

EXPÉRIENCE D'ÉPURATION DES EAUX USÉES URBAINES PAR LAGUNAGE SOUS CLIMAT SAHÉLIEN (NIAMEY, NIGER) ET QUELQUES DONNÉES RÉCENTES SUR LA MISE EN PLACE DE CETTE TECHNIQUE DE TRAITEMENT SOUS CLIMAT SAHARIEN (CUVETTE DE OUARGLA, SAHARA SEPTENTRIONAL EST ALGÉRIEN)

IDDER Tahar^{1*}, LAOUALI Mahamane Sani², IDDER Abdelhak¹, SEIDL Martin³

⁽¹⁾Laboratoire de Protection des Ecosystèmes en Zones Arides et Semi-arides

Université Kasdi Merbah-Ouargla BP 511 Ouargla 30000 Algérie, Email : tahar_id@yahoo.fr

⁽²⁾Département de Chimie, Faculté des Sciences, Université de Niamey, Niger

⁽³⁾CEREVE, 6-8 Avenue Blaise Pascal Champs sur Marne, 77455 Marne la Vallée, FRANCE

Résumé- La station de traitement des eaux usées par lagunage de la ville de Niamey est une installation pilote qui offre la possibilité de réaliser des comparaisons systématiques entre plusieurs filières et modes de traitement par lagunage (lagunage à microphytes, lagunage à macrophytes) de manière simultanée et dans les mêmes conditions de fonctionnement. Cette station a été réalisée en 1998 grâce à un financement de la Commission européenne et une assistance technique de l'ONG belge AQUADEV. Elle constitue, avec celle de l'IER (Ecole Inter-Etats d'Ingénieurs de l'Équipement Rural de Ouargadougou), un des rares sites opérationnels de recherche en Afrique de l'ouest. Dans le cadre de l'expérience décrite dans cette étude, quatre filières de traitement ont été testées avec la combinaison de trois systèmes de lagunage différents: les microphytes, les macrophytes enracinés (*Echinocloa Stagnina*) et les macrophytes flottants (*Lemna minor* et *Eichhornia crassipes*). Les performances des quatre filières ont été évaluées sur la base de comparaison des résultats. La combinaison entre *Eichhornia crassipes* et *Echinocloa Stagnina* s'est révélée être la plus performante sur les paramètres physico-chimiques et biologiques, avec 95% d'abattement sur les MES, 94% sur les orthophosphates, 85% sur la DCO et 80% sur la DBO5. Les résultats ont montré, en outre que globalement, il n'y avait pas de différences significatives sur le plan épuratoire entre la filière à *Lemna minor* et la filière à lagunage naturel à microphytes. Dans un tout autre contexte écologique, le Sahara Algérien, une prise de conscience semble voir le jour pour le recours à la technique de traitement des eaux usées par lagunage, en particulier après les échecs observés suite à la mise en place de procédés «sophistiqués» de traitement des eaux (principalement les boues activées) qui se sont révélés très rapidement inadaptés au contexte local. Nous citerons à titre d'exemple le cas de la station de lagunage aéré de la ville de Ouargla dont la réalisation est encore très récente. Cet aménagement, outre le fait qu'il va permettre une meilleure prise en charge du problème de la gestion des eaux usées dans la cuvette de Ouargla, permettra aussi de servir de modèle de recherche appliquée pour le traitement des eaux usées par lagunage sous climat saharien, domaine de recherche jusque-là très peu exploré. Cette station, compte tenu de sa récente mise en service, n'a encore pas atteint un régime de fonctionnement stabilisé (bassin en cours de remplissage, variation importantes dans le temps des flux arrivant en tête de station, etc.) qui puisse permettre une exploitation des résultats scientifiques de manière valable. Par conséquent, on se limitera donc, dans le cadre de cette seconde partie de l'étude, à effectuer une description de ce site de traitement et à présenter ses principales caractéristiques.

