

Etat des lieux du lagunage en Afrique de l'ouest et du centre

Review of wastewater stabilization ponds performances in West and Central Africa.

Doulaye KONE¹, Chantal SEIGNEZ² et Christof HOLLIGER²

¹Ecole Inter-Etats d'Ingénieurs de l'Équipement Rural (EIER), 03 BP 7023 Ouagadougou, Burkina Faso

²Laboratoire de Biotechnologie Environnementale - Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, CH-1015 Lausanne, Suisse.

Tél. ++41 21 693 47 25, Fax ++41 21 693 47 22, e-mail: doulaye.kone@epfl.ch

Abstract

Waste stabilization pond technology has advanced greatly in terms of application and reliability in most of countries where climate conditions are favourable. However, since twenty years, the stabilization ponds technology for wastewater treatment in West and central Africa has not made great strides whereas the medical risks related to the bad management of wastewater increase steadily. Nowadays, there are less than 14 wastewater stabilization ponds in this zone (Kone *et al.*, 2000). Apart from the first installations built between 1970 and 1990 which are now in majority out of operation, any other pond have been constructed in this last decade. On the other hand, pilot scale experimental studies have increased.

The investigation of design criteria from these pilot scale data shows that the McGarry and Pescod (1970) model over-estimates the removal rate of facultative ponds in Burkina Faso and Niger. Data carried out from these countries, showed that BOD₅ removal rate remains lower than 60 % whatever the organic load and the hydraulic residence time. Hydraulic loading rate higher than 200 mm/j seems to have a negative influence on BOD₅ removal rate.

Macrophytes with potential of valorisation are also used in the pilot scale experiments. Combining macrophytes ponds with facultative ones allow the system performance higher than 70 % in BOD₅ removal. Studies in Yaoundé and Niamey (Kengne *et al.*, 2000, Laouali *et al.*, 2000) show that malaria mosquitoes (*Anopheles spp.*) can't developed on macrophytes pond and its possible to control the others (*Aedes, mansonina*) with anti-mosquito plants on banks.

In addition to the lack of suitable ponds management programme and abnormal operation problems with constructed ponds, the absence of sewerage system or they high cost investment are often the main limitations for development of stabilization ponds in low in-come zones. This paper present the state of art of stabilization ponds in West and Central Africa.

Keywords : Facultative pond, macrophytes pond, pond design, effluent reuse.

Introduction

Une enquête réalisée en 1992 par le CIEH (1993) sur les systèmes d'assainissement dans les 14 pays francophones de l'Afrique de l'Ouest montre que beaucoup d'investissements ont été consentis pour la construction de station d'épuration de type intensif (boues activées, oxyterne, chenal d'oxydation). Celles-ci représentent en nombre, 76 % des stations recensées sur les 14 Etats contre 10 % de stations de lagunage. Les statistiques du tableau 1 montrent également que le lagunage à macrophytes (végétaux supérieurs) n'est pas encore bien connu dans cette région.

Comme on peut le voir dans le tableau 1, la taille des installations est variable. Les effluents traités sont issus soit de petites collectivités (écoles-internat), soit d'agglomération de taille moyenne (stations du Sénégal). Ceci montre bien la souplesse d'intégration de ce type de technologie. Les effluents sont généralement destinés à l'irrigation comme le montre le tableau 1, quelle que soit la qualité de ceux-ci.

La plupart des stations recensées dans ce tableau connaissent toutes des problèmes de fonctionnement liées soit à une mauvaise conception, soit à une insuffisance de gestion et d'entretien des installations. Les critères de dimensionnement de ces installations ne sont pas souvent connues ou ne s'inspirent pas de données expérimentales objectives préalablement identifiées dans le même contexte.

Les différentes études sur le lagunage menées dans la sous-région n'ont pas encore répondu avec satisfaction aux questions relatives au dimensionnement du procédé. Les rares essais entrepris pour caractériser le fonctionnement de ces procédés ne permettent pas encore de dégager des critères de dimensionnement objectifs

pouvant servir de base à une meilleure implantation de ces techniques 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 à leur impact sanitaire sur l'environnement immédiat (KONE, 1998). Les multiples échecs d'implantation font d'elles des techniques très mal connues. Cette situation porte préjudice à l'ensemble des techniques alternatives d'épuration qui semblent compatibles avec les contraintes socio-techniques et économiques des pays en développement.

Tableau 1: Situation du lagunage dans les pays membres du Comité Inter-Etats d'Etudes Hydrauliques (CIEH, 1993)

Localisation	Dispositif (année construction)	Capacité (Equivalent-habitant)	Exutoire ou activités de réutilisation	Problèmes de fonctionnement
Burkina Faso				
EIER (Ouaga)	L* (1988)	200	Maraîchage Arrosage de plantes paysagères	Bassins non étanches, pertes d'eau par infiltration
Koudougou	L (1990)			
Cameroun				
Garoua	LM** (1986)	1300		
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 (1989)	2400	Pisciculture	Bassins non étanches, pertes d'eau par infiltration
Sénégal				
Cap Skiring	LM (1987)	4 à 500	Rejet en mer	Entretien insuffisant
Kaolak	L + chloration (1980)	20 000		
Louga	L + chloration (1980)	12 000	Maraîchage	Faible abattement bactérien
Pikine-Niayes	L (1973)	3800	Maraîchage	Faible abattement bactérien
Saint-Louis	L (1989)	30 000	Maraîchage	Bassins non étanches, pertes d'eau par infiltration
Thiès	L + chloration (1985)	20 000		

*L = lagunage naturel (à microphytes) - **LM = lagunage à laitue d'eau (macrophytes)

C'est dans un souci d'apporter un éclairci sur le fonctionnement et le dimensionnement des stations de lagunage en Afrique de l'Ouest et du Centre que ce travail a été entrepris. Les paragraphes suivants analysent successivement les modèles de dimensionnement utilisés et les expériences avec le lagunage à macrophytes flottants.

