

CS. 06495



Université de Liège
Faculté des Sciences
Département des Sciences et Gestion de l'Environnement

THESE

Présentée à l'Université de Liège

Pour obtenir le Grade de :

DOCTEUR EN SCIENCES

Option Sciences et Gestion de l'Environnement

Par

Joseph WETHE

Ingénieur du génie urbain – DEPA en Gestion de l'Environnement

**Les Mosaïques Hiérarchisées d'Ecosystèmes Artificiels
- MHEA® et l'épuration des eaux usées urbaines au
Cameroun :**
Conditions d'application et étude du cas de la ville de Yaoundé

MEMBRES DU JURY

Amadou Hama MAIGA

Groupe EIER-ETHSER de Ouagadougou

Abdelislam ENNABILI

Université de FES – Tétouan

Emile TANAWA

Université de Yaoundé 1 - ENSP

Marianne von FRENCKELL

Université de Liège – DSGE/SA

Michel RADOUX

Université de Liège – GR MHEA®

A ma famille,

A mon épouse Suzi Chantanelle,

A mes charmants petits Benjamin Félix, Christian Walter, Monique Sandra et Joseph Yannick,

A mon père Dominique et à ma mère Monique,

Aux amis et connaissances

AVANT PROPOS

Ce travail de recherche me permet de réaliser un rêve, celui *d'enrichir mon champ de compétences initiales par des connaissances de base en gestion de l'environnement*. Ce rêve a été réalisé grâce au concours de quelques personnes à qui je témoigne ici mes remerciements.

Au Professeur Michel Radoux, Directeur du Groupe de Recherche sur les MHEA® et Promoteur principal de cette thèse, je dois tout, depuis mon inscription en thèse jusqu'à l'aboutissement final de ce travail. Sa rigueur dans l'encadrement scientifique, son entière disponibilité et son soutien moral et financier, parfois personnel, sont autant de qualités qui m'ont permis, de comprendre les fondements des MHEA®, de surmonter certaines épreuves et de mener à terme ce travail. Merci pour la confiance ainsi témoignée et surtout pour l'environnement scientifique, technique, humain et très amical dont j'ai toujours bénéficié.

Au Professeur Emile Tanawa, Directeur du Laboratoire Environnement et Sciences de l'Eau (LESEAU de l'ENSP de Yaoundé, actuel Directeur du Bureau Caraïbe de l'AUF, j'exprime ma profonde gratitude pour les encouragements et les conseils qui, depuis 1992, m'ont permis de prendre goût à la recherche. Ton appui scientifique, matériel et administratif ainsi que ta disponibilité à encadrer ce travail au sein du LESEAU ont été particulièrement motivants dans un contexte parfois marqué par des tensions de trésorerie. Merci pour la confiance.

Au Docteur Abdelslam Ennabili, Coordonnateur du Centre de recherche sur les MHEA® de l'Université A. Essaadi de Tanger – Tétouan et Professeur à l'Université Sidi Mohamed Ben Abdallah de Fès, je transmets ma profonde reconnaissance pour tous les conseils et la disponibilité à évaluer les différents rapports d'étape de ce travail. La richesse de tes remarques m'a permis d'avoir une meilleure lisibilité de l'ampleur de la tâche à accomplir.

Ma double casquette de doctorant – chercheur au LESEAU de l'ENSP de Yaoundé et d'enseignant – chercheur à l'EIER de Ouagadougou m'a permis de bénéficier de l'expérience et de l'appui logistique et administratif du Groupe EIER-ETSHER, grâce aux artisans de la Convention entre l'EIER et l'EPFL de Lausanne en Suisse. A Monsieur Philippe Mangé, Directeur Général du Groupe EIER-ETSHER jusqu'en juillet 2004, Paul Ginies, actuel Directeur Général du Groupe, au Pr. Amadou Hamma Maïga, Directeur Général Adjoint du Groupe et au Pr. Joseph Tarradellas, Directeur du Laboratoire de Chimie de l'Environnement de l'EPFL, j'adresse mes remerciements et ma profonde reconnaissance pour les encouragements et la sollicitude. Je ne saurai tourner cette page sans remercier Samuel Yonkeu, Hamma Yacouba, Denis Zoungrana, Yézouma Coulibaly, Michèle Roche, Kokou Dégnnyogba, Siméon Kenfack, pour leurs encouragements, leurs observations et l'ambiance très amicale.

Mes séjours à Arlon ont toujours été agréables, bien organisés et riches en enseignements scientifiques et techniques grâce à la présence, au sein du Groupe de Recherche sur les MHEA®, de trois piliers Didier Cadelli, Marie Nemcova et Marc Périn, qui ont été formidables. Votre sérieux et votre détermination à poursuivre, avec rigueur même dans les moments difficiles, les travaux de recherche et de développement des MHEA®, ont produit des résultats scientifiques inestimables. Malgré vos occupations, vous avez toujours su me témoigner de votre disponibilité et de votre bonne humeur. Je vous en suis reconnaissant.

Durant ces années de thèse, j'ai travaillé au Cameroun au sein de deux structures, le LESEAU et l'ONG ERA-CAMEROUN, dont j'ai pu apprécier le personnel A H.B. Djeuda Tchapnga, E. Ngnikam et I.M. Kengné, je vous suis reconnaissant pour les conseils et le soutien. Que G. Tabué, G. Ewodo, C. Guélo, C. Noula Wété, J. P. Tagutchu, J. Yiah et H. Tapoko, sans oublier H. Miyo-Wafo, B. Wafo et M. Djévang, sachent qu'ils ont parfaitement mis en pratique un proverbe bien de chez nous qui dit « *Qu'une seule main ne peut attacher un paquet* ». Je me serais sûrement découragé sans votre concours et votre soutien.

Les contacts et les échanges fructueux avec Guéladio Cissé, Laurent Mbumbia, Doulaye Koné, Bécaye Sidi Diop et Mbaye Mbéguéré, ont été enrichissants pour notre perception de la problématique de l'assainissement des eaux usées en vue de l'amélioration de l'environnement urbain en Afrique. Qu'ils trouvent ici hommage particulier.

Ce serait inapproprié de ne pas avoir une pensée toute fraternelle pour la famille Mbumbia de Louvain-la-Neuve, qui pendant mes différents séjours en Belgique, n'a ménagé aucun effort pour assurer « mon équilibre ». Laurent, Philomène, Best, Bill et Carole, vous avez été particulièrement formidables et adorables.

J'exprime ma profonde reconnaissance à Laurent Mbumbia, Samuel Yonkeu, et Regina Ouattara qui, malgré leurs occupations, ont donné de leur précieux temps pour corriger les premiers manuscrits, même si je reste convaincu de la présence de « *fautes récalcitrantes* ».

Bien évidemment, cette thèse n'aurait pas abouti sans le cadre agréable et patient de mon environnement familial. Mention spéciale à mon épouse Suzi et son équipe, Benjamin Félix, Christian Walter, Monique Sandra et Joseph Yannick pour leur soutien, surtout dans les moments les plus contraignants de ce travail. Retrouvez ici mon estime amour.

La liste est longue et témoigne de l'importance des ressources humaines qui ont pu se mobiliser autour de ce travail. Incapable de les citer tous, sans volontairement en oublier, je prie ceux dont les noms ont été omis, malgré leur implication, de trouver en ceci le fruit de leurs contributions.

RESUME

La crise technique et environnementale, due aux dysfonctionnements des systèmes d'assainissement des eaux usées à Yaoundé, a été mise en évidence dans cette recherche. Sur 11 stations d'épuration à boues activées, 9 sont en pannes depuis plus de 15 ans. Leurs capacités sont en surcharge, de 2 à 5 fois plus que les hypothèses initiales. Les causes de cette crise sont, entre autres, l'insuffisance de l'organisation du contexte institutionnel, le faible niveau de financement, le défaut d'entretien, le mauvais choix des procédés et l'inadaptation des critères de conception du fait de l'usage des données par défaut. Les externalités négatives sont importantes, voire irréversibles dans les zones humides qui représentent les principaux exutoires des rejets d'eaux usées. Les eaux de surface sont fortement polluées et les plans d'eau eutrophisés. Les surfaces et les profondeurs initiales des 4 principaux lacs de Yaoundé ont diminué de plus de la moitié du fait des comblements et des envahissements progressifs par des macrophytes.

Envisager de nouvelles stations à boues activées, dont la gestion s'écarte nettement des capacités des acteurs en charge de l'assainissement, est illusoire dans le contexte actuel de crise économique et de persistance prévisible de cette crise à Yaoundé et au Cameroun. En effet, la recherche montre qu'il faudrait déboursier, soit 122 €/Eq-H pour remplacer 6 stations desservant seulement 75 000 habitants, soit alors 34,2 €/Eq-H pour dévier les effluents de ces stations vers les installations de Nsam qui ne sont pas achevées, depuis 1987, du fait des limites financières. Par contre, il faudrait à la municipalité seulement 16,4 €/Eq-H, pour remplacer ces procédés par des filières extensives. Cette recherche s'accorde donc avec les études antérieures, menées en Afrique, et pense que le développement et l'usage des technologies extensives d'épuration des eaux usées sont incontournables dans une ville comme Yaoundé. Cependant, la multitude des systèmes extensifs et la variation, parfois extrêmes, de leurs comportements en fonction des spécificités des conditions du milieu dans lesquels ils sont installés, rendent hasardeux leur transfert automatique dans des contextes différents de leurs lieux d'expérimentation. En l'absence de données comparatives fiables, portant sur des critères de choix, d'étude, de réalisation, de fonctionnement et de performance de ces systèmes, le choix de la « meilleure filière » demeure complexe en Afrique subsaharienne, en général, et en Afrique tropicale humide en particulier.

Seule une comparaison systématique et objective des principales filières, à travers le processus méthodologique et technologique des Mosaïques Hiérarchisées des Ecosystèmes Artificiels (MHEA®), permet de palier ces insuffisances et d'éviter les mêmes erreurs que celles commises lors de l'adoption des procédés intensifs. Cependant, le transfert de ce processus exige que soient préalablement bien cernés les facteurs socioéconomiques, urbanistiques et environnementaux susceptibles d'influencer la mise en place et le fonctionnement des écosystèmes d'épuration collective dans une localité donnée.

L'hypothèse de la représentativité urbanistique, environnemental, technique et climatique de la ville de Yaoundé, par rapport aux agglomérations situées en zone de climat tropical humide, a été validée dans cette recherche. Cette ville peut donc valablement recevoir le centre de recherche expérimental envisagé pour mettre sur pied des écosystèmes d'épuration adaptés à la zone macro-climatique considérée. Le taux de raccordement au réseau d'eau potable est supérieur à 80% et la consommation spécifique d'eau varie de 40 et 90 litres/jour/habitant. Le taux de rejet élevé se situe entre 70 et 95% et les fosses septiques facilement raccordables aux réseaux d'égout dominant. Ces données sont autant d'atouts favorables au bon fonctionnement hydraulique des réseaux d'assainissement collectif dans les quartiers structurés de Yaoundé. De plus, les facteurs climatiques sont propices, toute l'année, à la croissance continue des plantes et des microorganismes épurateurs. Les zones humides regorgent un potentiel important d'espèces végétales épuratrices : 23 espèces ont été identifiées. Ces zones humides disposent suffisamment d'espaces nécessaires à l'implantation d'écosystèmes épurateurs décentralisés. Seulement 40% de ces espaces sont nécessaires pour traiter l'ensemble des eaux usées produites dans la ville de Yaoundé. Enfin, l'enquête socioéconomique relève une volonté affichée des ménages à participer à tout programme d'amélioration de leur cadre de vie et des performances de leurs systèmes d'épuration.

En approfondissant ainsi la connaissance sur les pratiques locales d'eau potable et d'assainissement, cette thèse représente une base fiable permettant aux professionnels de mieux cerner les concepts préliminaires à tout projet d'assainissement collectif, notamment dans les quartiers structurés de la ville de Yaoundé.

ABSTRACT

The technical and environmental crisis, due to the dysfunctions of the wastewater treatment systems in Yaoundé, has been obvious in this thesis. Out of 11 wastewater treatment plants, using activated sludge, 9 are out of work for more than 15 years. They are overloaded 2 to 5 times their initial hypotheses. The causes of this situation are due to, among others, inappropriate institutional and regulation organization, lack of financing and maintenance, inappropriate of the choice and conception criteria using generally European's standard. The negative externalities are important, even irreversible in wetlands which represent the main discharges of wastewater in Yaoundé. Surface waters are highly polluted. The 4 greatest lakes of Yaoundé have lost more than half of their initial area and depths of progressive filling up and invasions by macrophytes.

Building new activated sludge process will be over the skills of stakeholders in the context of economic crisis in Yaoundé and Cameroon. In one hand, the research shows clearly that 122 € / Eq-H are needed to replace 6 activated sludge plants for handling only the wastewater of 75 000 inhabitants, 34.2 € / Eq-H are needed to divert influents of these systems to the Nsam wastewater treatment plants which was not completed since 1987, because of lack of finance. On the other hand, the municipality of Yaoundé would spend only 16.4 € / Eq-H if the extensive systems are to be used. As agreed upon the previous studies done in Africa, this study lead to the fact that extensive wastewater treatment technologies are the most suitable in Yaoundé. However, the lack of comparative data for engineering and operation of maintenance of the systems, the choice of the best technology is quite complex in sub-Saharan African cities, in general, and particularly in African wet tropical climate cities.

Only a systematic and objective comparison of the main extensive system, through MHEA® process, will avoid errors and upgrade the efficiencies of the extensive process chosen. However, the transfer of this process requires that social, economic, urbanistic and environmental factors, liable to influence the implementation and the functioning of natural treatment plants should be mastered.

Hypothesis of the representativeness of the city of Yaoundé, with regard to the towns situated in wet tropical climate zone has been validated in the study. This city can thus receive the recommended experimental research centre in charge of designing natural treatment plants adapted to the considered macro-climatic zone. The rate of household drinking water is more than 80 %. Water consumption is between 40 to 90 litres/day/inhabitant and the wastewater rate is between 70 to 95 %. Existence of individual systems (septic tank) which can be connected to sewage network. These are so many advantages for the hydraulic functioning of the collective networks. Furthermore, the climatic factors are convenient to the continuous growth of the plants and the micro organisms along the year. Besides, the wetland zones of Yaoundé have important potential of macrophytes which can be used in extensive treatment plants. A total of 23 sorts of species have been identified. These wetlands have more space for the setting-up of decentralized natural treatment plants. Only 40% of this space is necessary to treat all the wastewater produced in Yaoundé. Finally, social investigation shows the real willingness of households to participate in any program of improvement of their living environment and the performances of their purification systems.

This thesis has improved the knowledge about drinking water and wastewater treatment practice in an African wet tropical climate. It builds a reliable basis for the professionals to master preliminary concepts for any project of collective wastewater treatment plants.

Keywords: Yaoundé, Planned quarter, Extensive technologies, wastewater treatment, Environmental impacts, MHEA®, Wet tropical climate, Experiment.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	1
 Premier Chapitre : ENJEUX DE L'ASSAINISSEMENT DES EAUX USEES	
DANS LA VILLE DE YAOUNDE	
5	
INTRODUCTION.....	6
I.1. YAOUNDE : DESCRIPTION DU MILIEU PHYSIQUE ET NATUREL	6
I.2. LA SITUATION DE L'ASSAINISSEMENT DES EAUX USEES A YAOUNDE	7
I.2.1. Le cadre juridique et institutionnel	7
I.2.2. Les aspects financiers de l'assainissement	10
I.2.3. Le diagnostic technique des systèmes actuels d'assainissement des eaux usées.....	11
I.3. GESTION URBAINE ET ASSAINISSEMENT DES EAUX USEES : LES ENJEUX	
A YAOUNDE	19
I.3.1. Des outils de gestion urbaine obsolètes et non opérationnels.....	19
I.3.2. Un cadre institutionnel source de conflits de responsabilité entre les acteurs	19
I.3.3. Un système de gestion foncière problématique et ignoré des usagers.....	21
I.3.4. Des stratégies de « l'habitat pour tous » non adaptées au contexte de pauvreté.....	22
I.3.5. Une croissance urbaine rapide et non maîtrisée.....	23
I.3.6. Une baisse drastique des ressources financières face à des problèmes sans cesse croissants.....	26
I.3.7. Un environnement urbain manifestement exposé à la pollution par les eaux usées	27
CONCLUSION	32
 Deuxième Chapitre : PROBLEMATIQUE ET METHODOLOGIE GENERALE	
35	
INTRODUCTION.....	36
II.1. PROBLEMATIQUE GENERALE	36
II.1.1. Du niveau d'assainissement le plus bas.....	36
II.1.2. Des risques sanitaires importants	38
II.1.3. Des choix technologiques inappropriés.....	39

II.1.4. De l'existence de solutions alternatives peu diffusées	39
II.1.5. De la nécessité de prise en compte des spécificités locales	44
II.2. METHODOLOGIE D'ENQUETES AUPRES DES MENAGES	49
II.2.1. Méthode d'enquête utilisée	50
II.2.2. Préparation de la fiche d'enquête	51
II.2.3. Constitution de l'échantillon d'enquête	52
II.2.4. Organisation et l'administration de l'enquête	57
II.2.5. Traitement informatique des données	57
II.3. METHODOLOGIE D'ENQUETES AUPRES DES AGRICULTEURS	59
II.3.1. Elaboration de la fiche d'enquête.	59
II.3.2. Identification des sites maraîchers, constitution de l'échantillon et administration de l'enquête.....	60
II.4. METHODOLOGIE D'ANALYSE DES IMPACTS DES REJETS D'EAUX USEES DANS LES ZONES HUMIDES	62
II.4.1. Identification des sources de pollution des écosystèmes aquatiques.....	62
II.4.2. Analyse de la qualité des eaux de surface des zones humides	62
II.5. METHODOLOGIE D'ETUDE PHYTOSOCIOLOGIQUE.....	63
II.5.1. Protocole de collecte des données et exécution des relevés	64
II.5.2. Traitement des données.....	65
II.6. METHODOLOGIE D'ETUDE DES TYPES DES SOLS DES ZONES HUMIDES.....	66
II.6.1. Plan de prélèvement des échantillons.....	66
II.6.2. Protocole d'analyses granulométriques des échantillons	67
II.6.3. Expressions mathématiques des résultats.....	68
II.7. METHODOLOGIE D'ETUDE DES DONNEES CLIMATOLOGIQUES ET HYDRAULIQUES..	69
II.7.1. Matériel et méthode d'étude des facteurs climatiques.....	69
II.7.2. Matériel et méthode d'étude des données hydrauliques	69
CONCLUSION	70

Troisième Chapitre : RESULTATS ET INTERPRETATIONS	71
INTRODUCTION.....	72
Données urbanistiques	73
III.1. CARACTERISTIQUES URBANISTIQUES	74
III.1.1. Organisation spatiale et niveau de standing de l’habitat	74
III.1.2. Activités socioéconomiques dans le ménage	75
III.1.3. Discussion du volet socioéconomique et urbanistique.....	78
III.2. APPROVISIONNEMENT EN EAU	82
III.2.1. Principaux systèmes d’approvisionnement en eau et quantités consommées selon les usages	82
III.2.2. Problèmes d’approvisionnement en eau.....	89
III.2.3. Discussion du volet approvisionnement en eau	90
III.3. ASSAINISSEMENT DES EAUX USEES MENAGERES	92
III.3.1. Les systèmes d’assainissement des eaux usées.....	92
III.3.2. Caractéristiques des eaux usées.....	93
III.3.3. Perception populaire sur les eaux usées.....	96
III.3.4. Discussion de l’aspect assainissement des eaux usées	101
Impacts environnementaux et sanitaires de la pollution des zones humides par les eaux usées.....	105
III.4. POLLUTION DES ZONES HUMIDES PAR LES EAUX USEES	106
III.4.1. Identification des sources de pollution des zones humides.....	106
III.4.2. Impacts sur les composantes physico-chimiques et microbiologiques	111
III.4.3. Discussion sur les conséquences de la pollution par les eaux usées sur les zones humides et la santé humaine.....	118
III.5. PRATIQUES AGRICOLES COMME POTENTIEL DE REUTILISATION DES EFFLUENTS TRAITES	123
III.5.1. Profil des promoteurs et des pratiques agricoles de Yaoundé.....	123
III.5.2. Discussion de l’aspect réutilisation des eaux usées en agriculture	126
Données naturelles.....	129
III.6. ANALYSE DE QUELQUES DONNEES CLIMATIQUES DE LA REGION DE YAOUNDE....	130

III.6.1. Facteurs climatiques de la région de Yaoundé.....	130
III.6.2. Régime d'écoulement des eaux superficielles et texture des sols dans les zones humides de Yaoundé.....	136
III.6.3. Discussion sur l'aspect texture de sol dans les zones humides de Yaoundé.....	145
III.7. ETUDE PHYTOSOCIOLOGIQUE DES ZONES HUMIDES DE YAOUNDE	146
III.7.1. Statistiques générales sur les macrophytes des zones humides de Yaoundé	146
III.7.2. Analyse de la répartition en fonction de la zonation horizontale.....	147
III.7.3. Matrice de Abondance – Dominance et groupements végétaux.....	150
III.7.4. Quelques macrophytes potentiellement efficaces en épuration des eaux usées.....	154
III.6.5. Discussion sur les aspects phytosociologiques	158
CONCLUSION	161
 Quatrième Chapitre : DE LA NECESSITE D'UN CENTRE DE RECHERCHE ET DE DEVELOPPEMENT DES TECHNOLOGIES D'EPURATION EXTENSIVE DES EAUX USEES EN ZONE DE CLIMAT TROPICAL HUMIDE.....	
INTRODUCTION	164
IV.1. JUSTIFICATION DE LA CREATION DU CENTRE ET OBJECTIFS ASSIGNES	164
IV.2. OBJECTIFS DU CENTRE ET ACTIONS DE RECHERCHE.....	166
IV.3. MODALITES DE FONCTIONNEMENT DU CENTRE	168
IV.3.1. Des moyens nécessaires pour l'équipement et le fonctionnement du centre.....	168
IV.3.2. De l'organisation de la gestion du centre	169
IV.3.3. Du choix du site d'application et d'implantation du centre.....	171
CONCLUSION DU CHAPITRE IV.....	172
CONCLUSION GENERALE	175
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	185
ANNEXES.....	193
Annexe I : Carte de localisation du Cameroun et de Yaoundé.....	194
Annexe II : Outils de collecte et d'analyses des données.....	197
Annexe III : Quelques données caractéristiques des zones humides de Yaoundé.....	209
Annexe IV : Détail du budget du centre de recherche et de développement des technologies extensives suivant le processus des MHEA.....	213

LISTE DES CARTES

Carte 1 : Subdivisions administratives de Yaoundé.....	6
Carte 2 : Principaux tissus urbains et repérage des stations d'épuration de Yaoundé.....	48
Carte 3 : Localisation des quartiers enquêtés.....	58
Carte 4 : Localisation des zones humides de Yaoundé.....	61

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Tendances d'évolution de la population de Yaoundé à l'horizon 2020.....	24
Figure I.2 : Evolution comparée de la population urbaine et rurale par rapport à la population totale du Cameroun de 1960 à 2020.....	24
Figure I.3 : Evolution de la superficie (en ha) de Yaoundé de 1955 à 2010.....	25
Figure I.4 : Evolution de la population urbaine africaine.....	25
Figure I.5 : Variation en fonction des options et des stations, des coûts unitaires (en €/Eq-H) correspondants	29
Figure I.6 : Poids comparé des différentes options techniques sur la recette municipale.....	30
Figure II.1 : Taux de couverture (en % des populations) en assainissement dans les pays africains.....	37
Figure II.2 : Les zones humides et les technologies naturelles (ou extensives) d'épuration des eaux.....	40
Figure II.3 : Schéma général des principes du processus méthodologique et technologique des MHEA®.....	43
Figure II.4 : Principales phases de l'étude.....	47
Figure II.5 : Démarche méthodologique du choix de l'échantillon des quartiers à étudier.....	53
Figure II.6 : Plan de prélèvement des échantillons de sol dans les zones humides.....	62
Figure II.7 : Schéma synoptique général de détermination des paramètres physico-chimiques et des bio-indicateurs de pollution de l'eau superficielle des zones humides étudiées.....	63
Figure II.8 : Dispositif en colimaçon du déploiement sur le site selon la méthode SIGMA.....	64
Figure II.9 : Plan de prélèvement des échantillons de sol.....	66
Figure III.1.1 : Typologie de l'habitat en fonction des tissus urbains.....	74
Figure III.1.2 : Situation de l'emploi dans les ménages.....	76
Figure III.1.3 : Part des revenus des actifs selon les tissus urbains.....	77
Figure III.2.1 : Quantité d'eau journalière (en litres/j) consommée à partir du puits.....	83
Figure III.2.2 : Variation de la consommation journalière de l'eau au niveau de la borne fontaine en fonction du prix unitaire pratiqué.....	84
Figure III.2.3 : Consommations journalières spécifiques de l'eau en réseau en fonction des strates.....	85
Figure III.2.4 : Cheminement des rejets d'eaux consommées en fonction des systèmes.....	87
Figure III.3.1 : Principales maladies déclarées en fonction de leur occurrence.....	98
Figure III.4.1 : Variation de la conductivité moyenne des eaux de surfaces en fonction des sites.....	113
Figure III.4.2 : Variation des charges en phosphore, azote, DCO et DBO ₅ des eaux de surfaces.....	114
Figure III.4.3 : Indice de pollution et espérance à l'autoépuration active des eaux de surface des zones humides de Yaoundé.....	115
Figure III.4.4 : Influence des eaux usées sur la qualité microbienne des eaux de surface.....	117
Figure III.4.5 : Variation du taux de comblement de quelques plans d'eau de 1957 à 2002.....	120
Figure III.4.6 : Tendances d'évolution possible des plans d'eau de Yaoundé.....	121
Figure III.5.1 : Mode d'acquisition des parcelles agricoles de Yaoundé.....	124

