ELIMINATION DE LA POLLUTION BACTERIENNE PAR LAGUNAGE A MICROPHYTES SOUS CLIMAT SAHELIEN : CAS DE LA STATION D'EPURATION DE KOSSODO APRES 9 ANS DE FONCTIONNEMENT

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU

MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT

OPTION **:** Collectivité locale

Présenté et soutenu publiquement le 27 juin 2013 par

Natacha Wendpannga DJIGUEMDE

Travaux diriges par : Dr Yacouba KONATE,

Enseignant chercheur à 2IE

M. Jean OUEDRAOGO,

Chef de service d'exploitation de l'assainissement collectif de L'ONEA

Jury D'évaluation Du Stage :

Président : Mr. Seyram SOSSOU

Membres et correcteurs : Dr. Yacouba KONATE

Mme. Awa KOÏTA

PROMOTION [2012/2013]

CITATION

‘*’L’eau est une ressource trop rare pour n’être utilisée qu’une fois avant d’être rendue à la nature*’’ **(Sandberg H, 1992)**

DEDICACE

C'est avec allégresse que je saisie cette opportunité pour dédier ce mémoire

- *Au **Seigneur tout puissant**, source et origine de toute miséricorde qui m'a donnée les ressources nécessaires pour ce parcours*

- *A mon père **DJIGUEMDE Benoît** et ma chère mère **KABORE Henriette***
  Pour tous les efforts consentis pour mon éducation, les conseils, l'amour qu'ils m'ont toujours donné et pour m'avoir guidée sur le chemin de la persévérance

- *A mes frères et sœurs : **Edwige**, **Norbert**, **Adeline**, **Noelie**, **Stéphane**, **Donatien**, **Inès** qui m'ont toujours soutenue et encouragée durant mes études*

- *A mon grand frère **DJIGUEMDE Blaise** pour tout son soutien et ses conseils*

- *A mon fiancé **ZOUNDI Sylvestre** et à tous mes amis pour leurs soutiens multiformes*

- *A tous mes **professeurs** pour leurs connaissances transmises*

A tous, je formule ma profonde gratitude

REMERCIEMENTS

C'est avec un grand plaisir que j'exprime toute ma gratitude à ceux, de près ou de loin ont contribué à l'aboutissement de ce mémoire de fin de cycle de master.

Je tiens à remercier particulièrement :

- Le Directeur Général de l'ONEA pour m'avoir acceptée dans sa structure
- Mon directeur de mémoire Dr Yacouba KONATE au Centre Commun de Recherche Eau et Climat (CCREC) de 2ie pour ses explications et le temps consacré à ce travail malgré ses nombreuses obligations quotidiennes, pour ses conseils et ses motivations, qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude ;
- Mon maître de stage Mr Jean OUEDRAOGO, Chef de service d'exploitation de l'assainissement collectif, qui n'a ménagé aucun effort pour la réussite de ce travail. Merci pour votre aide dans l'accomplissement de ce document
- Mr Daouda PANKOLO, Mr Soumaila SODRE et Stéphane COMPAORE pour leur soutien et leurs conseils.
- Mr. Seyram SOSSOU et Mr. Boukary SAWADOGO, respectivement responsables du Laboratoire de Microbiologie et de Eau potable pour m'avoir accepté dans les Laboratoires pour les analyses et leur aide pour le bon déroulement des analyses
- Mr Armel YAPI, Doctorant en Ecotoxicologie au Laboratoire des Sciences de l'Environnement à l'Université Nangui Abroguoua de Côte d'Ivoire pour les encouragements et les échanges fructueux durant mon travail
- Le personnel du laboratoire Mr Bernard ZONGO, Mr Noël TINDOURE, Mr Moustapha OUEDRAOGO et au stagiaire Mr Saydou BEOGO pour l'aide précieuse et constante qu'ils m'ont apporté lors des prélèvements sur le terrain et les analyses au laboratoire.

Merci à tous pour le soutien que vous m'avez apporté.

RESUME

La réutilisation des eaux usées traitées en irrigation présente des risques sanitaires importants tant pour les utilisateurs que pour les consommateurs de produits maraichers lorsque leur qualité bactérienne n'est pas satisfaisante.

La présente étude a pour objectif global l'évaluation des rendements épuratoires bactériens du lagunage à microphytes de Kossodo sous climat sahélien dont les eaux usées traitées sont réutilisées à l'aval pour l'irrigation, le calage du modèle de Von Sperling et la proposition de solution afin de réduire les effets sur l'environnement.

Pour l'atteinte de cet objectif, des prélèvements d'eaux usées ont été effectués suivant une fréquence trihebdomadaire pendant 02 mois avec un échantillonnage composite pour l'eau brute et un échantillonnage ponctuel pour le prélèvement des eaux usées à la sortie des bassins de la Station d'Epuration (STEP) de Kossodo. Les indicateurs de contamination fécale recherchés sont les coliformes fécaux dont *Escherichia coli* et les entérocoques dans l'influent brut et les effluents de sorties. Les rendements épuratoires de la STEP de Kossodo sont 4,893 ulog pour les coliformes fécaux, 4,164 ulog pour *E coli* et 4,567 ulog pour les entérocoques fécaux. Ces rendements sont satisfaisants mais la qualité bactérienne ($>10^3$ ufc/100mL) des eaux usées traitée ne respectent pas les normes de l'OMS pour une irrigation non restrictive. La caractérisation physico-chimique a permis de constater que les eaux usées traitées présentent une conductivité élevée avec des valeurs de 1902,53 µS/cm et que le pH de l'eau brute est supérieur à 7. Le calage du modèle de Von Sperling donne des coefficients d'élimination de *E coli* compris entre 0,3 j^{-1} et 1,44 j^{-1}

Les solutions proposées pour améliorer les rendements épuratoires de la STEP et limiter les risques sanitaires sont notamment la mise en marche des bassins anaérobie 1 et facultatif 1, la mise en place d'un dispositif permettant l'éloignement des oiseaux, source de recontamination des bassins de lagunage et la régulation du pH à l'entrée de la station.

Mots clés : eaux usées, lagunage à microphytes, climat sahélien, coliformes fécaux, irrigation

ABSTRACT

The reuse of treated wastewater for irrigation has significant health risks for users as for consumers when their bacterial quality is not satisfactory.

The overall objective of this study was to evaluate bacterial purifying efficiency of the waste stabilization ponds in Sahelian climate in which treated wastewater is reused downstream for irrigation, model calibration Von Sperling and the proposed solution to reduce environmental impacts

To achieve this objective, indicators of fecal contamination are sought feacal coliforms, *Escherichia coli* and enterococci in raw wastewater and effluent output. The removal efficiency of STEP Kossodo are 4,893ulog for fecal coliform, 4,164 ulog for *E coli* and 4,567 ulog for fecal enterococci. These removal efficiencies are satisfactory but bacterial quality (> 10^3 CFU/100 ml) of treated wastewater does not meet WHO standards for unrestricted irrigation. The physico-chemical characterization showed that the treated wastewater has high conductivity values 1902.53 µS / cm and the pH of the raw wastewater is greater than 7. Model calibration Von Sperling gives *E Coli* die-off coefficient between 0.3 and 1.44 d^{-1}.

The proposed solutions to improve the removal efficiency of the WSP and reduce health risks include the start of anaerobic ponds and one optional one, the implementation of a device for the removal of birds, a source of recontamination of the waste stabilization ponds and pH control at the enter of the station.

Keywords:, waste water waste stabilization pond, Sahelian climate, feacal coliforms, irrigation

LISTE DES ABREVIATIONS

2IE	Institut Internationale d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
ADN	Acide désoxyribonucléique
ARN	Acide Ribonucléique
BA	Bassin Anaérobie
BF	Bassin Facultatif
BM	Bassin de maturation
CF	Coliformes fécaux
CREPA	Centre Régional de l'Eau Potable et de l'Assainissement
DBO	demande biologique en oxygène
DCO	demande chimique en oxygène
EB	Eau brute
EU	Eaux usées
EUT	Eaux usées traitées
ha	hectare
MES	Matière en suspension
N	Azote
OD	Oxygène dissous
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONEA	Office Nationale de l'Eau et de l'Assainissement
P	phosphore
pH	Potentiel hydrogène
PSAO	Plan Stratégique de l'Assainissement de Ouagadougou
SF	Streptocoques fécaux
STEP	Station d'Epuration
T	Température

SOMMAIRE

CITATION i

DEDICACE ii

REMERCIEMENTS iii

RESUME iv

ABSTRACT v

LISTE DES ABREVIATIONS vi

SOMMAIRE 1

LISTE DES TABLEAUX 3

LISTE DES FIGURES 4

INTRODUCTION 5

PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE 8

I. Les différents bassins de lagunage à microphytes 8

1) Etage de bassin anaérobie 8

2) L'étage de bassins facultatifs 8

3) L'étage de bassins de maturation 9

II. Les indicateurs de contamination fécale 10

1) Coliformes fécaux 10

2) Enterocoques fécaux 10

III. Mécanismes d'élimination de la pollution organique et bactérienne 11

1) Les facteurs influençant la décontamination bactérienne dans les bassins de lagunage à microphytes 11

a) Les facteurs abiotiques 11

b) Les facteurs biotiques 13

2) Modèles de décontamination bactérienne 15

IV. Performances épuratoires 17

V. Risques sanitaires liés à la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture 18

DEUXIEME PARTIE : MATERIELS ET METHODES 19

I. Le site de l'étude 19

1) Localisation géographique de la STEP de Kossodo 19

2) Caractéristiques de la station d'épuration. 19

3) Caractéristiques et composition des eaux usées brutes de la STEP 21
II. Méthodologie générale de l'étude 22
III. Méthodologie d'échantillonnages et d'analyses 22
1) Méthode d'échantillonnage.....22
2) Méthodes d'analyses 23
a. Paramètres physico chimiques 23
b. Les indicateurs de contamination fécale 25
IV. Méthodologie de calcul 26
TROISIEME PARTIE : RESULTATS 27
I. Résultats 27
II. Modélisation de la décontamination bactérienne : modèle de Von Sperling (1999, 2002, 2003).....34
QUATRIEME PARTIE : DISCUSSION ET ANALYSE.....35
I. Paramètres physico chimiques 35
II. Paramètres de contamination fécale 35
III. Comparaison des résultats d'analyses des années 2005, 2006 et 2013 36
IV. Performances épuratoires.....38
V. Modèle de décontamination bactérienne 42
CINQUIEME PARTIE : PROPOSITION DE SOLUTIONS 43
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES 45
BIBLIOGRAPHIE 46
ANNEXES I

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Caractéristiques des trois principaux mécanismes de la photoinhibition responsables de la désinfection dans les bassins de lagunage 12

Tableau II: Facteurs influençant la désinfection dans les bassins de lagunage à microphytes.15

Tableau III: Caractéristiques géométriques des ouvrages de traitements de la STEP de Kossodo 20

Tableau IV: Méthodes d'analyses des paramètres physico-chimiques et microbiologiques 24

Tableau V: Caractéristiques des eaux usées brutes 27

Tableau VI: Caractéristiques des eaux dans les bassins anaérobie, facultatif, de maturations.27

Tableau VII: Caractéristiques des eaux usées traitées.....28

Tableau VIII: Performances épuratoires bactériologiques de la STEP de Kossodo 32

Tableau IX: Valeurs des coefficients de Von Sperling obtenues dans les différents bassins...34

Tableau X: Type de pollution en fonction des classes des rapports CF/SF.....36

Tableau XI: Performances épuratoires de cette étude et relevé dans la littérature 40

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Microbiologie des bassins facultatifs, adapté de Bitton 2005.....9

Figure 2: Localisation de Kossodo.....19

Figure 3: Représentation schématique du lagunage de Kossodo.....20

Figure 4: Méthodologie générale de travail.....22

Figure 5: échantillonneur composite.....23

Figure 6: Mesure des paramètres physicochimiques.....24

Figure 7: Boites de pétri contenant des colonies de coliformes fécaux et *Escherichia Coli*....25

Figure 8: Boite de pétri contenant des colonies de enterocoques fécaux.....26

Figure 9: Variation du pH.....29

Figure 10: Variation du nombre de coliformes fécaux dans l'eau brute et les effluents de sortie de chaque bassin.....30

Figure 11: Variation du nombre d'*Escherichia Coli* de l'influent brut et dans l'effluent de sortie de chaque bassin.....31

Figure 12: Variation du nombre d'entérocoques dans l'influent brut et les effluents de sortie de chaque bassin.....32

Figure 13: Abattement des coliformes fécaux dans les bassins.....33

Figure 14: abattement des *Escherichia coli* dans les bassins.....33

Figure 15: Abattement des entérocoques dans les bassins de lagunage.....34

Figure 16: Variation des variables physico-chimiques et bactériologiques pendant la période 2005 -2006 et 2013.....38

INTRODUCTION

Dans de nombreux pays en voie de développement et particulièrement en Afrique subsaharienne, l'assainissement des villes est souvent relégué en arrière plan des priorités dans les politiques de développement urbains. Cela se traduit par un faible niveau d'investissement dans les infrastructures de collecte et d'évacuation des rejets liquides. Le Burkina Faso confronté à un gros problème d'assainissement dans la capitale Ouagadougou a adopté en 1995 un plan stratégique d'assainissement de la ville de Ouagadougou (PSAO) pour y remédier. Ce plan définit des stratégies en matière de gestion des eaux usées et excrétas et décrit des actions à mener pour accroître l'accès des populations de Ouagadougou à un assainissement amélioré. En effet, avec le PSAO, deux techniques différenciées ont été adoptées pour le centre et la périphérie de Ouagadougou à savoir l'assainissement collectif pour le centre et la zone industrielle et l'assainissement autonome pour la périphérie. Pour ce qui concerne l'assainissement collectif, le choix s'est porté sur le traitement naturel des eaux usées par lagunage à microphytes.

Le lagunage est une technique basée sur les principes des phénomènes d'autoépuration s'établissant naturellement dans les mares et les étangs par l'intermédiaire de facteurs physiques, chimiques et biologiques (Klustsé, 1995). Le choix de traitement s'est porté sur le système de lagunage à cause des raisons économiques (moins cher par rapport aux systèmes à boues activées qui sont trop onéreux), la simplicité d'opération et de maintenance, et l'économie d'énergie, les conditions climatiques sahéliennes favorables, efficacité dans l'élimination des bactéries et des parasites et la réduction de la pollution organique. Elle nécessite néanmoins une grande superficie de terre pour sa mise en place. C'est alors que la STation d'EPuration (STEP) de Kossodo a été mise en place en 2004 pour l'assainissement des eaux usées de la ville de Ouagadougou.

Cependant, pour améliorer l'assise scientifique sur laquelle sont basés la gestion et le fonctionnement du lagunage et de bien connaitre son efficacité, il s'avère indispensable de

développer des connaissances scientifiques et techniques à un travers un suivi continuel de la station d'épuration de le STEP de Kossodo. Aussi, compte tenu des risques sanitaires engendrés par la réutilisation des EUT, il est nécessaire d'évaluer la qualité bactérienne des EUT afin de vérifier si elles respectent les normes en matière de réutilisation des EUT en agriculture.

C'est dans ce cadre que la présente étude a été proposée par l'ONEA sur le thème « Elimination de la pollution bactérienne par lagunage à microphytes sous climat sahélien : cas de la station d'épuration de Kossodo après 9 ans de fonctionnement ». L'objectif général du travail est l'évaluation de l'efficacité de la décontamination bactérienne des eaux usées urbaines par le lagunage de Kossodo et y apporter des solutions d'amélioration pour réduire d'avantage les risques sanitaires environnementaux avec pour objectifs spécifiques :

- Evaluer les paramètres physico-chimiques contribuant à l'élimination de la pollution bactérienne dans l'influent brut et l'effluent à la sortie de chaque bassin de lagunage.
- Evaluer les paramètres indicateurs de contamination fécale notamment : Coliformes Fécaux dont *Escherichia coli*, les Enterocoques fécaux de l'influent brut et des effluents de sortie des bassins anaérobie, facultatif et de maturation.
- Déterminer les rendements épuratoires pour chaque bassin et pour l'ensemble de la filière de traitement pour l'élimination de la pollution bactérienne durant la période d'étude considérée et les comparer aux performances antérieures de la station et aux données de littératures.
- Caler le modèle de Von Sperling (1999, 2002,2003) pour l'élimination des *E coli* dans les conditions climatiques sahéliennes.

Le présent rapport s'articule sur cinq parties.

La première partie présente une synthèse bibliographique faite sur le lagunage à microphytes et la réutilisation des eaux usées traitées issues de ce type de traitement,

La seconde partie traite de la méthodologie générale de travail,

La troisième partie présente les résultats issus des analyses,

La quatrième partie porte sur la discussion et les analyses des résultats,

Enfin la cinquième et dernière partie du travail porte sur la proposition de solutions pour

l'amélioration de la qualité bactérienne de l'eau usée traitée.

Une conclusion synthétise les principaux résultats de l'étude et donne des perspectives de recherche ouvertes par ce travail.

PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Les différents bassins de lagunage à microphytes

L'épuration des eaux dans le lagunage à microphytes est assurée grâce à un long temps de séjour dans plusieurs bassins. Les différents étages de bassins de lagunage sont les suivants : l'étage de bassin anaérobie (BA), l'étage de bassin facultatif (BF) et l'étage de bassin de maturation (BM). Chaque bassin joue un rôle important dans le traitement de l'eau usée. Les bassins dans chaque étage peuvent être regroupés en parallèle ou en série.

1) Etage de bassin anaérobie

L'étage de bassin anaérobie permet d'abattre la charge polluante carbonée (DBO, DCO, MES). La charge organique volumétrique admissible dans les bassins anaérobies est comprise ente 100 g DBO/m^3/j et 400 g DBO/m^3/j (Mara et Pearson, 1998). La charge organique minimale de 100 g DBO_5 /m^3/j est nécessaire pour permettre de créer les conditions anaérobiques dans le bassin anaérobie et la limitation de la charge organique à 400 gDBO_5 /m^3/j a pour objectif d'éviter les nuisances olfactives pouvant résulter de l'émanation de l'hydrogène sulfureux en cas de surcharge organique (Mara, 1976). Au fond du bassin, les bactéries anaérobies dégradent la matière organique décantée et engendre un dégagement de biogaz. Les « croûtes » de boues qui se forment à la surface des bassins sont signes de bon fonctionnement, et permettent de maintenir l'anaérobiose. Ce type de bassin est conçu pour des influents ayant les caractéristiques suivantes : DCO/ DBO < 3 ; DBO / N / P $\approx$ 100/5/1 . L'inconvénient majeur que présente le bassin anaérobie est le dégagement d'odeur qui est due à l'élimination de l'hydrogène sulfuré. La lagune anaérobie peut être équipée d'aérateur de surface pour limiter ces nuisances olfactives

2) L'étage de bassins facultatifs

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. On distingue habituellement trois couches distinctes au sein du bassin comme le montre la figure 1 : une zone supérieure productrice d'oxygène via la photosynthèse ; une zone centrale peuplée de bactéries utilisant l'oxygène pour transformer la pollution soluble et nourrir ainsi les algues ; une zone inférieure où s'accumulent les matières

décantables, en condition anaérobie (zone des boues). A travers l'activité photosynthétique des algues dans le bassin, on note une variation des paramètres au cours de la journée (oxygène dissous monte et descend avec l'intensité lumineuse, pH augmente avec la consommation de CO_2 dissous dans l'eau). On distingue deux types de bassins facultatifs : le bassin facultatif primaire qui reçoit directement les eaux brutes et le bassin facultatif secondaire qui reçoit les eaux traitées du bassin anaérobie. 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 (Mara, 1997).

