

Le lagunage à laitue d'eau (*Pistia stratiotes*) à Ouagadougou : une alternative pour l'épuration des eaux usées destinées à l'irrigation

Doulaye Koné, Guéladio Cissé, Chantal Seigneur,
Christof Holliger

Le maraîchage est une activité agricole qui a été introduite en Afrique de l'Ouest avec l'arrivée des colons. Cette activité prend de plus en plus d'importance de nos jours avec le développement des centres urbains, la demande en produits maraîchers ne cessant d'augmenter. D'après certaines études [1], le maraîchage génère environ 4 000 emplois pour la seule ville de Ouagadougou.

La ville de Ouagadougou compte 48 sites de maraîchages en saison favorable. Mais pendant la saison sèche qui dure neuf mois, seuls quelques sites irrigués par les eaux de barrage et ceux utilisant les eaux usées sont permanents [2]. Quatre de ces sites représentant 60 % des surfaces totales dépendent directement d'eaux usées urbaines ou industrielles pour l'irrigation des cultures [1].

D. Koné : École inter-États d'ingénieurs de l'équipement rural (EIER), 03 BP 7023 Ouagadougou, Burkina Faso.
<doulaye.kone@eier.org> <doulaye.kone@epfl.ch>

G. Cissé : Centre suisse de recherche scientifique en Côte d'Ivoire, 01 BP 1303, Abidjan 01, Côte d'Ivoire.

C. Seigneur, C. Holliger : Laboratoire de biotechnologie environnementale - École polytechnique fédérale de Lausanne, CH-1015, Lausanne, Suisse.
<Christof.Holliger@epfl.ch>

Tirés à part : D. Koné

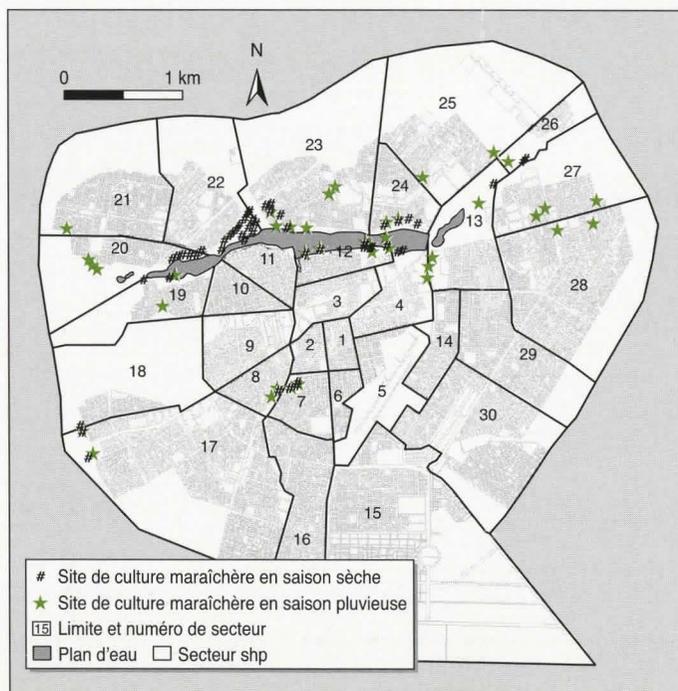
Thèmes : Nutrition, hygiène et alimentation humaine ; Système agraire ; Eau, irrigation.

La localisation des sites de maraîchage sur la carte montre bien l'importance de cette activité en saison sèche.

L'impact sanitaire de la réutilisation des eaux usées en maraîchage n'est pas totalement ignoré des maraîchers [3] mais les économies engendrées par cette activité [1], pour de modestes familles, dans un contexte de pauvreté, ne sont pas négligeables. Sur certains sites tels que celui de Kossodo, des aménagements de fortune sont réalisés par les maraîchers pour séparer les effluents industriels s'écoulant dans le même canal. Cette séparation permet de

sélectionner les rejets moins agressifs pour les plantes. Il est aussi reconnu que les eaux usées utilisées pour l'irrigation apportent une quantité importante d'éléments nutritifs (azote, phosphore, oligo-éléments) aux cultures [4].

