THE UNIVERSITY of EDINBURGH

Edinburgh Research Explorer

Mise au point d'un systeme integre de gestion des eaux usees

Citation for published version:
Hounkpe Wendeou, SP, Adjovi, E, Crapper, M & Aina, MP 2013, 'Mise au point d'un systeme integre de gestion des eaux usees', *Revue Ivorienne Sciences et Technologie (REVIST)*, vol. 21 & 22, pp. 154.

Link:
Link to publication record in Edinburgh Research Explorer

Document Version:
Publisher's PDF, also known as Version of record

Published In:
Revue Ivorienne Sciences et Technologie (REVIST)

General rights
Copyright for the publications made accessible via the Edinburgh Research Explorer is retained by the author(s) and / or other copyright owners and it is a condition of accessing these publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

Take down policy
The University of Edinburgh has made every reasonable effort to ensure that Edinburgh Research Explorer content complies with UK legislation. If you believe that the public display of this file breaches copyright please contact openaccess@ed.ac.uk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Download date: 13. mai. 2025

Rev. Ivoir. Sci. Technol., 21&22 (2013) 154 – 173
ISSN 1813-3290, http://www.revist.ci

MISE AU POINT D'UN SYSTÈME INTÉGRÉ DE GESTION DES EAUX USÉES

Séna Peace HOUNKPE[1], Edmond Codjo ADJOVI[1*], Martin CRAPPER[2] et Martin Pépin AINA[1]

[1]Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Université d'Abomey-Calavi
[2]Institute of Infrastructure and Environment, School of Engineering, University of Edinburgh

* Correspondance, e-mail : *adjed2012@gmail.com*

RÉSUMÉ

Le présent travail a consisté en une étude technique et scientifique d'un système intégré de traitement et de recyclage des eaux usées. En effet, les eaux usées et leur épuration constituent à la fois un enjeu économique majeur pour la promotion agricole d'une part, et une cause importante des maladies diarrhéiques et parasitaires si elles ne sont pas bien traitées avant leur utilisation d'autre part. Pour concilier ce double rôle joué par ces dernières dans l'équilibre de l'environnement et de la gestion durable des ressources en eau, il a été mis au point et réalisé une station pilote de traitement et de recyclage des eaux usées sur le site du Campus de l'Université d'Abomey-Calavi (République du Bénin- Afrique de l'Ouest).

La station, dimensionnée sur la base des débits et caractéristiques biologiques et physico-chimiques des eaux usées générées par les résidences universitaires, est constituée d'un bassin anaérobie, d'un bassin facultatif et de deux séries de bassins de maturation (l'une utilisant le lagunage simple, l'autre le lagunage à macrophytes). Les effluents des séries sont convergés vers deux (02) bassins à poissons distincts. L'effluent des bassins à poissons est utilisé pour l'irrigation de culture maraîchère. L'envergure de la station y compris les zones cultivées est de 1ha 30a.

Les performances épuratoires de la station ont été évaluées à partir de la mesure des paramètres physico-chimiques tels que : le pH, la turbidité, les matières en suspension (MES), la demande chimique en oxygène (DCO), la demande biochimique en oxygène à 20°c en 5 jours (DBO5), l'azote et le phosphore. Il résulte des analyses de laboratoire, des abattements de la DCO de 93% et 90%, de la DBO_5 97% et 93% respectivement à la sortie du

système à lentilles d'eau et du système à algues, une élimination de 98% environ des matières en suspension à la sortie des deux systèmes.

Mots-clés : e*aux usées, caractérisation, bassins de stabilisation, macrophyte, épuration, récyclage*.

ABSTRACT

Development of an integrated system of management of wastewater

This work consisted in a technical and scientific study of an integrated wastewater treatment and recycling system. Indeed, sewage treatment is a major economic challenge for agricultural promotion on one hand; in the other hand, improper sewage disposal and the use of untreated wastewater are the major cause of diarrhea and water related diseases. To remediate to theeffect of sewage on the environmentstability and enhance a sustainable water resources management, a pilot plant for treatment and recycling of wastewater has been designed and constructed on the site of the campus of the University of Abomey-Calavi (Benin, West Africa).

The plant, designed based on the flow, biological and physico-chemical characteristics of the wastewater generated by university halls, consists of an anaerobic pond, a facultative pond and two series of maturation ponds (one is algae based treatment, other macrophytesbased treatment). The effluents from the series are conveyed to two (02) separate fish ponds. The effluent from fish ponds is used for cropsfarming. The land use for the overall system is 1ha 30a.

The performance of the plant were evaluated through the monitoring of physico-chemical parameters such as pH, turbidity, total suspended solids (TSS), chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand at 20°C after 5 days incubation (BOD_5), nitrate, nitrite and phosphate. From the laboratory analysis, the removal efficiencies observed are: 93% and 90% for COD, 97% and 93% for BOD_5respectively for the duckweed based system and algae based system;the percentage of removal of suspended solids is approximately 98% for the two systems.

Keywords : *sewage, characterisation, stabilisation ponds, macrophytes, treatment, recycling*.

I - INTRODUCTION

Le problème de l'eau est au cœur de la plupart des problèmes de santé publique que connaissent les pays en développement[1-2]. Une gestion adéquate des eaux usées est donc nécessaire pour protéger l'environnement, résoudre les problèmes de santé publique[3-5], éviter les odeurs désagréables, et aussi produire des effluents microbiologiquement sûrs pour la culture maraichère ou la pisciculture avec les éléments nutritifs dont ces eaux regorgent [6-11]. A cet effet, plusieurs technologies d'épuration des eaux usées existent actuellement dans le monde et beaucoup d'entre elles à savoir : boues activées, oxyterne, chenal d'oxydation ont été essayées dans la région sub-saharienne [12-14].

