

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 N° 2653 (2002)

PRÉSENTÉE À LA FACULTÉ ENVIRONNEMENT NATUREL, ARCHITECTURAL ET CONSTRUIT

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

POUR L'OBTENTION DU GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES TECHNIQUES
DANS LE DOMAINE DES SCIENCES ET INGÉNIERIE DE L'ENVIRONNEMENT

PAR

Doulaye KONE

DEA en sciences de l'environnement, Fondation Universitaire Luxembourgeoise, Arlon, Belgique
et de nationalité ivoirienne

acceptée sur proposition du jury:

Prof. Ch. Holliger, directeur de thèse
Mme A. Montangero, rapporteur
Mme C. Seignez, rapporteur
Prof. J. Tarradellas, rapporteur
Prof. J.-L. Vassel, rapporteur

Lausanne, EPFL
2002



Table des matières

Chapitre 1	INTRODUCTION	1
1.1.	<i>Contexte de l'assainissement des eaux usées en Afrique de l'Ouest</i>	2
1.1.1.	Evacuation des eaux usées et des excréta	2
1.1.2.	Agriculture urbaine autour des points d'eaux usées, impacts sanitaires	4
1.1.3.	Technologie d'épuration d'eaux usées	7
1.2.	<i>Objectifs</i>	9
1.2.1.	Objectifs spécifiques	9
1.2.1.1.	Etat des lieux du lagunage en Afrique de l'Ouest et du Centre	9
1.2.1.2.	Etude expérimentale du lagunage à microphytes et du lagunage à laitues d'eau	9
1.2.1.3.	Dimensionnement d'une filière d'épuration pour la réutilisation des eaux usées	10
1.2.2.	Approche méthodologique	10
1.3.	<i>Références</i>	11
Chapitre 2.	ETAT DES LIEUX DU LAGUNAGE EN AFRIQUE DE L'OUEST ET DU CENTRE	13
2.1.	<i>Introduction</i>	14
2.1.1.	Historique	14
2.1.2.	Place du lagunage dans l'assainissement collectif	16
2.2.	<i>Synthèse des résultats d'expérimentation des bassins facultatifs</i>	18
2.2.1.	Typologie des effluents traités et équivalent-habitant	18
2.2.2.	Performances épuratoires et modèles empiriques de dimensionnement	18
2.2.2.1.	Charges organiques admissibles	19
2.2.2.2.	Performances épuratoires	22
2.2.3.	Modèles cinétiques de dimensionnement	25
2.2.3.1.	<i>Premiers essais de modélisation</i>	25
2.2.3.2.	<i>Constante cinétique</i>	26
2.2.4.	Abattement des bactéries	28
2.2.5.	Elimination des parasites	28
2.2.6.	Dynamique du zooplancton et du phytoplancton	29
2.3.	<i>Etat des lieux du Lagunage à macrophytes en Afrique de l'Ouest et du Centre</i>	30
2.3.1.	Risques liés à la prolifération de moustiques	30
2.3.2.	Le procédé Charbonnel	31
2.3.2.1.	Décantation-digestion	31
2.3.2.2.	Le lagunage à macrophytes	32
2.3.2.3.	Gestion et exploitation	32
2.3.3.	Analyse des règles de dimensionnement	32
2.3.4.	Expérimentation des bassins à laitues d'eau dans le Sahel	32
2.4.	<i>Synthèse : le lagunage entre échec et espoir</i>	34
2.4.1.	Causes de l'échec	34
2.4.2.	Raisons de l'espoir	35
2.5.	<i>Références</i>	37

