



**EVALUATION DE LA QUALITE MICROBIOLOGIQUE
DES REJETS DE STATIONS D'EPURATION DE LA VILLE
DE OUAGADOUGOU (BURKINA FASO)**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE
MASTER EN INGÉNIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
SPECIALITE : EAU ET ASSAINISSEMENT
OPTION : QUALITE HYGIENE SECURITE ET ENVIRONNEMENT

Présenté et soutenu publiquement le 02 Février 2021 par :

Sèlomè Karen de Lespérance AGUE (20170446)

**Directeur de Mémoire : Prof. Yacouba KONATE, Enseignant-Chercheur à 2IE Maître de
Conférences, Responsable du Laboratoire Eaux, Hydro-Systèmes et Agriculture (LEHSA), 2iE**

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Dr Seyram K. SOSSOU

Membres et correcteurs : Prof Yacouba KONATE
Dr Boukary SAWADOGO

Promotion [2019/2020]

DEDICACES

*A toi, très chère mère, source inépuisable de courage et modèle de
persévérance !*

REMERCIEMENTS

Avant de rentrer dans le corps de ce travail, il apparaît opportun de remercier tous ceux qui d'une quelconque manière nous ont aidé à son achèvement, et surtout d'avoir fait de ce stage un moment très profitable. Nos remerciements s'adressent principalement :

- A la **Banque Africaine de Développement** (BAD) pour le support financier de notre formation à 2IE ;
- Au **Professeur El Hadji Bamba DIAW**, Directeur Général de notre cher Institut et ses collaborateurs, pour leur dévouement à l'amélioration de la qualité de l'enseignement dispensé ;
- Au **Professeur Yacouba KONATE**, Responsable du LEHSA, d'avoir accepté superviser notre travail de recherche malgré ses nombreuses occupations ;
- Aux Enseignant-Chercheurs, **Dr Boukary SAWADO** et **Dr Seyram SOSSOU** pour leurs conseils et soutien morale au cours du stage ;
- Aux sieurs **Noël TINDOURE** et **Moustapha OUEDRAOGO** pour leur présence constante et leur accompagnement soutenu le long de notre travail au laboratoire ;
- A nos amis **Nana Fassouma ADO SAÏDOU**, **Éric KAKOU** pour leur disponibilité et l'entraide dont ils ont fait preuve ;
- A Marnette, Faousia; Bintou, Mariam, Thozy ; Djibril, Ismaël pour leur aide au cours des prélèvements sur le terrain ;
- A **Ruth KANTHIL LARRE**, **Bénédicte ASSOLOU** et à tous nos camarades de la promotion 2019/2020 pour leur encouragement ;
- A **S. Stéphane Marcel TCHETON** pour sa patience et son soutien inconditionnel durant ses trois années d'étude.

A chacun et à tous, nous adressons nos vifs remerciements !

RESUME

La gestion des eaux usées et excréta occupent une place prépondérante dans l'assainissement des villes et des zones péri-urbaines afin de limiter la pollution des milieux récepteurs et de l'environnement. Cette étude a été menée pour évaluer la qualité microbiologique des rejets des principales stations d'épuration de la ville de Ouagadougou, dont 75% sont des systèmes à lagunage à microphytes et 25% des systèmes à boues activées. Pour y arriver, des prélèvements bihebdomadaires d'échantillons ont été effectués à l'entrée et à la sortie des stations de lagunage à microphytes de Sourgoubila et de Zagtouli traitant les percolâts de boues de vidange, celle de Kossodo traitant les eaux usées domestiques, industrielles et les percolâts de boues de vidange puis et enfin celle à boues activées de l'hôtel Laïco traitant les eaux usées domestiques. L'analyse des échantillons a porté sur des paramètres bactériologique et parasitologique représentés par les indicateurs classiques de contamination fécale (Coliformes fécaux, *E. coli* et Streptocoques fécaux), les bactéries pathogènes (*Salmonella*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Vibrio alginolyticus*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio vulnificus* et *Vibrio cholerae*) et les œufs d'helminthes. Les résultats montrent que les concentrations des influents varient entre 10^3 et 10^7 UFC/100ml pour les coliformes fécaux, entre 10^2 et 10^4 œufs /l pour les œufs d'helminthes et entre $1,10 \cdot 10^4$ et $4,5 \cdot 10^7$ UFC/100 ml pour les bactéries pathogènes. L'élimination des pathogènes, reste très faible voire inexistante avec des rendements parfois négatifs. L'insuffisance des performances épuratoires des indicateurs de contaminations fécales dans toutes les stations d'épuration étudiées s'est traduite par des concentrations résiduelles supérieures à 2000 UFC/100ml qui est la norme recommandée pour un rejet dans le milieu naturel au Burkina Faso. L'amélioration du fonctionnement de ces stations est indispensable pour assurer une meilleure qualité des effluents traités et compatibles avec les normes recommandées.

Mots clés :

1. Effluents
2. Normes de rejet
3. Ouagadougou
4. Qualité microbiologique
5. Station d'épuration

ABSTRACT

The management of wastewater and excreta plays a major role in the sanitation of cities and peri-urban areas so that to prevent the pollution of the environment. This study was carried out to assess the microbiological quality of the discharges from the main wastewater treatment plants in the city of Ouagadougou, consisting of 75% waste stabilization ponds systems and 25% of activated sludge systems To achieve this, bi-weekly samples were taken at the entrance and exit of Sourgoubila and Zagtouli stations, treating faecal sludge percolates, at Kossodo station treating domestic, industrial wastewater and faecal sludge percolates and finally at the Laïco hotel plant, treating domestic wastewater. The analysis of the samples focused on the bacteriological and parasitological parameters represented by the classic indicators of faecal contamination (faecal coliforms, *E. coli* and faecal streptococci), the pathogenic bacteria (*Salmonella*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Vibrio alginolyticus*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio vulnificus* et *Vibrio cholerae*) and helminth eggs. The results show that the influent concentrations vary between 10^3 and 10^7 CFU / 100ml for faecal coliforms; between 10^2 and 10^4 egg/l for parasites then from $1,10 \cdot 10^4$ to $4,5 \cdot 10^7$ CFU/100 ml for pathogenic bacteria. The elimination of pathogenic bacteria remains very low or even non-existent sometimes with negative yield. The inadequate purification performance of fecal contamination indicators in all the wastewater treatment plants studied resulted in higher residual concentration than 2000 CFU / 100ml which is the recommended standard for discharge into the natural environment in Burkina Faso. Improving the operation of these treatment plants is essential to ensure better quality of the effluents treated and they compatibility with the recommended standards.

Key words:

-
1. Effluents
 2. Microbiological quality
 3. Ouagadougou
 4. Rejection standards
 5. Wastewater treatment plants

LISTE DES ABREVIATIONS

2IE	:	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
BA	:	Bassin Anaérobie
BF	:	Bassin Facultatif
BM	:	Bassin de Maturation
BV	:	Boues de Vidange
CF	:	Coliformes Fécaux
DBO	:	Demande Biochimique en Oxygène
DCO	:	Demande Chimique en Oxygène
<i>E. coli</i>	:	Escherichia coli
EH	:	Equivalent-Habitant
EU	:	Eaux Usées
ICF	:	Indicateur de Contamination Fécale
INSD	:	Institut Nationale de la Statistique et de la Démographie
MES	:	Matières En Suspension
NTK	:	Azote Total Kjeldahl
OMS	:	Organisation Mondiale de la Santé
PN-AEUE	:	Programme National d'Assainissement des Eaux Usées et Excréta
PNUE	:	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
PT	:	Phosphore Total
RGPH	:	Recensement Général de la Population et de l'Habitation
SF	:	Streptocoques Fécaux
STEP	:	Station d'Epuration
STBV	:	Station de Traitement des Boues de Vidange
Ulog	:	Unité logarithmique
UFC	:	Unité Formant Colonies
UFP	:	Unité Formant Particules
VIP	:	Ventilated Improved Pit

SOMMAIRE

DEDICACES	i
REMERCIEMENTS.....	ii
RESUME	iii
ABSTRACT	iv
LISTE DES ABREVIATIONS.....	v
SOMMAIRE	vi
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES.....	viii
INTRODUCTION	1
I. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	3
II. MATERIEL ET METHODES	20
III. RESULTATS ET DISCUSSIONS	31
CONCLUSION	55
RECOMMANDATIONS	57
BIBLIOGRAPHIE	58
ANNEXES.....	ix
TABLE DES MATIERES	xviii

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Microorganismes retrouvés dans les eaux usées brutes.....	8
Tableau II : Facteurs influençant la désinfection dans les bassins de lagunage	13
Tableau III : Rendement épuratoire des procédés à boues activées et lagunage à microphytes	14
Tableau IV : Norme de rejet dans le milieu naturel.....	17
Tableau V : Norme de réutilisation des eaux usées traitées (OMS).....	17
Tableau VI : Directive de réutilisation des eaux usées traitées (PNUE)	18
Tableau VII : Caractéristiques géométriques des bassins.....	22
Tableau VIII : Caractéristiques géométriques des bassins	23
Tableau IX : Caractéristiques géométriques des bassins	24
Tableau X : Caractéristiques géométriques des bassins.....	26
Tableau XI : Synthèse des méthodes d'analyse	28
Tableau XII : Débits journaliers des influents	31
Tableau XIII : Concentrations en ICF des eaux usées brutes.....	32
Tableau XIV : Concentrations en germes pathogènes des eaux usées brutes.....	34
Tableau XV : Concentrations en coliphages des eaux usées brutes.....	37
Tableau XVI : Concentration des eaux usées brutes en œufs d'helminthes	38
Tableau XVII : Rendements et Abattements moyens en ICF des différentes stations et les concentrations résiduelles dans les eaux usées traitées	40
Tableau XVIII : Concentration et abattement moyen en pathogènes des effluents traités.....	43
Tableau XIX : Qualité des effluents de quelques STEP	46
Tableau XX : Concentrations en coliphages des effluents traités.....	47
Tableau XXI : Concentrations en parasites des effluents traités	48
Tableau XXII : Concentrations moyennes en Chlorophylle a des eaux usées traitées.....	50

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Exemple d'un système à boues activées	9
Figure 2 : Exemple d'un système de lagunage à microphytes	12
Figure 3 : Volumes d'eaux usées traitées pour l'irrigation agricole (en m ³ /jour).....	15
Figure 4 : Présentation de la zone d'étude.....	21
Figure 5 : Station d'épuration des eaux usées de Kossodo (lagunage à microphytes).....	22
Figure 6 : Station de traitement des percolâts de boues de vidange de Sourgoubila (lagunage à microphytes).....	23
Figure 7 : Station d'épuration des eaux usées de l'hôtel Laïco (Boues activées).....	25
Figure 8 : Station de traitement des percolâts de boues de vidange de Zagtouli (lagunage à microphytes).....	26
Figure 9 : Echantillonnage.....	27
Figure 10 : Evolution temporelle de la concentration en chlorophylle a	50

INTRODUCTION

La gestion durable des ressources en eau est désormais la priorité de tous les acteurs du secteur de l'eau au regard de la vulnérabilité des sources d'eau et de leur importance dans la couverture des besoins humains. Selon le rapport de 2019 du PNUE sur les perspectives des ressources mondiales, l'exploitation des ressources en eau par l'agriculture, les industries et les municipalités a drastiquement augmenté ces dernières décennies, risquant ainsi de provoquer des stress hydriques à certains endroits du globe (WWAP, 2017).

Dans un pays sahélien comme le Burkina Faso, la préservation des ressources en eau est de facto, un sujet primordial qui est au cœur des assises de décision à travers les différents plans et programmes nationaux. En ce qui concerne le volet sur la gestion des eaux usées, une attention particulière est accordée à leur traitement afin de contribuer au bien-être des populations, en limitant la pollution des milieux récepteurs et en favorisant leur réutilisation. Le Programme National d'Assainissement des Eaux Usées et Excréta (PN-AEUE) à l'horizon 2030, est d'ailleurs le document de référence en matière d'assainissement des eaux usées dans une vision de développement durable.

Ainsi, la prise en compte de la nécessité de mieux gérer les eaux usées et les excréta s'est traduite à Ouagadougou au Burkina Faso par la construction et l'exploitation de nombreuses stations d'épuration publiques et privées, destinées à traiter les eaux usées domestiques et/ou industrielles. Il s'agit notamment des stations de traitement des eaux usées par lagunage à microphytes, de stations à boues activées, dont les effluents traités ont diverses finalités à savoir, la réutilisation dans l'agriculture urbaine, l'arrosage des espaces verts, ou le rejet dans le milieu naturel.

Ces efforts consentis avec la construction des stations d'épuration des eaux usées et de traitement de boues de vidange, visent avant tout à atténuer l'impact des rejets urbains par la réduction des flux de polluants qui peuvent constituer un enjeu de santé publique et de protection de l'environnement. Conscient de ces enjeux, le Burkina Faso, à travers le décret n°20151205/PRESTRANS/PM/MERH/MEF/MARHASA/MS/MRA/MICA/MME/M
IDT/MATD du 28 octobre 2015, portant normes et conditions de déversements des eaux usées, travaille à la reconquête de la qualité des écosystèmes et la santé humaine.

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

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

Spécifiquement, il s'agira de :

- Caractériser à partir des indicateurs de qualité bactériologique et parasitologique, les effluents des principales stations d'épuration de la ville de Ouagadougou ;
- Evaluer les performances épuratoires des principales stations d'épuration de la ville de Ouagadougou ;
- Analyser la conformité des effluents traités par rapport aux normes de rejet en vigueur.

Le présent document est structuré en trois grandes parties, hormis l'introduction et la conclusion, dont la synthèse bibliographique, le matériel et les méthodes utilisés puis enfin les résultats et discussions.

I. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Généralités sur les eaux usées

Les eaux usées proviennent de l'usage combiné de l'eau dans les activités ménagères, industrielles, commerciales ou agricoles. Elles comprennent également les ruissellements de surface/eaux pluviales, et tout type de pénétration/d'infiltration dans les égouts (**Tilley et al., 2014**). On peut les classer en trois catégories à savoir, les eaux usées domestiques, les eaux usées industrielles et les eaux pluviales. En dehors de ces catégories standards, il existe également les eaux usées issues de la séparation physique des boues de vidange encore appelées percolât de boues de vidange qui sont souvent traités à part entière ou en co-traitement avec les eaux usées domestiques et/ou industrielles.

I.1.1. Eaux usées domestiques

Elles sont issues de l'utilisation de l'eau (potable dans la majorité des cas) par les particuliers pour satisfaire tous les usages ménagers. Dans une zone d'habitation équipée de systèmes d'assainissement collectif, les eaux usées domestiques se retrouvent dans les égouts. Elles constituent l'essentiel de la pollution et se composent (**Baumont et al., 2005**): des eaux vannes (très chargées en matières organiques hydrocarbonées, en composés azotés et en microorganismes), des eaux usées ménagères (généralement chargées en matières suspension provenant des vaisselle, du lavage des légumes, des substances alimentaires à base de matières organiques, des produits détergents, et produits utilisés pour l'hygiène corporelle).

I.1.2. Eaux usées industrielles

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques et leurs caractéristiques varient d'une industrie à une autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures. Elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. Dans le cas d'un rejet dans le réseau domestique, avec ou sans prétraitement, les effluents industriels peuvent fortement modifier la composition des eaux usées. Cette modification est très étroitement liée à l'activité industrielle concernée et peut prendre des formes variées (**Baumont et al., 2005**).

I.1.3. Eaux pluviales

Les eaux pluviales sont le terme générique employé pour le ruissellement pluvial collecté des toits, des routes et autres surfaces avant qu'il ne se dirige vers les zones basses. Il s'agit de la partie du ruissellement pluvial qui ne s'infiltré pas dans le sol (Tilley *et al.*, 2014).

I.1.4. Percolât des boues de vidange

Le percolât des boues de vidange est la phase liquide qui résulte de la séparation mécanique des boues de vidange à travers des procédés d'épaississement, de filtration sur support physique, etc. Etant donné leur origine, les percolâts sont plus chargés que les effluents urbains et peuvent être traités individuellement ou co-traités avec les eaux usées municipales. Les objectifs de traitement (rejet dans le milieu naturel, réutilisation en agriculture) conditionnent ainsi les technologies et les traitements de la fraction liquide (Tayler, 2018).

I.2. Quelques indicateurs de qualité microbiologique

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes : les bactéries, les virus, les protozoaires et les helminthes (Belaid, 2010). Les germes témoins de contamination fécale sont communément utilisés pour contrôler la qualité relative d'une eau.

1.2.1. Indicateurs de contamination fécale

1.2.1.1. Les Coliformes fécaux

Les coliformes fécaux, ou coliformes thermo-tolérants, sont un sous-groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44,5 °C. Ces bactéries vivent dans l'intestin humain et animal, mais ils sont également trouvés dans les eaux usées et les sources d'eau naturelles (Naidoo et Olaniran, 2014). L'intérêt de la détection de ces coliformes, à titre d'organismes indicateurs, réside dans le fait que leur persistance dans l'environnement correspond généralement à celle des bactéries pathogènes. *Escherichia coli*, bactérie appartenant au groupe des coliformes fécaux, est généralement considéré comme l'un des premiers micro-organismes de choix dans les programmes de surveillance de la qualité de l'eau et sert d'indicateur principal pour l'eau contaminée par des matières fécales en raison de sa prévalence dans l'intestin des animaux à sang chaud ainsi que dans les excréments humains.

1.2.1.2. Les Streptocoques fécaux

Selon **Naidoo et Olaniran (2014)**, les streptocoques fécaux font partie du groupe traditionnel d'indicateur de la pollution fécale et sont définis comme des cocci Gram positifs, catalase négatifs et non sporulés qui poussent à 35°C. On les trouve dans les intestins humains et animaux, mais certaines espèces habitent également des environnements terrestres et des produits animaux tels que le lait, le fromage et la viande. Ils sont généralement la preuve d'une contamination fécale ancienne.

1.2.2. Les bactéries pathogènes

1.2.2.1. Les salmonelles

Les salmonelles peuvent être présentes dans tous les types d'aliments produits dans un environnement exposé à la pollution fécale ; elles sont souvent isolées dans la volaille, le bétail et les aliments préparés à partir de ces animaux et peuvent ainsi se retrouver dans les eaux usées des abattoirs et par conséquent dans les stations d'épuration. D'après **Macdonald et Ernst (1986)**, l'occurrence des salmonelles dans les effluents d'une STEP de lagunage serait attribuable à la présence des oiseaux connus pour posséder des salmonelles dans leur tractus digestif. Les travaux de **Emparanza-Knoerr et Torrella (1993)** rapportent des concentrations en salmonelles allant jusqu'à 10^3 NPP/100ml dans les effluents d'une STEP surchargée et concluent une faible élimination de ces derniers voire, leur multiplication dans les systèmes de lagunage.