Les systèmes de type intensif représentent, en nombre, 76% des stations recensées dans les quatorze (14) pays francophones de l'Afrique de l'Ouest contre 10% de station de lagunage [15], cependantces systèmes d'épuration de type intensif ne sont pas toujours adaptés à notre environnementclimatique et économique. Ils sont chers, difficiles à entretenir, exigent un personnel qualifiéet ne sont pas compatibles avec les conditions locales. Leurs coûts d'investissement et d'utilisation sont élevés respectivement à cause de l'importation des composants mécaniques et la cherté de l'électricité. Par ailleursles coupures intempestives de courant font que ces types de stations conventionnelles ne peuvent pas fonctionnerde façon continue [16-19].

La croissance rapide de la population urbaine, qui est l'une des caractéristiques majeurs des villes du Tiers Monde [20-21],fait que les autorités locales se retrouvent face au défi de mettre à disposition d'installations sanitaires adéquates [22] alors que pendant longtemps les efforts n'ont été concentrés que sur l'approvisionnement de la populationen eau potable [23]. Le campus universitaire d'Abomey-Calavi n'échappe pas à cette réalité en termes d'assainissement des eaux usées. En effet, l'évolution galopante de l'effectif des apprenants avec un taux d'accroissement annuel moyen de 17% depuis 2009 [24] a pour conséquence l'accroissement du nombre des étudiants logés dans les résidences universitaires dudit campus qui est passé de 200 en 1970 à 4558 résidents en 2010[25] avec une implication directe sur la quantité des eaux usées générées.

La majeur partie de ces eaux générées (près de 70%) sont déchargées par un réseau d'égout dans le lac Nokoué ; le reste, après un prétraitement par des fosses septiques, sont dirigés vers des puits perdus, avec comme corollaire des problèmes environnementaux et de santé publique.

Au regard de ce qui précède, il est pertinent de concevoir, de réaliseret d'essayer sur le site du campus d'Abomey-Calavi avant une généralisation au niveau des villes,unsystème piloteintégréefficace de traitementdes eaux usées domestiques,qui tient compte des conditions socio-économiques, climatiques [26] et permettant la valorisation des éléments nutritifs résiduels tels que l'azote et le phosphore qui sont recyclable dans la culture maraichère ou la pisciculture[27].

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

II-1. Zone d'étude

Le Campus Universitaire d'Abomey-Calavi est situé dans Abomey-Calavi, une ville du sud – Bénin. Le Bénin est un pays tropical situé en l'Afrique de l'Ouest localisé entre 6 ° 30 et 12 ° 30 de latitude et 1 ° et 3 ° 40 de longitude. La température moyenne annuelle est de 26,5 °C avec un ensoleillement annuel moyen de 2862 heures et une hauteur moyenne annuelle de pluie de 1300mm et une évaporation moyenne de 7200 mm/jour [28] .

II-2. Étude de la station pilote et du réseau de collecte des eaux usées

II-2-1. Caractérisation des eaux usées

Plusieurs échantillons d'eaux usées ont été collectés à divers moments (Novembre 2010, mai 2011, Aout 2011) au niveau de cinq (05) résidences universitaires connectées à la station pilote. Sept (07) échantillons d'eaux usées et quatre (04) échantillons d'eaux grises sont effectués respectivement dans le premier compartiment des fosses de récupération et au niveau des puisards recevant les eaux grises, après homogénéisation deleur contenu. Les échantillons sont prélevés dans des bouteilles en plastique aseptisées de 1,50litre remplis à ras, fermées immédiatement et conditionnées dans des glacières à une température d'environ 5°C et protéger contre les rayons solaires pour le transport au laboratoire.

Les paramètres tels que le pH, la température, la conductivité et l'oxygène dissous sont mesurés in-situ. La température, le potentiel d'hydrogène (pH) et potentiel de redox (Eh) sont déterminés avec le pH-mètre pH 3110 SET 3 (WTW) de précision ± 0,01upH suivant la norme *NFT 90-008.* La conductivité électrique, la salinité et le Total des Solides Dissous (TDS) sont mesurés par HANNA instruments de précision ±1µs/cm suivant la norme

NFT 90-031. La détermination de l'oxygène dissous quant à elle est faite par la méthode électrochimique à l'aide de l'oxymètre : Oxi 730 suivant la norme *NFT 90-106*. La mesure des pollutions microbiologique, organique, azotée, phosphorée et en métaux lourds s'est déroulée au laboratoire.La demande chimique d'oxygène (DCO) a été dosée conformément à la norme *NFT 90-101*. Le test de la demande biochimique en oxygène à 20°C après 5 jours DBO_5 a été fait en utilisant un ensemble de six oxytops avec un système d'incubation à température constante obtenue par l'utilisation d'une armoire thermostatée suivant la norme NF EN *1899-2*. La méthode colorimétrique et l'adsorption atomique (pour les valeurs non détectable par la méthode colorimétrique) ont été utilisées pour le dosage des métaux lourds. Les teneurs en phosphate (PO_4^-), en nitrate (NO_3^-) et en nitrite (NO_2^-) ont été mesurées avec un spectrophotomètre DR 2800 suivant la norme NFT 90-015.

II-2-2. Conception et dimensionnement de la station pilote (des bassins) d'épuration

II-2-2-1. Description du système

Les eaux usées provenant des résidences universitaires, situés à 460 m de l'emplacement de la station, sont collectées par un mini-réseau d'égout gravitaire vers le système de traitement. La qualité requise pour l'effluent est fixée en tenant de sa réutilisation en pisciculture et en agriculture. La norme pour la réutilisation des effluents d'eaux usées traitées dans l'agriculture a été extraite du guide de l'OMS pour la réutilisation des eaux usées en agriculture. Le système proposé comprend un bassin anaérobie, un bassin facultatif et deux séries de bassins de maturation, l'une utilisant le lagunage simple, l'autre le lagunage à macrophytes. Les macrophytes utilisés sont des lentilles d'eau récoltées dans les bas-fonds de Cotonou. Les effluents des séries sont convergés vers deux (02) bassins à poissons distincts. L'effluent des bassins à poissons est utilisé pour l'irrigation de culture maraîchère.
Le schéma de principe de la station pilote est présenté sur la ***Figure 1***.