Chapitre 3. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL	43
3.1. <i>Présentation de la station d'épuration de l'EIER</i>	44
3.1.1. Décanteur primaire	44
3.1.2. Filières de lagunage à microphytes	44
3.1.3. Filières de lagunage à laitues d'eau (<i>Pistia stratiotes</i>)	45
3.1.3.1. Aménagements hydrauliques	47
3.2. <i>Généralités sur Pistia stratiotes (L.)</i>	49
3.2.1. Classification botanique	49
3.2.2. Description	49
3.2.3. Reproduction et propagation	49
3.2.4. Usages domestiques et thérapeutiques	50
3.3. <i>Références</i>	51
Chapitre 4. HYDRODYNAMIQUE ET MODÈLE D'ÉCOULEMENT	53
4.1. <i>Introduction</i>	54
4.2. <i>Evapotranspiration en présence de Pistia stratiotes</i>	54
4.2.1. Contexte hydrologique	55
4.2.2. Méthodes	56
4.2.3. Résultats et discussions	56
4.3. <i>Régime d'écoulement avec et sans cloisons amovibles</i>	58
4.3.1. Modèle de dispersion	58
4.3.2. Méthodes	60
4.3.2.1. Détermination des temps de séjour par traçage au lithium	60
4.3.2.2. Détermination du temps de séjour réel	61
4.3.3. Résultats et discussions	63
4.3.3.1. Détermination expérimentale de l'indice de dispersion et du régime d'écoulement	63
4.4. <i>Conclusions</i>	66
4.5. <i>Références</i>	67
Chapitre 5. MÉCANISMES ÉPURATOIRES DANS LE LAGUNAGE À MACROPHYTES FLOTTANTS: REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	69
5.1. <i>Introduction</i>	70
5.2. <i>Élimination de la matière carbonée (MES, DBO, DCO)</i>	71
5.2.1. Principes	71
5.2.2. Oxygénation par les plantes	72
5.2.3. L'influence des MES	73
5.2.4. La formation de débris	74
5.3. <i>Élimination de l'azote et du Phosphore</i>	74
5.3.1. Azote	74
5.3.1.1. Principes	74
5.3.1.2. Rôle des plantes flottantes dans l'élimination de l'azote	74
5.3.2. Phosphore	75
5.4. <i>Mécanismes épuratoires et paramètres environnementaux</i>	76
5.5. <i>Références</i>	77

Chapitre 6. PARAMÈTRES ENVIRONNEMENTAUX ET MÉCANISMES ÉPURATOIRES DANS UN BASSIN À LAITUES D'EAU (<i>PISTIA STRATIOTES</i>).	81
6.1. <i>objectifs</i>	82
6.2. <i>Méthodes</i>	82
6.2.1. Evolution des paramètres environnementaux en fonction de la charge organique (expérience 1)	84
6.2.2. Influence de la charge organique et azotée sur l'évolution de l'oxygène dissous (expérience 2)	84
6.3. <i>Résultats et discussion</i>	85
6.3.1. Evolution de la température, du pH et du potentiel redox	85
6.3.1.1. Evolution de la température	85
6.3.1.2. Evolution du pH	86
6.3.1.3. Le potentiel redox	88
6.3.2. Elimination de la charge carbonée	89
6.3.2.1. Evolution de l'oxygène dissous en fonction de la charge organique	89
6.3.2.2. Evolution de la DCO et des MES.	89
6.3.2.3. Rôle de <i>Pistia stratiotes</i> dans l'élimination de la pollution carbonée	91
6.3.3. Elimination de l'azote	92
6.3.3.1. Influence de la charge azotée et organique sur l'élimination de l'ammonium	92
6.3.3.2. Influence de l'azote et du carbone sur la nitrification	92
6.3.3.3. Nitrification/dénitrification et assimilation de l'azote par les plantes	94
6.3.4. Elimination du phosphore dans un bassin à laitues d'eau	96
6.4. <i>Synthèse</i>	98
6.5. <i>Références</i>	99
Chapitre 7. ELIMINATION DE LA POLLUTION CARBONÉE : PARAMÈTRES DE DIMENSIONNEMENT	103
7.1. <i>Introduction</i>	104
7.2. <i>Méthodes</i>	106
7.2.1. Le dispositif	106
7.2.2. Protocoles d'expérimentation	106
7.2.2.1. Stratégie d'échantillonnage	107
7.2.2.2. Méthodes d'analyse	109
7.3. <i>Résultats et discussion</i>	109
7.3.1. Rendement épuratoire	109
7.3.2. Paramètres empiriques de dimensionnement	111
7.3.2.2. Influence des conditions du milieu (E_h , O_2) sur l'abattement de la pollution carbonée	111
7.3.2.3. Relations entre les charges appliquées et éliminées et entre les concentrations de l'influent et de l'effluent.	112
7.3.3. Constante cinétique de dégradation de la DBO_5 et de la DCO	114
7.3.3.1. Charge maximale admissible	117
7.4. <i>Paramètres de dimensionnement</i>	118
7.4.1. Profondeur des bassins	118
7.4.2. Temps de séjour, charges admissibles.	119
7.5. <i>Références</i>	120