1.2.2.2. *Pseudomonas aeruginosa*

L'Agence Nationale Française de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (2010), rapporte que *Pseudomonas aeruginosa* sous forme libre, semble peu compétitif dans les sols mais montre un certain tropisme pour les milieux hydriques. Ainsi, *P. aeruginosa* est associé aux canalisations de nature variée constituant les réseaux d'eaux de distribution publique (EDP) et d'eaux usées, à la robinetterie et aux siphons. Plusieurs études ont montré la présence possible de *P. aeruginosa* dans des légumes. C'est le cas notamment de salades qui après lavage peuvent présenter des concentrations en *P. aeruginosa* supérieures à 10^3 UFC/g (**ANSES, 2010**). Quant à son élimination dans les systèmes de lagunage, **Nascimento et al. (1991)** rapportent que *Pseudomonas aeruginosa*, est moins éliminée que les coliformes et streptocoques fécaux.

I.2.2.3. Les vibrions

Le genre bactérien *Vibrio* fait partie des bactéries autochtones du milieu marin, saprophytes, hétérotrophes et ubiquistes et rassemble des espèces halotolérantes dont la croissance n'est pas inhibée par la présence de fortes concentrations de sel (**Boufercha et Benmalek, 2017**). **Eddabra (2011)**, a rapporté que *V. parahaemolyticus*, *V. alginolyticus*, *V. vulnificus*, *V. fluvialis* et *V. metschnikovii* sont des espèces potentiellement pathogènes pour l'homme en dehors de *V. cholerae* dont la dangerosité pour l'homme n'est plus méconnue. Les vibrions sont excrétés (10^7 à 10^8 vibrions/ml) dans les selles par les porteurs symptomatiques et asymptomatiques et se retrouvent ainsi dans les eaux usées.

Il faut noter que *Vibrio cholerae* des sérogroupes O1 et O139 sont les agents responsables de choléra épidémique mais possède des souches non responsables que sont *Vibrio cholerae* non O1 et non O139 (**Boufercha et Benmalek, 2017**). Plusieurs procédés dont le lagunage permettent de les éliminer dans les eaux usées. Cependant certains auteurs révèlent que *V. cholerae* a tendance à se multiplier dans les bassins de lagunage. **Mezrioui et al. (1994 ; 1995)**, rapportent que les fortes valeurs de pH, de température et d'algues (notamment les cyanobactéries) caractéristiques de l'activité estivale des bassins de lagunage, n'ont pas d'effet notable sur l'élimination de *V. cholerae*.

I.2.3. Les virus dans les eaux usées

I.2.3.1. Les coliphages

Les coliphages appartiennent au grand groupe des bactériophages fécaux, qui sont des virus capables d'infecter les bactéries entériques (**Hartard, 2017**). Il existe deux types de coliphages à savoir, les coliphages somatiques et les coliphages F-spécifiques (aussi appelés mâles-spécifiques). Ce sont des virus des coliformes qui peuvent être détectés de façon spécifique sur la bactérie *Escherichia coli*. Bien qu'ils partagent des caractéristiques morphologiques avec certains virus animaux, les coliphages ne sont pas pathogènes pour l'homme et les animaux. (**Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2015**)

Les coliphages sont généralement trouvés dans l'intestin et sont excrétés dans les fèces des humains et d'autres animaux à sang chauds. Ils sont présents en grand nombre dans les eaux usées (environ 10^7 UFP/ml) et ont été étudiés pendant des années comme les indicateurs viraux possibles de la contamination fécale.

Plusieurs souches hôtes de bactéries sont utilisées pour l'énumération des coliphages à savoir *E.coli* Famp et *Salmonella enterica* serovar *Typhimurium* WG49 (U.S. EPA, 2015).

Plusieurs études sur l'élimination des coliphages dans les bassins de lagunage ont montré qu'ils sont plus résistants que les coliformes et Streptocoques fécaux (Castillo et Trumper, 1991). Les expériences de Davies-Colley *et al.* (1997 ; 1999) concluent que les paramètres physico-chimiques (pH, oxygène dissous, température, matière en suspension) peuvent influencer l'action du rayonnement solaire sur les phages et par conséquent sur plusieurs pathogènes viraux.

1.2.4. Parasites : Œufs d'helminthes et kystes de protozoaires

La pollution parasitaire des eaux usées résulte de leur concentration en helminthes et protozoaires excrétés par les hommes ou les animaux. La concentration en œufs d'helminthes dans les eaux usées est de l'ordre de 10 à 10³ œufs par litre. On peut citer, notamment, *Ascaris lombricoïdes*, *Oxyuris vermicularis*, *Trichuris trichuria*, *Taenia saginata* (Benelmouaz, 2015). Les concentrations et les variétés d'œufs retrouvées sont fonction de divers facteurs climatiques, socio-économiques et démographiques. Dans les eaux douces et les eaux usées, la persistance de certains œufs comme les œufs d'*Ascaris* est évaluée de quelques mois à plus d'une année.

Evaluation de la qualité microbiologique des rejets des stations d'épuration de la ville de Ouagadougou (Burkina Faso)

Le tableau I ci-dessous présente quelques espèces de microorganismes pathogènes à l'homme, retrouvées dans les eaux usées.

Tableau I : Microorganismes retrouvés dans les eaux usées brutes

Organismes	Nombres d'organismes par litre
Bactéries	
Coliformes thermotolérants	10^8-10^{10}
<i>Campylobacter jejuni</i>	$10-10^4$
<i>Salmonella</i> spp.	$1-10^5$
<i>Shigella</i> spp.	$10-10^4$
<i>Vibrio cholerae</i>	10^2-10^5
Helminthes	
<i>Ascaris lumbricoides</i>	$1-10^3$
<i>Ancylostoma duodenale/Necator americanus</i>	$1-10^3$
<i>Trichuris trichiura</i>	$1-10^2$
Protozoaires	
<i>Cryptosporidium parvum</i>	$1-10^4$
<i>Entamoeba histolytica</i>	$1-10^2$
<i>Giardia intestinalis</i>	10^2-10^5
Virus	
Virus entériques	10^5-10^6
Rotavirus	10^2-10^5

Source (OMS, 2012)

I.3. Procédés biologiques de traitement des eaux usées

Plusieurs technologies sont de nos jours mises en place pour faciliter la réutilisation des eaux usées et par la même occasion préserver les milieux récepteurs. Ces technologies comprennent en fonction des caractéristiques des eaux usées brutes à traiter : un prétraitement, un traitement primaire, un traitement secondaire/biologique et éventuellement un traitement tertiaire.

I.3.1. Système à boues activées

Le principe de fonctionnement d'un système à boues activées repose sur des micro-organismes aérobies agglomérés en flocons de boues (d'où l'expression « boues activées »), qui dégradent la matière organique en la transformant en matière minérale (Cardot, 2001). Dans ce type de procédé d'épuration, le traitement biologique se réalise dans un bassin d'aération dans lequel est maintenu en suspension un mélange eaux usées - bactéries aérobies, appelé « liqueur mixte ». Les phénomènes mis en jeu sont donc les mêmes que ceux que l'on peut observer dans une rivière ou dans un lac, à la différence que les micro-organismes sont concentrés en très grand nombre dans un espace réduit (le bassin d'activation). L'apport d'oxygène et le brassage du mélange « eaux usées - bactéries » sont assurés par des systèmes mécaniques d'insufflateur d'air. Les microorganismes qui dégradent la pollution s'agglomèrent entre eux et forment un floc décantable, qui est ensuite séparé de l'eau dans un clarificateur. La pollution ainsi traitée est transformée en matière plus concentrée et décantable, les boues. Ces boues sont piégées dans les ouvrages au niveau des clarificateurs. Riches en matière organique, les boues doivent être stabilisées, c'est à dire transformées, au moins partiellement, en matière minérale. La figure 1 présente la configuration classique d'un système à boues activées (Nguyen, 2014).

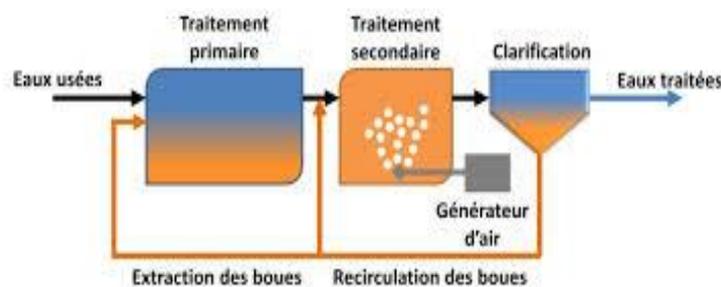


Figure 1 : Exemple d'un système à boues activées

I.3.1.1. Bassin d'aération

Les bassins d'aération sont les réacteurs biologiques, dans lesquels s'effectue la transformation de la matière organique par les microorganismes. La pollution dissoute est transformée en gaz et biomasse, ces bassins sont équipés de dispositif d'oxygénation et de brassage. Les systèmes d'aération ont deux fonctions importantes à remplir.

- Introduire une quantité d'oxygène, nécessaire à la satisfaction des besoins de la masse bactérienne ;
- Brasser la suspension de boues activées pour en assurer l'homogénéité et éviter les dépôts.

I.3.1.2. Clarificateur

Le bon fonctionnement d'une station d'épuration par boues activées exige de bien séparer l'eau traitée de la masse de boue activée de manière à produire un effluent clarifié conforme aux normes de rejet. Cette séparation solide-liquide est traditionnellement réalisée par sédimentation gravitaire dans un décanteur secondaire ou clarificateur, même si d'autres procédés, tels que la flottation sont également applicable (mais plus coûteux). Le clarificateur est un composant fondamental d'un système à boues activées. Il doit combiner trois fonctions :

- **Fonction de clarification** : produire un effluent final clarifié dont la teneur en matière en suspension est généralement inférieure à 20 - 30 mg/l, soit un rendement de séparation supérieure à 98 % ;
- **Fonction d'épaississement** : produire un débit continu de boue concentrée pour les recirculer dans le réacteur biologique et assurer le maintien de la consigne en MES de celui-ci ;
- **Fonction de stockage** : stocker la masse de boue supplémentaire générée par une surcharge hydraulique momentanée (en temps de pluie notamment).

En cas d'échec de l'une de ces trois fonctions, les matières en suspension vont s'évacuer avec l'eau de sortie comme double conséquence : détérioration de la qualité de l'eau traitée en MES et corrélativement les contaminants microbiologiques qui peuvent s'y adsorber, mais aussi en DCO, DBO, NTK et PT. De plus il existe le risque de dégradation du fonctionnement biologique par réduction incontrôlée de la concentration en boue (**Boudhane et Ahmed Ammar, 2016**).

I.3.2. Système de lagunage à microphytes

Le système de lagunage à microphytes s'appuie sur des processus d'autoépuration naturels à partir des algues microscopiques. Les microorganismes dégradent la matière organique en la transformant en éléments minéraux indispensables à leur survie. Le traitement des eaux usées par lagunage se constitue de bassins consécutifs à travers lesquels passent les eaux de façon gravitaire et en respectant un certain temps de séjour. Habituellement, le premier étang de la série est un étang anaérobie et le second est un étang facultatif. Ceux-ci peuvent être suivis d'étangs de maturation, mais cela dépend de la qualité de l'effluent final requise ; qui à son tour dépend de l'utilisation ultérieure (**Peña et Mara, 2004**).

➤ **Bassin anaérobie**

Les étangs anaérobies sont caractérisés par un manque d'oxygène dissous causé par une forte charge en DBO₅ (100-400 g/m³/jour) et les solides en suspension s'y déposent. Un des résultats de la dégradation anaérobie des eaux usées est la production de biogaz comprenant entre autres du CO₂, de l'hydrogène sulfuré (H₂S) et du méthane (CH₄) qui s'échappent vers la surface sous forme de bulles. Typiquement, ces lagunes ont une profondeur de 2 à 5 m et le temps de séjour de l'effluent y est de 3 à 5 jours. Ils reçoivent des effluents bruts et mènent à des réductions de la DBO₅ de 40 à 60 % et des solides en suspension de 50 à 70 %. En général, on n'y trouve pas de micro-algues à cause des conditions défavorables à leur croissance (**Tarmoul, 2007**).

➤ **Bassin facultatif**

D'une profondeur de 1 à 2 m et un temps de séjour de 4 à 6 jours, ces étangs fonctionnent dans des conditions, telle que la partie supérieure entretient un milieu aérobie, riche en algues et en micro-organismes aérobies, alors que le fond, couvert de sédiments organiques, est le siège de fermentation anaérobie ; entre ces deux zones règne un milieu de transition favorable aux bactéries facultatives. Les fermentations benthiques donnent lieu à un dégagement de méthane (CH₄), de dioxyde de carbone (CO₂), d'hydrogène sulfuré (H₂S) et d'ammoniac, ainsi que de composés organiques de faible masse moléculaire (**Tarmoul, 2007**).

➤ **Bassin de maturation**

Les bassins de maturation sont la dernière destination des eaux usées avant leur rejet. Leur principale fonction est l'élimination des bactéries pathogènes et des nutriments. Leur nombre dépend de la qualité bactériologique requise de l'effluent final. Ils sont moins profonds que les étangs facultatifs avec une profondeur optimale comprise entre 1 et 1,5m. En raison des charges organiques inférieures reçues par les bassins de maturation, ils sont bien oxygénés sur toute leur profondeur. Les populations d'algues sont beaucoup plus diversifiées que celles des étangs facultatifs; la diversité des algues augmente d'un étang à l'autre, le long de la série (**Peña et Mara, 2004**).

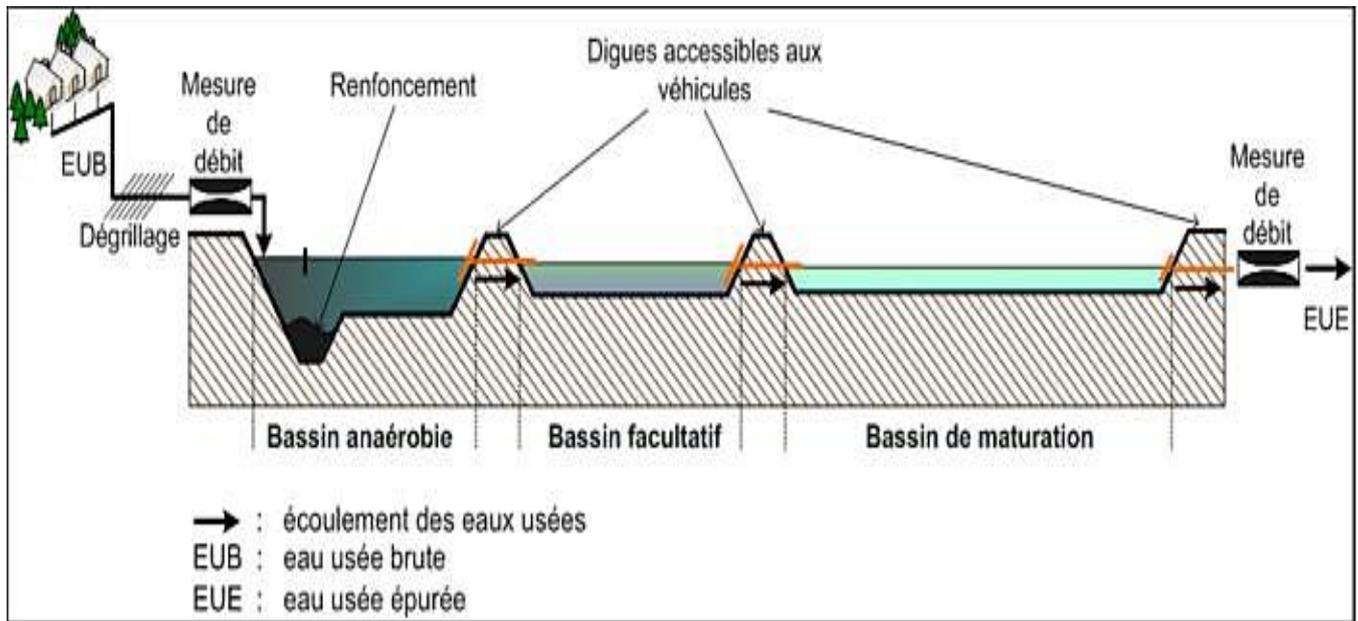


Figure 2 : Exemple d'un système de lagunage à microphytes

I.3.2.1. Paramètres influençant la désinfection naturelle dans les bassins de lagunage

De nombreux paramètres affectent l'activité globale des bassins de lagunage. Ceux-ci peuvent être intrinsèques ou extrinsèques (conditions environnementales) et interviennent dans le fonctionnement et la performance du système de traitement. A cet effet, **Von Sperling (2007)** et **Mara (2004)**, rapportent que les fortes valeurs de température, de pH, d'oxygène dissous et une intensité lumineuse suffisante, contribueraient à l'élimination des bactéries, des virus, des kystes de protozoaires et œufs d'helminthes dans les systèmes de lagunage à microphytes.

Le tableau II ci-dessous résume les facteurs qui influencent la désinfection dans les bassins de lagunage à microphytes.

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

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 hydraulique	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) Décantation de complexes particules agents infectieux	H	A, F, M
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

Source : (Davies-Colley, 2000)

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

I.4. Performances de désinfection des procédés à boues activées et lagunage à microphytes

Selon les données de la littérature, la différence fondamentale dans leur capacité de désinfection microbiologique est que le lagunage effectue mieux l'élimination des pathogènes et des ICF que le système à boues activées. C'est d'ailleurs ce que révèle les travaux de **Phuntsho et al., (s. d.)** en montrant que le système de lagunage naturel est efficace pour l'élimination des coliformes fécaux, virus et œufs d'helminthes comparativement au système de boues activées.

Tableau III : Rendement épuratoire des procédés à boues activées et lagunage à microphytes

Organismes	Paramètres	Boues activées	Bassins de lagunage TS min = 25 jours
<i>Escherichia coli</i>	Rendement épuratoire %	90 – 95	99,99 - 100
	Effluent final	Contaminé	-
Coliformes fécaux ^a	Rendement épuratoire %	90 - 98	> 99
	Effluent final	-	-
<i>Salmonella</i>	Rendement épuratoire %	90 – 99	99,99 - 100
	Effluent final	Contaminé	-
<i>Vibrio cholerae</i>	Rendement épuratoire %	90 – 95	100
	Effluent final	Contaminé	-
Virus entériques	Rendement épuratoire %	90 – 99	99,99 - 100
	Effluent final	Contaminé	-
Œuf d' <i>Ankylostome</i>	Rendement épuratoire %	50- 90	100
	Effluent final	Contaminé	-
Œuf d' <i>Ascaris</i>	Rendement épuratoire %	70 - 100	100
	Effluent final	Contaminé	-
Œuf de <i>Schistosoma</i>	Rendement épuratoire %	50 - 99	100
	Effluent final	Exempt	-
Œuf de <i>Taenia</i>	Rendement épuratoire %	50- 90	100
	Effluent final	Contaminé	-

Adapté de (Feacham et al., 1983)

I.5. Réutilisation des eaux usées traitées

I.5.1. Au niveau mondial

Les usages les plus fréquents dans lesquels interviennent les eaux usées traitées comprennent entre autres :

- L'irrigation de jardins publics, de centres de loisirs, de terrains de sport, de cours d'école et de terrains de jeu (terrain de golf) ;
- L'irrigation des espaces paysagers, les activités d'entretien général ;
- Les installations de lavage de véhicules, le service de blanchisserie, le nettoyage des vitres ;
- L'aménagement des installations aquatiques décoratives telles que les fontaines, les bassins réfléchissants (WWAP, 2017) ;
- La pisciculture ; l'irrigation agricole.

