zagtouli, Sourgoubila, Kossodo

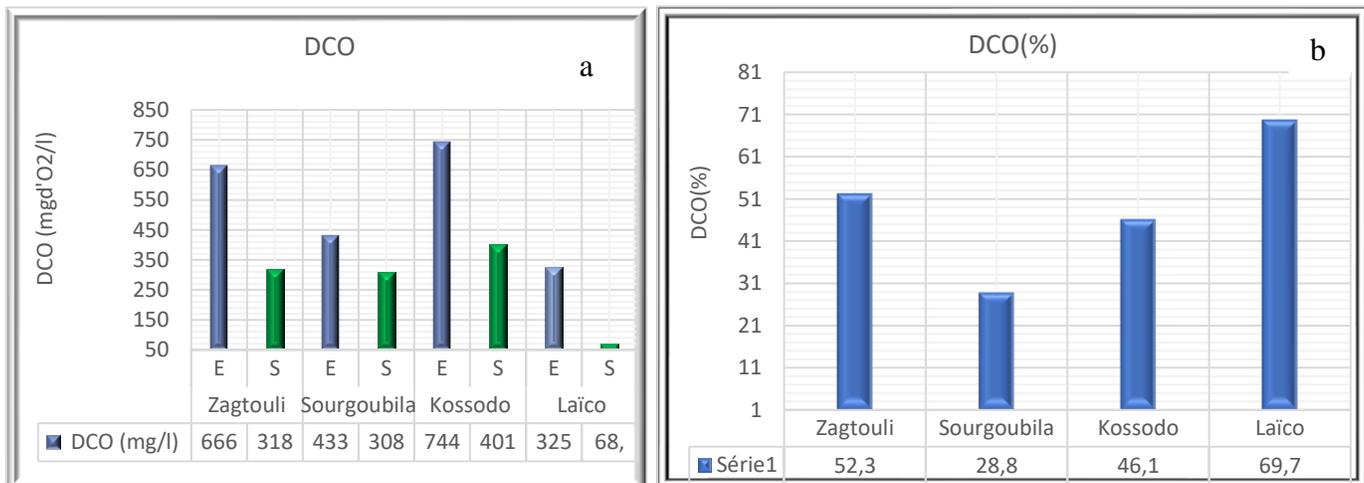


Figure 6: Évolution moyenne de la DCO et les rendements épuratoires des STEP

Élimination de la demande biologique en oxygène (DBO₅)

La figure 7 présente respectivement les valeurs moyennes (mg/l) (a) et le rendement épuratoire en DBO₅ des quatre stations (b).

Les teneurs moyennes en DBO₅ observées sur la période d'étude des effluents bruts et traités sont respectivement de 269,4 mg/l et 133,5 mg/l pour Zagtouli ; 153,3 mg/l et 105 mg/l pour Sourgoubila ; 503 mg/l et 156,7 mg/l pour Kossodo ; 358,3mg/l et 113,9 mg/l pour Laïco. Soit un taux d'élimination globale moyen en DBO₅ respectivement de 50,52% ; de 31,52% ; de 68,87%, de 68,20 %. Les fortes teneurs de 133,5 mg/l ; 105 mg/l ; 156,6 mg/l enregistrés respectivement dans les effluents de zagtouli, de Sourgoubila, et de Kossodo peuvent être dus à l'importante prolifération des algues pendant la période d'observation. En effet, des études menées par **El Hachemi et al.,(2012)** sur des mesures de chlorophylle et dénombrements de cellules algales parallèles ont montré des valeurs maximales. Ceci est principalement dû à des facteurs abiotiques tels que l'augmentation de la température et de l'ensoleillement **El Hachemi et al.,(2012)**. Par ailleurs les études antérieures réalisées par **ABIS K. et al., (2004)** ont révélé que sans filtration, l'abattement de la DBO₅ est faible pendant la saison sèche à cause de l'augmentation de la colonie algale. Les taux d'abattement moyens en DBO₅ de la STEP de zagtouli, de Sourgoubila et de Kossodo, sont inférieurs ceux obtenus par **OUEDRAOGO, (2016)** sur le percolât traité de la station de traitement de Zagtouli en vue d'une valorisation agronomique. Cela pourrait s'expliquer par la différence entre charges organiques reçues et la charge admissible dans les STEP.

Des études similaires réalisées par **Benelmouaz, (2015)** sur la station de boues activées de Maghnia ont donnés un rendement épuratoire de 91,37 %, supérieur à ce que nous avons obtenu à Laïco (68,20 %). Cet écart de 23,17% enregistré est relatif aux remontées de croute de boues observées dans les clarificateurs.

Au regard de ces concentrations observées, nous remarquons que 100% des stations étudiées ont des teneurs résiduelles en DBO₅ supérieures aux normes de rejet du Burkina Faso (40mg/l) avec un écart de dépassements de 233,3% ; 162,5% ; 291,7% et 189,7% respectivement pour la station de Zagtouli, Sourgoubila, Kossodo et Laïco

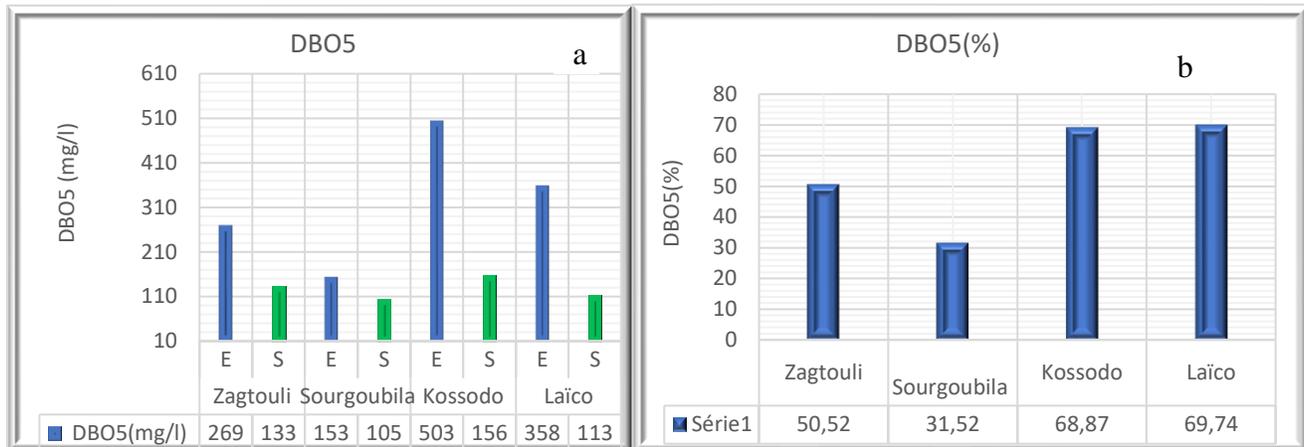


Figure 7: : Évolution moyenne de la DBO₅ et rendement épuratoire des STEP

Élimination des matières en suspension

La figure 8 présente respectivement la concentration moyenne (mg/l) (a) et le rendement épuratoire en MES des quatre stations (b).

Les teneurs moyennes en MES des effluents traités sur la période d'observation sont de 111,7 mg/l pour la station de Zagtouli ; 46,8 mg/l pour la station Sourgoubila, 163.5 mg/l pour la station de Kossodo, 5mg/l pour la station de Laïco.

Les fortes teneurs de 46,8 mg/l ; 163.5 mg/l observées respectivement dans les effluents de la station de zagtouli et Sourgoubila peuvent s'expliquer par la prolifération d'une population massive des algues souvent observées aussi bien dans le bassin facultatif que dans le bassin de maturation. Les travaux de **Foutia et Zergui, (2013)** ont pu mettre en exergue le type de phytoplancton existant au niveau des STEP. Il s'agit des diatomées et les cyanobactéries, qui sont souvent des êtres macroscopiques (en masse) ou microscopiques en suspension. Les algues microscopiques peuvent être considérées comme des MES, leur croissance confirme l'augmentation de la teneur en MES dans les effluents (**S. Ounoki et S. Achour, 2014**). Ce phénomène de néoformation atténuant fortement les performances épuratoires (**Konaté et al., 2007**), peut justifier les rendements obtenus

(57.99% et 74.80%). Ces rendements moyens observés sont supérieurs à celui obtenu par **OUEDRAOGO, (2016)** sur la station de Zagtouli.