Chapitre 8. EVOLUTION DE L'AZOTE DANS LES BASSINS À LAITUES D'EAU	123
8.1. <i>Introduction</i>	124
8.2. <i>Méthodes</i>	125
8.2.1. Récoltes des plantes	125
8.3. <i>Résultats</i>	125
8.3.1. Les différentes fractions d'azote dans l'influent et l'effluent des bassins à laitues d'eau	125
8.3.2. Productivité de biomasse	126
8.3.3. Exportation de l'azote par la laitue d'eau	127
8.3.4. Evolution de l'ammonium	128
8.3.4.1. Corrélation charges appliquées/charges éliminées	129
8.3.4.2. Constante cinétique	131
8.3.5. Evolution des nitrates	131
8.3.6. Bilan sur l'azote	132
8.3.7. Explications possibles de la nitrification incomplète de l'azote	133
8.3.7.1. Conditions de nitrification	133
8.3.7.2. Influence du potentiel redox et de l'oxygène dissous	134
8.3.7.3. Influence de la profondeur des bassins	135
8.3.7.4. Mode de gestion des plantes	135
8.4. <i>Conclusions</i>	135
8.5. <i>Références</i>	137
Chapitre 9. COMPARAISON DES PERFORMANCES ÉPURATOIRES DU LAGUNAGE À MICROPHYTES ET DU LAGUNAGE À LAITUES D'EAU	141
9.1. <i>Introduction</i>	142
9.2. <i>Méthodes</i>	144
9.3. <i>Résultats et discussion</i>	144
9.3.1. Elimination comparée de la pollution carbonée	144
9.3.1.1. Rendements épuratoires en épuration secondaire d'un bassin sans plantes (E) et d'un bassin à laitues d'eau	144
9.3.1.2. Constante cinétique de dégradation de la DBO ₅ et de la DCO	146
9.3.2. Elimination de l'azote	149
9.3.2.1. Comparaison de l'élimination de l'azote en épuration secondaire	149
9.3.2.2. Comparaison de l'élimination de l'azote en épuration tertiaire	149
9.3.3. Influence de la configuration des bassins sur l'abattement des coliformes fécaux	152
9.3.3.1. Comparaison bassins de maturation – bassins à laitue d'eau en épuration tertiaire	153
9.4. <i>Conclusions</i>	156
9.5. <i>Références</i>	157

Chapitre 10. SYNTHÈSE : DIMENSIONNEMENT DU LAGUNAGE À LAITUES D'EAU POUR L'IRRIGATION EN AGRICULTURE URBAINE ET PERSPECTIVES	161
10.1. Etat des lieux	162
10.2. Utilité de la laitue d'eau dans l'épuration d'eaux usées	162
10.3. Critères de dimensionnement	163
10.3.1. Priorisation des objectifs épuratoires	163
10.3.2. Traitement primaire	164
10.3.3. Traitement secondaire	164
10.3.4. Traitement tertiaire	167
10.4. Conclusions et Recommandations	167
10.5. Références	169