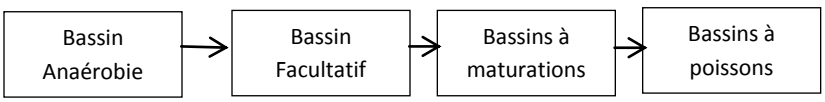

Figure 1 : *Schéma de principe de la station pilote*

II-2-2-2. Dimensionnement des bassins

Le volume du bassin anaérobie exprimé en m^3 est donné par [29]:

- ***Bassin anaérobie***

$$V_a = \frac{C_{BODaf}Q}{\lambda_V} \quad (1a)$$

Où C_{DBOaf} est la charge en DBO_5 entrante exprimée en mg/L et Qle débit en m^3/jour.

λ_v (kg/m^3j) la charge volumétrique, dans la formule (1a), dépend de la température et sa valeur peut être donné par[30]:

$$\begin{aligned} Pour\ T < 10 \quad & \lambda_V = 100\ ; \\ Pour\ 10 \leq T < 20 \quad & \lambda_V = 20T - 100\ ; \\ Pour\ T \geq 10 \quad & \lambda_V = 300\ ; \end{aligned} \quad (1b)$$

Où T est la température en °C.

- ***Bassin facultatif***

La section intérieure moyenne (à mi- profondeur) du bassin facultatif en m^2 est donné par :

$$A_f = \frac{10C_{DBOan}Q}{\lambda_{A_f}} \quad (2)$$

Où C_{DBOan} est la charge en DBO_5 entrant dans le bassin facultatif (sortant du bassin anaérobie) exprimée en mg/L,

λ_{Af}, exprimé kg/ha.j, est la charge surfacique. Elle dépend de la température T et sa valeur est obtenue par la formule ci-après[31] :

$$\lambda_{A_f} = 350(1{,}107 - 0{,}002T)^{(T-25)} \quad (3)$$

Une fois que la section du bassin est déterminée par la formule (2) et la hauteur d'eau H (m) dans le bassin est choisie entre 1 et 2 m, le temps de séjour des eaux dans le bassin est donné par [32] :

$$\theta_f = \frac{A_f H}{Q_m} \quad (4)$$

Où Q_m est le débit moyen et est donné par :

$$Q_m = \frac{Q_{af} + Q_{ef}}{2} \quad (5)$$

Q_{af} et Q_{ef} sont respectivement les débits entrant et sortant du bassin. Or le débit sortant du bassin n'est rien d'autre que le débit entrant moins

l'évaporation et la filtration. Les parois du bassin ici étant étanche, la filtration est quasiment nulle, ce qui permet d'écrire que :

$$Q_{ef} = Q_{af} - 0{,}001 A_f e \quad (6)$$

Où e est l'évaporation nette en mm/jour.
En remplaçant les équations (5) et (6) dans (4), l'expression du temps de séjour prend la forme suivante:

$$\theta_f = \frac{2A_f H}{2\,Q_{af} - 0{,}001 A_f e} \quad (7)$$

- ***Bassins de maturation***

Le nombre de bassins et le temps de séjour dans un bassin sont déterminés en se basant sur le principe par lequel l'élimination des coliformes fécaux peut être modélisée dans un réacteur uniforme comme une équation cinétique de premier ordre donné pour un bassin.Cette équation est de la forme [33-34] :

$$\frac{N_{af}}{N_{ef}} = 1 + K_T \theta \quad (8)$$

Où N_{af} est le nombre de coliformes fécaux dans 100mL de l'affluent, N_{ef}, le nombre de coliformes fécaux dans 100ml de l'effluent, θ le temps de séjour et K_T la constante de premier ordre d'élimination des coliformes fécaux. Prenant en compte leschéma de principe du système d'épuration étudié ***(Figure 1)*** et en supposant que nous disposons de n bassins de maturations identiques l'expression (8) peut s'écrire comme suit:

$$\frac{N_{af}}{N_{ef}} = (1 + K_T \theta_a)(1 + K_T \theta_f)(1 + K_T \theta_m)^n \quad (9)$$

Avec $K_T = 2{,}6(1{,}19)^{(T-20)}$ et $\theta_{min} < \theta_m < \theta_f$. (La valeur de θ_{min} est fixée à trois (03) jours [32]).
Le choix de θ_m et n est considéré définitif lorsque lacharge surfacique en DBO_5 du premier bassin de maturation (λ_{Am})est inférieure à celle du bassin facultatif (λ_{Af}) et a pour valeur maximale 75% de la charge surfacique du bassin facultatif; dans le cas contraire le choix doit être repris en imposant la valeur limite.
L'expression de la charge surfacique, déterminée en supposant que 70% de la DBO_5 a été éliminé dans les bassins anaérobie et facultatif, est déduite des équations (2) et est donné par :

$$\lambda_{A_m} = \frac{10(0{,}3 C_{DBOan}) H}{\theta_m} \quad (10)$$

Où la hauteur d'eau H est comprise entre 1 à 1,5m.

La section moyenne de chaque bassin peut être déduite de l'équation (7) ; soit :

$$A_m = \frac{2Q_f\theta_m}{2H - 0{,}001e\theta_m} \quad (11)$$

Où Q_f est le débit sortant du bassin facultatif et est déterminé par l'équation (6).

- ***Bassins à poissons***

Pour ce bassin, l'objectif est de pouvoir maintenir les eaux pendant un temps de séjour de 6 jours environ. Le dimensionnement est donc essentiellement basé sur la charge hydraulique et le volume V_{ba} du bassin est déduite de l'équation(4) selon [13] :

$$V_{ba} = \theta_{ba} Q_{ma} \quad (12)$$

Où Q_{ma} est le débit sortant des bassins de maturation.

II-2-3. Réseau de collecte

Le réseau de collecte des eaux usées a été dimensionné comme un canal à ciel ouvert et conformément à la formule de la vitesse d'écoulement de Manning – Strickler [35, 36]:

$$V = K_{str}\, R_H^{2/3}.\, I^{1/2} \quad (13)$$

Où, R_H le rayon hydraulique, I le gradient hydraulique, K_{str}le coefficient de Strickler. La limitation de vitesse est de 0,5 *m/s* <*V* < *5m/s* et débit journalier de *Q= 6,20m*^{3}*/j*à pomper pendant en 20mn[35-36].