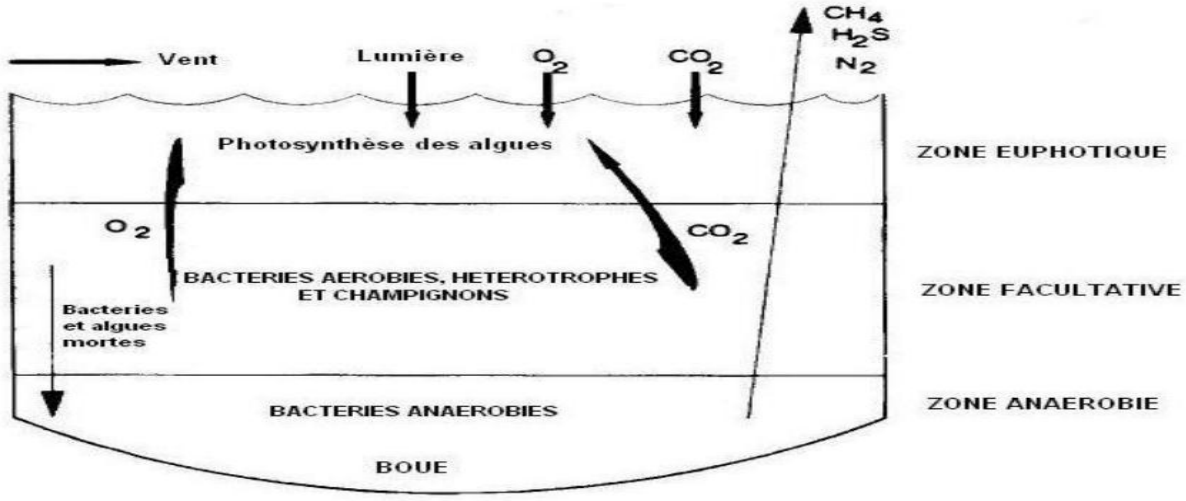


Figure 1: Microbiologie des bassins facultatifs, adapté de Bitton 2005

3) *L'étage de bassins de maturation*

L'étage de bassins de maturation joue le rôle de désinfection de l'eau usée dans le traitement. En effet, ces bassins peu profonds (1-1,5m) permettent une bonne pénétration de la lumière nécessaire à la photosynthèse des algues mais également pour garantir une bonne oxygénation de l'eau tout au long de la journée. La population algale y est diversifiée et augmente de bassin en bassin ce qui conditionne les mécanismes d'abattement des pathogènes et des coliformes fécaux. Les eaux usées traitées colorées généralement en vert peuvent présenter une coloration rouge comme dans les bassins facultatifs. En cas de faible charge organique de l'influent de la STEP, les bassins facultatifs et de maturation peuvent être recouverts par la lentille d'eau, ce qui ne favorise pas les conditions aérobies recherchées et

constitue un obstacle à la pénétration des radiations solaire. La prolifération de ces végétaux peut être remédiée par la sédentarisation de canards ou par l'usage d'un inhibiteur chimique.

II. Les indicateurs de contamination fécale

Les indicateurs de contamination fécale sont des micro-organismes dont la présence dans une eau ou un aliment est le signe d'une contamination par des matières fécales. Un indicateur idéal de contamination fécale est un organisme qui présente les critères suivants :

- → Toujours présent dans des eaux contaminées par la matière fécale
- → Présent avec les pathogènes d'origine entérique
- → Plus abondant que les pathogènes
- → Plus résistant que les pathogènes
- → Ne prolifère pas dans l'environnement
- → Facilement dénombré par des méthodes non couteuses
- → Non pathogène

1) Coliformes fécaux

Les coliformes fécaux sont des bactéries de la famille des Enterobactéroceae qui sont des aérobies et anaérobies facultatives, gram négatif, en forme de bâtonnets, oxydase négative, fermentant le lactose en acide et en gaz en 24h ± 2h à 44,5 ± 0.2° C. Les coliformes fécaux constituent un sous-groupe des coliformes totaux. L'espèce la plus fréquemment associée aux contaminations d'origine fécale est *Escherichia coli* ou E. Coli. On retrouve aussi les espèces citrobacter, enterobacter et Klebsiella qui sont moins utilisées. Dans le traitement des eaux usées, l'utilisation des coliformes fécaux comme indicateurs par rapport aux coliformes totaux est plus approprié et *Escherichia Coli* est l'indicateur le plus approprié du groupe coliforme fécal pour indiquer une contamination fécale d'animaux à sang chaud.

2) Enterocoques fécaux

Les entérocoques sont des bactéries à gram positif, catalase négative, possédant les antigènes du groupe D de Lancefield et appartenant au genre Streptococcus. Les entérocoques se présentent en chainettes, à métabolisme anaérobie, gram positif. Ils se développent en 48h à 37°C sur un milieu de culture spécifique aux entérocoques.

III. Mécanismes d'élimination de la pollution organique et bactérienne

1) *Les facteurs influençant la décontamination bactérienne dans les bassins de lagunage à microphytes*

a) *Les facteurs abiotiques*

Les facteurs physiques impliqués dans la décontamination bactérienne dans les bassins de lagunage à microphytes sont la température, temps de séjour, l'ensoleillement et la sédimentation

- Température

La température affecte la cinétique des processus dans les bassins de lagunage. Différentes études ont montré que dans les bassins de lagunage, la température ne constitue pas à elle seule une cause primaire de désinfection des eaux (Mills et al, 1992). Elle ne devient létal qu'à des valeurs élevées. Ainsi la température pourrait être considérée comme un catalyseur de désinfection sous l'action d'autres facteurs.

- Temps de séjour hydraulique (TSH)

Le temps de séjour est le temps que mettent les eaux usées dans un système de traitement avant d'être rejetées. Ce temps de rétention hydraulique est d'une importance capitale pour l'élimination des pathogènes par la sédimentation. Le TSH dans les bassins de lagunage est un facteur qui conditionne le temps d'exposition nécessaire pour l'inactivation ou la désinfection bactérienne. Il est par conséquent considéré au même titre que la température comme un facteur sécondaire susceptible d'influencer la décontamination microbiologique dans les bassin de lagunage (Maynard et al, 1999). Cela se traduit notamment par les effets induits de courts circuits hydrauliques.

- Ensoleillement

L'ensoleillement a deux rôles principaux dans les bassins de lagunage : d'une part il contrôle la photosynthèse des algues produisant l'oxygène et favorisant l'augmentation du pH, d'autre part, il permet l'élimination des pathogènes (Paterson et Curtis, 2005). Il a un effet létal sur les coliformes et le taux d'inactivation est proportionnel à l'intensité d'ensoleillement et fonction du type de radiation solaire (Curtis *et al*, 1992, Davies Colley et al, 1997,1999 ;

Sinton et al, 1999,2002). La radiation solaire endommage l'ADN des microorganismes par les UV-B (300-320 nm de longueur d'onde).

Il existe trois mécanismes d'élimination des microorganismes par l'ensoleillement dans les bassins de lagunage (Davies-Colley *et al*, 1999). On a :

Mécanisme 1 : causé par l'action directe des UV-B sur l'ADN préjudiciable aux phages F-RNA et F-DNA

Mécanisme 2 : la photo-oxydation causée par des espèces réactives d'oxygène produit par des substances présentes dans les cellules (photosensibilisateurs endogènes)

Mécanisme 3 : la photooxydation catalysée par des substances humiques et les pigments synthétiques (photosensibilisteurs exogènes) présents dans les bassins de lagunage.

Les caractéristiques des trois mécanismes sont présentées dans le tableau I ci-dessous

Tableau I: Caractéristiques des trois principaux mécanismes de la photoinhibition responsables de la désinfection dans les bassins de lagunage

Mécanisme	Longueurs d'ondes impliquées (nm)	Absorbées par	Principale cible	Dépendant de l'oxygène	Dépendant du pH	Repérable
1. **Endommagement photobiologique de l'ADN**	UV-B (300-320 nm)	ADN	ADN	Non	Non	Oui (bactéries)
2. **Endommagement photooxydatif (principalement l'ADN)**	UV-B, (+ UV-A ?)	ADN et autres constituants cellulaires	ADN	oui	Non	Oui (bactéries)
3. **Endommagement photooxydatif des structures externes**	300 -550 nm	Substances humiques	Membranes cellulaire, protéines de la capside ?	Oui	Certaines bactéries (y compris E. coli)	Non

Source : Davies-Colley, 2005

- Sédimentation

La sédimentation est le principal mécanisme d'élimination des œufs d'helminthe, des kystes de protozoaires dans les bassins de lagunage (Maymard et al, 1999). Les bactéries et les virus lorsqu'ils sont complexés avec les particules dans les eaux usées pourraient aussi être éliminées par la sédimentation (Davies colley, 2005). Ce mécanisme permet souvent d'éliminer totalement les œufs d'helminthes dans les bassins anaérobies. Ces œufs peuvent survivre plus d'une année dans les boues décantées au fond des bassins.

- pH

Le pH joue un rôle important dans la désinfection des microorganismes. En effet les microorganismes survivent mieux dans une gamme de pH relativement proche de la neutralité. Les milieux acides ou basiques entrainent une forte accélération de leur mortalité. Il y'a une forte diminution du taux de survie de certains pathogène lorsque le pH s'élève à des valeurs supérieures à 9 (Fagrouch *et al*, 2010)

- Oxygène dissous

L'oxygène dissous joue un rôle significatif dans la désinfection en présence de lumière. En effet en présence de radiation solaire et d'oxygène, les mécanismes 2 et 3 de photo-oxydation sont possibles. En absence d'oxygène seul le mécanisme 1 est possible. Sans ensoleillement l'oxygène dissous à elle seule à de fortes concentrations n'est pas toxique pour les microorganismes (Curtis *et al*, 1992).

b) Les facteurs biotiques

- Broutage par les protozoaires

La microfaune présente dans les bassins de lagunage se nourrit des microorganismes présents dans les eaux. Cette prédation contribue principalement au processus d'élimination biologique des bactéries d'origine fécal et des virus (Monaye et al, 2002).

- Toxines des algues

De nombreux auteurs ont relevé la contribution de certaines algues à la désinfection microbienne dans les bassins de lagunage grâce à la sécrétion de substances extracellulaire toxique pour les pathogènes. Oufdou et al, (2001) ont rapporté que les cyanobactéries apparaissant dans les bassins de lagunage ont des effets toxiques pour *E coli*, les salmonelles et diverses autres bactéries pathogènes. Cependant, cette assertion ne semble pas faire l'unanimité. Maymard et al (1999) citant d'autres études semblent rejeter la contribution majeure des toxines algales dans la désinfection microbienne dans les bassins de lagunage. Ce phénomène mérite encore d'être élucidé.

Le tableau II donne les principaux facteurs influençant la décontamination bactérienne dans le lagunage à microphytes.

Tableau II: Facteurs influençant la désinfection dans les bassins de lagunage à microphytes

Facteurs	Mécanismes probables	Microorganismes affectés	Bassin (s) ou a lieu le processus
Température	Affecte la cinétique des processus d'élimination	B, V, P, H	A, F, M
Temps de séjour	Affecte l'étendue de l'élimination (durée du fonctionnement)	B, V, P, H	A, F, M
Toxines d'algues	Les sécrétions algales sont toxiques pour certaines bactéries	B	F, M
Sédimentation	Décantation des agents infectieux (œufs, Kystes)	H	A, F, M
	Décantation de complexes particules agents infectieux		
Désinfection biologique	Broutage par les protozoaires	B, V, P	F, M
Radiation solaire	Endommagement de l'ADN par les UV-B	B, V, P	F, M
	photo oxydation	B, P	F, M

1. Microorganismes : B-bactéries, V-virus, P-protozoaires parasites, H-Helminthes
2. Bassins : A-bassin anaérobie, F-bassin facultatif, M-bassin de maturation
3. La majeure partie de l'ADN endommagé par les UV-B est auto réparée et le degré de préjudice causé dépend de la capacité de récupération

Adapté de Davies-Colley, 2005
Source thèse Ynoussa Maiga

2) *Modèles de décontamination bactérienne*

Il existe plusieurs modèles de décontamination bactérienne qui ont été développés. Ces modèles sont basés sur certains des facteurs influençant la décontamination bactérienne cités ci-dessus telles que la température, la radiation solaire et du modèle de comportement hydraulique du bassin. D'après Von Sperling (1999) (cité par Tahina, 2009) si le rapport

$longueur/largeur$ n'excède pas de façon considérable l'unité, le comportement hydraulique le mieux décrit est le mélange parfait sinon c'est le modèle convectif dispersif.

Von Sperling (1999,2002, 2003) propose un modèle basée sur les paramètres géométriques (longueur, largeur et profondeur) des bassins, la température, le temps de rétention hydraulique de l'eau pour un écoulement hydraulique convectif dispersif. Ce modèle est présenté dans l'équation 1.

$$\boldsymbol{N = N_0 \frac{4ae^{\frac{1}{2d}}}{(1+a)^2 e^{\frac{a}{2d}} - (1-a)^2 e^{\frac{-a}{2d}}}} \quad \textbf{(Équation 1)}$$

avec

$$\boldsymbol{a = \sqrt{1 + 4K_{dispersif}\theta d}}$$

$$\mathbf{d} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{L/l}} \quad \textbf{et} \quad \boldsymbol{K_{dispersif} = K_{dispersif\ à\ 20°C}\emptyset^{(T-20)}} \quad \textbf{et}$$

Avec $\boldsymbol{K_{dispersif\ 20°c} = 0.917\ H^{-0.877}\theta^{-0.329}}$ **et** $\boldsymbol{\emptyset = 1,07}$

$N = concentration\ en\ coliformes\ fécaux\ à\ l'entréedu\ bassin/100mL$

$N_0 = concentration\ en\ coliformes\ fecaux\ à\ la\ sortie\ du\ bassin/100mL$

$K_{dispersif} = constante\ d'élimination\ à\ la\ température\ T$

$K_{dispersif\ 20°C} = constante\ d'éliminationà\ 20°C$

$H = hauteur\ du\ bassin, \qquad L: longueur\ du\ bassin, \qquad l = largeur\ du\ bassin$

$\theta = temp\ de\ séjour\ dans\ le\ bassin \qquad T: température\ (°C)$

Marais (1974) a proposé un modèle de la décontamination bactérienne basée sur la température et le temps de séjour de l'eau pour un écoulement de type mélange parfait. Les formules de calcul pour ce modèle sont illustrées dans l'équation 2. Cette équation est une équation du premier ordre.

$$\boldsymbol{N_e = \frac{N_i}{1+K_b \times \theta}}$$ **(Equation 2)**

Avec $\boldsymbol{K_b = K_{20} \times \delta^{T-20}}$

N_e: *concentration du paramètre de contamination fécale de l'effluent / 100mL*

N_i: *concentration du paramètre de contamination fécale de l'inffluent*/100*mL*

K_b *: Constante de 1er ordre pour l'élimination de paramètre de contamination fécale*

K_{20} *: Coefficient cinétique de la dégradation bactérienne à 20°C*

$\theta(jours)$: *temps de séjour dans le bassin de maturation*

δ *un coefficient et* $T(°C)$ *la température*

IV. Performances épuratoires

L'élimination de la pollution bactérienne est un objectif majeur recherché du traitement des eaux usées par lagunage à microphytes destinée à la réutilisation. Un suivi des paramètres indicateurs de pollution bactérienne est nécessaire pour évaluer l'efficacité épuratoire des ouvrages de traitement et de s'assurer de la qualité requise pour une éventuelle réutilisation des eaux usées traitées ou rejet dans la nature. Les contributions dans la décontamination bactérienne évoluent à chaque étage (étage anaérobie moins performant et étage de maturation plus performant). Selon Andrianarison, (2006), les études menées sur la lagune de Mèze (filière de 2 BA en parallèle, 4 BFFC en série et 02 BM en série) ayant un temps de séjour total de 95 jours l'étage de bassins anaérobies contribue faiblement à la désinfection avec des abattements de l'ordre 0,42 u.log pour *Escherichia Coli* et 0,45 u.log pour les entérocoques sur les bassins anaérobies. Par contre l'étage de bassins facultatifs à forte charge joue un rôle important en abattant 1,3 u.log de *Escherichia Coli* et 1,4 u.log d'entérocoques et l'étage de bassin de maturation décontamine plus avec des abattements de 1,49 u.log pour *Escherichia coli* et 1.43 pour les entérocoques.

Au Cameroun, Nya *et al*, (2002) montre par les études menées sur la station d'épuration de Biyem Assi composée de 8 bassins en série (combinaison de bassins à microphytes et de bassins à macrophytes) que le lagunage à microphytes permet un meilleur abattement des germes pathogènes par rapport au lagunage à macrophytes (5,4 contre 4,16 u.log de CF et

4,55 contre 3,78 u.log de SF respectivement pour le lagunage à microphytes et à macrophytes). Au Burkina Faso, Maiga *et al*, (2008) obtient un abattement de la pollution bactérienne de 4,9 u.log pour les coliformes fécaux sur une filière de trois bassins en série de lagunage à microphytes de 2IE. Malgré l'importance de cet abattement et un temps de rétention hydraulique de 18 jours, la concentration des polluants bactériens (5.4 x 10^3 UFC/100mL) reste supérieure à la norme de l'OMS pour une irrigation non restrictive. On enregistre sur le bassin anaérobie des abattements moyens de 0.59 ulog pour les coliformes et de 0.61 ulog pour les *E Coli* pour le lagunage de 2IE et des abattements de 0.73 ulog et 0.74 ulog respectivement pour les coliformes fécaux et pour *E Coli* sur le lagunage de Kossodo (Konaté, 2011). En Columbie, une filière de trois bassins donne des abattements de 4 ulog de *Escherichia Coli* et 1 ulog de streptocoques fécaux sur un temps de séjour de 12 jours. Malgré un abattement élevé en *Escherichia Coli*, les charges résiduelles de l'eau usée traitée restent supérieures aux normes de l'OMS (Madera *et al*, 2002).

La décontamination bactérienne est aussi conditionnée par les variations saisonnières, elle est faible en hivers et élevée en automne (abattements de *Escherichia Coli* et d'entérocoques de 5,95 u.log et 5,38 u.log en hivers contre des abattements de 7,11 u.log et 6,73 ulog en automne (Andrianarison, 2006).

V. Risques sanitaires liés à la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture

La réutilisation des Eaux Usées Traitées (EUT) en agriculture présentent des risques sanitaires si leur qualité bactérienne et chimique est non conforme aux réglementations. Blumenthal *et al*, (2000) préconise la désinfection de l'EUT afin de répondre aux normes de l'OMS (1989). Les agents bactériens et pathologiques peuvent causer des maladies telles que le choléra, la fièvre typhoïde ou les maladies diarrhéiques et hépatites virales (Sou, 2009). Les polluants chimiques quant à eux agissent sur le long terme à travers la consommation de produits agricoles contaminés de ces polluants. Certaines de ces substances sont mutagènes et cancérigènes (Alem et Malick, 2003). Pour pallier aux conséquences sanitaires engendrées par l'utilisation des EUT en agriculture, il convient de s'assurer surtout d'une meilleure désinfection des eaux et adapté la réutilisation des eaux usées traitées en fonction de la qualité des eaux usées traitées.

DEUXIEME PARTIE : MATERIELS ET METHODES

I. Le site de l'étude

1) *Localisation géographique de la STEP de Kossodo*

La station d'épuration construite en 2004 est située à Kossodo, (figure 2), secteur 20 de Ouagadougou (capitale du Burkina Faso) en aval de la Zone industrielle. La station d'epuration est à 1,1 km de la route nationale 3 (axe Ouagadougou-Kaya).