Face à cette situation, les autorités responsables du secteur de l'assainissement sont souvent promptes à envisager la fermeture totale de ces sites pollués. Pourtant, une solution durable à ce défi peut être mise en œuvre grâce aux techniques alternatives d'épuration des eaux usées. Ces techniques dites rustiques ont l'avantage de



Carte. Localisation des sites de maraîchage à Ouagadougou en saison sèche et saison pluvieuse [2]

Map. Localization of homegardening sites in Ouagadougou in the dry season and in the rainy season [2].

s'adapter au climat et au contexte socio-économique des pays en développement où l'espace est souvent disponible.

Le lagunage en Afrique de l'Ouest

Une enquête réalisée en 1992 par le Comité inter-États d'études hydrauliques (CIEH) [5] sur les systèmes d'assainissement dans les 14 pays francophones de l'Afrique de l'Ouest et du Centre montre que beaucoup d'investissements ont été consentis pour la construction de stations d'épuration de type intensif (boues activées, oxyterne,

chenal d'oxydation). Celles-ci représentent, en nombre, 76 % des stations recensées contre 10 % de stations de lagunage. Cette étude montre également que le lagunage à macrophytes avec *Pistia stratiotes* [6] n'est pas encore bien connu dans cette région.

Comme on peut le voir dans le tableau 1, la taille des installations de lagunage est variable. Les effluents sont généralement destinés à l'irrigation quelle que soit la qualité de ceux-ci. Mais le lagunage peut-il être adapté pour répondre aux besoins de réutilisation exprimés ? Toutes les eaux traitées par lagunage peuvent-elles être réutilisables en irrigation ?

Les différentes études sur le lagunage menées dans la sous-région ne permettent

pas encore de dégager des critères de dimensionnement objectifs pouvant servir de base à une meilleure implantation de cette technique dans le paysage écologique des pays de l'Afrique de l'Ouest. L'approche actuelle ne prend pas suffisamment en considération le contexte socio-économique dans l'implantation de ces technologies alternatives d'assainissement collectif et encore moins leur impact sanitaire sur l'environnement immédiat [7].

Une des clés du succès pour l'intégration du lagunage dans le paysage écologique des différents pays cités ci-dessus reposera en grande partie sur le degré de prise en compte des contextes socio-économiques et socio-techniques locaux dans la conception des stations d'épuration, car ce sont eux qui doivent guider les objectifs épuratoires à assigner à ces stations. L'approche de l'assainissement par station d'épuration décentralisée (systèmes semi-collectifs) peut, dans ce cas, être une alternative.

C'est donc pour répondre à ces insuffisances qu'un programme de recherche est développé en partenariat entre l'École inter-États d'ingénieurs de l'équipement rural à Ouagadougou (EIER) et l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) sur l'étude des techniques alternatives pour l'épuration des eaux usées. La station de lagunage à laitue d'eau de l'EIER est en fonction depuis avril 1998. Les résultats expérimentaux présentés ici portent sur une période d'étude de trois mois, entre février et avril 2000.

Expérimentation du lagunage à laitue d'eau à l'EIER

Objectifs

L'objectif de cette recherche est d'étudier sur deux stades successifs : i) les performances épuratoires d'une combinaison de procédés – lagunage à laitue d'eau, bassins facultatifs, filtration sur gravier – pour de fortes charges organiques ; ii) les possibilités de valorisation des effluents.

Dispositif expérimental

Le site expérimental est situé à l'EIER à Ouagadougou, au Burkina Faso. Il est schématisé comme indiqué dans la

Tableau 1

Situation du lagunage dans les pays membres du Comité inter-États d'études hydrauliques [1]

Localisation	Dispositif (année construction)	Capacité (équivalent-habitant)	Exutoire ou activités de réutilisation	Problèmes de fonctionnement
Burkina Faso				
EIER (Ouaga)	L* (1989)	200	Maraîchage Arrosage de plantes paysagères	Bassins non étanches, pertes d'eau par infiltration
Cameroun				
Garoua	LM** (1986)	1 300		
Yaoundé	LM (1985)	600	Rejet dans un ruisseau	Pas d'entretien Digues en mauvais état
	LM (1986)	600		Inondation régulière Saturation en boues
Côte d'Ivoire				
Dabou	L (1990)	2 400	Pisciculture	Bassins non étanches, pertes d'eau par infiltration
Sénégal				
Cap Skiring	LM (1987)	4 à 500	Rejet en mer	Entretien insuffisant
Louga	L + chloration (1980)	12 000	Maraîchage	Faible abattement bactérien
Pikine-Niayes	L (1973)	3 800	Maraîchage	Faible abattement bactérien
Saint-Louis	L (1989)	30 000	Maraîchage	Bassins non étanches, pertes d'eau par infiltration

* L = lagunage naturel (à microphytes).