La concentration moyenne relativement élevée de 163.5 mg/l, observée des eaux traitées de kossodo peut être liée au déversement des boues organiques issues directement des bassins du biodigesteur (pour la production d'énergie) dans le bassin de maturation. Le déversement de boue à vitesse non contrôlée peut réduire le temps de séjour des eaux dans le bassin et augmenter la teneur en matière en suspension de l'effluent traité (**Kadouche et al., 2018**). En effet lorsque la vitesse chute est inférieure à la vitesse de rétention, les particules non décantées ne peuvent pas être retenus dans les bassins de maturation et se retrouvent dans les rejets. Le rendement moyen de 36.5% observés est largement supérieur à ceux obtenus par **ZONGO, (2013)**, après 9 ans de fonctionnement de cette même station.

La teneur moyenne (5mg/l) en MES des effluents traités de la STEP de Laïco montre l'état plus ou moins appréciable de son fonctionnement malgré le dysfonctionnement observé niveau du clarificateur. En effet, on observe une apparition des croutes dans le décanteur et affecte fortement sur le rendement optimal de la station.

En dépit de ces concentrations observées, la qualité des effluents traités des toutes les stations en termes de MES, répond aux normes de rejet du Burkina Faso (150 mg/l pour le lagunage et 60 mg/l pour les boues activées) à l'exception de celle de Kossodo

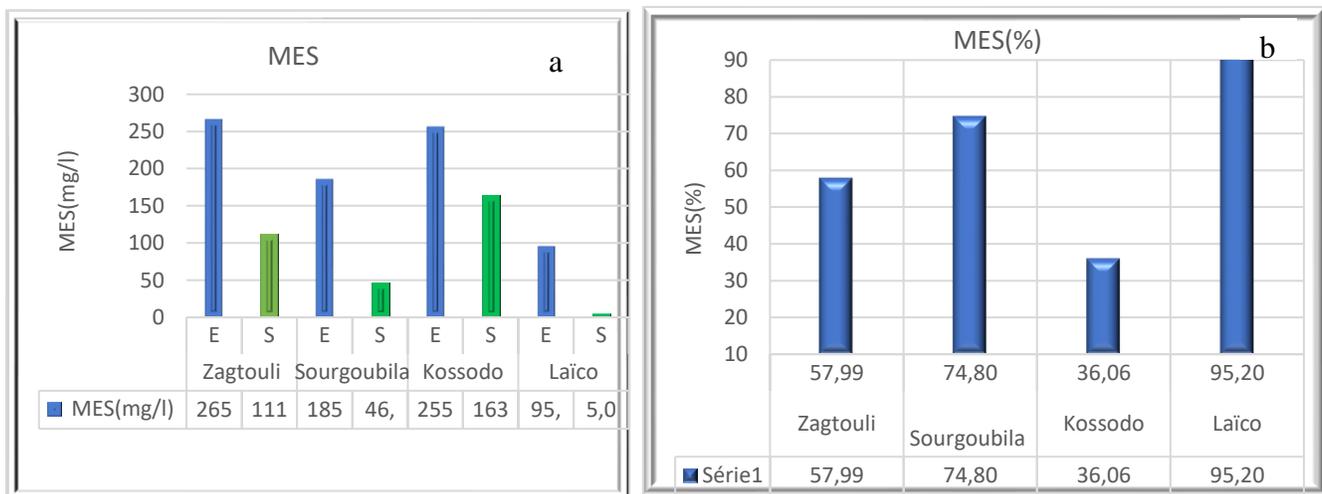


Figure 8: Évolution moyenne de MES et rendement épuratoire des STEP

3. L'élimination des nutriments

Les formes de nutriments analysées sont les l'azote total Kjeldahl, les ortho-phosphates et les sulfates surtout responsables des dégagements d'odeurs.

✚ Élimination de l'azote total Kjeldahl

La figure 9 présente respectivement les valeurs moyennes(mg/l) (a) et le rendement épuratoire en NTK des quatre stations (b)

Les teneurs moyennes en NTK des effluents traités sur la période d'observation sont de 90,22 mg/l pour la STEP de Zagtouli ;176,59 mg/l pour la station de Sourgoubila, 101,82 mg/l pour la station de Kossodo, et 32,36 g/l pour la station de Laïco.

Ces teneurs résiduelles sont très élevées par rapport à la limite tolérable de 5 mg/L d'azote total Kjeldahl suggérées par **AYERS et WESTCOT (1985)**, et aux normes de rejet dans le milieu naturel fixé à 35 mg/l avec un écart de déplacement de 157,8% ; 404,6% ; 190,9% et 7,5% respectivement pour la station de Zagtouli, Sourgoubila, Kossodo et de Laïco.

L'évaluation globale relative à l'élimination de l'azote total Kjeldahl (NTK) des stations, a abouti à des performances moyennes d'élimination de 51,17% pour la station de Zagtouli ;49,28 pour la station de Sourgoubila ; 51,36% pour la station de Kossodo et 54,8% pour la station de Laïco.

Le taux d'abattement moyen en NTK des filières de lagunage sont sensiblement inférieur celui trouvé par **Tinto, (2016)** qui est de 54,66%.

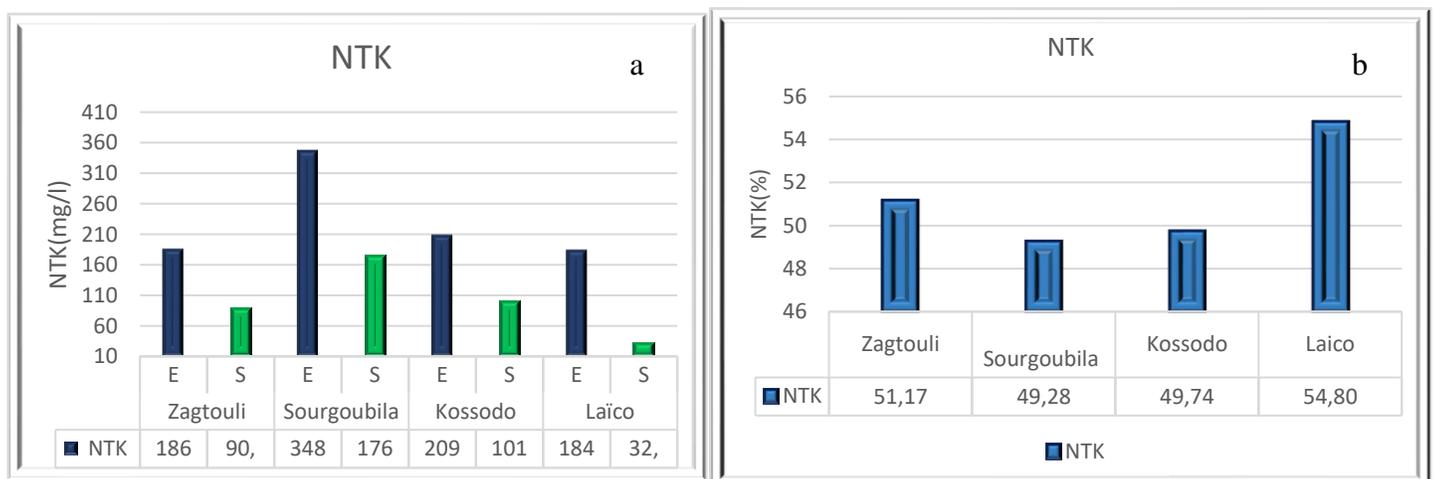


Figure 9: Évolution des teneur moyenne en NTK et rendement épuratoire des STEP

✚ Élimination des Orthophosphates

Pendant cette étude, la matière phosphorée est représentée par les ortho phosphates. La figure 10 présente respectivement les concentrations moyennes (mg/l) (a) et les rendements en ortho phosphate durant la période de l'étude (b).

L'évaluation globale relative à l'élimination de la matière phosphorée a abouti à des performances moyennes de 14,38% pour la station de Zagtouli ; 40,53 % pour la station de Sourgoubila ; 8,17% pour la station de Kossodo et -31,03% pour la station de Laïco.

Ces résultats observés des stations de lagunage (excepter la station de Sourgoubila) sont d'ordre de grandeur inférieur à ceux suggérés par différents auteurs (19,75%) (**Abdoulaye et al., 2014**)

Les effluents traités présentent des teneurs moyennes en ortho phosphate de l'ordre de 147.2 mg/L pour zagtouli, 128 mg/L ; 42,3 mg/L pour Kossodo ; 21 mg/L pour Laïco. Comparativement à la concentration des effluents bruts de Laïco (32,4 mg/l), nous remarquons que la teneur de l'effluent traité est relativement élevée. Selon **Rejesk (2000)**, le traitement biologique par boues activées n'est pas très efficace en ce qui concerne les effluents phosphatés, d'où la nécessité d'un traitement de déphosphatation. Il consiste en un traitement physico-chimique qui permet la précipitation du phosphate ou un traitement biologique par l'ajout d'une zone d'anaérobie en tête de la station.