Mots clés : Epuration, eaux usées, lagunage, Sahel, Sahara

THE EXPERIENCE OF TREATMENT OF URBAN WASTEWATER BY LAGOON IN SAHELIAN CLIMATE (NIAMEY - NIGER) AND SOME RECENT DATA ON THE IMPLEMENTATION OF THIS TECHNIQUE OF TREATMENT UNDER CLIMATE SAHARAN (OUARGLA BOWL, SEPTENTRIONAL EAST ALGERIAN SAHARA)

Abstract- Treatment of wastewater from the city of Niamey Lagoon is a pilot facility that offers the possibility to carry out systematic comparisons between several channels and modes of treatment by lagooning (microphytic lagoon, lagoon to macrophytes) simultaneously and in the same operating conditions. This station was completed in 1998 with funding from the European Commission and technical assistance of the Belgian NGO AQUADEV. It is, with that of the IER (Interstate School of engineers of the Rural equipment of Ouargadougou), one of the few operational sites for research in West Africa. In the experiment described in this study, four courses of treatment were tested with the combination of three different systems of Lagoon: microphytic, rooted macrophytes (*Echinocloa Stagnina*) and floating macrophytes (*Lemna minor*) and *Eichhornia crassipes*. The performance of the four courses were assessed on the basis of comparison of the results. The combination between *Eichhornia crassipes* and *Echinocloa Stagnina* has proven to be the most powerful on the physico-chemical and biological parameters with

95% of discount on the, 94% on orthophosphates, 85% on cod and 80% for BOD5. The results showed, moreover, that, overall, there were no significant differences in treatment between the Lemna minor industry and the sector to microphytic natural lagoon. In other ecological context, the Algerian Sahara, awareness seems to see agenda for the use of the technique of the sewage treatment by lagooning, especially after the failures observed after the implementation of "sophisticated" methods of water treatment (primarily activated sludge) that proved very quickly maladjusted to the local context. We are for example the case of the station of lagunage aerated city of Ouargla which are still very recent. This development, in addition to the fact that it will allow a better support of the problem of the management of wastewater in the basin of Ouargla, will allow also to serve as a model of applied research for the treatment of wastewater lagoon in Saharan climate research hitherto little explored. This station, given his recent commissioning, has still not achieved stabilized operation plan (basin during filling, change important time flows arriving at the top of station, etc.) which could allow exploitation of the scientific results in a valid manner. Therefore, it will be, in this second part of the study, to carry out a description of the treatment site and present its main features

Keywords : purification, wastewater, lagoon, Sahel, Sahara.

Introduction

L'épuration des eaux usées urbaines constitue un problème environnemental majeur dans la plupart des pays en développement, compte tenu de l'insuffisance notable de dispositifs adéquats de collecte et de traitement de ces eaux. Le rapport annuel du PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement) pour l'année 2006 met l'accent sur les quantités inquiétantes d'eaux usées qui sont rejetées dans la nature. Ce rapport indique que dans beaucoup de pays du Sud, plus de 90% des eaux usées rejoignent directement la nature sans avoir subi aucun traitement.

Les pays de l'Afrique de l'Ouest et les pays du Maghreb ne font pas exception à la règle. En effet, et plus particulièrement en Afrique de l'Ouest, dans la plupart des villes, seuls quelques quartiers modernes disposent de caniveaux pour la collecte des eaux usées. Ces caniveaux se trouvent d'ailleurs le plus souvent obstrués par des déchets solides [1]. Les stations d'épuration existantes et construites en s'appuyant sur les modèles et normes occidentales (utilisant des modes intensifs de traitement) sont, pour la plupart, soit à l'arrêt soit en mauvais état. Cette situation est due en grande partie au fait que les moyens nécessaires pour le fonctionnement, la maintenance et la gestion de ce type d'installations est souvent hors de portée de beaucoup de pays en voie de développement [2]. C'est le cas notamment de l'ancienne station d'épuration du Campus universitaire de Niamey (Niger), qui ne fonctionne plus depuis plusieurs années faute de moyens, et de la station d'épuration par boues activées de la ville de Ouargla qui a cessé de fonctionner quelques mois seulement après sa mise en service pour les mêmes raisons.

Devant ces constats d'échec, plusieurs équipes de recherche africaines se sont efforcés d'approfondir leurs investigations scientifiques et techniques dans le sens de la mise en place de procédés d'épuration adaptés aux contextes des pays en développement, mettant en œuvre des processus naturels de dégradation de la pollution tels que ceux observés dans les écosystèmes naturels des zones humides [3] et nécessitant des moyens humains et financiers raisonnables, comme par exemple le procédé de lagunage.

Au Sahel, différentes études sur ces procédés sont réalisées, mais la plupart d'entre elles ne permettent pas d'aboutir à une comparaison objective de résultats pouvant mettre en évidence la performance d'une filière de traitement par rapport à une autre.