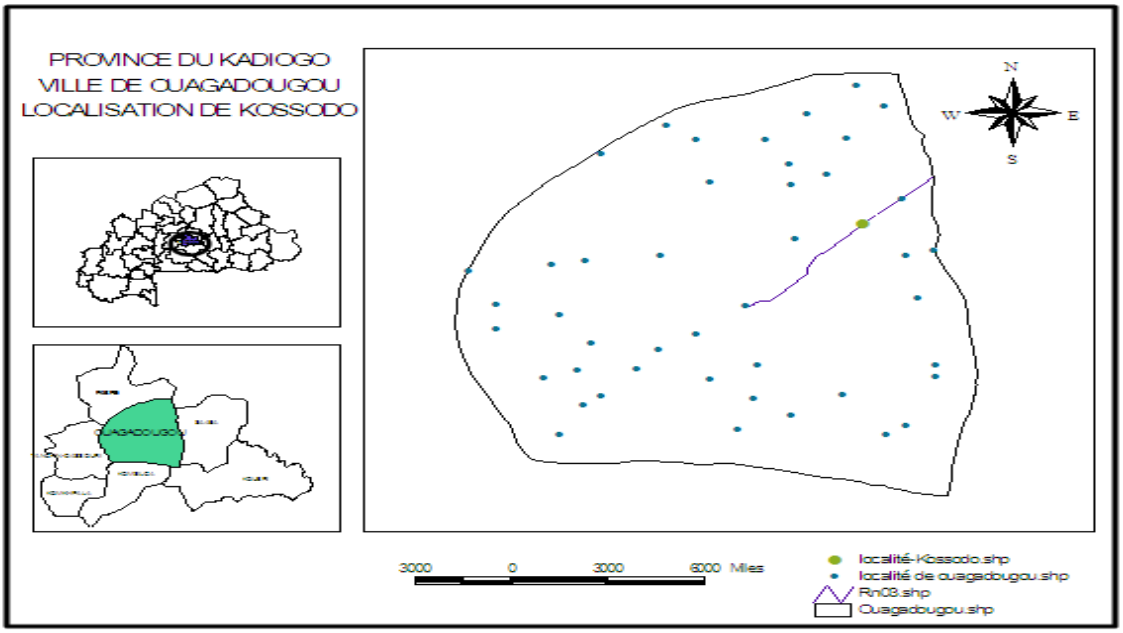


Figure 2: Localisation de Kossodo

2) *Caractéristiques de la station d'épuration.*

La STEP de Kossodo s'étend sur une superficie de 10 ha et 11 ha sont aménagés pour l'irrigation en aval. Elle comprend les ouvrages suivants (figure 3) :

- un premier étage de trois bassins anaérobies en parallèle dont deux sont fonctionnels ;
- un deuxième étage de deux bassins facultatifs en parallèle dont un est fonctionnel ;
- un troisième étage de trois bassins de maturation en série ;
- une canalisation de rejet ;
- les ouvrages de séchage de boues ;
- les installations annexes dont les bâtiments administratifs, des latrines, un laboratoire.

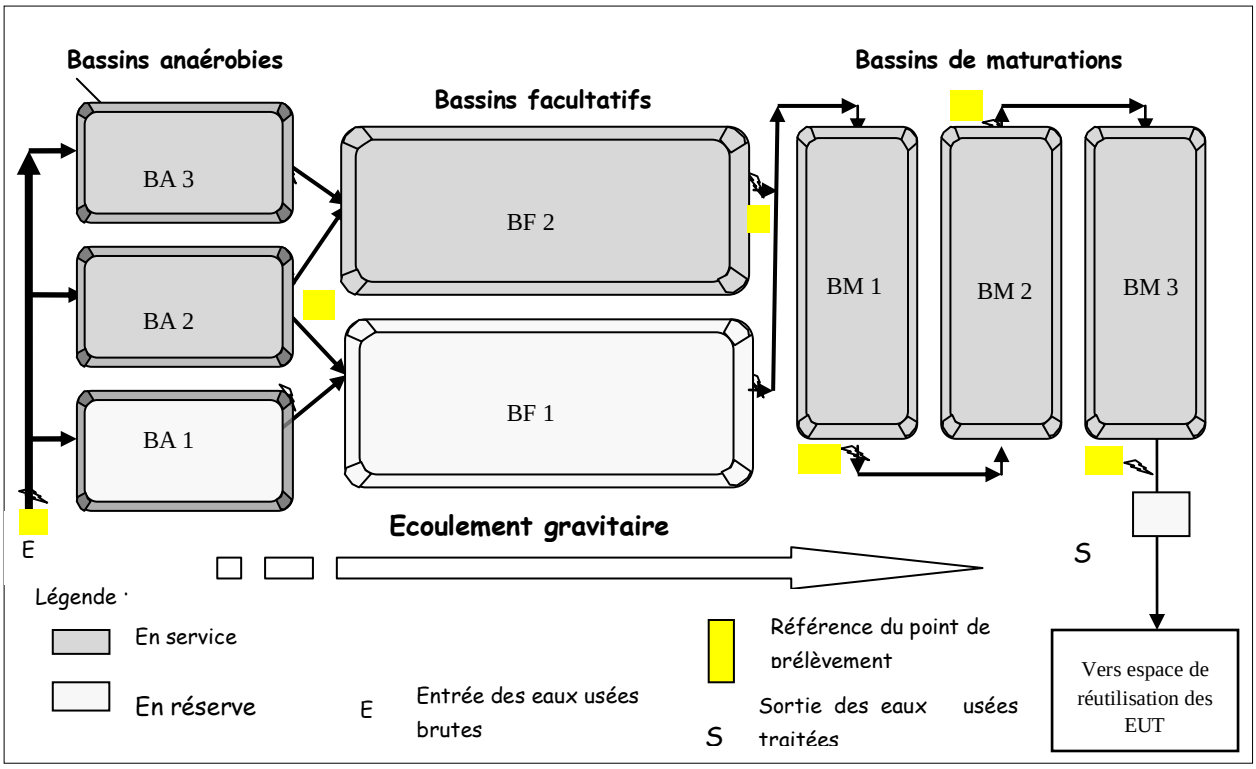


Figure 3: Représentation schématique du lagunage de Kossodo

Les caractéristiques géométriques des ouvrages de traitements sont présentées dans le tableau III.

Tableau III: Caractéristiques géométriques des ouvrages de traitements de la STEP de Kossodo

Désignations	Dimensions (L x l)		Profondeur		Volume (m3)	
	Fond	crête	Bassin	Eau	Bassin	Eau
Bassins anaérobies	88,50mx19m	108mx37,80m	4,70m	4,00m		18 600
Bassins facultatifs	287,50mx94m	298,50X107m	2,50m	1,80m		103 000
Bassin de maturation 1	202mx62m	217mx74,5m	2,7m	1,20m		27 000
Bassin de maturation 2	142mx42m	156,5mx54,5m	2,7m	1,20m		6 850
Bassin de maturation 3	142mx42m	155mx54m	2,7m	1,20m		6 850
Lits de séchage	3,80mx25m	3,80mx25m	0,70m	0,40m	66,50	38,00

Source : extrait de l'APD du PSAO (2001)

Les temps de séjour des eaux dans les bassins obtenus à l'ONEA sont les suivants : 03 jours pour les bassins anaérobies, 16 jours pour les bassins facultatifs, 05 jours pour le bassin de

maturation 1, 03 jours pour le bassin de maturation 2 et 03 jours pour le bassin de maturation 3.

A l'exutoire du bassin de maturation 3, les eaux usées traitées sont collectées vers un canal d'irrigation à ciel ouvert de section rectangulaire bétonné muni de prise équipées de vannettes. Le canal se jette au bout de réseau sur un marigot naturel.

Le transport des eaux usées jusqu'à la station d'épuration est assurée par deux (02) stations de relevage (SP1, SP4) et une station de pompage SP5. Le réseau de collecte des eaux est composé de deux parties : le réseau primaire et le réseau secondaire. Le réseau secondaire comprend le réseau allant du regard de branchement des parcelles au réseau primaire, ce réseau comporte des tronçons à écoulement gravitaire. Le réseau primaire reçoit toutes les eaux usées collectées par le réseau secondaire. Et comporte des tronçons à écoulement gravitaire et à écoulement en refoulement.

La station d'épuration de Kossodo a une capacité de traitement estimée à 140 000 équivalents habitants, avec un volume total d'environ 180 000 m^3. La phase 1 prévoit un débit entrant journalier de 5400m^3/jour (PSAO, 2001).

3) Caractéristiques et composition des eaux usées brutes de la STEP

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 Ouédraogo, de la Brasserie BRAKINA et de l'abattoir frigorifique de Ouagadougou. Les eaux usées provenant de la BRAKINA et de l'abattoir subissent des prétraitements avant d'être rejetées au réseau d'égout. Les charges organiques des eaux usées de l'abattoir sont de 1650.2 mg DBO_5/L et celles de la BRAKINA est de 1507.8 mg DBO_5/L Ces prétraitements visent à diminuer la charge de matière organique et aussi bactérienne pour les eaux de l'abattoir. Les systèmes de prétraitement mis en place sont :

- A l'abattoir : un système de dégrillage suivie d'un bassin de décantation statique et un lagunage composé de trois (03) bassins anaérobies ;
- A la BRAKINA : on a un bassin d'homogénéisation, un système de dégrillage et un bassin de décantation.

II. Méthodologie générale de l'étude

La méthodologie adaptée pour cette étude est composée de trois parties (figure 4) : une phase préparatoire, une phase d'acquisition et de traitement de données, phase d'analyse des données et de rédaction du mémoire.

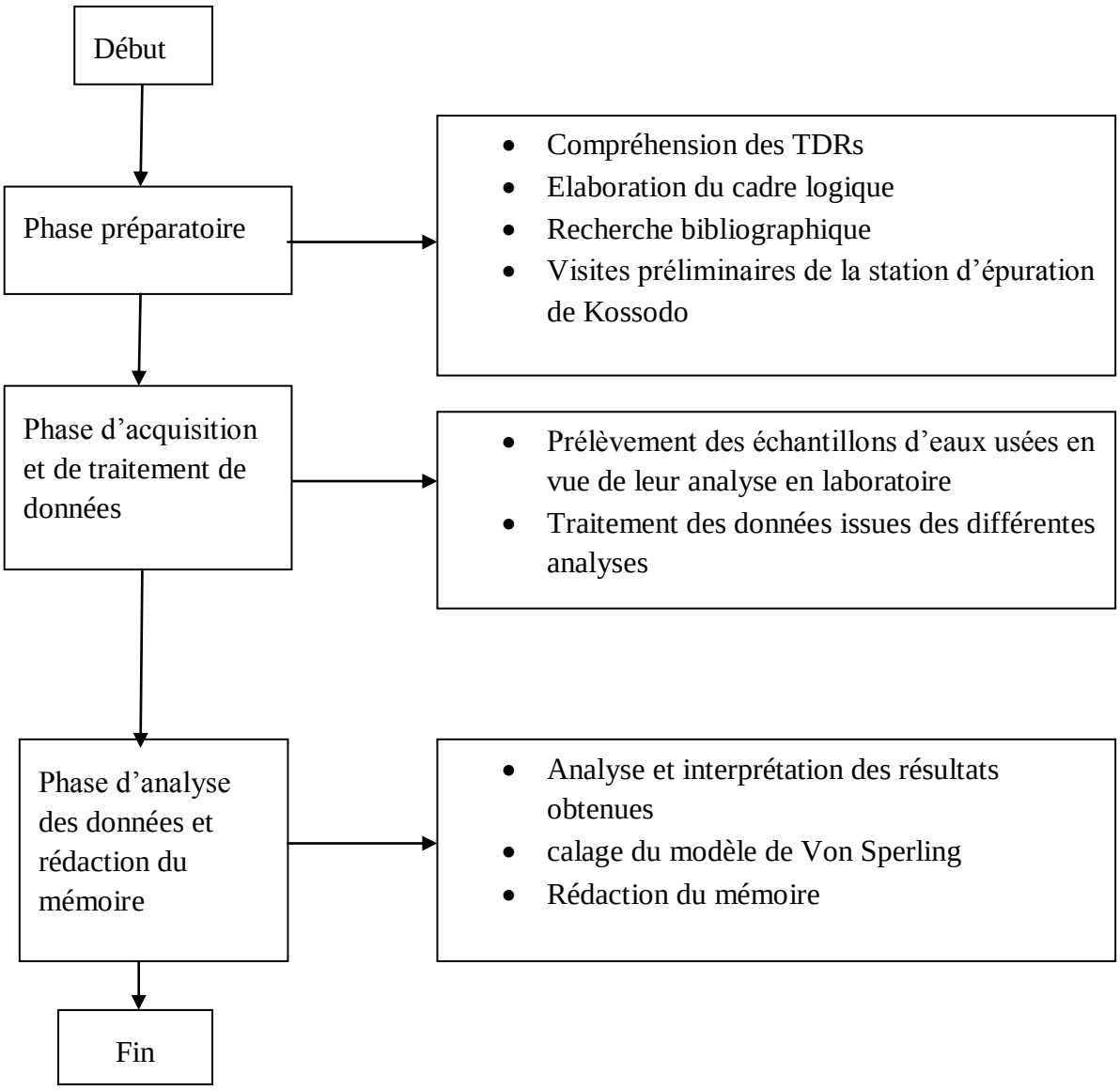


Figure 4: Méthodologie générale de travail

III. Méthodologie d'échantillonnages et d'analyses

1) *Méthode d'échantillonnage*

L'échantillonnage adopté est l'échantillonnage composite pour l'eau brute et l'échantillonnage ponctuel dans les autres points de prélèvements. Les prélèvements des échantillons se sont étalés sur 02 mois (25 Février au 26 Avril) et ont été effectués 03 fois par semaine avec l'échantillonneur composite de type ISCO (figure 5). Les échantillons ont été

prélevés à l'entrée et à la sortie de chaque bassin avec des flacons en verre de 01 litre et dans des flacons en plastique de 1litre pour la mesure des paramètres physico-chimiques. Les jours de prélèvement de la semaine ont été alternés.

Figure 5: échantillonneur composite

2) *Méthodes d'analyses*

a. *Paramètres physico chimiques*

Les paramètres physico chimiques mesurés sont la température, le potentiel d'hydrogène ou pH, la conductivité et l'oxygène dissous. Ces paramètres ont été déterminés sur le terrain avec les méthodes présentées sur le tableau IV.

Tableau IV: Méthodes d'analyses des paramètres physico-chimiques et microbiologiques

Paramètres	Unité	Méthode
pH	-	AFNOR 90-008
Température	°C	AFNOR 90-008
Conductivité	µs/cm	AFNOR T 90-031
Oxygène dissous	(mg/L)	Utilisation de l'oxymètre
Entérocoques	(ufc/100mL)	Etalement sur gélose spécifique Chromocult enterokokkus Agar pour entérocoques
Coliformes Fécaux	(ufc/100mL)	Etalement sur gélose spécifique Chromocult Agar ES pour coliformes
Escherichia coli	(ufc/100mL)	Etalement sur gélose spécifique Chromocult Agar ES pour coliformes

Pour effectuer la mesure d'un paramètre physico chimique, la sonde de l'appareil est plongée dans le flacon de 1litre contenant l'eau usée et la valeur du paramètre est lue sur l'écran de l'appareil (figure 6).

Figure 6: Mesure des paramètres physicochimiques

b. Les indicateurs de contamination fécale

L'énumération des paramètres indicateurs de contamination fécale (coliformes fécaux dont *Escherichia Coli* et les entérocoques fécaux) a été effectuée par la méthode d'étalement à surface sur milieu nutritif. Pour cette méthode après homogénéisation de l'eau à analyser, une série de dilution au dixième a été effectuée avec de la solution de RINGER et 0.1 ml de chaque dilution est ensemencé sur les boites de Pétri de diamètre 90 mm contenant le milieu spécifique pour chaque microorganisme préalablement coulé sur une boite de pétri. Ces boites sont ensuite incubées à l'étuve à une température favorable au développement des microorganismes.

- **Coliformes fécaux**

Les coliformes fécaux et *Escherichia Coli* ont été incubés sur le milieu de culture ***Chromocult coliform Agar ES à 44,5°C*** pendant 18 à 24h. Les coliformes fécaux donnent des colonies roses, *E Coli* donnent des colonies bleu ou bleu violacé comme le montre la **figure 7**

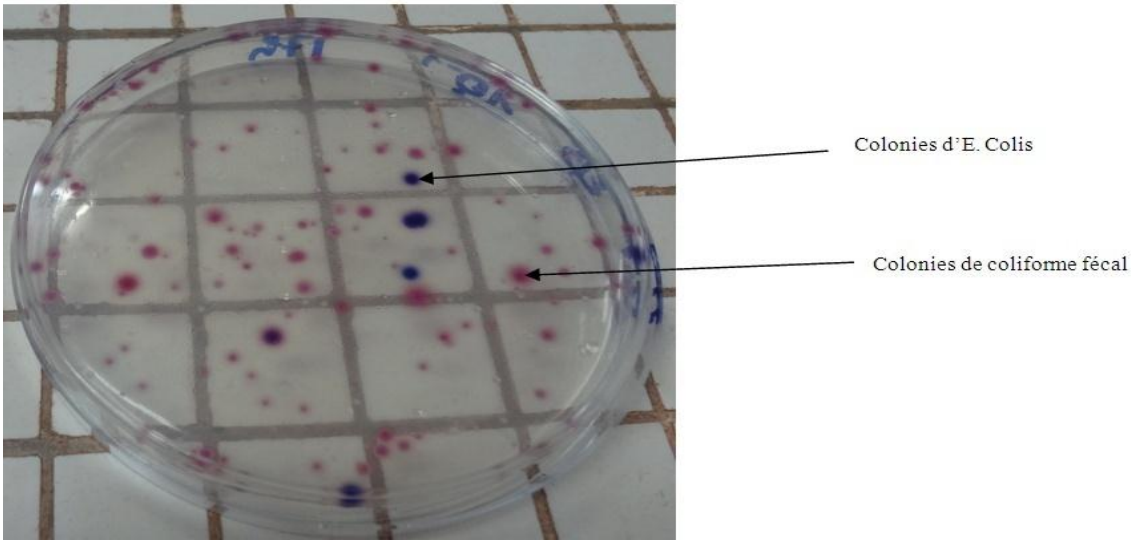


Figure 7: Boites de pétri contenant des colonies de coliformes fécaux et *Escherichia Coli*

- **Entérocoques fécaux**

Les entérocoques fécaux ont été cultivés sur le ***chromocult enterokokkus Agar à 37 °C*** pendant 24 à 48 h**.** ils donnent des colonies rouges comme le montre la **figure 8**.

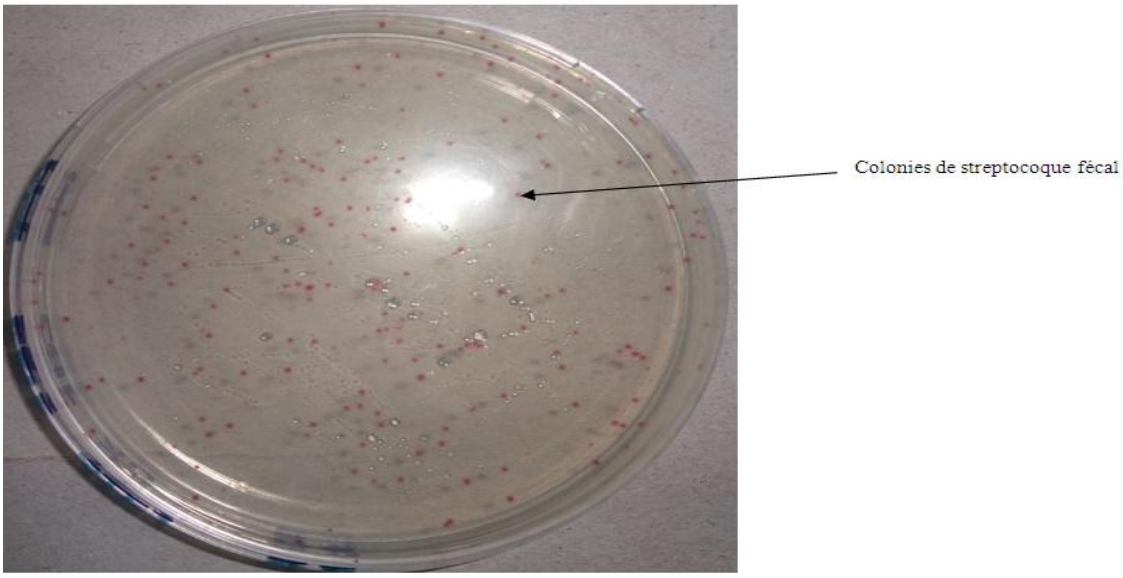


Figure 8: Boite de pétri contenant des colonies de enterocoques fécaux

IV. Méthodologie de calcul

Les résultats des analyses nous permettront de calculer les rendements épuratoires et abattements bactériens pour chaque bassin et pour l'ensemble de la filière de traitement. Les formules de calculs du rendement d'élimination et d'abattement intrinsèque de chaque bassin sont mentionnées ci-dessous :

$$\text{Rendement} \quad R(\%) = \frac{\text{valeur paramètre entrée} - \text{valeur paramètre sortie}}{\text{valeur paramètre entrée}} \times 100$$

$$\text{Abattement en Ulog} \quad A = -\log_{10}(1 - \frac{R}{100})$$

TROISIEME PARTIE : RESULTATS

I. Résultats

Les caractéristiques physico-chimiques et microbiennes de l'eau de la STEP sont présentées dans le tableau V, VI, VII ci-dessous. Les résultats des analyses sont présentés en Annexe 2 et 3.