II-3. Étude la structure en béton armé des bassins

La structure est dimensionnée selon les règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites et Règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de génie civil du BAEL 91 avec une fissuration préjudiciable [37-38].

II-3-1. Exécution des bassins

Les différents bassins de la station ont été réalisés sur un sol stable avec du béton armé vibré dosé à 300kg/m3. La résistance à la compression à 28 jours du béton ordinaire utilisé est de 20MPa. Les aciers sont à haute adhérence de

nuance f_e = 400MPa. Le béton, quant à lui, est mis en œuvre avec un ajout de produit d'étanchéité « sikalatex » pour assurer sa parfaite étanchéité. Aussi le fond et les parois des fouilles ont été protégés par des trois couches de films polyanes avant la mise en œuvre du béton armé ; ceci pour protéger le sol contre une pollution par les eaux qui pourraient s'infiltrer par les éventuelles microfissures des parois en béton armé.

II-3-2. Suivi de la performance de la station

Les paramètres de suivis mesurés sont : le pH, la température, l'oxygène dissout, les matières en suspension (MES), la DCO, la DBO et les coliformes fécaux. Les conditions environnementales dans les bassins sont mesurées chaque jour à l'entrée et à la sortie de chaque bassin. Des échantillons sont prélevés des bassins pour la mesures des éléments nutritifs (Azote et phosphate) de la charge organique (DBO_5 et DCO) et microbiologiques.
La méthode d'échantillonnage, d'analyse et les normes utilisées pour la mesure des paramètres sont identiques à celles utilisées pour la caractérisation des eaux.

III - RÉSULTATS ET DISCUSSION

III-1. Caractéristiques des eaux usées et eaux grises du Campus d'Abomey-Calavi

Le ***Tableau 1*** présente les caractéristiques des eaux usées et des eaux grises du campus de l'Université d'Abomey-Calavi.

Tableau 1 : *Caractéristiques des eaux usées domestiques du Campus d'Abomey-Calavi (Bénin)*

Paramètres	**Unité**	**Eaux usées**	**Eaux grises**
O_2 dissous (mg/L)	mg/L	0,5 ± 0,13	0,8 ± 0,21
Température	°C	29 ± 1,4	29,9 ± 0,5
pH	[H3O+]	6,8 ± 0,4	6,8 ± 1,0
Conductivité	µS/cm	1323 ± 645	1161 ± 787
Salinité	mg/L	1076 ± 537	987 ± 669
Eh (mV)	mV	149 ± 110	229 ± 60
MES	mg/L	274 ± 152	90 ± 14
DCO	mg/L d'O_2	790 ± 444	77 ± 6
DBO_5	mg/L d'O_2	337 ± 148	60 ± 11
NH_4^+	mg/L	16 ± 6	0,1 ± -

NO_2^-	mg/L	0,10 ± 0,04	0,04 ± 0,03	
NO_3^-	mg/L	84 ± 40	45 ± 14	
NTK	mg/L	103 ± 19	23 ± 5	
$PO4^{3-}$	mg/L	14 ± 5	26 ± 24	
P total	mg/L	27 ± 3	13 ± 12	
Fer	mg/L	0,73	ND	
Zinc	mg/L	0,09	ND	
Cuivre	mg/L	0,03	ND	
Aluminium	mg/L	0,80	ND	
Manganèse	mg/L	0,02	ND	
Coliformes fécaux	10^5/100mL	71,68 ± 20,95	3,15 ± 2,97	
Escherichia coli	10^5/100mL	61 ± 19	2 ± 3	
Streptocoques fécaux	10^5/100mL	3,3 ± 0,8	1,7 ± 0,18	
Coliformes totaux	10^7/100mL	15	1,5 ± 1,94	

Valeur = moyenne ± écart type, ND = Non, Déterminé

Les valeurs obtenues montrent que les eaux usées du Campus d'Abomey-Calavi sont de même ordre de pollution que les eaux usées du campus de Kwamey Nkrumah University of Science and Technology (KNUST-Ghana [17]. Ces eaux se retrouvent dans la catégorie des eaux usées domestiques fortement chargées selon le classement de Metcalf& Eddy alors que les eaux grises peuvent être classées comme des eaux faiblement chargées [34]. Ces différentes valeurs enregistrées présentent un milieu proche de la neutralité, toutefois les fortes charges observées sont les caractéristiques d'un milieu alcalin.

Les eaux étudiées présentent les caractéristiques des eaux usées domestiques, sauf pour l'azote Kjeldhal. La concentration en NTK dépasse largement les valeurs usuelles reconnues pour les EU, qui sont respectivement de 30 – 100 mg/l. Les E_H mesurés donnent en général des R_H compris entre 15 et 23, ce qui témoigne d'un milieu anoxique, favorable à l'oxydation des composés organiques.La forte présence des germes pathogènes indique une contamination fécale résistante, et s'explique aussi par les fortes salinités du milieu, favorable au développement de ces germes.

Les valeurs (moyenne, minimale et maximale) du pH comprises entre 6,40 et 7,20 sont favorables à l'activité bactériologique. Mais, les rendements escomptés en $DB0_5$ et en DCO au niveau du bassin anaérobie pourraient diminuer, à cause de la sensibilité des bactéries méthanogènes aux variabilités du pH. Elles convertissent en effet, les matières organiques polluantes (DCO, $DB0_5$) en méthane (CH_4).

Les faibles valeurs obtenues pour l'oxygène dissous témoignent de la forte charge en matière organique DCO et DBO5 très forte. En l'occurrence il s'agit d'un effluent biodégradable (DCO/DBO_5=2,34), le processus de lagunage proposé ici est bien adapté.Les teneurs en métaux sont faibles mais il faut signaler que les fortes concentrations en fer et en aluminium sont dues à l'utilisation des boites de conserves dans les résidences universitaires. Malheureusement ces boites en fer et aluminium se retrouvent dans certaines fosses.