Au regard des concentrations obtenues des effluents traités, la qualité des eaux usées à la sortie en termes d'ortho-phosphate ne répond pas à la norme nationale de rejet (5mg/l) (décret ,2015). *Soit* un taux dépassement de 2843,8 % pour Zagtouli : 2455% pour Sourgoubila : 7472% pour Kossodo et 336,4% pour l'hôtel Laïco

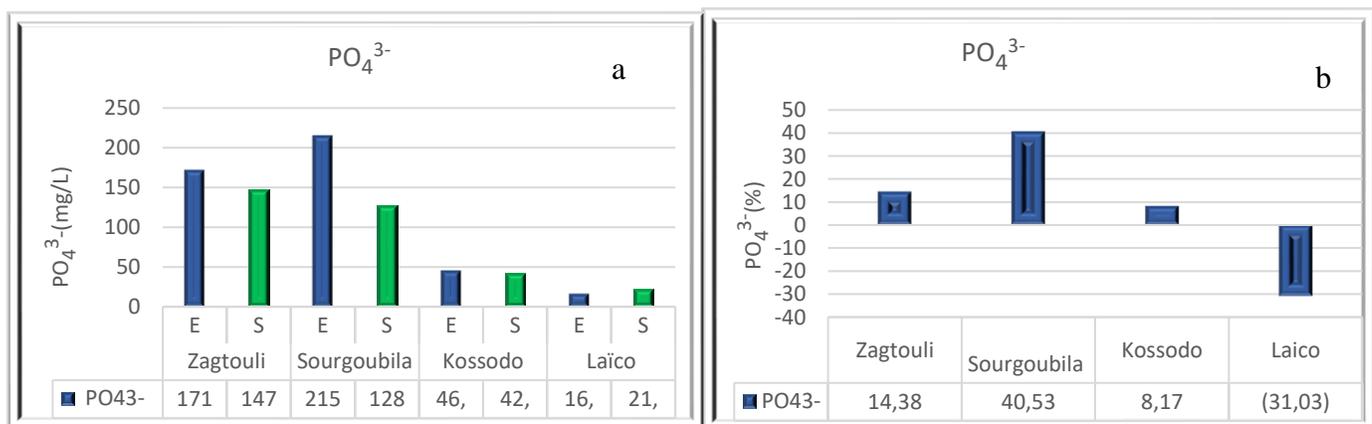


Figure 10: Évolution des teneurs moyennes en PO₄³⁻ et le rendement épuratoire des stations

✚ Élimination des sulfates

Pendant cette étude, la matière sulfurée est représentée par le sulfate. La figure 11 présente les concentrations moyennes (mg/l) (a) et les rendements en sulfate durant la période de l'étude. (b)

L'évaluation globale relative à l'élimination de la matière sulfureuse a donné des rendements moyens de -135,66 % pour la STEP de Zagtouli ;52,08 % pour la STEP de Sourgoubila ;49,53% pour la STEP de Kossodo et -1,85% pour la STEP de Laïco.

Les résultats enregistrés des stations de lagunage sont largement supérieurs à celui obtenu par (OUEDRAOGO, 2016) (-41,13%).

Les rendements négatifs constatés traduisent le fait que la dégradation de la pollution organique par les bactéries entraîne un relargage d'éléments minéraux dans l'effluent dont la teneur est supérieure à celle de l'effluent brut à l'entrée de la STEP. Toutefois cet effluent peut être bénéfique pour la croissance des plantes à cause de ces potentiels fertilisants (Sou, 2009). Les effluents traités présentent en sortie des teneurs moyennes en sulfate de l'ordre de 54.3 mg/L pour zagtouli, 27 mg/L ; 39,2 mg/L pour Kossodo ; 33,6 mg/L pour Laïco.

En dépit de ces résultats, les concentrations enregistrées sont en dessous de la limite recommandée par la norme nationale de rejet des eaux usées(600mg/l).

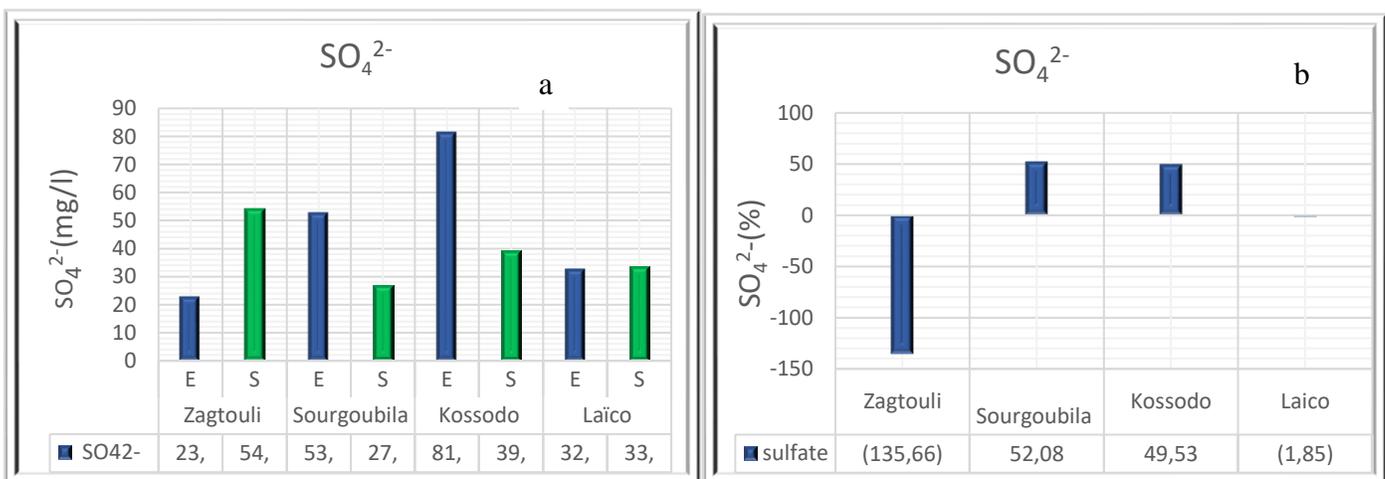


Figure 11: teneurs moyennes en sulfate à l'entrée et à la sortie des STEP et les rendements épuratoires

QUALITÉ PHYSICO-CHIMIQUE DES REJETS DES STATIONS D'ÉPURATION DE LA VILLE DE OUAGADOUGOU

Tableau XIV : Performances épuratoire des stations d'épuration et celles relevées dans la littérature

Localisation	Types de système	Types de bassin	Cv (gDBO5/m3/j)	Prof(m)	TS	Rendement épuratoire (%)						Reference
						MES	DBO5	DCO	NTK	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	
Burkina Faso	Lagunage	3BA-2BF-3BM	89,53	4,7-2,5-2,7	30	36,06	68,87	46,13	51,36	8,17	49,53	Cette étude
		BA-BF-BM	69,9	2,5-1,5-1,5	14	74,8	31,52	28,77	49,28	40,53	52,08	
		BA-BF-BM	95,8	2,5-1,5-1	20	57,99	50,52	52,3	51,17	14,38	-135,66	
	Boue activée				3,2-4,1	95,2	69,74	69,74	54,2	-31,03	-1,85	
Burkina Faso	Lagunage	3BA-2BF-3BM	136,29	2,5-1,5-1	20	5,83	81	54,6		42,59	ZONGO (2013)	
	Lagunage	BA-BF-BM	95,8	2,5-1,5-1	20	-12,73	76,07	43,46		33,74	-60,81	Tinto (2016)
Burkina Faso	Lagunage	BA-BF-BM				41,13	73,44	66,54		23,96	-41,13	OUEDRAOGO (2016)
Burkina Faso	Lagunage	BA-BF-BM		1,6-1,4-0,3	19	66	87	81				Maïga et al, (2008)

4. Élimination des éléments traces métalliques (ETM)

À l'issue des différentes phases de traitement des eaux usées, la grande partie des micropolluants métalliques s'accumule dans les boues résiduaire. En effet, en moyenne, 70 à 90% des microéléments sont retenus par les boues. L'efficacité de cette rétention dépend de la nature des métaux et du type de système d'épuration. Pour suite de cette étude, nous mettrons en relief la capacité épuratoire de chaque station en termes de métaux lourds.