Figure III.5.2 : Evolution des maladies diarrhéiques chez les enfants de moins de 5 ans à Yaoundé de 1996 à 2002.	127
Figure III.6.1 : Variations mensuelles et interannuelles de la température atmosphérique de Yaoundé de 1992 à 2002.....	130
Figure III.6.2 : Variations mensuelles et interannuelles des hauteurs de pluies précipitées (mm de pluie) et du nombre de jours de pluies à Yaoundé (1992 et 2002)	131
Figure III.6.3 : Variation annuelle de l'insolation moyenne à Yaoundé (de 1992 à 2002).....	132
Figure III.6.4 : Variations mensuelles et interannuelles de l'humidité atmosphérique à Yaoundé (1992 à 2002).....	133
Figure III.6.5 : Variations mensuelles et interannuelles de l'évapotranspiration à Yaoundé (1992 et 2001).....	134
Figure III.6.6 : Diagramme ombro-thermique et période végétative de Yaoundé.....	135
Figure III.6.7 : Profils des horizons de surface dans les zones humides de Yaoundé.....	141
Figure III.6.8 : Classification des zones humides selon la classe texturale	142
Figure III.6.9 : Différentes classes en fonction de la texture des sol	144
Figure III.6.10 : Classification des sites selon les textures évaluées sur l'ensemble des échantillons prélevés dans les zones humides.	144
Figure III.7.1 : Histogramme des fréquences des espèces végétales en fonction des classes.....	146
Figure III.7.2 : Répartition des plantes aquatiques en fonction de leur localisation dans la zone humide	148
Figure IV.1 : Mode de gestion du centre	169
Figure IV.2 : Classification des sites potentiels la pondération des critères de choix	171

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Paramètres caractéristiques des stations d'épuration de Yaoundé.....	13
Tableau I.2 : Répartition et chevauchement des compétences en matière de gestion des eaux usées au Cameroun ...	20
Tableau I.3 : Répartition des coûts totaux (en millions d'euros) des différentes options techniques pour quelques stations	30
Tableau II.1 : Principaux écosystèmes artificiels	42
Tableau II.2 : Critères d'appartenance aux tissus urbains	54
Tableau II.3 : Répartition des zones de dénombrement selon les tissus urbains	54
Tableau II.4 : Répartition des ménages choisis par tirage au hasard en fonction des quartiers	55
Tableau II.5 : Répartition en fonction des quartiers du nombre de ménages à enquêter	56
Tableau II.6 : Les sites agricoles étudiés	60
Tableau II.7 : Grille d'appréciation du niveau de pollution des zones humides par les eaux usées	62
Tableau II.8 : Echelle des coefficients de quantité de Braun – Blanquet	65
Tableau III.2.1 : Répartition des systèmes d'alimentation en eau selon les tissus urbains étudiés.....	82
Tableau III.2.2 : Consommation moyenne horaire (l/h) de l'eau en réseau en fonction des tissus urbains.....	86
Tableau III.2.3 : Consommation moyenne horaire (l/h) de l'eau en fonction des tissus urbains pour les ménages combinant plusieurs sources d'alimentation en eau.....	86
Tableau III.2.4 : Répartition de la consommation dans un ménage - SIC par type d'exutoire.....	88
Tableau III.2.5 : Répartition de la consommation dans un ménage - MAETUR par type d'exutoire	88
Tableau III.2.6 : Répartition de la consommation dans un ménage – communal par type d'exutoire.....	89
Tableau III.2.7 : Problèmes d'alimentation en eau en fonction des tissus urbains	89

Tableau III.3.1 : Comparaison des volumes spécifiques initiaux et actuels des rejets d'eaux usées pour quelques stations.	95
Tableau III.3.2 : Valeur moyennes des charges polluantes spécifiques (en g/pers/j) pour quelques paramètres caractéristiques des eaux usées.....	95
Tableau III.3.3 : Valeurs comparées des charges en DBO5 entre l'étude et le projet initial.....	96
Tableau III.3.4 : Mode de gestion des nouveaux systèmes d'assainissement des eaux usées	101
Tableau III.4.1 : Principales sources potentielles de pollution des eaux des zones humides étudiées (janvier 2001 – août 2002).....	106
Tableau III.4.2 : Concentration de certains métaux lourds dans les effluents industriels et hospitaliers de Yaoundé.....	118
Tableau III.6.1 : Paramètres de localisation des zones humides de Yaoundé	137
Tableau III.6.2 : Paramètres hydrauliques dans les zones humides de Yaoundé (juin – juillet 2002)	139
Tableau III.6.3 : Composition moyenne (en % de poids) des sols (horizon superficiel) dans les zones humides de Yaoundé.....	143
Tableau III.6.4 : Classification des zones humides en fonction des classes et distances intra – classes	143
Tableau III.7.1 : Classes de présence des espèces.....	146
Tableau III.7.2 : Matrice Abondance – Dominance selon l'échelle de Braun Blanquet	151
Tableau III.7.3 : Identification des espèces épuratrices et de leur utilité à Yaoundé	155
Tableau III.7.4 : Variation des teneurs en MES (mg/l) et en conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$).....	156
Tableau III.7.5 : Variation des teneurs des DCO et DBO_5 (mg/l) de l'amont à l'aval de quelques zones humides.....	157
Tableau III.7.6 : Variation des teneurs en NH_4^+ et PO_4^{3-} (mg/l)	157
Tableau III.7.7 : Variation des teneurs en Coliformes et streptocoques fécaux (en ULog/100ml)	158
Tableau IV:1 : Poids de pondération des différents critères de choix des sites.....	171

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Latrines traditionnelles en zone loties par la municipalité et la MAETUR	12
Photo 2 : Latrines améliorées de type VIP avec tuyau d'aération externe (gauche) ou interne (droite)	13
Photo 3 : Fosse septique (gauche) et son regard de sortie (droite) à l'université de Yaoundé.....	13
Photo 4 : Entrée de la station d'épuration de Messa (gauche) et aperçu du bassin d'aération (droite)	15
Photo 5 : Eaux usées brutes déversées dans les zones humides à Mendong	16
Photo 6 : Différents systèmes d'épuration des eaux usées du quartier Biyem Assi	17
Photo 7 : Aperçu de la station d'épuration du CHU	18
Photo 8 : Rejet d'eaux usées brutes industrielles dans le cours d'eau Mfoundi.....	108
Photo 9 : Egout cassé et remontée d'eaux usées sur la chaussée à Biyem Assi – SIC	108
Photo 10 : Rejets d'eaux usées brutes issues des latrines à Messa – Amont.....	109
Photo 11 : Activités socioéconomiques dans les zones humides : garages automobiles à la Cité Verte et parcelles agricoles au CHU aval	110
Photo 12 : Dépotoirs sauvages d'ordures ménagères à Messa Amont et Biyem Assi NIKI	110
Photo 13 : Habitat spontané à l'ENSP Aval (gauche) et à la Cité Verte Milieu (droite)	111

LISTE DES ABREVIATIONS

SIGLES	DENOMINATIONS
CEMAC	Communauté Economique et Monétaire de l'Afrique Centrale
CEREVE	Centre de Recherche sur l'Eau, la Ville et l'Environnement (laboratoire associé entre l'Ecole des Ponts et Chaussée et l'Université de Marne la Vallée (en France))
CFC	Crédit Foncier du Cameroun
CHU	Centre Hospitalier Universitaire
CIEH	Comité Inter-Africain d'Etudes Hydrauliques
CNUEH	Centre des Nations Unies pour les Etablissements Humains
CUA	Commune Urbaine d'Arrondissement
CUY	Communauté Urbaine de Yaoundé
DSCN	Direction de la Statistique et de la Comptabilité Nationale
EBC	Enquête Budget Consommation
ECAM	Enquête Ménage au Cameroun
EIER	Ecole Inter-Etats d'Ingénieurs de l'Equipement Rural
ENDA	Environnement et Développement en Afrique
ENSP	Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé
Eq-H	Equivalent – Habitant
ERA – CAMEROUN	Environnement Recherche Action au Cameroun
FAO	Organisation Mondiale pour l'Agriculture et l'Alimentation
FOCARFE	Fondation Camerounaise pour une Action Rationalisée envers les Femmes
CFA	Coopération Financière en Afrique Centrale (pays membres de la CEMAC) ou Communauté Financière d'Afrique (pays membres de l'UEMOA)
FUL	Fondation Universitaire Luxembourgeoise
GIC	Groupement d'Intérêt Communautaire
GIE	Groupement d'Intérêt Economique
GPS	<i>Global Positionning System</i>
LC	Lotissements communaux
LESEAU	Laboratoire Environnement et Sciences de l'Eau
MAETUR	Mission d'Aménagement et d'Equipement des Terrains Urbains et Ruraux
MHEA®	Mosaïques Hiérarchisées d'Ecosystèmes Artificiels
OIEAU	Organisation Internationale de l'Eau
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONG	Organisation Non Gouvernementale
RGPH	Recensement Général de la Population et de l'Habitat
SIC	Société Immobilière du Cameroun
SIGMA	Station Internationale de Géobotanique Méditerranéenne et Alpine en Franc
SMIG	Salaire Minimum Interprofessionnel Garanti
SOGREAH	Société Grenobloise d'Etudes et d'Applications Hydrauliques
UADE	Union Africaine des Distributeurs d'Eau
UEMOA	Union Economique et Monétaire de l'Afrique de l'Ouest
UNICEF	Fonds des Nations Unies pour l'Enfance

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Les rapports successifs de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), de 1990 à 2002, montrent que l'Afrique est la partie du globe la plus exposée aux maladies diarrhéiques dont les fréquences ne cessent de croître, d'année en année. Les causes principales évoquées sont, entre autres, l'insuffisance des systèmes d'approvisionnement en eau de bonne qualité, les conditions déplorable d'hygiène du milieu et l'inefficacité de l'assainissement des déchets liquides.

Ces constats montrent que la situation de l'assainissement des eaux usées et excréta demeure encore critique en Afrique. En effet, les diagnostics techniques des systèmes de traitement des eaux usées urbaines révèlent des dysfonctionnements considérables [Tanawa, 1987 ; CIEH, 1993 ; MINEF, 1996 ; Wéthé, 1995, 2002 ; EIER-CEREVE, 2002]. Les latrines et les fosses septiques, qui sont les ouvrages les plus répandus, sont inefficaces du point de vue épuration du fait des bricolages : elles constituent de ce fait, de véritables sources de pollution diffuse. Les stations d'épuration des eaux usées, dont la majorité est composée des procédés à boues activées, se heurtent aux coûts de réalisation et d'exploitation extrêmement prohibitifs pour des municipalités dont les moyens matériels, humains et financiers sont relativement faibles. Les pannes prolongées suivies de nombreux abandons constatés sur le terrain font de ces installations des sources de dégradation, parfois irréversible, de l'environnement et de contamination des ressources en eau, d'où la recrudescence des maladies diarrhéiques.

Plusieurs études, menées en station pilote, montrent que les systèmes d'épuration par voie naturelle peuvent se positionner comme des technologies alternatives aux systèmes intensifs dans les villes africaines pour l'économie financière et énergétique qu'elles procurent ainsi que pour la simplicité et la souplesse de gestion qu'elles offrent [Touré, 1986 ; Agendia, 1987 ; Guène, 1989 ; Ennabili, 1999 ; Radoux et al., 2000, 2002, 2003 ; Kégné, 2000 ; Koné, 2002 ; EIER-CEREVE, 2002 ; Diop, 2003 ; Mbéguéré, 2003 ; Laouali, 2003].

Cependant, les technologies extensives demeurent encore très peu vulgarisées en Afrique. Cet état de fait alimente les controverses scientifiques, techniques et politiques quant au choix de l'une ou l'autre méthode. Ceci suscite la méfiance des acteurs impliqués dans l'élaboration des stratégies, le choix et l'exploitation des systèmes d'épuration des eaux usées. Compte tenu de la variabilité du comportement de ces systèmes en fonction des facteurs climatiques, urbanistiques et environnementaux, ces controverses sont davantage justifiées en Afrique tropicale humide. Dans cette région en effet, rares sont les études qui ont abouti, d'une part, aux comparaisons systématiques et objectives des principales techniques extensives, et d'autre part, aux propositions de critères de conception et de gestion qui soient adaptés à cette région climatique. C'est ainsi que le choix d'un procédé performant, quels que soient la saison climatique, le type

d'effluent et le niveau de traitement, reste mitigé, voire difficile pour les gestionnaires des villes et les décideurs politiques. Cette situation est d'autant plus préoccupante que la présence de compétences locales susceptibles d'éclairer et d'appuyer, rapidement et à moindre coût, ces acteurs dans le choix objectif d'un système adapté fait cruellement défaut.

Les considérations ci-dessus font partie des principes que préconise le « *Processus méthodologique et technologique des Mosaïques Hiérarchisées d'Ecosystèmes Artificiels – MHEA®* » établi depuis 1977 par une équipe de chercheurs de la Fondation Universitaire Luxembourgeoise (FUL), basée à Viville (Arlon – Belgique). A travers ce processus, plus d'un quart de siècle de comparaison systématique des techniques extensives a abouti à l'optimisation des technologies d'épuration par voie naturelle adaptées au climat tempéré. Des travaux similaires sont amorcés à Tétouan – M'Diq (Maroc) sous climat méditerranéen et à Dakar – Cambérène (Sénégal) sous climat tropical aride depuis une décennie. *La MHEA® n'a pas encore été expérimentée en zone de climat tropical humide.* De ceci, il se dégage deux questions fondamentales :

1. Peut-on envisager un transfert « automatique » de ce processus en zone de climat tropical humide en s'appuyant uniquement sur l'accumulation des résultats scientifiques de plus en plus favorables sur les performances potentielles des MHEA® sous d'autres climats ?
2. Les facteurs du milieu et les potentialités des villes d'Afrique tropicale humide justifient-ils un tel transfert des technologies optimisées dans des contextes différents ?

De ce questionnement, il découle que *des recherches avancées méritent d'être conduites en zone de climat tropical humide en vue d'y étudier les conditions de réussite d'un tel transfert.* Le succès scientifique et technique de la recherche et du développement harmonieux des MHEA® dans cette région *requiert au préalable que soient bien cernés les principaux facteurs susceptibles d'influencer, négativement ou positivement, le processus hydraulique et biologique du traitement extensif des eaux usées dans les systèmes d'épuration naturelle.*

Cette thèse a pour objectif de répondre aux préoccupations ci-dessus, à partir de l'étude du cas de la ville de Yaoundé, capitale politique du Cameroun. En première approche, il est admis que cette ville peut valablement servir de cadre d'étude et d'expérimentation des MHEA® en vue de son développement futur dans des contextes macro-climatiques et environnementaux similaires.

Le travail à accomplir devrait permettre :

- Sur le plan technique, de dresser un bilan général de la situation de l'assainissement des eaux usées dans les tissus d'habitat favorables à l'implantation des écosystèmes d'épuration collectif à Yaoundé.

- Au plan fondamental, d'analyser, à travers l'étude du cas de Yaoundé, la spécificité climatique, urbanistique et environnementale à prendre en compte dans la mise en œuvre des technologies extensives d'épuration des eaux usées en zone de climat tropical humide.
- En application, d'évaluer les contraintes et les conditions du succès de l'installation d'un centre de recherche et de développement du processus méthodologique et technologique MHEA® dans les contextes climatiques similaires à ceux de Yaoundé.

Ce mémoire est subdivisé en 4 chapitres :

1. Le premier chapitre situe les enjeux de l'assainissement des eaux usées et excréta à Yaoundé. Il comprend 3 paragraphes se rapportant respectivement à la description synthétique du milieu physique et naturel, à l'analyse de l'état des lieux de l'assainissement des eaux usées vu sous l'angle institutionnel, financier et technique, et aux enjeux de l'assainissement des eaux usées et excréta.
2. Le deuxième chapitre porte sur la problématique générale de cette recherche et constitue l'ossature de la méthodologie adoptée pour effectuer les travaux de terrain à Yaoundé. Il décrit la démarche entreprise pour chacune des actions spécifiques prévues dans ce travail, à savoir, les enquêtes auprès des ménages et promoteurs agricoles, l'évaluation des impacts des eaux usées dans les zones humides de Yaoundé, l'analyse des caractéristiques climatiques, pédologiques, hydrauliques et phytosociologiques de ces écosystèmes.
3. Le troisième chapitre présente les résultats des investigations menées sur le terrain ainsi que des analyses qui en découlent.
4. Le quatrième chapitre montre l'intérêt d'un centre d'expérimentation du processus des MHEA® en zone de climat tropical humide ainsi que les conditions de son implantation et de fonctionnement.

La conclusion générale reprend les enseignements tirés des résultats de terrain et donne les lignes directrices des perspectives envisageables.

Premier Chapitre :

**ENJEUX DE L'ASSAINISSEMENT DES EAUX USEES
DANS LA VILLE DE YAOUNDE**

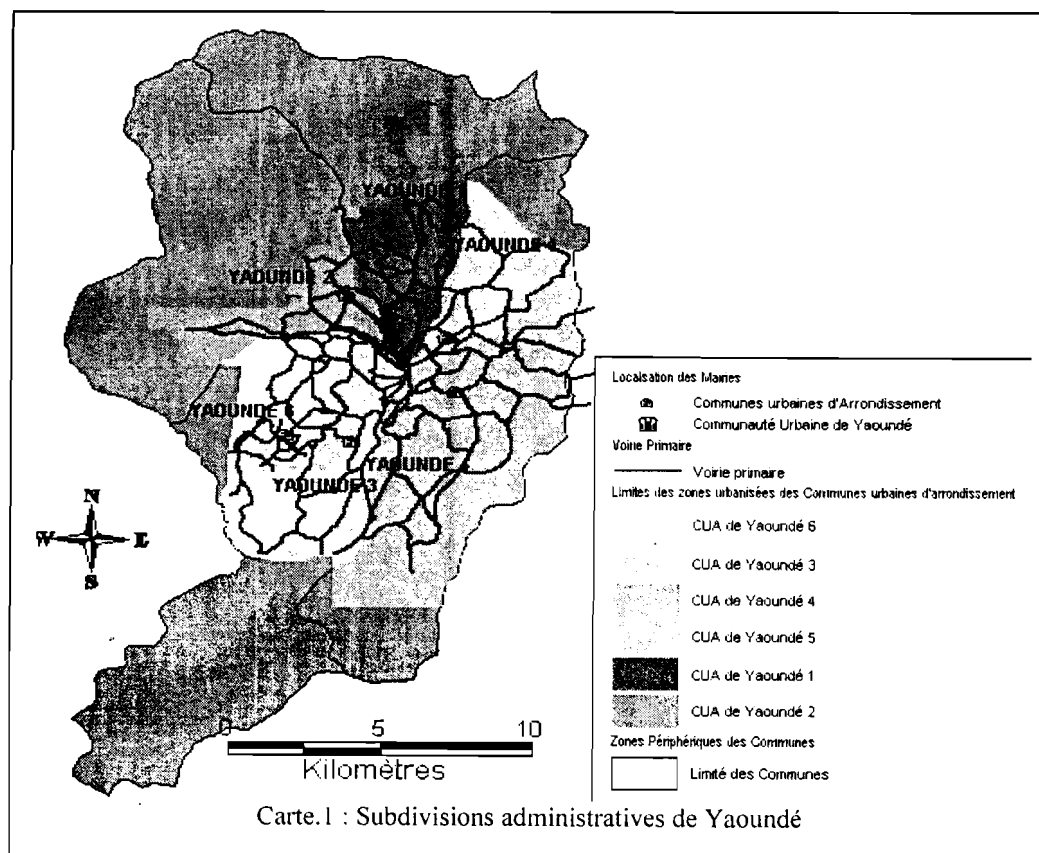
INTRODUCTION

Le principe de départ est d'effectuer le diagnostic technique des principaux ouvrages d'assainissement des eaux usées utilisés à Yaoundé et développer par la suite les enjeux majeurs de la gestion urbaine et de l'assainissement dans les établissements humains du Cameroun.

Ce chapitre présente la situation générale de l'assainissement des eaux usées dans le contexte de gestion urbaine en cours à Yaoundé. Il décrit succinctement son milieu naturel et analyse les aspects juridiques, institutionnels et financiers de l'assainissement des eaux usées de cette ville.

I.1. YAOUNDE : DESCRIPTION DU MILIEU PHYSIQUE ET NATUREL

La ville de Yaoundé est localisée à environ 200 km à vol d'oiseau de la côte Atlantique sur le vaste plateau central africain. Sa position géographique est le 3°52' Latitude Nord et le 11°31' Longitude Est (cf. Annexe I). Cette ville s'étire d'Est en Ouest sur plus de 23,4 Km le long de son axe principal [Vanchi-Bonnardi, 1973]. Siège des institutions politiques et administratives du Cameroun, cette ville est le chef lieu de la Province du Centre et du Département du Mfoundi dont il constitue le pôle socioéconomique. Yaoundé est subdivisée en 6 Arrondissements (carte 1) formant la l'ensemble de la Communauté urbaine de Yaoundé.



La partie urbanisée de cette agglomération couvre une superficie totale de 18 204 ha en 2002 et les perspectives d'extension (cf. parties en vert, Carte 1) permettront d'atteindre les 31 000 ha.

Le relief de Yaoundé est relativement accidenté et dominé par des collines qui culminent entre 600m et 1 200m, des plateaux convexes, des failles et de multiples fonds de talweg de faible pente légèrement inclinés vers sa partie sud. La ville est ainsi compartimentée en entités topographiques distinctes [Djuikom, 1996]. Le sous-sol de la ville est en général ferrallitique avec une superposition successive de gneiss sous-jacent sur les berges, d'argiles sableux sous la couche superficielle et de gros blocs cuirassés de gravillons et d'argiles rocheux. Dans les lits des cours d'eau, le sol est argilo-sableux. Du Nord au Sud, d'Est en Ouest, Yaoundé a un sol de nature latéritique [Bachelier, 1959 ; Pelletier, 1969 ; cité par Mbumbia, 2002].

Le réseau hydrographique est particulièrement denses et se compose de cours d'eau permanents dont les plus structurants sont les suivants :

1. le Mfoundi dont l'importance donna son nom au Département dont Yaoundé est le chef lieu. Ce cours d'eau traverse la ville du Nord au Sud et possède plusieurs affluents formant des sous bassins versants de formes allongées ;
2. la Mefou rejoint le Mfoundi au Sud de la ville et circule d'Ouest au Sud-ouest ;
3. le Anga'a qui draine la partie Est de la ville en circulant d'Est en Sud-est ;
4. le Mfoulou, qui dessert la partie Nord-est de la ville.

Le régime des cours d'eau et des rivières de Yaoundé dépend essentiellement des précipitations. Pendant les saisons sèches, les cours d'eau sont à l'étiage tandis qu'en périodes pluvieuses, la plupart sortent de leurs lits respectifs, entraînant ainsi l'érosion des sols, l'envasement des drains et les inondations périodiques dans les bidonvilles et les zones humides. Sur plusieurs points, les cours d'eau de Yaoundé sont fortement sollicités par les activités anthropiques telles que la baignade, la lessive, la vaisselle, le lavage des véhicules et le nettoyage des produits agricoles.

I.2. LA SITUATION DE L'ASSAINISSEMENT DES EAUX USEES A YAOUNDE

I.2.1. Le cadre juridique et institutionnel

Pendant les trois décennies ayant suivi l'indépendance du Cameroun en 1960, l'arsenal juridique régissant le secteur de l'eau et de l'assainissement a connu des évolutions progressives suite aux enjeux environnementaux et sanitaires dus à la pollution. C'est dans le souci de prendre en compte la préservation de l'environnement et la santé humaine que la loi n°98/005, portant sur le régime de l'eau, avait été adoptée par l'Assemblée Nationale du Cameroun en mars 1998 et promulguée par le Chef de l'Etat l'a promulgué en avril 1998.

Cette nouvelle loi, qui abroge toutes les dispositions antérieures [Djeuda et al., 2001], est innovante en ce qu'elle favorise une gestion concertée de l'eau plus rigoureuse. Elle préconise en outre le paiement des redevances sur les prélèvements des ressources en eau ou sur la pollution de celles-ci en consacrant le principe du Pollueur – Payeur.