III-2. Dimensionnement des bassins de traitement des eaux usées du Campus d'Abomey-calavi

Le ***Tableau 2*** présente les caractéristiques géométriques des différents bassins.

Tableau 2 : *Dimensions et caractéristiques des bassins de la station pilote d'Abomey-Calavi*

	Anaérobie	Facultatif	Maturation 1 (2 en //)	Maturation 2 (2 en //)	Etang à poisson (2en//)
Volume (m^3)	23,10	34,29	25,26	25,26	42,86
Profondeur utile (m)	2,10	1,50	1,00	1,00	1,50
Temps de séjour (jour)	2,00	6,00	4,00	4,00	6,00
Surface à mi profondeur (m^2)	13,75	22,86	25,26	25,26	28,57
Longueur moyenne (m)	5,00	7,62	6,31	6,31	4,76
Largeur moyenne (m)	2,20	3,00	4,00	4,00	6,00
Revanche (m)	0,70	0,50	0,50	0,50	0,50
Profondeur totale (m)	2,80	2,00	1,50	1,50	2,00
Pente du talus n	0,00	1,00	1,00	1,00	1,50
Surface de radier (m^2)	13,75	9,18	15,94	15,94	9,42
Longueur inférieure (m)	5,00	6,10	5,30	5,30	2,50
Largeur inférieure (m)	2,20	1,50	2 x 1,50	2 x 1,50	2 x 1,90
Surface Supérieure (m^2)	13,75	55,65	49,89	49,89	82,99
Longueur supérieure (m)	5,00	10,10	8,30	8,30	8,50
largeur supérieure (m)	2,20	5,50	2 x3,00	2 x3,00	2 x4,90

La ***Figure 2*** présente le plan schématique de la disposition des différents bassins.

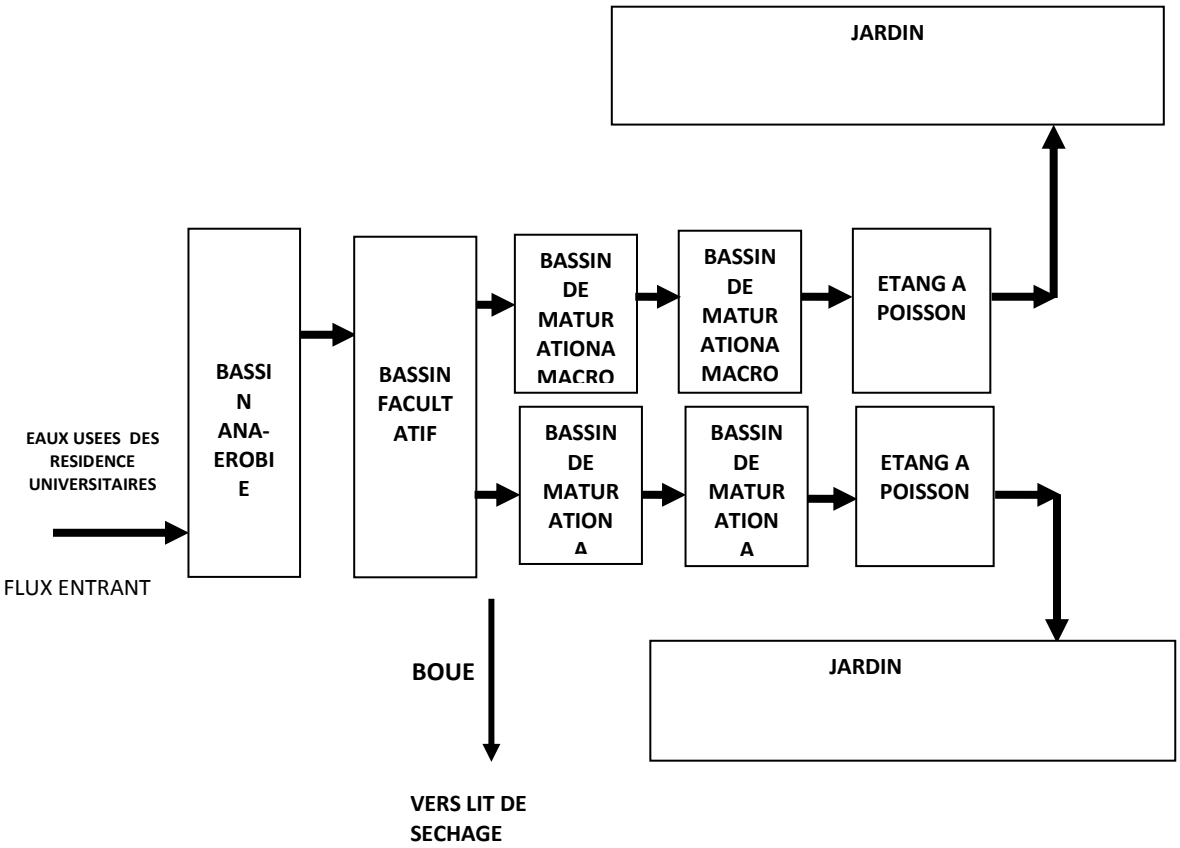

Figure 2 : *Plan schématique de la station pilote*

L'ouvrage obtenu après mise en œuvre des plans d'exécution des différents bassins est sur la ***Figure 3***.

Figure 3 : *Vue d'ensemble de la station pilote*

Le système de collecte de longueur totale 460 ml est en est en tuyau PVC de diamètre 110 mm et, et de pression nominale 4bars.

III-3. Performance épuratoire des bassins anaérobie et facultatif

Les valeurs moyennes des charges polluantes des eaux à l'entrée et à la sortie des deux systèmes sont présentées dans le ***Tableau 3***. Le taux d'élimination observé à la sortie de chaque bassin pour les TDS, la DCO, la DBO_5, les MES et les coliformes fécaux est représenté sur la ***Figure 4***. Le ***Tableau 4*** présente les concentrations en phosphate, nitrate et nitrite à la sortie de chaque bassin.