La figure 2 illustre la carte de réutilisation agricole des eaux usées traitées au niveau mondial.

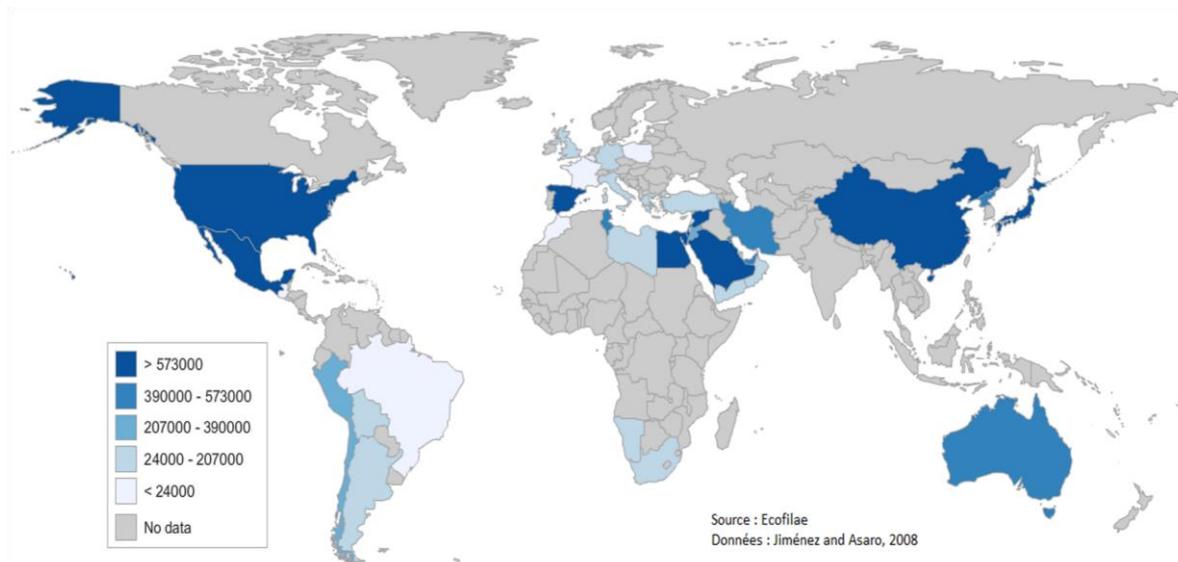


Figure 3 : Volumes d'eaux usées traitées pour l'irrigation agricole (en m³/jour)

Source : (Catherinot, 2013)

Bien qu'il y ait une bonne partie de l'Afrique, de l'Europe et de l'Amérique du Nord dont les données ne sont pas disponibles, on note quand même des pays qui franchissent le seuil des 573 000 m³/jour.

Ceci révèle ainsi la nécessité de la valorisation des eaux usées traitées comme ressources alternatives dans un contexte de changements climatiques globaux traduits par l'irrégularité des pluies et la raréfaction des ressources en eau.

I.5.2. Au Burkina Faso

La principale utilisation faite des eaux usées traitées au Burkina Faso et spécialement à Ouagadougou demeure l'agriculture urbaine. Selon le document d'orientation politique sur l'agriculture urbaine à Ouagadougou, du RUAF (Resource centre on Urban Agriculture & Forestry (RUAF)) en 2016, l'activité maraîchère est généralement développée autour des ressources naturelles en eau (marigots temporaires ou permanents), des sources d'eau aménagées (barrages, canalisations, rigoles) et des sources d'eaux usées domestiques ou industrielles. Le rapport final du programme « Gestion durable des déchets et de l'assainissement urbain », révèle d'ailleurs que les volumes d'eaux usées brutes et traitées utilisés sur les principaux sites maraichers de la ville de Ouagadougou (Boulmiougou et Tanghin) sont estimés à 30m³/j (Maïga et al., 2002).

I.6. Cadre institutionnel, réglementaire et normatif de la gestion des eaux usées au Burkina Faso

La première politique et stratégie en matière d'assainissement au Burkina Faso a été adoptée en 2007 et avait pour objectif de contribuer au développement durable en apportant des solutions appropriées aux problèmes liés à l'assainissement. Afin d'accentuer davantage les efforts dans ce sens, il a été mis en œuvre en 2015 le Programme National d'Assainissement des Eaux Usées et Excrétas (PN-AEUE) qui est depuis lors le document de référence pour toute question liée à la gestion des eaux usées et excréta. Et comme dans la plupart des pays la gestion des eaux usées est régie par une norme fixant les seuils des polluants dans les eaux lors de leur rejet dans le milieu naturel, le Burkina a également fixé des valeurs limites pour certains paramètres polluants à travers un décret.

Ceux relatifs aux paramètres microbiologiques présentés dans le tableau IV, sont extraits du décret N°20151205/PRESTRANS/PM/MERH/MEF/MARHASA/MS/MRA/MICA/MME/MIDT/MATD du 28 octobre 2015, *portant normes et conditions de déversements des eaux usées au Burkina Faso*.

Tableau IV : Norme de rejet dans le milieu naturel

Paramètres	Valeurs limites
Coliformes fécaux	2000 UFC/100ml
Salmonelles	0 UFC/1000ml
Streptocoques fécaux	2000 UFC/100ml

Source : (MERH, 2015)

Ainsi les coliformes fécaux sont tolérables à raison de 2000 UFC/100ml de même que les streptocoques fécaux. Pour les salmonelles, il est recommandé 0 UFC/ 1l. Du reste, la norme à son article 14 stipule que les conditions de déversement des eaux usées pour la revalorisation agricole sont celles prévues par les Directives de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

I.7. Recommandations de l'OMS

En se référant à la directive de l'OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères, dont sont extraites les valeurs présentées dans le tableau V ci-dessous, il est recommandé des valeurs respectives d'un œuf d'helminthe par litre et 10^3 UFC par 100ml pour *E. coli*. Il est à noter que ces valeurs sont recommandées dans le cadre d'une réutilisation agricole sans restriction.

Tableau V : Norme de réutilisation des eaux usées traitées (OMS)

Eaux ménagères destinées à :	Œufs d'helminthes (nombre par litre)	<i>E. coli</i> (nombre pour 100 ml)
L'irrigation restreinte	<1/litre	< 10^{5a} < 10^6 admis en cas d'exposition limitée ou de recroissance probable
L'irrigation sans restriction de produits consommés crus	<1/litre	< 10^3 < 10^4 admis dans le cas de plantes à feuilles hautes ou d'irrigation goutte à goutte

^a Ces valeurs sont acceptables en raison du fort potentiel de recroissance de *E. coli* et d'autres coliformes fécaux dans les eaux ménagères.

Source : (OMS, 2012)

I.8. Recommandations du PNUE

Comme le présente le tableau VI ci-dessous, le PNUE préconise que pour une utilisation des eaux usées traitées dans l'arrosage des espaces verts, il est recommandé conjointement une concentration inférieure ou égale à 200 UFC/100ml et 0,1 œuf / litre respectivement pour les coliformes fécaux (ou *E. coli*) et les œufs d'helminthes.

Tableau VI : Directive de réutilisation des eaux usées traitées (PNUE)

Catégorie d'eau	Critères de qualité	
	Microbiologiques	
	Nématodes intestinaux ^(a) (nombre d'œufs par litre)	CF oo <i>E. coli</i> ^(b) (ufc/100 ml)
Catégorie I		
a) Réutilisation à des fins résidentielles : arrosage de jardins privés, chasse d'eau des toilettes, lavage de véhicules.	≤ 0,1(h)	≤ 200 (d)
b) Réutilisation à des fins urbaines : irrigation d'espaces à libre accès (ceintures vertes, parcs, terrains de golf, terrains de sport), nettoyage des rues, lutte anti-incendie, fontaines et autres aménagements de loisir.		
c) retenues d'eau paysagères et récréatives, masses d'eau et cours d'eau aménagés à des fins récréatives où un contact occasionnel du public avec l'eau est permis (à l'exception de la baignade).		

Source : (PNUE, 2005)

Evaluation de la qualité microbiologique des rejets des stations d'épuration de la ville de Ouagadougou (Burkina Faso)

- (a) Espèces *Ascaris* et *Trichuris* et ankylostomes ; la limite des lignes directrices est aussi destinée à protéger contre les risques provenant des parasites protozoaires ;
- (b) CF ou *E. coli* (ucf/100mL) : coliformes fécaux ou *Escherichia coli* (ufc: unité formant colonie/100 ml). Cet indicateur devrait être surveillé de préférence une fois par semaine, ou au minimum une fois par mois ;
- (d) Les valeurs doivent être conformes dans 80% des échantillons par mois ; nombre minimal de 5 échantillons
- (h) La valeur guide de $\leq 0,1$ œuf de nématode/l est un critère de référence qui, une fois vérifié, ne nécessite pas de surveillance régulière.

II. MATERIEL ET METHODES

L'étude s'est déroulée au cœur de la ville de Ouagadougou, capitale du Burkina Faso et a porté sur deux stations d'épuration des eaux usées et deux stations de traitement des percolâts de boues de vidange. Le but de cette partie, est de présenter les outils et les approches méthodologiques ayant conduit aux résultats obtenus.

II.1. Démarche méthodologique générale de l'étude

La démarche adoptée dans le cadre de cette étude a porté sur les aspects suivants :

- **La recherche documentaire :** elle a permis de faire l'état de l'art des technologies d'épuration biologique des eaux usées, des germes qu'on y retrouve ainsi que des normes qui régissent leur rejet dans le milieu naturel ;
- **Les prélèvements sur le terrain :** ils ont consisté à échantillonner les quatre stations étudiées ;
- **Les analyses en laboratoire :** Elles ont consisté à rechercher les germes contenus dans les échantillons prélevés au Laboratoire Eaux Hydro-Systèmes et Agriculture de 2IE ;
- **Le traitement des données :** le pack office, les logiciels QGIS, Google Earth, Google Map, nous ont aidés à traiter et à synthétiser nos résultats.

II.2. Présentation de la zone d'étude et des stations étudiées

La commune de Ouagadougou (figure 3), est limitée au nord par les communes rurales de Pabré et de Loumbila, à l'est par celle de Saaba, au sud par celles de Koubri et de Komsilga et enfin à l'ouest par la commune rurale de Tanghin-Dassouri et la commune de Sourgoubila. La population de la ville de Ouagadougou est estimée à environ 2,5 millions d'habitants d'après le dernier RGPH (2019) répartie sur une superficie de 518 km² avec une densité de 2 847,9 habitants/km². La commune de Ouagadougou est soumise à deux saisons : une saison des pluies qui s'étale de mai à septembre où la pluviométrie moyenne annuelle est de 700 mm et une saison sèche qui dure d'octobre à avril. Les températures minimales moyennes varient de 17,4°C en Janvier à 27,2°C en Avril, tandis que les températures maximales moyennes varient de 31,4°C en Aout à 39,8°C Avril, ce qui conditionne une évaporation assez importante des cours et plans d'eau. L'évapotranspiration est évaluée à 2000 mm/an (EDE/EEA, 2014).

Evaluation de la qualité microbiologique des rejets des stations d'épuration de la ville de Ouagadougou (Burkina Faso)

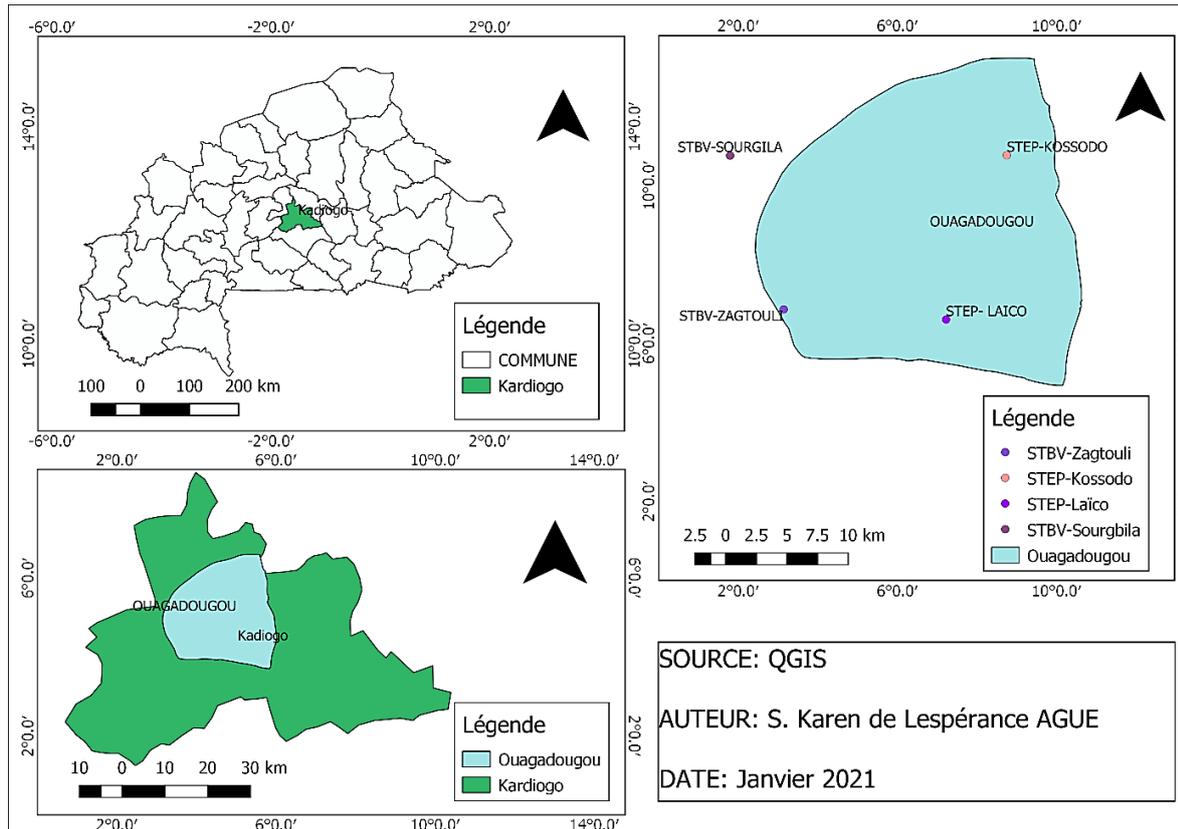


Figure 4 : Présentation de la zone d'étude

II.2.1 Station d'épuration des eaux usées de Kossodo

Située au secteur 41, la STEP de Kossodo a été construite en 2003 et mise en service en 2004 sur une superficie totale de 10 ha et elle a une capacité de traitement estimée à 140000 équivalents habitants (EH) avec un volume total d'environ 180000 m³. Par ailleurs, une superficie de 11 ha a été également aménagée pour une irrigation en aval (**Zongo, 2013**). Elle est composée des ouvrages suivants :

- Une bêche de relevage ;
- Un canal répartiteur ;
- Trois bassins anaérobies (BA) en parallèle ;
- Deux bassins facultatifs (BF) en parallèle ;
- Trois bassins de maturation (BM) en séries ;
- Des lits de séchage des boues ;
- Des installations annexes dont le laboratoire, les bâtiments administratifs et les latrines.
- Une canalisation de rejet qui draine l'eau usée traitée vers les sites maraichers ;

II.2.1.1. Origine et composition des eaux usées

A son démarrage, les eaux usées reçues par la STEP provenaient essentiellement de la brasserie du Burkina Faso (BRAKINA), de l'abattoir, de l'hôpital Yalgado le centre urbain et de quelques hôtels. Les travaux d'extensions du réseau d'égout ont permis par la suite de raccorder les zones de Paspanga situées autour de la Gendarmerie, la partie nord-ouest de l'Hopital Yalgado, la zone de l'Université Joseph KI-ZERBO, la zone du Bois, la zone de la MACO et une partie du quartier Zogona. Il faut noter que la STEP reçoit également le percolât de la STBV de Kossodo. En fonction de leurs origines ces eaux subissent des prétraitements sur site notamment pour les eaux usées industrielles avant leur rejet dans le réseau d'égout. Le tableau VII présente les caractéristiques géométriques des bassins de la STEP de Kossodo.

Tableau VII : Caractéristiques géométriques des bassins

Désignation	Surface (m ²)		Profondeur (m)		Volume (m ³)	Temps de séjour
	Fond	Crête	Bassin	Eau	Eau	
Bassins anaérobies	1681	4082	4,70	4,00	18600	03
Bassins facultatifs	27025	31940	2,50	1,80	103000	16
Bassin de maturation 1	12524	16166	2,70	1,20	27000	05
Bassin de maturation 2	5964	8529	2,70	1,20	6850	03
Bassin de maturation 3	5964	8529	2,70	1,20	6850	03

Source : (Zongo, 2013)



Figure 5 : Station d'épuration des eaux usées de Kossodo (lagunage à microphytes)

II.2.2 Station de traitement des boues de vidange de Sourgoubila

Inaugurée en Novembre 2016, la Station de Traitement des Boues de Vidange (STBV) de Sourgoubila est destinée à recevoir et traiter les boues de vidange de la commune afin de contribuer à la réduction du dépotage sauvage. Elle est située dans la commune rurale de Sourgoubila, non loin du village de Gonsin, à 5 km de la sortie nord de Ouagadougou. La station comprend les ouvrages suivants :

- Un bloc administratif ;
- Un pont bascule ;
- Une plateforme de 40 lits ;
- Une série de bassins de lagunage pour le traitement des percolâts.

Le tableau VIII présente les caractéristique géométriques des bassins de lagunage de la station de Sourgoubila.

Tableau VIII : Caractéristiques géométriques des bassins

	Profondeur (m)	Surface radier (m ²)	Volume (m ³)	Temps de séjour (jours)
<i>Bassin anaérobie</i>	2,5	36,4	302	2
<i>Bassin facultatif</i>	1,5	1168,75	1574	11
<i>Bassin de maturation</i>	1,5	518	432	3
Total				16

Source : (EDE/EEA, 2014)



Figure 6 : Station de traitement des percolâts de boues de vidange de Sourgoubila (lagunage à microphytes)

II.2.3 Station d'épuration des eaux usées de l'hôtel Laïco

L'Hôtel Laïco est un complexe hôtelier du groupe Lybia, situé au quartier résidentiel Ouaga 2000. L'hôtel est composé de 210 chambres, 11 suites, 10 villas, 3 restaurants, 3 bars piscine extérieure, Centre de remise en forme, Business center, 4 salles de réunion (jusqu' à 800 places) etc. La station de l'hôtel, un système à boues activées, collecte l'ensemble des eaux usées provenant des toilettes, des douches, de la cuisine et de tout autre installation sanitaire produisant des eaux usées, pour leur traitement. Elle comprend les ouvrages suivants :

- Une bêche de relevage ;
- Un dégrilleur ;
- Un bac dégraisseur ;
- Un bassin d'aération ;
- Deux clarificateurs en parallèle ;
- Un local de désinfection hors service (désinfection au chlore) ;
- Un bassin de stockage.

