

## **Lentille d'eau et Tilapia : une solution écologique pour le traitement des eaux usées dans les pays en voie de développement**

Duckweed - Tilapia system : a possible way of ecological sanitation for developing countries

**Martin Seidl<sup>(1)</sup>, Sani Laouali<sup>(2)</sup>, Tahar Idder<sup>(3)</sup>, Jean-Marie Mouchel<sup>(1)</sup>,**

<sup>(1)</sup> CEREVE, 6-8 Ave. Blaise Pascal Champs sur Marne, 77455 Marne la Vallée, France,  
contact : seidl@cereve.enpc.fr

<sup>(2)</sup> UAM, Faculté des Sciences, Département de chimie, B.P.10662, Niamey, Niger

<sup>(3)</sup> AQUADEV Niger B.P.13564 Niamey, Niger

### **Mots clés :**

lentille d'eau, lagunage, eaux usées, macrophytes, Niger

### **Résumé**

Le potentiel d'agriculture urbaine a été étudiée dans un système de traitement des eaux usées par lagunage à macrophytes, dans lequel les lentilles d'eau produite sont réutilisées à de fin piscicoles. L'objectif de l'étude était double, il s'agit d'une part de vérifier la capacité épuratoire de la lentille d'eau et d'autre part d'estimer les possibilités de valorisation des nutriments dans un système composé de lentilles d'eau et de Tilapia dans des conditions climatiques africaines.

Le traitement a été étudié dans un système de lagunage expérimental de l'université de Niamey avec 6 bassins en série, 3 bassins avec microphytes et 3 bassins couverts avec lentilles d'eau.. Les lentilles ont été récoltées 3 fois par semaine et fournis au Tilapia dans un bassin annexe. La filière était alimentée avec 3 m<sup>3</sup>/jour et une charge globale de 1.1 kg-DBO<sup>5</sup>/jour ou 130 kg DBO<sup>5</sup>/ha/jour. Les premiers résultats montrent une bonne élimination de la charge polluante 70% pour la DBO et la DCO et 80% pour l'azote et le phosphore. L'abattement des pathogènes était souvent supérieur à 4 unités logarithmiques et a permis d'atteindre la norme pour la réutilisation des effluents en agriculture. La production des Lemnacées, de l'ordre de 700 kg/ha/jour du poids frais, a permis une production de Tilapia d'environ 475 kg/ha/mois. Les revenus potentiels par la vente de Tilapia, ou des lentilles pourront atteindre 1000 €/mois pour un système desservant 5000 habitants.

### **Summary**

We have studied the possibility of urban agriculture in a waste water treatment in a system based on stabilization ponds, producing duckweed for fish production. The main goal of the study was double : First to check up the treatment potential of duckweed under the African conditions and second to estimate the possibilities of nutrient valorization in a duckweed – Tilapia agro-sanitary system.

We used a small pilot system of the university of Niamey (Niger), composed of 3 ponds with microphytes and 3 ponds covered with duckweed. The duckweed was harvested 3 times a week and fed to Tilapia in adjacent pond. The ponds were fed with 3 m<sup>3</sup>/day of waste water, corresponding to a global charge of 1.1 kg-BOD<sup>5</sup>/day or 130 kg/ha/day. The first results give a relatively good efficiency for standard parameters like DCO and DBO : (about 70 %) and for nutrients N and P (about 80 %). Excellent pathogen removal of 4 log units (>99.95%) satisfied the discharge norms for agricultural reuse. A mean duckweed productivity was about 700 kg/ha/day depending on the nutrient charge. The first results of Tilapia farming predict a good production : 475 kg<sub>w.w.</sub>/ha/month. The global benefits of a such system for 5000 equivalents might be about 1000 € /month.

## 1. INTRODUCTION

Les villes africaines sont soumises d'une part à une expansion démographique et d'autre part aux conséquences de l'exode rural. Ces facteurs augmentent la consommation d'eau et les besoins de gestion des rejets d'eaux usées. La pression démographique sur le sol autorise de moins en moins l'élimination des excréta et des eaux usées par les techniques de l'assainissement individuel. L'environnement urbain et les récepteurs naturels deviennent de plus en plus fragiles et demandent une plus grande protection contre les pollutions.