Tableau 3 : *Qualité des affluents et des effluents des systèmes*

Désignations	Unités	Affluent	Effluent Système à macrophyte	Effluent système à algue	Valeurs requises pour réutilisation en agriculture
Température	°C	29,6 ± 2,1	*28,7 ± 1,4*	*28,6 ± 1,65*	
TDS	mV	715 ± 121	*122 ± 48*	*129 ± 45*	*< 450*
pH	$[H_3O^+]$	7,3 ± 0,5	*7,6 ± 0,4*	*7,8 ± 0,5*	*6,5 à 8,0*
Oxygène dissous	mg/L	0,9 ± 0,8	*6,4 ± 0,4*	*6,7 ± 0,47*	*>4*
DCO	mg/L d'O_2	980 ± 108	*67 ± 10*	*102 ± 12*	
DBO_5	mg/L d'O_2	392 ± 43	*12 ± 3*	*29 ± 5*	
MES	mg/L	342,0 ± 31,0	*5 ± 2*	*7 ± 3*	*< 50*
Coliforme fécaux	N/100ML	7,75E+06 ± 4,95E+05	*95 ± 15*	*87 ± 12*	*<1000*

ISSN 1813-3290, http://www.revist.ci

Tableau 4 : *Concentration des affluents et effluents en phosphate, nitrate et nitrite*

Désignations	Unités	Affluent	Effluent Bassin anaérobie	Effluent bassin facultatif	Effluent bassin à macrophyte 1	Effluent bassin à macrophyte 2	Effluent bassin à algue 1	Effluent bassin à algue 2	Taux global Système à macrophyte	Taux global système à algue
NO_2^-	mg/L	0,1 ± 0,09	0,51 ± 0,3	0,5 ± 0,1	0,025 ± 0,01	0,000 ± 0,001	0,03 ± 0,0	0,002 ± 0,001	*100%*	*98%*
NO_3^-	mg/L	83 ± 11	69 ± 11	50 ± 7	36 ± 6	20 ± 6	34 ± 3	28 ± 6	*76%*	*66%*
PO_4^{3-}	mg/L	15,0 ± 3,0	8,5 ± 1,5	5,0 ± 2,0	3,0 ± 1,5	1,3 ± 0,4	5,2 ± 2,5	3,3 ± 1,5	*92%*	*78%*

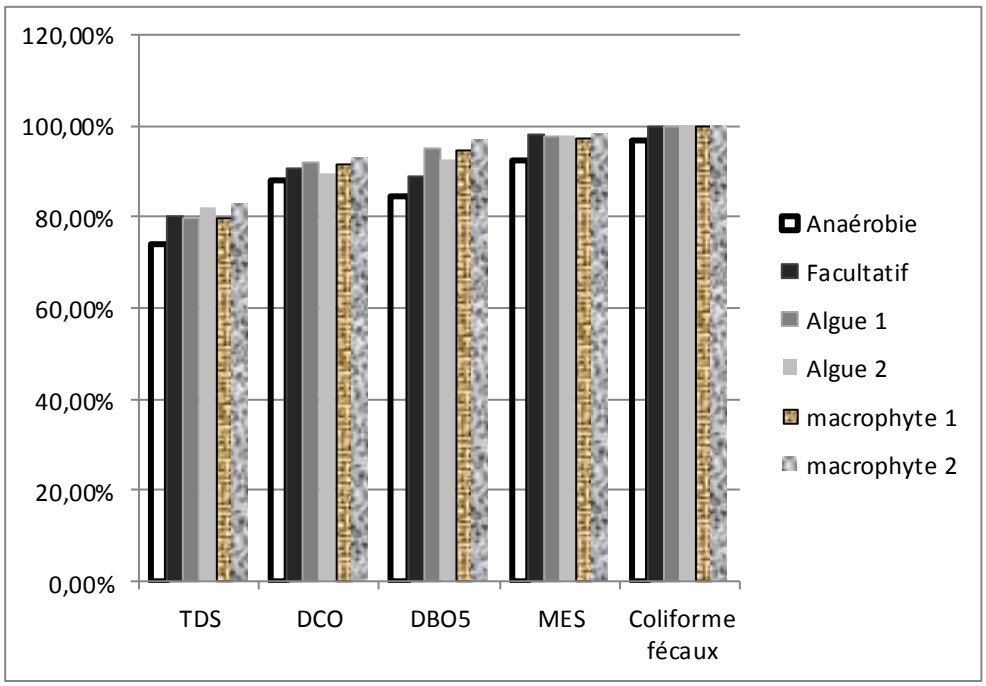

Figure 4 *: Performance épuratoire des bassins de la station pilote*

Des mesures journalières des paramètres physico-chimiques tels que : pH, E_H, T, O_2, TDS ont permis d'évaluer les moyennes de ces paramètres. De mesures hebdomadaires découlent les moyennes des valeurs de paramètres tels que : MES, de la DCO, de la DBO, du PO_4^-, NO_2^-, NO_3^- .Les températures moyennes sont dans les mêmes ordres de grandeur dans les bassins à lentille d'eau et à algue (entre 28,4 et 28,7). Le pH moyen de 7,3 obtenu à l'entrée des bassins de maturation se retrouve dans l'intervalle de 5,0 à 9,5 requis pour une bonne croissance des macrophytes [39]. Le pH dans les bassins à algues est légèrement supérieur à celui des bassins à lentilles d'eau (où il est en moyenne de 7,6).

Une plus faible variation du pH est obtenue dans les bassins à lentilles d'eau. Ceci vient corroborer les travaux de Caicedo [39]. Une augmentation du pH de 4% est observée dans le premier bassin à algue où une augmentation de la DCO de 16% est observée, taux inférieur à celui obtenu par Awuah (56% d'augmentation de la DCO) [17]. Cette augmentation pourrait s'expliquer par un apport en charge dû à décomposition des algues mortes. Une meilleure

élimination des matières organiques est observée dans les bassins à lentilles d'eau comparée à celle à algues. Ce qui confirme les résultats de plusieurs travaux antérieurs [39-40]. Le taux global d'élimination est de 93% pour le système à lentille d'eau et de 90% pour celui à algue.
L'élimination de la DCO à la sortie des bassins anaérobie et facultatif est de 91%. A la sortie des bassins anaérobie et facultatif 89% de la DBO_5 a été éliminé. Ce taux est passé à 97% et 93% respectivement à la sortie du système à lentille d'eau et du système à algues. Les traitements préliminaires (anaérobie et facultatif) ont permis la réduction d'une grande partie des éléments nutritifs avec un taux d'élimination de 67% et 39% respectivement pour le phosphate et le nitrite et une augmentation considérable de la concentration en nitrate qui est passé d'une moyenne de 0,1 mg/l à 0,5 mg/l ; les concentrations en élément nutritif à la sortie de ces bassins ne répondent pas aux recommandations pour la réutilisation en agriculture.