** LM = lagunage à laitue d'eau (macrophytes).

Note : la plupart des stations de lagunage construites sont peu performantes : pertes d'eau par infiltration, insuffisance de gestion et d'entretien, mais les effluents sont le plus souvent réutilisés en agriculture.

Review of stabilization ponds in the Comité inter-États d'études hydrauliques countries (14 countries in West and Central Africa [1]).

figure. L'épuration primaire est assurée par un décanteur primaire en tête de station. Les effluents de ce décanteur alimentent trois bassins en séries (B1, B2 et B3). Le premier est un bassin facultatif et les deux suivants sont des bassins à laitue d'eau. Ces trois bassins constituent le premier stade du traitement secondaire. Le deuxième stade est constitué par deux bassins alimentés en parallèle, B4 et B5 (un filtre horizontal de gravier et un bassin facultatif secondaire), définissant ainsi deux filières. La filière B4 correspond à la finition avec le gravier, et la filière B5 à la finition avec le bassin facultatif. Les trois premiers bassins (stade 1) ont une profondeur moyenne de 0,7 m, une longueur de 8 m et une largeur de 3 m. Les bassins du stade 2 mesurent 0,7 m de profondeur, 10 m de long et 1,3 m de large. Le débit moyen à l'entrée de la station sur la période d'étude (février-avril 2000) est de 3 m³/j.

Méthode

Les caractéristiques des eaux alimentant la station sur la période d'étude sont reprises dans le *tableau 2*. Les analyses ont été effectuées une fois par semaine sur des échantillons d'eau prélevés à l'entrée et à la sortie de chaque bassin pour caractériser ses performances physico-chimiques (échantillonnage moyen journalier) et microbiologiques (échantillonnage instantané). Les paramètres analysés sont : les matières en suspension (MES), la demande chimique en oxygène (DCO), la demande biochimique en oxygène (DBO₅), les formes azotées (N-total, N-NH₄, NO₃), et le phosphore (PO₄ et Pt), pour la physico-chimie. L'analyse bactériologique a porté sur les coliformes totaux (CT) et fécaux (CF) et les streptocoques fécaux (SF).

Résultats et discussion

Charge appliquée et temps de séjour

Le temps de séjour est de 21 jours pour la filière avec le filtre à gravier et de 24 jours pour la filière B5. La charge appliquée sur le bassin facultatif en tête (B1) est de 500 kg DBO₅/ha/j. Elle est 1,6 fois supérieure à la limite de 300 kg DBO₅/ha/j recommandée dans la littérature pour les bassins facultatifs. Le *tableau 2* présente l'évolution des concentrations pour différents paramètres de pollution et une comparaison de ces valeurs avec les concentrations mesurées sur le site de maraîchage de l'hôpital Yalgado [8]. Les eaux usées de ce site de maraîchage proviennent des rejets

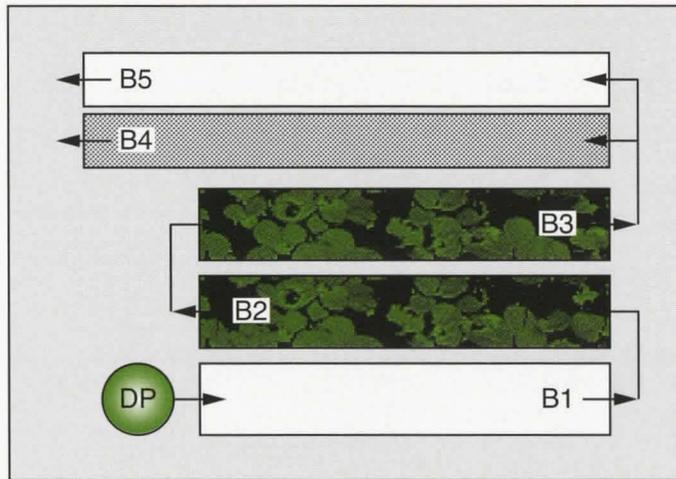


Figure. Schéma du dispositif d'expérimentation du lagunage à laitue d'eau à Ouagadougou.

Figure. Design of the pilot-scale water-lettuce pond-based system in Ouagadougou.