Expérimentation du lagunage à microphytes.

L'étude expérimentale des bassins facultatifs et des bassins de maturation a débuté en en Afrique de l'Ouest entre 1987 et 1989 en Côte d'Ivoire avec le centre de Recherche Océanologique (CRO) et la Mission Française de coopération et au Burkina Faso avec l'Ecole Inter-Etats d'Ingénieurs de l'Equipement Rural (EIER). Conscient des dysfonctionnements révélées par les stations précédemment construites, d'autres sites de recherche verront le jour au Sénégal (Station Expérimentale de Cambérène-Dakar) en 1992 (NIANG *et al*) et au Niger en 1996 et en 1999 (LAOUALI *et al*, 1996 et LAOUALI *et al*, 2001).

L'objectif principal assigné à toutes ces stations pilotes ou expérimentales est l'identification de critères de dimensionnement des bassins de lagunage dans le contexte local. La réutilisation des eaux épurées (tableau 2) s'imposant de plus en plus comme la principale contrainte pour l'étude du dimensionnement de ces stations.

Construites pour expérimenter le procédé d'épuration d'eaux usées par lagunage sous climat sahélien, les recherches menées jusqu'à ce jour sur la station de recherche de l'EIER se sont concentrées d'une part sur

l'élimination de la pollution organique, bactériologique et des parasites dans les différents bassins et d'autre part sur la détermination de modèles mathématiques visant à expliquer le fonctionnement de ces bassins.

Performances épuratoires et modèles de dimensionnement

Dans cette partie, nous analyserons les données principalement issues des stations de recherche de Ouagadougou (EIER) et de Niamey (Université de Niamey) qui se sont effectuées dans des conditions de maîtrise des parfaites des profils hydrodynamiques et de limitation de pertes de débit.

Modèles cinétiques

La modélisation des processus épuratoires dans les bassins de lagunage reste un sujet toujours d'actualité car la plupart des modèles identifiés ne peuvent prendre en compte de façon exhaustive l'ensemble des paramètres physico-chimiques, écologiques, biologiques et microbiologiques qui soutendent les réactions mises en jeu. C'est pourquoi l'étude expérimentale du lagunage s'impose en générale comme la meilleure approche pour comprendre les performances du procédé dans un contexte climatiques et socio-techniques donné. Plusieurs modèles de dimensionnement sont proposés pour différentes régions du monde (MARAIS, 1966; MARA, 1975; MARA, 1997; MARA and PEARSON, 1998) mais seule le modèle de MCGARRY et PESCOD (1970) sert encore de référence pour le dimensionnement des stations de lagunage en Afrique de l'Ouest et du Centre.

Cependant, des études menées sur de courtes périodes à la station de l'EIER ont permis d'obtenir quelques valeurs sur les performances épuratoires des bassins facultatifs et de maturation et d'effectuer des tentatives de calage de divers modèles (WYSS 1988, GUENE 1989, RODUIT 1993). Les études hydrodynamiques effectuées sur les bassins facultatifs de l'EIER ont montré que l'écoulement était du type piston dispersif. Ce qui a permis d'identifier quelques modèles dans la littérature pour simuler le comportement des bassins. Ainsi, le calage du modèle cinétique de VINCENT *et al* (1963) pour simuler l'abattement de la pollution organique semblait satisfaisant avec un coefficient de corrélation compris entre 0.907 et 0.968 pour les bassins facultatifs et entre 0.971 et 0.989 pour les bassins de maturation (GUENE, 1989). Mais, ces résultats n'ont pu être confirmés quatre ans plus tard par RODUIT (1993) ayant travaillé dans des conditions de charge organique et hydraulique plus importantes (tableau 2). Les derniers résultats montraient que le modèle de VINCENT sous-estime les rendements épuratoires, notamment dans les bassins facultatifs.

Les résultats concernant les essais de modélisation obtenus jusqu'à ce jour sont encore à confirmer et à approfondir, dans le cadre d'une réflexion globale sur la caractérisation du procédé d'épuration par lagunage dans le contexte sahélien. Des études similaires ont été entreprises sur la station pilote de Dabou où le traçage au lithium a révélé un écoulement piston. L'analyse des données a permis aux auteurs d'identifier un modèle de dimensionnement pour les bassins de lagunage en Côte d'Ivoire. Mais, les résultats obtenus sur cette station restent un peu controversés par un bilan hydrique non équilibré. En effet, cette station a enregistré pendant la période d'étude, entre 1988 et 1989, une importante perte de débit estimée à 43 % du débit d'alimentation.

Au Niger, (LAOUALI *et al*, 1996) ont expérimenté avec succès le modèle de ECKENFELDER (1982) pour traduire l'élimination de la matière organique (DBO_5) dans un bassin facultatif. Les Charges organiques et les températures moyennes journalières dans les bassins sont similaires à celles observées dans l'expérimentation de l'EIER pour des temps de séjour plus long (entre 10 et 25 jours dans les essais de Niamey). En dehors de ces sites d'expérimentation, les études hydrodynamiques des bassins ne sont pas souvent réalisées. Les performances observées dans la plupart des essais ne peuvent pas être rapportées à un profil hydrodynamique des bassins. Les temps de séjour hydraulique rapportés sont ceux obtenus par simple calcul théorique en divisant le volume du bassin par le débit journalier.

