

## L'ÉPURATION DES EAUX USEES AU SERVICE DE L'AQUACULTURE : UN MODELE INTEGRE DE GESTION DES EAUX AU SAHEL

IDDER T.<sup>1</sup>, SEIDL M.<sup>2</sup>, LAOUALI S.<sup>3</sup>, IDDER A.<sup>1</sup>, OURAHMOUN H.<sup>4</sup>, HAMDI A.<sup>5</sup> et  
BETTAHAR N.<sup>1</sup>

1. *Université KASDI MERBAH Ouargla. Laboratoire de Protection des Ecosystèmes en Zones Arides et Semi-arides. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers (Ouargla, Algérie)*

2. *Université Paris-Est. Laboratoire Eau, Environnement et Systèmes Urbains (France)*

3. *Université ABDOU MOUMOUNI de Niamey. Faculté des Sciences (Niger)*

4. *Office National de l'Assainissement, Ouargla (Algérie)*

5. *Direction de la pêche et des ressources halieutiques de la wilaya de Ouargla (Algérie)*

**Résumé :** L'Université de Niamey est dotée d'un site pilote de traitement d'eaux usées par lagunage et de réutilisation des sous-produits de l'épuration pour l'arrosage et la pisciculture. Ce site a été réalisé dans le cadre d'un vaste programme de recherche/action mené en partenariat entre l'Université Abdou Moumouni de Niamey et l'ONG belge de développement AQUADEV. Il permet d'une part de tester les rendements de plusieurs variantes de lagunages comme le lagunage à microphytes, le lagunage à macrophytes enracinés ou flottants. Ce site pilote est d'autre part conçu pour permettre une réutilisation contrôlée des sous-produits issus de l'épuration, de telle sorte que l'épuration des eaux usées ne soit pas seulement perçue comme une question qui se limiterait à la dépollution. Elle devrait être également considérée comme une véritable question de gestion intégrée de la ressource. C'est-à-dire qui prendrait en considération les exigences du milieu récepteur et qui répondrait à un réel besoin de développement social et économique durable en s'appuyant sur des choix judicieux de filières de valorisation des sous-produits. L'objectif de cette étude consiste, d'une part, à vérifier les capacités épuratoires de la lentille d'eau sous climat sahélien et à évaluer, d'autre part, les possibilités de valorisation directe de ce macrophyte pour l'élevage de Tilapia dans les eaux épurées, issues de la station de lagunage de l'Université de Niamey. Les résultats épuratoires obtenus grâce à l'utilisation de la lentille d'eau montrent un abattement significatif de la charge polluante pouvant atteindre plus de 70 % pour l'azote ammoniacal et plus de 80 % pour le phosphore et près de 70% pour la DBO. La réduction de la charge bactérienne est supérieure à 4 unités logarithmiques. La biomasse de lentille d'eau produite a été de l'ordre de 700 kg/ha/jour de poids frais. Cette biomasse a permis la production d'environ 475 kg/ha/mois de Tilapia. Pour un système desservant 5000 habitants, les revenus potentiels, obtenus par la vente de Tilapia ou des lentilles, pourront atteindre près de 1000 €/mois.

**Mots clés :** Lagunage, Macrophytes, Réutilisation, Aquaculture, Niger

### THE PURIFICATION OF WASTEWATER IN THE SERVICE OF AQUACULTURE: AN INTEGRATED MODEL OF WATER MANAGEMENT IN THE SAHEL

**Abstract:** The University of Niamey has a site pilot treatment of wastewater from lagooning and reuse of by-products of the wastewater treatment plant for irrigation and fish farming. This site has been made in an extensive program of research/action in partnership between the University Abdou Moumouni de Niamey and the Belgian development NGO's AQUADEV. It allows one hand to test the yields of several variants of stabilization ponds as the lagoon to microphytes, lagooning rooted or floating macrophytes. On the other hand this pilot site is designed to allow reuse of by-products generated from wastewater treatment, so that the problem of wastewater management is not only seen as an issue which would be limited to environmental clean-up, but that would be considered a genuine issue of integrated management of the resource. I.e. taking into account the requirements of the receiving environment and that would meet a real need for social and economic development sustainable in relying on choice of channels of reuse of by-products. The objective of this study is, on the one hand, to verify the treatment capacity of duckweed in Sahelian climate and to assess, to opportunities for direct recovery of the macrophyte for rearing of Tilapia in the clean, from the stabilization ponds of Niamey University. The treatment results obtained through the use of the duckweed show a significant abatement of the

pollution load that can reach over 70% for the ammoniacal nitrogen and more than 80% for phosphorus and 70% for the DBO. The reduction of the bacterial load is greater than 4 log units. The biomass of produced water lens was of the order of 700 kg/ha/day of fresh weight. This biomass has allowed the production of approximately 475 kg/ha/month of Tilapia. For a system serving 5000 inhabitants, the potential income, obtained by the sale of Tilapia or lentils, can reach €1000 / month.