Le tableau IX présente les caractéristiques géométriques des ouvrages principaux du système de traitement à boues activées de l'hôtel Laïco

Tableau IX : Caractéristiques géométriques des bassins

	<i>Longueur (m)</i>	<i>Largeur (m)</i>	<i>Diamètre (m)</i>	<i>Profondeur (m)</i>	
				Eau	Total
<i>Bassin d'aération</i>	12,3	7	-	2,50	3,20
<i>Clarificateur 1</i>	-	-	6	4,10	4,80
<i>Clarificateur 2</i>	-	-	6	4,10	4,80



Figure 7 : Station d'épuration des eaux usées de l'hôtel Laïco (Boues activées)

II.2.4. Station de traitement des boues de vidange de Zagtouli

La STBV est localisée dans la commune rurale de Zagtouli, une zone péri-urbaine située à l'Ouest de la capitale. C'est le deuxième site de traitement de boues de vidange de la ville de Ouagadougou. La STBV a été dimensionnée pour des capacités respectives de 125 m³/J à l'horizon 2010 et 250 m³/J à l'horizon 2020. La station reçoit des boues provenant des ouvrages d'assainissement autonome à savoir les fosses septiques, les toilettes traditionnelles et VIP (Ouedraogo, 2016). Elle est composée :

- D'une plateforme de 96 lits en béton muni chacun d'un dégrilleur et permettant un déversement direct des boues ;
- De voies d'accès pour les camions ;
- D'un pont-bascule permettant de peser les camions vidange à l'entrée de la station ;
- D'un bâtiment de service ;
- D'une aire de stockage permettant l'entreposage des boues séchées ;
- D'un réseau de collecteurs qui assure le drainage du percolât vers une série de bassins de lagunage pour son traitement.

Evaluation de la qualité microbiologique des rejets des stations d'épuration de la ville de Ouagadougou (Burkina Faso)

Le tableau X ci-dessous présente les dimensions des bassins de lagunage de la station.

Tableau X : Caractéristiques géométriques des bassins

	Profondeur (m)	Surface (m ²)	Volume (m ³)	Temps de séjour (jours)
<i>Bassin anaérobie</i>	2.5	180	450	3
<i>Bassin facultatif</i>	1.5	1500	220	14
<i>Bassin de maturation</i>	1	450	450	3
Total			3150	20

Source : (Tinto, 2016)



Figure 8 : Station de traitement des percolâts de boues de vidange de Zagtouli (lagunage à microphytes)

II.3. Echantillonnage

Les prélèvements ont été opérés sur les diverses stations à raison de deux fois, par semaine sur une période de trois mois (du 20 juillet au 26 Octobre 2020). Les points d'échantillonnage sont les entrée et sortie des différentes stations étudiées. Les échantillons d'eau ont été prélevés à l'aide d'une canne (comme illustré sur la figure 4), dans des flacons stériles en verre borosilicatés de 500 ml pour les paramètres bactériologiques.

Par ailleurs, des bidons de 5 litres ont servi à prélever les échantillons destinés aux analyses parasitologiques. Les échantillons pour l'analyse de la chlorophylle ont été prélevés dans des bouteilles ambrées opaques de 1000 ml. L'ensemble des flacons et bidons est conservé dans une glacière thermostastée jusqu'au retour au laboratoire.



Figure 9 : Echantillonnage

II.4. Analyses bactériologiques et parasitologiques

Les germes recherchés sont essentiellement les coliformes fécaux dont *E. coli*), les streptocoques fécaux, les salmonelles, les vibrions cholériques, *Pseudomonas aeruginosa*, les coliphages et les parasites notamment les œufs d'helminthes. Le tableau XI ci-dessous présente les différentes techniques d'analyses qui ont été utilisées et les protocoles correspondants sont présentés à l'annexe I.

Evaluation de la qualité microbiologique des rejets des stations d'épuration de la ville de Ouagadougou (Burkina Faso)

Tableau XI : Synthèse des méthodes d'analyse

Paramètres	Unités	Milieu	Incubation	Méthodes	Références/Normes
Coliformes fécaux	UFC/100ml	Chromocult Coliforms Agar	44,5°C: 24H	Ensemencement en profondeur sur milieu solide	APHA-AWWA (1998) 9215A
Coliformes totaux	UFC/100ml	Chromocult Coliforms Agar	37°C : 24H		
Streptocoques fécaux	UFC/100ml	Chromocult Enterococci Agar			
Salmonelles	bactéries/100ml	Rappaport Vassiliadis Broth & XLD	37°C : 48H	Nombre le plus probable (NPP)	Norme NFU 44-051
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	UFC/100ml	Cétrémide Agar	42°C 48H	Ensemencement en surface sur milieu solide	Ph.Eur., ISO 22717
<i>Vibrio spp</i>	UFC/100ml	CHROMagar Vibrio	37°C : 24H		ISO/TS 21872 : 2007
Coliphages	UFC/100ml	Tryptic Soy Agar (TSA)	37°C : 24H	Ensemencement en profondeur sur milieu solide	Méthode EPA 1602 SAL
Parasites	Œufs/litre	Réactifs : Tampon acéto-acétique ; éther éthylique ; sulfate de zinc	-	Décantation / Concentration	WHO 1996 (Bailenger modifiée)
Chlorophylle a	mg/l	Réactif : Acide chlorhydrique 1N	-	Spectrophotométrie	Méthode de Lorenzen

II.5. Traitement des données

A cette étape, nous avons analysé et interprété les résultats obtenus à partir des calculs de rendement épuratoire de chaque paramètre étudié. A l'issue des comparaisons aux normes en vigueur, nous avons pu statuer sur la qualité des eaux usées traitées en sortie de chaque station étudiée.

II.5.1. Calcul des concentrations

Les concentrations des indicateurs de contamination fécale et des pathogènes ont été calculées à partir de la formule ci-dessous :

$$[Germes] = \frac{n}{V \text{ inoculé}} * Fd * 100$$

n est le nombre de colonies comptées sur les boîtes de pétri

V est le volume d'échantillon inoculé (**ml**)

F_d est le facteur de dilution

[Germes] en UFC/100 ml

II.5.2. Calcul des rendements

Le rendement épuratoire des différents paramètres a été déterminé par la formule suivante :

$$R(\%) = \frac{C_e - C_s}{C_e} * 100$$

R est le rendement épuratoire (%)

C_e est la concentration de l'influent pour le paramètre concerné

C_s est la concentration de l'effluent pour le paramètre concerné

II.5.3. Calcul des abattements en Ulog

Les abattements des différents paramètres ont été déterminés par la formule suivante :

$$A = -\log_{10} \left[1 - \frac{R(\%)}{100} \right]$$

A est l'abattement des germes (**Ulog**)

R est le rendement épuratoire (%)

II.5.4. Calcul des concentrations escomptées

Les concentrations escomptées des indicateurs de contamination fécale des effluents traités ont été vérifiées à partir des temps de séjours des différentes filières de lagunage par la formule de Marais (1974) pour n bassins de maturation:

$$N_e = \frac{N_i}{(1 + K_b * t_1)(1 + K_b * t_2)(1 + K_b * t_3)}$$

$$K_b = 2,6 * (1,19)^{T-20}$$

K_b = Constante cinétique de premier ordre pour l'élimination des bactérie (en J^{-1}) ;

N_e = Nombre de coliformes fécaux par 100ml, à la sortie du système ;

N_i = Nombre de coliformes fécaux par 100ml à l'entrée ;

t_1 = Temps de séjour du bassin anaérobie ;

t_2 = Temps de séjour du bassin facultatif ;

t_3 = Temps de séjour du bassin de maturation ;

T = Température moyenne du mois le plus froid ($24,8^{\circ}C$).

Source : **Mara (2004)**

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Dans cette partie du rapport, nous présenterons les différents résultats obtenus et nous les comparerons avec ceux des études antérieures.

III.1. Caractéristiques des eaux usées brutes des stations étudiées

III.1.1. Débits de fonctionnement

Le tableau XII présente les débits de fonctionnement des différentes stations étudiées.

Tableau XII : Débits journaliers des influents

	<i>Débit moyen (m³/j)</i>
<i>Kossodo</i>	5462
<i>Sourgoubila</i>	144
<i>Laïco</i>	125
<i>Zagtouli</i>	95

Nous avons déterminé les débits moyens de fonctionnement des différentes stations. Les débits moyens des stations étudiées varient entre 95 m³/j et 5462 m³/j. Le débit le plus important est celui de la station d'épuration des eaux usées de Kossodo avec une valeur de 5462 m³/j. Cette station traite en effet les eaux usées urbaines mixtes comprenant les eaux usées domestiques, industrielles et le percolât des boues de vidange. Les stations de Sourgoubila et de Zagtouli traitant les percolâts de boues de vidange ont respectivement un débit de 144 m³/j et 95 m³/j. Enfin, la station de l'hôtel Laïco qui traite des influents hôteliers assimilables aux eaux usées domestiques fonctionne avec un débit de 125 m³/j.

III.1.2. Indicateurs de contamination fécale

Le tableau XIII ci-dessus présente les valeurs moyennes, minimales et maximales de concentration des indicateurs de contamination fécale des stations étudiées.

Tableau XIII : Concentrations en ICF des eaux usées brutes

<i>ICF</i> <i>UFC/100ml</i>	<i>E. coli</i> (<i>UFC/100ml</i>)			<i>CF</i> (<i>UFC/100ml</i>)			<i>SF</i> (<i>UFC/100ml</i>)		
	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne	Minimum	Maximum
<i>Kossodo</i>	3,97.10 ⁶	1,00.10 ⁵	2,12.10 ⁷	9,44.10 ⁶	1,00.10 ⁵	2,60.10 ⁷	2,46.10 ⁷	7,85.10 ⁵	1,44.10 ⁸
<i>Sourgoubila</i>	2,12.10 ⁶	1,30.10 ³	1,02.10 ⁷	5,10.10 ⁶	3,60.10 ³	1,50.10 ⁷	4,92.10 ⁶	7,00.10 ³	1,64.10 ⁷
<i>Laïco</i>	7,98.10 ⁶	2,70.10 ⁶	1,44.10 ⁷	1,32.10 ⁷	7,45.10 ⁶	2,04.10 ⁷	9,19.10 ⁶	1,60.10 ⁶	2,98.10 ⁷
<i>Zagtouli</i>	4,03.10 ⁶	4,00.10 ⁵	1,08.10 ⁷	6,24.10 ⁶	1,00.10 ⁶	1,52.10 ⁷	6,62.10 ⁶	3,10.10 ⁶	2,04.10 ⁷

Au niveau de la station de Kossodo, traitant des eaux usées mixtes urbaines, la concentration en *E. coli* et en coliformes fécaux varie respectivement entre 10^5 et $2,12.10^7$; 10^5 et $2,60.10^7$ UFC/100ml avec des valeurs moyennes de $3,97.10^6$; $9,44.10^6$ et UFC/100ml.

On enregistre sur la station Laïco, traitant des effluents hôteliers de type domestique, des valeurs moyennes de $7,98.10^6$ et $1,32.10^7$ UFC/100ml avec des variations entre [$2,70.10^6$; $1,44.10^7$] et [$7,45.10^6$; $2,04.10^7$] UFC/100ml respectivement *E. coli* et coliformes fécaux .

Quant aux stations de Sourgoubila et Zagtouli, traitant des percolâts de boues de vidange, on a des concentrations moyennes de $2,12.10^6$ et $4,03.10^6$ UFC/100ml en *E. coli* puis de $5,10.10^6$ et $6,24.10^6$ UFC/100 ml pour les coliformes fécaux. Cependant ces valeurs restent inférieures à celles trouvées par **Zongo (2013)** et **Ouedraogo (2016)** qui obtenaient respectivement $5,13.10^7$ UFC/100 ml et $6,20.10^5$ UFC/100 ml de concentration moyenne en *E. coli* sur les stations de Kossodo et de Zagtouli. Ceci pourrait être dû à l'effet de dilution des eaux usées, étant donné que la période d'échantillonnage a été dominée par la saison des pluies.

Pour ce qui est des Streptocoques fécaux, leur abondance dans les influents est traduite par des concentrations moyennes de $2,46.10^7$ UFC/100 ml ; $4,92.10^6$ UFC/100 ml ; $9,19.10^6$ UFC/100 ml et $6,62.10^6$ UFC/100 ml respectivement sur les stations de Kossodo, Sourgoubila, Laïco et Zagtouli.

III.1.3. Teneurs en pathogènes des influents

Les germes pathogènes mis en évidence comprennent *Salmonella spp*, *Pseudomonas aeruginosa*, les vibrions dont *Vibrio alginolyticus*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio vulnificus* et *Vibrio cholerae*. Les concentrations moyennes obtenues dans les influents bruts à l'entrée de chaque station sont présentées dans le tableau XIV ci-dessous.

Tableau XIV : Concentrations en germes pathogènes des eaux usées brutes

	<i>Salmonella spp</i> bactéries/100ml			<i>P.aeruginosa</i> UFC/100ml			<i>V.cholerae & V.vulnificus</i> UFC/100ml			<i>V.parahaemolyticus</i> UFC/100ml			<i>V.alginolyticus</i> UFC/100ml		
	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne	Minimum	Maximum
<i>Kossodo</i>	1,89.10 ³	4,00.10 ¹	2,00.10 ³	2,58.10 ⁷	5,10.10 ⁶	6,70.10 ⁷	8,02.10 ⁶	5,50.10 ⁵	1,60.10 ⁷	1,85.10 ⁷	4,00.10 ⁴	4,70.10 ⁷	1,01.10 ⁷	2,28.10 ⁷	2,84.10 ⁷
<i>Sourgoubila</i>	2,51.10 ³	1,50.10 ²	1,16.10 ⁴	9,83.10 ⁶	2,50.10 ⁶	1,90.10 ⁷	1,33.10 ⁵	2,00.10 ⁴	2,10.10 ⁵	7,17.10 ⁵	1,70.10 ⁶	1,56.10 ⁶	3,75.10 ⁷	6,00.10 ⁵	6,50.10 ⁷
<i>Laïco</i>	1,12.10 ⁴	1,50.10 ²	1,10.10 ⁵	2,77.10 ⁶	2,20.10 ⁶	3,30.10 ⁶	3,20.10 ⁷	1,00.10 ⁵	9,10.10 ⁷	2,63.10 ⁷	2,40.10 ⁵	7,70.10 ⁷	4,07.10 ⁸	4,60.10 ⁶	9,20.10 ⁸
<i>Zagtouli</i>	8,40.10 ²	1,10.10 ²	1,10.10 ⁴	1,63.10 ⁷	3,80.10 ⁶	3,70.10 ⁷	2,97.10 ⁵	1,00.10 ³	5,80.10 ⁵	3,27.10 ⁵	1,20.10 ⁵	6,00.10 ⁵	2,79.10 ⁶	2,00.10 ⁶	3,40.10 ⁶

L'analyse des germes pathogènes a révélé leur présence en grand nombre dans les eaux usées brutes, surtout pour les vibrions. On remarque que les Salmonelles, sont en nombres inférieurs par rapport aux autres germes étudiés. On observe une variation entre $[4,00.10^1 ; 1,16.10^4]$; $[1,50.10^2 ; 1,10.10^5]$; $[1,50.10^2 ; 2,00.10^3]$ et $[1,10.10^2 ; 1,10.10^4]$ UFC/100ml respectivement sur les stations de Kossodo, Sourgoubila, Laïco et Zagtouli avec des concentrations moyennes de $1,89.10^3$; $1,12.10^4$; $8,40.10^2$; $2,51.10^3$ UFC/100ml.

Les concentrations moyennes les plus élevées s'observent au niveau de Sourgoubila et Zagtouli, les deux stations de traitement des percolâts de boues de vidange. Ces résultats sont en accord avec ceux de **Kouawa (2016)**, qui a observé que les concentrations des micro-organismes pathogènes sont beaucoup plus importantes dans les boues de vidange que dans les eaux usées. Ce qui pourrait traduire leur prévalence dans les percolâts avec des concentrations plus élevées dans les percolâts que dans les eaux usées brutes.

D'après **El Ouali Lalami et al. (2014)** la teneur salmonelles dans les eaux usées urbaines non traitées varie de quelques bactéries par 100 ml à des concentrations de même ordre de grandeur que celles des indicateurs fécaux.

Les concentrations moyennes de *P. aeruginosa* sont respectivement de $2,58.10^7$ UFC/100ml ; $9,83.10^6$ UFC/100ml ; $2,77.10^6$ UFC/100ml ; $1,63.10^7$ UFC/100ml pour les stations de Kossodo, Sourgoubila, Laïco et Zagtouli. Les minima enregistrés sont tous de l'ordre de 10^6 et les maxima de l'ordre de 10^7 . Nous remarquons que cette charge est assez élevée et serait dû à son ubiquité dans l'environnement (**Boukef et al., 2002**).

Cependant, **Slekovec et al. (2012)**, rapportent que *P. aeruginosa* est un pathogène hospitalier présent dans tous les services hospitaliers, en particulier dans les unités de soins intensifs traitant des infections liées à ce pathogène. D'après le même auteur, les eaux usées des réseaux d'égout, contenant des eaux usées hospitalières sont susceptibles de véhiculer une certaine concentration de ce germe. **Parveau (2011)**, signale également que des fluides biologiques variés, de patients colonisés ou infectés par *P. aeruginosa*, rejetés dans le réseau des eaux usées, pourraient constituer une source de contamination dans l'environnement.

Notons que les concentrations les plus élevées sont enregistrés à la station de Kossodo, ce qui soutiendrait cette assertion car les rejets hospitaliers font partie des eaux usées admises à la station de Kossodo.

Les espèces de *Vibrio* présumés, comprennent *V.cholerae*, responsable du choléra et les vibrions non cholériques *V. vulnificus*, *V. parahaemolyticus* et *V. alginolyticus*. Ce dernier apparaît en concentration très supérieure par rapport aux autres espèces et on note sa présence plus importante, au niveau des eaux usées brutes de Laïco et de Kossodo compris respectivement dans les intervalles $[4,60.10^6 ; 9,20.10^8]$ et $[2,28.10^7 ; 6,50.10^7]$ UFC/100ml avec une concentration moyenne de $4,07.10^8$ et $3,75.10^7$ UFC/100ml.

D'après **Bou M'handi et Said (2014)**, l'espèce *V. alginolyticus*, appartiendrait à la flore native de l'environnement aquatique et donc représenterait une flore normale des produits de la pêche. On retrouve surtout les vibrions dans les crustacés et les mollusques (**Miossec, 2002**).