La dégradation de la matière organique dans les bassins facultatifs a toujours été estimée par une cinétique d'ordre 1. La détermination des équations qui traduisent les performances épuratoires des bassins se basent sur le profil hydrodynamique. Pour un bassin donné, les valeurs des constantes calculées sont comprises entre celles du modèle d'écoulement piston et celles du modèle de la cuve parfaitement mélangée qui sont les deux situations idéales dans la modélisation des réacteurs chimiques. Les valeurs calculées dans le tableau 2 à partir des données disponibles montrent que les constantes cinétiques sont comprises entre $0.11 \pm 0.08 \text{ j}^{-1}$ (écoulement piston) et $0.16 \pm 0.11 \text{ j}^{-1}$. Ces valeurs sont plus faible que ceux obtenus au Brésil par MARA et SILVA (1979) dans des conditions climatiques tropicales en utilisant le modèle de MARAIS (1974), cuve parfaitement mélangée. Des valeurs aussi faibles sont rapportés des USA par FINNEY et MIDDLEBROOKS (1980) qui n'ont trouvé aucune corrélation entre les données recueillies sur 4 bassins facultatifs étudiés et les modèles cinétiques ou empiriques classiquement utilisés pour le dimensionnement des bassins facultatifs.

Tableau 2: Performances épuratoires des bassins de stabilisation sous climat sahélien

Auteurs	STEP	Q		ts	C. appl.	C. élim.	Rdt	K _T		Abatt
		m ³ /j	mm/j	jours	kg DBO ₅ /ha/j		%	Piston	complet	U. log
Guene, 1989	EIER-1	17	274	4	408	155	38	0.12	0.15	1.3
Menguele, 1990	EIER-1	20	300	3.8	742	232	31	0.10	0.12	1.3
Darriulat, 1991	EIER-1	35	565	2	946	435	46	0.35	0.48	-
Klutsé, 1995	EIER-1	22	355	3	1500	615	41	0.19	0.25	0.6
Guene, 1989	EIER-2	17	50	15	48	27	56	0.05	0.08	1.9
Menguele, 1990	EIER-2	20	59	13	113	60	53	0.06	0.09	2.0
Darriulat, 1991	EIER-2	35	103	10	119	77	65	0.10	0.19	-
Klutsé, 1995	EIER-2	22	65	16	200	96	48	0.04	0.06	1.4
Guene, 1989	EIER-3	17	254	4	378	159	42	0.14	0.18	1.2
Guene, 1989	EIER-4	17	57	11	44	28	64	0.09	0.16	2.1
Koné, 2001	EIER-5	3	125	6	508	295	58	0.14	0.23	
	EIER-5	3	125	6	304	158	52	0.12	0.18	
	EIER-5	3	125	6	130	68	52	0.12	0.18	1.2
Laouali, 1996	Niamey-1	3.84	160	10	400	176	44	0.06	0.08	-
	Niamey-1	2.56	107	15	288	127	44	0.04	0.05	-
	Niamey-1	1.92	80	20	200	120	60	0.05	0.08	-
	Niamey-1	1.54	64.2	25	200	90	45	0.02	0.03	-
Laouali, 2001	Niamey-2	1.5	83	5	400	228	57	0.17	0.27	-
Moyenne								0.11	0.16	
Ecart-type								0.08	0.11	

Q : Débit, ts : temps de séjour, C_{in} : Concentration influent, C_{eff} : Concentration effluent, C. appl. : Charge appliquée, C.élim : Charge éliminée, Abatt. : abattement, U. log : unités logarithmiques

Méthodes empiriques

Les charges testées dans les expériences de l'EIER à Ouagadougou et de l'Université de Niamey sont très variables (entre 44 et 1500 kg DBO₅/ha/j). Selon les recommandations de MCGARRY and PESCOD, la charge organique à appliquer sur un bassin facultatif en milieu tropical se calcul par la relation suivante : $\lambda = 20T-60$ avec λ et T représentant respectivement la charge organique en kg DBO₅/ha/j et la température moyenne en degré Celcius du mois le plus froid. Les données rapportées dans la littérature (MACGARRY et PESCOD, 1970; ARCEIVALA, 1981) prévoient dans ces conditions un rendement compris entre 70 et 90 % pour des charges organiques pouvant atteindre 800 kg DBO₅/ha/j.

En appliquant ce modèle aux cas de Ouagadougou et de Niamey pour des températures comprises entre 20 et 25 °C, on obtient des charges admissibles dans les bassins de 340 à 440 kg DBO₅/ha/j. Seuls 4 essais (2 à Niamey et 2 à Ouagadougou) sur les 18 présentés dans le tableau se situent dans cette fourchette. Les rendements d'élimination de la DBO₅ pour ces 4 essais sont compris entre 38 et 57 % pour un temps de séjour hydraulique moyen de 5 jours. Même si le temps de séjour hydraulique est conforme aux recommandations de ces auteurs, les rendements escomptés sont bien loin de ceux observés.

Le tableau 2 montre que sur l'ensemble des essais les rendements des bassins facultatifs dans l'abattement de la DBO₅ sont comprises entre 40 % et 65 %. Les graphiques de la figure 1 montrent qu'il existe une très bonne corrélation entre les charges surfaciques appliquées (λ_{app}) et les charges éliminées (λ_{elm}). Les coefficients de corrélation obtenus sont de 0.944 en considérant l'ensemble des 18 essais rapportés dans le tableau 2 et de 0.997 en considérant les essais réalisés avec des charges hydrauliques comprises entre 50 et 125 mm (soit 8 essais). Les équations respectives obtenues s'écrivent :

$$\lambda_{elm} = 0.43\lambda_{app} \text{ (tous les essais) et} \quad (1)$$

$$\lambda_{elm} = 0.58\lambda_{app} \text{ (pour les charges hydrauliques inférieures à 125mm/j).} \quad (2)$$

λ_{app} et λ_{elm} représentent respectivement les charges surfaciques appliquées et éliminées en kg DBO₅/ha/j

Comme le montre les graphiques de la figure 1, les coefficients angulaires de ces équations sont bien inférieurs à celles proposées dans d'autres contextes climatiques tropicaux (température). En effet, en examinant les performances épuratoires de 143 bassins facultatifs opérant en régions tropicales et tempérées, MACGARRY et PESCOD (1970) ont établi la relation suivante :

$$\lambda_{elm} = 0.725\lambda_{appl} + 9.23 \quad (3)$$

avec un coefficient de corrélation $r^2 = 0.995$ et un intervalle de confiance à 95 % de ± 32.8 kg DBO₅/ha/j.