**Keywords:** Stabilization ponds, Macrophytes, Reuse, Aquaculture, Niger

## Introduction

Dans la plupart des cas, les systèmes de traitement des eaux usées mis en place dans les pays en développement ont été conçus en se basant sur ceux qui existent dans les pays développés.

Le manque d'espace ainsi que les prix souvent élevés des terrains dans les zones urbanisées des pays développés ont favorisé le choix de systèmes d'épuration très condensés, composés d'équipements sophistiqués demandant une technicité de haut niveau de la part de leurs gestionnaires, ainsi que d'importants moyens financiers pour faire face aux frais d'exploitation et à la maintenance du matériel (cas notamment des systèmes classiques de traitement par boues activées).

En revanche, il n'a pas été toujours tenu compte, ou en tout cas pas suffisamment, des spécificités et des différences, parfois fondamentales, que présentent les pays en développement par rapport aux pays développés sur lesquels ces modèles ont été "calqués".

Ces différences de natures diverses, tant sur le plan des compétences et de la disponibilité des moyens, que sur celui des habitudes socioculturelles, ont fait que ces systèmes, dans la majorité des cas, ont échoué, et ce, malgré le degré de fiabilité avec lequel ils ont été conçus.

L'autre problème est que les traitements classiques de type physique, physico-chimique et biologique sont d'une efficacité relativement faible vis-à-vis de l'élimination de la pollution microbienne. Ces procédés ne permettent pas d'atteindre le niveau de qualité recommandé pour l'irrigation illimitée de toutes les cultures ou pour l'élevage piscicole [1]. Les traitements complémentaires de désinfection comme l'ozonation, la chloration ou les rayonnements ultraviolets peuvent être efficaces en ce qui concerne la réduction des coliformes fécaux, mais leur efficacité vis-à-vis de l'élimination des parasites reste très variable d'un procédé à l'autre. La chloration, par exemple, même soigneusement effectuée, n'a ainsi pratiquement aucun effet sur les œufs d'helminthes. Elle présente, en outre comme on sait, le désavantage de conduire à la formation de sous-produits indésirables et extrêmement toxiques dont certains peuvent être cancérigènes : produits organochlorés.

Il existe des procédés d'épuration relativement simples à mettre en œuvre et ne nécessitant que peu de moyens humains et financiers pour leur exploitation et qui sont capables de fournir des eaux épurées qu'on peut réutiliser sans risques sanitaires majeurs et sans avoir nécessairement recours aux techniques complémentaires de désinfection. Parmi ces procédés on retrouve le lagunage qui est par excellence l'une des techniques d'épuration des eaux usées les plus adaptées aux contextes des

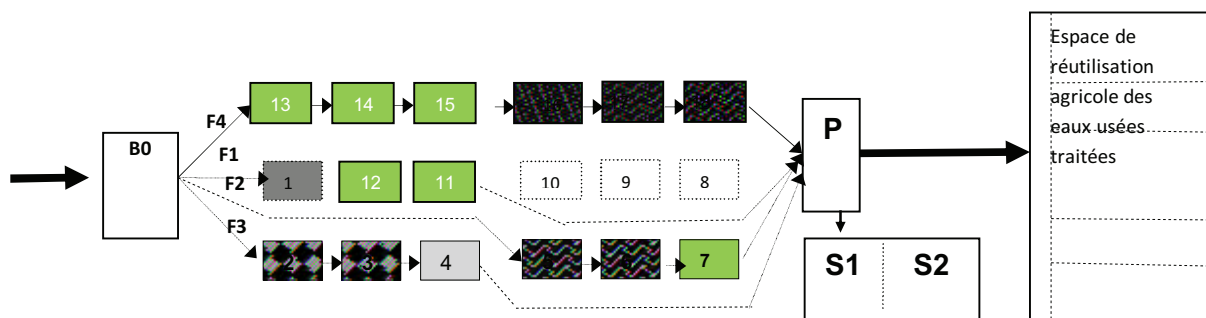
pays en développement. Cette technique présente également l'avantage de fournir, dans le cas de l'utilisation de macrophytes, un rendement économique amélioré grâce à l'utilisation de la biomasse végétale produite pour l'élevage piscicole. Le lagunage peut par conséquent constituer une alternative crédible pour le traitement des eaux usées dans les zones urbaines des pays en développement lorsque les conditions naturelles le permettent.