En effet, les hôtels sont connus pour leur grand approvisionnement en produits de pêche, nécessaires pour la fourniture de variétés culinaires, ceci pourrait justifier les valeurs obtenues étant donné que les eaux usées admises à la station de Kossodo comprennent les rejets d'hôtels. De même la station de Laïco, traite essentiellement les eaux usées provenant dudit hôtel.

En ce qui concerne *V. cholerae*, leur concentration est comprise respectivement dans les intervalles $[5,50.10^5 ; 1,60.10^7]$; $[2,00.10^4 ; 1,56.10^6]$; $[1,00.10^5 ; 9,10.10^7]$; $[1,00.10^3 ; 5,80.10^5]$ UFC/100ml pour les stations de Kossodo, Sourgoubila, Laïco et Zagtouli avec des moyennes respectivement de $8,02.10^6$; $1,33.10^5$; $3,20.10^7$ et $2,97.10^5$ UFC/100ml.

L'étude de **Boufercha et Benmalek (2017)**, a également décelé la présence de *V. cholerae*, dans les eaux usées brutes d'une STEP à boues activées.

L'espèce *V. parahaemolyticus* est en nombre inférieur par rapport à *V. alginolyticus*, mais supérieur à *V. vulnificus* & *V. cholerae*. Les concentrations moyennes obtenues sur les stations de Kossodo, Sourgoubila, Laïco et Zagtouli sont $1,85.10^7$; $7,17.10^5$; $2,63.10^7$ et $3,27.10^5$ UFC/100ml, respectivement.

III.1.4. Teneurs en Coliphages des influents

Le tableau XV ci-dessous présente les concentrations moyennes en coliphages retrouvées dans les eaux brutes des stations.

Tableau XV : Concentrations en coliphages des eaux usées brutes

<i>Stations</i>	<i>Coliphages (UFP/100ml)</i>				
	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart-type	n
<i>Kossodo</i>	4,48.10 ²	1	2,32.10 ³	6,87.10 ²	24
<i>Sourgoubila</i>	1,42.10 ³	1	5,60.10 ³	2,06.10 ³	22
<i>Laïco</i>	9,23.10 ²	8	4,01.10 ³	1,24.10 ³	10
<i>Zagtouli</i>	5,48.10 ²	10	3,04.10 ³	1,03.10 ³	9

La recherche des coliphages dans les eaux usées tient de leur capacité à être un indicateur de contamination virale d'origine fécale et leur élimination traduit l'efficacité d'élimination des virus dans les stations de traitement des eaux usées.

La charge de coliphages déterminée au niveau des stations de Kossodo, Sourgoubila, Laïco et Zagtouli est comprise respectivement dans les intervalles [1 ; 2,32.10³] ; [1 ; 5,60.10³] ; [8 ; 4,01.10³] et [1 ; 3,04.10³] UFP/100ml avec des concentrations moyennes 4,48.10² ; 1,42.10³ ; 9,23.10² et 5,48.10² UFP/100ml. Nous remarquons que la charge des coliphages est inférieure à celle des indicateurs de contamination fécale mais est approximativement du même ordre de grandeur que celle des Salmonelles.

Hartard (2017) énonce que la présence des coliphages dans les eaux usées peut s'évaluer à des concentrations bien supérieures à celles des virus pathogènes (10⁷ à 10⁸ UFP/L).

A cet effet, **Naidoo et Olaniran (2014)** affirment que les coliphages partagent de nombreuses propriétés similaires avec des virus entériques humains tels que la structure, la composition, la morphologie, la taille et le site de réplication, renforçant ainsi leur nature précieuse en tant que modèles pour la détection virale entériques. Leur présence dans les eaux usées pourrait donc induire celle des virus entériques.

III.1.5. Teneurs en parasites des influents

L'analyse parasitologique des échantillons a consisté essentiellement au dénombrement des œufs d'helminthes dont les concentrations dans les eaux usées brutes des différentes stations étudiées sont résumées dans le tableau XVI ci-dessous.

Tableau XVI : Concentration des eaux usées brutes en œufs d'helminthes

Stations	Œufs d'helminthes (œufs/litre)				
	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart-type	n
<i>Kossodo</i>	$1,33.10^3$	$1,80.10^2$	$5,76.10^3$	$2,03.10^3$	28
<i>Sourgoubila</i>	$4,02.10^4$	$1,20.10^2$	$2,34.10^5$	$8,63.10^4$	26
<i>Laïco</i>	$3,69.10^4$	$3,60.10^2$	$1,62.10^5$	$7,03.10^4$	16
<i>Zagtouli</i>	$8,28.10^4$	$4,20.10^2$	$3,18.10^5$	$1,57.10^5$	15

Il apparaît que les teneurs en parasites varient entre $1,80.10^2$ et $5,76.10^3$ œufs/litre à Kossodo, puis entre $3,60.10^2$ et $1,62.10^5$ œufs/litre à Laïco, avec des moyennes de $1,33.10^3$ et $3,69.10^4$ respectivement. Les valeurs les plus élevées ont été observées au niveau des stations de Zagtouli et Sourgoubila traitant des percolâts de boues de vidange où on enregistre des concentrations moyennes de $4,02.10^4$ et $8,28.10^4$ œufs/litre respectivement. **Tinto (2016)** rapporte plutôt une concentration moyenne de 147,9 œufs d'helminthes par litre de percolât brute sur la station de Zagtouli, teneur inférieure à celle obtenue dans cette étude. La différence pourrait s'expliquer par la charge de traitement plus élevée constatée durant notre étude. La valeur minimale enregistrée à Sourgoubila est supérieure à la concentration de dimensionnement qui est de 90 œufs/litre pour le percolât brut qui serait peut-être dû à une mauvaise élimination des parasites dans les lits de séchage BV.

Les études réalisées par **El Ouali Lalami et al. (2014)** et **Chaoua et al. (2017)** au Maroc sur des eaux usées domestiques brutes a révélé des teneurs moyennes de 2 à 153,49 œufs/l pour les œufs d'helminthes. Selon **El Guamri et Belghyti (2007)** la distribution des œufs d'helminthes dans les eaux usées, varie selon la taille des centres urbains et le niveau socio-économique et par conséquent du niveau d'infestation des populations raccordées au réseau de collecte d'eaux usées.

Les concentrations élevés en parasites dans les eaux usées brutes et les percolâts des boues de vidange pourraient certainement s'expliquer par la prévalence élevée des parasitoses dans la ville de Ouagadougou.

III.2. Caractéristiques des eaux usées traitées et performances des stations

III.2.1. Indicateurs de contamination fécale

Le tableau XVII ci-dessous présente les concentrations moyennes, les rendements moyens en pourcentage et les abattements moyens en Ulog des ICF des effluents traités dans chacune des stations.

Evaluation de la qualité microbiologique des rejets des stations d'épuration de la ville de Ouagadougou (Burkina Faso)

Tableau XVII : Rendements et Abattements moyens en ICF des différentes stations et les concentrations résiduelles dans les eaux usées traitées

	<i>E. coli</i>			CF			SF			n
	Sortie	Rendement en %	Abattement en ulog	Sortie	Rendement en %	Abattement en ulog	Sortie	Rendement en %	Abattement en ulog	
Kossodo	7,01.10 ⁴	98%	1,70	1,02.10 ⁵	99%	2	5,44.10 ⁴	99%	2	28
Sourgoubila	4,11.10 ⁴	98%	1,70	2,16.10 ⁵	96%	1,40	1,90.10 ⁵	96%	1,40	26
Laïco	2,29.10 ³	99,97%	3,52	6,56.10 ³	99,97%	3,52	1,04.10 ⁴	99,97%	3,52	16
Zagtouli	9,31.10 ²	99,97	3,52	2,79.10 ³	99,96	3,40	1,65.10 ⁴	99,75	2,60	15
Norme	1000 * UFC/100ml (OMS, 2012)			2000 UFC/100ml (MERH, 2015)			2000 UFC/100ml (MERH, 2015)			

*Directive

Nous remarquons que les rendements obtenus sont supérieurs à 95% pour tous les paramètres concernés (*E coli*, CF, SF) et sur l'ensemble des stations. En ce qui concerne l'abattement en unité logarithmique, la station de Laïco est celle qui présente un abattement élevé de 3,52 ulog pour tous les paramètres.

A Kossodo, cette valeur est de 2 ulog pour CF et SF ; à Sourgoubila, on enregistre respectivement 1,52 et 1,40 ulog puis 3,15 et 2,60 ulog à Zagtouli. Ces valeurs sont approximativement concordantes avec celles de la littérature, cependant elle restent inférieures à celles obtenues par **Maiga et al. (2008)** où l'abattement en CF était de 4,9 ulog dans un système de lagunage à microphytes traitant des eaux usées de type domestique au Burkina Faso.

Tinto (2016), a obtenu pour les percolâts traités de la station de Zagtouli, une charge en coliformes fécaux de $3,73.10^4$ UFC/100ml et de $3,80.10^3$ UFC/100mL en streptocoques fécaux ; valeurs supérieures aux normes de rejet. Par ailleurs, l'étude menée par **Djiguemde (2013)** sur la station de Kossodo révélait déjà des valeurs d'ICF dans les eaux traitées supérieures aux normes en vigueur. Une autre étude réalisée à Tunis sur une STEP de lagunage, a révélé des concentrations en coliformes thermotolérants de l'ordre de $1,6.10^5$ dans les eaux usées traitées, traduisant une mauvaise élimination des germes bactériens (**Boukef et al., 2002**).

En effet, sur les 28 échantillons analysés pour les eaux de Kossodo, 26 soient 93% présentent des concentrations supérieures à la norme de rejet. A Sourgoubila, Laïco et Zagtouli, on enregistre 16/26 (61,5%) ; 11/16 (69%) ; 7/15 (47%) d'échantillons et il en résulte un dépassement moyen de plus que la norme de 377,81% ; 198% ; 149,29% respectivement. A Kossodo, ce dépassement est de l'ordre de 1000%.

De plus, cette étude a permis de calculer selon la formule de Marais (1974) les concentrations en coliformes fécaux escomptées des effluents à partir des temps de séjours et des concentrations moyennes à l'entrée des différents systèmes de lagunage. Il en résulte que les concentrations escomptées en CF à Kossodo, Sourgoubila et Zagtouli sont respectivement de 0,19 ; 128,72 ; 131,97 UFC/100ml. Ces valeurs sont très en deçà des concentrations résiduelles obtenues et présentées dans le tableau ci-dessus.

On pourrait penser que les temps de séjour actuels dans les stations de lagunage de notre étude ne sont pas respectés à cause vraisemblablement de la réduction des volumes utiles des bassins du fait de l'accumulation des boues dans les bassins notamment à Kossodo et Zagtoui où les systèmes sont âgés de 16 et 6 ans respectivement.

Pour ce qui est des eaux usées traitées de la station à boues activées de l'hôtel Laïco, les concentrations résiduelles de $2,29.10^3$ et $6,56.10^3$ UFC/100ml respectivement pour *.Icoli* et coliformes fécaux pourraient justifier la défaillance de fonctionnement de l'unité de chloration hors service durant notre étude.

Tabet (2015) a rapporté des concentrations supérieures à 10^3 UFC/100ml recommandé par l'OMS, dans des effluents traités par boues activées en Algérie. Nos résultats confirment l'inefficacité des stations à boues activées dans l'abattement des ICF à condition d'y associer un traitement tertiaire complémentaire pour assurer une meilleure désinfection des eaux clarifiées issues du décanteur secondaire.

Au regard de la qualité microbiologique des eaux usées traitées, du point de vue des ICF, elles ne sont pas appropriées pour un rejet dans le milieu naturel au Burkina Faso puisque leurs concentrations dépassent les 2000 UFC/100ml exigées par les normes. Pour le cas particulier des eaux traitées de Laïco qui sont utilisées pour l'arrosage des espaces verts, elles ne répondent pas non plus aux directives du PNUE qui requièrent une concentration inférieure ou égale à 200UFC/100ml pour une réutilisation à des fins résidentielles (**PNUE, 2005**). Cependant, il faudra noter qu'à la Station de Zagtoui la concentration moyenne en *E. coli* est inférieure à la directive de l'OMS pour l'irrigation sans restriction de produits consommés crus (**OMS, 2012**).

III.2.2. Teneurs en pathogènes des effluents traités

Tableau XVIII : Concentration et abattement moyen en pathogènes des effluents traités

	<i>Salmonella spp</i>			<i>P.aeruginosa</i>			<i>V.cholerae & V.vulnificus</i>			<i>V.paraahaemolyticus</i>			<i>V.alginolyticus</i>		
	Sortie	Rendement	Abattement ulog	Sortie	Rendement	Abattement ulog	Sortie	Rendement	Abattement ulog	Sortie	Rendement	Abattement ulog	Sortie	Rendement	Abattement ulog
Kossodo	2,38.10 ³	-25,73%	0,00	8,70.10 ⁶	66,28%	0,47	5,43.10 ⁴	99,32%	2,17	5,47.10 ⁴	99,70%	2,52	3,79.10 ⁶	89,89%	1,00
Sourgoubila	4,23.10 ³	62,38%	0,42	1,54.10 ⁷	-56,61%	-0,19	6,80.10 ⁴	49,00%	0,29	1,40.10 ⁴	98,05%	1,71	2,21.10 ⁵	97,82%	1,66
Laïco	8,28.10 ²	1,39%	0,01	2,23.10 ⁶	19,28%	0,09	1,68.10 ⁷	47,70%	0,28	6,73.10 ⁶	74,44%	0,59	4,52.10 ⁷	88,88%	0,95
Zagtouli	1,80.10 ⁴	-617,05%	-0,86	7,40.10 ⁶	54,51%	0,34	1,10.10 ⁴	96,29%	1,43	6,47.10 ⁴	80,20%	0,70	2,57.10 ⁵	90,81%	1,04
Norme	0 UFC/1000 ml (MERH, 2015)			-			-			-			-		

Le tableau XVIII ci-dessus présente les concentrations, les rendements et les abattements moyens des ICF des effluents traités dans chacune des stations.

Les concentrations moyennes en salmonelles sont de $2,38.10^3$; $4,23.10^3$; $8,28.10^2$; $1,8.10^4$ bactéries/100 ml respectivement enregistrées sur les stations de Kossodo, Sourgoubila, Laïco et Zagtouli. On note que les valeurs les plus élevées se retrouvent au niveau des stations de Sourgoubila et Zagtouli traitant les boues de vidange.

Les rendements épuratoires montrent par ailleurs que c'est le germe le moins éliminé des pathogènes au niveau de toutes les stations. On remarque que les concentrations à la sortie sont largement supérieures à celles des eaux usées brutes sur les stations de Kossodo et Zagtouli, ce qui est traduit par des rendements négatifs de -25,73% et -617,05% respectivement.

Selon **Al-Gheethi et al. (2018)**, les Salmonelles sont des micro-organismes résistants qui s'adaptent facilement aux conditions environnementales extrêmes et possèdent la capacité de survivre dans des conditions environnementales hostiles. **Boukef et al. (2002)**, signalent également que les salmonelles ont la capacité de proliférer dans les micro-habitats anaérobies des lagunes. Ceci justifierait leur persistance dans les eaux traitées. De plus, nous avons remarqué lors de nos prélèvements sur le terrain, que le surnageant des BV de la STBV de Kossodo est déversé directement dans le deuxième bassin de maturation de la STEP plutôt que d'être introduit dans le bassin anaérobie en tête de la filière de lagunage. Cette pratique actuellement en cours à la STBV de Kossodo, du fait des colmatages des lits de séchage des boues, pourrait justifier aussi l'augmentation des concentrations des germes dans l'effluent traité par rapport à celles de l'influent brut.

Les rendements épuratoires enregistrés pour *Pseudomonas aeruginosa* s'élèvent à 66,28%, -56,61%, 19,28% et 54,51% correspondant à un abattement respectif de 0,47 ; -0,19 ; 0,09 ; 0,34 ulog au niveau des stations de Kossodo, Sourgoubila, Laïco et Zagtouli. On remarque que les abattements sont très faibles et traduisent également une mauvaise élimination de ce germe.

Ainsi, les concentrations moyennes en *Pseudomonas aeruginosa* des effluents traités, sont respectivement de $8,70.10^6$, $1,54.10^7$; $2,23.10^6$ et $7,40.10^6$ UFC/100ml pour les stations de Kossodo, Sourgoubila, Laïco et Zagtouli. Nos résultats se rapprochent de ceux de **Boukef et al. (2002)**, dont les travaux ont mis en évidence des concentrations de l'ordre de 10^4 UFC/100ml de *P. aeruginosa* dans les eaux usées traitées par lagunage naturel.

La prolifération de ce germe en présence de nutriments pourrait justifier sa persistance dans les eaux traitées. Cependant il présente un grand risque de santé publique car les bactéries *Pseudomonas* présentent naturellement une forte résistance aux antibiotiques et montrent une capacité d'adaptation élevée face à ces molécules (ANSES, 2010).

En ce qui concerne l'élimination des vibrions (toutes espèces confondues), on note des rendements moyens de 96,31% ; 81,62% ; 70,34% ; 89,10% respectivement pour les stations de Kossodo, Sourgoubila, Laïco et Zagtouli. On remarque ainsi qu'ils sont moins éliminés à la STEP de Laïco. Singulièrement pris, on note que *V.parahaemolyticus* est le mieux éliminé à Kossodo et Sourgoubila, pour un abattement respectif de 2,52 et 1,71 ulog. A Laïco par contre, c'est *V.alginolyticus* qui est mieux éliminé à hauteur de 0.95ulog. Enfin, sur la station de Zagtouli, *V.cholerae* & *V.vulnificus* sont les mieux éliminés avec un abattement moyen de 1,43 ulog.

Malgré les rendements d'élimination plus ou moins élevés des espèces de *Vibrio*, on remarque que ces dernières sont tout de même présentes dans les eaux traitées avec des abondances variant entre 10^4 à 10^7 UFC/100ml. L'étude menée par **Eddabra (2011)**, sur des stations d'épuration par lits de percolation, a révélé la présence de *V.alginolyticus* et *V.cholerae* dans les eaux usées traitées.

Au regard du risque épidémiologique lié à *V.cholerae*, sa présence dans les eaux usées traitées présenterait un risque de santé surtout pour les utilisateurs.

La norme régissant le déversement des eaux dans le milieu naturel au Burkina Faso, ne prévoit pas d'exigences par rapport *P. aeruginosa*, ni pour les vibrions mais requiert l'absence de salmonelles par 1000ml d'échantillon. Néanmoins tous les effluents des différentes stations étudiées présentent des concentrations assez élevées en salmonelles au-delà de la norme nationale de 0 UFC/1000 ml recommandée pour les déversements dans le milieu naturel.

Le tableau XIX ci-dessous présente une synthèse des données de la littérature sur la qualité des effluents de STEP en comparaison des résultats de notre étude.