Tableau V: Caractéristiques des eaux usées brutes

	Eau brute			
Paramètres	**Moyenne**	**Intervalle**	**Ecart type**	**Nombre d'échantillons**
Température (°C)	**32,92**	26,23 - 37,6	2,98	17
pH	**8,76**	5,4 - 11,5	1,74	17
Oxygène dissous (mg/L)	**1,56**	0,387 - 2,621	0,71	17
Conductivité (µS/cm)	**2664,34**	554,0 - 14520,33	3975,76	17
CF (ufc/100mL)	**4,45E+08**	4,10E+06 - 2,12E+09	5,13E+08	17
***E Coli* (ufc/100mL)**	**4,38E+07**	2,98E+05 - 2,70E+08	7,79E+07	17
Entérocoques fécaux (ufc/100mL)	**2,53E+08**	1,53E+06 - 2,68E+09	5,99E+08	17

Tableau VI: Caractéristiques des eaux dans les bassins anaérobie, facultatif, de maturations

Bassins	paramètres	T °C	CE µS/cm	OD mg/L	pH	CF ufc/100mL	*Escherichia coli* ufc/100mL	Entérocoques fécaux ufc/100mL
BA	***moyenne***	**30,31**	**1744,50**	**2,78**	**6,66**	**1,93E+07**	**4,09E+05**	**1,61E+06**
	minimum	27,00	1436,00	0,94	5,76	4,00E+05	2,50E+04	1,55E+04
	maximum	36,10	2110,00	6,82	8,95	1,35E+08	1,65E+06	9,95E+06
BF	***moyenne***	**30,14**	**1712,19**	**2,72**	**8,26**	**9,71E+05**	**1,13E+05**	**4,20E+04**
	minimum	26,50	1436,00	0,26	6,30	2,75E+04	7,00E+03	1,00E+03
	maximum	36,10	1948,00	6,82	10,09	4,97E+06	1,00E+06	3,25E+05
BM1	***moyenne***	**29,55**	**1758,27**	**1,57**	**8,25**	**1,55E+05**	**1,99E+04**	**1,22E+04**
	minimum	27,40	1634,00	0,27	7,79	1,00E+04	5,50E+03	1,00E+03
	maximum	33,20	1867,00	3,60	8,60	7,80E+05	5,00E+04	5,00E+04
BM2	***moyenne***	**30,04**	**1800,45**	**1,32**	**8,22**	**9,72E+03**	**3,90E+03**	**2,43E+03**
	minimum	27,50	1704,00	0,20	6,47	4,00E+03	3,00E+03	1,00E+03
	maximum	34,40	1875,00	2,47	9,35	1,93E+04	6,50E+03	8,00E+03

Tableau VII: Caractéristiques des eaux usées traitées

	Eau usée traitée			
Paramètres	**Moyenne**	**Intervalle**	**Ecart type**	**Nombre d'échantillons**
Température (°C)	**29,32**	26,2 - 33,70	2,01	17
pH	**9,07**	7,88 – 11,22	0,96	17
Oxygène dissous (mg/L)	**2,16**	0,14 – 11,52	1,47	17
Conductivité (µS/cm)	**1902,53**	1762 - 2030	237,28	17
CF (ufc/100ml)	**5,70E+03**	5,00E+03 - 4,20E+04	1,12E+04	17
***Escherichia Coli* (ufc/100m)**	**3,00E+03**	1,00E+03 - 1,00E+04	1,76E+03	17
Entérocoques (ufc/100ml)	**6,83E+03**	1,00E+03 - 1,45E+05	3,22E+04	17

- **Variation de la température**

La température moyenne est dans une gamme de valeur comprise entre 29,32°C et 32,92°C. Elle atteint également une valeur maximum de 37.6 °C enregistrée dans le bassin anaérobie et une valeur minimale de 26,2°C enregistrée dans le bassin de maturation 3.

- **Variation de la conductivité**

Les eaux brutes de la STEP de Kossodo présentent des conductivités élevées avec des valeurs maximales pouvant atteindre 14 520 µS/cm, une valeur moyenne de 2664.34µS/cm. Les eaux sortantes des bassins de lagunage présentent des conductivités assez élevées avec des valeurs supérieures à 1436 µS/cm.

- **Variation de l'oxygène dissous**

L'oxygène dissous mesurée dans les bassins montre que les eaux dans les bassins sont oxygénées. La teneur moyenne en oxygène dissous des eaux brutes est de 1,56 mg/L et est comprise entre 0,39 mg/L et 2,62 mg/L. La teneur maximale en oxygène dissous 11,52 mg/L a été enregistrée au niveau du bassin de maturation 3.

- **Variation du potentiel d'hydrogène (pH)**

Le pH de l'eau brute et de l'eau sortante du bassin facultatif et des bassins de maturation est globalement basique avec des valeurs moyennes supérieures à 8,20. L'eau à la sortie du bassin anaérobie se situe dans une gamme de valeur de 5,76 et 8,95 avec une moyenne de 6,66. Cette eau est globalement neutre. La figure 9 présente la variation des valeurs de pH dans les différents bassins de lagunage de la STEP de Kossodo.

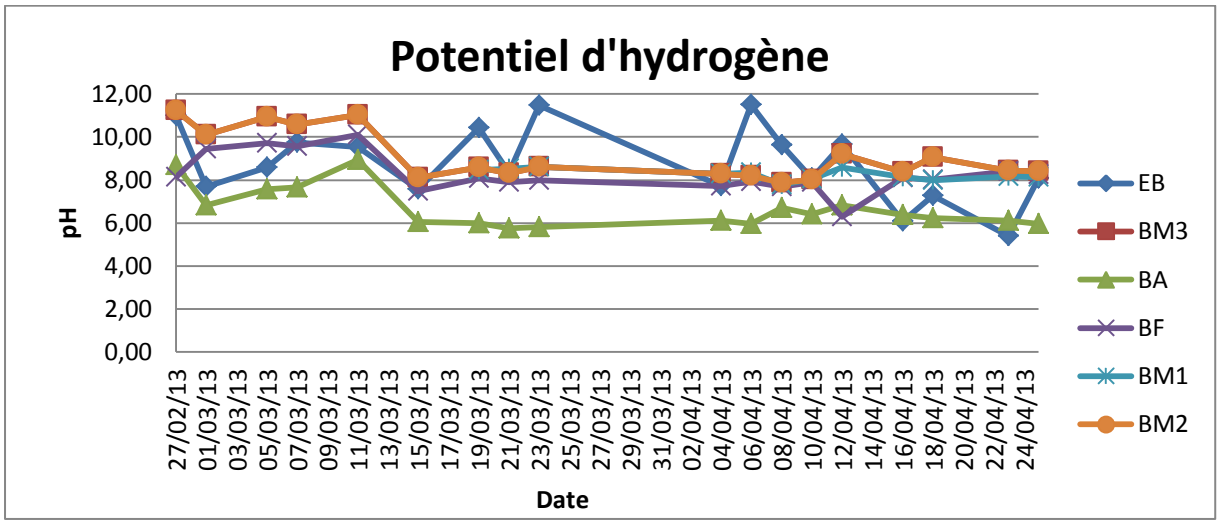


Figure 9: Variation du pH

- **Evaluation des coliformes fécaux**

Le dénombrement des coliformes fécaux dans les eaux usées brutes donne des concentrations variant de $4{,}1.10^6$ à $2{,}12.10^9$ colonies pour 100mL d'eau usée avec une moyenne de $4{,}45.\ 10^8$ ufc/100mL. Le dénombrement des coliformes fécaux dans les eaux sortantes des bassins anaérobie, facultatif, maturation 1 et maturation 2 donne des charges moyennes respectives en coliformes fécaux de $1{,}93.10^7$ ufc/100mL, $9{,}71.10^5$ ufc/100mL, $1{,}55.10^5$ ufc/100mL et $9{,}72.10^3$ ufc/100mL. Les charges en coliformes des eaux usées traitées obtenue à la sortie du bassin de maturation 3 se situent dans une gamme de valeur de $5{,}0.10^3$ et $4{,}2.10^4$ unités formats colonies pour 100mL d'eau usée traitée avec une valeur moyenne de $5{,}7.10^3$ ufc/100mL. La figure 10 illustre la variation des concentrations de coliformes fécaux dans les bassins

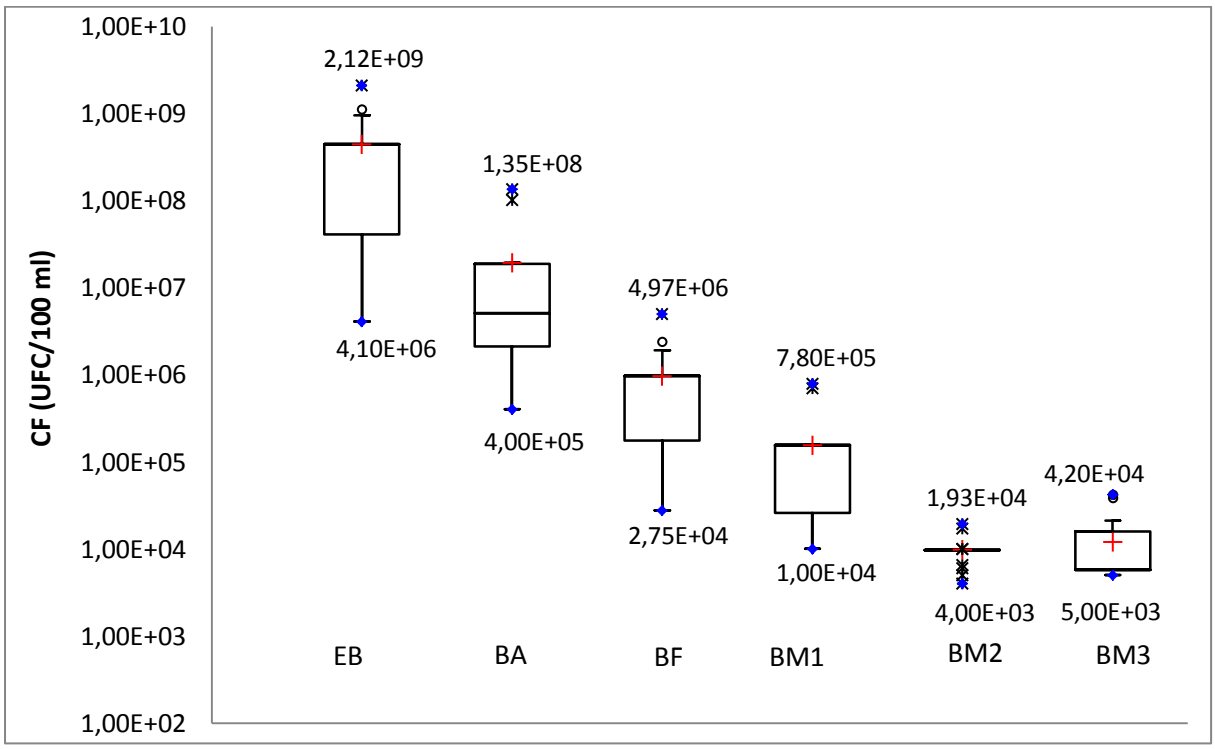


Figure 10: Variation du nombre de coliformes fécaux dans l'eau brute et les effluents de sortie de chaque bassin

- **Dénombrement des *Escherichia Coli***

Le dénombrement spécifique d'*Escherichia Coli* dans les influents bruts donne des charges en *Escherichia Coli* comprises entre $2{,}98.10^5$ et $2{,}70.10^8$ colonies pour 100mL d'eau usée avec une moyenne de $4{,}38.\ 10^7$ ufc/100mL. Les charges d'*Escherichia Coli* dans les eaux sortantes des bassins anaérobie, facultatif, maturation 1 et maturation 2 sont respectivement de $4{,}09.10^5$ ufc/100mL, $1{,}13.10^5$ ufc/100mL, $1{,}99.10^4$ ufc/100mL et $3.9.10^3$ ufc/100mL. Les charges en *Escherichia Coli* des eaux usées traitées obtenue à la sortie du bassin de maturation 3 se situent dans une gamme de valeur de 10^3 et 10^4 unités formats colonies pour 100mL d'eau usée traitée avec une valeur moyenne de 3.10^3 ufc/100mL. La figure 11 illustre la variation des concentrations des *Escherichia Coli* dans l'influent brut et des effluents de sortie de chaque bassin

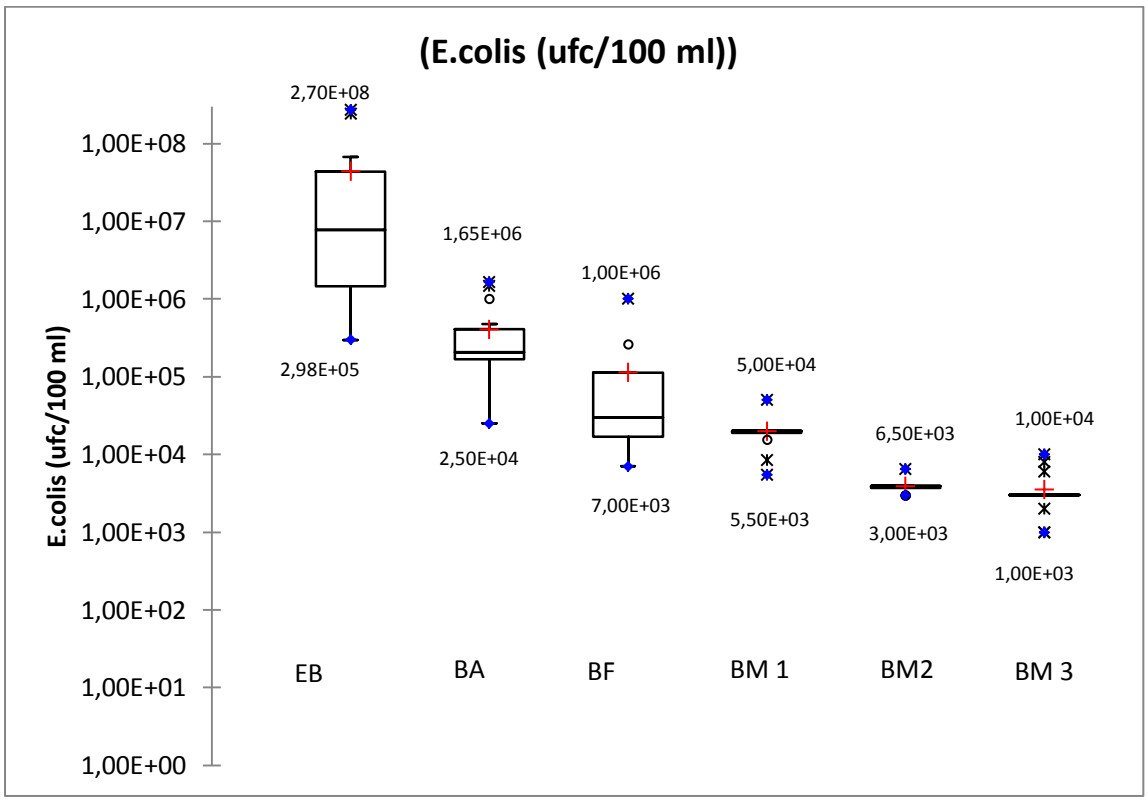


Figure 11: Variation du nombre d'*Escherichia Coli* de l'influent brut et dans l'effluent de sortie de chaque bassin

- **Dénombrement des entérocoques**

Le dénombrement des entérocoques dans les eaux usées brutes donne une variation de $1{,}53.10^6$ et $2{,}68.10^9$ unités format colonies pour 100 mL avec une moyenne de $2.53.\ 10^8$ ufc/100mL. Le dénombrement des Entérocoques dans les eaux sortantes des bassins anaérobie, facultatif, maturation 1 et maturation 2 donne des charges moyennes respectives en Entérocoques de $1{,}61.10^6$ ufc/100mL, $4{,}20.10^4$ ufc/100mL, $1{,}22.10^4$ ufc/100mL et $2{,}43.10^3$ ufc/100mL. Les charges en Entérocoques des eaux usées traitées obtenue à la sortie du bassin de maturation 3 se situent dans une gamme de valeur de 10^3 et $1{,}45.10^5$ unités formats colonies pour 100mL d'eau usée traitée avec une valeur moyenne de $6{,}83.10^3$ ufc/100mL. La figure 12 illustre la variation des concentrations des entérocoques dans les bassins

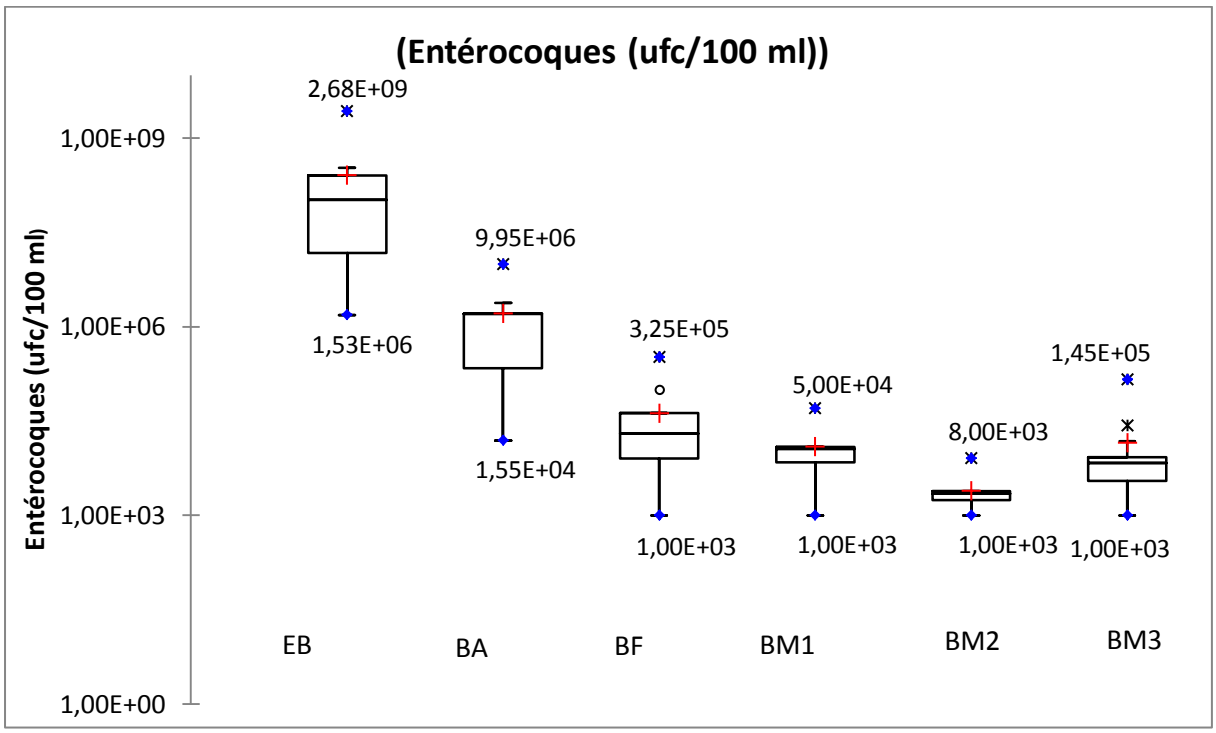


Figure 12: Variation du nombre d'entérocoques dans l'influent brut et les effluents de sortie de chaque bassin

- **Les performances épuratoires**

Les rendements épuratoires moyens observés dépassent 99,80 %. On a enregistré au cours de l'étude des valeurs élevées d'abattements globaux avec des moyennes de coliformes fécaux, *Escherichia Coli*, entérocoques respectivement de 4,893 ulog, 4,164 ulog et 4,569 ulog (Tableau VIII). Les valeurs maximums d'abattement des bactéries ont été enregistrées en Avril. Les variations des abattements dans les bassins obtenues lors de cette étude sont présentées dans les figures 13, 14 et 15.