### 1. Matériel et méthodes

Notre travail, effectué à notre connaissance pour la première fois dans un pays sahélien,

a été essentiellement inspiré du travail de la Banque Mondiale dans le domaine de l'aquaculture [2], du Manuel de lagunage à macrophytes en régions tropicales [3] et des expériences antérieures menées à Cuba par CENHICA (Centro de Hidrología y Calidad del Agua) [4].

Nos expériences ont été réalisées sur le site de la station de lagunage de l'université de Niamey qui est constituée de 6 filières de traitement dont chacune est composée de 3 bassins de lagunage trapézoïdaux de 14 m<sup>2</sup> de surface d'eau chacun, de 7 m<sup>3</sup> de volume et de 1 mètre de profondeur [5]. (Figure 1).



**Figure 01** : Schéma de la station pilote de lagunage

B0 : bassin d'arrivée des eaux usées brutes de la cité universitaire

13 à 15 : bassins à microphytes

16 à 18 : bassins à lentilles d'eau

P : bassin de réception des eaux épurées

S1 et S2 : bassins d'élevage de Tilapia

Les capacités épuratoires de la lentille d'eau ont été testées dans un ensemble de six bassins en série (2 filières de traitement disposées en série). Les 3 premiers utilisaient des microphytes (B13 à B15) et

les 3 derniers étaient couverts de lentilles d'eau (B16 à B18). L'ensemble des bassins B13 à B18 recevait environ 3 m<sup>3</sup>/jour d'eaux usées provenant de la cité universitaire en 3 bûchées journalières

(7h00, 12h00, 19h00). La durée des expériences a été de quatre mois, du mois de février au mois de mai.

Pour estimer le rendement du traitement, des échantillons d'eau ont été prélevés à l'entrée du bassin 13 et à la sortie des bassins 15 et 18, environ 10 minutes après le début de l'écoulement avec une fréquence hebdomadaire durant les 4 mois de l'expérience. Les mesures des paramètres classiques de qualité ont été effectués selon les protocoles AFNOR ou ISO.

Les macrophytes utilisés sont de la famille des Lemnacées, habituellement appelés lentilles d'eau. Elles ont été collectées pour l'ensemencement dans un bassin proche du

site expérimental, 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 a été effectuée manuellement 3 fois par semaine, en récoltant entre le tiers et la moitié de la surface des bassins (voir photo 1). Après ré-étalage de la fraction restante, la nouvelle densité de départ est estimée. L'ensemble de la biomasse récoltée est pesée pour obtenir le poids humide. Une partie est utilisée pour l'estimation de la matière sèche et la partie restante pour l'alimentation de Tilapia.



**Photo 01** : Bassin à lentilles d'eau

La pisciculture est l'un des moyens le plus simple permettant de transformer la lentille d'eau car les plantes n'ont ni besoin d'être stockées ni d'être transformées.

L'élevage de Tilapia a été effectué dans un bassin rectangulaire (bassin S) qui possède une superficie d'environ 30 m<sup>2</sup> et une profondeur de 50 cm (Figure 1). Ce bassin a été divisé en deux parties (S1 et S2) par un

grillage en matière plastique et ensemencé 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 au m<sup>2</sup>.