Les recherches menées sur le site de la station expérimentale de Niamey ont pour objectif principal la recherche d'une filière de traitement des eaux usées aussi complète que possible pour les régions sahéliennes et parfaitement adaptée au contexte local.

Dans le Sahara algérien, le procédé de traitement par lagunage est encore très peu répandu. De nos jours, il n'existe que quelques stations de lagunage qui ont été très récemment mises en œuvre (la station d'El Oued et la station de la ville de Ouargla, notamment). Un temps de recul est donc nécessaire afin de pouvoir évaluer leurs conditions de fonctionnement et de mesurer leurs véritables performances.

1.- Matériel et méthodes

1.1.- Station pilote de la faculté des sciences de Niamey (Niger)

Cette station a pour rôle de traiter les eaux usées du Campus universitaire. Elle est composée des ouvrages suivants [4] (fig. 1) :

- Dix-sept bassins en forme de trapèzes d'un volume moyen utile de 7m^3 chacun, avec une profondeur moyenne de 1 m. La surface du plan d'eau est de 14m^2 . La pente des bassins est de 45° .
- Une fosse anaérobie en béton d'une profondeur de 3 m et d'un diamètre de 1 m.
- Une bache de réception des eaux usées brutes en béton armé d'un volume de 8m^3 qui répartit les eaux dans les différents bassins.
- La station offre la possibilité de comparer simultanément et dans les mêmes conditions six filières différentes, avec la possibilité d'interconnexions entre les filières, ce qui fait d'elle une plate forme unique dans la sous région.

1.2.- Filières testées

Dans le cadre des travaux présentés dans cette étude, quatre filières de lagunage différentes sont testées. Les trois premières étaient composées de trois bassins chacune. Chaque filière recevait un débit de $1,5\text{m}^3$ par jour d'eau usée. La charge globale appliquée a été de $0,5\text{kg}$ de DBO_5/jour , soit 120kg de $\text{DBO}_5/\text{ha}/\text{jour}$ et le temps de séjour hydraulique sur l'ensemble des filières était de 14 jours en moyenne.

Les trois filières étaient les suivantes (fig. 1):

- La filière F1 regroupe les bassins 1, 12 et 11. Le bassin 1 fonctionne comme un bassin facultatif. Les deux bassins suivants sont utilisés comme des bassins à microphytes. La filière F1 est l'exemple type d'un système de lagunage naturel à microphytes. Elle sert de ce point de vue de filière de référence.
- La filière F2 regroupe les bassins 5, 6 et 7. Les bassins 5 et 6 sontensemencés avec un macrophyte flottant: la lentille d'eau (*Lemna minor*), tandis que le bassin 7 fonctionne avec des microphytes.
- La filière F3 regroupe les bassins 2, 3 et 4. Les bassins 2 et 3 contiennent un autre macrophyte flottant: la jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*), tandis que le bassin 4 est rempli au $2/3$ de sa hauteur d'une couche de gravier sur laquelle est plantée une espèce locale de roseau: le bourgou (*Echinocloa stagnina*).
- La quatrième filière F4 se compose de six bassins en série. Elle regroupe les bassins 13, 14, 15, 16, 17 et 18. Les trois premiers bassins sont des bassins à microphytes et les trois derniers contiennent des lentilles d'eau. Le débit à l'entrée dans cette filière a été de 3m^3 par jour et la charge globale appliquée était de 1kg de DBO_5/jour , soit 120kg de $\text{DBO}_5/\text{ha}/\text{jour}$. Le temps de séjour hydraulique dans l'ensemble de cette quatrième filière était de 13 à 14 jours selon l'intensité de l'évapotranspiration, soit un temps de séjour hydraulique sensiblement identique à celui des filières F1, F2 et F3.