Tableau VIII: Performances épuratoires bactériologiques de la STEP de Kossodo

Paramètre	Moy entrée	Moy sortie	rendement %	Abattement ulog	Nombre d'échantillon
CF ufc/100ml	4,45E+08	5,70E+03	99,9987	4,893	17
***Escherichia Coli* ufc/100mL**	4,38E+07	3,00E+03	99,9931	4 ,164	17
Entérocoques Fécaux ufc/100mL	2,53E+08	6,83E+03	99,9973	4,569	17

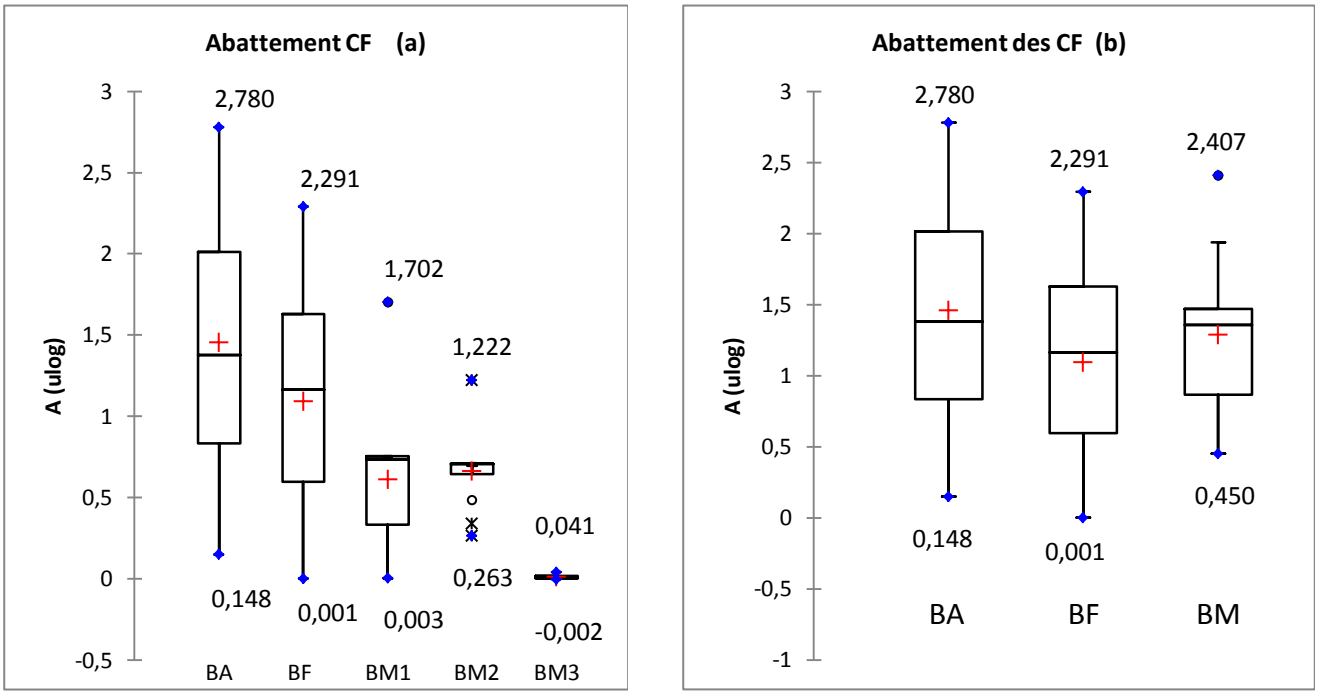


Figure 13: Abattement des coliformes fécaux dans les bassins

(a) Abattement dans chaque bassin
(b) abattement dans les bassins anaérobie, facultatif et l'ensemble des bassins de maturation

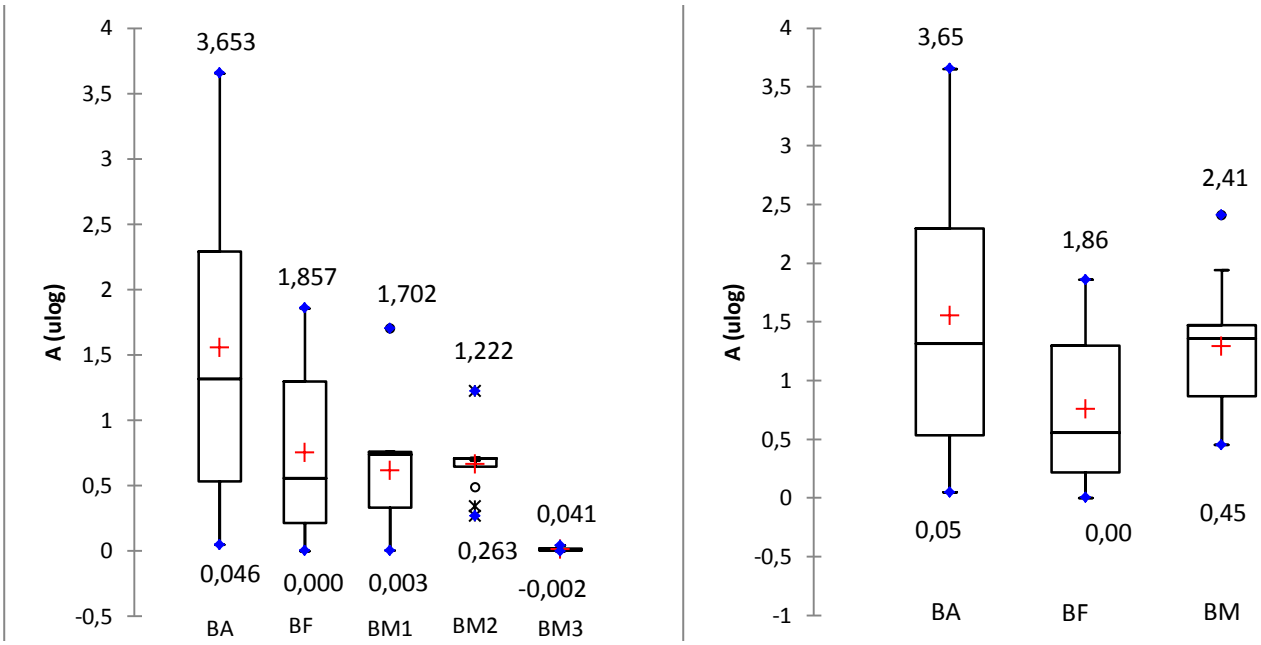


Figure 14: abattement des *Escherichia coli* dans les bassins

(a) Abattement dans chaque bassin
(b) abattement dans les bassins anaérobie, facultatif et l'ensemble des bassins de maturation

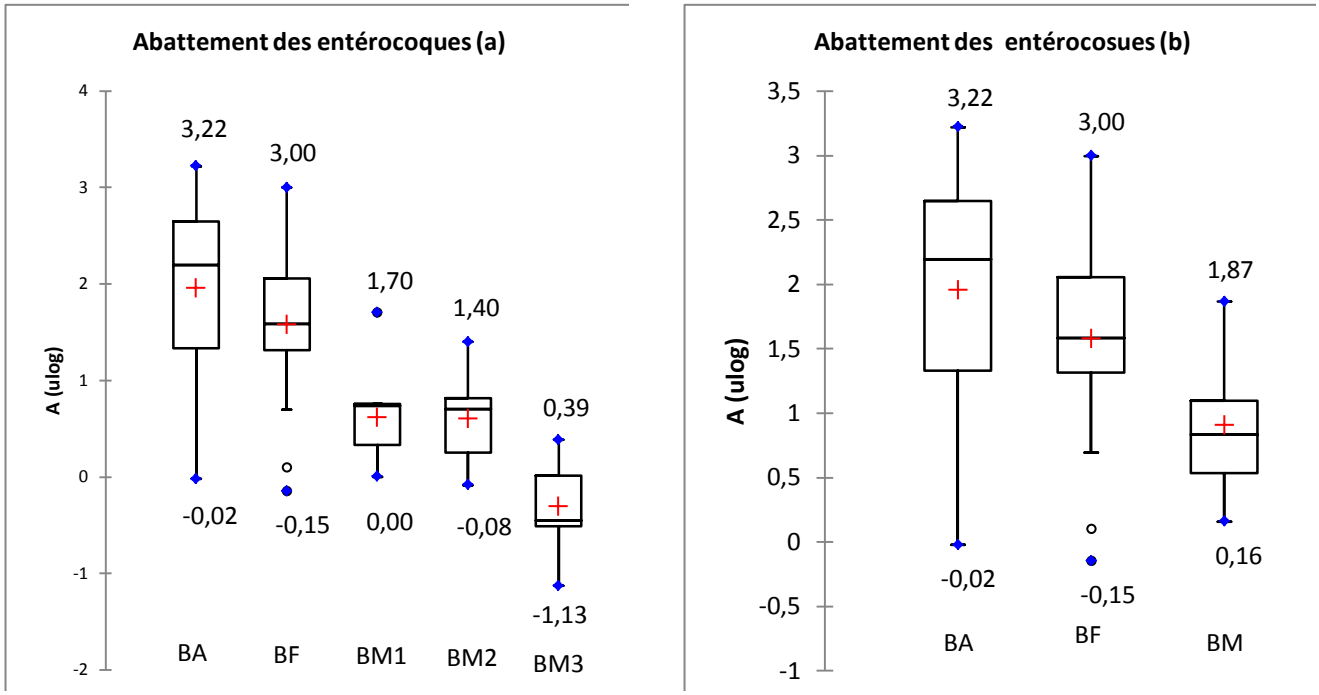


Figure 15: Abattement des entérocoques dans les bassins de lagunage

(a) Abattement dans chaque bassin
(b) abattement dans les bassins anaérobie, facultatif et l'ensemble des bassins de maturation

II. Modélisation de la décontamination bactérienne : modèle de Von Sperling (1999, 2002, 2003)

Lorsqu'on considère l'écoulement de l'eau comme un écoulement convectif dispersif, la vitesse d'élimination des microorganismes dans les bassins varie de 0.3 j^{-1} à 1.44 j^{-1}. Le bassin de maturation 2 enregistre la vitesse d'élimination des microorganismes maximale alors que la valeur minimum de vitesse est obtenue dans le bassin anaérobie. Le tableau IX montre les valeurs des coefficients de Von Sperling dans les différents bassins. Les détails de calculs sont présentés en annexe 7.

Tableau IX: Valeurs des coefficients de Von Sperling obtenues dans les différents bassins

K_{dT}	Moyenne (j^{-1})	Minimum (j^{-1})	Maximum (j^{-1})
BA	0,38	**0,30**	0,56
BF	0,43	0,34	0,55
BM1	0,88	0,76	1,12
BM2	1,08	0,90	**1,44**
BM3	1,07	0,90	1,38

BA : bassin anaérobie**, BF :** bassin facultatif**, BM1 :** bassin de maturation1**, BM2 :** bassin de maturation2**, BM3 :** bassin de maturation 3

QUATRIEME PARTIE : DISCUSSION ET ANALYSE

I. Paramètres physico chimiques

Les eaux usées traitées de la STEP présentent des valeurs de conductivités comprises entre 1762 et 2030 µS/cm avec une moyenne de 1902,53 µS/cm, cela montre que les EUT sont fortement minéralisées. L'utilisation de ces eaux en irrigation peut entrainer la manifestation des problèmes de salinisation légers à modérées des sols car ces conductivités sont comprises entre 750 et 3000 µS/cm (FAO, 2003 cité par SOU, 2009). Ces valeurs sont en conformité avec celles trouvées par Sou, (2009) sur les eaux usées traitées de la STEP de Kossodo avec une valeur de conductivité moyenne de 1600 µS/cm.

La teneur en oxygène dissous de l'eau usée traitée d'une valeur de 2.16 mg /L est en conformité avec l'étude menée par Fagrouch *et al*, (2010) dans la filière de traitement des eaux usées de la ville de Taourirt en climat aride.

Le Ph moyen initialement basique de l'eau (8.76) augmentent à la maturation pour atteindre 9.07. Les valeurs de pH légèrement basique de l'eau brute peuvent influencer le fonctionnement du bassin anaérobie et notamment la méthanogénèse dont l'optimum se situe autour de la neutralité et ne favorise pas la croissance des microorganismes responsables de la dégradation biologique des polluants organiques de la STEP. L'augmentation du pH à la maturation est due à l'activité photosynthétique des algues dans les bassins de maturation et est favorable à l'élimination microbienne. Le pH de l'eau usée traitée compris entre 7,88 et 11,22 respectent à 72% des résultats les normes de rejets de l'eau usée dans les eaux de surfaces au Burkina (6,4 à 10,5).

Les valeurs de température de l'eau usée traitée comprise entre 26,2 et 33,7°C respectent les normes de rejets de l'eau usée dans les eaux de surface car elles sont comprises entre 18 et 40°C.

II. Paramètres de contamination fécale

Les résultats des analyses montrent que les charges bactériennes de l'eau brute fluctuent beaucoup. Les charges bactériennes en Coliformes fécaux sont du même ordre que celles obtenue par Marluce *et al*, (1994) au Brésil. Le rapport CF/SF égal à 1.76 permet d'affirmer que la pollution microbienne de l'eau brute est d'origine mixte (tableau X). Dans les bassins,

il y'a une diminution en concentration des bactéries de l'amont en aval du traitement. Les teneurs résiduelles en charge microbienne dans l'EUT sont toutes supérieures à 10^3ufc/100mL. Cette eau ne respecte pas les normes de l'OMS (1989) pour la réutilisation de l'eau dans l'irrigation non restrictive malgré un temps de rétention hydraulique totale de 30 jours. Les teneurs des EUT en coliformes fécaux et en entérocoques sont toutes inférieures aux charges résiduelles obtenues dans une filière de trois bassins en Colombie pour un temps de séjour de 12 jours (Madera *et al*, 2002). Le rapport CF/SF donne une valeur de 0,83 et montre qu'il y'a pollution extérieure de l'eau par des animaux (tableau X). Il y'a la présence effective d'oiseaux autour des bassins de la STEP qui contamine l'eau par leur fiente.

Tableau X: Type de pollution en fonction des classes des rapports CF/SF

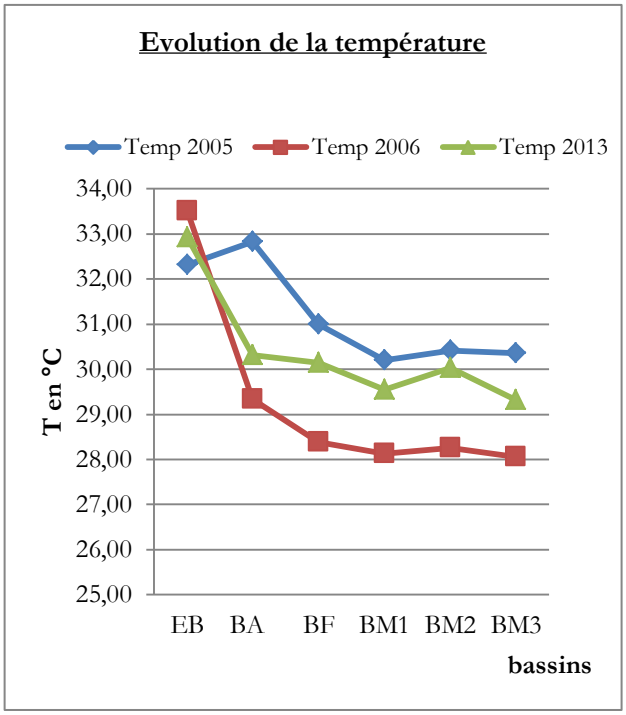
Auteurs	Classes	Type de pollution
Geldreich (1976)	CF/SF > 4	Pollution d'origine humaine
	0,1 < CF/SF < 0,6	Pollution due aux animaux domestiques
	CF / SF < 0,1	Pollution due aux animaux sauvages
Doran et Linn (1990)	0.7 < CF/SF <4	Possibilités d'élevage des animaux autour du site de prélèvement
Anonyme (1985)	2 < CF/ SF <4	Pollution mixte à prédominance humaine
	0.7 < CF/SF <1	Pollution mixte à prédominance animale
	1 < CF/SF <2	Pollution mixte

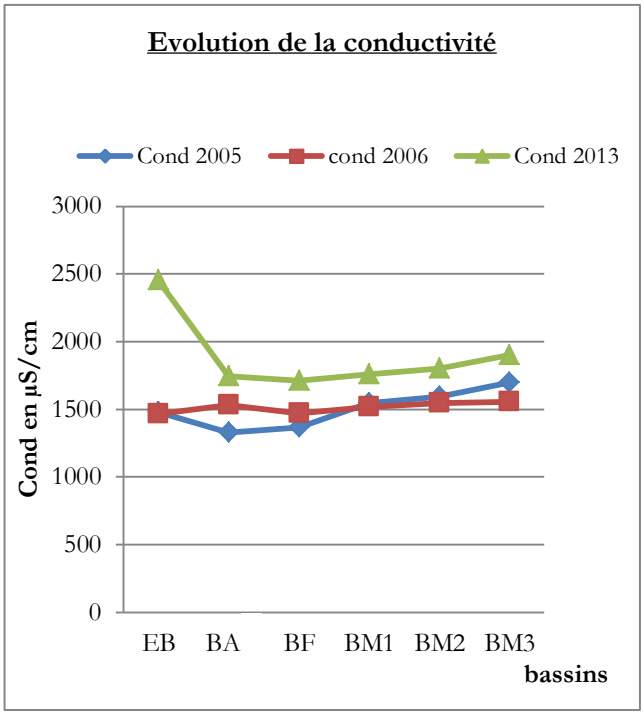
Source : rapport final 2003 du GEVEU, Yaoundé

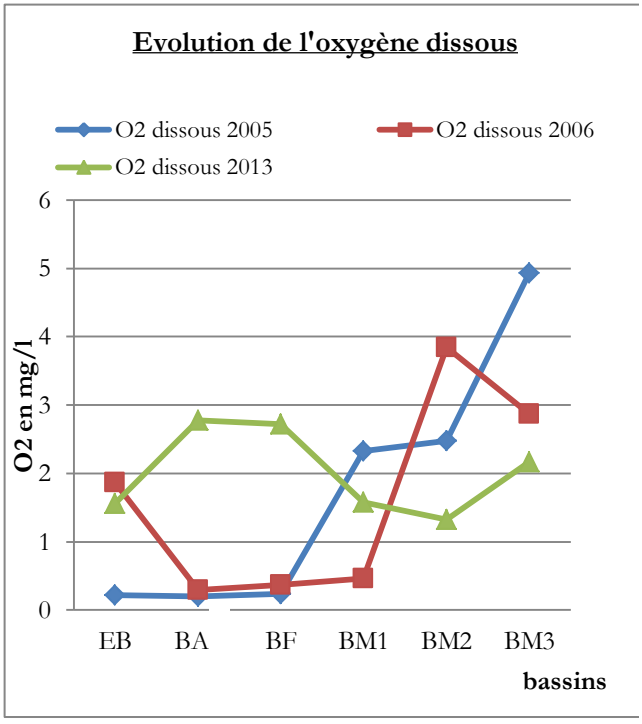
III. Comparaison des résultats d'analyses des années 2005, 2006 et 2013