La STBV de Zagtouli

La figure 13 présente les concentrations du percolât (entrée et sortie) et le rendement épuratoire de la STBV de Zagtouli.

Les résultats obtenus montrent une baisse assez importante de la concentration des métaux lourds dans les percolâts traités de zagtouli, à l'exception du Cd (20%). Les rendements observés à ce niveau sont de respectivement 90,46% ; 20% ; 84,62% ; 82% ; 88,48% ; 71,52% ; 89,62% pour Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, et Zn. Ces pourcentages d'élimination obtenus attestent l'hypothèse selon laquelle 70 à 90% des microéléments sont retenus par les boues (**Bouallegue.M, 2010**).

Les faibles concentrations enregistrées du percolât traités révèlent que la majeure partie de ces éléments ont été préalablement retenu depuis les lits de séchages et au niveau du bassin anaérobie par décantation de la forme particulaire du métal selon (**FARS, 1994**). Au regard des résultats, nous pouvons dire les teneurs résiduelles restent conformes aux normes de rejet dans le milieu naturel(décret 2015) et qui sont respectivement 5mg/l pour Al ; 1 mg/l pour Cd ;0,5 mg/l pour Cr ;2 mg/l pour Cu ;10 mg/l pour Fe ;5 mg/l pour Mn ;2 mg/l pour pb ; et 5 mg/l pour Zn

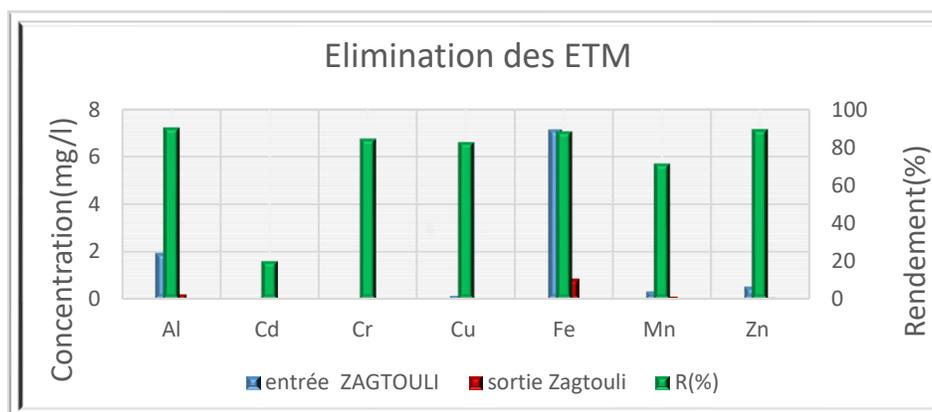


Figure 12: Teneurs métalliques du percolât à l'entrée et à la sortie et redément épuratoire de la STEP de Zagtouli

✚ La STEP de Sourgoubila

Les valeurs obtenues des analyses montrent que la concentration métallique dans le percolât traité de Sourgoubila sont relativement faibles par rapport à celui de l'entrée, à l'exception du Cu (figure 14). L'évaluations globale a donné des rendements qui sont de respectivement 79,53% ;50% ;50% 36,84% ;71,84% ;80,20% ;80,25% pour Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, et Zn.

L'élimination de ces métaux s'effectue en majeure partie dans les boues séchées et au niveau du bassin anaérobie et porte principalement sur la décantation de la forme particulaire du métal comme l'avait montré (LEBKIRI M ,2012). En dépit de ces résultats, les concentrations résiduelles enregistrées sont en concordances aux valeurs limites recommandées par la norme nationale de rejet des eaux usées, qui sont de 5mg/l pour Al ; 1 mg/l pour Cd ; 0,5 mg/l pour Cr ; 2 mg/l pour Cu ;10 mg/l pour Fe ;5 mg/l pour Mn ; et 5 mg/l pour Zn.

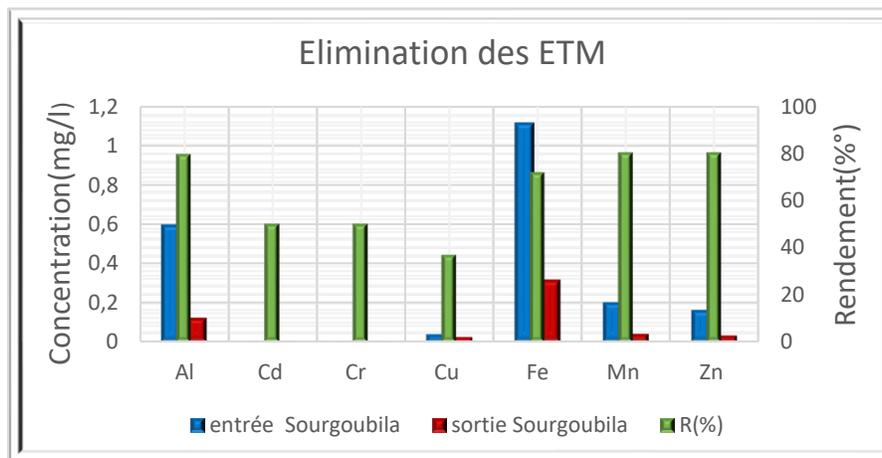


Figure 13: Teneurs métalliques du percolât à l'entrée et à la sortie de la STEP de Sourgoubila et les rendements épuratoires

✚ La STEP de Kossodo

Les résultats obtenus montrent une baisse de la concentration des métaux lourds dans le percolât traité de Kossodo (figure 15). Les rendements obtenus à ce niveau sont de respectivement 63,26% ; 62,50% ;31,37% ;52,72% ;32,84% ; 40,71% pour Al, Cr, Cu, Fe, Mn, et Zn. Des études antérieures menées par (Iman CHAOUKI1, Latifa MOUHIR1 et al., 2013) ont donné des rendements supérieurs à ceux que nous avons obtenus.

Les faibles rendements observés peuvent se justifier par le déversement des boues dans le bassin de maturation. Cependant la teneur résiduelle en ces métaux reste conforme aux normes de rejet

qui sont de 5mg/l pour Al ;0,5 mg/l pour Cr ;2 mg/l pour Cu ;10 mg/l pour Fe ;5 mg/l pour mg/l Mn ; et 5 mg/l pour Zn.

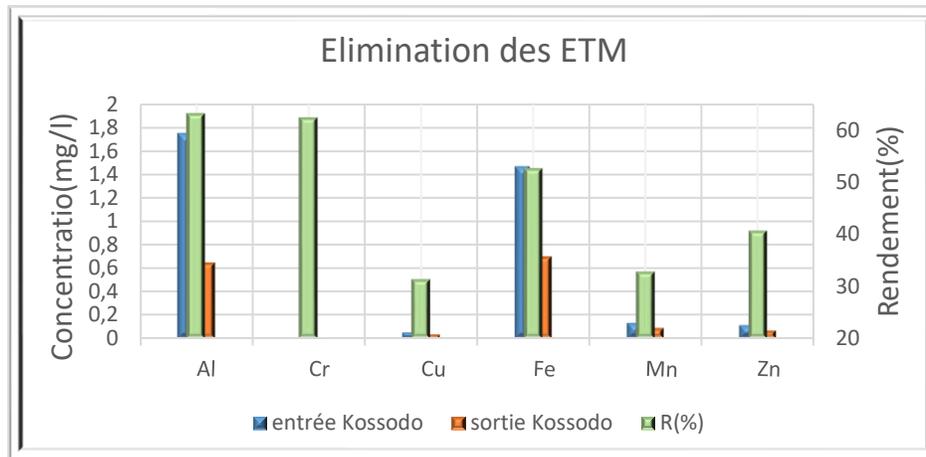


Figure 14: Teneurs métalliques des EU brutes et traitées de la STEP de Kossodo et les rendements épuratoires

La STEP de Laïco

Les résultats obtenus montrent une baisse assez importante de la concentration métallique des usées traitées de Laïco (figure 16). Les taux d'éliminations obtenus à ce niveau sont de respectivement 91,47% ; 100% ; 35,19% ; 79,31% ; 77,94% ; 41,21% ; pour Al, Cr, Cu, Fe, Mn, pb. La teneur résiduelle en ces métaux reste conforme aux normes de rejet et qui sont respectivement 5mg/l pour Al ; 1 mg/l pour Cd ; 0,5 mg/l pour Cr ; 2 mg/l pour Cu ; 10 mg/l pour Fe ;5 mg/l pour Mn ;2 mg/l pour pb ; et 5 mg/l pour Zn.