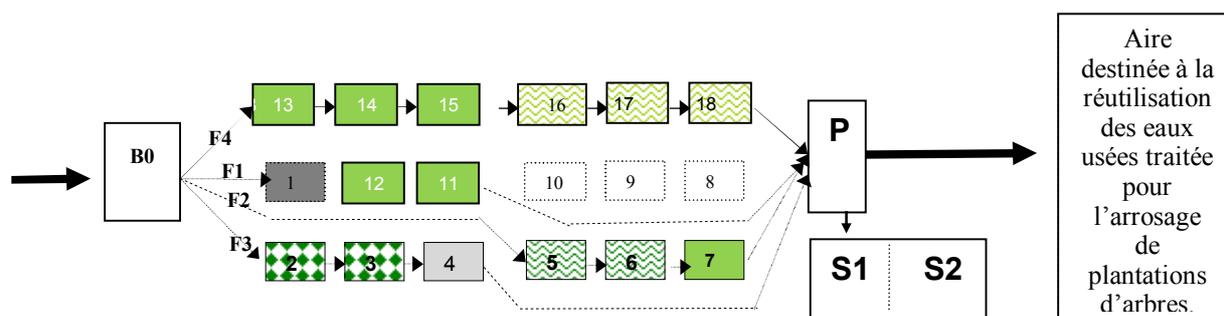


Figure 1.- Schématisation de la station pilote de Niamey et disposition des différentes filières de traitement (Bassin B0 : bache de réception des eaux usées brutes, Bassins 1 à 18: bassins de lagunage, Bassin P: bassin de récolte des eaux épurées, Bassins S1 et S2: bassins destinés à la valorisation aquacole des eaux usées traitées (Elevage de Tilapia))

I.3.- Caractéristiques des eaux usées brutes

La station expérimentale de l'université de Niamey est alimentée par les eaux usées domestiques provenant essentiellement des logements des étudiants. Les principales caractéristiques de ces effluents sont résumées dans le tableau I.

Tableau I.- Composition eaux usées à l'entrée de la station

Paramètres		Valeurs
Ph		6,75
MES (mg/l)		238
DCO (mg/l)	Brute	581
	Filtrée	258
DBO ₅ (mg/l)	Brute	315
	Filtrée	180
NTK (mg/l)		70,8
NH ₄ ⁺ (mg/l)		47,5
PO ₄ ³⁻ (mg/l)		3,9

1.4.- Paramètres mesurés et méthodes d'analyse

Les paramètres mesurés sont la DBO₅, la DCO, les MES, l'azote total Kjeldhal (NtK), l'azote ammoniacal (NH₄⁺), les orthophosphates (PO₄³⁻), le pH et la température. Les analyses physico-chimiques sont effectuées suivant les spécifications des normes Françaises (AFNOR, 1986) [5]. Le pH et la température sont mesurés *in situ* à l'aide d'un pH-mètre équipé d'une sonde de température.

L'échantillonnage est réalisé à la sortie de la bache de réception pour les eaux usées brutes (B0), à la sortie de chaque bassin pour les filières à trois bassins et après un groupe de trois bassins pour la filière à six bassins. Pour les eaux usées brutes, l'échantillon est composé à partir de cinq prélèvements répartis dans la journée. A l'intérieur des filières, les prélèvements sont instantanés.

Sur les principaux paramètres de pollution, il est effectué un calcul statistique basé sur la comparaison des résultats moyens de deux méthodes A et B. Pour chaque filière testée constitue une méthode de traitement à part entière et il est effectué une comparaison deux à deux des quatre filières expérimentées pour une probabilité P choisie.

1.5.- Station de lagunage aéré de la ville de Ouargla (Algerie)

La station de lagunage de la ville de Ouargla, d'une capacité égale à 400.000 équivalent.hab. environ, a été récemment réalisée par la société allemande Dywidag (photo 1). Le maître de l'ouvrage étant l'Office National de l'Assainissement. Cette station, qui devrait à terme traiter l'ensemble des eaux usées urbaines de la cuvette de Ouargla, est conçue pour fonctionner selon le procédé de lagunage aérée. Elle comporte un compartiment de prétraitement suivi de trois étages de traitement par lagunage. A l'horizon 2030, l'étage 1, pouvant être assimilé à un étage de traitement primaire, devra comprendre 6 lagunes aérées, l'étage 2, 3 lagunes aérées et l'étage 3, qui est l'étage de finition, 3 lagunes naturelles. Actuellement, cette station fonctionne avec 4 lagunes à son 1^{er} étage, 2 lagunes au 2^{ème} et avec 2 lagunes tertiaires de finitions.

A l'état actuel, le régime de fonctionnement de cette station n'est pas encore tout à fait stabilisé, compte tenu du non achèvement, en amont, de certains travaux d'aménagement, comme qui concernent notamment la réalisation du réseau urbain de collecte des eaux usées. Les flux hydrauliques et les charges organiques à traiter fluctuent de manière assez importante dans le temps et ne permettent pas encore de dresser des protocoles de travail permettant d'aboutir à des résultats concluants sur le plan scientifiques.