Evaluation de la qualité microbiologique des rejets des stations d'épuration de la ville de Ouagadougou (Burkina Faso)

Tableau XIX : Qualité des effluents de quelques STEP

Traitement	Source des EU	<i>E. coli</i> (UFC/100ml)		CF (UFC/100ml)		SF (UFC/100ml)		<i>Salmonella spp</i> (bactéries/100ml)		<i>P. aeruginosa</i> (UFC/100ml)		Vibrions (UFC/100ml)		Coliphages (UFP/100ml)		Œufs d'helminthes (œufs/l)		Références
		E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	
Lagunage à microphytes	Percolat de BV	1,9.10 ⁶	5,1.10 ³	3,4.10 ⁶	3,73.10 ⁴	1,20.10 ⁶	3,82.10 ³	-	-	-	-	-	-	-	-	108-390	29,2	(Tinto 2016) Burkina Faso
Lagunage à microphytes	Domestique s+ industrielles	-	-	1,7.10 ⁷	1,6.10 ⁵	1,6.10 ⁷	2,1.10 ⁴	11	0,76	7,3.10 ⁶	1,6.10 ⁴	-	-	-	-	-	-	(Boukef et al. 2002) Tunisie
Lagunage à microphytes	Percolat de BV	8,17.10 ⁵		1,34.10 ⁶		1,12.10 ⁶		400-4000		-	-	-	-	-	-	6-450	-	(Cheick Aboubacar 2016) Burkina Faso
Boues activées	Domestique s+ industrielles	-	-	9,6.10 ⁶	19,15-481,14	-	-	-	-	-	-	-	-	2,9.10 ⁵	1,83-145,3	-	-	(Zhang et Farahbakhsh 2007) Canada

E = entrée ; S = sortie ; CF = coliformes fécaux ; SF = Streptocoques fécaux

Comme nous pouvons le constater dans le tableau XIX, qui présente la qualité des effluents de quelques stations de traitement des eaux usées, notre étude n'est pas la seule à présenter des concentrations résiduelles élevées en indicateurs de contamination fécale et en pathogènes. Elle rejoint les résultats de **Boukef et al. (2002)** notamment, dont les concentrations moyennes des eaux usées traitées en coliformes fécaux, valent $1,6.10^4$ UFC/100ml. L'étude menée par **Zhang et Farahbakhsh (2007)**, au Canada sur une STEP à boues activées, a également permis de déceler les coliphages dans les eaux traitées de l'ordre de 10^2 UFP/100ml.

III.2.3. Teneurs en Coliphages des effluents traités

Le tableau XX présente les concentrations en UFP/100ml et les abattements moyens en coliphages des eaux traitées des différentes stations.

Tableau XX : Concentrations en coliphages des effluents traités (UFP/100ml)

<i>Stations</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Rendement (%)</i>	<i>Abattement Ulog</i>
<i>Kossodo</i>	$8,04.10^2$	$3,40.10^1$	$2,96.10^3$	-79,49%	-0,25
<i>Sourgoubila</i>	$6,02.10^2$	1	$2,40.10^3$	57,57%	0,37
<i>Laïco</i>	$2,37.10^2$	1	$9,44.10^2$	74,32%	0,59
<i>Zagtouli</i>	$5,76.10^2$	1	$3,12.10^3$	-5,06%	-0,02

Il ressort que les concentrations moyennes en coliphages des effluents traités sont de l'ordre de 10^2 au niveau de toutes les stations avec des valeurs comprises dans les intervalles [$3,40.10^1$; $2,96.10^3$] ; [1 ; $2,40.10^3$] ; [1 ; $9,44.10^2$] ; [1 ; $3,12.10^3$] UFP/100ml respectivement pour Kossodo, Sourgila, Laïco et Zagtouli.

On remarque que la plus faible concentration résiduelle moyenne est obtenue à la station de Laïco, avec un abattement moyen relativement plus élevé que les autres qui est de 0,59Ulog témoignant d'une élimination partielle des coliphages. Ceci pourrait être dû au fonctionnement du système de traitement à boues activées car selon **Yasunori et al. (2002)**, l'élimination des virus par boues activées se fait conjointement à travers l'adsorption sur le floc et la prédation par des microbes, protozoaires ou métazoaires.

Les résultats de cet auteur ont révélé que le traitement aérobie par boues activées et / ou avec l'ajout de flocculants tels que le chlorure de polyaluminium (PAC) est efficace sur l'élimination des coliphages avec des concentrations résiduelles de quelques UFP/100ml.

Nos résultats rejoignent ceux de **Maggy et al. (2008)**, ayant montré une persistance des coliphages dans les eaux usées traitées de 4 stations d'épuration à boues activées malgré une concentration résiduelle moyenne en chlore de 0,32 mg/l.

En ce qui concerne l'élimination des coliphages dans les bassins de lagunage, nous remarquons que leurs concentrations moyennes dans les eaux usées traitées sont supérieures à celles des eaux usées brutes au niveau de Kossodo et Zagtouli, justifiant des abattements négatifs. A Sourgoubila par contre, on obtient un faible abattement de seulement 0,39 Ulog.

III.2.4. Teneurs en parasites des effluents traités

Le tableau XXI, présente les concentrations en œufs d'helminthes des effluents traités au niveau des différentes stations.

Tableau XXI : Concentrations en parasites des effluents traités

<i>Stations</i>	<i>Parasites (œufs/litre)</i>				
	Moyenne	Minimum	Maximum	Rendement (%)	Abattement (Ulog)
<i>Kossodo</i>	$3,75.10^4$	6.10^1	$2,40.10^5$	-2723,87	-1,45
<i>Sourgoubila</i>	$1,77.10^3$	0	9.10^3	95,61	1,36
<i>Laïco</i>	$3,34.10^3$	$1,20.10^2$	$1,20.10^4$	90,95	1,04
<i>Zagtouli</i>	$4,85.10^4$	6.10^1	$1,62.10^5$	41,38	0,23

En référence au tableau V présentant les valeurs limites de parasites dans les eaux usées traitées pour une réutilisation en agriculture non restrictive, selon les directives de l'OMS, les eaux usées traitées des quatre stations n'y sont pas conformes étant donné que la directive requiert une concentration inférieure à 1 œuf par litre. En effet, les concentrations des eaux usées traitées obtenues dépassent largement cette valeur et les moyennes sont de $3,75.10^4$; $1,77.10^3$; $3,34.10^3$ et $4,85.10^4$ œufs / litre, respectivement à Kossodo, Sourgoubila, Laïco et Zagtouli. Pour ces trois dernières, on note des abattements de 1,36 ; 1,04 et 0,23 ulog, témoignant une faible élimination des parasites.

Pour le cas particulier de la station de Kossodo, on remarque que la concentration à la sortie est supérieure à celle de l'entrée. Le déversement du percolât des boues de vidange de la STBV de Kossodo dans l'un des bassins de maturation de la STEP, pourrait expliquer ce résultat.

Le facteur principal d'élimination des parasites est la sédimentation et celle-ci est d'autant plus efficace lorsque le temps de séjours est assez long (**Von Sperling, 2007**). Etant donné que l'épuration des eaux dans les systèmes à boues activées va de quelques heures à quelques jours, la parfaite floculation et décantation des floes est primordiale. Ce défaut de décantation pourrait justifier le faible abattement enregistré à Laïco, facilitant le départ de l'eau épurée avec des parasites. Nos résultats diffèrent de ceux obtenus par **Akpo, et al. (2013)** qui ont rapporté un rendement épuratoire de 100% avec l'absence d'œuf dans les eaux épurées dans une station d'épuration à boues activées au Sénégal.

Cependant, pour ce qui est des stations de Sourgoubila et Zagtoui où le temps de séjour est de 16 et 20 jours respectivement, les abattements sont faibles confirmant la suspicion d'un dysfonctionnement.

Dans un même contexte climatique, les travaux de **Maiga et al. (2008)** et **Konaté et al. (2012)** ont montré une élimination totale des œufs d'helminthes et kystes de protozoaires dans une série de trois bassins de lagunage à microphytes avec un temps de séjours de 18 jours au Burkina Faso. Par ailleurs une étude menée en Espagne sur des stations d'épuration ayant les bassins de lagunage comme traitement tertiaire, a révélé la présence des œufs d'helminthes et des amibes dans les eaux traitées (**Mosteo et al., 2013**). L'utilisation des eaux usées traitées présente ainsi un risque sanitaire surtout en agriculture eu égard à la persistance des bactéries et parasites sur les cultures (**Ntangmo et al., 2019**).

III.4. Teneur en Chlorophylle a des eaux usées traitées

Le tableau XXII ci-dessous, présente les concentrations moyennes en Chlorophylle a des eaux usées traitées

Tableau XXII : Concentrations moyennes en Chlorophylle a des eaux usées traitées

<i>Chlorophylle a (µg/l)</i>				
Stations	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart-type
Kossodo	122,07	68,76	178,87	52,37
Sourgoubila	37,40	22,72	51,29	11,63
Zagtouli	466,24	362,76	586,12	97,65

A l'issue de l'analyse des eaux usées traitées des 3 stations de lagunage, nous avons déterminé la concentration en chlorophylle a, qui est de 122,07 ; 37,40 ; 466,24 µg/l respectivement à Kossodo, Sourgoubila et Zagtouli.

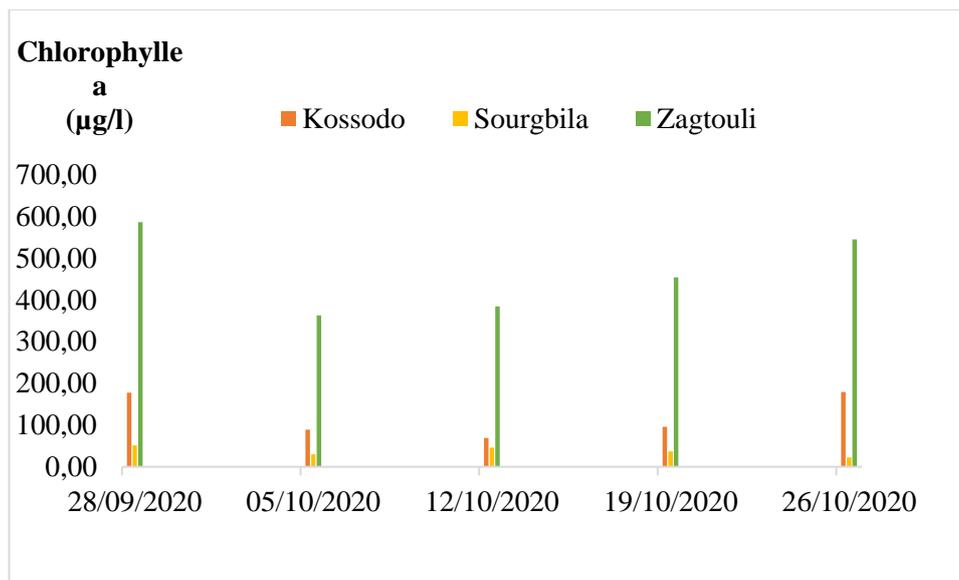


Figure 10 : Evolution temporelle de la concentration en chlorophylle a

Comme le montre la figure n°5, on remarque que c'est à Zagtouli qu'on observe une concentration plus importante en chlorophylle a, malgré les variations hebdomadaires. Ceci témoigne de la richesse des espèces phytoplanctoniques dans le bassin de maturation et serait une contribution à l'élimination de *E. coli* en deçà de la norme. Cependant, **Peña et Mara (2004)**, rapportent que la concentration en chlorophylle a, responsable de coloration verdâtre des bassins, dépend de la charge appliquée et de la température et elle varie de 500 à 2000 µg/l dans les bassins facultatifs.

On remarque que seules les valeurs obtenues à Zagtoui (362,76 - 586,12 $\mu\text{g/l}$) tendent à se rapprocher de cet intervalle, ce qui n'est pas le cas à Sourgoubila. Les faibles valeurs enregistrées à Kossodo seraient la conséquence du développement des bactéries pourpres sulfureuses témoins de la coloration rosâtre des bassins facultatifs et de maturation. La désinfection microbienne est donc limitée par défaut d'une bonne charge chlorophyllienne. Notons que ce sont les eaux du bassin de maturation qui présentent de telles concentrations or l'auteur souligne que les populations d'algues sont beaucoup plus diversifiées dans les bassins de maturation que celui des étangs facultatifs.

Par ailleurs **EL Hachemi (2012)**, rapporte que l'abondance des algues dans les bassins est influencée par les facteurs environnementaux, mais aussi par la prédation zooplanctonique. Les travaux de **Alamgir et al. (2016)**, soutiennent que l'augmentation de la chlorophylle a, peut être directement corrélée à une augmentation de l'oxygène dissous indiquant une activité photosynthétique élevée.

III.5. Analyse des facteurs de contre-performances des stations

Nous présenterons dans cette partie les facteurs qui limitent le bon fonctionnement des stations, influençant ainsi sur leurs performances épuratoires.

III.5.1. Cas de la station de traitement des eaux usées de Kossodo

A l'issue des résultats obtenus, on remarque que c'est la station la moins performante dont l'origine pourrait résulter des facteurs suivants :

➤ Coloration rose des bassins facultatifs et de maturation

De manière générale, le bon fonctionnement des bassins de lagunage (facultatif et de maturation) se traduit par une coloration verdâtre due à la charge algale de néoformation. Cependant, la coloration rose des lagunes, constatée à Kossodo, ayant pour cause le développement des bactéries pourpres sulfureuses est préjudiciable au développement des populations d'algues favorisant les conditions de désinfection naturelle, notamment dans les bassins de maturation. La faible concentration moyenne en chlorophylle a (122,07 $\mu\text{g/l}$) mesurée à Kossodo limite ainsi la disponibilité de l'oxygène dissous (produite lors de l'activité photosynthétique des algues), paramètre capital dans le maintien de l'aérobiose dans les bassins facultatif et de maturation.

➤ **Réduction du temps de séjour**

Le temps de séjour est connu pour faire maximiser l'action désinfectante des paramètres environnementaux (Température, pH, O₂ dissous etc.) au cours de l'épuration par lagunage, améliorant ainsi la qualité des rejets. La concentration escomptée en coliformes fécaux dans les eaux usées traitées, calculée à partir de la charge moyenne des eaux usées brutes et du temps de séjour théorique qui est de 30 jours a permis d'obtenir une valeur de 0,2 UFC/100ml ; concentration très inférieure à celle réellement obtenue qui est de $1,02 \cdot 10^5$ UFC/100ml. Il est donc évident que les eaux usées arrivant à la STEP, n'y séjournent pas le temps requis, avant de se retrouver dans le milieu naturel ; ce qui pourrait être dû dans un premier temps, à l'accumulation des boues dans les bassins, réduisant leur capacité utile mais aussi, aux risques de courts-circuits hydrauliques favorisés par la présence de zones mortes. Notons que la station est en service depuis 16 ans et seul un bassin anaérobie parmi les trois, a fait l'objet d'un curage en 2019 après 15 ans de service.

➤ **Pratique du déversement du surnageant brut des boues de vidange dans un bassin de maturation**

Le co-traitement des percolâts de boues de vidange avec les eaux usées urbaines requiert une attention particulière du point de vue des charges à admettre surtout lorsque la station n'a pas été dimensionnée à cet effet. Ainsi il est aberrant, pour une station dont les rejets doivent répondre à certains critères, de recevoir directement des surnageants de boues de vidange dans un bassin de maturation. C'est pourtant le cas flagrant de Kossodo où les surnageants (issus des lits de séchage fortement colmatés) des boues de vidange de la STBV de Kossodo sont déversés dans le deuxième bassin de maturation. Ceci annule les efforts de traitement des bassins antérieurs sans respect des temps de séjour dans les bassins en question. Cette pratique pourrait justifier les résultats des concentrations supérieures des eaux usées traitées par rapport à celles de l'entrée pour les germes étudiés, notamment pour les salmonelles, les coliphages et les œufs d'helminthes et pour lesquels des rendements négatifs sont observés.

III.5.2. Cas de la station de traitement des percolâts de boues de vidange de Sourgoubila

➤ Réduction du temps de séjour

A partir des temps de séjour des différents bassins de la filière de traitement, la concentration résiduelle moyenne en coliformes fécaux attendue dans les eaux usées traitées, devrait être 128,72 UFC/100ml ; or on enregistre réellement $2,61.10^5$ UFC/100ml. Une fois de plus, le temps de séjour n'est pas respecté limitant ainsi le fonctionnement optimum du système.

➤ Mauvaise élimination des œufs d'helminthes dans les BV

D'après les résultats obtenus dans cette étude, la concentration moyenne des percolâts bruts en œuf d'helminthes est de $4,02.10^4$ œufs/litre. Cependant, d'après le rapport de l'avant-projet détaillé de la construction de la STBV de Sourgoubila, la charge de dimensionnement considéré pour les œufs d'helminthes est de 90 œufs/litre. La concentration réelle est donc supérieure à la concentration de dimensionnement, ce qui pourrait expliquer en partie la mauvaise élimination des œufs dans les boues de vidange déposées sur les lits de séchage et par conséquent, les faibles performances d'élimination des œufs d'helminthes dans notre étude.

➤ Faible charge chlorophyllienne

La faible concentration moyenne en chlorophylle a de 37,40 µg/l enregistrée dans l'effluent du bassin de maturation de la station de Sourgoubila traduit un faible peuplement des bassins facultatif et de maturation en algues pour les meilleures conditions de désinfection. Il s'en sort alors une mauvaise qualité des effluents traités avec des concentrations en ICF supérieures à 2000 UFC/100ml, valeur exigée au Burkina Faso pour un rejet dans le milieu naturel.

III.5.3. Station de traitement des percolâts de boues de vidange de Zagtouli

➤ Réduction du temps de séjour

Suivant la même démarche de calcul des concentrations en ICF on note également à Zagtouli un non-respect du temps de séjour requis qui est de 20 jours, traduisant ainsi une mauvaise qualité d'épuration avec une concentration moyenne résiduelle en CF des eaux usées traitées de $2,79.10^3$ UFC/100ml. Or la qualité de rejet escomptée en ICF si le temps de séjour était effectivement respecté, serait de 131,97 UFC/100ml. Depuis sa mise en service en 2014, les bassins de lagunage de la filière de traitement des percolâts de boues de vidange de Zagtouli n'ont jamais été curés, favorisant vraisemblablement une accumulation progressive des boues et donc une réduction du temps de séjour requis pour une bonne désinfection.

➤ **Charge chlorophyllienne insuffisante**

Bien que la charge moyenne en chlorophylle a ($466,24 \mu\text{g/l}$) dans le bassin de maturation, tend à se rapprocher de l'intervalle de concentration en chlorophylle a [$500 - 2000 \mu\text{g/l}$], requis pour un bon fonctionnement des bassins facultatif et de maturation, elle limite l'action des algues pour une meilleure désinfection naturelle quand bien même la concentration moyenne en *E. coli* des effluents traités ($9,31.10^2 \text{ UFC/100ml}$) soit inférieure à 1000 UFC/100ml requis par l'OMS pour une irrigation non restrictive.