De l'analyse de ces textes, il se dégage 2 grands groupes d'acteurs qui interviennent dans le secteur de l'assainissement au Cameroun en général et à Yaoundé en particulier : il s'agit des acteurs institutionnels et les acteurs non gouvernementaux.

1.2.1.1. Les acteurs institutionnels

Les rôles et les domaines d'intervention de cette catégorie d'acteurs sont prévus dans les mécanismes de gestion de l'Etat (lois, décrets). Ils interviennent dans la production et la gestion urbaine en général. Ils participent à l'élaboration des politiques nationales de gestion urbaine et des schémas directeurs d'urbanisme et, à l'application des stratégies nationales en matière d'assainissement. Ils assurent la coordination et le contrôle des politiques gouvernementales en matière de gestion urbain et mettent en œuvre les opérations d'aménagement et d'amélioration du cadre de vie. Les ministères techniques ci-dessous font partir de ce groupe :

- i. le Ministère du Développement Urbain et de l'Habitat (MINDUH) planifie et contrôle le développement des villes, élabore et suit la mise en œuvre des stratégies d'aménagement et de restructuration des villes, définit et contrôle le respect des normes en matière d'habitat, d'assainissement, d'hygiène et de salubrité ; il est également impliqué dans l'élaboration et la mise en œuvre des stratégies d'amélioration de l'habitat, de la circulation urbaine et de la gestion des infrastructures et représente la courroies de liaison entre l'Etat et les organisme internationaux. Le MINDUH résulte de la fusion entre, d'une part, l'ex-ministère de l'urbanisme et de l'habitat (MINUH) et l'ex-ministère de la ville (MINVILLE), à la suite du dernier remaniement du Gouvernement du 08 décembre 2004.
- ii. le Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature (MINEPN) définit les mesures de gestion rationnelle des ressources naturelles, codifie et contrôle les normes en matière d'environnement, identifie et suit les indicateurs de qualité de l'environnement urbain à travers des mesures de gestion des déchets urbains et de contrôle la pollution ;
- iii. le Ministère de l'Administration Territoriale et de la Décentralisation (MINATD) organise et contrôle les communes dont il assure la tutelle ; il met en œuvre la réglementation relative au fonctionnement des collectivités territoriales décentralisées ;
- iv. le Ministère de l'Eau et de l'Energie (MINEE) élabore les plans stratégiques en matière d'alimentation en eau dans les villes et de protection des eaux en milieu urbain.

A côté ce groupe principal, il y a d'autres ministères qui interviennent dans la gestion urbaine en matière de contrôle et d'orientation des politiques gouvernementales en termes d'affaires économiques et financière, de planification et de d'aménagement du territoire, de santé publique, et enfin du développement industriel et commercial.

Sous la tutelle de ces départements ministériels, des « outils d'application des politiques de l'Etat » ont été créés avec des objectifs bien précis dans le domaine de la gestion urbaine et de l'assainissement ([Mougoué, 2001 ; cité par LESEAU et al., 2003]) : il s'agit :

- i. de la Mission d'Aménagement des Terrains Urbains et Ruraux (MAETUR) qui avait été créée en 1977 pour promouvoir l'immobilier et l'habitat social en vue de satisfaire la demande solvable dont 80% représentaient environ 15.000 parcelles et logements en 1985. Elle étudie les plans de lotissement, assure la production des parcelles aménagées et la restauration des quartiers sous-équipés. C'est dans ce cadre que l'essentiel des quartiers structurés de Yaoundé a été réalisé sur près de 20% de sa superficie. Les quartiers concernés sont l'ancienne vallée de la gare, Biyem Assi, Cité Verte, Mendong, Nsimeyong, Etoug Ebé, Simbock, Nyom II, Nkomo-Okui, Omnisports-Mfandéna ;
- ii. de la Société Immobilière du Cameroun (SIC) qui met à disposition des différentes couches sociales des logements décents avec l'appui de l'Etat qui mobilise les fonds et allège les procédures fiscales et foncières. La SIC est le premier pourvoyeur de logements dans le secteur formel depuis sa création en 1977 ; elle a déjà mis en vente ou en location environ 15 500 logements au Cameroun, dont 9 000 à Yaoundé et à Douala. Cependant, sa production reste marginale en 2002 compte tenu de la demande sans cesse croissante : cette production représente 2% du parc national et moins de 10% de celui de Yaoundé ;
- iii. de la Mission d'Aménagement et de Gestion des Zones Industrielles (MAGZI) qui assure la création et l'aménagement des zones industrielles dans les centres urbains. Elle les gère et les équipe en ouvrages et systèmes d'assainissement des eaux usées industrielles ;
- iv. du Crédit Foncier du Cameroun (CFC) facilite l'accès aux crédits immobiliers aux exclus du système bancaire classique en allégeant les taux d'intérêt entre 3,25% et 9,75% sur 20 ans avec la dispense de caution solidaire. En fin des années '90, le CFC avait financé le secteur immobilier à hauteur de €172,3 millions pour la réalisation de 13.000 logements et de 13.000 parcelles de terrains viabilisés à Yaoundé.

Les collectivités locales font également partie de ce groupe d'acteur. Leurs actions se limitent à l'échelle locale. A Yaoundé, la Communauté Urbaine (CUY) et ses 6 Communes Urbaines d'Arrondissement (CUA) conçoivent, réalisent et gèrent les infrastructures urbaines

d'assainissement. Elles assurent la police des établissements dangereux insalubres et incommodes. Ces entités sont habilitées à réaliser des lotissements communaux qui consistent à détacher des terrains du domaine national et à les rétrocéder à des attributaires ou à des familles « déguerpies » des zones d'expropriation par une procédure simple. La particularité de ce type de lotissement réside dans le caractère sommaire des aménagements (voies en terre, bornage des parcelles) afin de tenir compte du faible niveau de vie des couches sociales qui s'y établiront. Le financement de ces opérations est généralement assuré par l'Etat. Cependant, l'offre en parcelles communales à Yaoundé reste en deçà des besoins et très peu de données sont disponibles pour l'établissement d'un bilan pertinent.

1.2.1.2. Les acteurs non gouvernementaux

Dans le domaine de l'assainissement des eaux usées, les actions de ce groupe d'acteur sont plus ou moins contractualisées avec l'Etat et les municipalités.

Le premier groupe de ces acteurs concerne le secteur privé formel ou informel. Le secteur privé formel (entreprises, bureaux d'études) participe à la réalisation d'ouvrages d'assainissement principalement dans les quartiers structurés. Le secteur privé informel pourvoit 90% de la production du logement urbain à Yaoundé [Pettang et al., 1995] et résorbe de ce fait le déficit en logements évalué à 480.000 unités sur les 1,3 millions estimés en l'an 2000.

Le second groupe concerne les groupes associatifs (organisations non gouvernementales, groupes de solidarité au développement, groupements d'intérêt économique ou communautaire). Leur émergence a été favorisée par la loi n°90/053 du 19/12/90 sur la liberté d'association et la loi n°92/006, du 14 août 1992 relative aux sociétés coopératives. Dans leurs stratégies d'action, ils adoptent des procédures souples et accordent une importance à l'implication, l'information et la sensibilisation des bénéficiaires. Bien qu'ils offrent un niveau de service appréciable à l'échelle du quartier, leurs actions restent de faible portée dans la mesure où les moyens dont ils disposent sont très limités. En outre, leur faible compétence technique sur l'offre des infrastructures d'assainissement entraîne des bricolages lors des réalisations des travaux.

A côté de ce groupe, nous pouvons adjoindre les partenaires au développement qui octroient des subventions ou des prêts aux différents acteurs concernés.

1.2.2. Les aspects financiers de l'assainissement

Les pouvoirs publics camerounais ont toujours accordé un intérêt croissant aux investissements pour le développement des villes. Les investissements sont, en effet, passés de d'environ 89,9 millions d'euros lors du troisième plan quinquennal de développement socioéconomique et

culturel (1970 – 1975) à 182,9 millions d’euros lors du quatrième plan (1975 – 1980). Ces investissements vont en suite doubler (385,7 millions d’euros) au cours du cinquième plan (1980 – 1985). Le sixième plan quinquennal (1985 – 1990) connaîtra un investissement de l’ordre 990,8 millions d’euros dans le secteur urbain. Malheureusement, cette volonté va être sérieusement compromise pendant la décennie ‘90 à la suite des récessions économiques qui réduiront considérablement les dépenses publiques dans tous les secteurs de la vie nationale. Le financement de l’assainissement à Yaoundé connaîtra ainsi un arrêt complet durant la décennie ‘90. Ce financement est régi par les décrets n°77/220 du 1/07/1977 et n°80/017 du 15/01/1980 qui fixent les taux minima et maxima à collecter par les municipalités. La taxe communale directe *spécifique au service rendu* a été instituée par la loi n°74/25 du 5 décembre 1974 et prévoit des taux minima et maxima de 0,075 à 45,75 € par an pour les établissements payant patentes et licences et ayant un capital inférieur à 750 € par an. Cependant, cette taxe est sensée couvrir les dépenses d’éclairage public, d’ambulance et de ramassage des ordures ménagères sans toutefois mentionner l’assainissement des eaux usées urbaines. L’assiette de cette taxe est basée uniquement sur les salaires des fonctionnaires du secteur public et ceux du secteur privé inscrits dans le registre du commerce. Ce qui explique le faible niveau de contribution de cette taxe dans le financement de l’assainissement.

En effet, au cours des 15 dernières années, les différents rapports des services financiers de la CUY annoncent que la taxe communale directe constitue seulement 0,2% à 5% des recettes, y compris celles de 2002. Durant la même période, la contribution de son budget au financement de l’assainissement varie de 10% à 15% pendant que la part des recettes communales sur les dépenses dues à l’assainissement n’a pas dépassé 20%.

1.2.3. Le diagnostic technique des systèmes actuels d’assainissement des eaux usées

Les systèmes d’assainissement sont constitués d’ouvrages individuels (latrines et fosses septiques) et de réseaux d’égout alimentant des stations d’épuration.

1.2.3.1. Les dispositifs individuels d’assainissement des eaux usées

Ces systèmes sont utilisés par près de 98% des ménages de Yaoundé et les changements de tendance ne sont pas perceptibles pour les prochaines décennies compte tenu des limites des moyens mobilisés par les acteurs. Les ouvrages individuels regroupent :

- *les latrines traditionnelles à puits perdus* utilisées par plus des deux tiers des ménages, principalement ceux des bidonvilles. Elles sont constituées d’un puisard non étanche sur lequel repose une chape (en béton, terre ou bois) et une superstructure généralement en

matériaux de récupération (tôles, bois, contre plaqué, torchis, etc.). Son coût de réalisation varie de 90 à 110 € selon le matériau utilisé et le degré de finition de la superstructure. Ce coût représente respectivement près de 13% du coût total d'une maison en torchis de 63m² sur un terrain de 200m² non clôturé et 0,7% du coût total d'une maison de 250m² en parpaings de ciments sur un terrain de 600m² clôturé [Pettang et al., 1995]¹. Les latrines traditionnelles assurent le stockage des eaux usées et excréta. Leur proximité des points d'eau courants (puits et des sources) et leur localisation dans les emprises des zones inondables représente un risque majeur de contamination directe de la ressource en eau superficielle et souterraine.



Photo 1 : Latrines traditionnelles en zone lotie par la municipalité (gauche) ou la MAETUE (droite)

- *les latrines améliorées* est utilisé par près de 6% des ménages des quartiers d'habitat de moyen standing. Leurs fosses, dont l'étanchéité n'est pas toujours garantie, disposent d'un tuyau d'aération et de ventilation. Les murs sont en parpaings ou en briques de terre ; la dalle est en béton armé et l'ensemble est couvert d'une toiture en tôle. Le coût de réalisation varie entre 300 et 1 000 € suivant le type de matériau du mur et les parois de la fosse, soit en moyenne 39% du coût total de la maison en torchis et 3,4% du coût de la maison en parpaings de ciment. Les deux tiers de ce coût sont destinés à la réalisation des fosses consolidées et le tiers restant consacré à la superstructure [LESEAU, 2003].

¹ D'après Pettang et al. (1995), une maison en torchis (poto-poto) de 63m² construite par une main d'œuvre familiale sur un terrain de 200m² coûtait 770 € en 1995 et une maison de 250m² réalisée par des tâcherons sur un terrain de 600m² clôturé était évalué à 14 542 €.

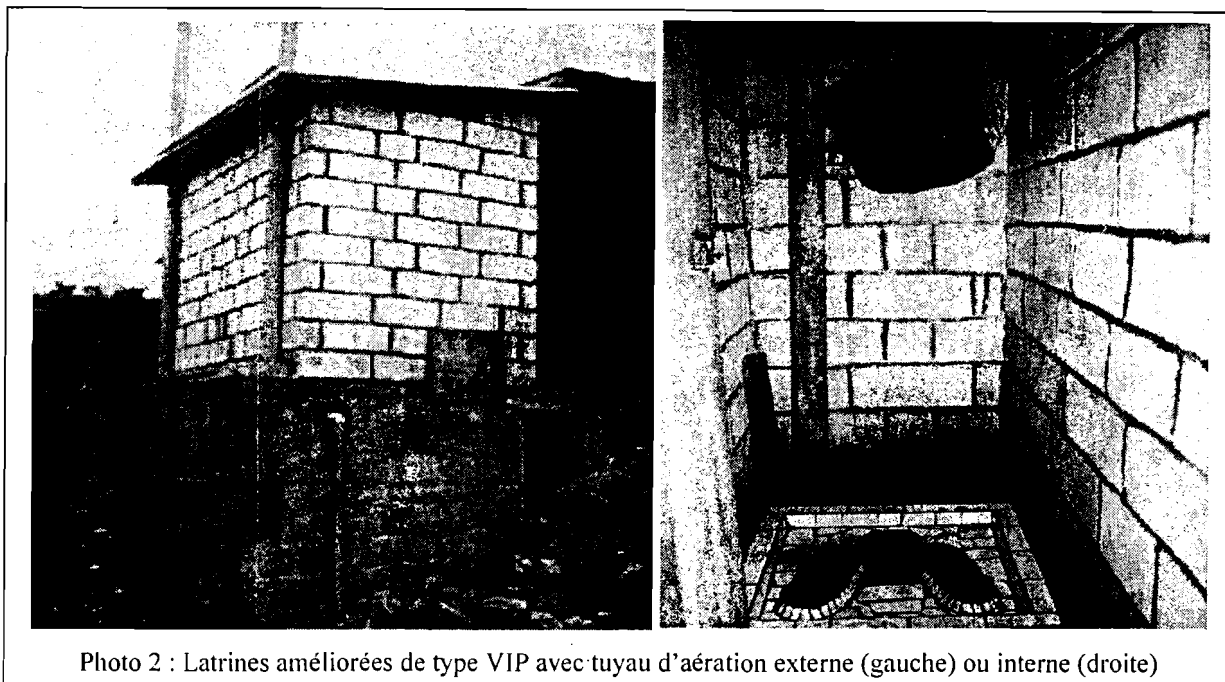


Photo 2 : Latrines améliorées de type VIP avec tuyau d'aération externe (gauche) ou interne (droite)

- *les fosses septiques* utilisées par 26% des ménages, sont composées d'un système de fosse septique et d'un puisard servant de réceptacle des effluents. La fosse septique est rarement étanche et le puisard est généralement en contact direct avec la nappe d'eau souterraine. Son coût de réalisation varie de 1.000 à 1.300 € selon le degré de qualification de la main d'œuvre et du volume de la fosse; ce qui représente en moyenne 132% de la maison en torchis contre 7,8% de la maison en parpaings de ciments.



Photo 3 : Fosse septique (gauche) et son regard de sortie (à droite) à l'Université de Yaoundé I

1.2.3.2. Les dispositifs collectifs d'assainissement des eaux usées

A travers la MAETUR et la SIC, l'Etat a financé la réalisation de réseaux d'égout et des stations d'épuration pour desservir certains quartiers structurés ou des groupes d'immeubles

administratifs. La superficie totale ainsi couverte est d'environ 170 ha à Yaoundé, soit moins de 2% de sa superficie en 2001. Moins de 2% des ménages y sont raccordés.

Tableau I.1 : Paramètres caractéristiques des stations d'épuration de Yaoundé

Station	Typologie du bassin collecté	Type de procédé	Date de mise en service	Capacité (Eq-H)	Débit journalier (m ³ /j)	Charge organique (kg DBO ₅ /j)	Cours d'eau exutoire
Biyem Assi	Résidentiel	Lagunage à macrophytes	1987	650	45	-	Biyemeu
Cité verte	Résidentiel	Boues activées	1982	12 000	1 020	570	Abiergue I
Grand Messa	Résidentiel	Boues activées	1968	4 500	450	243	Mingoa
Mendong	Résidentiel	Boues activées	1990	30 000	2 100	1 150	Mefou
Nsam (Phases 2)	Résidentiel	Boues activées	1985	29 014 (245 000)	5 943 (14 013)	2 031 (5 371)	Mfoundi
Lycée technique de Nkol Bisson	Ecole	Boues activées	1989	/	144	29	Abiergue I
Université de Yaoundé I	Ecole	Boues activées	1967	3 900	500	130	Olézoa
Centre hospitalier universitaire	Hôpital	Boues activées	1976	1 500	425	60	Olézoa
Hôpital de la Caisse	Hôpital	Boues activées	1990	/	120	15	Ebogo
Hôpital général de Yaoundé	Hôpital	Boues activées	1988	855	355	46	Ntem
Aéroport de Yaoundé - Nsimalen	Administration	Boues activées	1991	/	/	/	/
Garde présidentielle	Administration	Lit bactérien	/	/	/	/	Biyemeu
Palais de l'unité	Administration	Boues activées	1985	1 150	190	69	Ntem

Le tableau I.1 montre que la ville de Yaoundé dispose 13 stations d'épuration dont 11 boues activées, 1 lagunage à macrophytes et 1 lit bactérien en aval des fosses septiques. Ces stations traitent environ 5.229 m³/j d'eaux usées provenant de 54.555 Eq-H. L'achèvement des travaux de la station de Nsam (phases 1 et 2) et celle de Mendong pourrait multiplier par 6 les capacités actuelles avec 245.000 Eq-H supplémentaires et 14.000 m³/j de plus à traiter.

La station de Nsam, entièrement automatisée, est destinée à traiter les eaux usées collectées par le réseau d'égout du centre de Yaoundé. La capacité, pour la phase I, est d'environ 5.943 m³/j d'eaux usées avec une charge spécifique de 2 031 kg DBO₅/j produite par 29.014 Eq-H. La surface totale des installations est de 6.000 m² pour la phase I. Comme la plupart des stations d'épuration de la ville, celle de Nsam avait été conçue suivant les normes françaises (circulaire française du 07/07/1970 relative à l'assainissement des agglomérations). Un traitement de finition par lagunage aéré avait été envisagé. La phase II du projet prévoit la réalisation d'un deuxième bassin d'aération de 2.900 m³, d'un décanteur de 27 m de diamètre, d'un bassin de chloration, d'épaisseur des boues et l'achat d'un déshydratateur mécanique des boues. La station de Nsam, dont les travaux se sont arrêtés en 1987, est aujourd'hui à l'abandon malgré les investissements en matière de génie civil.

La station de Messa avait été réalisée pour traiter les eaux usées provenant de 480 logements de la SIC construites sur un site de 9 ha environ. Elle est actuellement en surcharge avec 15.000 habitants raccordés, soit un dépassement de capacité de plus de 10.000 habitants sur l'estimation initiale. La station de Messa est hors service depuis 1990 mais, la partie génie civil est encore

récupérable. Le système électromécanique est hors service et l'essentiel des équipements a été volé. Ces opérations coûteraient aussi cher que la construction d'une nouvelle station recalibrée. En effet, selon une évaluation du Ministère de l'environnement, la construction d'une nouvelle station pour traiter par le même procédé les effluents de 15.000 Eq-H est de 1,83 millions d'euros, soit un coût unitaire de 127 €/Eq-H. Le coût global pour la réhabilitation de cette station est de 1,68 millions d'euros, dont 1,04 millions pour les équipements électriques, 0,57 millions pour l'extension du génie civil et 0,075 millions pour le curage des canalisations, le nettoyage général et les liaisons nouvelles. En clair, les différences ne sont pas significatives. L'option d'un abandon total de cette station et d'un by-pass des canalisations vers le réseau général desservant la stations de Nsam est envisagé pour un coût estimatif de 0,1 millions d'euros : la station de Nsam n'est pas achevée.

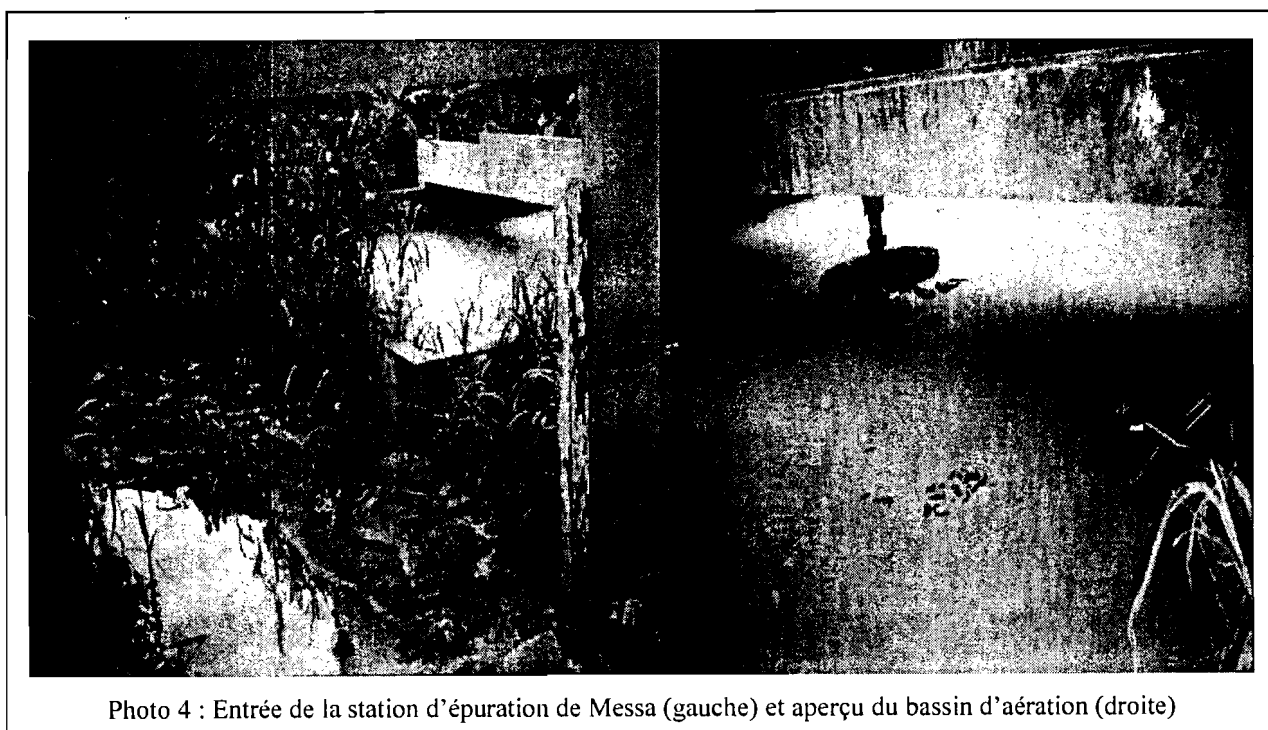


Photo 4 : Entrée de la station d'épuration de Messa (gauche) et aperçu du bassin d'aération (droite)

La station de la Cité Verte est hors service depuis 1989, 7 ans seulement après sa construction. Le génie civil est encore en bon état tandis que le réseau d'égout, en amont, présente de nombreux dysfonctionnements (cassures, fuites, obstruction, etc.). De plus, les éléments ayant une valeur ont été volés et d'autres sont irrécupérables. Les solutions envisageables sont, soit la réhabilitation de l'ensemble soit le by-pass vers le réseau général de Nsam par pompage dans des conduites de refoulement longues de 3 km. La MAETUR évalue la première option à environ 0,35 millions d'euros et à 0,85 millions d'euros le coût des travaux de la deuxième solution.

La station de Mendong fonctionne sur le même principe que celle de la Cité Verte. Le coût de construction d'une nouvelle station de lagunage devant traiter 1.200 m³/j produites par 10.000

Eq-H est estimé à 0,18 millions d'euros, soit 18,3 €/Eq-H ou 152,4 €/m³. La première étape de réalisation prévoyait un décanteur – digesteur. Cependant, en lieu et place de celui-ci, seuls de simples bacs de décantation ont été mise en place. Ces bacs sont totalement comblés par des déchets solides et les terres de remblais, déviant ainsi les eaux usées brutes dans le milieu récepteur. Le by-pass vers le réseau de Nsam nécessite une station de pompage de 30 l/s refoulant dans des canalisations longues de 5 Km ; ce qui coûterait environ 1million d'euros (soit 33 €/Eq-H). Cette option n'est donc pas économiquement viable ni techniquement faisable puisque la station de Nsam n'est pas fonctionnelle parce qu'inachevée.