Selon leurs prévisions, les rendements épuratoires des bassins dont les charges organiques superficielles sont comprises entre 34 et 560 kg DBO₅/ha/j devraient être supérieurs à 73 %. MARA et SILVA (1979) trouvaient également pour le Brésil une relation similaire

$$\lambda_{elm} = 0.79\lambda_{appl} + 2 \quad (4)$$

pour des charges surfaciques et hydrauliques sur les bassins respectivement comprises entre 200 et 400 kg DBO₅/ha/j et entre 67 et 133 mm/j. L'écart de rendement entre le modèle de MACGARRY et PESCOD (1970) et celui obtenu avec les bassins de l'EIER et de Niamey est de 38 %. En considérant les rendements obtenus pour les mêmes plages de charges hydrauliques, c'est-à-dire entre 50 et 160 mm/j, cet écart est réduit à 30 %.

Ces données montrent donc que le modèle de MACGARRY et PESCOD (1970) couramment utilisé pour le dimensionnement des stations d'épuration surestime les performances épuratoires des bassins facultatifs au Burkina Faso et au Niger. Peut-on parler de mauvais dimensionnement ou de mauvaise conception ?

Discussion

Lorsque la charge hydraulique est comprise entre 50 et 160 mm/j, les rendements observés sont compris entre 52 et 65 %. Ce qui suppose donc que la charge hydraulique pourrait avoir une influence sur l'abattement de la DBO₅ dans les bassins facultatifs. Ceci est montré dans le graphique qui reporte les rendements observés en fonction des charges hydrauliques où on peut voir deux nuages de points de part et d'autres de la ligne de rendement de 45 %. Cette séparation est matérialisée sur le graphique à partir de la charge hydraulique de 200 mm/j. Indépendant donc de la configuration des bassins, des temps de séjours et des charges organiques appliquées sur les bassins, ces graphiques montrent que la charge hydraulique peut être un des paramètres déterminant pour le dimensionnement des bassins facultatifs sous climat sahélien.

Pour un bassin donné, lorsque la charge organique et le temps de séjour théorique sont conformes aux dimensionnement, les insuffisances de rendement peuvent s'expliquer par un mauvais profil hydrodynamique des bassins, c'est-à-dire des fuites par infiltration dans les parois du bassin ou des courts-circuits hydrauliques responsables de la réduction des temps de séjours ou par une inhibition des bactéries responsables de l'épuration. Nous écartons d'office cette dernière hypothèse étant donnée que les deux sites d'expérimentation sont alimentés avec des affluents de résidence d'étudiants. Le mauvais design hydraulique ne peut être pris en compte dans le cadre de cette analyse car il n'y avait pas de fuites constatées dans les bassins étudiés. En effet, Les traçages au lithium effectué sur les bassins de l'EIER (GUÈNE, 1989, RODUIT, 1993, KLUTSÉ, 1995, cette étude) ont permis d'estimer pour chaque essai, le temps de séjour hydraulique réel rapporté dans le tableau 2. Le bassin de la station de Niamey-1 construit en béton (LAOUALI et al., 1996) et muni de gouttières de répartition et collecte à l'entrée et à la sortie du bassin ne se prêtait pas non plus à des insuffisances hydrodynamiques importants. Il en est de même pour la station de Niamey-2 imperméabilisée avec une géomembrane (LAOUALI et IDDER, 2000).