Les conditions économiques difficiles en Afrique de l'Ouest rendent peu probables la mise en place rapide des équipements publics tels que l'assainissement collectif. Les politiques nationales de décentralisation donnent la responsabilité de l'assainissement aux communes. Sachant que ces dernières ont généralement peu de revenus, les possibilités de mobilisation de ressources pour l'assainissement deviendront encore plus rares. En conséquence, le lagunage relativement peu onéreux, et avec un rendement économique amélioré grâce à l'utilisation de la biomasse végétale produite, peut constituer une alternative crédible pour le traitement des eaux usées en zone urbaine en Afrique de l'Ouest.

Un système qui couple épuration des eaux et production agricole s'inscrit dans une meilleure gestion de l'écosystème, d'une part par le recyclage de l'eau et d'autre part par la récupération et la transformation d'éléments nutritifs en biomasse utile. Un système agro-sanitaire propose non seulement un traitement des eaux usées à bas prix avec des investissements limités, mais il peut devenir financièrement autosuffisant. Il repose sur une technicité accessible à la plupart des pays en voie de développement tout en respectant l'environnement. Les avantages apparaissent non pas seulement au niveau de l'écosystème, mais aussi sur le plan socio-économique par la création d'emplois dans le secteur de l'agronomie urbaine.

## 2. MATERIEL & METHODES

L'objectif principal du projet est de tester à petite échelle, sous conditions africaines, le traitement des eaux usées par lagunage à macrophytes utilisant la Lentille d'eau. L'objectif est double : évaluer le rendement épuratoire d'un système produisant de la biomasse en vue de son utilisation directe dans la pisciculture.

La mise en place d'un tel système a été inspirée par les expériences antérieures de CENHICA à Guyaba (Santiago, 1997) le travail de la Banque Mondiale (Skillicorn et al., 1993) dans le domaine de l'aquaculture et le manuel du lagunage avec macrophytes d'Yves Charbonnel (1989) en suivant les lignes guides soutenues par Oron (1994) et l'UNEP (1997). Jusqu'à présent l'action épuratoire de Lemnacées n'a jamais été étudiée à notre connaissance sous conditions africaines.

### Physico-chimie

L'Université de Niamey possède depuis 1998 une nouvelle station pilote pour le traitement des eaux usées domestiques par lagunage. Celle-ci possède 3 filières dont chacune est composée de 6 bassins trapézoïdaux de 14 m<sup>2</sup>, d'un mètre de profondeur et d'un volume d'environ 7 m<sup>3</sup>.

Le traitement par la Lentille d'eau a été étudié durant quatre mois, du mois de février au mois de mai, dans un ensemble de 6 bassins en série. Les 3 premiers utilisaient les microphytes (B13 à B15 figure 1) et les 3 derniers étaient couverts de macrophytes (B16 à B18 figure 1). La filière macrophytes (bassin B13 à B18,) recevait environ 3 m<sup>3</sup>/jour des eaux usées du campus universitaire en 3 bâchées journalières (7h00, 12h00, 19h00).

**Légende :**

- B0 : Cuve d'homogénéisation  
 B13 à B18 : Filière Lemna  
 B13 à B15 : Bassin microphytes  
 B16 à B18 : Bassin macrophytes  
 S : Bassin avec Tilapia

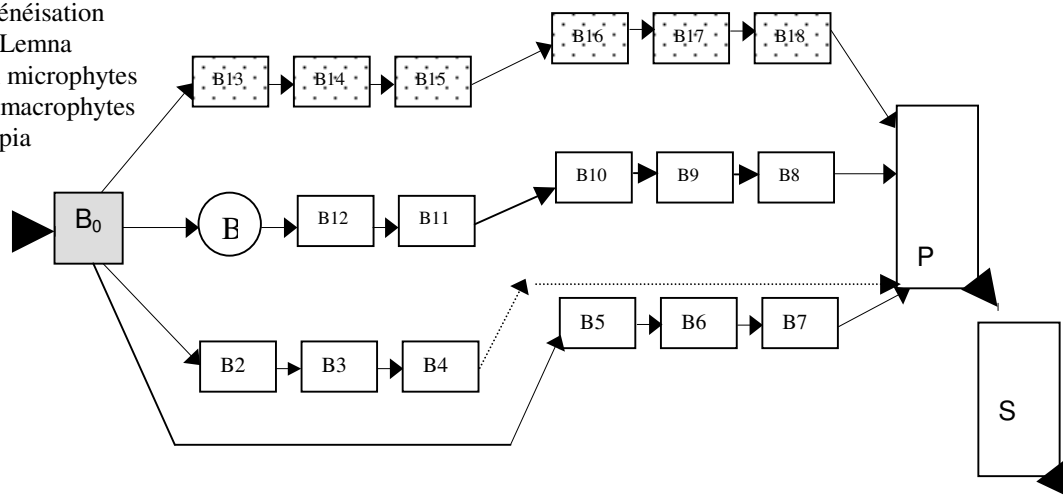


Figure 1 : Schéma de la station pilote à l'Université de Niamey avec en pointillé la filière Lemna.