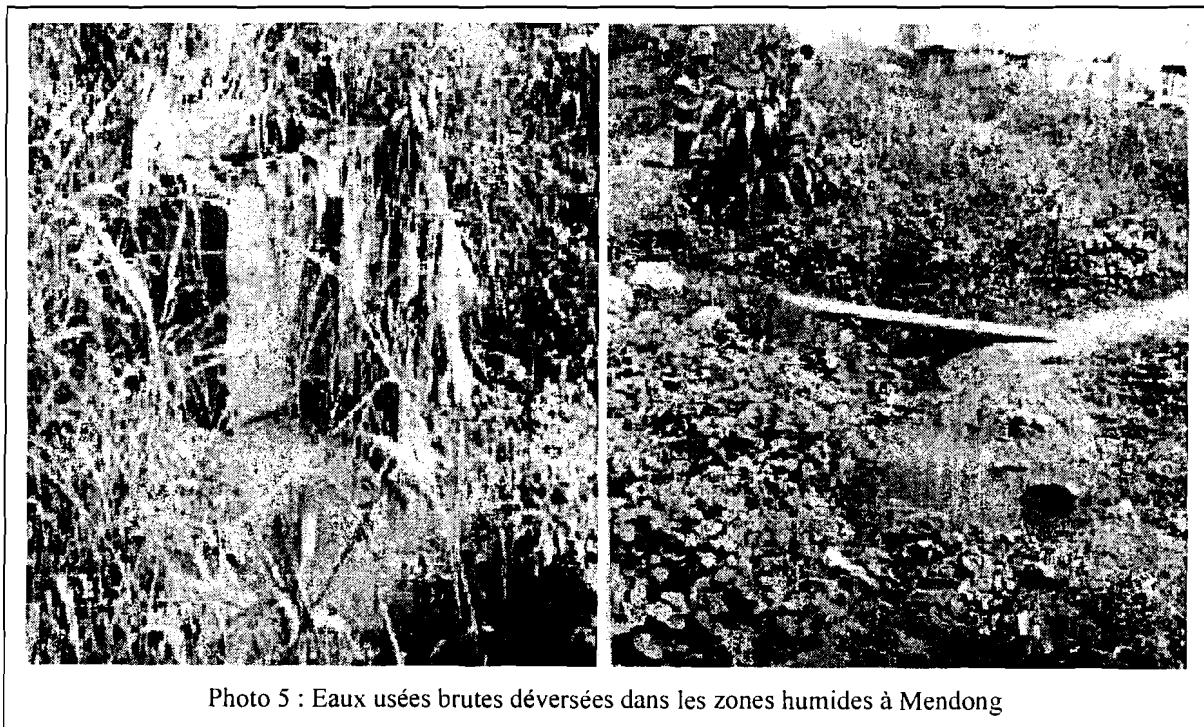
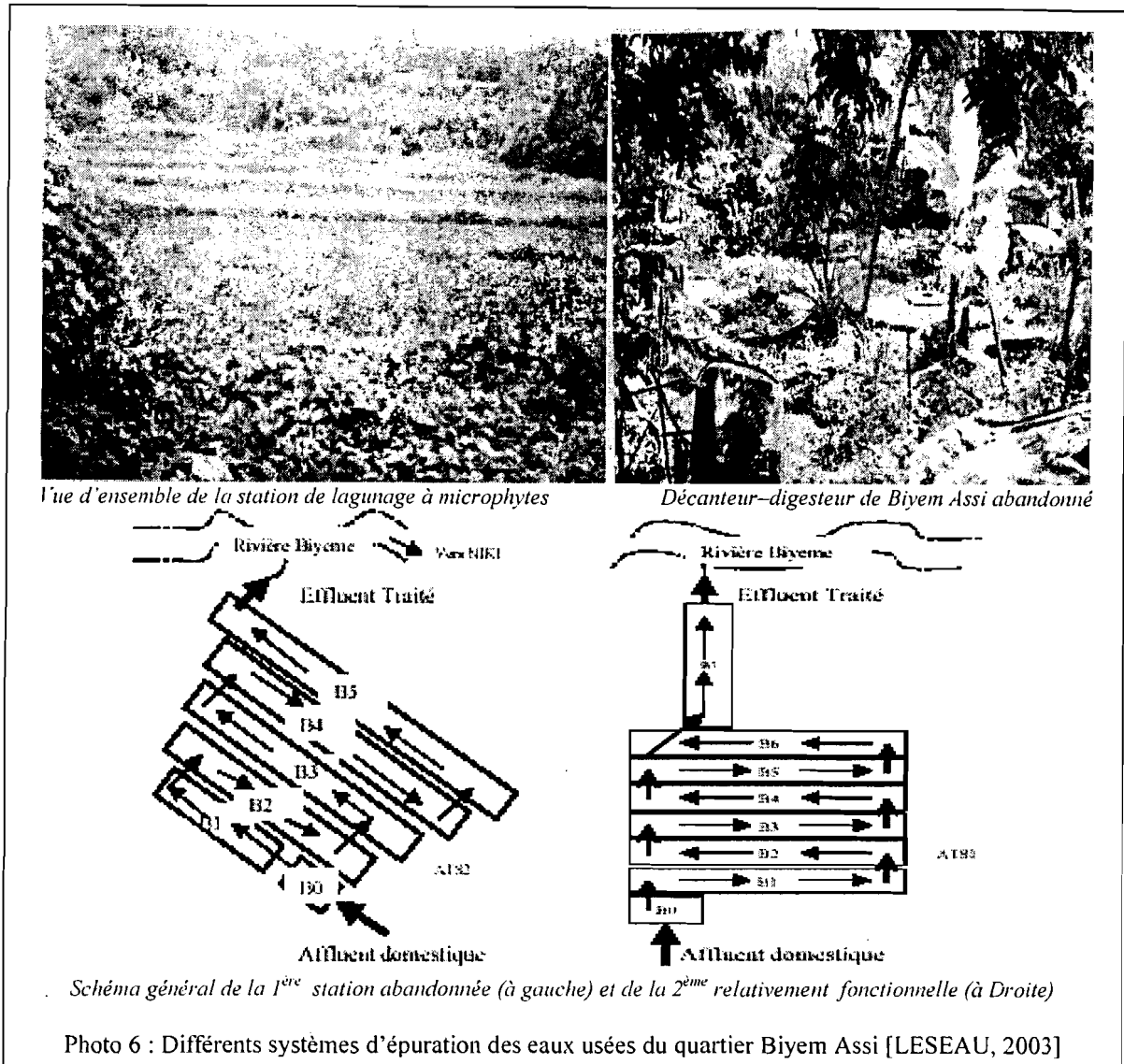


Photo 5 : Eaux usées brutes déversées dans les zones humides à Mendong

La station d'épuration Biyem Assi est la seule unité de lagunage de Yaoundé. Elle a été initiée par la MAETUR en raison de ses avantages économiques, techniques et environnementaux. Elle couvre près de 700 m² et comporte 8 bassins (dont 1 aérobie et 7 plantés de *Pistia stratiotes*) disposés en série et séparés par des digues en terre compactée. Cette station remplace la première construite en 1983 (photo 6) et qui comportait 6 bassins de stabilisation (dont 1 anaérobie et 5 à macrophytes). Une partie du quartier Biyem Assi avait également été dotée d'un décanteur – digesteur (photo 6) qui n'avait fonctionné que pendant 3 ans après sa réalisation [LESEAU 2003]. Sur le plan technique et de gestion, l'entretien et la maintenance du réseau sont très irréguliers et l'ouvrage présente plusieurs fissures par endroit. Comme actions urgentes, le diagnostic de cette station recommande, entre autres, de renforcer l'équipe d'entretien en personnel et en logistique, de réhabiliter les digues et une partie du réseau d'égout.



La station de l'Université de Yaoundé I a été construite pour desservir la cité universitaire, les laboratoires, les bureaux et les restaurants universitaires. Elle est en très mauvais état et en surcharge de capacité [LESEAU 2003]. Tous les éléments électromécaniques sont totalement défectueux de même que les canalisations et les regards de visite qui sont totalement bouchés ou fissurés par endroit. Aucun contrat d'entretien n'a jamais été souscrit depuis sa mise en service. Son remplacement par une station de lagunage est d'ailleurs préconisé pour un investissement évalué à environ 0,22 millions d'euros prenant en compte le renforcement et l'extension du réseau d'égout, la restauration des regards défectueux et la construction des bassins de stabilisation. Par contre, l'option de raccordement au réseau de Nsam coûterait 0,483 millions d'euros avec station de pompage ou 0,352 millions d'euros avec écoulement gravitaire : soit 3 à 4 fois l'option d'un lagunage.

Le Centre Hospitalier Universitaire (CHU) est doté d'une station à boues activées destinée à traiter des effluents provenant aussi bien des toilettes que de ces services spécialisés (hospitalisation, maternités, blocs opératoires, laboratoires, radiologies, etc.). Ces effluents sont

particulièrement toxiques contenant entre autres, des désinfectants, des alcools, des décapants, des solutions chlorées, des liquides gastriques, des produits liquides biologiques (sang, crachat, etc.), et autres produits chimiques et métaux lourds. La complexité de ces effluents n'a pas été prise en compte dans la conception des équipements. Les trois lacs piscicoles (Retenue, Atemengué, Obili) situés en contrebas reçoivent les rejets de cette station qui a cessé de fonctionner depuis 1987, faute de gestionnaire.

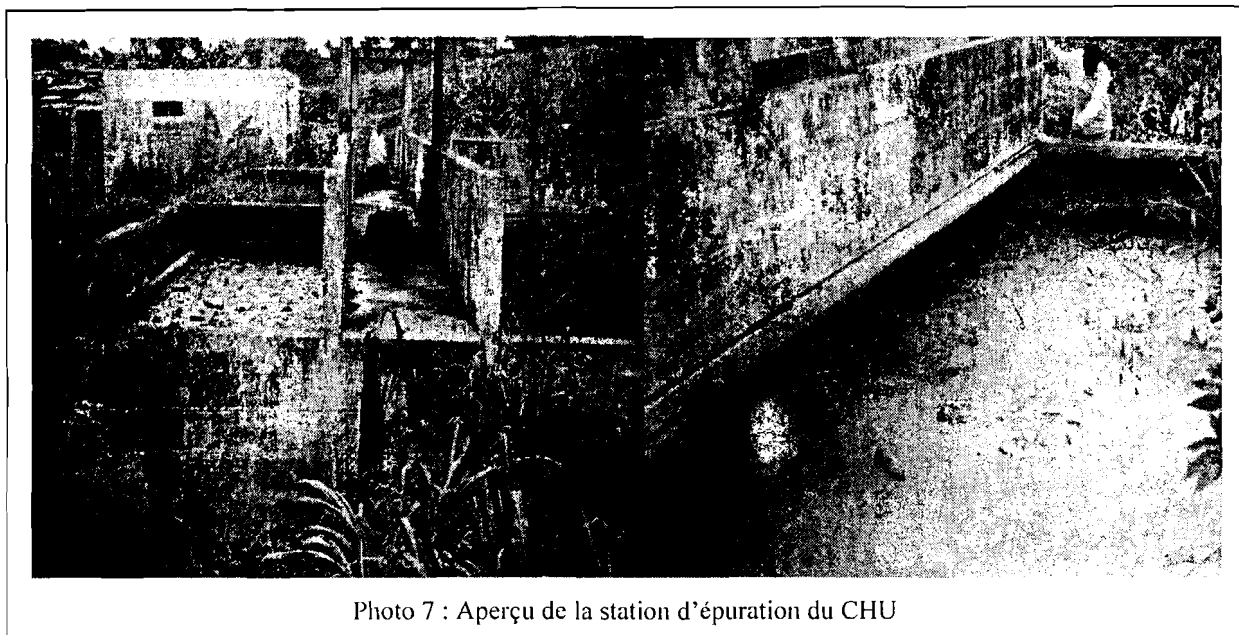


Photo 7 : Aperçu de la station d'épuration du CHU

La station de l'Hôpital Général de Yaoundé traite les eaux usées de la plus importante formation hospitalière moderne de cette ville dotée de 300 lits. Elle fonctionne relativement bien et prévoit la désinfection des effluents avant leur rejet dans la nature. L'entretien du système est régulier.

Les installations de l'Hôpital Général de la Caisse et du Lycée technique de Nkol Bisson bénéficient d'un entretien assez régulier.

La station à boues activées du Palais de l'Unité est destinée à l'épuration des eaux usées provenant des villas et des bâtiments administratifs de la Présidence de la République. Elle connaît des arrêts momentanés du fait des insuffisances d'entretien ou des lenteurs d'approvisionnement en pièces de rechange importées. En situation de panne, les effluents sont *by passés* directement vers le cours d'eau principal de la ville (Mfoundi).

Sur les 11 stations à boues activées, 9 sont en panne et abandonnées depuis plus de 15 ans, c'est à dire quelques années seulement après leur réalisation. La station à lit bactérien est également en panne. Les autres stations fonctionnelles survivent du fait de leur position stratégique (aéroport, présidence, hôpital général) ou de leur suivi à des fins de recherche (Biyem Assi).

Il découle de ce qui précède que la principale cause de l'abandon des stations d'épuration par boues activées est d'ordre économique à Yaoundé : les opérations d'entretien et de maintenance

requièrent des moyens financiers qui sont au-delà des capacités des exploitants de ces systèmes. L'irrégularité de ces opérations a entraîné des dysfonctionnements et l'endommagement des équipements électromécaniques. La remise en état de ces systèmes n'est pas évidente du fait notamment des coûts de restauration et de réhabilitation nettement prohibitifs.

I.3. GESTION URBAINE ET ASSAINISSEMENT DES EAUX USEES : LES ENJEUX A YAOUNDE

Il est difficile de dissocier la gestion urbaine de celle d'un service urbain tel que l'assainissement des eaux usées et excréta ; le dysfonctionnement de l'un est susceptible d'avoir des implications directes sur l'autre.

I.3.1. Des outils de gestion urbaine obsolètes et non opérationnels

Le schéma directeur d'aménagement et les plans de développement locaux ou des secteurs sont les documents de base sur lesquels s'appuient les politiques et les programmes de gestion urbaine. A Yaoundé, les derniers documents de ce type, qui ont été approuvés, datent des années '60. Une tentative de leur mise à jour avait été conduite au début des années '80 par le ministère en charge des questions d'urbanisme et les résultats n'ont cependant jamais été approuvés. Cette situation est générale à l'échelle nationale : sur 100 villes recensées en 1987, 31% ne disposent pas de plans d'urbanisme, 58% disposent d'un plan d'urbanisme non approuvé et 11% ont des plans d'urbanisme obsolètes puisqu'ils n'ont pas été mis à jour depuis plus de 30 ans [Onga Nana, 1995]. La situation n'a guère changé depuis lors.

D'autre part, la loi n°68/10 du 27 mars 1968 portant code de l'urbanisme et l'ordonnance 73/20 du 20 mai 1973 abrogeant le texte précédent, ne sont pas dotées de décrets d'application adoptés ou promulgués. Il en est de même du projet du décret sur l'aménagement urbain préparé en 1986, du projet de loi sur la planification urbaine de 1990 et des directives d'élaboration des Plans d'occupation des sols.

I.3.2. Un cadre institutionnel, source de conflits de responsabilité entre les acteurs

Le secteur de l'assainissement au Cameroun est caractérisé par un jeu d'acteurs dont le chevauchement des compétences est souvent source de conflits de responsabilité (tableau I.2). Le cadre juridique demeure flou et la répartition des compétences confuse. Selon le Ministère de l'environnement et de la protection de la nature, *le cadre dans lequel s'exécutent les actions de*

développement de ce secteur est marqué par des luttes d'influence et des rivalités entre les intervenants face à la passivité des autorités compétentes et à l'absence de structures de coordination et de plates-formes de concertation. En outre, la présence permanente de l'Etat, par le passé, n'a pas favorisé l'émergence réelle des municipalités dont les rôles et les compétences auraient pu s'affirmer et non négligé. Ce qui fait dire au ministère en charge du développement urbain que « malgré le contexte de décentralisation en cours au Cameroun, ces municipalités présentent toujours de nombreuses faiblesses, alors qu'elles disposent de plus en plus de prérogatives similaires à celles de l'Etat en matière de gestion urbaine ». En ce qui concerne Yaoundé, ce ministère relève que « les communes de cette ville ne jouent pas pleinement les rôles qui leur sont attribués ». Plusieurs raisons sont évoquées à ce sujet : les imprécisions dans la définition de leurs responsabilités et de leur mode de fonctionnement, la méconnaissance des besoins actuels des habitants, l'absence d'instruments de gestion, la faible qualification des personnels communaux et l'inadaptation des équipements de travaux publics.

Tableau I.2 : Répartition et chevauchement des compétences en matière de gestion des eaux usées au Cameroun [LESEAU, 2003]

Activités	Comité nation de l'eau	MINEE	MINTP	MINDU	MINATD	MINSANTE	MINEPN	Partenaires	SIC	MAETUR	CFC	SNEC	CUY	CUA	Entreprises	PREFET
Coordination des interventions et définition des responsabilités	■	■		■	■			■								
Définition des objectifs	■	■		■			■	■								
Capitalisation des informations		■		■						■		■				
Elaboration de la réglementation et des normes	■			■		■	■									
Conception des dispositifs		■		■			■		■	■						
Contrôle technique du projet		■	■	■			■						■			
Financement des investissements	■						■	■			■					
Réalisation des travaux				■						■		■			■	
Contrôle des chantiers et des équipements		■	■	■		■			■	■		■	■	■		■
Réception et transfert éventuel des équipements		■							■	■		■	■			
Sensibilisation des populations		■		■		■	■	■	■			■				

Le jeu des acteurs se complexifie davantage, avec des champs d'action qui prêtent à confusion tant les compétences des acteurs se superposent dans le domaine de la gestion des eaux usées urbaines. Cependant, ce chevauchement n'est pas une spécificité de l'assainissement (tableau I.2). Tous les secteurs de l'aménagement urbain en sont touchés du fait des logiques sectorielles et ministérielles. A ce propos, LESEAU et al., 2003, faisait remarquer à juste titre que « pour

chaque intervention en milieu urbain, de 4 à 11 acteurs sont officiellement concernés, souvent avec les mêmes attributions dans le cadre des missions similaires et chacun avec son propre budget, forcément limité ». A cette défaillance institutionnelle, il faut ajouter l'individualisme et l'absence, supposée ou réelle, de la volonté politique pour créer un espace de coordination et de concertation à toutes les phases des projets de gestion urbaine et des eaux usées. L'encadré ci-après, extrait de LESEAU (2003), est révélateur d'une telle situation ainsi que de la complexification du jeu des acteurs dans le cadre des projets de réalisation des stations d'épuration des quartiers SIC et MAETUR de Biyem Assi, Messa et Mendong.

Du rapport de LESEAU (2003), il ressort que le cadre juridique régissant l'assainissement des eaux usées au Cameroun est dépassé et facilite les dérives de la crise économique.

Le décret N°88/599, modifiant le décret n° 77/193 du 23 juin 1997 portant création de la MAETUR stipule pourtant que celle-ci est « chargée de l'entretien de certains réseaux et de certains équipements lorsqu'ils ne sont pas confiés à des concessionnaires ou à des collectivités ». Par ailleurs, l'article 2 du décret n°81/185 du 4 mai 1981, réglementant la réalisation des lotissements sociaux par la MAETUR stipule que celle-ci « doit remettre à l'Etat ou à ses ayants droit (concessionnaire ou municipalité) après exécution, les installations qui doivent rester la propriété publique ». En dépit de ces dispositions, la mise en place des stations d'épuration et des réseaux qui l'accompagnent n'obéit pas à un processus bien pensé et n'implique pas de relais à toutes les étapes.

L'Etat, les concessionnaires (SIC et MAETUR) et la Communauté urbaine de Yaoundé ne semblent pas disposés à s'entendre sur l'entretien des équipements, qui, il faut le signaler, n'est pas au départ, bien cerné à la fois sur le plan financier, organisationnel et technique.

En effet, pour n'avoir pas défini au préalable l'assiette financière devant assurer la continuité de l'entretien des systèmes, la MAETUR tente, depuis la réalisation des stations d'épuration, de céder ces ouvrages à la SIC sans succès. La MAETUR se justifie par le fait qu'elle n'a pas de compétence dans l'entretien des ouvrages ni dans le recouvrement des coûts à engager.

La SIC, en tant que propriétaires des logements qu'elle construit et des équipements collectifs réalisés par la MAETUR, prélève chaque mois environ 7,7% des recettes perçues pour la maintenance de ces équipements. Cependant, elle refuse de prendre en charge les stations d'épuration et se défause à la commune.

La municipalité de Yaoundé, quant à elle, récuse de prendre la responsabilité des systèmes et de les incorporer dans son patrimoine. Les raisons évoquées sont, entre autres, la non livraison des plans de recollement qui ne sont d'ailleurs pas actualisés, l'insuffisance des fonds affectés à l'entretien dans le budget communal. La Mairie espère des subventions de la part de l'Etat et pense que la SIC devrait lui consacrer un pourcentage des loyers perçus pour l'entretien du parc immobilier et ses équipements.

Dans cette situation de blocage, le trio des acteurs SIC – MAETUR – Communauté urbaine ignore silencieusement le problème de dysfonctionnement des systèmes et les nuisances qui en découlent. L'arbitrage de l'Etat est souhaitable.

I.3.3. Un système de gestion foncière problématique et ignoré des usagers

A l'analyse du régime foncier camerounais [République du Cameroun, 1976; Tanawa, 1992], il ressort que la gestion foncière est un enjeu majeur au Cameroun, eu égard aux contraintes telles que :

1. La complexité de la réglementation foncière, qui, malgré les efforts entrepris, reste méconnue des usagers.
2. Le non respect des statuts fonciers des domaines publics et privés qui facilite leur occupation illégale et non réprimée. En outre, le domaine privé de l'Etat n'est pas

clairement délimité tandis que le domaine privé des particuliers n'est pas aisément régularisé entraînant ainsi des risques de superposition sur le même domaine des droits fonciers dûment reconnus. Les cartes foncières de référence sont quasi-absentes ou non actualisées, ce qui rend difficile le contrôle des occupations.

3. L'insuffisance d'encadrement : les moyens disponibles sont limités et inadaptés. En outre, le personnel n'est pas suffisamment formé pour les tâches qui lui sont confiées et ne maîtrise pas les nouvelles techniques de gestion foncière.
4. Des procédures foncières lourdes parce que fortement centralisées et donc caractérisées par la multiplicité des intervenants : la centralisation, au niveau ministériel, des visas de contrôle - même pour des dossiers de demande d'immatriculation absolument en règle au niveau local - est à l'origine de lourdeurs et de risques d'erreurs.
5. Des campagnes de contrôle et d'évaluation irrégulières auxquelles s'ajoutent des sanctions rarement appliquées : cette situation conforte, dans une certaine mesure, l'occupation illégale des domaines publics ou privés de l'Etat et ouvre les portes au marché foncier informel dont la production foncière se fait à partir des transactions basées la plupart du temps sur le droit coutumier, non officiellement enregistré.

La complexité des procédures foncières au Cameroun est telle qu'en 2001, moins de 20% des logements construits à Yaoundé ne sont pas immatriculés et donc ne sont pas dotés de permis de bâtir ; de plus, les filières informelles, procédant aux morcellements illégaux sans appui des techniciens, représentent 70% des transactions immobilières dans cette ville [Tanawa et al., 2001]. Cette situation est quasi généralisée dans les villes africaines. La lourdeur des procédures d'acquisition des permis de bâtir et des titres fonciers est telle qu'entre 1980 et 2000, le taux d'illégalité des constructions dépasse parfois les 90% dans certaines villes : 400 permis délivrés sur 5.000 logements construits à Kigali (Rwanda), 400 logements autorisés contre 8.500 construits à Antananarivo (Madagascar), 250 permis de bâtir sur 4.500 logements construits chaque année à Freetown (Sierra Leone) [Pages, 1980 ; CNUEH, 2001].

1.3.4. Des stratégies de « l'habitat pour tous » non adaptées au contexte de pauvreté

D'une manière générale, le continent africain est caractérisé par une politique nationale de logement inefficace puisqu'elle ne satisfait que moins de 15% des besoins exprimés. Entre 1980 et 2000, cette situation est critique dans certaines villes : Antananarivo (5%), Freetown (6%), Kigali (8%) et Yaoundé (10%) [Pages, 1980 ; MINUH ; 1996 ; CNUEH, 2001].