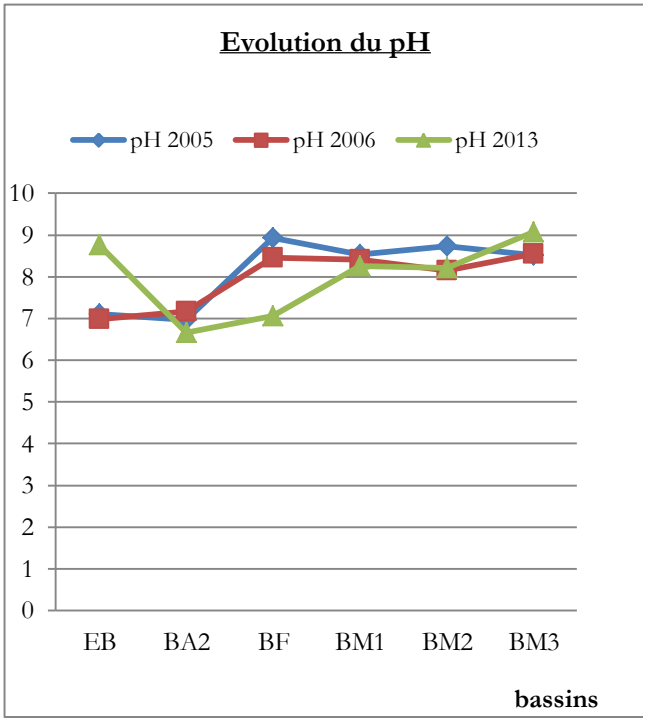
Les figures 16 montrent que les résultats des paramètres physico-chimiques et bactériens (coliformes fécaux) des eaux brutes de 2005 et 2006 sont inférieurs aux résultats enregistrés en 2013 (notre étude). A la sortie de station, les charges en coliformes fécaux des eaux usées

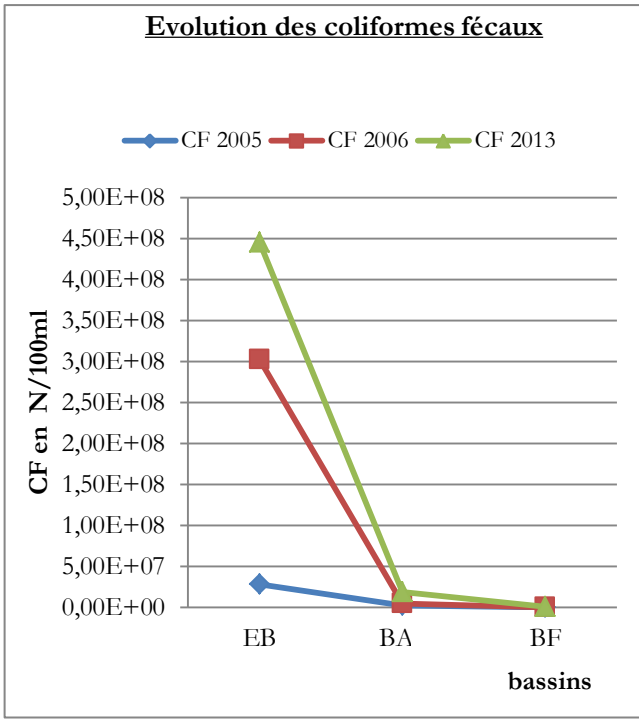
traitées des années 2005 et 2006 respectent les normes de l'OMS en matière de réutilisation de l'eau en agriculture non restrictive contrairement aux charges microbiennes de 2013 qui sont supérieures à la norme. Après 09 ans de fonctionnement de la STEP, les charges résiduelles microbiennes peuvent s'expliquer par le fait que les débits entrants de l'eau à la STEP ont augmenté. Ceci est due au fait que le nombre de raccordement à la STEP de 2013 est supérieur à ceux de 2005-2006 et les volumes utiles des bassins ont diminué avec l'accumulation des boues au fond des bassins et le non curage des boues depuis l'ouverture de la station. Cette diminution du volume des bassins entraine la diminution du temps de séjour de l'eau dans les bassins. Le fonctionnement manuel des pompes de la SP4 engendre aussi la venue des eaux industrielles à la STEP sans être diluée par les eaux usées du centre-ville.











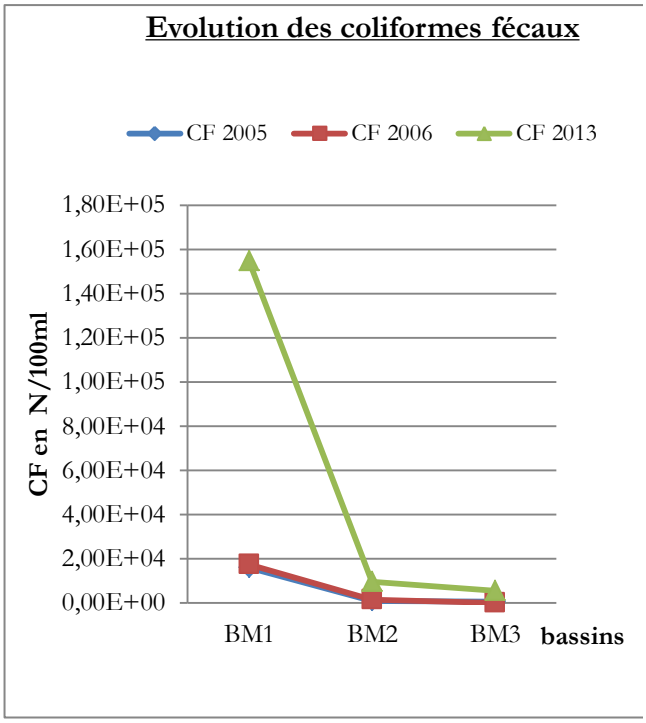


Figure 16: Variation des variables physico-chimiques et bactériologiques pendant la période 2005 -2006 et 2013

IV. Performances épuratoires

Le tableau XI donne les performances épuratoires de cette étude et celles rencontrées dans la littérature. Le rendement d'élimination en CF dans le bassin anaérobie est en conformité avec les études menées sur une filière de trois bassins au 2IE et au Brésil en Eldorado (Maiga *et al*, 2008, Marluce *et al*, 1994). Konaté, (2011) a obtenue des abattements de CF et de *E Coli* respectivement égaux à 0,73 ulog et 0,74 ulog dans le bassin anaérobie. Ces résultats sont presque semblables ceux obtenues à l'issus de cette étude.

Les rendements épuratoires enregistrés sur les bassins de maturation sont faibles (<76%), on enregistre aussi des rendements négatifs d'élimination des entérocoques au niveau du bassin de maturation 3.

Les abattements bactériens observés dans deux stations expérimentales en Afrique montrent des réductions de 4 à 6 ulog pour des filières de traitements combinant 3 à 4 bassins de lagunage en série et ayant des temps de séjour égale à 18 jours (Maiga *et al*, 2008 , Fagrouch *et al*, 2010). Les bassins de ces deux stations ont des profondeurs inférieures à 3,5m, 1,5m et 1m respectivement pour les bassins anaérobies, facultatifs et de maturation. Au niveau de

lagunage de 2IE, on enregistre un abattement élevé en coliformes de 1.88 ulog (Maiga *et al*, 2008). La profondeur des bassins est très certainement un élément important dans l'élimination bactérienne. Les abattements bactériens élevés de 6 ulog pour les coliformes fécaux et 4,26 ulog pour les entérocoques obtenus lors des études de Fagrouch *et al*, (2010) ont été enregistrées après un temps de fonctionnement de la station d'épuration de 4 ans.

Tableau XI: Performances épuratoires de cette étude et relevé dans la littérature

Situation	type de bassin	population	charge organique g DBO/m3d	gDBO/had	prof m	TS jour	PO an	A ulog	R %	Références
Coliformes fécaux										
Burkina Faso	BA				4	3	9	0.92	88,04	Cette étude
Burkina Faso	BA	42 788 EH	250		4	3	7	0,73	81,38	Konaté (2011)
Burkina Faso	BA	220 EH	105.2		2.6	3	17,0	0,789	83,8	Maiga *et al* (2008)
Burkina Faso	BA	200 EH	500		1,22	3,41	6,0	0,6		Klutsé (1995)
Brazil (Eldorado)	BA	7998	312		1,95	3,6	NA	0,952	88,83	Marluce *et al* (1994)
Brazil (Laranjeiras)	BA	31000	241		1,95	2,5	NA	1,077	91,6	Marluce *et al* (1994)
Brazil (Maringa)	BA	2000	324		2	17,2	NA	1,192	93,6	Marluce *et al* (1994)
Burkina Faso	BF				1.8	16	9	0,67	78,64	Cette étude
Burkina faso	BF	220 EH		288,3	1,4	9,5	17	0,802	84,23	Maiga *et al* (2008)
Burkina faso	BF	200 EH		200	1,07	14,94	6,0	1,4		Klutsé (1995)
Brazil (Eldorado)	BF	7998		80	1,25	43,3	NA	1,53	97,03	Marluce *et al* (1994)
Brazil (Laranjeiras)	BF	31000		58	1,67	2,1	NA	1,07	91,62	Marluce *et al* (1994)
Brazil (Maringa)	BF	2000		83	1,7	51,8	NA	1,45	96,41	Marluce *et al* (1994)
Burkina Faso	3 BM				1.20	11	9	1,31	95,2	Cette étude
Burkina faso	BM	220 EH		_	0,9	5,5	17	1,88	98,68	Maiga *et al* (2008)
E coli										
Burkina Faso	BA				4	3	9	0,75	82,35	Cette étude
France	2 BA	17300	105		3,1	3,5	26	0,42	NA	Andrianarison (2006)
Burkina Faso	BF				1,8	16	9	0,44	63,63	Cette étude
France	4 FFC	17300		166	1,8	29,5	26	1,3	NA	Andrianarison (2006)
Burkina Faso	3 BM			_	1,2	11	9	1,06	91,33	Cette étude
France	3 BM	17300		_	1,4 - 1,7	48	26	1,49	NA	Andrianarison (2006)
Entérocoques										

Burkina Faso	BA				4	3	9	0,84	85,67	Cette étude
Burkina faso	BA	200 EH	500		1,22	3,41	6,0	0,6		Klutsé (1995)
France	BA	17300	105		_	1,4 - 1,7	26	0,45		Andrianarison (2006)
Burkina Faso	BF				1.8	16	9	0 ,83	85,40	Cette étude
Burkina faso	BF	200 EH		200	1,07	14,94	6,0	1,26		Klutsé (1995)
France	FFC	200 EH		166	1,8	29,5	26	1,4		Andrianarison (2006)
Burkina Faso	3 BM			_	1,2	11	9	0,23	41,90	Cette étude
France	BM	200 EH		38	1,4 - 1,7	48	26	1,43		Andrianarison (2006)

BA : Bassin anaérobie BF : bassin facultatif FFC : facultatif à forte charge BM : bassin de maturation
TS : temps de séjour, PO : période d'opération, A : abattement, R : rendement

Coliformes Fécaux

Location	Type de bassin	Filière	population	charge	prof	TS	PO	A	R	Références
				g DBO/m3d	m	jours	ans	ulog	%	
Burkina Faso	microphytes	BA-BF-3BM	140000 EH		3 ; 1,8; 1,2	30	9	4,892	99,998	Cette étude
Maroc	microphytes	BA-BF-2BM	55 500 EH	1800	3,5; 1,5; 1	18	4,0	6,000	99,999	Fagrouch *et al* (2010)
Cameroun	microphytes	08 bassins	650	780		14-17	14	3,745	99,982	NYA *et al* (2002)
					E, coli					
Burkina Faso	microphytes	BA-BF-3BM	140000 EH		3 ; 1,8; 1,2	30	9	4,164	99,993	Cette étude
Columbia	microphytes	BA-BF-BM	8000	343	3.5; 2; 1	12		4		Madera *et al* (2002)
					Entérocoques					
Burkina Faso	microphytes	BA-BF-3BM	140000 EH		3 ; 1,8; 1,2	30	9	4 ,569	99,997	Cette étude
Cameroun	microphytes	08 bassins	650	780		14-17	14	3.328	99.953	NYA *et al* (2002)
Columbia	microphytes	BA-BF-BM	8000	343	3.5; 2; 1	12	0	1		Madera *et al* (2002)
Maroc	microphytes	BA-BF-2BM	55 500 EH	1800	3.5; 1.5; 1	18	4	4.26	99.9945	Fagrouch *et al* (2010)

V. Modèle de décontamination bactérienne

Les coefficients de Von Sperling obtenus dans les bassins varient de 0.3 j^{-1} à 1.44 j^{-1}. Ces coefficients sont dans une gamme de valeurs avec les coefficients obtenus par Sperling (1998) dans un système de lagunage au Brésil avec des valeurs variant entre 0.26 j^{-1} et 2.42 j^{-1}.

CINQUIEME PARTIE : PROPOSITION DE SOLUTIONS

Dans cette partie, il s'agit de proposer des solutions pour l'amélioration de la qualité bactérienne et physico-chimique de l'eau usée traitée sortant de la station d'épuration de Kossodo.

A l'aval de la STEP, seul l'irrigation restrictive est recommandée par l'ONEA aux maraichers. Malgré cela il serait nécessaire de trouver des solutions pour diminuer la charge bactérienne de l'eau de sortie afin d'augmenter les rendements épuratoires et de limiter les risques sanitaires qu'elles pourraient causer aux utilisateurs de l'eau et aux consommateurs des produits maraichers. Les solutions proposées sont répertoriées ci-dessous :

- **La mise en marche du bassin anaérobie 1 et du bassin facultatif 1**.

La mise en marche des bassins anaérobie1 et facultatif 1 permettra de réduire le débit de l'eau dans les bassins anaérobie et facultatif. Cela permettra d'augmenter le temps de séjour (si le débit de sortie diminue alors le temps de séjour de l'eau dans le bassin augmente)

- **Mettre en place des dispositifs pour maintenir à l'écart les oiseaux et les autres animaux loin des sites**.

La mise en écart des oiseaux permet d'éviter la contamination des eaux en microorganismes à travers leurs fientes. La mise en place d'un dispositif permettant de les éloigner de la STEP est nécessaire.

- **Assurer le bon fonctionnement des pompes et la sensibilisation des agents de nettoyage de l'Hôpital**

Les stations de relevage et de pompage assurent la collecte des eaux jusqu'à la station d'épuration de Kossodo. Lorsque les pompes ne fonctionnent pas bien, la quantité et la qualité des eaux usées arrivant à la STEP n'assurent pas le bon fonctionnement du système de lagunage. L'ONEA enregistre des disfonctionnements d'automatisme de démarrage des pompes surtout sur la station de relevage SP4 qui se trouve à coté d l'hôtel Sil mandé et des problèmes de blocage des pompes dû aux déchets solides qui sont charriés au niveau des eaux de l'hôpital YALGADO. Quand la station de relevage SP4 ne fonctionne pas, les eaux usées de la ville ne sont pas pompées pour diluer les eaux usées industrielles. Alors que les eaux usées industrielles présentent le plus souvent des pH basiques qui a un effet négatif sur le fonctionnement de la STEP. En effet, Les pH basiques de l'eau brute influence le fonctionnement du bassin anaérobie notamment la méthanogénèse dont l'optimum se situe autour de la neutralité et ne favorise pas la croissance des microorganismes responsables de la dégradation biologique des polluants organiques de la STEP.

- **Développer un programme de curage des boues**

Il est nécessaire que les bassins soient curés de leurs boues afin de ne pas réduire le volume utile des bassins. La réduction du volume utile diminue le temps de séjour de l'eau. En effet, lorsque le temps de séjour est élevé, la réduction de la pollution bactérienne est élevée.

- **Installer des débitmètres ou des compteurs à la STEP**

L'installation de débitmètres ou de compteurs à la STEP permettra de connaitre le débit réel entrant et de sortie de chaque bassin. Il sera alors possible de connaitre les temps de séjours réels de l'eau dans les bassins.

- **Mettre en place des systèmes de régulation de pH**

La mise en place de système de régulation de pH est nécessaire au niveau des industries raccordées. Cette action aidera à pouvoir réguler le pH de l'eau brute pour avoisiner la neutralité afin d'assurer le bon fonctionnement de la station d'épuration. La mise en marche du Bac à récupération à soude en amont de la BRAKINA permettra de réduire le pH de l'effluent venant de la BRAKINA.

- **Sensibiliser les maraichers sur les consignes d'utilisation des eaux usées traitées en irrigation restrictive ou non**

Lors d'une visite sur le site d'irrigation, il a été constaté que les maraichers n'utilisent pas des dispositifs de protection avant le prélèvement des eaux dans le canal et pour l'irrigation des plantes. Cela peut entrainer des risques sanitaires comme les maladies hydriques. Il est donc nécessaire de faire des campagnes de sensibilisation sur les mesures d'hygiène et de protection auprès des maraichers afin de limiter les risques sanitaires que pourraient engendrer la réutilisation des eaux traitées.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Cette étude a permis d'évaluer les performances épuratoires de la station d'épuration de Kossodo et de proposer des solutions d'amélioration pour réduire les risques sanitaires et environnementaux liés à la réutilisation de ces effluents.

Après 09 ans de fonctionnement, les rendements épuratoires bactériologiques de la STEP de Kossodo (>4 ulog) sont satisfaisants dans tous les bassins sauf dans les bassins de maturation. Malgré ces rendements épuratoires, la charge résiduelle bactérienne reste élevée et est supérieure à la norme de l'OMS pour la pratique de l'irrigation non restrictive. Les mesures physico-chimiques ont montrés que les eaux usées traitées présentent une forte salinité (en moyenne 1902,53 µS/cm) et que l'utilisation de ces eaux peut causer des problèmes de salinisation des sols. Le modèle de décontamination de Von Sperling a été calé en supposant que les bassins fonctionnent comme des mélangeurs convectifs dispersifs. Ce qui nous a permis de déterminer localement les coefficients de vitesse d'élimination des indicateurs de contamination fécale. Ces résultats pourront servir pour des besoins prédictifs des charges bactériennes des effluents de sortie des bassins notamment de la période d'étude Mars-Avril.

Vue l'importance économique que représentent l'utilisation des eaux usées traitées et les risques sanitaires que ces eaux peuvent engendrées, nous exhortons l'ONEA à prendre en comptent les solutions proposées pour augmenter les rendements épuratoires de la STEP et la qualité bactérienne de l'EUT. Au vue de la réutilisation pour l'irrigation restrictive ou non, il sera nécessaire d'effectuer les analyses de parasitologie (œufs d'helminthes, kystes de protozoaires) et les analyses chimiques (métaux lourds) à cause du phénomène de bioaccumulation de ces métaux sur les plantes. Il est aussi nécessaire de continuer le suivi bactérien et physico-chimique de l'eau afin de limiter les impacts de la station sur le marigot naturel où les eaux se jettent à l'aval du canal d'irrigation.

BIBLIOGRAPHIE

A. H. MAIGA, Y. Konaté, J. Wethe, K. Denyigba, D. Zoungrana et L. Togola (2008) : performances épuratoires d'une filière de trois bassins en série de lagunage à microphytes sous climat sahélien : cas de la station de traitement des eaux usées de 2IE (Groupe EIER-ETSHER), *Revue des sciences de l'eau, Journal of Water Science, vol. n° 4, 2008, p. 399-411*

Bitton G. (2005): Wastewater microbiology, third Ed. Wiley-liss. Hoboken, Naw Jersey. 746 p.