Photo 1.- Vue d'ensemble sur les bassins de lagunage

2.- Résultats et discussion

L'efficacité des différentes filières et les rendements épuratoires, évalués par rapport aux principaux paramètres de pollution, sont présentés dans les tableaux II et III.

Tableau II.- Composition eaux usées à l'entrée et à la sortie de chaque filière testée

Paramètres	Eaux usées brutes	Sortie F3	Sortie F2	Sortie F4	Sortie F1	
Ph	6,75	6,8	7,5	7,7	7,8	
MES (mg/l)	238	13	85	87	98	
DCO (mg/l)	Brute	581	85	236	234	233
	Filtrée	258	42	115	96	116
DBO5(mg/l)	Brute	315	62	135	95	150
	Filtrée	180	38	83	46	79
NTK (mg/l)	70,8	27	30	24	27	

NH ₄ ⁻ (mg/l)	47,5	26	17	13	13
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	3,9	0,3	1,7	0,7	2,3

Tableau III.- Rendements (%) épuratoires globaux des différentes filières testées

Paramètres	F3	F2	F4	F1
MES	94,5	64,3	63,3	58,8
DCO brute	85,4	59,4	59,7	59,9
DCO filtrée	83,7	55,4	62,8	55
DBO5 brute	80,3	57,1	69,8	52
DBO5 filtrée	78,9	53,9	74	56
NTK	61,9	57,6	66,1	61,4
NH ₄	45,3	64,2	72,6	72,6
PO ₄	92,3	56,4	82	41

Au vu des résultats, il apparaît que l'on peut établir le classement suivant en ce qui concerne les performances des filières vis-à-vis de l'élimination des MES: F3 >> F2 = F4 > F1. Les directives européennes 91/271/CEE, relatives au traitement des eaux urbaines résiduaires fixent les normes à 90% de réduction minimum sur les MES. Nous constatons que seule F3 répond à cette exigence. Sur cette filière, les MES ont été éliminées à hauteur de 80% par le premier bassin, 83,2% après le deuxième bassin et 94,5 sur l'ensemble de la filière. Les abattements sur la DCO et la DBO₅ brutes de la filière à jacinthes (F3), dépassent de loin ceux des trois autres filières. L'analyse statistique donne le classement suivant en ce qui concerne les performances épuratoires sur la DCO et la DBO₅ brutes: F3 >> F4 = F2 > F1. Il est noté que seule la filière F3 respecte la norme européenne de 75% de réduction minimale sur la DCO. Cette valeur est atteinte dès le deuxième bassin de la filière.

Le NtK et le NH₄⁺, de manière générale, ils restent inférieurs aux normes fixées par la CEE. L'analyse statistique nous a montré qu'il y a une chance sur deux pour que les filières F4, F1 et F3 donnent les mêmes résultats sur le NtK. Pour le NH₄⁺, les filières qui contiennent des bassins à microphytes donnent les meilleurs résultats.

Contrairement à l'ammoniac, les filières à plusieurs bassins à macrophytes éliminent mieux les orthophosphates que les filières à microphytes. Le classement suivant peut être établi en ce qui concerne les performances épuratoires des différentes filières: F3 > F4 > F2 > F1.

En définitive, le suivi des performances épuratoires de ces différentes filières, montre que chaque système a ses avantages et ses inconvénients.

Sur le plan de la qualité des eaux après traitement, la filière F3, composée de jacinthes d'eau et de bourgou, est la plus performante. Elle offre en plus une grande quantité de biomasse directement valorisable. La jacinthe d'eau peut être utilisée pour produire de l'engrais vert par compostage ou être utilisée comme substitut du bois dans certaines conditions. Le bourgou peut être utilisé pour l'alimentation du bétail surtout que seules ses racines sont en contact avec les eaux usées. Dans l'optique d'une simple épuration des eaux, suivie d'une valorisation de la biomasse, cette filière semble être bien indiquée.