Aggravée par un déficit d'information et de coordination, cette situation ouvre la voie au secteur

informel dont l'offre en logements se fait généralement sur des sites spatialement mal organisés et dépourvus de voiries et de réseaux divers. C'est ainsi que l'architecture urbaine en Afrique subsaharienne est assez contrastée par l'opposition de deux grands types de tissu urbain :

- la ville planifiée et/ou administrée, regroupe les quartiers résidentiels de standing, les centres administratifs, commerciaux et industriels dotés d'une trame de voirie bien marquée ; ce tissu regroupe moins de 40% des citoyens sur l'ensemble du continent africain. Dans la ville de Yaoundé, deux principaux types d'habitat font partie de cet ensemble bâti sur des terrains lotis. L'habitat de moyen standing est caractérisé par une densité de population d'environ 150 habitants/ha habitant des maisons dotées de jardins. Les zones loties par la Mission d'Aménagement et d'Équipement des Terrains Urbains et Ruraux (MAETUR) et celles construites par la Société Immobilière du Cameroun (SIC) en font partie et sont généralement dotées de réseaux d'égouts alimentant un dispositif de traitement. L'habitat de haut standing est moins dense (moins de 100 habitant/ha) avec des villas ou appartements munis de jardins ; le niveau d'infrastructures de base (eau, assainissement, etc.) est relativement plus élevé [Tanawa et al., 2001].
- la ville spontanée ou bidonvilles, représente les quartiers denses et insalubres, à statut foncier précaire et occupés par des maisons construites avec des matériaux provisoires ; ce tissu abrite plus de 3 ménages sur 5 en Afrique : 90% à Kigali, Kinshasa et Addis-Abeba, 75% en Zambie et 70% à Yaoundé [Pages, 1980 ; MINUH, 1996 ; LESEAU, 2002]. Leur prolifération est généralement le fait de l'insuffisance des terrains constructibles et la difficulté d'accès aux parcelles viabilisées trop coûteuses pour les ménages pauvres. Ce type de tissu urbain se compose de 3 sous groupes dont la différence notable se situe au niveau de la densité des habitants : l'habitat spontanée dense (avec plus de 300 habitants/ha), l'habitat spontanée peu dense (de 200 à 300 habitants/ha) et l'habitat semi-rural en voie de densification (avec moins de 100 habitants/ha). Généralement, le niveau d'infrastructures est rudimentaire et les services urbains de base sont quasi-absents [Tanawa et al., 2001].

I.3.5. Une croissance urbaine rapide et non maîtrisée

Le taux de croissance démographique de la ville de Yaoundé est 4,7% par an [RGPH, 1987 ; MINEF, 1996 ; FAO, 2002 ; LESEAU, 2003]. Les tendances observées depuis 1976 (figure I.1), avec des taux annuels de 6,2% entre 1977 et 1990 et de 5,8% entre 1991 et 1999, permettent de dire que la population de cette ville sera d'environ 2 millions en 2015 et 2,7 millions en 2010. La population de Yaoundé a tendance à doubler presque tous les 10 ans et son évolution est

assimilable à la courbe en puissance de la figure I.1.

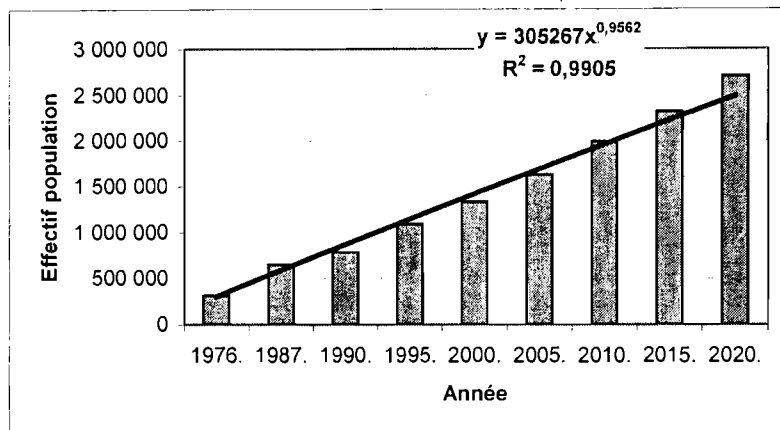


Figure I.1 : Tendence d'évolution de la population de Yaoundé à l'horizon 2020

Pour les vingt prochaines années, le rapport de la population rurale à la population totale va continuer de décroître et atteindrait le seuil de 30% à l'horizon 2020 tandis que la population urbaine va s'accroître successivement de 20% en 1964, à 29% en 1976, 38% en 1987 et 58% en l'an 2000 (figure I.2). A l'horizon 2020, l'armature urbaine au Cameroun sera toujours dominée par Douala et Yaoundé qui ont aujourd'hui un taux de métropolisation² supérieur à 37%. Cependant, le taux d'urbanisation primatale³, qui est de 18% environ, connaîtra une baisse modérée jusqu'à 15,4% en l'an 2020.

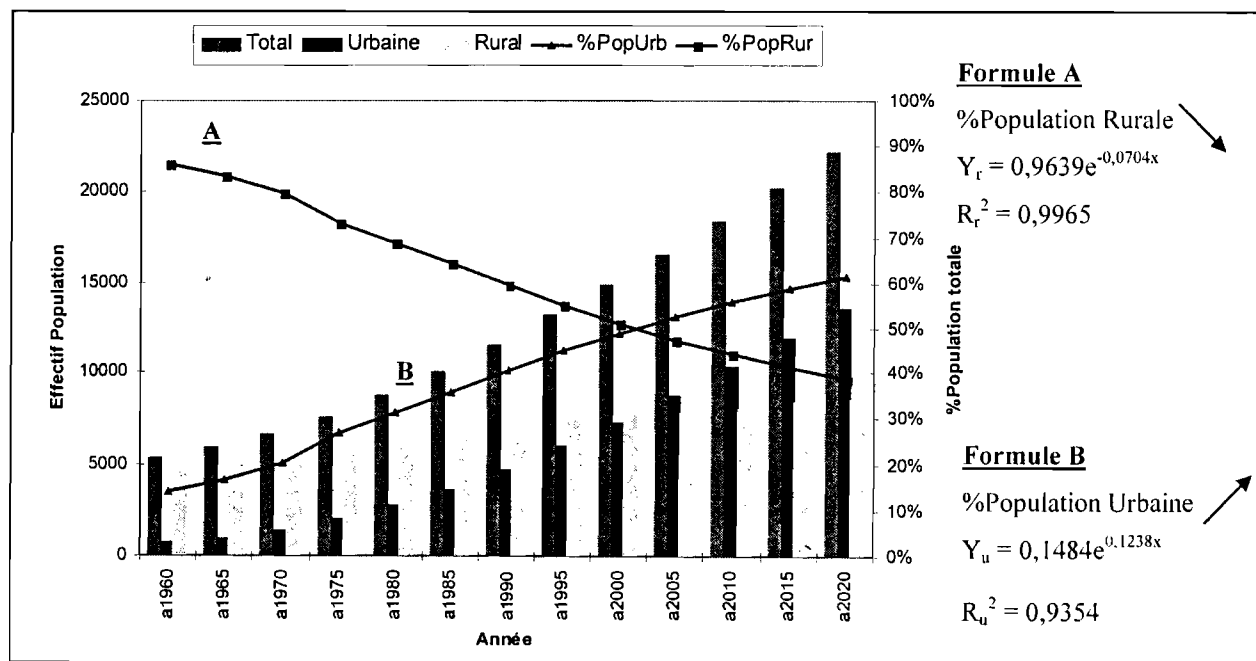


Figure I.2 : Evolution comparée de la population urbaine et rurale par rapport à la population totale du Cameroun de 1960 à 2020 [traité de RGPH, 1987 ; DSCN, 1993, 1996 ; FAO, 2002].

La croissance exponentielle de la population de Yaoundé entraîne une forte demande en parcelles d'habitation et en espaces pour les équipements, des infrastructures communautaires et autres services publics.

² Effectif total de la population de toutes les villes millionnaires en 1992, rapportée à la population urbaine totale du pays.

³ Population de la Capitale rapportée à la population urbaine totale du pays.

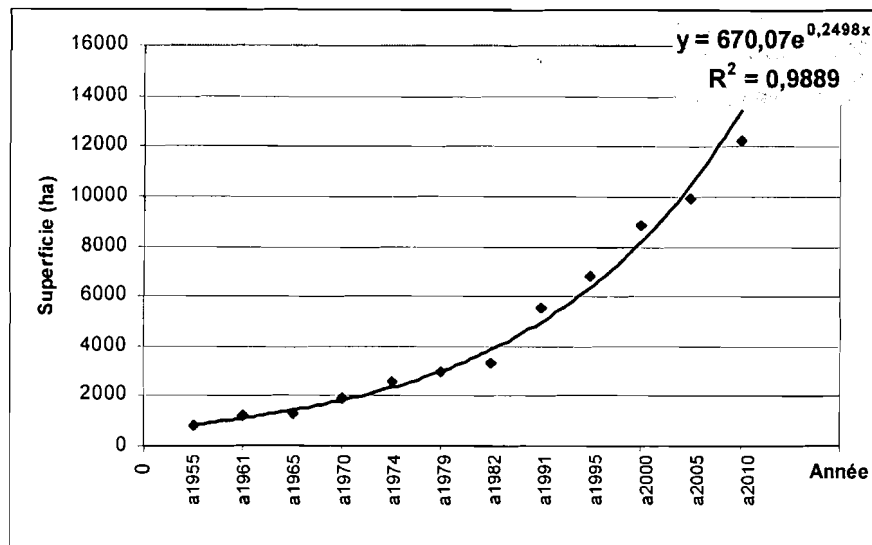


Figure I.3 : Evolution de la superficie (en ha) de Yaoundé de 1955 à 2010.

La figure I.3 montre une croissance rapide de la superficie urbaine avec un doublement tous les 20 ans. Cette forme de croissance, qui résulte de la conjonction de la croissance démographique et de l'exode rural, n'est pas un phénomène propre à la ville de Yaoundé et au Cameroun. Il s'agit d'une situation quasi-générale sur le continent africain dont la population urbaine a été multipliée par 9 entre 1950 et 2000 (figure I.4). Les projections à l'horizon 2030, montrent que le continent africain comptera environ 800 millions de citoyens et plus d'un africain sur deux vivra en ville. [Baudouin, 1995 ; PNUD, 1996, 2000 ; Requier-Desjardins, 1998 ; CNUEH, 2001 ; Nations Unies, 2001].

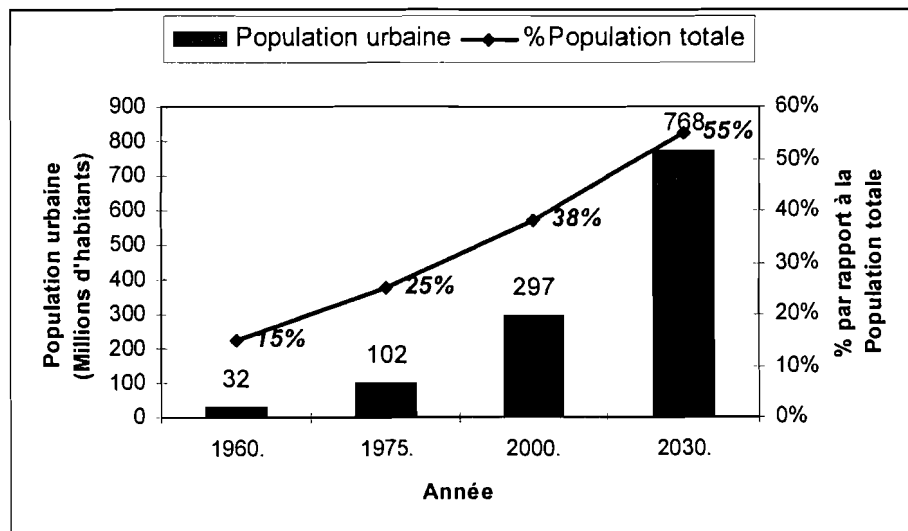


Figure I.4 : Evolution de la population urbaine africaine (Source : ONU-Afrique Relance. <http://www.un.org/french/ecosocdev/>)

Cette tendance globale cache cependant des disparités entre les régions et à l'intérieure d'un pays donné :

- les pays du Maghreb (Libye, Tunisie, Maroc, Egypte, etc.), ceux du Golf de Guinée (Gabon, Congo, Cameroun, Nigeria) auxquels s'ajoutent le Sénégal, la Côte d'Ivoire et l'Afrique du Sud ont un niveau d'urbanisation relativement élevé : de 41 à 100% [ONU, 2000].

- à l'intérieur d'un même pays, le développement urbain se focalise en général sur deux pôles (les capitales politiques et économiques) au détriment des villes secondaires. C'est le cas au Bénin (Cotonou et Porto Novo), au Burkina Faso (Ouagadougou et Bobo Dioulasso), au Cameroun (Yaoundé et Douala), en Côte-d'Ivoire (Abidjan et Bouaké), au Ghana (Accra et Kumasi), au Gabon (Libreville et Port Gentil), au Congo (Brazzaville et Pointe Noire), au Nigeria (Lagos et Abuja).

I.3.6. Une baisse drastique des ressources financières face à des problèmes sans cesse croissants

A la fin des années '80, le Cameroun est confronté à une crise économique et financière aiguë marquée par une décroissance de l'ordre de 3 à 4% par an. Cette situation amènera le Gouvernement à adopter une série de mesures de récession budgétaire. Entre 1980 et 2000, la restriction drastique des investissements publics dans le secteur urbain se fera ressentir avec acuité dans le développement et l'exploitation des infrastructures et équipements urbains : en 1996, ces investissements ne permettent de couvrir que moins de 10% des besoins des villes du pays. Durant la même période, la participation de la municipalité se fera également rare dans ces secteurs compte tenu de l'insuffisance des moyens matériels, humains et financiers dont elle dispose. Les actions de quelques particuliers, en vue de créer de nouveaux systèmes ou d'entretenir ceux existants sont insuffisantes. La pauvreté urbaine, qui se manifeste surtout par le chômage, la baisse des revenus de consommation, les difficultés d'accès aux services sociaux essentiels et l'habitat précaire, atteint près du tiers des ménages au Cameroun. A Yaoundé, le revenu *per capita* a baissé de plus de 50% entre 1984 et 1996, le niveau de chômage a atteint plus de 31% des jeunes en âge d'activité. Les causes principales sont, entre autres, le faible tissu industriel et l'hypertrophie du secteur tertiaire au détriment du secteur informel [MINUH, 1996].

Jusqu'à la fin de l'année 2002, cette tendance aux ralentissements des investissements en milieu urbain ne s'est pas inversée au Cameroun, d'où davantage de quartiers précaires et la dégradation progressive des infrastructures existantes (voirie urbaine, eau potable, assainissement, stations d'épuration, etc.) du fait de l'insuffisance des mesures d'entretien.

Au Cameroun, le budget alloué par le ministère en charge de l'eau et de l'énergie n'était que 76 000 € tandis que celui destiné à l'approvisionnement en eau était 20 fois plus élevés (environ 1 519 856 €). Cette situation particulière du Cameroun est représentative de l'ensemble du continent africain. Selon l'OMS (2000), citée par LESEAU (2003), le taux de connexion au réseau d'égout est un indicateur d'évaluation des investissements publics dans le secteur de l'assainissement des eaux usées [LESEAU, 2003]. La situation de Yaoundé en particulier et des

grandes agglomérations d'Afrique sont révélatrices de la faible implication des Etats dans le financement des programmes de financement. En effet, l'assainissement des eaux usées urbaines ne constitue pas une priorité dans les dépenses publiques ou dans l'aide étrangère en Afrique. En effet, des 4,5 milliards US\$ investis dans les programmes d'approvisionnement en eau potable pendant les années '90, seuls 0,5 US\$ avaient été utilisés dans le domaine de l'assainissement. De ces 4,5 US\$, seuls 30% relevaient des budgets d'investissement nationaux et 70% provenaient du financement externe [OMS, 2000; citée par LESEAU, 2003]. Dans un champ plus global, le CNUEH reconnaissait également qu'en 2001, moins de 1,6% des investissements publics avaient été consacrés au développement urbain et tout juste 3,5% de l'aide multilatérale étaient destinées aux villes. La crise économique qui continue de sévir en Afrique n'apporte pas de solutions immédiates à l'entretien et à la maintenance des acquis [CNUEH, 2001].

I.3.7. Un environnement urbain exposé à la pollution par les eaux usées

Les dysfonctionnements des systèmes d'assainissement des eaux usées et excréta de Yaoundé font de ces ouvrages des sources de nuisance pour l'Homme, de contamination des ressources naturelles et de dégradation de l'environnement urbain.

La problématique de la gestion des eaux usées dans la ville de Yaoundé se situe aussi bien en amont qu'en aval de la mise en service des systèmes d'assainissement.

Le choix des systèmes d'assainissement, notamment les ouvrages collectifs avec des stations d'épuration à boues activées en bout de filière, représentait une option séduisante pour les responsables structures impliquées l'aménagement des parcelles et la construction des logements sociaux au Cameroun. LESEAU et al. (2003) reconnaît que « *la transposition des méthodes occidentales n'est pas le fruit d'une simple influence culturelle mais d'une politique concertée avec le soutien financier et méthodologique de la France* ». Les cités SIC sont, en effet, calquées sur celles des grands ensembles habités français de l'époque. De plus, ces stations ont été construites pendant la période de prospérité et leurs coûts élevés, qui intègrent les honoraires des consultants, les frais d'importation des équipements, etc., étaient un gage de l'efficacité de ces systèmes [LESEAU, 2003]. En l'absence d'études complètes, la conception de ces stations n'a pas été réalisée sur la base des ratios spécifiques de production des eaux usées et les comportements des ménages utilisateurs. Ainsi, les paramètres utilisés lors du dimensionnement des ouvrages sont, dans la réalité, des valeurs par défaut généralement non justifiées par rapport au contexte du projet. Cet éloignement de la spécificité du milieu est à l'origine de la mise en place d'ouvrages inadaptés avec des investissements parfois trop élevés. La dispersion des sources d'acquisition des données accroît les difficultés de synthèse. Pour ce qui concerne la station de lagunage de

Biyem Assi, LESEAU et al., (2003) reconnaît que le processus de dimensionnement, bien qu'ayant été breveté, n'a pas été adéquat. Aucun essai n'avait été entrepris pour dégager les critères objectifs de dimensionnement. Ce qui justifie, en quelques sortes, les surcharges des capacités réelles des systèmes quelques années après leurs mises en service.

Sur le plan technique, l'on relève des malfaçons, surtout sur les ouvrages autonomes. Pour les ouvrages autonomes, les défauts de mise en œuvre et l'usage de matériaux non adaptés entraîne des insuffisances d'étanchéité et dont des risques pour la contamination des ressources en eau. Les odeurs qui se dégagent de ces systèmes et les insectes vecteurs de maladies qui s'y développent sont le fait de l'absence de dispositifs d'aération. L'insuffisance des vidange, compte tenu des faibles revenus des ménages qui les disposent et la précarité des services, justifient le débordement des ouvrages. Le diagnostic des systèmes collectifs montre de nombreuses défaillances techniques attribuables aussi bien aux concepteurs qu'aux constructeurs. Le long des réseaux d'égout, quels que tassements de sols occasionnent les ruptures des canalisations et la déstabilisation de la structure des chaussées. A cela s'ajoutent la distance relativement grande entre les regards (plus de 150 m dans certains cas) pose le problème d'entretien des canalisations bouchées. La proximité des stations d'épuration des habitations (moins de 5 m à Biyem Assi par exemple) constitue une nuisance importante, alors que la norme recommande 100 m au minimum. Aucun dispositif de drainage des eaux de ruissellement n'a été installé pour éviter l'inondation des stations pourtant implantées dans l'emprise des zones humides. L'absence de clôture et de dispositifs de prétraitement en amont de la station de lagunage de Biyem Assi est une cause du comblement rapide des bassins de stabilisation par les ordures ménagères déversées par les riverains et les utilisateurs de ces équipements. La mauvaise configuration des bassins (faible largeur des digues, absence de by-pass des bassins, faible espace de circulation entre les bassins, est telle qu'il est difficile d'intervenir en cas de panne.

Sur le plan organisationnel, le responsable du patrimoine, en charge de l'exploitation des équipements, n'est pas clairement désigné. Bien que les acteurs en présence reconnaissent à la municipalité les compétences en matière d'assainissement, le flou juridique et les conflits de compétences limitent les chances de pouvoir identifier le partenaire raisonnable avec qui communiquer ou négocier. Dans un tel contexte juridique, la procédure du transfert des équipements, du privé vers le public, n'est pas effective lors du montage des opérations. Les ressources mobilisées pour l'entretien et le suivi des systèmes sont inadéquates et limitent la culture de la maintenance régulière : personnel qualifié insuffisant, moyens matériels et financier limités. L'insuffisance de veille sur les équipements et le non respect des normes de construction sont également des facteurs d'aggravation du dysfonctionnement des systèmes.

Sur le plan socioculturel, le comportement malveillant des usagers laisse à désirer. Ils ont la propension à rejeter les déchets solides dans les égouts qui, en l'absence de dispositifs de prétraitement, obstruent les regards ou se retrouvent dans ouvrages d'épuration. Ce désajustement entre les pratiques sociales et les équipements techniques contribue à réduire les chances d'autocurage des canalisations. L'insuffisance d'information sur la localisation des réseaux entraîne également des ruptures des canalisations lors des travaux des riverains. De plus, l'image des « techniques importées » est associée à celle des « techniques imposées ou inconnues » auxquelles les usagers n'ont pas été sensibilisés.

LESEAU et al., (2003) fait remarquer que « les multiples pannes dans des stations modernes à boues activées font découvrir avec désarroi, le poids de la maintenance, la face cachée des dispositifs techniques sophistiqués. De plus, le traumatisme ressenti par les cadre de la SIC va au-delà de la déconvenue du technicien, c'est un édifice culturel qui s'effrite ».

Les tentatives de rémediation butent sur l'inorganisation du secteur et surtout le coût de la dégradation du milieu naturel. Ce qui laisse dire au ministère en charge du développement urbain « la dégradation des ressources naturelles, principalement les ressources en eaux, est un désinvestissement important pour les municipalités camerounaises en général » [MINUH, 1996].

Les résultats des diagnostics de quelques installations concourent à 3 options possibles : la réhabilitation, le by-pass de l'ensemble sur le réseau global de Nsam ou le remplacement des systèmes par boues activées par des lagunages (figure I.6).

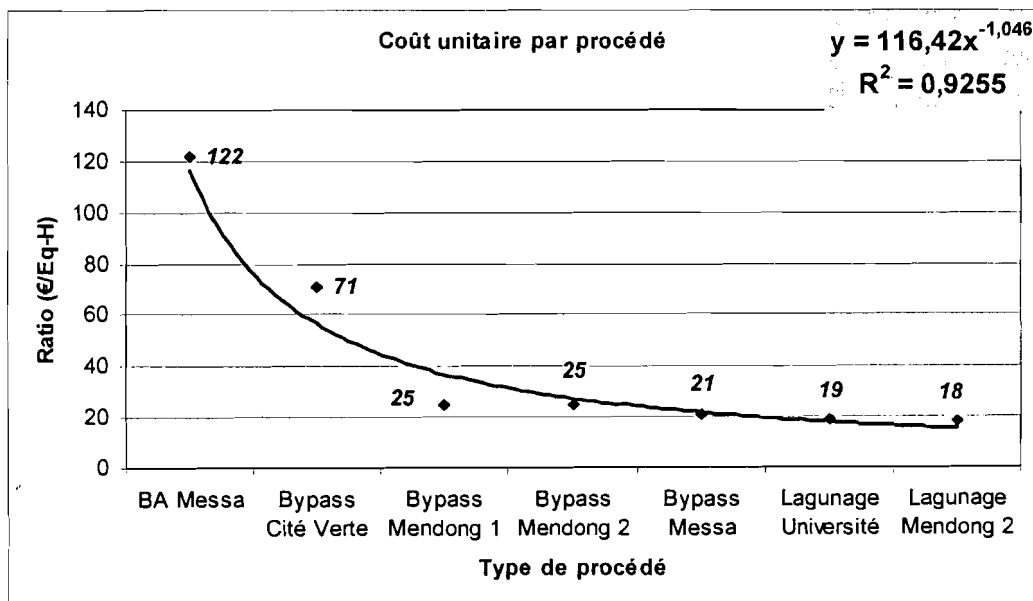


Figure I.5 : Variation en fonction des options et des stations, des coûts unitaires (en €/Eq-H) correspondants (Traité des études du MINEF en 1996)

En rapportant les coûts totaux de chaque option à la capacité des stations correspondantes, nous remarquons que les ratios correspondants sont plus élevés pour les procédés par boues activées, relativement moindres pour un by-pass des réseaux actuels vers Nsam et davantage plus faibles

si l'on envisage de remplacer les systèmes intensifs par le lagunage naturel (figure I.6).