C SI RO LAND and WATER, technical report N° 1/97, June 1997: Microbial pathogens in wastewater

C.A. Madera, M.R. Pena and D.D Mara (2002): Microbiological quality of a waste stabilization pond effluent used for restricted irrigation in Valle Del Cauca, Colombia. *Water Science and Tachnology Vol 45 N° 1 pp 139-143*

CREPA: Manuel d'entretien et de suivi des réseaux d'Égouts à faible Diamètre (REFAID) : cas de CREPA Siège, Janvier 2007

Curtis T.P, Mara DD and Silva S.A (1992): Influence of pH, oxygen, humic substances on ability of sunlight to damage fecal coliform in waste stabilization pond water

Davies-Colley R.J. (2005): Pond disinfection in Pond Treatement Technology, Shilton A. *(Ed): pp. 100-136. IWA Publishing, London, UK*

Davies-Colley R.J., Donnison A.M., Speed D.J., Ross C.M. and Nagels, J.W. (1999): inactivation of faecal indicator micro-organisms in waste stabilization ponds: interactions of environmental factors with sunlight. *Water Research*.33 (5): 1220-1230

Diallo M. S. : Contribution à l'étude de l'efficacité du fonctionnement des systèmes de lagunage anaérobie sous climat sahélien : cas de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Ouagadougou, 2010, mémoire, 70 pages

D. Koné (2002) : Epuration des eaux usées par lagunage à microphytes et à macrophytes en Afrique de l'Ouest et du centre : état de lieux, performances épuratoires et critères de dimensionnement (194 pages)

Esi Awuah (2006): Pathogen removal mechanisms in macrophyte and algal waste stabilization ponds (160 pages)

H.Arridge, J.I. Oragui, H. W Pearson, D.D Mara and S.A. Silva (1995): Vibrio cholera 01 and salmonella e removal compared with the die-off of faecal indicator organisms in waster stabilization ponds in Northeast Brazil. *Water Sciences and Technology, Vol. 31 N° 12 pp. 249-256, 1995*

Amah K. (1995): Epuration des eaux usées domestiques par lagunage en zone soudano-sahélien

Konaté Y. (2011) : Lagunage anaérobie en climat soudano-sahélien : performances épuratoires, accumulation des boues, devenir des parasites, production de biogaz (Ouagadougou-Burkina Faso)

Mara D.D., Alabaster G.P., Pearson H.W. and Mills S.W. (1992): Waste stabilization ponds : a design manual for Eastern Africa, lagoon technology International leeds

Mara DD and Pearson H.W (1998): Design Manual for waste stabilization ponds in Mediterranean Countries

Von Sperling M. (1999): performance evaluation and mathematical modeling of coliform die-off in tropical and subtropical waste stabilization ponds. *Water. Research. Vol. 33, N°. 6, pp. 1435-1448, 1999*

Maynard H, Ouki S, William S (1999): Tertiary lagoons : a review of removal mechanism and performance

Nya J, Brissaud F, Kengne I.M, Drakides C, Amougou Akoa, Atangana ETEME R , Fonkou T et P.L Agendia (2002) : Traitement des eaux usées domestiques au cameroun : performances épuratoires comparées du lagunage à macrophytes et du lagunage à microphytes

Oufdou K, Mezrioui N , Oudra B, Loudila M, Barakaté M and Sbiyya B (2001) : Bioactive Compounds for pseudama baena species (cyanobacteria)

Plan Stratégique d'Assainissement de la ville de Ouagadougou (PSAO) : assainissement collectif de la ville de Ouagadougou, Plan de contrôle des rejets, (Mai 2001)

Rapport final-Janvier : la gestion et la valorisation des eaux usées dans les zones d'habitats planifié et leur périphéries (GEVEU) de Yaoundé, 2003

Sinton L.W, Finlay R.K and Lynch A.P (1999): Sunlight inactivation of fecal bacteriophage and bacteria in sewage polluted seawater

Sinton L.W, Hall CH, Lynch A.P, et Davies Colley R.J (2002): Sunlight inactivation of fecal indicator bacteria and bacteriophages form waste stabilization pond effluent in fresh and saline water

T.P Curtis, D.D Mara (1994): The effect of sunlight on mechanisms for the Die-off of faecal coliform Bacteria in waste stabilization ponds

Andrianarison T.R. (2006) : Traitement d'effluents urbains dans un système de 11 lagunes. Décontamination microbienne et élimination de l'azote, thèse, 200 pages.

Sou Y.M. (2009) : Recyclage des eaux usées en irrigation : potentiel fertilisant, risques sanitaires et impacts sur la qualité des sols, thèse, 178 pages

Maiga Y. (2010) : processus d'élimination d'*Escherichia coli* et des entérocoques des bassins de lagunage sous climat sahélien : influence de la radiation solaire, thèse 153 pages

ANNEXES

ANNEXE 1 : PHOTOS DE PRELEVEMENTS DES EAUX II

ANNEXE 2: RESULTATS DES ANALYSES DES PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES III

ANNEXE 3: RESULTATS DES ANALYSES DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES VI

ANNEXE 4: PERFORMANCES EPURATOIRES D'ELIMINATION X

ANNEXE 5: RESULTATS D'ANALYSE DE L'EAU PAR L'ONEA 2005 2006 XIV

ANNEXE 6: CALCUL DES COEFFICIENTS DU MODELE DE VON SPERLING XV

ANNEXE 7: NORMES DE L'OMS (1989) XIX

ANNEXE 8: NORMES DE REJET DES EAUX USEES DANS LES EAUX DE SURFACES AU BURKINA FASO XX

ANNEXE 1 : PHOTOS DE PRELEVEMENTS DES EAUX

Annexe 1.1 : Prélèvement de l'eau brute

Annexe 1.2 : Prélèvement de l'eau usée dans les autres bassins

ANNEXE 2: RESULTATS DES ANALYSES DES PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES

Annexe 2.1 : Tableau des valeurs des concentrations en coliformes fécaux

COLIFORMES FECAUX (UFC/100ml)						
	EB	**BA**	**BF**	**BM1**	**BM2**	**BM3**
27/02/2013	4.45E+08	1.70E+07	1.92E+06			2.00E+04
01/03/2013	3.40E+08	1.35E+08	6.90E+05			8.00E+03
05/03/2013	5.73E+07	7.35E+06	4.97E+06			1.35E+04
07/03/2013	4.45E+08	1.93E+07	9.71E+05			1.80E+04
11/03/2013	4.10E+06	2.91E+06	9.71E+05			3.83E+04
13/03/2013	2.51E+07	7.03E+06	7.50E+04			4.20E+04
15/03/2013	1.06E+08	7.85E+05	1.16E+05			2.10E+04
19/03/2013	4.45E+08	1.01E+08	2.42E+06	3.40E+04	4.00E+03	5.70E+03
21/03/2013	4.45E+08	1.86E+07	3.30E+05	3.10E+04	6.00E+03	5.00E+03
23/03/2013	4.45E+08	5.08E+06	9.71E+05	3.30E+04	6.50E+03	6.00E+03
04/04/2013	2.07E+07	3.10E+06	7.20E+04	2.15E+04	1.00E+04	5.00E+03
06/04/2013	6.78E+06	9.73E+05	9.71E+05	7.80E+05	1.00E+04	5.70E+03
08/04/2013	4.45E+08	4.60E+06	6.00E+04	2.00E+04	5.00E+03	5.70E+03
10/04/2013	1.12E+09	1.86E+06	2.35E+05	2.20E+04	1.70E+04	5.00E+03
12/04/2013	4.45E+08	1.93E+07	9.71E+05	7.00E+05	1.93E+04	7.50E+03
16/04/2013	2.12E+09	1.93E+07	9.71E+05	1.55E+05	9.72E+03	5.70E+03
18/04/2013	1.56E+07	4.00E+05	2.75E+04	1.00E+04	9.72E+03	5.70E+03
23/04/2013	9.59E+08	2.35E+06	9.71E+05	2.20E+04	9.72E+03	5.70E+03
25/04/2013	5.70E+08	9.90E+05	7.40E+05	3.00E+04	9.72E+03	5.70E+03
Minimum	4.10E+06	4.00E+05	2.75E+04	1.00E+04	4.00E+03	5.00E+03
Maximum	2.12E+09	1.35E+08	4.97E+06	7.80E+05	1.93E+04	4.20E+04
moyenne	4.45E+08	1.93E+07	9.71E+05	1.55E+05	9.72E+03	5.70E+03
ecart type	5.13E+08	3.60E+07	1.16E+06	2.76E+05	4.50E+03	1.12E+04

EB : Eau brute, **BA** : sortie bassin anaérobie, **BF** : sortie bassin facultatif, **BM1** : sortie bassin de maturation 1, **BM2** : sortie bassin de maturation 2, **BM3** : sortie bassin de maturation 3

Annexe 2.2 : Tableau des valeurs des concentrations en *Escherichia coli*

***Escherichia coli* (ufc/100ml)**						
	EB	**BA**	**BF**	**BM1**	**BM2**	**BM3**
27/02/2013	2.98E+05	1.40E+05	1.13E+05			3.00E+03
01/03/2013	1.17E+06	3.20E+05	1.15E+04			3.00E+03
05/03/2013	1.84E+06	1.65E+06	2.30E+04			3.00E+03
07/03/2013	4.03E+06	1.95E+05	1.60E+04			3.00E+03
11/03/2013	6.57E+06	1.80E+05	7.00E+03			6.00E+03
13/03/2013	2.05E+07	1.48E+06	2.75E+04			3.00E+03
15/03/2013	3.15E+07	2.05E+05	1.35E+04			1.00E+04
19/03/2013	1.69E+06	1.00E+06	1.00E+06	1.99E+04	3.90E+03	8.00E+03
21/03/2013	4.38E+07	1.75E+05	2.00E+04	1.99E+04	3.90E+03	3.00E+03
23/03/2013	4.38E+07	2.50E+04	1.00E+04	8.50E+03	3.90E+03	3.00E+03
04/04/2013	4.12E+07	3.35E+05	3.75E+04	1.55E+04	3.00E+03	1.00E+03
06/04/2013	1.02E+06	4.09E+05	2.60E+05	5.00E+04	3.00E+03	3.00E+03
08/04/2013	5.06E+05	1.60E+05	1.13E+05	1.99E+04	3.90E+03	3.00E+03
10/04/2013	2.43E+08	2.30E+05	1.13E+05	1.99E+04	6.50E+03	2.00E+03
12/04/2013	7.70E+06	4.77E+05	1.75E+04	5.50E+03	3.00E+03	3.00E+03
16/04/2013	1.23E+06	1.95E+05	1.13E+05	1.99E+04	3.90E+03	1.00E+03
18/04/2013	4.38E+07	4.09E+05	1.13E+05	1.99E+04	3.90E+03	3.00E+03
23/04/2013	6.76E+07	1.15E+05	1.13E+05	1.99E+04	4.00E+03	3.00E+03
25/04/2013	2.70E+08	6.00E+04	3.00E+04	1.99E+04	3.90E+03	3.00E+03
Minimum	2.98E+05	2.50E+04	7.00E+03	5.50E+03	3.00E+03	1.00E+03
Maximum	2.70E+08	1.65E+06	1.00E+06	5.00E+04	6.50E+03	1.00E+04
moyenne	4.38E+07	4.09E+05	1.13E+05	1.99E+04	3.90E+03	3.00E+03
écart type	7.79E+07	4.61E+05	2.24E+05	1.07E+04	9.15E+02	1.76E+03

EB : Eau brute, **BA** : sortie bassin anaérobie, **BF** : sortie bassin facultatif, **BM1** : sortie bassin de maturation 1, **BM2** : sortie bassin de maturation 2, **BM3** : sortie bassin de maturation 3

Annexe 2.2 : Tableau des valeurs des concentrations en Entérocoques

Entérocoques (UFC/100ml)						
	EB	**BA**	**BF**	**BM1**	**BM2**	**BM3**
27/02/2013	2.53E+08	1.61E+06	1.00E+05			1.45E+05
01/03/2013	1.53E+06	1.61E+06	1.00E+04			6.00E+03
05/03/2013	9.23E+06	1.70E+04	1.35E+04			1.00E+03
07/03/2013	1.50E+07	1.55E+04	1.00E+03			1.50E+04
11/03/2013	3.39E+08	2.36E+06	6.00E+03			1.00E+04
13/03/2013	4.12E+07	1.60E+05	6.00E+03			6.50E+03
15/03/2013	1.03E+08	2.80E+05	1.00E+03			6.50E+03
19/03/2013	2.71E+06	1.61E+06	4.20E+04	1.00E+04	2.43E+03	6.83E+03
21/03/2013	1.31E+08	1.61E+06	1.00E+04	8.00E+03	1.00E+03	1.00E+03
23/03/2013	2.53E+08	1.61E+06	2.00E+04	1.22E+04	2.00E+03	1.00E+04
04/04/2013	4.99E+07	3.00E+04	4.20E+04	1.05E+04	8.00E+03	6.83E+03
06/04/2013	1.98E+06	1.61E+06	3.25E+05	5.00E+04	2.00E+03	2.70E+04
08/04/2013	2.53E+08	9.95E+06	1.00E+04	1.22E+04	1.00E+03	6.83E+03
10/04/2013	1.27E+08	8.00E+04	2.00E+03	2.00E+03	2.43E+03	6.83E+03
12/04/2013	2.53E+08	1.61E+06	4.20E+04	1.22E+04	2.43E+03	6.83E+03
16/04/2013	2.53E+08	1.61E+06	4.20E+04	4.00E+03	2.00E+03	1.00E+03
18/04/2013	1.48E+07	1.61E+06	4.20E+04	1.00E+03	1.00E+03	1.00E+03
23/04/2013	2.91E+07	1.61E+06	4.20E+04	1.22E+04	2.43E+03	1.00E+03
25/04/2013	2.68E+09	1.61E+06	4.20E+04	1.22E+04	2.43E+03	6.83E+03
Minimum	1.53E+06	1.55E+04	1.00E+03	1.00E+03	1.00E+03	1.00E+03
Maximum	2.68E+09	9.95E+06	3.25E+05	5.00E+04	8.00E+03	1.45E+05
moyenne	2.53E+08	1.61E+06	4.20E+04	1.22E+04	2.43E+03	6.83E+03
ecart type	5.99E+08	2.16E+06	7.28E+04	1.26E+04	1.85E+03	3.22E+04

EB : Eau brute, **BA** : sortie bassin anaérobie, **BF** : sortie bassin facultatif, **BM1** : sortie bassin de maturation 1, **BM2** : sortie bassin de maturation 2, **BM3** : sortie bassin de maturation 3

ANNEXE 3: RESULTATS DES ANALYSES DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

Annexe 3.1 : Tableau des valeurs de pH

pH						
	EB	BA	BF	BM1	BM2	BM3
27/02/2013	10.98	8.71	8.14			11.22
01/03/2013	7.69	6.82	9.44			10.09
05/03/2013	8.58	7.56	9.71			10.94
07/03/2013	9.74	7.67	9.58			10.58
11/03/2013	9.52	8.95	10.09			11.02
15/03/2013	7.58	6.04	7.49			8.12
19/03/2013	10.44	5.99	8.07	8.47	8.13	8.57
21/03/2013	8.35	5.76	7.90	8.52	6.47	8.31
23/03/2013	11.48	5.81	7.98	8.60	8.38	8.61
04/04/2013	7.71	6.10	7.72	8.27	7.77	8.27
06/04/2013	11.50	5.96	7.94	8.33	8.50	8.21
08/04/2013	9.61	6.70	7.68	7.79	8.21	7.88
10/04/2013	8.07	6.40	7.91	8.06	8.15	8.02
12/04/2013	9.66	6.82	6.30	8.60	9.35	9.20
16/04/2013	6.08	6.37	8.11	8.13	8.46	8.39
18/04/2013	7.28	6.24	8.01	7.98		
23/04/2013	5.40	6.10	8.42	8.16	8.47	8.42
25/04/2013	8.07	5.95	8.24	8.15	8.47	8.41
Minimum	5.40	5.76	6.30	7.79	6.47	7.88
Maximum	11.50	8.95	10.09	8.60	9.35	11.22
moyenne	8.76	6.66	8.26	8.25	8.22	9.07
ecart type	1.74	0.96	0.92	0.26	0.70	1.18

EB : Eau brute, **BA** : sortie bassin anaérobie, **BF** : sortie bassin facultatif, **BM1** : sortie bassin de maturation 1, **BM2** : sortie bassin de maturation 2, **BM3** : sortie bassin de maturation 3

Annexe 3.2 : Tableau des valeurs de conductivité

Conductivité						
Date	**EB**	**BA**	**BF**	**BM1**	**BM2**	**BM3**
27/02/2013	1055.67	1 539.00	1 831.00			2 030.00
01/03/2013	1200.33	1 514.00	1 514.00			2 010.00
05/03/2013	1262.67	1 460.00	1 460.00			1 987.00
07/03/2013	989.33	1 465.00	1 465.00			1 950.50
11/03/2013	1045.50	1 436.00	1 436.00			1 883.00
19/03/2013	1870.33	1 535.00	1 535.00	1 634.00	1 704.00	1 786.00
21/03/2013	1925.00	1 690.00	1 690.00	1 713.00	1 792.00	1 914.00
23/03/2013	14520.33	1 775.00	1 775.00	1 702.00	1 733.00	1 836.00
04/04/2013	1228.33	1 787.00	1 787.00	1 761.00	1 853.00	1 902.00
06/04/2013	10212.00	1 680.00	1 680.00	1 750.00	1 821.00	1 927.00
08/04/2013	987.00	1 948.00	1 948.00	1 823.00	1 875.00	1 954.00
12/04/2013	1304.00	1 921.00	1 921.00	1 763.00	1 800.00	1 882.00
16/04/2013	539.67	1 932.00	1 932.00	1 729.00	1 732.00	1 762.00
18/04/2013	527.67	2 080.00	1 769.00	1 757.00	1 782.00	1 814.00
23/04/2013	424.33	2 110.00	1 818.00	1 867.00	1 862.00	1 906.00
25/04/2013	184.67	2 040.00	1 834.00	1 842.00	1 851.00	1 897.00
Minimum	184.67	1436.00	1436.00	1634.00	1704.00	1762.00
Maximum	14520.33	2110.00	1948.00	1867.00	1875.00	2030.00
moyenne	2454.80	1744.50	1712.19	1758.27	1800.45	1902.53
ecart type	3975.76	237.28	177.69	66.81	58.34	76.18

EB : Eau brute, **BA** : sortie bassin anaérobie, **BF** : sortie bassin facultatif, **BM1** : sortie bassin de maturation 1, **BM2** : sortie bassin de maturation 2, **BM3** : sortie bassin de maturation 3

Annexe 3.3 : Tableau des valeurs de l'oxygène dissous

Oxygène dissous (mg/l)						
	EB	BA	BF	BM1	BM2	BM3
27/02/2013	2.24	1.61	0.26			1.62
01/03/2013	1.54	1.94	1.94			0.84
05/03/2013	2.30	2.32	2.32			1.97
07/03/2013	1.75	2.78	2.78			1.28
11/03/2013	1.75	0.94	0.94			0.82
19/03/2013	1.64	2.09	2.09	2.62	0.53	1.44
21/03/2013	1.41	4.02	4.02	1.02	1.12	1.48
23/03/2013	1.60	2.86	2.86	0.74	0.20	1.27
04/04/2013	2.09	6.82	6.82	0.34	1.16	1.66
06/04/2013		4.81	4.81	1.93	2.33	0.88
08/04/2013	2.62	1.94	1.94	1.76	1.28	3.04
12/04/2013	2.22	1.70	1.70	3.60	2.47	0.14
16/04/2013	0.57	3.99	3.99		2.46	1.97
18/04/2013	0.53	2.31	3.19	2.24		11.52
23/04/2013	0.73	2.17	1.96	0.27	0.58	3.68
25/04/2013	0.39	2.16	1.83	1.22	1.07	1.02
Minimum	0.39	0.94	0.26	0.27	0.20	0.14
Maximum	2.62	6.82	6.82	3.60	2.47	11.52
moyenne	1.56	2.78	2.72	1.57	1.32	2.16
ecart type	0.71	1.47	1.60	1.06	0.83	2.64

EB : Eau brute, **BA** : sortie bassin anaérobie, **BF** : sortie bassin facultatif, **BM1** : sortie bassin de maturation 1, **BM2** : sortie bassin de maturation 2, **BM3** : sortie bassin de maturation 3

Annexe 3.4 : Tableau des valeurs de la température

Température						
	EB	BA	BF	BM1	BM2	BM3
27/02/2013	26.23	27.00	26.50			26.20
01/03/2013	32.90	28.20	28.20			27.90
05/03/2013	32.90	28.75	28.75			28.55
07/03/2013	32.15	29.45	29.45			28.00
11/03/2013	32.70	30.80	30.80			29.70
19/03/2013	33.80	29.20	29.20	28.70	27.90	28.80
21/03/2013	34.60	30.10	30.10	28.70	28.30	27.60
23/03/2013	37.60	31.80	31.80	29.90	32.70	32.30
04/04/2013	33.13	29.50	29.50	27.40	27.50	27.50
06/04/2013	36.13	30.60	30.60	28.30	29.20	28.80
08/04/2013	33.13	29.50	29.50	27.60	28.40	28.20
12/04/2013	35.33	31.20	31.20	31.10	31.20	31.40
16/04/2013	36.10	36.10	36.10	33.20	34.40	33.70
18/04/2013	34.10	31.80	31.20	31.20	31.10	31.90
23/04/2013	28.50	30.50	29.50	29.20	30.00	29.30
24/04/2013	32.30					
25/04/2013	28.10	30.50	29.90	29.80	29.70	29.30
Minimum	26.23	27.00	26.50	27.40	27.50	26.20
Maximum	37.60	36.10	36.10	33.20	34.40	33.70
moyenne	32.92	30.31	30.14	29.55	30.04	29.32
ecart type	2.98	2.01	2.05	1.74	2.15	2.02