Pour estimer le rendement du traitement, des échantillons d'eau ont été prélevés à l'entrée du bassin 13 et la sortie des bassins B15 et B18, environ 10 minutes après le début de l'écoulement. avec une fréquence hebdomadaire (vendredi) durant 4 mois. Les mesures des paramètres classiques de qualité, ont été estimées selon les protocoles AFNOR ou ISO.

**Tableau 1 : Résumé des paramètres opérationnels du système de traitement**

Paramètre	Spécification
<b>Filière</b>	
débit entrant	3 m <sup>3</sup> /j (75% à la sortie)
séjour	16 j
capacité	30 à 60 équivalents
traitement	2 m <sup>2</sup> /équivalent
<b>Microphytes :</b>	1 bassin anaérobie + 1 bassin facultatif + 1 bassin de maturation
charge globale	1 kg BDO/j
charge bassin anaérobie	160 g/m <sup>3</sup> /j (théorique à 25°C : 300 g/m <sup>3</sup> /j)
charge bassin facultatif	325 kg/ha/j (0.4 Φ <sub>in</sub> , théorique à 25°C : 350 kg/ha/j)
<b>Macrophytes :</b>	3 bassins de Lentille d'eau
densité	230 g/m <sup>2</sup> (moyenne identique pour les 3 bassins)
extraction	500 –1500 kg/ha/j
<b>Bassin</b>	tous les bassins sont identiques, entrée à la surface, sortie à -0.5 m
volume	7 m <sup>3</sup> (L*h = 5.6*2.6*1.0 m)
superficie	14.2 m <sup>2</sup>

### Macrophytes

Les macrophytes utilisés sont de la famille des Lemnaceés, habituellement appelés Lentilles d'eau et ont été collectés pour l'ensemencement dans un bassin proche, également recevant des eaux usées où ils poussaient naturellement. La production primaire a été estimée tout au long de l'exploitation, d'une part pour pouvoir optimiser la production et d'autre part pour pouvoir établir un bilan financier.

La récolte de la biomasse s'effectuait manuellement 3 fois par semaine (mardi, jeudi, samedi), en récoltant entre un tiers et la moitié de la surface du bassin. Après ré-étalage de la fraction restante la nouvelle densité de départ était estimée. L'ensemble de la biomasse récoltée était pesé pour obtenir le poids humide, une partie était utilisé pour l'estimation de la matières sèche et la parti restante pour

l'alimentation de Tilapia. La détermination des teneurs en N après séchage des lemnaées se faisait en utilisant la méthode ISO pour l'azote Kjeldahl.

## Tilapia

Une des formes de valorisation directe des macrophytes récoltés est la pisciculture (Alaerts 1996, Skillicorn 1993). Les poissons forment un produit avec une valeur ajoutée beaucoup plus élevée que les macrophytes eux mêmes. La station pilote de Niamey possède deux bassins P et S peuplés de poissons Tilapia. Le bassin S, avec une superficie d'environ 30 m<sup>2</sup> et une profondeur de 50 cm a été divisé en deux par un grillage plastique etensemencé avec des alevins de Tilapia provenant du fleuve Niger d'une taille moyenne de l'ordre de 10 cm (12g). La densité initiale était approximativement de 5 à 6 individus le m<sup>2</sup> (70 g/m<sup>2</sup>).

Dans la partie S1, les poissons n'étaient pas nourris, tandis que dans la partie S2, les Tilapia étaient nourris avec un mélange des Lemnacées récoltées sur les bassins B16 au B18. L'alimentation, de l'ordre de 500 grammes de lentille fraîche par jour et par kilo de poisson (Skillicorn 1993), est consommée en quelques heures. Dans les deux cas les poissons peuvent se nourrir également de détritrus provenant de sédiment.

## 3. RESULTATS

On a opté pour un système hautement chargé pour étudier les possibilités de traitement dans un système le plus compact. Malgré le temps de séjour court (16 jours pour toute la filière en tenant compte de l'évaporation) les premiers résultats obtenus indiquent un bon rendement épuratoire (tableau 1).