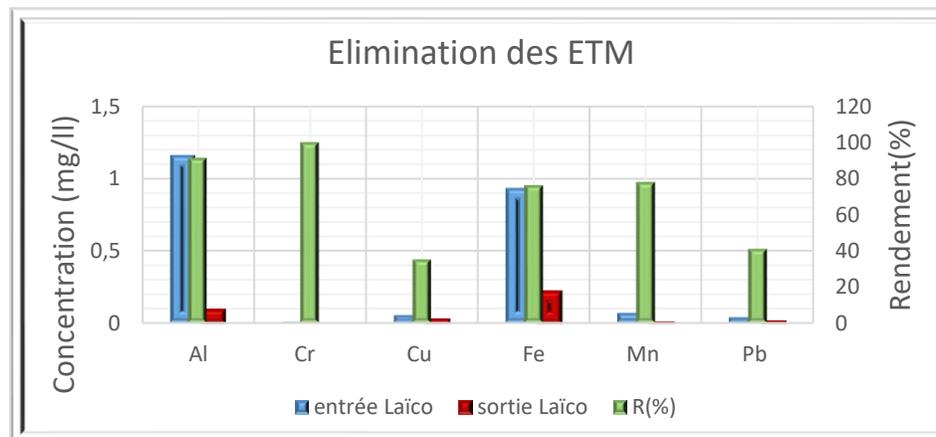


Figure 15: Teneurs métalliques des eaux usées à l'entrée et à la sortie de la step Laïco et les rendements épuratoires

5. Évaluation des flux moyens et totaux à la sortie des stations

Le tableau XV met en relief les flux moyens et totaux au sortant des différentes station étudiées

Tableau XV: flux moyens(Fj) et totaux sortants des différentes stations étudiées

Paramètres	Zagtouli		Sourgoubila		Kossodo		Laïco		Flux totaux	Zagtouli	Sourgoubila	Kossodo	Laïco
	Fj (kg/j)	Fj(t/j)	Fj(kg/j)	Fj(t/j)	Fj(kg/j)	Fj(t/j)	Fj(kg/j)	Fj(t/j)		Fj (%)	Fj (%)	Fj (%)	Fj (%)
MES	17,87	0,01787	6,73	0,00673	893,04	0,89304	0,57	0,00057	918,21	1,95	0,73	97,26	1,95
DBO5	21,33	0,02133	15,12	0,01512	855,73	0,85573	14,21	0,01421	906,39	2,35	1,67	94,41	2,35
DCO	50,88	0,05088	44,44	0,04444	2 191,90	2,1919	8,46	0,00846	2 295,68	2,22	1,94	95,48	2,22
NTK	14,44	0,01444	25,43	0,02543	553,41	0,55341	4,01	0,00401	597,29	2,42	4,26	92,65	2,42
PO₄³⁻	23,55	0,02355	18,42	0,01842	230,82	0,23082	2,71	0,00271	275,5	8,55	6,69	83,78	8,55
SO₄²⁻	8,69	0,00869	3,89	0,00389	214	0,214	4,16	0,00416	230,74	3,77	1,69	92,75	3,77
Al	0,02	0,00002	0,09	0,00009	3,51	0,00351	0,02	0,00002	3,64	0,55	2,47	96,43	0,55
Cd	0	0	0	0	0,01	0,00001	0	0	0,01	0	0	100	0
Cr	0	0	0	0	0,01	0,00001	0	0	0,01	0	0	100	0
Cu	0,01	0,00001	0	0	0,13	0,00013	0	0	0,14	7,14	0	92,86	7,14
Fe	0,04	0,00004	0,05	0,00005	1,72	0,00172	0,1	0,0001	1,91	2,09	2,62	90,05	2,09
Mn	0	0	0,01	0,00001	0,22	0,00022	0,01	0,00001	0,24	0	4,17	91,67	0
Pb	0	0	0,01	0,00001	0,23	0,00023	0,01	0,00001	0,25	0	4	92	0
Zn	0,02	0,00002	0	0	0,17	0,00017	0,01	0,00001	0,2	10	0	85	10

III. Possibilité de valorisation des eaux usées épurées

L'eau usée traitée collectée à la sortie des stations d'épuration représente une eau renouvelable non conventionnelle, qui pourrait être une source attrayante et bon marché à employer en agriculture. Afin de montrer l'aptitude de réutilisation des effluents traités en irrigation, nous avons procédé par :

- ✚ Comparer les valeurs moyennes des résultats des paramètres physicochimiques de ces eaux avec les réglementations du Burkina Faso ;
- ✚ L'évacuation du SAR et le risque sodisation des effluents traités.

1. Étude comparative des paramètres physico-chimiques des effluents traités avec les réglementations du Burkina Faso

La qualité des effluents traités et les normes sont mentionnées dans le tableau XVI

Tableau XVI: Qualité des effluents traités et les normes de réutilisation

Paramètres	Zagtouli	Sourgoubila	Kossodo	Laïco	Norme Burkina
pH	9,03	8,86	8,83	8,28	6 ,5- 10,5
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	3 913,39	2 747,79	2 164,01	358,39	
Température ($^{\circ}\text{C}$)	29,28	28,13	28,4	29,07	18 – 40
MES (mg/L)	111,67	46,76	163,5	4,59	1000
DBO5 (mg/L)	133,33	105	156,67	113,89	
DCO (mg/L)	318	308,6	401,3	68,2	
NTK (mg/l)	90,22	176,59	101,81	32,36	
PO_4^{3-} (mg/L)	147,19	127,95	42,26	21,82	
SO_4^{2-} (mg/L)	54,33	26,98	39,18	33,56	3000

D'après les résultats reportés dans le tableau XVI, nous remarquons que les paramètres comme le pH et la température effluents traités sont conformes aux normes nationales de réutilisation en agriculture. En plus de ces paramètres chimiques, pour qu'une eau usée traitée soit réutilisable en irrigation, elle doit répondre à d'autres indicateurs de qualité comme composés azotés, phosphorés et sulfureux.

Les effluents traités contiennent un grand nombre de nutriments pouvant servir à la croissance des plantes. En effet les teneurs moyennes de Nitrate, d'azote total Kjeldahl, d'ortho phosphates et de sulfates témoignent de la disponibilité des nutriments dans les effluents traités

2. Évaluation du SAR et le risque salinité des effluents traités

2. 1. Le ratio d'absorption en sodium

Tableau XVII: Ratio d'absorption en sodium.

Ratio d'absorption en sodium et la norme du Burkina Faso					
	Zagtouli	Sourgoubila	Kossodo	Laico	Norme BF
Na(meq/l)	19,21	20,69	24,54	26,07	*
Ca (meq/l)	13,09	13,15	8,75	7,64	*
Mg(meq/l)	16,49	14,95	8,56	7,44	*
K(meq/l)	4,97	4,21	2,63	2,77	*
SAR (meq/l)	3,53	3,9	5,9	6,71	

Le ratio d'absorption en sodium nous renseigne que la totalité des effluents traités a un rapport d'adsorption de sodium inférieur à 10 donc un risque minimal d'accumulation du sodium (**Goula et al., 2007**).

Les résultats obtenus par **N'DIAYE et al., (2010)** sont similaires à celui trouvé dans les effluents de Kossodo, mais inférieur à ceux de Zagtouli et de Sourgoubila. Par contre les valeurs du SAR trouvées par **Goula et al., (2007)** au niveau des effluents d'une usine agroalimentaire située à Abidjan sont très élevées (entre 13,82 et 33,38) que les nôtres. Cela pourrait s'expliquer par le type d'eau usée traitée rejetée.

2.2. Évaluation du risque de salinité

Les risques de salinité relatifs à une eau d'irrigation sont caractérisés par deux paramètres : le ratio d'absorption en sodium (SAR) qui rend compte du rapport entre les concentrations en sodium et en alcalinoterreux et la conductivité des effluents.

Pour mieux apprécier la qualité des effluents traités destinée à l'irrigation, nous baserons sur le tableau de classement élaboré par le laboratoire de salinité des sols des USA, (Annexe 2).