Tableau I.3 : Répartition des coûts (en millions d'euros) des différentes options techniques pour quelques stations

Station	Capacité (Eq-H)	Coût total (X million d'euros) par type d'option		
		Nouvelles par Boues activées	Bypass sur le réseau de Nsam	Nouvelles par Lagunage
Messa	15.000	1,83	0,51	0,28
Cité verte	12.000	1,46	0,41	0,22
Mendong 1 (boues activées)	30.000	3,66	1,02	0,55
Mendong 2 (lagunage)	10.000	1,22	0,34	0,18
Université	3.900	0,48	0,13	0,07
Biyem Assi	650	0,08	0,02	0,01
Total	71.550	8,73	2,44	1,32

Le tableau I.2 présente les coûts globaux en fonction des options techniques envisagées. Il a été établi sur la base des moyennes des coûts unitaires (en €/Eq-H) déduits des estimations menées par le Ministère de l'environnement en 1996 [MINEF, 1996]. Les 6 systèmes étudiés correspondent à 71.550 Eq-H et nécessitent environ 8,7 millions d'euros (soit en moyenne 122 €/Eq-H) pour les remplacer par de nouveaux systèmes à boues activées. Cependant, il en faudrait près de 4 fois moins (2,44 millions d'euros ou 34,2 €/Eq-H) pour *by-pass* les réseaux existants vers le réseau global de Nsam, station abandonnée depuis près de 15 ans pour cause de rupture de financement juste après avoir achevé la partie génie civil. Enfin, il faudrait mobiliser 7 fois moins de budget (1,32 millions d'euros, soit alors 18,4 €/Eq-H) pour remplacer les systèmes intensifs (boues activées) par des systèmes naturels (lagunages). LESEAU (2003) estimait à 299,41 millions d'euros, la somme nécessaire pour réhabiliter l'ensemble des réseaux d'égout et la mise en marche de toutes les stations à boues activées qui sont hors d'usage à Yaoundé. Ces chiffres montrent que la réalisation des techniques intensives et leur exploitation sont les plus coûteuses pour la municipalité (figure I.7).

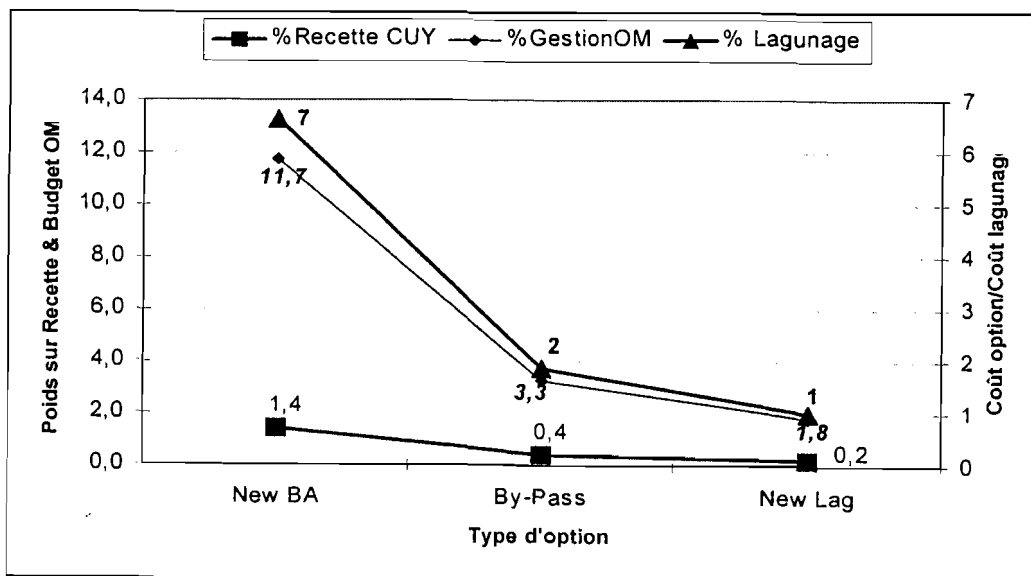


Figure I.6 : Poids comparé des différentes options techniques sur la recette municipale (moyenne du budget de 1987 à 1991 de la CUY)

Ainsi, pour satisfaire moins de 75.000 habitants, la construction de nouvelles stations par boues activées consommera environ 1,4 fois la moyenne du budget annuel de la Communauté urbaine de Yaoundé entre 1987 et 1991 ou alors 12 fois environ de la contribution de cette municipalité pour le financement de la gestion des ordures ménagères produites dans la ville au cours de la même période. Le by-pass des réseaux actuels vers le réseau global de Nsam, représente 40% de la moyenne de ce budget et plus de 3 fois la contribution pour la gestion des ordures ménagères. Par contre, le remplacement des stations à boues activées par des systèmes de lagunage, à capacité égale, nécessite 20% de la moyenne du budget de 1987 à 1991 et moins de 2 fois la contribution à la gestion des déchets solides. Ces ratios sont encore plus importants, si l'on rapporte les coûts de chaque option sur la taxe communale (59 fois pour la première option contre 9 fois pour la dernière option) ou sur la part des recettes dues à l'enlèvement des ordures ménagères à Yaoundé entre 1987 et 1991 (178 fois pour des nouvelles stations par boues activées contre 27 fois pour les nouveaux systèmes par lagunage).

En clair, l'investissement est plus important si l'on envisage de construire ou de réhabiliter les stations d'épuration par boues activées plutôt que de réaliser des systèmes extensifs. Il en est de même de l'exploitation. Agendia et al., (1994), cités par LESEAU (2003), se basant sur les données d'exploitation de la station à boues activées de la Cité Verte fournies par SOGREAH (1993), relevait que l'exploitation de la station de lagunage de Biyem Assi nécessitait 18 fois moins de moyens financiers.

Nous retiendrons donc que la ville de Yaoundé représente un cas typique des agglomérations africaines à partir des aspects suivants :

- la représentativité hydrographique marquée par l'omniprésence de cours d'eau et de rivières quasi permanentes en toutes saisons;
- la représentativité législative et réglementaire caractérisée par l'existence de textes répondant à l'ensemble des préoccupations et applicables sur le terrain ;
- la représentativité institutionnelle marquée cependant par une multitude d'acteurs intervenant cependant sans coordination aucune ;
- la représentativité organisationnelle avec l'adoption et la mise en œuvre du processus de décentralisation,
- la représentativité économique révélée par la réduction drastique des subventions de l'Etat, la prédominance du secteur informel, la faiblesse des recettes municipales et l'insuffisance des investissements pour le développement des infrastructures et équipements socio – collectifs de base ;

- la représentativité urbanistique marquée par une croissance continue des populations urbaines entraînant malheureusement des pressions foncières non maîtrisées;
- la représentativité environnementale caractérisée par une pollution quasi-générale des ressources naturelles et principalement les ressources en eau.

CONCLUSION

Le cadre institutionnel du secteur de l'assainissement au Cameroun et les différentes dispositions prises jusqu'à présent ont eu pour objectif de converger vers la recherche de solutions adaptées. Le chapitre I montre que le jeu des acteurs impliqués dans l'assainissement des eaux usées est assez étoffé et place les municipalités au centre de la gestion des services de l'assainissement urbain. Cependant, le déficit d'information et l'absence de coordination entre ces acteurs laisse entrevoir une certaine forme de polycentrisme décisionnel plutôt néfaste pour la réussite des stratégies globales d'assainissement dans ces villes.

Nous retenons de ce chapitre que la forme de croissance urbaine en Afrique constitue une contrainte importante pour le développement des programmes d'assainissement collectif des eaux usées. Les difficultés à maîtriser l'occupation des sols et à offrir des parcelles viabilisées et accessibles à tous, encouragent le développement des quartiers précaires. L'étalement spatial des villes, qualifié à juste titre de « boulimie spatiale », exige de la part des municipalités des investissements importants pour financer les projets d'assainissement collectif.

Ce chapitre relève le dysfonctionnement généralisé des systèmes intensifs d'assainissement collectifs des eaux usées de Yaoundé et met en relief les causes qui sont à l'origine d'une telle situation. Ces causes sont à la fois financières, techniques, organisationnelles et culturelles.

Sur le plan financier, les efforts consentis jusqu'à présent par l'Etat en vue de moderniser les villes sont à encourager. Cependant, les investissements publics dans le secteur de l'assainissement ainsi que les subventions accordées aux municipalités demeurent très insuffisants. C'est qui, conjugué aux contraintes institutionnelles et technique, n'offre pas aux municipalités les possibilités d'adopter des plans de maintenance efficaces ou de mettre en œuvre des nouvelles solutions. En outre, les exploitants des ouvrages collectifs affirment que les tarifs d'assainissement ne sont pas clairement définis au Cameroun. Le principe du pollueur – payeur est insuffisamment appliqué, notamment auprès des ménages et des promoteurs d'activités socioéconomiques dans le secteur informel. Le mode de recouvrement des redevances et autres taxes sur l'assainissement demeure non opérationnel et il se pose le problème du meilleur canal à utiliser pour atteindre le maximum de ménages. Les initiatives entreprises par la

SIC, en vue de rehausser les taxes d'assainissement dans ses cités, par l'application d'un tarif forfaitaire mensuel de 7,5 €/ménage/mois, n'ont jamais aboutis. Par ailleurs, sur les 7,7% des recettes perçues par la SIC en vue de maintenir les équipements collectifs, la part réservée à l'entretien des égouts et des stations d'épuration n'est pas assez lisible et aucune rubrique de ce tarif ne précise l'amortissement des installations existantes. Lors de la vente de ses parcelles, la MAETUR estime à 760 €, le montant à payer pour se brancher au réseau d'égout ; ce coût est peu incitatif car supérieur au prix moyen de réalisation des fosses septiques. Ainsi, le budget affecté à l'entretien et à la maintenance des équipements est-il très insuffisant.

Sur le plan technique, le chapitre note une inadaptation des systèmes intensifs d'épuration des eaux usées au contexte socioéconomique et technique de Yaoundé. L'approche de maintenance plutôt curative n'est pas appropriée pour les équipements électromécaniques et autres éléments vitaux qui nécessitent des actions préventives périodiques. D'autre part, les difficultés que nous avons rencontrées pour reconstituer les données techniques des installations d'assainissement existantes représentent des failles importantes pour espérer assurer un suivi régulier de ces équipements. En effet, la méconnaissance de leurs caractéristiques par les gestionnaires limite la mise en place d'un programme de suivi et la définition d'une procédure d'interventions en fonction de chaque équipement. L'insuffisance qualitative et la démotivation du personnel d'entretien ne rendent pas opérationnel le plan de maintenance et ne facilitent pas non plus l'évaluation objective des différents flux de matières nécessaires au fonctionnement de ces installations (carburant, énergie électrique, pièces de rechange, fuites, etc.). Ce qui rend difficile l'estimation des charges réelles d'exploitation de ces systèmes.

Sous l'angle organisationnel, la gestion urbaine au Cameroun repose sur des dispositifs légaux qui ne sont pas toujours rigoureusement appliqués. Face à la pression démographique, cette situation accroît l'appropriation sans contrôle des espaces généralement localisés en zones non constructibles, fortement sous équipées et insalubres.

L'abandon des stations d'épurations par boues activées est une des conséquences visibles. Les pertes financières sont importantes, car ces systèmes deviennent non fonctionnels sans atteindre leurs amortissements comptables et techniques. L'importance des fonds qu'il faudrait aujourd'hui mobiliser pour les réhabiliter ou pour réaliser de nouvelles installations de même type constitue un enjeu majeur à Yaoundé en particulier et dans les villes africaines en général.

Peut-on continuer à prescrire de tels systèmes dans des contextes où les budgets municipaux et les perspectives de hausse éventuelle de ces budgets ne sont pas visibles à moyen et long terme ? La réponse n'est pas évidente tant que la situation de crise actuelle perdure au Cameroun et en Afrique.

Deuxième Chapitre :

PROBLEMATIQUE ET METHODOLOGIE GENERALE

INTRODUCTION

Ce chapitre comporte deux paragraphes principaux : la problématique de la recherche et la méthodologie retenue pour mener les investigations de terrain.

Les enjeux de la situation de l'assainissement des eaux usées et excréta situeront l'ampleur de notre problématique qui sera perçue en décrivant dans un premier temps le niveau d'assainissement en Afrique et les risques sanitaires qui en découlent. Les difficultés à opérer un choix des technologies d'épuration adaptées de même que l'insuffisance de la vulgarisation de ces technologies justifieront l'intérêt qu'il y a à s'appuyer sur les principes fondamentaux qui soutendent le processus technologique et méthodologique des MHEA®.

En établissant enfin la nécessité de prendre en compte les spécificités locales comme centre d'intérêt de notre problématique, ce paragraphe s'achève par la présentation des objectifs recherchés et le phasage des actions spécifiques nécessaires pour atteindre ces objectifs.

La méthodologie générale qui permettra de comprendre comment ces actions ont été menées constituera le second paragraphe de ce chapitre. Ce volet présente spécifiquement les méthodes utilisées pour mener les enquêtes auprès des ménages et des agriculteurs, les protocoles d'analyses des impacts des rejets d'eaux usées sur les écosystèmes aquatiques de Yaoundé et enfin, les études climatiques, pédologiques et phytosociologiques.

II.1. PROBLEMATIQUE GENERALE

II.1.1. DU NIVEAU D'ASSAINISSEMENT LE PLUS BAS

Les données récentes, établies par ONU/WWAP en 2003, indiquent que seulement 60% de la population africaine (80% dans les villes et 48% dans les campagnes) avait accès à un service d'assainissement approprié. En 2000, l'OMS rapportait que le nombre de personnes qui ne possédaient pas un ouvrage d'assainissement décent avait augmenté de plus de 70 millions au cours de la dernière décennie en Afrique. L'une des causes évoquées est l'inadéquation entre la forte croissance démographique et les moyens dont disposent les municipalités pour réaliser les infrastructures de base dont celles liés à l'assainissement des eaux usées. Il en résulte un niveau d'assainissement globalement bas mais disparate selon les pays et les régions (Figure II.1).

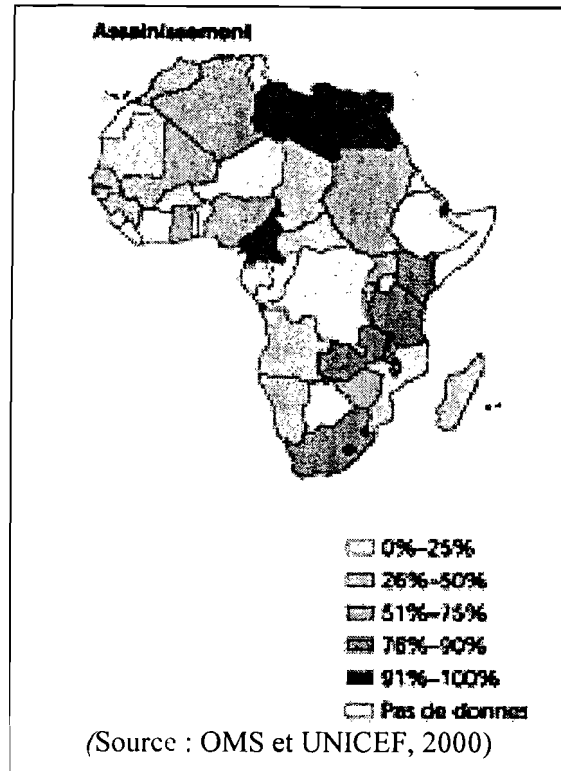


Figure II.1 : Taux de couverture (en % des populations) en assainissement dans les pays africains

En effet, la couverture spatiale des besoins en assainissement collectif des eaux usées demeure partielle et concerne globalement moins de 10% de la population urbaine africaine [ONU/WWAP, 2003]. Cette proportion est encore peu significative en Afrique tropicale humide où moins de 3% de la population urbaine sont raccordés à un réseau d'égout au Burundi, au Cameroun, au Congo, au Gabon, en Guinée Equatoriale, en Ouganda et au Rwanda. Dans bien des villes, environ 55% de la population a accès à des systèmes d'assainissement autonomes et près de 15% de cette population doit encore se résoudre à déféquer dans la nature [OMS, 2000 ; WHO et UNESCO, 2003 ; www.wateryear2003.org].

L'état de fonctionnement des ouvrages d'assainissement existants reste en dessous des attentes et les performances épuratoires sont médiocres. Ainsi, compte tenu des besoins actuels et de l'accroissement rapide de la population, la question de l'accès à un système d'assainissement efficace se pose avec une priorité particulière :

- la pollution de l'environnement urbain s'étend au même rythme que s'établissent les ménages dans des zones non aménagées et que se développent des activités socio-économiques non suffisamment contrôlées,
- la contamination des ressources aquatiques se caractérise par le rejet d'importantes quantités d'eaux usées, d'excrétas et de boues de vidange non suffisamment traitées.

Les coûts économiques de décontamination de ces écosystèmes sont exorbitants comparés aux ressources financières dont disposent les municipalités chargées de gérer les infrastructures

d'assainissement. Au Malawi par exemple, le coût total de la décontamination de l'eau, y compris la formation des spécialistes, était estimé à 2,1 millions de dollars en 1994 ([DREA-Malawi, 1994], cité par OMS et UNICEF, 2000). Au Nigeria, une étude récente estimait que le coût futur de l'adduction d'eau et de l'hygiène du milieu serait de 9,12 milliards de dollars en 2001 ([Adedipe et al., 2001], cité par OMS et UNICEF, 2000).

Ce premier constat établit que la problématique de l'assainissement urbain en Afrique reste encore entière et nécessite une mobilisation importante de fonds pour inverser la tendance. Les systèmes d'assainissement, tels qu'ils sont conçus et fonctionnent dans les villes africaines, constituent des facteurs de contamination des écosystèmes naturels en général et des ressources en eau en particulier, ce qui pourrait accroître les risques sanitaires.

II.1.2. DES RISQUES SANITAIRES IMPORTANTS

En aval des points de rejet des eaux usées, des excréments et des boues de vidange, s'implantent d'une part des installations de personnes en quête de parcelles d'habitation et d'autre part d'activités économiques telles l'agriculture réutilisant ces eaux pour l'irrigation de parcelles agricoles. Les risques sanitaires sont élevés comme le confirment plusieurs études épidémiologiques sur le continent africain et en particulier en Afrique tropicale humide : « *les maladies diarrhéiques demeurent une cause majeure de mortalité et de morbidité principalement pour les enfants de moins de cinq ans. Ceux-ci connaissent en moyenne 5 épisodes de diarrhée par an, ..., En moyenne, 150 enfants africains meurent toutes les heures de maladies liées à l'eau et aux excréments* » [Louis et al., 1991 ; OMS et UNICEF, 2000, Cadasse, 2002, UN/WWAP, 2003 ; www.un.org/millennium ; www.who.int/world-health-day/2003/en/ ; www.wateryear2003.org/fr/ev/].

L'OMS dressait en avril 2005 un bilan de la recrudescence du choléra dans la majorité des pays africain au Sud du Sahara depuis janvier 2004 : Sénégal (1 187 cas et 14 décès), Nigeria (1 616 cas et 126 décès), Tchad (3 910 cas et 164 décès), Cameroun (2 924 cas et 46 décès), Mozambique (15 237 cas et 85 décès), Zambie (3 835 cas et 179 décès) [www.who.int/csr/don].

Des mêmes études, il ressort d'une part, que les coûts de ces maladies en Afrique s'élèvent à plus de 12 millions \$US par an et d'autre part, que ces maladies ralentissent la croissance économique des pays d'Afrique de 1,3% par an [OMS et PNUD, 1990 ; Radoux, 1995 ; OMS, 2000 ; Tribillon, 2001 ; WHO et UNESCO, 2003 ; www.who.int/csr/, 2005 ; www.who.int/topics/malaria, 2005].

Yaoundé, ville située en zone de climat tropical humide, n'a pas échappé à cette réalité durant les 10 dernières années. D'après les responsables du service épidémiologie et endémo – épidémies du Ministère de la santé (Direction de la santé communautaire), les risques d'épidémies dues aux

maladies diarrhéiques ont été très fréquents à Yaoundé pendant cette période. Ces maladies représentent plus de 30% des cas d'affections déclarées dans l'ensemble des centres hospitaliers de cette ville. Elles sont la cause de près de 15% des affections auxquelles les enfants de moins de 5 ans sont les plus exposés.

Ce deuxième constat dénote l'ampleur des effets sur la santé humaine d'un défaut d'assainissement des eaux usées et excréta en Afrique : les lacunes observées contribuent à accroître les risques de développement et de dissémination des maladies diarrhéiques.

II.1.3. DES CHOIX TECHNOLOGIQUES INAPPROPRIÉS

Toutes les études d'évaluation des performances et du fonctionnement des stations d'épuration des eaux usées en Afrique sont unanimes sur un fait : le dysfonctionnement des stations d'épuration par boues activées est le résultat d'une inadéquation entre les techniques choisies et les capacités financières, matérielles, humaines, techniques et organisationnelles des acteurs en charge de leur gestion. [CIEH, 1972 et 1993 ; UADE et OIEAU, 1993 ; Radoux, 1995 ; Niang et al., 1997 ; Wéthé, 1999 ; Koné, 2000 ; Maystre, 2000 ; Tanawa et al. 2001 ; LESEAU et al., 2003 ; EIER-CEREVE, 2002] ;

En démontrant que les capacités financières des municipalités africaines ne sont pas reluisantes à court et à moyen terme et que les perspectives ne sont pas positives à long terme, on peut retenir de ces études que la prescription de ce type de système n'est pas justifiée dans ces contextes.

Ce troisième constat montre que les systèmes intensifs d'épuration des eaux usées (les boues activées en l'occurrence) ne sont pas adaptés aux contextes socioéconomiques et techniques des villes africaines compte tenu de la faiblesse des moyens et des mécanismes inopérants dont disposent les municipalités en charge de leur gestion. Les défis actuels consistent à trouver des solutions techniques qui soient adaptées à chaque contexte, dans un souci de réduire les risques sanitaires et environnementaux.

II.1.4. DE L'EXISTENCE DE SOLUTIONS ALTERNATIVES PEU DIFFUSÉES

A la lumière de ce qui précède, il découle que les systèmes extensifs peuvent représenter des solutions alternatives pour l'épuration des eaux usées dans les villes africaines. Ces systèmes sont techniquement simples, faciles à concevoir et à mettre en place. Leur gestion est souple et la demande en énergie électrique est généralement minimisée. Ils sont moins coûteux à la construction et leur exploitation n'exige pas nécessairement un personnel technique spécifique. En plus de leur rusticité, ces systèmes sont robustes, supportant de fortes variations de charge

mieux que les techniques intensifs [Seidl, 1976 ; Cornvel et al., 1977 ; Wolverton et al., 1979 ; Radoux, 1976, 1977, 1980, 1982, 1996a&b ; Radoux et al., 1986, 1991 ; DeBusk, 1987 ; Kopieu, 1992]. Plusieurs études leur accordent des taux d'abattement des flux polluants intéressants y compris la désinfection et parfois la rétention des métaux lourds, ce que n'offrent pas toujours les systèmes intensifs. En outre, dans le contexte tropical où des expérimentations ont été menées, les données montrent que ces systèmes consomment trois fois moins d'espace qu'en zone de climat tempéré [Agendia, 1987, 1995 ; Touré, 1986 ; Guène, 1989 ; Kopieu, 1992 ; Klutsé, 1995 ; Martin et al., 1995 ; Scole, 1995 ; Greenway et al., 1996 ; Radoux et al., 1996 ; Brix., 1997 ; Cadelli et al, 1998 ; Ennabili, 1999 ; ENDA, 2000 ; Radoux, 2000, 2002, 2003 ; Kengné, 2000 ; Nemcova et al., 2001 ; Koné, 2002 ; Becaye, 2002 ; Mbéguéré, 2002 ; Laouali, 2003].

Plusieurs modèles de technologies naturelles d'épuration des eaux usées existent à travers le monde. Chacun s'inspire, consciemment ou non, mais de manière essentielle, d'un seul des écosystèmes des zones humides naturelles comme le montre la figure II.2 [Radoux, 2002].