Des taux de réduction de 34,0% et 74,8% pour le phosphate et 43,6 et 59,7 pour le nitrate sont observés respectivement dans les bassins à algues et à macrophytes ; la quasi-totalité du nitrite est éliminée dans les deux systèmes. Le taux de réduction du nitrate dans les bassins à algue (43,6%) est considérablement inférieur au taux trouvé dans les études antérieurs, (77%) [40], mais voisine de celui obtenu par d'autres auteurs (46,6%) [39]. Il a été reporté que le taux d'élimination de l'azote dans les bassins de stabilisation peut varier d'un pourcentage négligeable à des taux élevés selon la configuration des bassins et les caractéristiques de son fonctionnement [41]. Mais cette différence peut s'expliquer par le temps de séjour élevé dans certaines études antérieures. Le $\log_{10}$ d'élimination des coliformes fécaux est d'environs 5 dans les deux systèmes.

Les taux d'élimination des coliformes fécaux sont similaires dans les deux systèmes contrairement aux valeurs obtenues pour des expérimentations au laboratoire avec des eaux usées faiblement chargée qui montrent une grande différence entre les deux systèmes[42], quoique le taux d'élimination obtenu dans les bassins à algues est légèrement supérieur à celui du système à lentilles d'eau; mais ces résultats sont similaires à ceux obtenus pour les eaux usées moyennement chargées [17]. Les taux d'élimination des coliformes fécaux obtenus à la sortie des premiers bassins à lentilles d'eau et algues ont permis d'obtenir à la sortie de ces bassins des concentrations en coliformes fécaux qui répondent aux limitations en matière de réutilisation en pisciculture [43].

Une augmentation de l'oxygène dissout est observée dans les deux systèmes. L'O_2 est passé de 1,5 mg/l en moyenne à l'entrée du système à lentille d'eau

6,4mg/l et 6,7mg/l en moyenne pour le système à algue. Ce qui témoigne de l'efficacité du système et montre que l'effluent contient suffisamment d'oxygène pour une réutilisation en pisciculture [43-44].
Des augmentations du taux des MES de 25% et 35% sont respectivement notées dans les premiers bassins à lentilles d'eau et à algue. L'élimination des MES est surtout observée à la sortie du bassin facultatif avec un taux de 98%. A la sortie des deux systèmes aucune amélioration significative n'a été observée (taux de 98% inchangé au niveau du système à algues, et une amélioration de 0,3% dans le système à lentilles d'eau), ceci est du à l'augmentation de la charge en MES dans les premiers bassins à maturation.
A la sortie des bassins anaérobie et facultatif, les effluents présentent un sévère degré de restriction pour l'utilisation en agriculture selon les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) [43]. Mais après les post-traitements dans les bassins à algues ou à macrophytes, la qualité des effluents obtenus à la sortie des deux systèmes répondent aux normes pour la réutilisation en agriculture ***(Tableau 3).***

IV - CONCLUSION

Un système de lagunage simple et à macrophyte a été conçu pour le traitement et le recyclage des eaux usées domestiques. Le dimensionnement et l'étude de la performance des différents bassins ont été faits en prenant le cas des eaux usées générées par les résidences universitaires du Campus d'Abomey-Calavi. La caractérisation de ses eaux a montré qu'elles sont biodégradables (DCO/DBO_5 = 2,34) et donc bien adaptées au processus de lagunage proposé. L'étude de la performance des systèmes a montré que le système à lentilles d'eau est plus performant dans l'élimination des matières organiques et des éléments nutritifs que le système à algue ; le système est plus efficace dans l'élimination des germes pathogènes. La qualité des effluents obtenus à la sortie des deux systèmes répondent aux recommandation de l'OMS pour la réutilisation en agriculture.

RÉFÉRENCES

[1] – Organization, W.H., *Water, sanitation and hygiene links to health facts and figures-updated November 2004.* Geneva: WHO, 2010.
[2] – Montgomery, M.A. and M. Elimelech, *Water and sanitation in developing countries: including health in the equation.* Environmental science & technology, 2007. **41**(1): p. 17-24
[3] - Supply, W. and S.C. Council, *Global water supply and sanitation assessment: 2000 report*. 2003: OMS.