Dans la partie S1, les poissons n'ont pas été nourris, tandis que dans la partie S2, les Tilapia étaient nourris avec un mélange des

Lemnacées récoltées dans les bassins 16, 17 et 18. L'alimentation, de l'ordre de 500 grammes de lentille fraîche par jour et par kilo de poisson [2], est consommée en quelques heures

## 2. Resultats et discussion

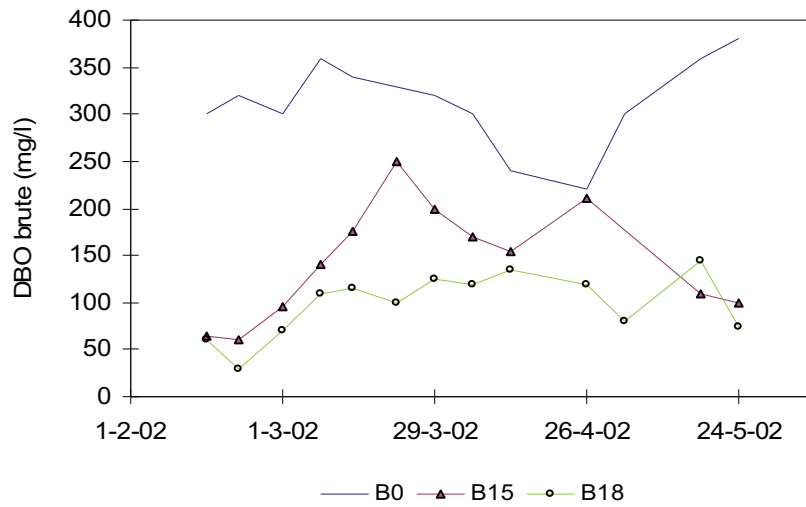
Malgré le temps de séjour relativement court (16 jours pour toute la filière en tenant compte de l'évaporation), les premiers résultats obtenus indiquent globalement un rendement épuratoire acceptable pour la plupart des paramètres de pollution mesurés (tableau 1).

**Tableau 01** : Résultats épuratoires moyens

Paramètre	MES (mg/l)	DBO <sub>brute</sub> (mg/l)	DCO <sub>brute</sub> (mg/l)	NH4 (mg/l)	PO4 (mg/l)	Pollution bactérienne	
						Streptocoques fécaux	Coliformes fécaux
<b>Entrée (B0)</b>	238	312	645	45.7	3.91	2.5E+06	5.7E+07
<b>Sortie (B15)</b>	103	144	280	25.9	2.41	1.8 E+04	8.3 E+04
<b>Sortie (B18)</b>	99.6	98,9	233	12.8	0.70	1.1E+03	9.8E+03
<b>Rendement</b>	58%	68%	64%	72%	82%	>99.95%	

La DBO brute est passée de 312 mg/l dans les eaux brutes à 98.9 mg/l à la sortie du bassin 18, ce qui représente un rendement voisin de 70%. Ce rendement correspond au pourcentage minimum de réduction exigé

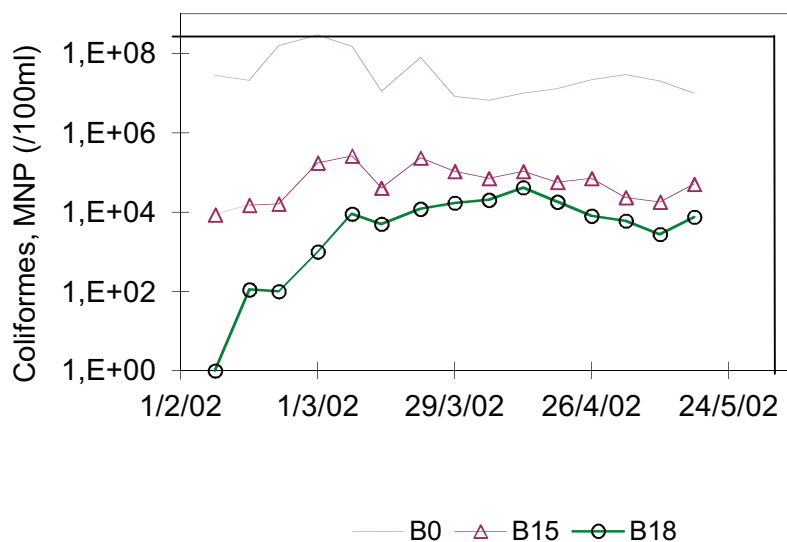
par la directive européenne 91/271/CEE (figure 2). Les rendements moyens sur l'azote et le phosphore sont en revanche très significatifs (72 % et 82 %, respectivement).



**Figure 02 :** Evolution de la DBO dans les eaux brutes et à la sortie de la filière à microphytes (B15) et de la filière à macrophytes (B18)

Les rendements sur les pathogènes ont été également très élevés. Ils ont atteint 3 unités logarithmiques dans les bassins à microphytes, grâce à l'effet purificateur du soleil, et 1 unité logarithmique dans les

bassins à macrophytes, ce qui montre l'influence positive de la lentille d'eau sur l'abattement de la pollution microbienne (figure 3).