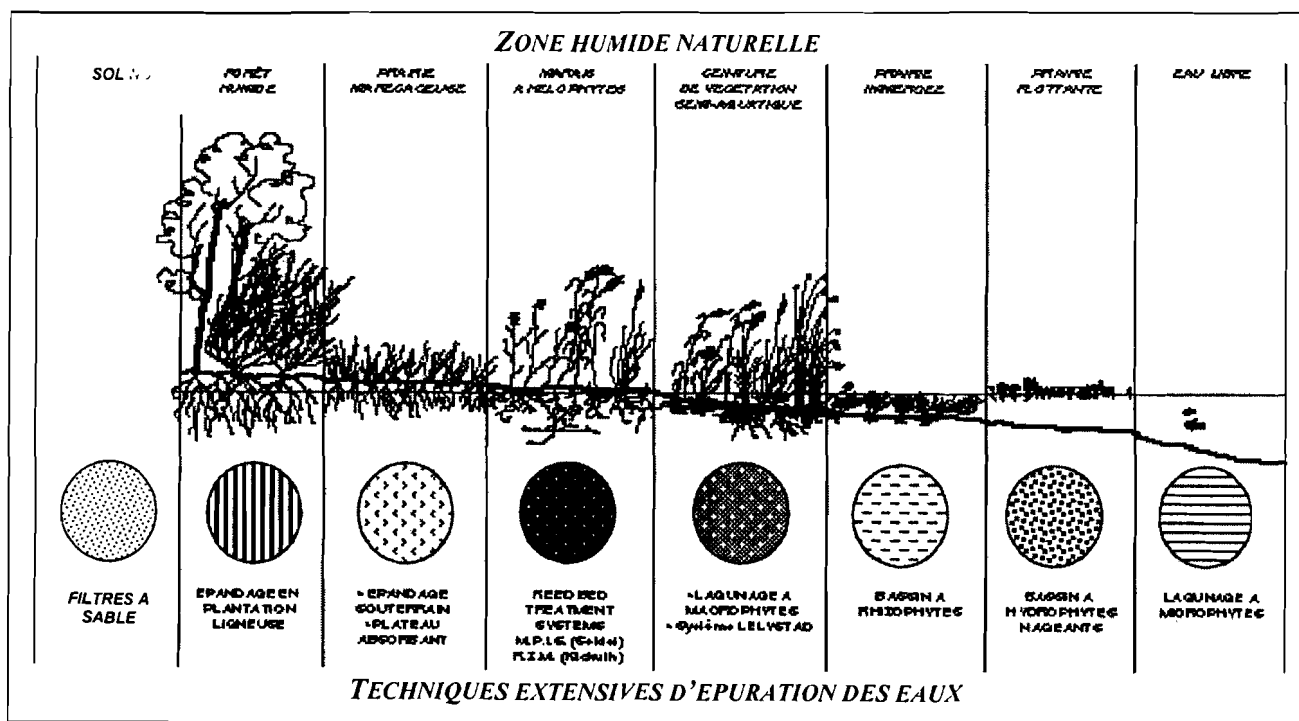


Figure II.2 : Les zones humides et les technologies naturelles (ou extensives) d'épuration des eaux

Ainsi, sur une base écologique, les technologies naturelles d'épuration des eaux se regroupent en 8 catégories :

1. le lagunage à microphytes (aérobie ou anaérobie) est une technologie très économique dans son fonctionnement et demande une gestion simple. Par contre, ses performances sont modestes car l'épuration tertiaire est très médiocre ;
2. les bassins d'épuration à végétation nageante (*Eichhornia crassipes* ou jacinthe d'eau, *Pistia stratiotes* ou laitue d'eau, *Lemna minor*, *L. gibba* ou lentilles d'eau) montrent une

bonne clarification de l'effluent mais l'amélioration de l'épuration tertiaire reste modeste, sauf si l'on maîtrise la gestion de la biomasse végétale produite ;

3. les bassins à rhizophytes fixés dont les végétaux utilisés sont immergés ; ils sont inapplicables pour les eaux usées urbaines à cause de leur turbidité, mais sont parfois utilisés pour le traitement des eaux usées de piscicultures ;
4. le lagunage à macrophytes et le système Lelystad ont de bonnes capacités en épuration tertiaire et en désinfection : l'élimination du phosphore dépasse les 50% et leur gestion est plus contraignante comparée au lagunage à microphytes ;
5. le système Kickuth est répandu en Europe mais le taux d'échec a été très élevé et les critères de conception demeurent encore flous ; l'épuration primaire et secondaire est de bonne qualité mais l'épuration tertiaire reste modeste et la désinfection moyenne ;
6. l'épandage souterrain est généralement utilisé pour l'assainissement individuel. Il assure l'épuration complète des eaux usées lorsqu'il est bien conçu mais demande une bonne maîtrise des caractéristiques des sols ;
7. l'épuration en plantation ligneuse est peu connue de même que les critères de conception, de dimensionnement et de gestion.
8. l'épuration par des sols non plantés, comme par exemple, les filtres à sable.

Les données bibliographiques sur les technologies extensives sont importantes en zone de climat tempéré et froid. Ces données sont dispersées et fragmentaires en Afrique, particulièrement dans les villes d'Afrique tropicale humide où ces technologies sont très peu vulgarisées. A Yaoundé par exemple, une seule station d'épuration par lagunage a été construite. Le choix des filières d'épuration par boues activées se fait par simple transposition des installations occidentales sans prise en compte des spécificités locales ni implication des populations bénéficiaires. Après la mise en place de ces installations, il est difficile d'identifier le responsable exploitant.

Dans l'ensemble, les études portant sur l'assainissement des eaux usées à Yaoundé sont récentes et sectorielles, se résumant à l'inventaire des ouvrages d'assainissement dans certains quartiers, l'analyse dichotomique de la pollution des cours d'eau et des points d'eau par les stations d'épuration à boues activées et les latrines traditionnelles. Les études de performance des stations d'épuration de Yaoundé ont rarement axé leurs travaux sur l'analyse des paramètres dynamiques, des facteurs de performance et des causes de contre-performance. En outre, le choix de *Pistia stratiotes*, pour l'unique station de lagunage de cette ville, s'est opéré beaucoup plus par mimétisme et non après une comparaison des performances des principaux macrophytes existant dans cette ville [Charbonnel, 1987 ; Iketuonye, 1987 ; Tanawa, 1987 ; Sikati, 1991 ; SOGREAH,









1993 ; Djuikom, 1996 ; Fonkou, 1996 ; Ngnikam et al., 1994, 1995, 1997a&b, 2000 ; Agendia et al., 1997 ; Tanawa et al., 1996, 1998, , 2000, 2001 ; Djeuda et al., 1999, 2001 ; Kengné et al., 2000 ; LESEAU, 2002 ; Nya et al., 2002].

D'une manière générale, les données permettant un choix objectif et le dimensionnement rigoureux d'une filière d'épuration extensive en Afrique tropicale humide sont insuffisants. Ce qui conforte les controverses scientifiques et techniques sur ces systèmes et accroît la méfiance des gestionnaires ainsi que les décideurs politiques. Ceci est davantage amplifié par les contre-performances observées sur quelques systèmes du fait, entre autres, des bricolages lors des réalisations, d'une gestion inappropriées et surtout à cause de la non disponibilité des critères de performance pour toutes les filières extensives par rapport au climat, à la typologie de l'habitat, au caractéristiques des eaux usées et aux exigences de qualité selon les situations locales.

Ce quatrième constat laisse clairement entrevoir l'obligation qu'une comparaison objective des qualités et des défauts des technologies extensives soit menée localement en station expérimentale. Il en est de même de l'optimisation de ces technologies en comparant, dans des conditions locales identiques, le fonctionnement des écosystèmes naturels dont elles s'inspirent et non les technologies elles-mêmes. Cette nécessité permettra ainsi d'aider et d'appuyer les acteurs urbains dans le choix de la « meilleure technologie ».

Ces deux préoccupations font partie des principes directeurs ayant guidé la mise en place du « *Processus méthodologique et technologique des Mosaïques Hiérarchisées des Ecosystèmes Artificiels – MHEA®* ». Ce processus est basé sur l'hypothèse suivante : si chaque technologie ne s'inspire que d'un seul type d'écosystème naturel, l'ensemble des écosystèmes de la zone humide naturelle, susceptible d'être reconstitués à des fins d'épuration des eaux usées, ne comporte que 8 catégories distinctes (tableau II.1).

Tableau II.1 : Principaux écosystèmes artificiels [Radoux, 2002]

Terrestres				Semi – aquatiques ou aquatiques			
Circulation des eaux dans le sol				Circulation des eaux au-dessus du sol			
Sans végétation	Végétation ligneuse	Végétation herbacée	Végétation héliophytique	Végétation héliophytique	Végétation immergée	Végétation immergée	Végétation planctonique
							

La mise en œuvre du processus des MHEA ® se fonde sur deux principes fondamentaux (figure II.3) : les comparaisons systématiques et l'optimisation continue.

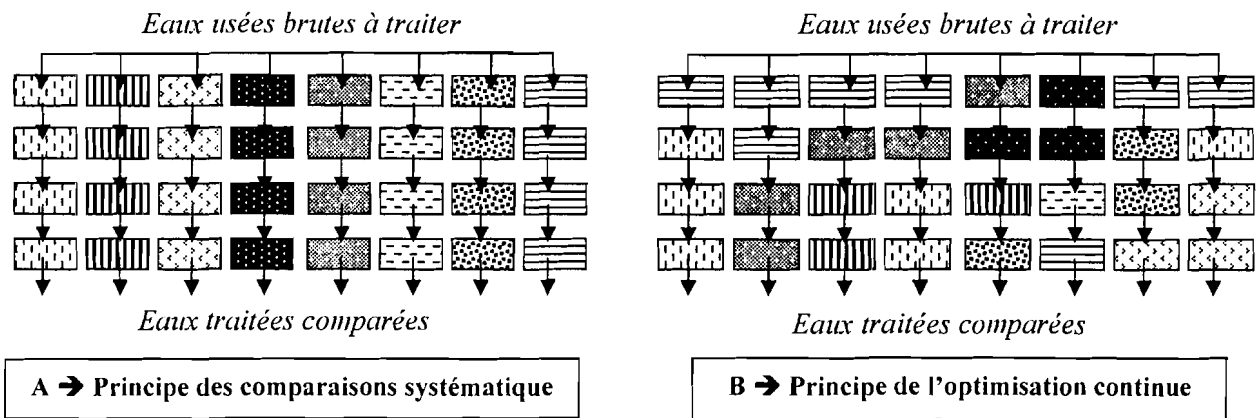


Figure II.3 : Schéma général des principes du processus méthodologique et technologique des MHEA®

1. **Le Principe des comparaisons systématiques** (cf. A. figure II.3) consiste à reconstituer dans des bassins artificiels et contrôlés les 8 catégories d'écosystèmes ci-dessus et à les alimenter, sous un même climat avec des eaux brutes identiques ; ce qui permet la comparaison objective de leurs capacités épuratoires.
2. **Le Principe de l'optimisation continue** (cf. B. figure II.3) permet de concevoir puis de tester de nouvelles filières exploitant les atouts particuliers de chacun des écosystèmes relevés lors de la comparaison systématique.

Dans la pratique, le processus MHEA ® complet comporte toutes les actions à mener depuis l'expérimentation jusqu'à son appropriation complète par les collectivités d'une région homogène dans ses caractéristiques macro climatiques et urbanistiques. Ces actions, qui sont au nombre de 8, se résument comme suit :

- **Action 1 : Information objective sur place** par comparaison systématique des grandes catégories de technologies naturelles existantes en Centre de Recherche /Développement.
- **Action 2 : Optimisation de filières hiérarchisées MHEA ® adaptées** en Centre expérimental de Recherche/Développement par la conception et le suivi épuratoire, sur place, de MHEA ®, la mise au point de leur gestion et l'évaluation des possibilités de valorisation des sous-produits de l'épuration.
- **Action 3 : Intégration technologique des filières MHEA®** par la construction et la mise en route d'une ou de plusieurs stations – pilotes en grandeur réelle, en appliquant les conclusion de l'action 2.
- **Action 4 : Développement du processus** par la multiplication de stations d'épuration appliquant les filières d'épuration MHEA® retenues, en grandeur réelle et dans la zone d'applicabilité (pays lui-même et régions assimilables).
- **Action 5 : Application régionale** par la cartographie, à l'échelle régionale, des entités

habitées susceptibles de tirer avantage de ces filières, une fois intégrés et pondérés les aspects liés au contexte socio-économique local, au cadre institutionnel, à l'urbanisme, à la qualité de vie des collectivités locales, aux technologies alternatives classiques.

- **Action 6 : *Education relative à la gestion intégrée des eaux usées*** par la sensibilisation des collectivités locales et du grand public et par l'information et la formation des scientifiques, des techniciens, des fonctionnaires responsables et des futurs gestionnaires.
- **Action 7 : *Evaluation socio-économique*** par l'établissement du bilan financier, social, sanitaire et écologique des MHEA® dans le contexte national et régional.
- **Action 8 : *Critique opérationnelle régulière du programme*** par des experts indépendants, ce qui constitue un outil indispensable à tous les partenaires impliqués pour maintenir l'efficacité et la coordination de toutes les actions entreprises.

Le processus méthodologique et technologique des MHEA® a été conçu depuis 1977 et expérimenté pour la première fois dans la station expérimentale de Viville, une banlieue d'Arlon (Belgique) située en zone de climat tempéré. Les recherches entreprises dans ce centre ont abouti à la réalisation des 8 actions ci-dessus énumérées. Des centres de recherche et de développement, basés sur ce processus, ont été implantés respectivement à M'Diq-Tétouan (Maroc) en zone de climat méditerranéen et à Cambérène-Dakar (Sénégal) en zone de climat tropical sec. Ces deux centres ont déjà mené les deux premières actions et la suite des travaux est en cours.

Ce cinquième constat est révélateur de ce que le processus des MHEA® offre l'opportunité aux scientifiques et aux techniciens d'opérer, en toute objectivité, un transfert des technologies d'épuration extensive en tenant compte des spécificités locales. En outre, ce processus se soucie de renforcer les capacités techniques des acteurs locaux impliqués dans le choix, les études, la réalisation et l'exploitation des systèmes envisagés d'une part, et d'impliquer les bénéficiaires d'autre part. Ce processus n'est pas encore expérimenté en zone de climat tropical humide.

II.1.5. DE LA NECESSITE DE PRISE EN COMPTE DES SPECIFICITES LOCALES

Il est clair que le transfert « automatique » du processus des MHEA® sous climat tropical humide n'est pas envisageable bien que des résultats scientifiques accumulés dans d'autres zones climatiques, soient favorables sur ses performances et son efficacité. La philosophie qui guide la conduite de ce processus peut en elle-même être transférable, mais les résultats techniques d'optimisation ne le sont pas. Plusieurs facteurs sont susceptibles d'influencer le fonctionnement des systèmes extensifs d'épuration des eaux usées. Au rang de ces facteurs nous citerons :

1. Les facteurs climatiques : les plus essentiels sont principalement le vent, la température, la précipitation, les radiations solaires, l'évaporation et l'hygrométrie.
2. La flore utilisée pour l'épuration des eaux usées par voie naturelle : le caractère endogène de ces plantes est un impératif.
3. Les caractéristiques propres des eaux usées à traiter : les paramètres essentiels sont le potentiel d'hydrogène, l'oxygène dissous, les matières solides en suspension, les demandes biologiques et chimiques en oxygène, les composés azotés et phosphatés, les agents pathogènes (notamment les coliformes et streptocoques fécaux).
4. Les caractéristiques du milieu récepteur : le réseau hydrographique, principalement les rivières et les lacs, sont généralement les exutoires des rejets issus des systèmes d'épuration. La connaissance de leurs caractéristiques est nécessaire pour prévoir le degré d'épuration à préconiser à partir du système extensif d'épuration envisagé.
5. Le devenir des sous-produits de l'épuration des eaux usées : les sous-produits de l'épuration peuvent constituer une ressource potentielle pour certaines activités socio-économiques telles que l'agriculture urbaine.
6. Les paramètres urbanistiques de la localité concernée : la typologie de l'habitat, les comportements des ménages en matière d'eau potable et d'assainissement peuvent influencer les caractéristiques des eaux usées. La disponibilité des espaces et leur facilité de mobilisation doivent être cernées lorsqu'on envisage de développer les systèmes extensifs d'épuration des eaux usées dans une localité donnée.

Ces facteurs méritent d'être clarifiés avant d'envisager le transfert de ces systèmes dans une zone climatique différente, notamment en zone tropicale humide où ces variables sont assez rares. Or, une telle analyse constitue une étape importante, voire préalable à l'implantation de systèmes extensifs d'épuration des eaux usées dans un contexte climatique et urbanistique donné.

De ce sixième constat, nous retenons qu'il devient imprudent, voire hasardeux de vouloir transférer les résultats du processus des MHEA® dans un contexte différent de celui qui a permis son optimisation. Des réflexions plus approfondies, au niveau local, doivent donc être menées dans le but d'une part, de ressortir les spécificités urbanistiques, socio-économiques, climatiques, phytosociologiques de la localité concernée, et d'autre part, d'analyser objectivement les facteurs favorables et/ou défavorables à sa transférabilité.

La ville de Yaoundé, en hypothèse de départ, a été choisie comme référence pour abriter l'étude et l'expérimentation du processus méthodologique et technologique des MHEA® en vue de son développement futur dans des contextes climatiques similaires. Il s'agira par la suite de valider

ce choix en relevant puis en analysant les atouts et contraintes qu'offre cette ville.

La finalité de cette recherche est de développer des systèmes collectifs d'épuration extensive des eaux usées adaptés aux villes des pays en développement situés sous climat tropical humide à partir d'un centre d'expérimentation basé sur le processus des MHEA®. Afin de minimiser les coûts d'installation d'un tel centre et de rendre efficaces les futurs travaux de recherche et de vulgarisation envisagés, il est impératif que les conditions suivantes soient garanties :

- la présence d'une trame minimale de voirie facilitant l'implantation future d'un système d'égout fiable compte tenu de la régularité de l'alignement des parcelles,
- la possibilité de connaître, à priori, les caractéristiques des eaux usées rejetées et de pouvoir les collecter facilement à travers un système d'égout adapté,
- la production suffisante d'eaux usées pour prétendre la réalisation d'un réseau d'égout qui soit techniquement fonctionnel en respect des conditions d'auto – curage,
- la possibilité de pouvoir facilement trouver une contribution endogène durant les différentes étapes du projet et principalement lors de la réalisation et de l'exploitation des systèmes.

C'est à juste titre que nous avons circonscrit l'analyse préliminaire des facteurs urbanistiques essentiellement aux quartiers structurés de Yaoundé qui remplissent les conditions ci-dessus énumérées. Par ailleurs, certains quartiers sont déjà équipés de réseaux d'assainissement des eaux usées. En trouvant des alternatives aux stations à boues activées, le centre d'expérimentation des MHEA® résout aussi le problème de pollution, par les eaux usées non traitées, des zones humides où se concentrent la plupart des quartiers spontanés de Yaoundé. Ceci permettra également de limiter la contamination des ressources en eau qui alimentent les puits et les sources utilisés pour la boisson et la cuisson dans les ménages des quartiers pauvres. Le choix des quartiers structurés n'exclut donc pas les quartiers spontanés. Au contraire.

Le but que nous recherchons est de garantir le succès de l'expérimentation du processus des MHEA® avant d'entrevoir les conditions de leurs transferts dans les quartiers non structurés qui ont la particularité d'être moins nantis en réseau de voirie et de se caractériser par une occupation anarchique de l'espace. En outre, les quartiers spontanés sont majoritairement dotés de latrines traditionnelles difficiles à raccorder. De plus, l'usage des puits, des sources et des bornes fontaines payantes, rend contraignante l'évaluation de la consommation en eau des ménages. Enfin, les quartiers spontanés regroupent des citoyens dont le pouvoir d'achat est très faible pour espérer de leur part, une contribution financière significative pour les investissements en matière d'assainissement collectif et même pour l'exploitation des systèmes.

Les actions spécifiques qui découlent des objectifs de cette recherche sont les suivantes :

1. Faire l'état des lieux de l'assainissement des eaux usées à Yaoundé et évaluer les conséquences environnementales dues aux dysfonctionnements des systèmes existants. Le but visé est de cerner la situation de l'assainissement des eaux usées et de montrer que les dysfonctionnements constatés ont une part importante sur la dégradation des écosystèmes naturels et de l'environnement urbain de cette ville.
2. Caractériser l'habitat des quartiers planifiés de Yaoundé et analyser les pratiques des ménages en matière d'eau potable et d'eaux usées. Le but est d'y apprécier l'intérêt des systèmes collectifs en cernant les quantités d'eau consommées, la quantité et la qualité d'eaux usées rejetées, le comportement et la perception des ménages sur ces thèmes.
3. Appréhender la spécificité des facteurs climatiques spécifiques et étudier l'importance, quantitative et qualitative des macrophytes de la région de Yaoundé. Il s'agit d'une part, d'analyser les principaux facteurs climatiques susceptibles d'influencer la disponibilité des macrophytes et l'efficacité des stations d'épuration naturelle, et d'autre part, d'identifier, par une étude phytosociologique, les macrophytes mobilisables pour l'expérimentation et le développement du processus des MHEA® dans cette ville.
4. Etudier les conditions de mise en place d'un centre de recherche – développement du processus MHEA® à Yaoundé. L'opérationnalité d'un tel centre permettra d'étudier tous les paramètres nécessaires à la conception et à l'exploitation technique des stations d'épuration naturelles dans les contextes climatiques et urbanistiques similaires.

Les principales étapes ayant ponctué cette recherche est schématisé sur la figure II.4.

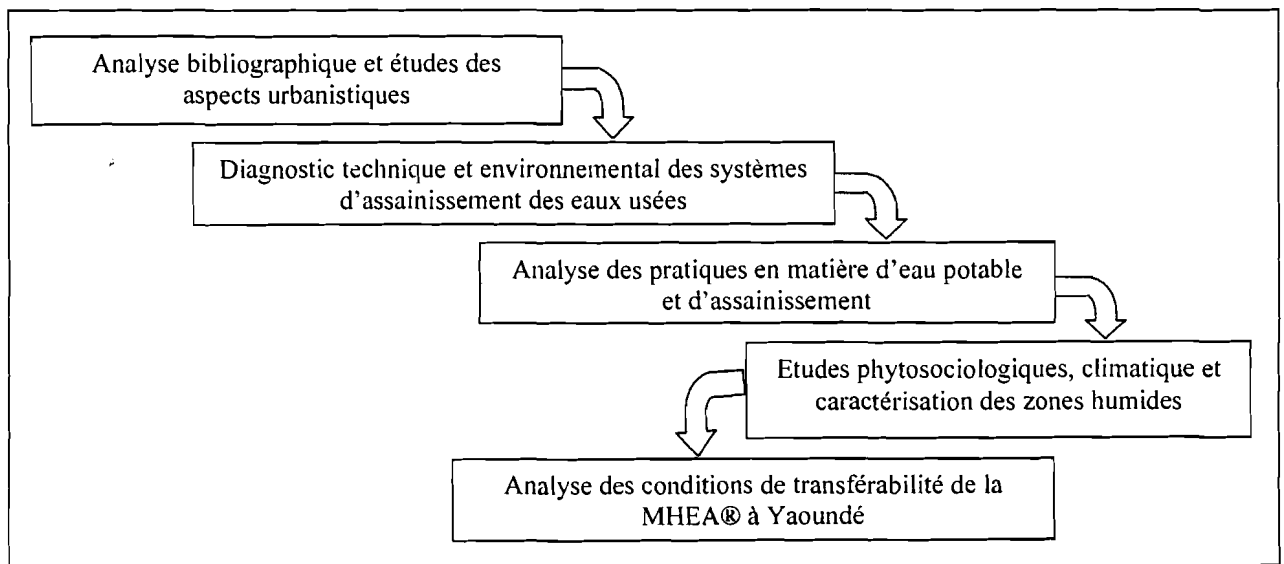
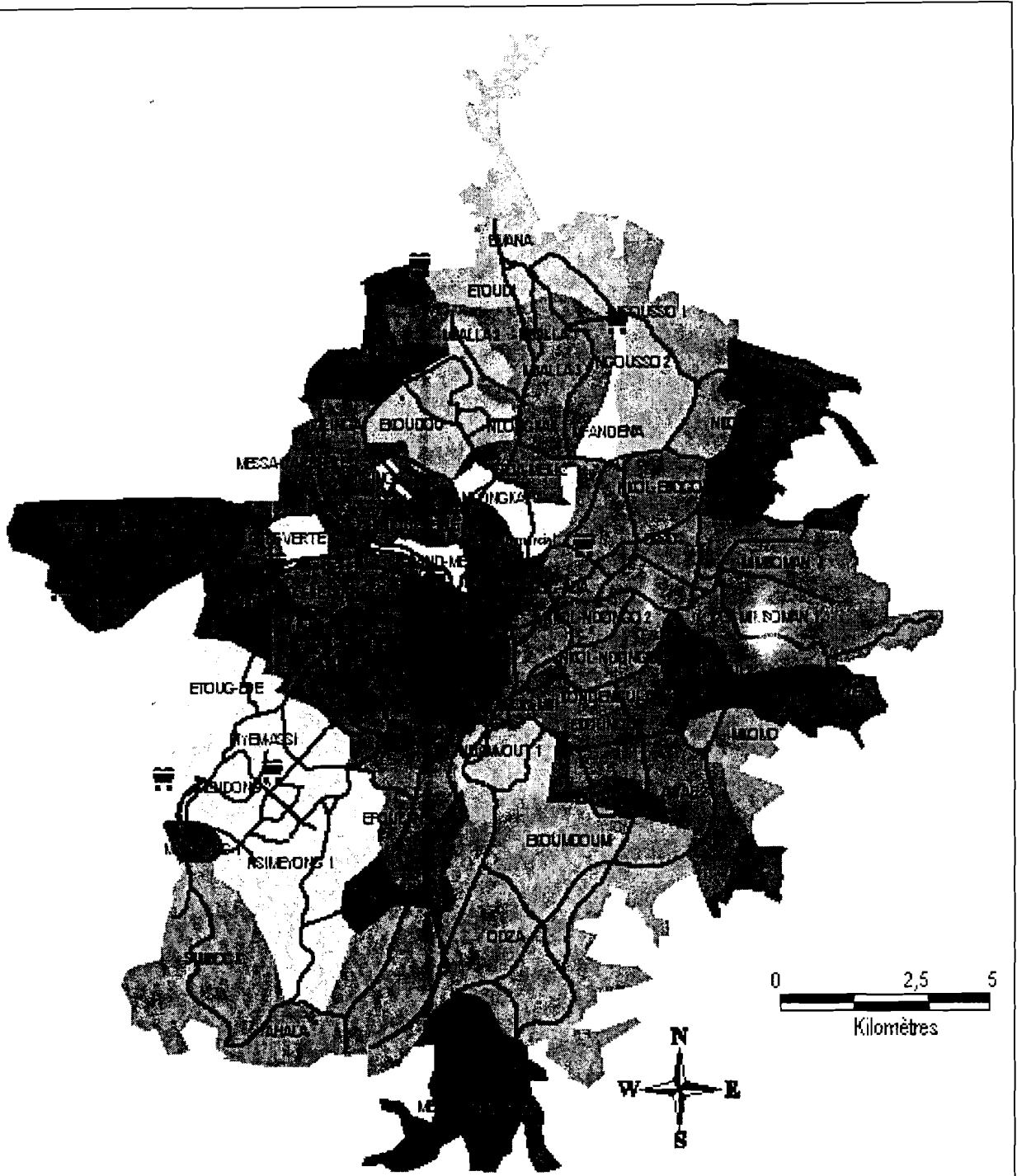


Figure II.4 : Principales étapes de l'étude

Chaque action spécifique a été réalisée selon les méthodologies détaillées ci-dessous.