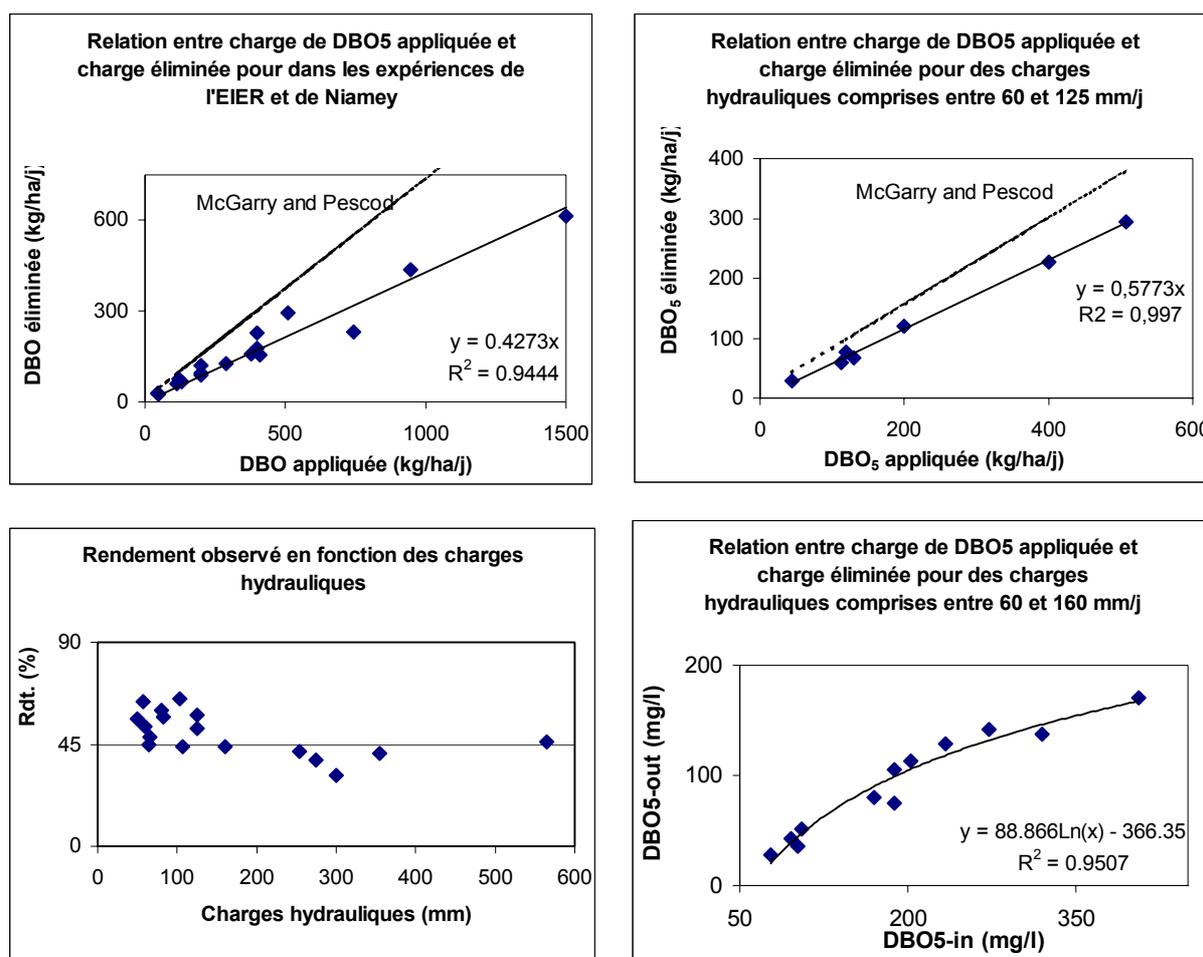


Figure 1 : Performances épuratoires des bassins de lagunage sous climat sahélien : influence de la charge hydraulique sur les rendements.

En comparant les résultats de principaux centre de recherche, il ressort que pour des charges organiques similaires définies ci-dessus et le même temps de séjour, les bassins de Niamey avec une charge hydraulique nettement inférieure (80 mm/j contre 254 et 274 mm/j pour les bassins de l'EIER) donnent de meilleurs résultats.

Abattement des bactéries

Il est démontré sous climat tempéré que l'abattement des coliformes fécaux dans les bassins de lagunage suit un cycle saisonnier avec des maxima en été des minima en hiver (MEZRIOUI, 1987, BAHLAOU, 1990). Les principaux facteurs identifiés par ces auteurs comme ayant une influence directe sur l'abattement de ces bactéries sont : le rayonnement solaire, le pH et la température de l'eau du bassin. D'autres facteurs tels que la charge en DBO₅, les concentrations en oxygène dissous semblent avoir respectivement des effets positifs et négatifs sur la survie des coliformes fécaux bassins les bassins de lagunage (BAHLAOU, 1990).

L'intensité et la durée du rayonnement solaire sont des facteurs qui plaident en faveur du bon fonctionnement des bassins de lagunage en Afrique sub-saharienne. Elle favorise une intense activité photosynthèse algale qui peut contribuer à maintenir le pH à des valeurs supérieures à 8. Les abattements observés dans les stations expérimentales en Afrique de l'Ouest montrent des abattements de 4 à 7 unités logarithmiques pour des filières de traitement combinant 2 ou 3 bassins de lagunage en série et ayant des temps de séjours supérieurs à 20 jours (GUÈNE, 1989; NIANG *et al.*, 1996; LAOUALI et IDDER, 2000). Ces résultats obtenus sur sites expérimentaux sont très encourageants car la réduction des risques sanitaires doit être le principal objectif de l'épuration des eaux dans cette région pour une meilleure promotion de la réutilisation des eaux traitées. Le faible abattement de 2 unités logarithmiques observé par KLUTSÉ (1995) à l'EIER qui a travaillé sur la même filière (comprenant 2 bassins en série) que GUÈNE (1989) montre que pour les mêmes temps de séjours et des charges hydrauliques similaires, l'augmentation de la charge organique influence négativement l'abattement des coliformes fécaux.

Lagunage à macrophytes en Afrique de l'Ouest

Il existe encore très peu d'études sur les performances intrinsèques des bassins à macrophytes en Afrique. Jusqu'à ce jour, seule la laitue d'eau a été testée à moyenne échelle sur des bassins d'épurations en Afrique de l'Ouest et du Centre. Mais l'utilisation de plantes aquatiques reste encore un tabou pour la plupart des responsables de projets car ce procédé est souvent associé aux risques de développement de moustiques vecteurs de paludisme et de prolifération incontrôlée des plantes flottantes considérées comme végétaux aquatiques envahissants et contre lesquelles de grands programmes de lutttes biologiques sont engagés dans certains pays. Ces préjugés ont longtemps contribué à freiner le développement de la recherche sur le lagunage à macrophytes en Afrique. Des études récentes montrent que les plantes utilisées dans l'épuration des eaux en Afrique de l'Ouest ont d'énormes potentialités de valorisation dans les contextes locaux. Les formes de valorisation déjà testées sont : la fabrication de compost pour l'agriculture, l'alimentation des volailles, la fabrication nattes et de panneaux agglomérés (MOREL, 1996; NIANG *et al.*, 1996; KENGNE *et al.*, 2000; LAOUALI et IDDER, 2000.).

Sur la base des études menées dans les zones de riziculture irriguée en Afrique occidentale, nous pouvons dire que l'idée selon laquelle le développement de station d'épuration à macrophytes pourraient engendrer une augmentation des risques d'infections de paludisme n'est pas vérifiée et reste controversée. En effet, même s'il est bien prouvé que les zones de rizicultures irriguées sont favorables au développement des anophèles vecteurs de paludisme, leur impact épidémiologique n'est pas encore clairement identifié.