La combinaison des valeurs de la conductivité et du SAR montre que les effluents traités de la station de Zagtoui, Sourgoubila et de Kossodo sont de classe C4S1. cela signifie que ces effluents sont de **mauvaises qualités et fortement minéralisés**, donc excluent pour les plantes sensibles et les sols lourds. Ces types d'effluents doivent utiliser avec beaucoup de précaution dans les sols légers et bien drainé avec dose de lessive et /ou apport de gype.

Concernant les effluents de Laïco, ils sont de classe C2S1(**qualité moyennement bon**), à utiliser avec précaution dans les sols lourds mal drainés et pour les plantes sensible (arbres fruitiers), **mais sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes aux sels.**

Conclusion

Cette étude a permis d'évaluer la qualité physico-chimique des rejets sortant des stations d'épuration de la ville de Ouagadougou.

Les résultats présentent des concentrations résiduelles des matières en suspension satisfaisantes, conformes aux normes de rejets et de réutilisation du Burkina Faso (150 mg/l) à l'exception de ceux de Zagtouli.

L'élimination de la DBO₅ observée des STEP est non satisfaisante, avec des concentrations résiduelles qui ne sont pas en conformité avec les normes recommandées par le Burkina Faso

L'abattement des nutriments azotés, phosphorés et des sulfates reste très faible, car les concentrations résiduelles sont très élevées dans les effluents traités par rapport aux normes de déversement dans le milieu récepteur. L'analyse des éléments métalliques révèle que 100% des stations étudiées éliminent suffisamment les métaux lourds avec de teneurs résiduelles conformes aux valeurs limites de rejet dans le milieu naturel.

Quant au l'indice de sodisation, il nous indique que la totalité effluents traités ont un rapport d'adsorption de sodium inférieur à 10, donc un risque minimal d'accumulation du sodium.

.

Recommandations

De façon générale pour toutes les stations, nous préconisons l'installation d'un débitmètre à l'entrée des stations. Ils permettront à déterminer les charges réelles entrantes et sortantes du système et la variation réelle des débits journaliers, donc de savoir si la station fonctionne en sous-charge ou en surcharge.

Concernant la STEP de Kossodo, il est impératif de réorienter les surnageant des lits de séchage colmatés dans les bassins anaérobies plutôt que de les déverser directement dans les bassins de maturation.

Quant à la station de boues activées de complexe hôtelier Laïco, recommandons le curage des boues au niveau des clarificateurs pour améliorer la qualité des effluents traité

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdoulaye. M. A. Ramanouaboudou¹, Isidore yolou¹, and Salifou, 2014.** Épuration des eaux usées par lagunage a microphytes en Afrique tropicale : cas de la station de traitement Zénon à Parakou (nord-benin) 26, 21.
- Bitie, E., 2013.** Étude comparative des performances épuratoires de traitement des eaux grises par "bac incline en zone sahélienne.
- Debiche Yassine, 2014.** Étude des éléments traces métalliques persistants dans les boues des stations d'épuration a boues activées (mémoire de master 2). École nationale supérieure d'hydraulique -Arbaoui Abdellah-, Algérie.
- Dekhil s. W., Zaibet M., 2013.** Traitement des eaux usées urbaines par boues activées au niveau de la ville de Bordj Bou Arreridj effectué par la station d'épuration des eaux usées ona.
- Djiguemde, w., 2013.** Élimination de la pollution bactérienne par lagunage a microphytes sous climat sahélien : cas de la station d'épuration de kossodo après 9 ans de fonctionnement.
- Duchêne, P., 1999.** Estimation de la production des boues. Edition cemagref 68.
- Ech-chafay, Z. Talbi, a. El ghazouany¹, m. Lachhab¹, d. Belghyt, 2020.** Study of the purification performance of the natural lagunating technique of the purification station of the city of outat el haj – Morocco 5.
- El Hachemi O, el Halouani H, 2012.** Etude des performances épuratrices dans une station de traitement des eaux usées par lagunage en climat désertique (oasis de Figuig - Maroc) : aspect bactérien et organique.
- Erwan carré, 2017.** Qualité biologique des eaux usées traitées en vue de la réutilisation.
- Fathallah, 2013,** Etude physico-chimique des eaux usées de l'unité industrielle papetière (CDM) à Sidi Yahia el Gharbi (Maroc).

Houasni F, 2018. Évaluation de la performance épuratoire de la station de traitement des eaux usées de ain defla 121.

Iman Ahaouki, Latifa Aouhir, Salah Souabi, Mohammed Fekhaoui, et Abdellah el Abidi, 2013. Étude de la performance de la step du centre emplisseur de la société Salam gaz – Skhirat, Maroc 12.

Jiménez, Cisneros. N, 2014. Water reuse and recycling. In Satinder a. (ed.), comprehensive water quality and purification. Amsterdam (Pays-Bas) : Elsevier. (pp. 296–323).

Konaté, Maiga A, Mougrana. Debyigba K. et Zougrana D. 2007. Performance épuratoire d'un bassin anaérobie en climat sahélien : cas de la station d'épuration du 2ie. Proceedings 4ème journée scientifique 2ie et 2ème forum de recherche du CREPA. - Ouagadougou 6.

Mohammed, Abdelhamid Bouzidia, 2012. Épuration des eaux usées domestiques par lagunage naturel dans cinq stations d'épuration de la région de la chaouia Ouardigha-maroc 07, 05.

OUEDRAOGO. B, 2016. Caractérisation des boues de vidanges séchées et du percolat traite de la station de traitement de zagtouli en vue d'une valorisation agronomique.

Rodier, 1996. L'analyse de l'eau (eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer), 8th Ed. France.

Rodier Jean, Legube B. Merlet N. Coll., 2009. L'analyse de l'eau. 9eme édition. Dunod. Paris 1526p.

Sadia, R., Ahmed K, 2013. Évaluation de la qualité physicochimie et du niveau de contamination métallique (Cd Pb Zn) des eaux usées d'Oran et de Mostaganem (littora ouest -algérien) 17.

Salembere C., 2009. Épuration des eaux usées de kossodo analyse des performances épuratoires de la step de kossodo et analyse des impacts socio-économiques et sanitaires des maraîchers.

SAWADOGO B., 2018. Traitement des eaux usées industrielles par des procédés membranaires sous climat sahélien : cas des eaux usées de brasserie au Burkina Faso (doctorat). Docteur

de l'université de Montpellier (UM) ; l'institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement (2ie).

Sou, 2009. Recyclage des eaux usées en irrigation : potentiel fertilisant, risques sanitaires et impacts sur la qualité des sols. /école polytechnique fédérale de Lausanne.

Thomas O., 1955. - météorologie des eaux résiduaires, tec et doc, ed Lavoisier, cedeboc, 135–192 p.

ZONGO V., 2013. Évaluation des performances épuratoires de la station d'épuration des eaux usées de kossodo après 9 ans de fonctionnement (mémoire de fin d'étude). Office national de l'eau et de l'assainissement, Ouagadougou.

ANNEXES

ANNEXES I : MATÉRIELS D'ANALYSES DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES



Armoire thermostaté



Spectrophotomètre DR 3900



Mineralisateur pour DCO



Appareils de mesures in situ

ANNEXE : Méthode d'analyse des paramètres au laboratoire

1. Matières en suspension (MES)

Elles ont été mesurées par pesée (une première pesée du filtre à vide : masse M0 et une deuxième pesée du filtre plus échantillon : masse M1) après filtration d'un volume d'eau connu (V) sur une membrane Watt man GF/A de 0,8 µm de porosité et séchage à (105 °C) jusqu'à masse constante dans une étuve, selon la méthode NF T 90-105-2. La teneur des matières en suspension (mg/l) est donnée par l'expression suivante :

$$MES = \frac{Masse\ 1 - Masse\ 0}{\text{volume d' échantillon}} * 1000$$

Où : [MES] en mg/l ;

Masse 0 : Masse du filtre avant la filtration en mg

Masse 1 : Masse du filtre après filtration et passage à l'étuve (105 °C, 2H) en mg

2. mesure de la demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO a été obtenue par oxydation chimique en milieu acide selon méthode standard 18^e édition. Pour se faire, on prélève 2,5 ml de chaque échantillon auxquels on ajoute successivement 1,5 ml de la solution dichromate de potassium, et 3,5 ml de la solution acide sulfurique. Le mélange se fait dans un tube DCO et placé dans le minéralisateur pendant 2 heures à 150 °C. On laisse ensuite refroidir à la température ambiante les tubes DCO. La valeur de la DCO exprimée mg/l est mesurée au spectrophotomètre de type DR/890

3. La mesure de la demande biologique en oxygène (DBO)

La demande biochimique en oxygène (DBO₅) est déterminée par la méthode manométrique basée sur le principe respirométrique à l'aide du système Oxitop. On prélève 43,5 ml d'échantillon mis dans des flacons d'incubation à bouchons rodés. Dans ces bouchons, on place trois pastilles d'hydroxyde de sodium pour piéger le CO₂ dégagé par des bactéries lors de leurs activités respiratoires.