*Tableau 1 : Rendement épuratoire moyen de la filière Lemna pendant 4 mois de fonctionnement*

Paramètre	MES (mg/l)	DBO-f (mg/l)	NH4-tot (mg/l)	PO4 (mg/l)	pathogènes	
					strepto	coli
<b>Entrée (B0)</b>	238	312	45.7	3.91	2.5E+06	5.7E+07
<b>Sortie (B18)</b>	99.6	43.6	12.8	0.70	1.1E+03	9.8E+03
<b>Rendement</b>	64%	74%	69%	80%	>99.95%	

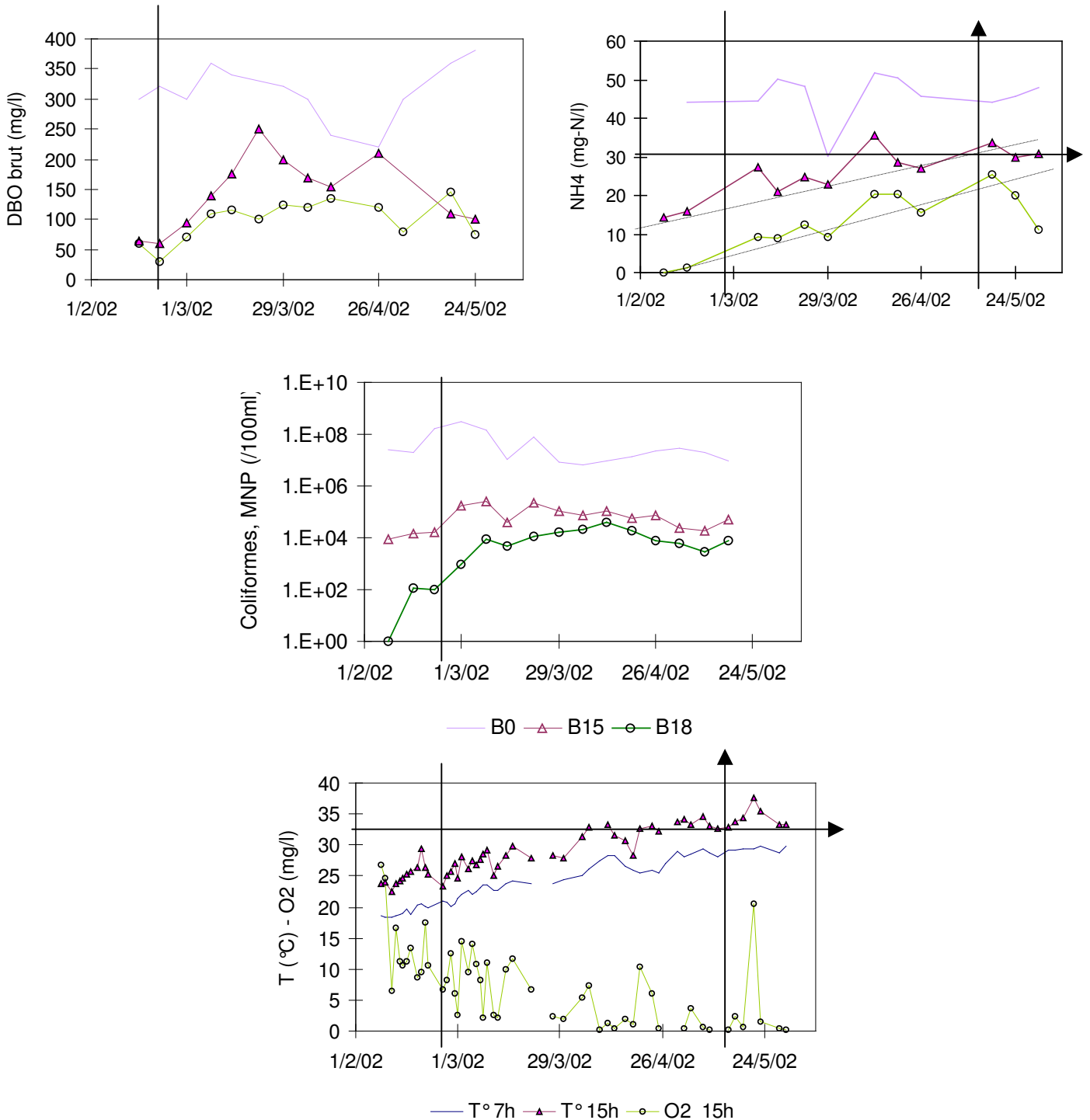
On s'aperçoit que le système a d'une part besoin au moins d'un mois pour se stabiliser. On peut signaler un bloom algal printanier qui s'est traduit par une augmentation du flux des MES, de la DBO brute, de la DCO brute et du NTK brut de la partie microphytes vers la partie macrophytes (figure 2a) au mois de mars.