III.5.4. Station de traitement des eaux usées de l'hôtel Laïco

➤ **Remontée de boues dans les clarificateurs**

La présence de croûtes de boues noires à la surface des clarificateurs, témoins d'une fermentation pourrait avoir pour cause l'accumulation excessive des boues au fond de ces ouvrages faisant ainsi défaut à la fonction de clarification des eaux usées traitées. Ceci pourrait également justifier non seulement les concentrations élevées en *Pseudomonas* ($2,23.10^6 \text{ UFC/100ml}$) mais aussi la persistance des œufs d'helminthes étant donné qu'ils sont éliminés principalement par décantation en s'adsorbant aux flocons de boues activées.

➤ **Absence de désinfection des eaux usées traitées**

Dans le but d'améliorer la qualité des effluents, les systèmes de traitement par boues activées nécessitent souvent un traitement tertiaire de désinfection au chlore. Bien qu'une unité de chloration soit disponible sur site à la station de traitement des eaux usées de l'hôtel Laïco, elle n'est pas fonctionnelle. Sa remise en service pourrait contribuer à améliorer la désinfection des eaux usées traitées pour leur réutilisation dans l'arrosage des espaces verts de l'hôtel.

CONCLUSION

La présente étude, entreprise dans le cadre de l'évaluation de la qualité microbiologique des effluents traités par les principales stations d'épuration dans la ville de Ouagadougou, nous a permis de caractériser les eaux usées brutes et les effluents traités des stations de Kossodo, de Sourgoubila, de Laïco et de Zagtouli. Nous avons pu également comparer les charges résiduelles des eaux usées traitées à la norme de rejet en vigueur au Burkina Faso et aux directives de l'OMS pour une valorisation agricole ainsi que les performances des stations.

La charge en indicateurs de contamination fécale, véhiculée par les percolâts de boues de vidange admis dans les filières de lagunage à Sourgoubila et Zagtouli, varie entre 10^3 et 10^7 UFC/100ml. La station de Laïco qui reçoit les eaux usées typiquement domestiques, tout comme celle de Kossodo qui en reçoit, en plus de celles industrielles et le percolât des boues de vidange de la STBV de Kossodo, présentent des concentrations variant, entre 10^5 et 10^7 UFC/100ml.

Pour ce qui est des agents pathogènes, l'étude a permis de dénombrer *Pseudomonas aeruginosa* et révéler la présence présomptive des Salmonelles et des vibrions dont *Vibrio cholerae*, *Vibrio vulnificus*, *Vibrio parahaemolyticus* et *Vibrio alginolyticus* dans les eaux usées brutes et traitées. Leur charge varie de quelques bactéries par 100ml pour les salmonelles à des grandeurs de l'ordre de 10^8 UFC/100ml pour les autres germes. Les coliphages, possibles témoins de contamination virale ont été présents à l'entrée et à la sortie des différentes stations. Les œufs d'helminthes, pour leur part ont été détectés à l'entrée et à la sortie des stations.

Les rendements épuratoires de plus de 95% obtenues au niveau de toutes les stations, n'a pas empêché d'enregistrer des concentrations résiduelles entre 10^4 et 10^5 UFC/100ml en indicateurs de contamination fécale ; exception faite pour la station de Zagtouli où la concentration moyenne en *E. coli* est de $9,31.10^2$ UFC/100ml. De plus, les stations ont présenté une très mauvaise élimination des pathogènes dans les eaux, se traduisant parfois par des rendements négatifs avec des concentrations allant jusqu'à 10^7 UFC/100ml dans les eaux usées traitées.

En termes de rejet dans le milieu naturel, aucune des stations exceptée celle de Zagtouli, n'est en conformité avec le décret N°2015-1205/PRESTRANS/PM/MERH/MEF/MARHASA/MS/MRA/MICA/MME/M IDT/MATD du 28 octobre 2015, portant normes et conditions de déversements des eaux usées au Burkina Faso.

Pour le cas particulier de la station à boues activées de l'hôtel Laïco, les eaux traitées, ne présente pas la qualité requise pour une utilisation à des fins résidentielles, qui requiert une concentration inférieure ou égale 200 UFC/ml en *E. coli* et 0,1 œuf/litre, selon les recommandations du PNUE.

Ainsi l'arrosage des espaces verts avec cette eau, tel que cela se pratique actuellement, représente un risque pour les usagers étant donné que les germes peuvent subsister pendant des périodes plus ou moins longues à la surface des plantes (gazons y compris).

Les effluents traités par lagunage au niveau des stations de Kossodo, Sourgoubila et Zagtouli constitueraient une bonne ressource pour une valorisation agricole au regard de l'augmentation des maraichers en zone urbaine, si seulement ils respectaient les normes requises à cet effet.

Ainsi pour rétablir la qualité requise des effluents traités par les différentes stations étudiées, des actions curatives et préventives doivent être mises en œuvre pour pallier aux contre-performances relevés.

RECOMMANDATIONS

En vue d'améliorer le fonctionnement des différentes stations pour une meilleure qualité des effluents traités, nous formulons les recommandations suivantes :

Pour la station de Kossodo

- Curer les bassins pour rétablir le temps de séjour normal de la filière de traitement ;
- Assurer le décolmatage des lits de séchage pour éviter le déversement direct des surnageants dans le bassin de maturation.

Pour la station de Sourgoubila

- Respecter les charges de boues de vidange à admettre sur les lits de séchage pour améliorer la qualité des percolats à traiter dans les bassins de lagunage ;

Pour la station de Laïco

- Soutirer les boues des clarificateurs pour restaurer les temps de séjour requis ;
- Rendre fonctionnel l'unité de désinfection par chloration des eaux usées traitées.

Station de Zagtoui

- Respecter les charges de boues de vidange à admettre sur les lits de séchage ;
- Surveiller les niveaux d'accumulation de boues dans les bassins et les curer si possible.

BIBLIOGRAPHIE

- Akpo, Y, G. J Sawadogo, and R. G Degnon. 2013. "Évaluation de la contamination parasitologique des eaux usées domestiques collectées et traitées à la station d'épuration de Cambérène (Dakar)," Septembre 30, 2013, Journal of Applied Biosciences edition, sec. 69.
- Al-Gheethi, A. A., A. N. Efaq, J. D. Bala, I Norli, M. O. Abdel-Monem, and M. O. Ab. Kadir. 2018. "Removal of Pathogenic Bacteria from Sewage-treated Effluent and Biosolids for Agricultural Purposes." *Applied Water Science* 8 (74) : 25 pages.
- ANSES. 2010. "Évaluation des risques sanitaires liés à l'exposition par ingestion de Pseudomonades dans les eaux destinées à la consommation humaine (hors eaux conditionnées)." Scientifique
- ANSES. 2019. "Vibrions entéropathogènes : *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio cholerae* non-O1/ non-O139 et *Vibrio vulnificus*."
- Baumont, Samuel, Jean-Philippe Camard, Agnès Lefranc, et Antoine Franconi. 2005. « Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France ». France: Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile-de-France 222 pages
- Belaid, Nebil. 2010. « Évaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax : salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques ». France: Thèse de Doctorat de l'Université de Sfax et de l'Université de Limoges. 236pages
- Benelmouaz, Ali. 2015. "Performances épuratoires d'une station d'épuration de Maghnia."
- Berland, Jean-Marc, Cathérine Boutin, Pascal Molle, et Paul Cooper. 2001. *Procédés extensifs d'épuration des eaux usées*. © Office International de l'Eau. Luxembourg.
- Boudhane, Nassim, et Ikram Ahmed Ammar. 2016. « Optimisation du traitement biologique dans une station d'épuration à boues activées : cas de la STEP de Batna ».
- Boufercha, Oumeima, and Selma Benmalek. 2017. "Evaluation Des Paramètres Physico-Chimiques, Bactériologiques Des Eaux Usées de La Station D'épuration d'Ibn Ziad et Recherche de *Vibrio Cholerae*"
- Boukef, Imen, Monia Trad, Hayet Makni, Monia Elbour, and Abdellatif Bouddabous. 2002. "Qualite bactériologique de quelques effluents urbains traités et rejetés dans l'environnement," 2002.

- Cardot, Claude 2001. *Techniques appliquées au traitement de l'eau*. Génie de l'Environnement.
- Castillo, G.C., et B.A. Trumper. 1991. « Coliphages and other microbial indicators in stabilisation ponds ». *Environmental Toxicology and Water Quality*, 1991, sect. 6.
- Catherinot, Julie 2013. "Réutilisation des eaux usées et des excréta." Paris : pS-Eau.
- Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2015. "Recherche des coliphages F-spécifiques : méthode présence/absence"
- Chaoua, Sana, Samia Boussa, Ahmed Khadra, and Ali Boumezzough. 2017. "Efficiency of Two Sewage Treatment Systems (activated Sludge and Natural Lagoons) for Helminth Egg Removal in Morocco." *Journal of Infection and Public Health*, Juillet 2017, Elsevier edition.
- Davies-Colley, R.J., A.M. Donnison, et D.J. Speed. 1997. « Sunlight wavelenghts inactivating fecal indicator microorganisms in waste stabilisation ponds ». *Wat. Sci. Tech*, 1997, sect. 31.
- Davies-Colley, R.J., A.M. Donnison, D.J. Speed, C.M. Ross, et J.W. Nagels. 1999. « Inactivation of fecal indicator microorganisms in waste stabilisation ponds : Interactions of environmental factors with sunlight ». *Water Research*, 1999, sect. 33.
- Davies-Colley, R.J., A.M. Donnison, et D.J. Speed. 2000. « Towards a Mechanistic understanding of Pond Disinfection ». *Wat. Sci. Tech*, 2000, sect. 42.
- Djiguemde, N Wendpannga. 2013. "Élimination de la pollution bactérienne par lagunage a microphytes sous climat sahélien : cas de la station d'épuration de Kossodo après 9 ans de fonctionnement."
- Duncan, D Mara. 2004. *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*. London, UK: Earthscan.
- Eddabra, Rkia. 2011. "Évaluation de la contamination bactériologique des eaux usées des stations d'épuration du grand Agadir : Isolement, caractérisation moléculaire et Antibiorésistance des espèces du genre *Vibrio*." Maroc : Ibn Zohr ; Strasbourg.
- EDE/EEA. 2014. "Études détaillées d'exécution, élaboration des dossiers d'appel d'offres, supervision et contrôle des travaux, suivi et surveillance environnementale de la construction de deux stations de traitement des boues de vidange dans les villes de Ouagadougou et Bobo-Dioulasso." rapport d'avant-projet détaillé 12/13/01/600 BUR.
- El Guamri, Youssef, and Driss Belghyti. 2007. "Charge parasitaire des eaux usées brutes de la ville de Kénitra (Maroc)." *Afrique SCIENCE*, 2007, 3 édition, sec. 1.

- El Hachemi, O., H. El Halouani, M. Meziane, A. Torrens, M. Salgot, and M. Sbaa. 2012. "Etude des performances épuratrices dans une station de traitement des eaux usées par lagunage en climat désertique (oasis de Figuig - Maroc) : aspect bactérien et organique" *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn* 6 (01) : 84–97.
- EL Hachemi, Ouafa.1 2012. "Traitement des eaux usées par lagunage naturel en milieu désertique (oasis de Figuig) : performances épuratoires et aspect phytoplanctonique" Université Mohammed Premier.
- El Ouali Lalami, A., A. Zanibou, K. Bekhti, F. Zerrouq, and M. Merzouki. 2014. "Contrôle de La Qualité Microbiologique Des Eaux Usées Domestiques et Industrielles de La Ville de Fès Au Maroc," 2014, *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (S1) (2014) 2325-2332 edition.
- Emparanza-Knoerr, A., et F. Torrella. 1993. « Microbiological performance and Salmonella dynamics in a wastewater depuration pond system of southeastern Spain ». *Wat. Sci. Tech*, 1993, sect. 31
- Fagrouch, Abdeslem, Saloua Amyay, Ali Berrahou, Hassan El Halouani, and Hanae Abdelmoumen. 2010. "Performances d'abattement des germes pathogènes en lagunage naturel sous climat aride : cas de la filière de traitement des eaux usées de la ville de Taourirt." *Afrique Science*, 2010, sec. 3.
- Feacham, RG, DJ Bradley, H Garelick, et DD Mara. 1983. « Health aspects of excreta and wastewater management ». *Sanitaion and Disease*, 1983.
- Hartard, Cédric. 2017. "Les bactériophages ARNF-spécifiques comme indicateurs du danger viral lié à la pollution fécale des matrices hydriques et alimentaires." Nancy, France : Université de Lorraine
- Konaté, Y., A. H. Maiga, D. Basset, C. Casselas, and B. Picot. 2012. "Parasite Removal by Waste Stabilisation Pond in Burkina Faso, Accumulation and Inactivation in Sludge" *Elsevier*, April 27, 2012, Ecological Engineering edition, sec. 50.
- Kouawa, Tadjouwa. 2016. "Traitement des boues de vidange par lits de séchage sous climat soudano-sahélien." France : Université de Strasbourg. https://www.afwkm.com/wp-content/uploads/2019/06/Tadjouwa_Kouawa_2016_ED269.pdf.
- Macdonald, R.J., et A. Ernst. 1986. « Disinfection efficiency and problems associated with maturation ponds ». *Wat. Sci. Tech*, 1986, sect. 18.

- Maggy, N. B., M. Sibewu, and A. Mandeya. 2009. "Survival of Somatic and F-RNA Coliphages in Treated Wastewater Effluents and Their Impact on Viral Quality of the Receiving Water Bodies in the Eastern Cape Province-South Africa." *Journal of Biological Sciences*, 2009, sec. 9.
- Maïga, A. H., J. Wethe, A. Dembele, et A. Klutse. 2002. « Valorisation des eaux usées par lagunage dans les pays en voie de développement ». Rapport Scientifique. Ouagadougou: EIER-ETSHER.
- Maiga, Amadou Hama, Yacouba Konate, Joseph Wethe, Kokou Denyigba, Denis Zoungrana, and Lassana 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 21E (groupe EIER-ETSHER)." *Université Du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE)*, Revue des sciences de l'eau, 21 (04): 14 pp. [https://doi.org/https://doi.org/10.7202/019163ar](https://doi.org/10.7202/019163ar).
- Mathlouthi, Soumaya. 2011. "Recherche Des Bactéries Pathogènes et Des Bactériophages Dans Les Résidus Des Stations D'épuration."
- MERH, 2015. *DECRET N°20151205/PRESTRANS/PM/MERH/MEF/MARHASA/MS/MRA/MIC A/MME/MIDT/MATD Du 28 Octobre 2015 Portant Normes et Conditions de Déversements Des Eaux Usées*.
- Mezrioui, N., K. Oufdou, et B. Baleux. 1995. « Dynamics of non-01 Vibrio cholerae and faecal coliforms in experimental stabilisation ponds in the arid region of Marrakesh, Morocco, and the effect of pH, temperature and sunlight on their experimental survival ». *Canadian Journal of Microbiology*, sect. 41, 489-498.
- Mezrioui, N., Oudra, B., Oufdou, K., Hassini L., Loudiki, M., Darley, J. 1994. « Effect of microalgae growing on wastewater batch culture on Escherichia coli and Vibrio cholerae survival ». *Wat. Sci. Tech*, sect. 30 (8), 295-302.
- M'handi, Naïma Bou, and Hanoune Said. 2014. "Étude de la prévalence des Vibrions Spp dans les produits de la pêche au Maroc," 2014, Afrique Science edition.
- Mosteo, R., M. P. Ormad, P. Goñi, J. Rodríguez-Chueca, A. García, and A. Clavel. 2013. "Identification of Pathogen Bacteria and Protozoa in Treated Urban Wastewaters Discharged in the Ebro River (Spain): Water Reuse Possibilities." *Water Science & Technology IWA Publishing*, August 2013, 3 edition, sec. 68.
- Naidoo, Shaline, and Ademola O. Olaniran. 2014. "Treated Wastewater Effluent as a Source of Microbial Pollution of Surface Water Resources," 22.

- Nascimento, M.J., J.S. Oliveira, et J.T. Mexia. 1991. « Contribution for the study of new pathogenic indicators removal from WSP in Portugal ». *Wat. Sci. Tech*, 1991, sect. 24.
- Nguyen, Dinh-Huan. 2014. « Optimisation de la conception et du fonctionnement des stations de traitement des eaux usées ». France: Université de Lorraine
- Ntangmo Tsafack, Honorine, Temgoua Emile, and Thomas Njin. 2019. “Persistence de *E coli*, des œufs d’helminthes et des kystes de protozoaires contenus dans les eaux usées urbaines d’arrosage sur les cultures maraîchères à Dschang, Ouest-Cameroun.” *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 13 (November): 81. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i5.6S>.
- OMS. 2000. *Directives de Qualité Pour L'eau de Boisson*. Deuxième Vol. 2. Programme international sur la sécurité chimique Genève
- OMS. 2012. *Directives OMS Pour L'utilisation sans Risque Des Eaux Usées, Des Excreta et Des Eaux Ménagères*. Vol. 2.
- Ouedraogo, O. Benoit. 2016. “Caractérisation des boues de vidange séchées et du percolât traité de la station de traitement de Zagtoui en vue d’une valorisation agronomique”
- Peña, Miguel, and Mara Duncan. 2004. “Waste Stabilisation Ponds.”
- Phuntsho, S., H. K. Shon, S. Vigneswaran, et J. Kandasamy. s. d. « Wastewater Stabilisation Ponds (WSP) for Wastewater Treatment ». ©*Encyclopedia of Life Support Systems(EOLSS)*, WATER AND WASTEWATER TREATMENT TECHNOLOGIES, II: 12 pages.
- PNUE 2005. “Lignes directrices pour l’utilisation des eaux usées municipales dans la région méditerranéenne” Athènes.
- RUAF. 2016. “Document d’orientation politique sur l’agriculture urbaine à Ouagadougou, Burkina Faso.”
- Slekovec, Céline, Julie Plantin, Pascal Cholley, Michelle Thouverez, Daniel Talon, Xavier Bertrand, and Didier Hocquet. 2012. “Tracking Down Antibiotic-Resistant *Pseudomonas Aeruginosa* Isolates in a Wastewater Network.” *PLoS ONE* 7 (12). <https://doi.org/10.1371/journal.pon.10049300>.
- Sperling, Marcos Von. 2007. *Biological Wastewater Treatment Series*. Vol. Waste Stabilisation Ponds. 06 vols. London, UK : IWA Publishing.
- Tabet, Mouna. 2015. “Etude physico-chimique et microbiologique des eaux usées et évaluation du traitement d’épuration.” Algérie : 8 MAI 1945-GUELMA.