Le choix du volume est fonction de la gamme de mesures souhaitée et de la qualité de l'échantillon. L'oxymètre est ensuite placé dans une enceinte thermostatée à 20°C, à l'obscurité pendant 5 jours. On procède enfin à la correction de la mesure par un facteur correctif qui dépend du volume d'échantillon prélevé. Elle s'exprime en mg d'O₂/l.

4. Mesure de la matière azotée

Les formes de l'azote évaluées dans cette étude sont les nitrates et les NTK.

La mesure de l'azote total Kjeldahl (NTK) s'est effectuée en trois étapes, dont la minéralisation, la distillation et la titrimétrie selon la méthode Kjeldahl.

- ✓ **La minéralisation** a consisté à introduire dans un tube minéralisateur 100 ml de l'échantillon brut, un volume de 10ml de l'acide sulfurique de concentration. Le tube est ensuite placé dans le minéralisateur K436 durant 06 heures.
- ✓ **La distillation** a été faite grâce à un distillateur de marque BUCHI K 355
- ✓ **La titrimétrie** se fait en prélevant 100ml de distillat dans lequel on ajoute 20 ml de l'acide borique et trois gouttes de l'indicateur mixte, et une solution de l'acide sulfurique servant à titrer.

La teneur en NTK exprimée en milligramme d'azote par litre est donnée par l'équation suivante :

$$\text{NTK (mg/L)} = \frac{(V-V_0) \times 0,04 \times 14 \times 1000}{V_1} \quad \text{où}$$

V : volume en millilitre d'acide sulfurique utilisé pour le dosage

V₀ : volume en millilitre d'acide sulfurique utilisé pour l'essai blanc

V₁ : volume en millilitre de la prise d'essai

5. Mesure des ortho phosphates

Les valeurs ortho-phosphates ont été mesurées par la Méthode PhosVer 3 HACH 8114 à l'aide d'un spectrophotomètre de marque DR/ 3900.

Pour se faire on a prélevé 25 ml de l'échantillon filtré et dilué à un dixième de sa concentration, auquel on a ajouté le réactif de phosvert. Une agitation est effectuée afin d'homogénéiser la solution. Les valeurs sont données en mg/l.

6. Mesure des sulfates

La mesure des sulfates a été possible grâce à la méthode Sulfaver HACH 8051, à l'aide d'un spectrophotomètre de marque DR/3900. On a prélevé 25 ml de l'échantillon filtré et dilué à l'un centième auquel on a ajouté le réactif de sulfvert. Une agitation est effectuée afin d'homogénéiser la solution. Les valeurs sont données en mg/l.

7. Dosage de potassium, sodium, calcium (Ca²⁺) et du magnésium (Mg²⁺)

✚ Dosage du potassium et du sodium

Les dosages de K et Na ont été réalisés l'aide d'un spectrophotomètre à flamme de type JENWAY PFPT après filtration et dilution (1/10) des échantillons.

✚ Détermination du TCa et TH

La dureté calcique a été déterminée par titrimétrie avec une solution aqueuse d'E.D. T, en présence d'une pincée de calcons et pH12. La concentration du calcium est donnée par la relation suivante $Ca^{2+} \text{ (mg/l)} = 4.0 * TCa \text{ (°F)}$ avec $TCa \text{ (°F)} = 5000 * TCa \text{ (N)}$.

Quant à la dureté totale, elle a été obtenue par titrimétrie avec une solution aqueuse d'E.D. T, en présence 2 ml du tampon pH10 et une pincée du NET. La concentration du magnésium est donnée par la relation suivante :9

$Mg^{2+} \text{ (mg/l)} = 2.4 * TMg \text{ (°F)}$ avec $TMg \text{ (°F)} = 5000 * TMg \text{ (N)}$

8. Mesure des métaux lourds

L'analyse des métaux lourds s'est effectuée au laboratoire senexel par la méthode EPA 200.7. Elle consiste en premier temps à la préparation de l'échantillon et dans un second temps à la lecture des concentrations au Spectroscopie d'émission atomique par plasma micro-ondes (MP-AES 4210). Les éléments traces dont les concentrations ont été évaluées sont le plomb, le cadmium, le chrome, le fer, l'aluminium, le cuivre, le manganèse, le cobalt.

✚ Préparation des échantillons.

Cette phase de préparation des échantillons se résume à la digestion des échantillons et à la préparation des étalons. La digestion a pour objectif de mettre en solution, les métaux présents dans les effluents. Elle consiste à prélever dans un tube 25 ml de chaque échantillon auxquels on ajoute successivement 2 ml peroxyde (H_2O_2) ; 2,5ml d'acide nitrique ; 2,5 ml acide chloridrique (HCl). On fait chauffer au micro-onde la solution obtenue (Milstonel MIS 1200 méga) pendant une (1) min à une puissance de 250W ; 5 min à 400W et 3 min à une puissance de 400W. une fois le programme terminé, on la laisse refroidir les échantillons dans 24 h puis on les recueille dans tube PP de 50 ml.

✚ Préparation des étalons

À l'aide de la matrice (5% de HCl et 5% HNO_3) et de la solution mère QCS-27. On prépare les étalons de 0,25 mg/l ; 5 mg/l ; 1 mg/l ; 2 mg/l ; 5 mg/l

✚ Mesure des concentrations

La détermination des teneurs en métaux lourds s'est faite à l'aide d'un Spectroscopie d'émission atomique par plasma micro-ondes (MP-AES). L'équipement utilisé est composé de

spectrophotomètre MP-AES 4210 couplé à un générateur d'azote, un onduleur, un autosampler de marque SPS-4 et un logiciel de traitement des données (MP expert). À l'aide de l'autosampler les préparations précédentes sont introduites en lecture après le tracé d'une courbe d'étalonnage pour chaque métal mesuré. Les solutions d'étalonnage sont des substances certifiées et validées par le laboratoire. La validation des résultats est faite à parti des échantillons de contrôle ayant un intervalle de vérification déjà préétabli par le fabriquant.

QUALITÉ PHYSICO-CHIMIQUE DES REJETS DES STATIONS D'ÉPURATION DE LA VILLE DE OUAGADOUGOU

ANNEXE II : PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EFFLUENTS BRUTS ET TRAITES DES STATIONS

Annexe II. 1. Paramètres physico-chimiques des influents bruts et la Norme de rejet des eaux usées dans milieu naturel du Burkina Faso

Paramètres	n	Kossodo			Sourgoubila			Zagtouli			Laïco			Norme BF
		Minimum	Maximum	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne	
pH	26	6,85	12,4	8,47	7,05	9,15	8,18	8,123	9,2	8,75	7,3	9,1	8,38	6,4 - 10,5
Conductivité (μ S/cm)	26	529	3 830	1 855,71	1 667,18	4 765	3 039,16	4251	5900	4894,78	359	803,5	647,56	
Température (°C)	26	21,5	33	29,17	20,5	31,5	27,41	27,25	31,4	29,26	26	31,5	29,16	40
MES (mg/L)	26	120	520	255,71	44	520	185,56	118	648	265,82	43	232	95,6	150
DB/O5(mg/L)	26	150	1 400	503,33	50	275	146,67	100	525	269,44	150	725	358,3	40
DCO (mg/L)	26	398	1 258	744,83	214	719,5	433,23	405	1137	666,83	136	521	325,89	150
DCO/DBO5	26	2,65	0,9	1,48	4,28	2,62	2,95	4,05	2,17	2,47	0,91	0,72	0,91	*
NTK (mg/L)	26	101,82	348,15	209,33	54,9	894,88	348,15	32,36	184,77	71,59	108,87	578,24	184,77	35
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	26	24	214	81,76	18	302,5	53	23,06	55	23,06	14	69	32,94	600
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	26	10,93	81,17	46,02	97,44	618,09	215,15	134,14	216,27	171,92	9,415	24,18	16,65	5
Na(mg/L)	26	158,26	590,42	307,66	164,34	279,99	237,94	194,78	395,64	249,56	24,35	517,38	318,79	300
Ca(mg/L)	26	60	480	178,18	120	840	298	29,2	506	254,46	24,35	360	202,75	500
Mg(mg/L)	26	24	204	88,15	12,5	287,5	131,14	130,8	416,4	289,61	24,35	168	91,05	200
K(mg/L)	26	13,84	221,48	88,09	69,21	249,17	164,24	152,27	366,83	211,6	24,35	186,88	88,25	