DP : décanteur primaire ; B1 : bassin 1, sans plante ; B2 : bassin 2, avec laitue d'eau ; B3 : bassin 3, avec laitue d'eau ; B4 : bassin 4, filtre gravier ; B5 : sans plante.

de la zone du marché, des bâtiments administratifs et des hôtels du centre ville, de la station de traitement d'eau potable de la ville, de la société d'électricité (rejets d'hydrocarbure et d'huile de vidange), des rejets de l'hôpital et des quartiers traversés par le canal central.

Élimination de la matière organique dans les bassins

Avec les résultats présentés au *tableau 2*, les rendements obtenus à la sortie des trois premiers bassins (B1 + B2 + B3) sont de 68 et 91 % pour les MES et la DBO₅, respectivement. Ce qui montre que le premier stade de traitement avec les plantes aquatiques est très performant

pour l'élimination des matières organiques, malgré la forte charge organique appliquée. Au deuxième stade, le passage dans le filtre de gravier permet d'améliorer ces rendements respectifs à 82 et 94 %, alors que la finition avec bassin facultatif a plutôt un effet néfaste sur les MES. Cette contre-performance du bassin facultatif B5 est principalement due à la production d'algues.

La présence de matières en suspension dans les effluents peut provoquer un colmatage rapide des terres irriguées ou provoquer des odeurs dans les réservoirs de stockage fermés. Leur réduction est en principe recommandée, quelle que soit la destination des effluents.

Tableau 2

Caractéristiques des effluents de la station expérimentale de lagunage à laitue d'eau de l'EIER

Paramètres	MES (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	NH ₄ (mg/l)	CF (CFU/100 ml)
Entrée station DP :	158	407	63	5,1 10 ⁶
Effluent étage 1 (B1 + B2 + B3)	47	38	49	9 10 ³
Effluent B4 (Filtre gravier)	27	26	48	2 10 ³
Effluent B5 : (Bassin facultatif 2)	63	41	34	10 ³
Site de maraîchage [8]	50 – 200	50 – 200	40 – 100	10 ⁵ – 10 ⁷
Normes OMS	–	–	–	2 10 ³

Note : le lagunage à laitue d'eau permet de réduire de façon drastique les charges organiques et bactériennes des eaux usées tout en conservant une quantité non négligeable d'azote pour des besoins d'irrigation

Characterization of effluents feeding the pilot-scale water-lettuce pond-based system of the experimental station of the Inter States School for Rural Equipment (EIER)

Les concentrations de MES et DBO₅ à la sortie des deux filières sont très inférieures aux concentrations mesurées sur le site de maraîchage de l'hôpital, mais seul le filtre de gravier permet d'obtenir des valeurs respectant les normes de rejet européennes [9] imposées aux stations d'épuration pour ces paramètres.

Évolution de l'azote au cours du traitement

Contrairement aux résultats obtenus avec la matière organique, l'azote ammoniacal est faiblement éliminé du système. Les rendements sont de 22 % à la sortie des bassins plantés et du filtre (filière B4 avec finition filtre à gravier). La filière B5 (finition bassin facultatif B5) atteint un rendement de 43 % avec une contribution de 60 % du dernier bassin facultatif (B5). Le rendement élevé du dernier bassin pourrait s'expliquer par la volatilisation de l'azote sous forme d'ammoniac, par augmentation du pH pendant la photosynthèse.

Lorsque les effluents de stations d'épuration sont rejetés dans le milieu naturel, l'élimination de l'azote et du phosphore est exigée pour éviter les problèmes d'eutrophisation. Mais dans le cas du Burkina Faso, si la priorité de la réutilisation de l'eau épurée est accordée à l'irrigation, la disponibilité de l'azote ammoniacal dans les effluents constituera une source d'engrais non négligeable pour les productions agricoles. La filière B4 peut, dans ce cas, être un exemple de configuration de station d'épuration.

Abattement des germes pathogènes

Compte tenu de la forte charge organique appliquée, l'objectif assigné à cette station reposait sur une épuration secondaire poussée. Mais les résultats des analyses ont aussi révélé une très bonne performance des systèmes étudiés dans l'abattement des germes indicateurs de contamination fécale. Entre l'entrée et la sortie du système, on obtient un abattement moyen de 3,5 unités logarithmiques pour chacune des deux configurations, dont 2,8 unités logarithmiques pour les premiers bassins (B1 + B2 + B3). Cela montre bien que les bassins plantés peuvent également jouer un rôle important dans l'élimination des pathogènes. Avec un temps de séjour relativement court, la filière B4 se comporte aussi bien que la filière B5. Les abattements obtenus à la sortie de chacune des deux filières étudiées répondent aux recommandations de l'OMS [10] pour l'irrigation restrictive (tableau 2).