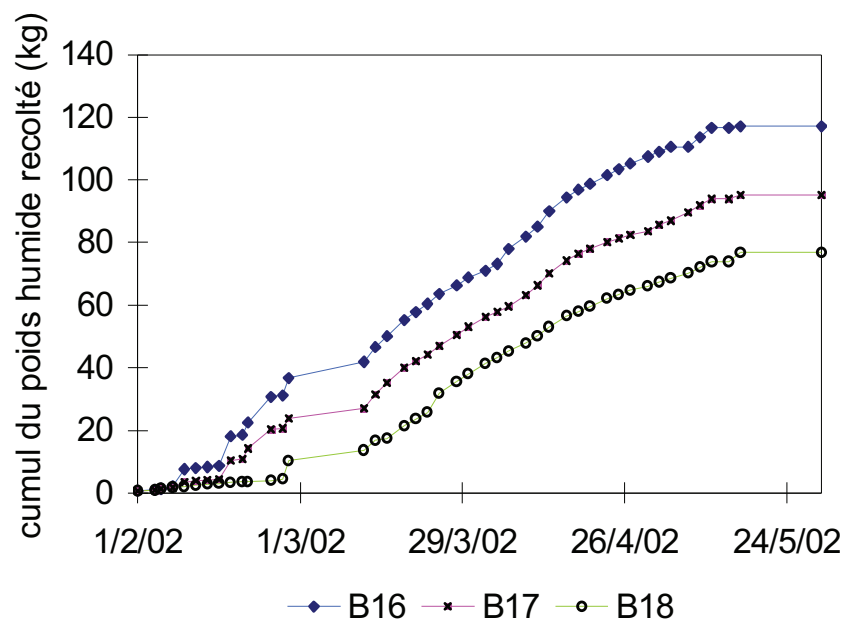


**Figure 03 :** Evolution de la concentration en coliformes fécaux à la sortie de la filière à microphytes (B15) et de la filière à macrophytes (B18)



En ce qui concerne la production des lentilles d'eau, nous avons constaté pendant la période d'expérimentation une élévation progressive de la température maximale journalière de l'eau qui est passée de 25°C, au mois de février, à 35°C à la fin de l'expérience. Cette augmentation de température a provoqué une amplification de la production de l'ammonium qui a probablement freiné la croissance des macrophytes. L'optimum de croissance des Lemnacées se situant autour de 30 – 32 °C, des températures plus élevées induisent ensuite un déclin rapide de la croissance de

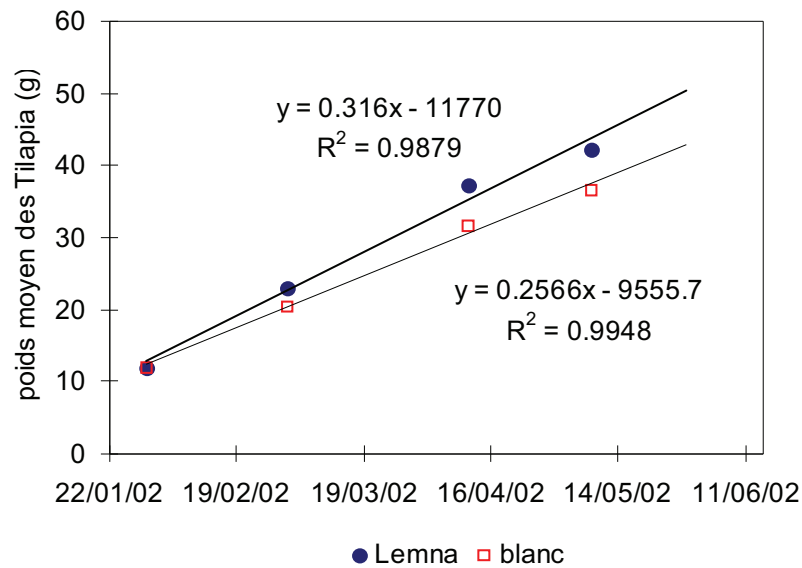
ce macrophyte [6]. Des expériences similaires menées à CINARA en Colombie (comm. personnelle) ont montré une faible résistance des lemnacées pour des teneurs en ammonium qui dépassent 30 mg/l. D'autres études ont fixé à 20 mg/l les teneurs maximales en NH<sub>4</sub> tolérées par les lemnacées [7]. Le graphique de la figure 4 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.