Pendant la période d'expérimentation, de février à mai, la température maximale journalière de l'eau a augmenté progressivement de 25°C à 35°C (figure 2d). Cette augmentation a d'une part, provoqué une amplification de la production de l'ammonium (figure 2b), mais a d'autre part probablement freiné la croissance des macrophytes (figure 3a). L'optimum de croissance des Lemnacées se situe autour de 30 – 32 °C. Des températures plus élevées induisent ensuite un déclin rapide (Iqbal, 2001). Des expériences similaires menées à CINARA en Colombie (comm. personnelle) ont montré une faible résistance des lemnaées pour des teneurs en ammonium de plus de 30 mg/l. La combinaison de ces deux facteurs a fait chuter la culture de la Lentille à la fin de l'expérience (figure 2b, 2d et 3a).

Malgré l'évolution de la température l'abattement des pathogènes restait excellent. Dans la figure 2 on voit l'effet purificateur du soleil dans les bassins à microphytes, qui se traduit par un abattement de

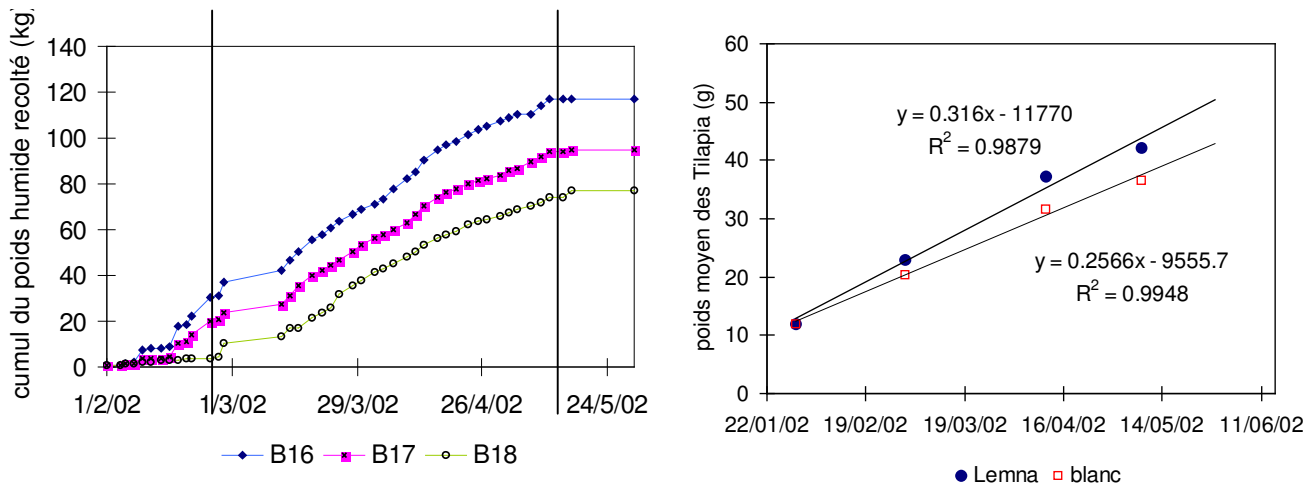
l'ordre de 3 unités logarithmiques. On peut constater aussi l'influence positive de la couverture de la lentille d'eau par un abattement moins fort, mais significatif d'environ une unité logarithmique.

**Figure 2 :** Evolution de quelques paramètres de qualité dans la filière à micro- et macrophytes. B0 représente les eaux usées brutes, B15 est la sortie des bassins à microphytes tandis que B18 correspond à la sortie des bassins à macrophytes à la fin de la filière. La ligne verticale indique la phase d'équilibrage hydraulique du système égale au moins à  $t_o + t_{séjour}$  et correspond au 24 février. Le graphique de la température du B18, montre la date de la limitation théorique de la croissance par la température (flèches).



Le graphique ci dessous montre la production cumulée de lentilles d'eau dans les différents bassins. On s'aperçoit que la productivité ne varie pas significativement d'un bassin à l'autre. La densité des lentilles d'eau était maintenue, à peu près identique, sur tous les bassins autour de 230 g/m<sup>2</sup>. La composition de la lentille d'eau varie avec le teneur en azote et a tendance à diminuer vers la fin de la filière. Ces résultats doivent cependant être confirmés ultérieurement.