Les performances des filières à lentilles d'eau sont en partie réduites à cause de la présence d'algues vertes filamenteuses dans les bassins (algues que nous n'avons pas observées dans les bassins à jacinthes). En effet, ces algues augmentent les taux des MES et de la DCO et de la DBO brutes. On pourra augmenter l'efficacité de ces systèmes en plaçant, par exemple, en fin de filière un bassin de filtration sur gravier. Ces filières présentent de belles perspectives

d'avenir, compte tenu de leur importante production de biomasse directement valorisable pour l'alimentation de certains types de poissons des régions tropicales comme le Tilapia [6]. Parallèlement, les eaux épurées issues de ces filières de traitement peuvent présenter un avantage certain, notamment pour l'arrosage de plantations d'arbres, pratique qui pourrait réduire considérablement le recours aux eaux « conventionnelles » déjà en déficit dans les pays de la sous région sahélienne qui souffrent d'épisodes importants de sécheresse [7].

3.- Conclusion

Les résultats de cette étude montrent que parmi les systèmes de lagunage testés sous climat sahélien, la filière composée de jacinthe d'eau et de Bourgou présente les meilleures performances épuratoires.

Cela pourrait s'expliquer par la vitesse très importante de croissance des jacinthes d'eau qui entraîne une grande assimilation de la pollution. A cela s'ajoute la filtration des matières en suspension par les racines des plantes et par le lit de graviers. En effet, avec seulement les deux premiers bassins à jacinthe, les rendements ont atteint 78% sur la DBO₅ et 80% sur la DCO. Cela représente à peu près les performances obtenues avec un bassin facultatif combiné à deux bassins à pistia [8,1,9].

Les rendements des différents systèmes étudiés, pris isolément, montent aussi que, sous climat sahélien, le système à microphytes est le moins performant. Dans le même contexte, Niang S. *et al.* [8]. rapportent les mêmes observations sur une étude comparative faite entre les microphytes et d'autres types de macrophytes rencontrés dans la sous région.

Comparées à la filière de référence, les filières à lentilles d'eau n'ont pas apporté d'améliorations significatives sur la qualité des effluents traités. Cependant, l'avantage de ces filières par rapport au lagunage naturel est l'importante production de biomasse qu'elles engendrent et qui peut être directement valorisée (aquaculture, notamment).

Quand aux conditions de fonctionnement du lagunage sous climat saharien, encore très peu connues, elles nécessitent désormais le déploiement d'un effort d'investigation et de recherche considérables. C'est tout l'équilibre écologique du fragile écosystème oasien qui en dépend.

Références bibliographiques

[1].- Garba L., Delisle D., Vincent G., Couillard D. et Laouali M. S., 1996.- Etude expérimentale de traitement des eaux usées par lagunages facultatifs et à hydrophytes libres au Niger. *Water Qual. Res. Canada*, 31: 37-50

[2].- Morel M., Kane M., 1998.- Le lagunage à Macrophytes, une technique permettant l'épuration des eaux usées pour son recyclage et de multiples valorisations de la biomasse. *Sud sciences et technologies*, 1: 5-16.

[3].- Radoux M., 1989.- Epuration des eaux usées par hydrosère reconstituée. *Tribune de l'eau*, 42 : 62-68.

[4].- Idder T., Laouali M. S., 2000.- Projet Niger VII: Epuration des eaux usées du campus universitaire de Niamey. Actes du séminaire international sur l'assainissement urbain en Afrique, Gorée : 57-63.

- [5].- EAUX MÉTHODES D'ESSAI, 1986.- Recueil des normes Françaises, 3^e édition, AFNOR.
- [6].- Seidl M., Laouali M. S., Idder T., Mouchel J.M., 2006.- Duckweed - Tilapia system: a possible way of ecological sanitation for developing countries » IWA (International Water Association). Editors: Miguel R. Peña Varon, In : Water and Environmental Management Series, 11: 105-110;
- [7].- Idder T., Laouali M. S., Abba M., Yansambou B., Kawa R., Yaye A., 2005.- Etude préliminaire de l'utilisation des sous produits du lagunage pour l'arrosage au Niger. Tribune de l'Eau, 58, 635 : 3-9.
- [8].- Niang S., Diop B. S., Mbeguere M. and Radoux M., 1996.- Urban wastewater purification by natural epuration systems in Sahel countries: The experimental plant of Camberene (Dakar-Senegal). Vecteur Environnement, 29: 31-36.
- [9].- Kone D., 2002.- Epuration des eaux usées par lagunage à microphytes et à macrophytes en Afrique de l'Ouest et du centre: état des lieux, performances épuratoires et critères de dimensionnement. Thèse de Doctorat N°2653 EPFL, Lausanne, 170 p.