**Figure 04** : Evolution du poids des lentilles d'eau récoltées dans les bassins à macrophytes.

En ce qui concerne l'élevage de Tilapia, nous avons remarqué une croissance plus rapide (1.5 g/m<sup>2</sup>/j) dans le bassin S2 alimenté par les lentilles d'eau dans lequel

les poissons prennent plus rapidement de poids et se reproduisent mieux que la population témoin du bassin S1 (figure 5).



**Figure 05** : Evolution du poids de Tilapia dans les bassins de pisciculture (S1 : témoin - S2 : Tilapia nourri avec des lentilles d'eau).

### Conclusion

Les résultats préliminaires de cette étude mettent en évidence l'intérêt et la faisabilité du traitement des eaux usées par lagunage à macrophytes au Niger, utilisant la lentille d'eau. Le système de lagunage utilisé atteint des performances comparables à celles obtenues dans la région avec un très bon abattement microbien [8], cependant pour obtenir de meilleures performances à la sortie de la filière de traitement, il conviendrait de choisir une charge plus faible et un temps de séjour plus élevé. Les teneurs élevées en azote ammoniacal obtenues en fin de l'expérience, à la suite de l'élévation de la température, peuvent limiter la croissance des macrophytes et diminuer les possibilités de réutilisation des effluents en pisciculture. Pour une bonne gestion des systèmes 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 et la production de biomasse obtenue est comparable à celle décrite dans la littérature. Elle a été d'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 (environ 100 euros) pour une station de 5 milles habitants raccordés, un stimulant fort pour l'exploitation d'un tel système. Dans d'autres régions arides, en particulier au Sahara algérien, des manifestations d'intérêt pour le recours aux eaux usées traitées par lagunage à des fins piscicoles commencent à voir le jour et les premiers résultats scientifiques obtenus sont très prometteurs [9].



**Références bibliographiques**

- [1] **WHO**, *Who guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume I: Policy And Regulatory Aspects*, ed. WHO, Paris (France), 2006, 100 p.
- [2] **Skillicorn P., Spira W., Journey W.**, *Duckweed Agriculture. The New Aquatic Farming System for Developing Countries*, ed. The World Bank, Washington (USA), 1993, 86 p.
- [3] **Charbonnel Y.**, *Manuel de lagunage à macrophytes en régions tropicales. Rapport ACCT (Agence de Coopération Culturelle et Technique)*, Paris (France), 1989, 37 p.
- [4] **Santiago, J. F., NOVOA M. DEL C., CANO A., CERVANTES A.**, : Tratamiento de Residuales porcinos y domesticos mediante el cultivo de Lemna. *Voluntad Hidraulica ; 1997 ; (87) : 54-60.*
- [5] **Idder, T., LAOUALI S.**, *Projet pilote Niger VII : épuration des eaux usées du campus universitaire de Niamey. Actes du séminaire international sur l'assainissement urbain en Afrique, Gorée (Sénégal), 18-20 décembre 2000 : 57-63.*
- [6] **Sascha I.**, *Duckweed Aquaculture Potentials, Possibilities and Limitations for Combined Wastewater and Animal Feed Production in Developing Countries.* ed Dept. of Water & Sanitation in Developing Countries, SANDEC; Swiss Federal Institute for Environmental Science & Technology, EAWAG, Duebendorf (Suisse), 1999, 91 p.
- [7] **Caicedo J.R., Van Der Steen N.P., Arce O., Gijzen H.J.** : Effect of total ammonia nitrogen concentration and pH on growth duckweed (*spirodela polyrrhiza*). *Water research; 34 (15):3829-3835.*
- [8] **Koné D.** : *Epuration des eaux usées par lagunage à microphytes et à macrophytes en Afrique de l'Ouest et du centre: Etat des lieux, performances épuratoires et critères de dimensionnement.* Thèse de Doctorat, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suisse). 2002, 170 p.
- [9] **Bettahar N., Hamdi A.** : *Traitement des eaux usées urbaines par lagunage et possibilités de valorisation des sous-produits en pisciculture (cas de la S.T.E.P de Ouargla).* Mémoire Ing. Aquaculture, Université Kasdi Merbah, Ouargla (Algérie), 2011, 87 p.