Des études menées en Afrique occidentale (zone de paludisme stable) dans des zones de riziculture irriguées montrent que les anophèles ne semblent pas influencer la transmission, ni l'incidence palustre dans le Nord du Cameroun, dans la vallée du fleuve Niger au Mali, dans la vallée du fleuve Sénégal, dans la vallée du Kou au Burkina Faso, dans la vallée du fleuve Gambie et dans les bas-fonds du Nord de la Côte d'Ivoire (AUDIBERT *et al.*, 1990 ; LINDSAY *et al.*, 1991 ; BOUDIN *et al.*, 1992 ; FAYE *et al.*, 1993 et 1995 ; DOLO *et al.*, 2000 ; HENRY M-C *et al.*, 2000 ; SISSOKO *et al.*, 2000). Les études menées dans ces zones montrent que les densités d'anophèles dans les champs irrigués ne sont pas toujours supérieures à celles des zones non irriguées. Henry M-C. *et al.* (2000) montrent qu'en zone de savane en Côte d'Ivoire les risques d'incidences palustres ne sont pas liés à la présence de bas-fonds irrigués mais à des facteurs socio-économiques et culturels.

Sur une station d'épuration par lagunage à laitue d'eau de 1000 m² comprenant de huit (8) bassins en séries à Yaoundé (Cameroun) KENGNE *et al.* (2000) ont montré sur une année de suivi que les moustiques vecteurs de paludisme (l'anophèle) ne se développent pas dans les bassins couverts de laitue d'eau. Il est reconnu que l'anophèle ne se développe surtout dans des eaux claires, de bonne qualité comme celles utilisées dans les rizicultures. 97 % des moustiques rencontrés sur cette station appartiennent au genre *Mansonia* (55 %) et *Culex* (42 %).

Dans des essais préliminaires menés sur station expérimentales à l'Université de Niamey, Laouali et Idder (2000) montrent qu'il est possible d'empêcher le développement des moustiques dans les bassins en plantant sur les berges de ceux-ci des plantes anti-moustiques (*Hyptis Snavéolus*, *Occimum gratissimum*, *Cymbopogon citratus*) qui ont des propriétés naturelles pour repousser les moustiques. Si elle est concluante, cette étude en cours pourrait constituer une approche de solution écologique dans la lutte contre le développement des moustiques dans les stations d'épuration.

On peut donc retenir de ces études que l'estimation du risque d'incidence palustre dû au développement des anophèles dans les bassins d'épuration en Afrique sub-saharienne a été surdimensionné par des considérations non objectives. Les études initiées au Cameroun et au Niger (KENGNE *et al.*, 2000; LAOUALI et IDDER, 2000) méritent d'être approfondies et étendues aux autres développements parasitaires associés à la présence de bassins d'épuration.

Expérimentation des bassins à laitue d'eau dans le Sahel

Les données présentées dans la littérature se rapportent le plus souvent aux performances globales d'une filière d'épuration dans laquelle les bassins plantés sont en série avec des bassins facultatifs. Le tableau ci-dessous présente les résultats de quelques essais effectués au Burkina Faso, au Niger et au Sénégal.

On peut donc lire dans ce tableau que lorsqu'ils sont combinés à des bassins facultatifs, les rendements des filières d'épurations ainsi constitués sont supérieurs à 70 % pour la DCO, les MES et la DBO₅, (LAOUALI *et al.*, 1996; NIANG *et al.*, 1996 et KONE *et al.* 2000) pour des temps de séjours supérieurs à 18 jours. Ces résultats

préliminaires sont très encourageants eu égard la variabilité des charges organiques et des charges hydrauliques dans ces trois essais recensés.

Dans une précédente étude (KONE *et al.* 2000) nous avons observé que les bassins à laitue pouvaient être recommandés pour le traitement d'effluents à forte charge s'il existe une réutilisation des traitées en irrigation. Dans ce cas précis (forte charge organique), l'azote contenu dans l'influent est peu éliminé et conservé sous sa forme à ammoniacal qui est la forme préférentielle d'azote pour les végétaux. Le traitement dans un tel cas peut être affiné par filtration sur lit de gravier.

Tableau 3: Caractéristiques des quelques stations d'épuration par laitue d'eau dans le Sahel

Paramètres	NIANG <i>et al.</i> , 1996 Dakar - Sénégal	LAOUALI <i>et al.</i> , 1996 Niamey - Niger	KONÉ <i>et al.</i> , 2000 Ouagadougou – Burkina Faso	Laouali et Idder, 2000 Niamey - Niger
Configuration	BF + 2 bassins de Pistia	BF + 1 bassin Pistia	BF + 2 bassins de Pistia	BF + 1 bassin de jacinthe
Objectifs	Traitement complet	Traitement complet	Traitement secondaire	Traitement secondaire
surface	1 m ² /bassin	24 m ² + 10 m ²	24 m ² /bassin	18 m ² /bassin
Temps de séjour (jours)	26 (14+6+6)	27 (20+7)	18 (6+6+6)	10 (5 + 5)
Charge hydraulique sur bassin de tête(mm/j)	64	83	125	83
Charge sur BF bassin en kg/ha/j et [rendement]				
DCO	374 [82]*	- [83]	660 [73]	400 [73]
DBO	--	160 [70]	508 [91]	319 [75]
MES	297 [93]	- [90]	173 [68]	143 [72]
TKN	294 [70]	31 -	74 [30]	29 [66]
PT	22 [30]	9 -	9 [28]	

*374 [82] = Charge organique de 374 kg DCO/ha/j et rendement de 82 % sur la filière;
BF = bassin facultatif

Conclusion et perspectives

Une des clés de 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 de station d'épuration. La prise en compte du contexte local dans la conception de station d'épuration s'inspire de la vie sociale des premiers bénéficiaires des installations ou des possibilités de développer une activité rémunératrice liée au fonctionnement de l'installation. Cette démarche est parfois guidée par les pratiques courantes. On notera par exemple qu'au Burkina Faso, l'importance de l'activité maraîchère autour de points d'eaux pollués doit interpellier le technicien sur les possibilités évidentes de valorisation d'effluents de station d'épuration ou sur l'amélioration de cette pratique. L'approche doit être guidée par les besoins du milieu qui peuvent varier d'un pays à un autre et même au sein d'une même ville. L'approche par station d'épuration décentralisée peut dans ce cas être une autre alternative.