Annexe 2 : variabilité des teneurs en métaux lourds des effluents et les solutions de contrôle

Solution Label	Al(mg/L)	Cd (mg)	Cr (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn(mg/L)	Pb (mg/L)	Z (mg/L)
Initial Calibration Blank	0	-0,003	0	0,003	0,006	0	0,001	-0,003
Initial Calibration Verification	1,02	1,05	1,03	0,002	1,017	1,021	-0,017	1,038
Rinse	-0,001	0	0	0,002	0,004	0	-0,001	-0,005
QCI-034	0,586	0,19	0,249	0,355	1,966	1,223	0,138	1,541
Rinse	-0,001	0,001	0	0,002	0,006	0	0,001	-0,004
Matrice	-0,001	0,001	0	-0,006	0,008	0	-0,003	-0,02
MB	0,012	0,001	0	0,005	0,005	0,001	-0,003	0,009
Entrée Kossodo	1,75	-0,002	0,008	0,051	1,468	0,134	0,033	0,113
Sortie Kossodo	0,643	0,002	0,003	0,035	0,694	0,09	0,04	0,067
Entrée Sourgoubila	0,596	0,002	0,002	0,038	1,115	0,202	0,035	0,162
Sortie Sourgoubila	0,122	0,001	0,001	0,024	0,314	0,04	0,043	0,032
Entrée Zagtoui	1,16	0,002	0,005	0,054	0,933	0,068	0,039	0,086
Sortie Zagtoui	0,099	0,009	0	0,035	0,221	0,015	0,023	0,121
Entrée Laïco	1,95	0,005	0,013	0,14	7,16	0,33	0,049	0,53
Sortie Laïco	0,186	0,004	0,002	0,024	0,825	0,094	0,056	0,055

ANNEXE 3 : DYSFONCTIONNEMENTS DES STATIONS



Présence de déchets dans le bassin anaérobie de la station de lagunage de Zagtouli



Déversement de boue dans le bassin de maturation de Kossodo



Remonté de boue dans les clarificateurs de l'hotel Laïco

ANNEXE IV : LES NORMES DE REJET ET DE RÉUTILISATION DES EAUX USÉES DU BURKINA FASO

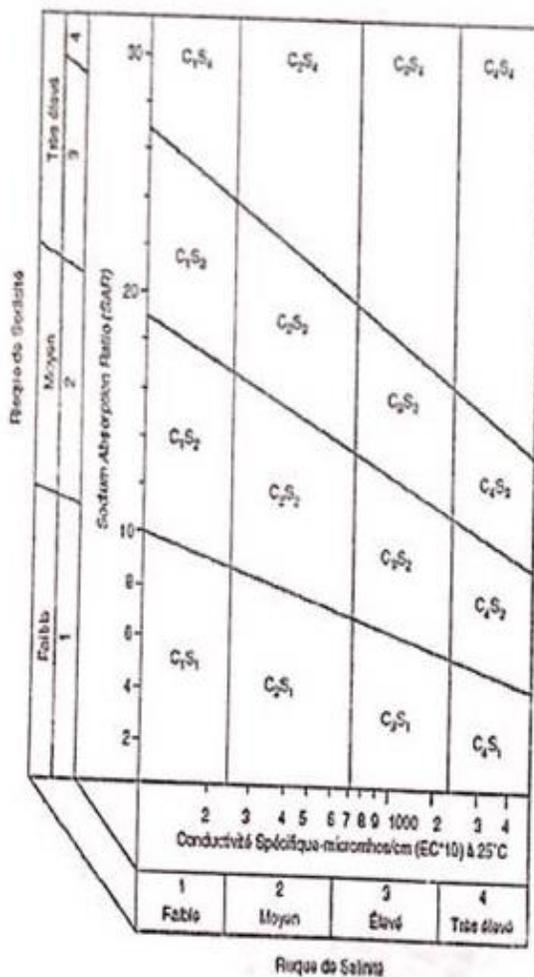
Annexe 4.1 : La normes de rejets des eaux usées dans le réseau d'égout et de réutilisation en agriculture du Burkina Faso

N°	Paramètres	Valeurs limites
1	Aluminium total	20 mg/l
2	Arsenic total	1 mg/l
3	Bioxyde de Chlore	0,5 mg/l
4	Brome actif	1 mg/l
5	Cadmium total	1 mg/l
6	Chlore actif	3 mg/l
7	Chrome VI	0,5 mg/l
8	Chrome total	5 mg/l
9	Cuivre total	2 mg/l
10	Cyanures facilement décomposables	1 mg/l
11	Détergents totaux	20 mg/l
12	Fer total	20 mg/l
13	Fluorures	15 mg/l
14	Manganèse total	5 mg/l
15	Matières en suspension (MES)	1000 mg/l NB : la dimension de ces matières ne peut dépasser 10 mm
16	Matières extractibles à l'éther pétrole	500 mg/l
17	Mercure total	0,05 mg/l
18	Nickel total	4 mg/l
19	Pesticides et produits similaires	0,01 mg/l
20	pH	6,5 - 10,5 N.B : si les eaux déversées proviennent de l'utilisation d'une eau de surface ou souterraine, le pH naturel de ladite eau, s'il est inférieur à 6,5 peut être admis comme valeur limite des eaux déversées
21	Plomb total	2mg/l
22	Solvants chlorés	0,1 mg/l
23	Sulfates	3000 mg/l
24	Sulfures	10 mg/l
25	Température	45°C
26	Zinc total	20 mg/l

Annexe 3.2. Norme de rejet des eaux usées dans le milieu naturel de Burkina Faso

N°	Paramètres	Valeurs limites
1	Aluminium total	5 mg/l
2	Azote Kjeldahl	35 mg/l;
3	Arsenic total	0,2 mg/l
7	Cadmium total	1 mg/l;
8	Chlore actif	0,05 mg/l
9	Chrome III dissous	2 mg/l
10	Chrome VI	0,5 mg/l;
11	Chrome total	5 mg/l
12	Coliformes fécaux	2000 UFC/100ml
13	Cuivre total	2 mg/l
14	Cyanure facilement décomposable	1 mg/l
15	Demande biologique en oxygène des eaux déversées, mesurée sur eau filtrée pour les déversements provenant des procédés d'épuration par lagunage	40 mg/l
16	Demande chimique en oxygène des eaux déversées, mesurée sur eau filtrée pour les déversements provenant des procédés d'épuration par lagunage. Le recours au filtrage n'est pas d'application pour les eaux usées industrielles et les eaux usées domestiques contenant plus de 25% d'eaux usées industrielles	150 mg/l
19	Fer total	10 mg/l
20	Fluorures	10 mg/l
21	Teneur en hydrocarbures non polaires	10 mg/l
22	Manganèse total	5 mg/l
26	Mercure total	0,05 mg/l
27	Nickel total	4 mg/l;
28	Pesticides organiques chlorés	0,003 mg/l
29	pH	6,5 et 9,0
37	Température	40°C
38	Zinc total	5 mg/l

ANNEXE : Tableau de classement du risque salinité du laboratoire des USA



Avec :

- C1S1 Eau de bonne qualité. Précautions avec les plantes sensibles.
- C1S2 Qualité moyenne à bonne. A utiliser avec précaution dans les sols lourds mal drainés et pour les plantes sensibles (arbres fruitiers).
- C2S1
- C2S2 Qualité moyenne à médiocre. A utiliser avec précaution. Nécessité de drainage avec doses de lessivage et/ou apports de gypse.
- C1S3
- C3S1
- C1S4 Qualité médiocre à mauvaise.
- C2S3 Exclure les plantes sensibles et les sols lourds. Utiliser avec beaucoup de précautions dans les sols légers et bien drainés avec doses de lessivage et/ou apport de gypse.
- C3S2
- C4S1
- C2S4 Qualité mauvaise. A n'utiliser, avec beaucoup de précautions que dans les sols légers et bien drainés et pour des plantes résistantes. Risques élevés. Lessivage et apports de gypse indispensables.
- C4S2
- C3S3
- C3S4 Qualité très mauvaise. A n'utiliser que dans des circonstances exceptionnelles.
- C4S3