- Tarmoul, Fateh. 2007. "Détermination de la pollution résiduelle d'une station d'épuration par lagunage naturel 'cas de la lagune de béni-messous.'"
- Taylor, Kevin. 2018. *Faecal Sludge and Septage Treatment: A Guide for Low- and Middle-Income Countries*. Practical Action Publishing Ltd. Rugby, Warwickshire, UK. <http://dx.doi.org/10.3362/9781780449869>.
- Tilley, Elizabeth, Lukas Ulrich, Christoph Lüthi, Philippe Reymond, Roland Schertenleib, and Christian Zurbrügg. 2014. "Compendium des systèmes et technologies d'assainissement."
- Tinto, Radiatou. 2016. "Evaluation des performances épuratoires de la station de traitement par lagunage à microphytes du percolât des boues de vidange sous climat sahélien : cas de Zagtouli à Ouagadougou."
- U.S. EPA. 2015. "Review of coliphages as possible indicators of fecal contamination for ambient water quality." Health and Ecological Criteria Division,
- WHO. 1996. "Analysis of Wastewater for Use in Agriculture: A Laboratory Manual of Parasitological and Bacteriological Techniques." WHO.
- WWAP. 2017. "Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau : les eaux usées une ressource inexploitée ." Paris : UNESCO.
- Yasunori, Tanji, Mizoguchi Katsunori, Yoichi Masatoshi, Morita Masatomo, Hori Katsutoshi, and Unno Hajim. 2002. "Fate of Coliphage in a Wastewater Treatment Process." *Journal of Bioscience and Bioengineering* 94 (2): 172–74. [https://doi.org/10.1016/S1389-1723\(02\)80139-6](https://doi.org/10.1016/S1389-1723(02)80139-6).
- ZONGO, Valérie. 2013. "Evaluation des performances épuratoires de la station d'épuration des eaux usées de kossodo après 9 ans de fonctionnement." *Mémoire Master 2IE*

ANNEXES

Annexe 1 : Protocole des analyses microbiologiques..... x
Annexe 2 : Quelques cas de dysfonctionnements aperçu au niveau des stations xvi
Annexe 3 : Réutilisation des eaux usées traitées à Laïco..... xvii

Annexe 1 : Protocole des analyses microbiologiques

➤ **Indicateurs de contamination fécale**

La méthode employée est l'ensemencement en profondeur sur milieu solide. Le principe consiste à prélever un volume de 1 ml de l'échantillon et/ou de ses dilutions dans une boîte de pétri, puis à couler le milieu spécifique et laisser se solidifier. Les coliformes fécaux et totaux sont ensemencés avec le milieu Chromocult Coliforms Agar et les Streptocoques fécaux avec Chromocult Enterococci Agar. Les températures d'incubation sont de 37°C pour les CT et SF, tandis que les CF sont incubés à 44,5°C. On dénombre alors des colonies bleues et violettes qui représentent *E. coli*. Ces dernières en plus des colonies roses sont les coliformes fécaux. Les streptocoques présentent également une coloration rose.

La concentration des différents germes est donnée par la formule ci-dessous :

$$[CF/SF] = \frac{n}{V \text{ inoculée}} * Fd * 100$$

$n \in [30 ; 300]$; $V \text{ inoculé} = 1 \text{ ml}$

➤ **Les Salmonelles**

L'identification des salmonelles se fait en deux étapes, la première consiste à l'enrichissement de l'échantillon et la seconde est l'isolement sur un milieu gélosé spécifique. La méthode employée ici est celle du nombre le plus probable (NPP).

Etape n°1 : Enrichissement

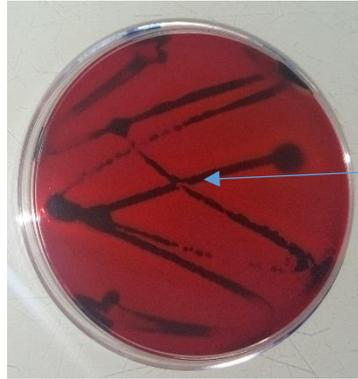
On procède à des dilutions successives au 1/10 à partir des échantillons bruts. Un volume de 1ml de chacune des dilutions, a été prélevé dans des lots de 3 tubes à essai. On ajoute à ces tubes, 10ml du milieu préparé puis on incube à 37°C pendant 48heures. Les tubes positifs (ayant viré du bleu foncé au jaune) sont utilisés pour l'étape n°2.

Etape n°2 : Isolement

La suspension du milieu XLD a été réparti dans les boîtes de pétri, puis à l'aide d'une pipette pasteur boutonné on a fait des stries à la surface des milieux solidifiés avec les solutions des tubes positifs. Les boîtes ont été incubées à 37°C pendant 48 heures. Le dénombrement a consisté à noter la présence ou l'absence de colonies noires.

Pour l'expression des résultats, il a été utilisé la table de MacGrady pour trois dilutions successives, qui permet d'avoir la concentration en microorganismes par volume à travers la formule ci-dessous :

$$[S] = \frac{npp}{V \text{ inoculée}} * Fd * 100 ; V \text{ inoculé} = 1 \text{ ml}$$



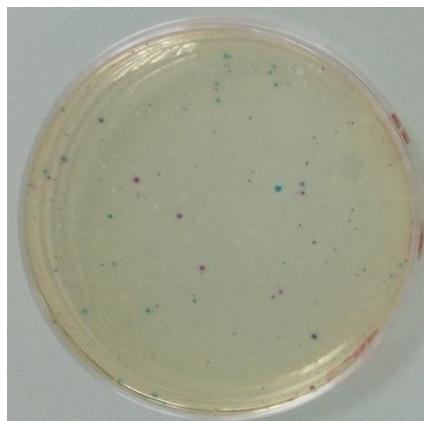
Colonies noires
(présence présomptive
de Salmonelles)

➤ Les vibrions

La méthode utilisée ici est l'encensement en surface qui a consisté à prélever un volume de 0,1 ml de l'échantillon et/ou de ses dilutions, qui est étalé sur les boîtes de pétri contenant le milieu. Le milieu utilisé est le CHROMAgar, qui est un milieu chromogène pour l'isolement et la détection de *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio vulnificus* et *Vibrio cholerae*.

Les boîtes ont été incubées à 37°C pendant 24 heures. Les colonies observées après incubation présentent des colorations distinctes en fonction de l'espèce concernée. Les résultats sont exprimés en UFC/100ml à partir de la formule ci-dessous :

$$[Vc] = \frac{n}{V \text{ inoculée}} * Fd * 100 ; n \in [30 ; 300] ; V \text{ inoculé} = 0,1 \text{ ml}$$



Vibrio vulnificus et *Vibrio cholerae* : **bleu-vert à bleu turquoise**

Vibrio parahaemolyticus : **mauve**

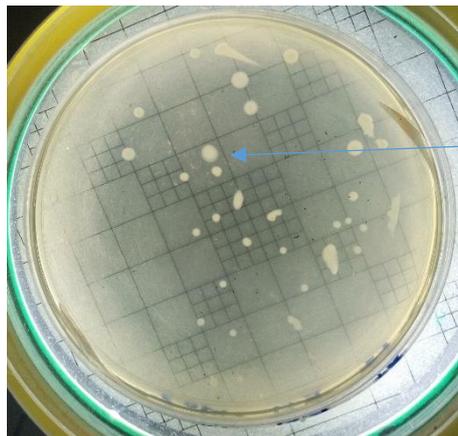
V. alginolyticus : **Incolore (crème)**

➤ *Pseudomonas aeruginosa*

La mise en évidence de *P. aeruginosa*, a été faite par l'ensemencement en surface sur la gélose cétrémide. La gélose Cétrémide est un milieu sélectif pour l'isolement et la différenciation de *Pseudomonas aeruginosa*. La sélectivité de ce milieu est basée sur la présence d'un ammonium quaternaire (cétrimide) qui inhibe les germes autres que *Pseudomonas aeruginosa*. Une fois le milieu préparé, il est stérilisé à l'autoclave à 115°C pendant 20 minutes puis réparti en boîte de pétri. Les boîtes sont ensuite incubées à 42°C pendant 48 heures.

Les colonies de *P. aeruginosa* qui se développent sur la gélose sont **jaunes-vertes** et leur fluorescence peut être mise en évidence en lumière ultra-violette. Les résultats sont exprimés en UFC/100ml à partir de la formule ci-dessous :

$$[Pa] = \frac{n}{V \text{ inoculée}} * Fd * 100 ; n \in [30 ; 300] ; V \text{ inoculé} = 0,1 \text{ ml}$$



Colonies jaunâtres (et fluorescentes sous UV)

➤ **Coliphages**

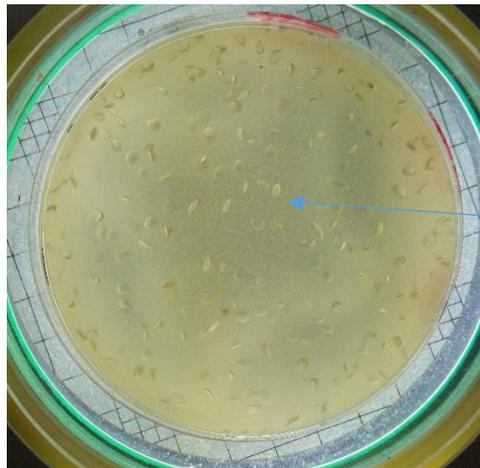
Pour la détermination des coliphages, il a été utilisé une souche hôte de *Salmonella typhimurium* (ATCC 14028). La première étape a consisté à cultiver la souche sur le milieu **Tryptic Soy Agar (TSA)** préalablement préparé, refroidi et coulé dans les boîtes de pétri. Des stries (serrées et larges) à la surface du milieu solidifié, ont été faites à partir d'écouvillon contenant une souche de *S. typhimurium*. Les boîtes sont ensuite incubées à 37°C pendant 24h.

Après incubation, les colonies ayant poussées ont été introduites dans des tubes contenant du bouillon nutritif qu'on a incubé à 37°C de sorte à avoir une croissance **logarithmique** nécessaire à l'identification des coliphages.

La seconde étape consiste à prélever dans des bouteilles stériles de 200 ml respectivement, 1ml de bouillon, 100ml de l'échantillon et/ ou des dilutions et 100ml du milieu TSA (**double**). Après avoir homogénéisé le mélange, on le coule dans les boîtes de pétri et on incubé à 37°C pendant 24h. Après l'incubation, on peut distinguer les lyses de bactéries traduisant la présence de virus.

Les résultats sont exprimés en UFP/100ml à partir de la formule ci-dessous :

$$[\text{Coliphages}] = \frac{n}{V_{\text{inoculé}}} * Fd ; n \in [30 ; 300] ; V_{\text{inoculé}} = 100 \text{ ml}$$



Zones de lyse

➤ Parasites

L'analyse parasitologique a consisté à rechercher les œufs d'helminthes et kystes de protozoaires par la méthode de Bailenger modifiée décrite dans le manuel des techniques parasitologiques et bactériologiques de l'Organisation Mondiale de la Santé (WHO 1996).

Un volume de 5 litres des différents échantillons est mis à décanter, pendant 3 à 24 heures puis le surnageant est évacué à l'aide d'une pompe à vide, pour permettre de recueillir les culots. Les culots des différents échantillons sont disposés dans des tubes coniques de 50 ml puis centrifugés à 1000 tpm pendant 15 minutes.

Après cette première centrifugation, le surnageant est évacué et le volume du culot est noté. On ajoute alors un volume égal au volume du culot d'une solution de tampon acéto-acétique, puis deux fois le volume du culot d'une solution d'éther éthylique. On centrifuge à nouveau les tubes à 1000 tpm pendant 15 minutes. On distingue ainsi trois phases, la première en surface correspond aux graisses et impuretés, celle du milieu correspond au reste de réactifs et celle du bas concentre les parasites.

Evaluation de la qualité microbiologique des rejets des stations d'épuration de la ville de Ouagadougou (Burkina Faso)

Les deux premières phases sont jetées et on ajoute 5 fois le volume du culot restant, d'une solution de sulfate de zinc. Les tubes sont ensuite homogénéisés à l'aide d'un vortex puis on fait la lecture en triplicata au microscope, entre lame et lamelle à partir d'un volume de 0,1 ml. Les formes d'organismes observées ont été comparées à celles de parasites connues pour identification. La formule ci-dessous a permis de déterminer le nombre d'œufs ou kystes par litre.

$$N = \frac{A * X}{P * V}$$

N = nombre d'œufs par litre d'échantillons ;

A = nombre moyen d'œufs comptés sur la lame à partir des trois essais ;

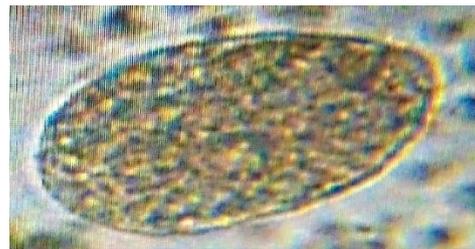
X = volume du produit final (ml)

P = volume de la lame (ml)

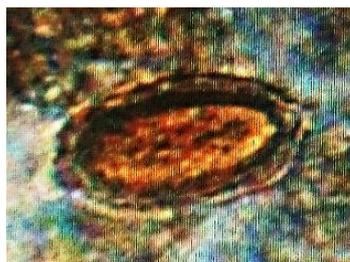
V = volume d'échantillon brute (litres)



Ascaris lumbricoides



Ascaris lumbricoides infertile



Trichuris trichura



Schistosoma haematobium



Strongyloides stercoralis

➤ **Chlorophylle a**

La détermination de la chlorophylle a, permet d'apprécier la charge algale des bassins de maturation des stations étudiées. Le protocole adopté est basé sur la méthode de **Lorenzen**. Les phases d'extraction et de lecture sont présentées comme suit :

Extraction

Les échantillons ont été filtrés jusqu'à saturation sur une membrane de type GF/C de diamètre 47mm et 0,2 mm de porosité puis les filtres ont été introduits dans des tubes à centrifuger de 50 ml contenant de l'acétone 90%. Les tubes sont conservés à l'obscurité à 4°C pendant 24 heures puis centrifugés à 2500 rpm pendant 10 minutes.

Lecture

La lecture de la densité optique du blanc et des échantillons a été faite au spectrophomètre DR3900. Des cuves de 10 ml ont été remplies avec les extraits des différents échantillons, ainsi que le blanc (d'acétone pur) puis les mesures ont été faites aux longueurs d'onde 665 nm et 750 nm. Une fois les valeurs notées, on procède à l'acidification des extraits à raison de 1ml d'acide chlorhydrique 1N pour 3ml d'échantillon. Les tubes sont homogénéisés au vortex puis mesurés à nouveau aux longueurs d'onde 665 nm et 750 nm ;

La concentration en **chlorophylle a**, est déterminé à partir de la formule suivante :

$$[Chlorophylle a] = 27 * \frac{[(A^{665} - A^{750}) - (A'^{665} - A'^{750}) * v]}{L * V}$$

Où :

- **A°665 et A°750** sont les DO à 665 et 750 avant acidification ;
- **A'665 et A'750** sont les DO à 665 et 750 après acidification ;
- **v** est le volume de solvant (acétone) utilisé pour l'extraction en millilitre;
- **V** est le volume d'échantillon filtré en litre ;
- **L** est l'épaisseur de la cuve ;
- **26,7** est le facteur d'absorption
-

Annexe 2 : Quelques cas de dysfonctionnements aperçu au niveau des stations



Déversement du percolât de BV dans un bassin de maturation à Kossodo et présence de la végétation



Présence de déchets solides et formation de zones morte à Zagtouli et Laïco



Présence de croûte de boues dans un bassin de maturation à Laïco

Annexe 3 : Réutilisation des eaux usées traitées à Laïco



Espaces verts arrosés avec les eaux usées traitées à Laïco

TABLE DES MATIERES

DEDICACES.....	i
REMERCIEMENTS	ii
RESUME.....	iii
ABSTRACT	iv
LISTE DES ABREVIATIONS	v
SOMMAIRE	vi
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES	viii
INTRODUCTION.....	1
I. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	3
I.1. Généralités sur les eaux usées	3
I.1.1. Eaux usées domestiques	3
I.1.2. Eaux usées industrielles	3
I.1.3. Eaux pluviales	4
I.1.4. Percolât des boues de vidange.....	4
I.2. Quelques indicateurs de qualité microbiologique	4
I.2.1. Indicateurs de contamination fécale	4
I.2.2. Les bactéries pathogènes.....	5
I.2.3. Les virus dans les eaux usées	6
I.2.4. Parasites : Œufs d'helminthes et kystes de protozoaires	7
I.3. Procédés biologiques de traitement des eaux usées	8
I.3.1. Système à boues activées	9
I.3.2. Système de lagunage à microphytes.....	10
I.4. Performances de désinfection des procédés à boues activées et lagunage à microphytes	14
I.5. Réutilisation des eaux usées traitées	15
I.5.1. Au niveau mondial	15
I.5.2. Au Burkina Faso	16
I.6. Cadre institutionnel, réglementaire et normatif de la gestion des eaux usées au Burkina Faso.....	16
I.7. Recommandations de l'OMS	17
I.8. Recommandations du PNUE.....	18
II. MATÉRIEL ET MÉTHODES	20
II.1. Démarche méthodologique générale de l'étude.....	20

II.2. Présentation de la zone d'étude et des stations étudiées	20
II.2.1 Station d'épuration des eaux usées de Kossodo.....	21
II.2.2 Station de traitement des boues de vidange de Sourgoubila	23
II.2.3 Station d'épuration des eaux usées de l'hôtel Laïco	24
II.2.4. Station de traitement des boues de vidange de Zagtouli	25
II.3. Echantillonnage.....	27
II.4. Analyses bactériologiques et parasitologiques	27
II.5. Traitement des données.....	29
II.5.1. Calcul des concentrations	29
II.5.2. Calcul des rendements	29
II.5.3. Calcul des abattements en Ulog.....	29
II.5.4. Calcul des concentrations escomptées	30
III. RESULTATS ET DISCUSSIONS	31
III.1. Caractéristiques des eaux usées brutes des stations étudiées.....	31
III.1.1. Débits de fonctionnement	31
III.1.2. Indicateurs de contamination fécale	31
III.1.3. Teneurs en pathogènes des influents	33
III.1.4. Teneurs en Coliphages des influents	37
III.1.5. Teneurs en parasites des influents	38
III.2. Caractéristiques des eaux usées traitées et performances des stations	39
III.2.1. Indicateurs de contamination fécale	39
III.2.2. Teneurs en pathogènes des effluents traités.....	43
III.2.3. Teneurs en Coliphages des effluents traités.....	47
III.2.4. Teneurs en parasites des effluents traités.....	48
III.4. Teneur en Chlorophylle a des eaux usées traitées	50
III.5. Analyse des facteurs de contre-performances des stations.....	51
III.5.1. Cas de la station de traitement des eaux usées de Kossodo.....	51
III.5.2. Cas de la station de traitement des percolâts de boues de vidange de Sourgoubila.....	53
III.5.3. Station de traitement des percolâts de boues de vidange de Zagtouli	53
III.5.4. Station de traitement des eaux usées de l'hôtel Laïco	54
CONCLUSION	55
RECOMMANDATIONS	57
BIBLIOGRAPHIE	58
ANNEXES	ix
TABLE DES MATIERES.....	xviii