EB : Eau brute, **BA** : sortie bassin anaérobie, **BF** : sortie bassin facultatif, **BM1** : sortie bassin de maturation 1, **BM2** : sortie bassin de maturation 2, **BM3** : sortie bassin de maturation 3

ANNEXE 4: PERFORMANCES EPURATOIRES D'ELIMINATION

Annexe 4.1 : Tableau des valeurs des rendements épuratoires en coliformes fécaux

Rendement COLIFORMES FECAUX						
	EB	BA	BF	BM1	BM2	BM3
27/02/2013		96.18	88.71			
01/03/2013		60.28	99.49			
05/03/2013		87.16	32.38			
07/03/2013		95.66	94.97			
11/03/2013		28.91	66.67			
13/03/2013		72.01	98.93			
15/03/2013		99.26	85.22			
19/03/2013		77.32	97.61	98.59	88.24	-42.50
21/03/2013		95.82	98.23	90.61	80.65	16.67
23/03/2013		98.86	80.87	96.60	80.30	7.69
04/04/2013		84.99	97.68	70.14	53.49	50.00
06/04/2013		85.65	0.25	19.66	98.72	43.00
08/04/2013		98.97	98.70	66.67	75.00	-14.00
10/04/2013		99.83	87.37	90.64	22.73	70.59
12/04/2013		95.66	94.97	27.90	97.25	61.04
16/04/2013		99.09	94.97	84.05	93.72	41.35
18/04/2013		97.43	93.13	63.64	55.82	41.35
23/04/2013		99.75	58.68	97.73	55.82	41.35
25/04/2013		99.83	25.25	95.95	67.60	41.35
Minimum		28.91	0.25	19.66	22.73	-42.50
Maximum		99.83	99.49	98.59	98.72	70.59
moyenne		88.04	78.64	75.18	72.45	29.82
écart type		18.08	29.12	27.05	22.46	32.42

EB : Eau brute, **BA** : sortie bassin anaérobie, **BF** : sortie bassin facultatif, **BM1** : sortie bassin de maturation 1, **BM2** : sortie bassin de maturation 2, **BM3** : sortie bassin de maturation 3

Annexe 4.2 : Tableau des valeurs de rendements en *Escherichia coli*

Rendement *Escherichia coli*						
	EB	**BA**	**BF**	**BM1**	**BM2**	**BM3**
27/02/2013		53.07	19.04			
01/03/2013		72.57	96.41			
05/03/2013		10.09	98.61			
07/03/2013		95.16	91.79			
11/03/2013		97.26	96.11			
13/03/2013		92.78	98.14			
15/03/2013		99.35	93.41			
19/03/2013		40.80	0.00	98.01	80.38	-0.41
21/03/2013		99.60	88.57	0.63	80.38	4.50
23/03/2013		99.94	60.00	15.00	54.12	9.00
04/04/2013		99.19	88.81	58.67	80.6	5.33
06/04/2013		59.81	36.36	80.77	94.00	0.00
08/04/2013		68.35	29.16	82.47	80.38	0.79
10/04/2013		99.91	50.72	82.47	67.30	3.97
12/04/2013		93.81	96.33	68.57	45.45	0.00
16/04/2013		84.15	41.87	82.47	80.38	2.56
18/04/2013		99.07	72.26	82.47	80.38	0.79
23/04/2013		99.83	1.44	82.47	79.87	0.88
25/04/2013		99.98	50.00	33.75	80.38	3.00
Minimum		10.09	0.00	0.63	45.45	-0.41
Maximum		99.98	98.61	98.01	94.00	9.00
moyenne		82.35	63.63	63.98	75.30	2.54
écart type		25.41	34.40	30.93	13.34	2.80

EB : Eau brute, **BA** : sortie bassin anaérobie, **BF** : sortie bassin facultatif, **BM1** : sortie bassin de maturation 1, **BM2** : sortie bassin de maturation 2, **BM3** : sortie bassin de maturation 3

Annexe 4.3 : Tableau des valeurs des rendements en entérocoques

Rendement Entérocoques						
	EB	BA	BF	BM1	BM2	BM3
27/02/2013		99.36	93.80			-45.00
01/03/2013		-5.27	99.38			40.00
05/03/2013		99.82	20.59			92.59
07/03/2013		99.90	93.55			-1400.00
11/03/2013		99.30	99.75			-66.67
13/03/2013		99.61	96.25			-8.33
15/03/2013		99.73	99.64			-550.00
19/03/2013		40.54	97.39	76.21	75.71	-181.37
21/03/2013		98.77	99.38	20.00	87.50	0.00
23/03/2013		99.36	98.76	38.93	83.63	-400.00
04/04/2013		99.94	-40.14	75.02	23.81	14.58
06/04/2013		18.45	79.84	84.62	96.00	-1250.00
08/04/2013		96.07	99.90	-22.14	91.81	-583.33
10/04/2013		99.94	97.50	0.00	-21.43	-181.37
12/04/2013		99.36	97.39	70.95	80.12	-181.37
16/04/2013		99.36	97.39	90.49	50.00	50.00
18/04/2013		89.07	97.39	97.6214	0.00	0.00
23/04/2013		94.45	97.39	70.95	80.12	58.82
25/04/2013		99.94	97.39	70.95	80.12	-181.37
Minimum		-5.27	-40.14	-22.14	-21.43	-1250.00
Maximum		99.94	99.90	97.62	96.00	58.82
moyenne		85.67	85.40	56.13	60.62	-236.28
ecart type		31.21	35.31	38.15	38.99	373.02

EB : Eau brute, **BA** : sortie bassin anaérobie, **BF** : sortie bassin facultatif, **BM1** : sortie bassin de maturation 1, **BM2** : sortie bassin de maturation 2, **BM3** : sortie bassin de maturation 3

Annexe 4.4 : Tableau des valeurs de rendement global de la STEP

Rendement et abattement global						
	Coliformes fécaux		***Escherichia coli***		**Entérocoques**	
Date	Rendement (%)	Abattement (ulog)	Rendement (%)	Abattement (ulog)	Rendement (%)	Abattement (ulog)
27/02/2013	99.9955	4.348	98.9944	1.998	99.9427	3.242
01/03/2013	99.9976	4.628	99.7429	2.590	99.6082	2.407
05/03/2013	99.9764	3.628	99.8369	2.788	99.9892	3.965
07/03/2013	99.9960	4.393	99.9255	3.128	99.9000	3.000
11/03/2013	99.0655	2.029	99.9087	3.039	99.9970	4.530
13/03/2013	99.8327	2.776	99.9854	3.835	99.9842	3.802
15/03/2013	99.9802	3.702	99.9682	3.498	99.9937	4.199
19/03/2013	99.9987	4.893	99.5264	2.325	99.7479	2.598
21/03/2013	99.9989	4.950	99.9931	4.164	99.9992	5.119
23/03/2013	99.9987	4.871	99.9931	4.164	99.9961	4.404
04/04/2013	99.9758	3.616	99.9976	4.615	99.9863	3.864
06/04/2013	99.9160	3.076	99.7049	2.530	98.6341	1.865
08/04/2013	99.9987	4.893	99.4066	2.227	99.9973	4.569
10/04/2013	99.9996	5.350	99.9992	5.085	99.9946	4.270
12/04/2013	99.9983	4.774	99.9610	3.409	99.9973	4.569
16/04/2013	99.9997	5.570	99.9187	3.090	99.9996	5.404
18/04/2013	99.9633	3.436	99.9931	4.164	99.9932	4.169
23/04/2013	99.9994	5.226	99.9956	4.353	99.9966	4.463
25/04/2013	99.9990	5.000	99.9989	4.954	99.9997	5.594
Minimum	99.0655	2.029	98.9944	1.998	98.6341	1.865
Maximum	99.9997	5.570	99.9992	5.085	99.9997	5.594
moyenne	99.9987	4.893	99.9931	4,164	99.997	4.569
écart type	0.2136	0.967	0.2655	0.945	0.3190	0.997

EB : Eau brute, **BA** : sortie bassin anaérobie, **BF** : sortie bassin facultatif, **BM1** : sortie bassin de maturation 1, **BM2** : sortie bassin de maturation 2, **BM3** : sortie bassin de maturation 3

ANNEXE 5: RESULTATS D'ANALYSE DE L'EAU PAR L'ONEA 2005 2006

Annexe 5.1 : résultats des analyses de l'ONEA en 205 et 2006

Valeurs Moyennes des résultats 2005								
Point de prélèvement		EB	BA2	BA3	BF	BM1	BM2	BM3
paramètres	**Unités**	**RESULTATS**						
Température	°c	32,32	32,82	32,15	31,00	30,2	30,42	30,35
pH	---	7,11	6,97	6,82	8,94	8,53	8,73	8,52
Conductivité	µs/cm	1477,75	1326,50	1316,25	1366,50	1544,25	1594,25	1698
O_2 dissous	mg/l	0,22	0,2	0,26	0,24	2,33	2,48	4,93
Coliformes Fécaux	N/100 ml	2.80E+07	2.30E+06	8.00E+05	1.00E+05	1.60E+04	1.00E+03	7.00E+02
Valeurs Moyennes des résultats 2006								
Paramètres		EB	BA2	BA3	BF	BM1	BM2	BM3
Température	**°C**	33.50	29.34	29.58	28.39	28.13	28.26	28.05
PH	…..	6.99	7.17	7.14	8.46	8.41	8.16	8.55
conductivité	µs/cm	1466.07	1532.81	1561.08	1468.18	1518.43	1543.59	1556.30
O2 dissous	mg/l	1.87	0.30	0.28	0.37	0.46	3.84	2.87
Coliformes fécaux	N/100ml	3.02E+08	4.86E+06	5.29E+06	2.39E+05	1.75E+04	1.61E+03	1.32E+02

EB : Eau brute, **BA** : sortie bassin anaérobie, **BF** : sortie bassin facultatif, **BM1** : sortie bassin de maturation 1, **BM2** : sortie bassin de maturation 2, **BM3** : sortie bassin de maturation 3

ANNEXE 6: CALCUL DES COEFFICIENTS DU MODELE DE VON SPERLING

Annexe 6.1 : Calcul du coefficient d'élimination à 20°C et du nombre de dispersion d

	H (m)	θ (jours)	**Kd20**	L fond	L crête	L moy	l fond	l crète(m)	l moy (m)	**d**
BA	4	3	**0.189**	88.5	108	98.25	19	37.8	28.4	**0.2891**
BF	1.8	16	**0.22**	287.5	298.5	293	94	107	100.5	**0.343**
BM1	1.2	5	**0.46**	202	217	209.5	62	74.5	68.25	**0.3258**
BM2	1.2	3	**0.544**	142	156.5	149.3	42	54.5	48.25	**0.3233**
BM3	1.2	3	**0.544**	142	155	148.5	42	54	48	**0.3232**

Annexe 6.2 : Valeurs des coefficients d'élimination K_{dT} du bassin anaérobie

Bassin anaérobie					
Date	**temps de séjour (j)**	**température (°C)**	**K_{dT} (jour^-1)**	**a**	**facteur F**
27/02/2013	3	27.00	0.30	1.434	0.458
01/03/2013	3	28.20	0.33	1.464	0.432
05/03/2013	3	28.75	0.34	1.479	0.420
07/03/2013	3	29.45	0.36	1.498	0.406
11/03/2013	3	30.80	0.39	1.538	0.377
13/03/2013	3	29.90	0.37	1.511	0.396
15/03/2013	3	30.29	0.38	1.522	0.388
19/03/2013	3	29.20	0.35	1.491	0.411
21/03/2013	3	30.10	0.38	1.517	0.392
23/03/2013	3	31.80	0.42	1.568	0.356
04/04/2013	3	29.50	0.36	1.500	0.404
06/04/2013	3	30.60	0.39	1.532	0.381
08/04/2013	3	29.50	0.36	1.500	0.404
10/04/2013	3	30.29	0.38	1.522	0.388
12/04/2013	3	31.20	0.40	1.550	0.369
16/04/2013	3	36.10	0.56	1.718	0.269
18/04/2013	3	31.80	0.42	1.568	0.356
23/04/2013	3	30.50	0.39	1.529	0.383
25/04/2013	3	30.50	0.39	1.529	0.383
minimum	3	27	0.30	1.43	0.27
maximum	3	36.1	0.56	1.72	0.46
moyenne	3	30.29	0.38	1.52	0.39

$$facteur\ F = \frac{\mathbf{4ae^{\frac{1}{2d}}}}{\mathbf{(1+a)^2e^{\frac{a}{2d}} - (1-a)^2e^{\frac{-a}{2d}}}}$$

Dans l'équation 1

$$K_{dT} = K_{DISPERSIF}$$

Annexe 6.3: Valeurs des coefficients d'élimination du bassin facultatif

Bassin facultatif					
Date	temps de séjour (j)	température (°C)	K_{dT} (jour^-1)	a	facteur F
27/02/2013	16	26.50	0.34	2.915	0.047
01/03/2013	16	28.10	0.38	3.058	0.037
05/03/2013	16	27.85	0.37	3.035	0.038
07/03/2013	16	29.10	0.41	3.152	0.032
11/03/2013	16	30.50	0.45	3.290	0.025
13/03/2013	16	33.60	0.55	3.622	0.015
15/03/2013	16	29.71	0.42	3.211	0.029
19/03/2013	16	28.80	0.40	3.124	0.033
21/03/2013	16	28.80	0.40	3.124	0.033
23/03/2013	16	31.80	0.49	3.425	0.020
04/04/2013	16	27.90	0.38	3.040	0.038
06/04/2013	16	28.80	0.40	3.124	0.033
08/04/2013	16	27.80	0.37	3.031	0.039
10/04/2013	16	29.71	0.42	3.211	0.029
12/04/2013	16	31.30	0.47	3.372	0.022
16/04/2013	16	33.60	0.55	3.622	0.015
18/04/2013	16	31.20	0.47	3.362	0.023
23/04/2013	16	29.50	0.42	3.191	0.030
25/04/2013	16	29.90	0.43	3.230	0.028
minimum	16	26.5	0.34	2.91	0.01
maximum	16	33.6	0.55	3.62	0.05
moyenne	16	29.71	0.43	3.22	0.03

Annexe 6.4 : Valeurs des coefficients d'élimination du bassin de maturation1

Bassin de maturation 1					
Date	temps de séjour (j)	température (°C)	K_{dT} (jour^-1)	a	facteur F
19/03/2013	5	28.70	0.83	2.530	0.078
21/03/2013	5	28.70	0.83	2.530	0.078
23/03/2013	5	29.90	0.90	2.619	0.067
04/04/2013	5	27.40	0.76	2.439	0.091
06/04/2013	5	28.30	0.81	2.502	0.081
08/04/2013	5	27.60	0.77	2.452	0.089
10/04/2013	5	29.55	0.88	2.593	0.070
12/04/2013	5	31.10	0.98	2.712	0.057
16/04/2013	5	33.20	1.12	2.885	0.042
18/04/2013	5	31.20	0.98	2.720	0.056
23/04/2013	5	29.20	0.86	2.567	0.073
25/04/2013	5	29.80	0.89	2.611	0.068
minimum	5	27.4	0.76	2.44	0.04
maximum	5	33.2	1.12	2.89	0.09
moyenne	5	29.55	0.88	2.60	0.07

Annexe 6.5 : Valeurs des coefficients d'élimination du bassin de maturation2

Bassin de maturation 2					
Date	temps de séjour (j)	température (°C)	K_{dT} (jour^-1)	a	facteur F
19/03/2013	3	27.90	0.93	2.146	0.147
21/03/2013	3	28.30	0.95	2.169	0.142
23/03/2013	3	32.70	1.29	2.447	0.088
04/04/2013	3	27.50	0.90	2.123	0.153
06/04/2013	3	29.20	1.01	2.222	0.129
08/04/2013	3	28.40	0.96	2.175	0.140
10/04/2013	3	30.04	1.07	2.273	0.119
12/04/2013	3	31.20	1.16	2.347	0.104
16/04/2013	3	34.40	1.44	2.568	0.071
18/04/2013	3	31.10	1.15	2.340	0.106
23/04/2013	3	30.00	1.07	2.270	0.119
25/04/2013	3	29.70	1.05	2.252	0.123
minimum	3	27.5	0.90	2.12	0.07
maximum	3	34.4	1.44	2.57	0.15
moyenne	3	30.04	1.08	2.28	0.12

Annexe 6.6 : Valeurs des coefficients d'élimination du bassin de maturation3

Bassin de maturation 3					
Date	temps de séjour (j)	température (°C)	K_{dT} (jour^-1)	a	facteur F
19/03/2013	3	28.80	0.99	2.198	0.135
21/03/2013	3	27.60	0.91	2.129	0.152
23/03/2013	3	32.30	1.25	2.419	0.092
04/04/2013	3	27.50	0.90	2.123	0.153
06/04/2013	3	28.80	0.99	2.198	0.135
08/04/2013	3	28.20	0.95	2.163	0.143
10/04/2013	3	29.89	1.06	2.264	0.120
12/04/2013	3	31.40	1.18	2.359	0.102
16/04/2013	3	33.70	1.38	2.517	0.078
18/04/2013	3	31.90	1.22	2.393	0.096
23/04/2013	3	29.30	1.02	2.228	0.128
25/04/2013	3	29.30	1.02	2.228	0.128
minimum	3	27.5	0.90	2.12	0.08
maximum	3	33.7	1.38	2.52	0.15
moyenne	3	29.89	1.07	2.27	0.12

ANNEXE 7: NORMES DE L'OMS (1989)

Catégories	Conditions d'utilisation	Groupe exposé	Nématodes intestinaux (nombre d'œuf /L en moyenne arithmétique)	Coliformes intestinaux (nbre/100ml en moyenne géométrique)	Procédé de traitement susceptible d'assurer le qualité microbiologique voulue
A	Irrigation de cultures destinées à être consommées crues, des terrains de sport, des jardins publics.	Ouvriers agricoles, consommateurs, public	≤1	≤ 1000	Une série de bassins de stabilisation conçus de manière à obtenir la qualité microbiologique voulue ou tout autre procédé de traitement équivalent.
B	Irrigation des cultures céréalière, industrielles et fourragères, des pâturages et des plantations d'arbres	Ouvriers agricoles	≤1	Aucune norme n'est recommandée	Rétention en bassin de stabilisation pendant 8-10 jours ou tout autre procédé d'élimination des helminthes et des coliformes intestinaux.
C	Irrigation localisée des cultures de la catégorie B, si les ouvriers agricoles et le public ne sont pas exposés	Néant	Sans objet	Sans objet	Traitement préalable en fonction de la technique d'irrigation mais au moins sédimentation primaire.

Source : CREPA ,2007

ANNEXE 8: NORMES DE REJET DES EAUX USEES DANS LES EAUX DE SURFACES AU BURKINA FASO

Paramètres	Valeurs limites
Température (°C)	18 - 40 °C
Sulfates (mg/l)	600 mg/l
streptocoques fécaux (ufc/100ml)	10000 mg/l
pH	6,4 - 10,5
Paramètres physiques	
Paramètres chimiques	
Paramètres biologiques et bactériologiques	
oxygène dissous (mg/l ou %)	_
organophosphates (mg/l)	5mg/l
nitrites NO2 (mg/l)	1 mg/l
Nitrates NO3 (mg/l)	50 mg/l
MES (mg/l)	200 mg/l
DCO (mgO2/l)	150 mg/l
DBO5 (mgO2/l)	50 mg/l
conductivité électrique (µS/cm)	_
coliformes totaux (ufc/100l)	_
coliformes fécaux (ufc/100ml)	2000 ufc/100ml
chlorures (mg/l)	600 mg/l
Ammonium NH4 (mg/l)	1 mg/l

Source : CREPA, 2007