[4] - Organization, W.H. and UNAIDS., *Meeting the MDG drinking water and sanitation target: A mid-term assessment of progress*. 2004: World Health Organization.
[5] - OMS, *Evaluation annuelle mondiale de l'ONU-eau sur l'assainissement et l'eau potable*. 2010: Organisation Mondiale de la santé (OMS)
[6] - Akponikpè, P.B.I., et al., *Reuse of domestic wastewater treated in macrophyte ponds to irrigate tomato and eggplant in semi-arid West-Africa: Benefits and risks.* Agricultural Water Management, 2011. **98**(5): p. 834-840.
[7] - Qadir, M., et al., *The challenges of wastewater irrigation in developing countries.* Agricultural Water Management, 2010. **97**(4): p. 561-568.
[8] - Pedrero, F., et al., *Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture—Review of some practices in Spain and Greece.* Agricultural Water Management, 2010. **97**(9): p. 1233-1241.
[9] - Murray, A. and I. Ray, *Wastewater for agriculture: A reuse-oriented planning model and its application in peri-urban China.* Water Research, 2010. **44**(5): p. 1667-1679
[10] - Scott, C.A., N.I. Faruqui, and L. Raschid-Sally, *1. Wastewater Use in Irrigated Agriculture: Management Challenges in Developing Countries.* 2004.
[11] - Al-Nozaily, F.A., *Performance and process analysis of duckweed-covered sewage lagoons for high strength sewage: the case of Sana'a, Yemen.* 2001.
[12] - Mara, D.D., *Domestic wastewater treatment in developing countries*. 2004: Earthscan/James & James.
[13] - Mara, D., ed. *Low-cost Urban Sanitation*. 1996, John Wiley 1 Sons, New York.
[14] - Koné, D., C. Seignez, and C. Holliger. *Etats des lieux du lagunage en Afrique de l'Ouest et du Centre*. in *Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste management," EPCOWM'2002*. 2002.
[15] - KONE, D., et al., *Le Lagunage à macrophyte et l'irrigation maraîchère : Etude d'une station expérimentale à Ougadougou.*INFOCREPA, 2001. **31**: p. 5-10.
[16] - Konnerup, D., T. Koottatep, and H. Brix, *Treatment of domestic wastewater in tropical, subsurface flow constructed wetlands planted with Canna and Heliconia.* Ecological Engineering, 2009. **35**(2): p. 248-257.
[17] - Awuah, E., *Pathogen removal mechanisms in macrophyte and algal waste stabilization ponds*. 2006: Taylor & Francis.
[18] - Tsagarakis, K., D. Mara, and A. Angelakis, *Application of cost criteria for selection of municipal wastewater treatment systems.* Water, Air, & Soil Pollution, 2003. **142**(1): p. 187-210.

[19] - Oliveira, S.C. and M. Von Sperling, *Reliability analysis of wastewater treatment plants.* Water Research, 2008. **42**(4-5): p. 1182-1194.
[20] - Mbéguéré, M., et al., *Socio-economic profile and profitability of faecal sludge emptying companies.*Resources, Conservation and Recycling, 2010. **54**(12): p. 1288-1295.
[21] - Coulibaly, B., N.S. Domana, and D.A. Mogbanté, *Situation et perspectives de l'assainissement liquide urbain et péri urbain en Afrique de l'Ouest.*In InfoCREPA 2004. **44**: p. 5-11.
[22] - UNION, I.P., *The Millennium Development Goals Report 2008.*2008
[23] - KOANDA, H., *Vers un assainissement urbain durable en Afrique subsaharienne : Approche innovante de planification de la gestion des boues de vidange* in *FACULTE ENVIRONNEMENT NATUREL, ARCHITECTURAL ET CONSTRUIT*. 2006, ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE
[24] - UAC, U.d.A.-C., *Plan stratégique de développement de l'Université d'Abomey-Calavi 2006: Informations statistiques actualisées en Août* UAC, 2010. **AVANT-PROJET**
[25] - COUS-AC, *Données annuelles sur le nombre d'étudiants logés dans les résidences universitaires*. 2010, Centre des œuvres Universitaires et Sociales d'Abomey-Calavi COUS-AC.
[26] - Kivaisi, A.K., *The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review.* Ecological Engineering, 2001. **16**(4): p. 545-560.
[27] - Pescod, M., *Wastewater treatment and use in agriculture-FAO irrigation and drainage paper 47.*Food and Agriculture Organization, Rome, 1992.
[28] - ASCECNA, *Données pluviométriques de Cotonou: Station de l'Aéroport de Cotonou* 2008, ASECNA.
[29] - Henze, M., et al., *Wastewater treatment: biological and chemical processes*. Vol. Second Edition. 1996: Springer.
[30] - Mara, D.D. and H. Pearson, *ARTIFICIAL FRESHWATER ENVIRONMENT WASTE STABILIZATION PONDS*. Schoenborn, W. 1986. 177-206.
[31] - Mara, D.D., *Waste Stabilization Ponds: Problems and controversies.* Water Quality International, 1987. **1**: p. 20-22.
[32] - Mara, D.D., et al., eds. *Waste Stabilisation Ponds: A design manual for eastern Africa*. 1992, Lagoon Technology International Leeds, England - Overseas Development Administration.
[33] - Marais, G.R., *Fecal bacterial kinetics in stabilization ponds.* Journal of the Environmental Engineering Division, 1974. **100**(1): p. 119-139.
[34] - Metcalf and Eddy, eds. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*. Vol. 3rd Edition. 2003, Tata McGRAW-HILL

[35] - Bourrier, R., M. Satin, and B. Selmi, *Guide technique de l'assainissement*. 2010: Éd. le Moniteur.
[36] - Lencastre, A. and B. Saunier, *Hydraulique générale*. 1996: Eyrolles.
[37] - Perchat, J. and J. Roux, *Pratique du BAEL 91-Cours avec exercices corrigés*. 1993.
[38] - Perchat, J. and J. Roux, *Maîtrise du BAEL 91 et des DTU associés*. 1994.
[39] - Caicedo Bejarano, J.R., *Effect of operational variables on nitrogen transformations in duckweed stabilization ponds*. 2005, PhD thesis, The UNESCO œ IHE Institute for Water Education, Delf, The Netherlands.
[40] - Zimmo, O., et al., *Process performance assessment of algae-based and duckweed-based wastewater treatment systems.* Water science and Technology, 2002: p. 91-101.
[41] - Silva, S., et al., *Nitrogen removal in pond systems with different configurations and geometries.* Water science and Technology, 1995. **31**(12): p. 321-330.
[42] - Awuah, E., et al., *Comparative Performance Studies of Water Lettuce, Duckweed, and Algal-Based Stabilization Ponds Using Low-Strength Sewage.* Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A, 2004. **67**(20-22): p. 1727-1739.
[43] - WHO, *GUIDELINES FOR THE SAFE USE OF WASTEWATER, EXCRETA AND GREYWATER*, in *Volume 2: Wastewater use in agriculture*, W.L.C.-i.-P. Data, Editor. 2006.
[44] - Jönsson, H., et al., *Directives pour une Utilisation des Urines et des Fèces dans la Production Agricole*. 2004, Institut de l'Environnement de Stockholm SEI. p. 53.