Les résultats d'expériences menées sur les stations de recherche depuis ces dix dernières années montrent que les solutions techniques existent et peuvent être mises en œuvre (NIANG *et al.*, 1996; KENGNE *et al.*, 2000; KONÉ, 2000; KONÉ *et al.*, 2000; LAOUALI et IDDER, 2000). Seulement les pesanteurs socio-techniques qui accompagnent les projets d'épuration par lagunage en Afrique n'ont pas encore permis un changement de mentalité en faveur du développement de cette technique. Le professeur MAYSTRE (2000) dira à ce propos que "ce n'est pas le problème de l'assainissement qui est en soi un problème. Le problème, c'est la manière de faire face au problème".

Références

- ARCEIVALA S. J., 1981, *Wastewater treatment and disposal, Engineering and pollution Ecology in Pollution Control*. New York; Basel : Dekker, 892 p.
- AUDIBERT M., JOSSERAN R., JOSSE R., ADJIDJI A., 1990, Irrigation, schistosomiasis, and malaria in the logone valley, Cameroun. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* (1990) 42, pp. 550-560
- BAHLAOUI M., 1990, Lagunage à haut-rendement expérimental: *Dynamique de différents groupes bactériens et performances épuratrices sanitaires*. Thèse de doctorat, Université de Montpellier, Montpellier. 164 p.
- BOUDIN C., ROBERT V., CARNEVALE P., AMBROISE T. P., 1992, Epidemiology of *plasmodium falciparum* in rice field and savana area in Burkina Faso. Comparative study on the acquired immuno protection in the native populations. *Act. Trop.* (1992) 51, pp 103-111

- CHARBONNEL, Y., 1989, *Manuel de lagunage à macrophytes en régions tropicales*. ACCT., Paris, 37 p.
- CISSE G., 1997, *Impact sanitaire de l'utilisation d'eaux polluées en agriculture urbaine. Cas du maraîchage à Ouagadougou (Burkina Faso)*, thèse de doctorat, EPFL, Lausanne, 267 p.
- COMITÉ AFRICAÏN D'ÉTUDES HYDRAULIQUES (CIEH), 1993, *Etude comparative des systèmes d'épuration collectifs dans le contexte africain*. Ouagadougou : CIEH, 1993 ; 66 p.
- DARRIULAT C., 1991, *Bassins de stabilisation en climat sahélien : comportement physico-chimique et description de la biomasse pour une charge donnée*. Travail pratique de diplôme, EPFL, Lausanne.
- DOLO G., BRIET O.J. T., DAO A. TRAORE S F., BOUARE M., SOGOBA N., NIARE O., BAGAYOGO M., SANGARE D., DOUMBO O. K., TOURE Y. T., 2000, The relationships between rice cultivation and malaria transmission in the irrigated sahel of mali, west africa. In *Health and Nutritional impacts of water development projects in Africa*. International conference "Water & Health – Ouaga 2000"; Vol 1. Session 1A, pp 26-32
- ECKENFELDER W. W., 1982, Wastewater treatment by lagooning in temperate climates. In *Wastewater treatment for small communities*, 35th International conference CEBEDEAU, liège, 24-26 may 1982.
- FAYE O., GAYE O., HERVE J-P, DIACK P. A., DIALLO S., 1993, Malaria in de sahelian zone of Senegal. 2 parasitic indices. *Ann. Soc. Belge Méd. Trop.* (1993) 73, pp 31-36,
- FAYE O., FONTENILLE D., GAYE O., SY N., MOLEZ J-F., KONATE L., HEBRARD G., HERVE J-P., TROUILLET J., DIALLO S., MOUCHET J., 1995, Malaria and rice growing in the senegal river delta (Senegal). *Ann. Soc. Belge Méd. Trop.* (1995) 75, pp 179-189
- FINNEY B. A. & MIDDLEBROOKS E. J., 1980, Facultative waste stabilization pond design. *J. Wat. Poll. Contr. Fed.*, vol. 52 (1) pp. 134-147
- GUÈNE O., 1989, *Contribution à l'étude du fonctionnement et de la modélisation de l'épuration de la pollution carbonée et microbienne des lagunes naturelles sous climat sahélien. Cas de la station pilote de l'EIER*. rapport de recherche, EPFL, Lausanne, 65p.
- HENRY M-C., ROGIER C., NZEYIMANA I., DOSSOU-YOVO J., AUDIBERT M., MATHONNAT J., KEUNDJAN A., TEUSCHER T., CARNEVALE P., 2000, Morbidité palustre en zone rizicole de savane au nord de la Côte d'Ivoire. In *Impacts sanitaire et nutritionnelles hydr-aménagements en Afrique*. Colloque International "Eau/Santé-Ouaga 2000" Vol 1. Session 1A, pp 41-47
- KENGNE I. M., AGENDIA P. L., AMOUGOU A., BRISSAUD F., JIAGHO E. R., NDIKEFOR E. A., TEMGBET Z., MENYENGUE P., NGNIADO P., AYISSI I., FONKOU T., MEFENYAR R., 2000, Epuration des eaux usées domestiques par lagunage à macrophytes et développement des moustiques : un dilemme. In *Impacts sanitaire et nutritionnelles hydro-aménagements en Afrique*. Colloque International "Eau/Santé-Ouaga 2000" Vol 1. Session 2, pp 24-31
- KLUTSE A., 1995, *Epuration des eaux usées domestiques par lagunage en zone soudano-sahélienne (Ouagadougou, Burkina Faso)*. Thèse de Doctorat, Université Montpellier II.
- KONE D., 1998, Problématique de l'épuration des eaux usées dans le contexte de l'Afrique de l'Ouest, *Info-CREPA*, n°20, avril-juin 1998
- KONE D., CISSE G., SEIGNEZ C., HOLLIGER C., 2000, Le lagunage à laitue d'eau (*Pistia stratiotes*) à ouagadougou, une alternative pour l'épuration des eaux usées destinées à l'irrigation. In *Impacts sanitaire et nutritionnelles hydro-aménagements en Afrique*. Colloque International "Eau/Santé-Ouaga 2000" Vol 1. Session 2, pp 32-40
- LAOUALI G., DELISLE C. E., VINCENT G., COUILLARD D. et LAOUALI S., 1996, Etude expérimentale de traitement des eaux usées par des lagunes facultatives et à hydrophytes libres au Niger. *Wat. Qual. Res. J.*, Canada, vol. 31 (1), pp. 37-50
- LAOUALI M.S. et IDDER T., 2000, Projet pilote Niger VII : Epuration des eaux usées de Niamey. In : *Assainissement urbain en Afrique*, Actes du séminaire international de Gorée. Aquadev, Dakar, pp 57-63.
- LINDSAY S. W., WILKINS H. A., ZIELER H. A., DALY R. J., PETRARCA V. and BYASS P., 1991, Ability of *Anopheles gambiae* mosquitoes to transmit malaria during dry and wet seasons in an area of irrigated rice cultivation in the Gambia. *J. Trop. Med Hyg.* 94 : pp. 313-324
- MARA D., 1975, Proposed design for oxidation ponds in hot climates. *Journal of the Environmental Division, Proceeding of the ASCE*, vol. 101 (EE2), pp.296-300
- MARA D., 1997, *Design manual for waste stabilization ponds in India*. Lagoon International Technology Ltd., Leeds; 125 p.
- MARA D. and PEARSON H. W., 1998, *Design Manual for Waste stabilization ponds in mediterranean countries*. Lagoon International Technology Ltd., Leeds; 112 p.
- MARA D. and SILVA S. A., 1979, Sewage treatment in the waste stabilization ponds : Recent research in the Northeast Brazil. *Prog. Wat. Tech.*, Vol. 11, n°1/2, pp. 341-344
- MARAS G. V. 1966, New factors in the design, operation and performance of the waste stabilization ponds. *Bulletin of WHO*, vol. 34 pp. 737-763.
- MARAS G. V. 1974, Fecal bacterial kinetics in stabilization ponds. *J. San. Engng. Proc. Am. Soc. Civil Engrs.* 100 : 119-139.