La croissance de Tilapia (1.5 g/m<sup>2</sup>/j) est plus rapide dans le bassin alimenté par les lentilles d'eau. Les poissons prennent plus rapidement du poids et se reproduisent mieux que la population témoin. L'aquaculture est le moyen le plus simple pour transformer la lentille d'eau. Les plantes n'ont pas besoin d'être stockées ni d'être transformées. Selon l'OMS les poissons élevés de cette manière ne présentent pas d'inconvénients pour la consommation humaine si, avant la consommation, ils se sont purifiés dans de l'eau propre.



**Figure 3 :** Evolution du poids récolté dans les bassins à macrophytes (a) et du poids des Tilapia dans les bassins de pisciculture (b). La deuxième ligne verticale indique le moment où la température et l'ammonium dépassent les valeurs limites (30 mg/l pour NH<sub>4</sub>-N et 32°C) pour les lentilles.

#### 4. CONCLUSIONS & DISCUSSION

Les premiers résultats démontrent la faisabilité du traitement des eaux usées dans un système d'agriculture urbaine. Le système de lagunage utilisé atteint les performances comparables au lagunage dans la région avec un très bon abattement microbien. L'effluent à la sortie de la filière atteint la norme de l'OMS pour la réutilisation des effluents en agriculture. Cependant pour obtenir une teneur plus faible en azote et en carbone à la sortie il devrait être envisagé de choisir une charge plus faible et un temps de séjour plus élevé. Les teneurs élevées en azote ammoniacal limitent la croissance des macrophytes et diminue la réutilisation des effluents notamment dans la pisciculture. Pour une bonne gestion des système de traitement par macrophytes la surveillance de la température et de l'ammonium est indispensable pour ne pas dépasser les limites de tolérance de l'espèce utilisée.

Les macrophytes jouent un rôle important dans l'élimination des nutriments comme l'azote et le phosphore. Environ 20% de l'azote dissous entrant le système à macrophytes a été immobilisé et extrait avec la récolte. La production de biomasse obtenue est comparable à celle décrite dans la littérature, elle représente environ 700 kg/ha/j de poids frais pour notre station. Grâce à sa haute valeur nutritionnelle, la lentille représente une forte valeur marchande. Au prix de 50 CFA/kilo ceci peut générer des revenus de l'ordre de 500.000 CFA/mois pour une station de 5 milles habitants raccordés, un stimulant fort pour l'exploitation d'un tel système.

Cette étude était possible grâce au soutien financier du Ministère de l'Environnement dans le cadre du programme pS-Eau pour les déchets solides et l'assainissement.

## **Littérature**

ALAERTS G. J., RAHMAN MAHBUBAR P., KELDERMAN P. 1996 Performance analysis of a full-scale duckweed-covered sewage lagoon water research : 1996, vol. 30, no 4, pp. 843 - 852 [ 10 pages. ]

CHARBONNEL, YVES (1989) Manuel du lagunage à macrophytes en régions tropicales. Rapport ACCT (Agence de Coopération Culturelle et Technique -13,quai André Citroen - 75015 Paris )

IDDER, T. & LAOUALI S.M. (2000) Experiences pilote (Aquadev- UAM Niamey) de traitement des eaux usées urbaines par lagunage Séminaire International sur l'Assainissement Urbain en Afrique, Dakar-Gorée, 18-12-2000

IQBAL Sascha (2001) Duckweed Aquaculture Potentials, Possibilities and Limitations for Combined Wastewater and Animal Feed Production in Developing Countries EAWAG SANDEC (<http://www.sandec.ch/files/duckweed.pdf>)

ORON G. D. PORATH and H. JANSEN (1987) Performance of the duckweed species Lemna gibba on municipal wastewater for effluent renovation and protein production Biotech.Bioeng 1987(29):258-267

SKILLICORN, P.; W. SPIRA; W. JOURNEY. 1993. "Duckweed Agriculture. The New Aquatic Farming System for Developing Countries". The World Bank. Washington DC. USA.

SANTIAGO, J. F; M. DEL C. NOVOA; A. CANO; A. CERVANTES (1997) Tratamiento de Residuales porcinos y domesticos mediante el cultivo de Lemna. Voluntad Hidraulica (87):54-60

UNEP (1997) Appropriate technology for sewage pollution control in the wider Caribbean region. United Nation Env. Program rapport and appendix 195p [www.unep.org](http://www.unep.org)