Summary

Wastewater treatment by a water-lettuce pond-based system (*Pistia stratiotes*) in Ouagadougou, for irrigation water reuse

D. Koné, G. Cissé, C. Seigne, C. Holliger

Increasing economical poverty and a high unemployment level lead to the development of urban agriculture in Burkina Faso's towns. This agriculture consists in market gardens that provide fresh vegetables to the citizens. It needs much water for constant irrigation. In this sahelian (dry) climate country, water resources are often unavailable for such activities. Lack of water availability leads to the development of gardens near any surface water resource, even if it is polluted. Gardens using wastewater for irrigation represent 60% of the total area of the market gardens in Ouagadougou.

In this study, we evaluate the performance of a wastewater treatment plant combining facultative ponds, water-lettuce ponds and subsurface gravel beds to produce good quality water resources for urban agricultural irrigation.

The pilot scale ponds (figure) consist of three successive equal rectangular ponds (first stage) with one facultative pond (B1) and two water-lettuce ponds (B2 and B3). Ponds are fed in with pretreated domestic wastewater coming from the boarding school facility of the École inter-États d'ingénieurs de l'équipement rural (EIER). The second stage consists of either a horizontal flow gravel bed (B4) or a maturation pond (B5) fed in concurrently with the first stage effluent. This study was carried out from February to April 2000.

The first stage ponds have an average depth of 0.7 m, a length of 8 m and a width of 3 m. The three concrete basins have a total volume of 51 m³ and a total surface area of 72 m². The second stage ponds are 0.7 m deep, 10 m long and 1.3 wide. The effluent flow was measured continuously by an ultrasonic probe. The average flow rate during the study was 3 m³/d. COD, BOD₅ and NH₄ loads on the first pond were 650, 500, and 80 kg/ha/d, respectively. Faecal coliforms at the inlet was about 5.10⁶ cfu/100 ml.

The BOD₅ removal varied between 90 and 95%. There was no significant difference between the gravel bed or the maturation pond system. The effluent concentration was less than 30 mg/l.

The COD and suspended solids removal rates varied between 60 and 65% after treatment with a maturation pond. Filtering the water-lettuce pond effluent through a gravel bed enhanced the performance and resulted in 85 and 90% removal of SS and COD, respectively. NH₄ loss by the maturation pond system is about 50% while only 20% were removed in the system combined with the subsurface gravel bed. No nitrate accumulation was measured in these ponds. No significant difference was observed in faecal coliform die-off in the two systems. Concentrations obtained in both systems' effluents are equal to the WHO guidelines for wastewater reuse in agriculture.

This study showed that :

- *Combining water-lettuce pond secondary treatment with a subsurface gravel bed tertiary treatment resulted in the best water quality for irrigation reuse.*
- *The water-lettuce pond system was able to treat efficiently a high organic load wastewater with high removal efficiencies of BOD, SS and faecal coliforms.*
- *Ammonium nitrogen was not removed from the wastewater, which is beneficial for irrigation reuse.*

Cahiers Agricultures 2002 ; 11 : 39-43.

L'abattement des germes pathogènes est l'un des principaux paramètres que doivent impérativement respecter les stations d'épuration dans le contexte décrit ci-dessus, quel que soit l'usage prescrit. En effet, selon l'Unicef [11], les maladies hydriques représentent les 2/3 des maladies au Burkina Faso et sont responsables de forts taux de mortalité infantile et infanto-juvénile.

Conclusion

Les performances obtenues avec les bassins à laitue d'eau montrent bien que le procédé constitue une alternative efficace pour l'épuration des eaux usées domestiques dans le contexte sahélien. Il permet d'obtenir une bonne qualité d'eau pour l'irrigation, avec une meilleure disponibilité d'azote ammoniacal, forme

préférentielle de l'azote chez les végétaux aquatiques. Avec un tel procédé, la qualité microbiologique des eaux peut être ramenée au niveau des recommandations de l'OMS, minimisant ainsi les risques sanitaires.

Avec une charge organique de 500 kg DBO₅/ha/j supérieure aux limites admissibles sur les bassins facultatifs, les rendements obtenus sont supérieurs à 85 % sur la DBO₅, au premier niveau de traitement. La combinaison du procédé avec une filtration horizontale sur gravier permet d'obtenir des concentrations inférieures à 30 mg/l pour la DBO₅ et les matières en suspension, soit un rendement d'élimination supérieur à 90 %.