- MAYSTRE L-Y, 2000, L'assainissement urbain en Afrique : enjeux et attentes. In : *Assainissement urbain en Afrique*, Actes du séminaire international de Gorée. Aquadev, Dakar, pp 17-22
- MCGARRY M. G., and PESCOD M. B., 1970, Stabilization pond design criteria for tropical Asia. In : *proc. 2nd Int. Symp. Waste Treat. Lagoons* (ed: Mckinney R. E.), Lawrence : University of Kansas. pp. 114-132
- MENGUELE J-C., 1990, *Contribution à l'analyse critique du dimensionnement de la station de traitement des eaux usées de l'EIER. Analyse des performances de la filière bassin facultatif - bassin de maturation*. Rapport de recherche, EIER/GS, Ouagadougou.
- MEZRIOUI N-E., 1987, *Etude expérimentale des effets du pH, du rayonnement et de la température sur le disparition des bactéries d'intérêt sanitaire et évaluation de la résistance aux antibiotiques d'E.Coli lors de l'épuration des eaux usées*. Thèse de doctorat, Université de Montpellier, Montpellier. 150 p.
- MIDDLEBROOKS E. J., REYNOLDS J. H. & WATTERS G. Z., 1982, *Waste stabilization lagoon design, performance and upgrading*. Ed. Macmillan, New York, London
- MOREL M., 1996, *L'utilité des végétaux aquatiques pour le traitement des eaux usées sous climat tropical*. Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries alimentaires, France. 139 p.
- NIANG S., DIOP B. S., MBÉGUÉRÉ Mb. and RADOUX M., 1996, Urban wastewater purification by natural purification systems in sahel countries : The experimental plant of Cambérène (Dakar – Sénégal). *Vecteur Environnement*, vol. (29 (5)), pp. 31-36
- RODUIT J., 1993, *Bassins de stabilisation en climat sahélien : contribution à l'étude de la modélisation de l'épuration de la pollution carbonée et suivi des paramètres physico-chimiques pour une charge fixée. Cas de la station pilote de l'EIER.*, Travail de diplôme EPFL, Lausanne
- SISSOKO M. S., BRIËT O. J. T., SISSOKO M., et al, 2000, The impact of irrigated rice cultivation on the incidence of malaria in children in the region of Niono. In *Health and Nutritional impacts of water development projects in Africa*. International conference "Water & Health – Ouaga 2000"; Vol 1. Session 1A, pp 64-74
- VINCENT L. G., ALGIE W. E. and MARAIS G. v. R., 1963, A system of sanitation for low-cost high density housing. In : *CSA symposium on hygiene and sanitation in relation to housing : publication n° 84* p.135. London : Commission for Technical Co-operation in Africa South of Sahara.
- WYSS A., 1988, *Contribution à l'étude de la modélisation des rendements d'épuration en pollution carbonée dans les bassins facultatifs et de maturation sous climat tropical et sahélien*. Travail pratique de diplôme, EPFL/IGE, Lausanne