La comparaison des deux filières met en évidence les performances du filtre à gravier pour l'élimination des matières organiques. De plus, la disponibilité de l'azote dans ce système est meilleure que dans celui du bassin facultatif pour des abattements microbiologiques similaires. Un autre avantage lié à l'utilisation du filtre à gravier est la limitation des pertes d'eau par évaporation ■

Références

1. Camara A. *Évaluation stratégique du maraîchage dans le futur paysage urbain de Ouagadougou*. Lausanne : Mémoire de recherche pour le cycle d'études postgrades en Ingénierie et Management de l'Environnement, EPFL, 1997 ; 52 p.
2. Cisse G. *Impact sanitaire de l'utilisation d'eaux polluées en agriculture urbaine. Cas du maraîchage à Ouagadougou*. Lausanne : Thèse de doctorat, EPFL, 1997 ; 267 p.
3. Ouedraogo B, Cissé G, Odermatt P, Maystre LY, Wyss K, Tanner M. Représentation de l'eau, des pratiques d'hygiène et des maladies chez les maraîchers de Ouagadougou, Burkina Faso. *Info-Crepa* 1999 ; 23 : 9-18.

4. Ag MA. *Étude de la dynamique de l'eau et des pertes de nitrates par lixiviation sous oignons irrigués*. Ouagadougou : EIER, Synthèse des campagnes 1995 et 1996 sur le site expérimental de Kamboinsé, 1996 ; 59 p.

5. Comité africain d'études hydrauliques (CIEH). *Étude comparative des systèmes d'épuration collectifs dans le contexte africain*. Ouagadougou : CIEH, 1993 ; 66 p.

6. Charbonnel Y. *Manuel de lagunage à macrophytes en régions tropicales*. Paris : ACCT, 1989 ; 37 p.

7. Kone D. Problématique de l'épuration des eaux usées dans le contexte de l'Afrique de l'Ouest. *Info-Crepa* 1998 ; 20 : 8-13.

8. Semoroz N. *Performances d'une filière d'épuration d'eaux usées par lagunage à macrophytes flottants (Pistia stratiotes) et conditions d'implantation du procédé dans un canal d'évacuation des eaux usées de la ville de Ouagadougou au Burkina Faso*. Lausanne : Travail pratique de diplôme de Génie Rural, EPFL, 1999 ; 98 p.

9. European Union. *Water quality in the European Union, Urban wastewater treatment: Directive 91/271/EEC, 2000* ; http://www.eurpa.eu.int/water/waterurbanwaste/index_en.html.

10. Who. *Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture*. Geneva: WHO scientific group technical report series 1989 : 778 ; 74 p. [meeting held in Geneva from 18 to 23 November 1987],

11. Unicef. *Enfants et Femmes du Burkina Faso : défi et espoir*. Ouagadougou : Unicef, janvier 2000 ; 140 p.

Remerciements

– Direction du développement et de la coopération (DDC) – Suisse, pour le financement du projet de recherche.
– Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique – Côte d'Ivoire, pour le financement de la bourse de recherche.

Résumé

L'épuration des eaux usées par lagunage et les autres techniques alternatives en Afrique de l'Ouest est un sujet encore mal documenté. Pourtant, la réutilisation des effluents de station d'épuration dans l'agriculture urbaine fait naître beaucoup d'espoir dans la lutte contre l'utilisation d'eaux usées brutes en maraîchage et dans la réduction des risques sanitaires liés à cette pratique dans les quartiers périphériques des grands centres urbains.

L'étude comparative des systèmes d'épuration collectifs en Afrique de l'Ouest, menée en 1993 par le Comité inter-africain d'études hydrauliques [1] montre que les techniques rustiques (ou alternatives) d'épuration telles que le lagunage à microphytes ou à macrophytes, réputées pour bien fonctionner dans les pays chauds, sont très faiblement représentées (10 %). De plus, la plupart des stations recensées sont en général hors d'usage.

Pourtant dans une étude expérimentale menée à l'École inter-États d'ingénieurs de l'équipement rural (EIER), sur une station de lagunage à laitue d'eau, nous obtenons un abattement supérieur à 90 % sur les matières organiques. Les concentrations en azote et en bactéries des effluents sont compatibles avec l'irrigation restrictive en maraîchage ou l'arrosage d'espaces verts.