LEGENDE

Type de Tissus Urbains	
	Centre Administratif et Commercial (5)
	Lotissements communaux (14)
	Haut standing (9)
	MÆTUR-SIC (12)
	Moyen standing (2)
	Périurbain (14)
	PériUrbain structuré (7)
	Spontané Dense (23)

Voie Primaire
 Ligne

Station d'Épuration
 Point

Lac
 Région

Fonction numérique : LESEAU/ENSP
 Août 2004

Carte 2 : Typologie de l'habitat et repérage des stations d'épuration de Yaoundé

II.2. METHODOLOGIE D'ENQUETES AUPRES DES MENAGES

L'enquête sur laquelle cette recherche s'appuie a pour but de cerner le contexte socio – urbanistique des quartiers structurés de Yaoundé et d'en analyser la situation de l'approvisionnement en eau potable et de l'assainissement des eaux usées. L'unité statistique de cette enquête est le ménage, entendu comme un ensemble de personnes, avec ou sans lien de parenté, vivant sous le même toit, partageant les charges de fonctionnement et dépendant juridiquement d'une même autorité appelée chef de ménage.

L'enquête permet de décrire les pratiques des ménages en matière d'approvisionnement en eau et d'assainissement des eaux usées ainsi que les problèmes rencontrés dans chaque cas. Couplée aux observations directes sur un échantillon réduit, cette enquête a permis d'évaluer les quantités d'eaux consommées et rejetées dans les ménages. La perception populaire, quant aux impacts environnementaux et sanitaires des eaux usées, à leur réutilisation et aux améliorations possibles des systèmes existants, devra enfin être appréciée.

Conduire une telle enquête exige de prendre en compte les contraintes du site dont les plus importantes sont, pour la ville de Yaoundé :

- l'étalement dans le temps des données du recensement démographique : le Cameroun a connu 2 recensements démographiques depuis 1960 : en 1976 et en 1987 ;
- l'exploitation des zones de dénombrement¹ délimitées sur des cartes des années '70 est complexe ; il nous a été parfois difficile de retrouver ces limites sur le terrain ;
- les modifications rapides de l'occupation des sols remettent en cause les limites des zones de dénombrement de 1976 et 1987 ainsi que leur utilisation, sans biais, comme base de sondage pour ce travail. Il en est de même de la difficulté d'agréger ces zones pour en constituer les quartiers auxquels elles sont sensées représenter des subdivisions.

De ce qui précède, il ressort que le contexte de travail est marqué par l'absence d'une banque de données fiable. La dépréciation de la liste des zones de dénombrement de 1987 avec la naissance de nouveaux quartiers qui, à cette date, étaient considérés comme des villages, rend difficile la constitution de l'effectif des ménages dans ces zones. Malgré ces insuffisances et en l'absence de liste alternative crédible, le fichier actuel a néanmoins constitué notre document de base ; ce qui nous interpelle pour le choix d'une démarche méthodologique adaptée pour garantir la représentativité des quartiers faisant partir de l'échantillon de notre recherche.

¹ Il s'agit des îlots de ménages d'environ 1000 habitants utilisés lors du recensement de 1987 et des différentes Enquêtes Camerounaises auprès des Ménages (ECAM), Enquêtes Budget Consommation (EBC) et Enquêtes Démographiques de Santé (EDS) réalisées entre 1983 et 2000 sur des échantillons stratifiés de 5000 ménages.

II.2.1. METHODE D'ENQUETE UTILISEE

Plusieurs méthodes d'enquête peuvent être utilisées dans ce type d'étude [Chevry, 1962 ; Grosbra, 1987 ; Blanchet et al., 1987 ; Antoine, 1990 ; Muchielli, 1991 ; De Singly, 1992 ; Aish-Van Vaerenbergh, 1994 ; Wannacott et al., 1995 ; Lessard-Hubert et al., 1997 ; Gauthy-Sinechal et al., 1998 ; Grais 1998 ; Albarello, 1999].

Il s'agit notamment :

- de l'enquête exhaustive ou recensement, qui consiste à observer la totalité des individus de la population de référence. Cette approche est coûteuse dans sa mise en oeuvre.
- de l'échantillonnage par sondage de type probabiliste, basé sur l'égalité des chances pour toutes les unités de la population de référence à appartenir à l'échantillon. Les calculs de probabilité avec estimation des erreurs sont possibles et sa mise en œuvre est assujettie à la disponibilité des statistiques fiables sur la population de référence. Il repose sur une série de majorations importantes qui peuvent conduire à des effectifs d'échantillon beaucoup plus élevés qu'il n'en est nécessaire.
- de l'approche par sondage à choix raisonné, telle que la méthode des quotas, qui consiste à construire, à partir des statistiques fiables et à priori connues sur la population de référence, un échantillon qui lui ressemble par l'application d'un taux de sondage identique. Sa mise en œuvre est moins coûteuse mais comporte une part d'empirisme et d'arbitraire qui n'autorise pas l'application aisée d'outils statistiques.
- des méthodes de sondage à un ou plusieurs degrés, permettent de réduire la taille de l'échantillon sur la base de variables de contrôle dont le croisement définit des strates homogènes. Cette catégorie regroupe le sondage par grappe, le sondage progressivement ciblé, le sondage par Randon et le sondage aléatoire stratifié à un ou plusieurs degrés.

Dans cette recherche, la méthode d'enquête par sondage aléatoire stratifié à deux degrés a été adoptée. Cette approche est une combinaison de la méthode aléatoire et de la méthode des quotas. Préalable au tirage de l'échantillon, la stratification consiste à diviser la population en groupes homogènes (strates) et à répartir l'échantillon entre ces groupes. Il s'agit d'un processus en cascade qui permet de simplifier l'établissement d'une base de sondage. Dans son principe, le choix du nombre d'unités est entièrement libre. Cependant, il est nécessaire que l'unité finale ait la même probabilité (taux de sondage) d'appartenir à l'échantillon. Les résultats obtenus peuvent être imprécis lorsque la taille des unités primaires est très variable. Il convient alors de regrouper les petites unités ou de découper les plus importantes de façon à obtenir des unités primaires de tailles comparables.

Cette méthode suppose néanmoins l'existence d'informations supplémentaires telles que le

nombre d'unités secondaires par unité primaire. Elle se prête le mieux au contexte de Yaoundé où les statistiques permettant d'établir une base de sondage fiable ne sont pas complètes et rigoureusement actualisées depuis 1987. Le peu de moyens financiers dont nous disposons et la contrainte de temps imparti à cette étude nous confortent dans le choix de cette méthode qui correspond en outre à l'approche utilisée par la Direction des Statistiques et de la Comptabilité Nationale (DSCN) dans le cadre des enquêtes intermédiaires au Cameroun.

La démarche que nous avons utilisée pour la mise en œuvre cette méthode comporte 4 phases, à savoir, la préparation de la fiche d'enquête, la constitution de l'échantillon, l'organisation de l'enquête, la collecte des données proprement dite et le traitement informatique des données.

II.2.2. PREPARATION DE LA FICHE D'ENQUETE

La fiche d'enquête (en Annexe II), élaborée comporte 6 sections :

- la section 1 porte sur les données démographiques et socioéconomiques du ménage et permet de renseigner sur le mode d'occupation de la parcelle, le niveau de standing du cadre bâti, le statut matrimonial, le statut d'emplois, les revenus et les dépenses du ménage, ainsi que les biens pouvant servir de canal d'information du ménage ;
- la section 2 concerne la situation de l'approvisionnement en eau des ménages et permet de relever les modes d'alimentation, les coûts d'acquisition de la ressource, les usages de l'eau, les quantités et leurs variations journalières ainsi que les problèmes rencontrés ;
- la section 3 traite du volet de l'assainissement des eaux usées avec des enregistrements sur les systèmes utilisés, leur état de fonctionnement, les facteurs de dysfonctionnement et les modalités d'exploitation de ces systèmes ;
- la section 4 porte sur l'appréciation, par les ménages, des problèmes rencontrés au niveau des systèmes d'assainissement des eaux usées ainsi que les conséquences sur l'environnement urbain et la santé. Les indicateurs sur les solutions endogènes préconisées sont également relevés dans cette section ;
- la section 5 traite de la perception des ménages sur les risques de contamination due aux eaux usées, les pratiques de valorisation des eaux usées, les risques encourus et les précautions à prendre pour limiter ces risques ;
- la section 6 détermine le niveau d'implication dans les projets d'assainissement envisageables et les formes d'organisation souhaitées pour la gestion de ces projets.

L'élaboration de la fiche d'enquête a succédé aux discussions avec quelques acteurs du secteur

de l'assainissement à Yaoundé et l'équipe d'encadrement de ce travail de recherche. Ces discussions ont permis de compléter et d'enrichir la fiche de manière à mieux cerner l'ensemble des questions posées et à faciliter la compréhension et le dépouillement des fiches. La fiche provisoire a ensuite fait l'objet d'un test de validation dans 5 « ménages pilotes » afin d'une part, de mesurer la pertinence et la bonne compréhension des questions posées et d'autre part, d'évaluer le temps d'enquête par fiche et donc la durée totale de l'enquête.

II.2.3. CONSTITUTION DE L'ECHANTILLON D'ENQUETE

Cette phase de l'étude a été délicate en raison des insuffisances présentées ci-dessus. Selon le fichier du Bureau Central des Recensements (BCR) de Yaoundé, cette ville comprenait en 1987 179 quartiers représentant en fait les zones de dénombrement homogènes dont les secteurs périurbains actuels étaient considérés comme des zones rurales. Ce fichier renseigne sur l'effectif total de la population et des ménages pour chaque zone de dénombrement.

Pour constituer notre échantillon d'enquête nous avons suivi la démarche dégressive ci-dessous schématisée et qui comporte 4 étapes (figure II.5).

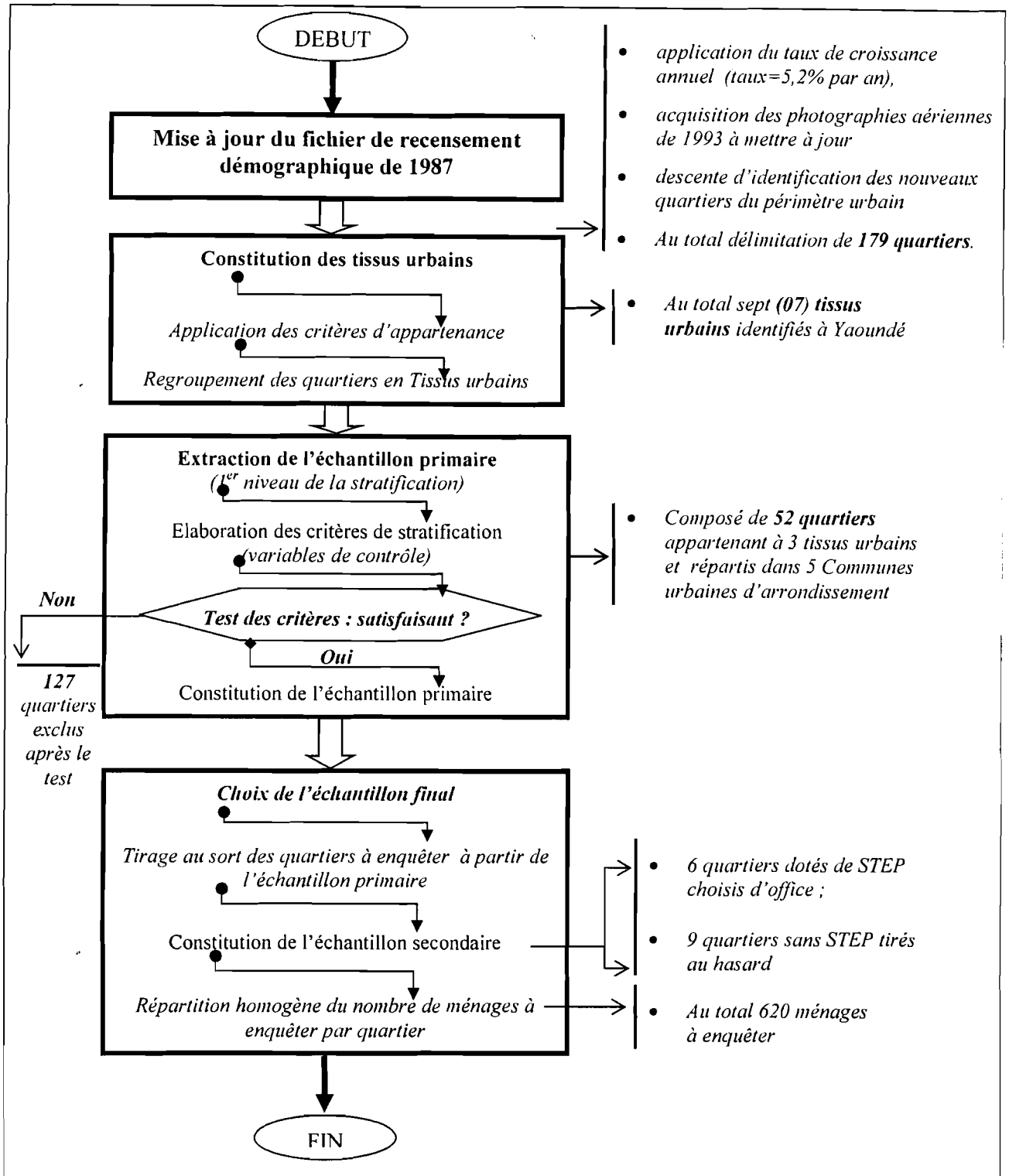


Figure II.5 : Démarche méthodologique du choix de l'échantillon des quartiers à étudier

La mise à jour du fichier du recensement de 1987

Des changements sur l'occupation des sols ont été remarquables à Yaoundé depuis 1994 surtout dans les quartiers périphériques. Une visite d'observation préliminaire a permis de mettre à jour la carte de 1987 et l'actualisation des données démographiques, en 2001, a été effectuée à partir du taux de croissance annuelle de 4,7% déterminé par les services spécialisés du recensement [RGPH, 1987 ; Ngnikam et al. 1995 ; DIAL, 1993 ; ENSP, 1995 ; Wéthé, 1999 ; Ngnikam, 2000 ; LESEAU, 2002].

La délimitation des 179 quartiers a été faite à partir de la photographie aérienne de 1993 (au 1/10.000^{ème}) sur la base de la délimitation des zones de dénombrement.

La constitution des tissus urbains et l'extraction de l'échantillon primaire

Une première stratification a permis de regrouper les quartiers en ensembles homogènes selon les 4 critères d'appartenance présentés dans le tableau II.2 :

Tableau II.2 : Critères d'appartenance aux tissus urbains

Critères	Notation		
	1	2	3
Degré de desserte (facilité d'accès aux parcelles et de circulation)	Difficile (absence de route)	Moyen (route en terre ou bitumé peu carrossable)	Facile (route en terre ou bitumée en bon état)
Niveau de standing du cadre bâti	Faible	Moyen	Haut
Taux de raccordement au réseau d'eau potable	Faible	Moyen	Elevé
Type d'ouvrage d'assainissement	Latrine traditionnelle	Fosse septique	Réseau d'égout avec station d'épuration

Ces critères sont liés à la problématique de cette étude et leurs valeurs sont connues grâce aux expériences acquises lors des travaux de recherche antérieurs sur Yaoundé et de notre parfaite connaissance du terrain pour y avoir séjourné et travaillé en continu pendant plus de 15 années.

A partir de ces facteurs, 7 strates ont été retenues. Le tableau II.3 indique pour chaque strate, le nombre de zones de dénombrement correspondant.

Tableau II.3 : Répartition des zones de dénombrement selon les tissus urbains

Type de strate	Nombre de zones de dénombrement en 2001	Total par strate
Zone d'équipements	2	52
Haut standing	7	
Moyen standing type SIC - MAETUR et assimilé	12	
Moyen standing type lotissements communaux et assimilés	31	
Spontané dense	85	127
Spontané dense restructuré	11	
Périurbain	31	
Total	179	179

L'extraction de l'échantillon primaire représente le premier niveau de notre stratification qui permet de regrouper les types de tissus urbains identifiés en deux grandes catégories :

- les tissus à appropriation spontanée de l'espace ; ils sont constitués de bidonville et des quartiers périurbains en densification : 127 zones de dénombrement du fichier initial en font partie et ont été exclues au premier niveau de sondage ;
- les tissus structurés comptent 52 zones de dénombrement ayant satisfait aux critères d'appartenance fixés. Ils regroupent les zones d'équipement, les quartiers de haut standing, les quartiers construits par la SIC ou aménagés par la MAETUR et enfin les quartiers lotis par la Communauté Urbaine de Yaoundé.

Cette deuxième catégorie (échantillon primaire) représente un centre d'intérêt à partir duquel les unités secondaires (échantillon final d'enquête) seront choisies au hasard.

Le choix de l'échantillon final

La taille de l'échantillon primaire demeure élevée compte tenu des limites du temps et des contraintes budgétaires. De manière arbitraire et délibérée, comme nous l'accorde d'ailleurs la procédure de sondage par choix raisonné, nous avons alors fixé au cinquième de l'échantillon primaire, le nombre de zones de dénombrements susceptibles de faire partir de l'échantillon secondaire. Ce qui représente de 10 à 11 unités qui seront tirées au hasard par la suite.

Le processus de choix de ces unités a démarré par leur étiquetage, de 1 à 52, suivi de leur tirage au hasard et sans remise en relevant les variables de contrôle (nom du quartier, arrondissement communal duquel il appartient, type de tissu urbain et taille). Sur la base de ces variables, l'échantillon final respecte les deux conditions ci-dessous :

- le critère géographique assurant une bonne représentativité spatiale de la ville : les zones de dénombrement choisies doivent en effet couvrir un maximal de Communes urbaines d'arrondissement et appartenir à tous les tissus que comporte l'échantillon primaire ;
- le critère technique permettant de ne pas négliger un des volets importants de cette étude, à savoir, approfondir la compréhension des problèmes d'assainissement dans les quartiers déjà dotés de réseaux d'égout et de stations d'épuration défectueuses.

Le tirage au sort s'est achevé quand le nombre de zones de dénombrement fixé a été atteint. Le tableau II.4 présente l'échantillon secondaire final en fonction des tissus urbains suivant l'ordre d'apparition lors du processus de tirage au hasard (le rang est signalé entre parenthèses).

Tableau II.4 : Répartition des ménages choisis par tirage au hasard en fonction des quartiers

Type de tissu urbain	Quartier	(Rang)	Population en 2001	Ménages en 2001
Haut Standing (a)	Grand Messa	(1a)	5 180	942
Moyen Standing Type SIC - MAETUR et assimilé (b)	Nsimeyong I	(2b)	8 321	1 632
	Biyem Assi - MAETUR	(3b)	18 864	3 144
	Mendong - Camp SIC	(4b)	10 240	1 829
	Cité verte	(7b)	10 985	2 034
	Biyem Assi - SIC	(8b)	9 433	1 572
	Messa - SIC	(11b)	7 838	1 556
Moyen standing Type Lotissement municipal et assimilé (c)	Mimboman	(5c)	29 108	7 371
	Nsam	(6c)	14 371	2 488
	Essos	(10c)	40 763	7 201
Zone Equipements (d)	Ngoa Ekélé – Université	(9d)	4 632	724
TOTAL			159 735	30 493

Au final, les 11 quartiers choisis appartiennent à 4 tissus urbains répartis dans 5 Communes urbaines d'arrondissement de Yaoundé. Le critère géographique est ainsi satisfait, de même que le critère technique puisque 5 quartiers sur 11 sont dotés de stations d'épuration.

La détermination du nombre d'unités à enquêter s'est effectuée en considérant que les 11 zones de dénombrement ont une probabilité de 1/52 (taux de sondage réel) de faire partie de l'échantillon final. Dans la pratique, nous avons utilisé un taux de sondage au 1/50^{ème} pour des raisons de conformité aux taux usuels (1, 1/2, 1/10, 1/20, 1/50, etc.). Ce choix ne modifie pas de beaucoup la taille de notre échantillon.

La répartition des ménages par quartier peut s'effectuer par pondération selon la taille ou par affectation d'un quota uniforme. La première approche permet une analyse directe des résultats de l'enquête comme un recensement. Son inconvénient, dans le contexte camerounais, est qu'il ne permet pas d'obtenir le nombre minimum significatif de 40 unités recommandées par la DSCN pour la validité d'une enquête, la pertinence des analyses intra – strates et la réduction des biais lors des comparaisons inter – strates à cause de la surestimation des strates de taille importante. Ce seuil est également admis par les pays d'Afrique de l'Ouest, qui, comme le Cameroun, ont mené des études dans le cadre de la Dimension Sociale de l'Ajustement Structurel de la Banque Mondiale [Scott et al., 1989]. C'est pour cela que la répartition uniforme des ménages a été préférée en affectant à chaque zone de dénombrement une moyenne de 60 unités à enquêter, soit un échantillon final de 660 ménages. Ceci permet à 8 zones de respecter le seuil minimal exigé tout en améliorant leurs précisions (tableau II.5). Par contre, 2 quartiers (Mimboman et Essos) seront de taille inférieure à celle obtenue par la première approche.

Tableau II.5 : Répartition en fonction des quartiers du nombre de ménages à enquêter

Quartier	% Ménage	Nombre de fiches (approche 1)	Nombre de fiches (approche 2)	Taux de sondage (approche 2)	Probabilité de tirage du quartier (approche 2)	Probabilité finale tirage du ménage (approche 2)	Facteur de pondération (approche 2)
Nsimeyong I	5,4%	33	60	3,7%	0,2	0,0074	136,0
Biyem Assi - MAETUR	10,3%	63	60	1,9%	0,2	0,0038	262,0
Mendong	6,0%	37	60	3,3%	0,2	0,0066	152,4
Cité verte	6,7%	41	60	2,9%	0,2	0,0059	169,5
Biyem Assi - SIC	5,2%	31	60	3,8%	0,2	0,0076	131,0
Messa	8,2%	50	60	2,4%	0,2	0,0048	208,2
Mimboman	24,2%	147	90	1,2%	0,2	0,0024	409,5
Nsam	8,2%	50	60	2,4%	0,2	0,0048	207,3
Essos	23,6%	144	90	1,2%	0,2	0,0025	400,1
Ngoa Ekélé – Université	2,4%	14	60	8,3%	0,2	0,0166	60,3
Total	100,0%	610	660	2,2%	0,2	0,0043	231,0

L'analyse de la photographie de 1993 montre que Grand Messa et Messa – SIC font partie du même ensemble de la SIC raccordés au même système d'égout. Ces deux quartiers fusionnés

représenteront ultérieurement le quartier Messa. En vue de conserver la taille de l'échantillon final, nous avons opté pour l'amélioration des taux de sondage des quartiers Mimboman et Essos qui sont de taille importante (tableau II.5).

A partir de cette approche, le processus d'extrapolation des résultats sur l'univers de l'enquête s'opérera en appliquant l'inverse de la probabilité finale du tirage d'un ménage. Cette probabilité est le produit de la probabilité de tirage de l'échantillon secondaire (= 10/50) et de la probabilité de tirage d'un ménage dans le quartier choisi (tableau II.5). La carte 3 localise ces quartiers.

II.2.4. ORGANISATION ET ADMINISTRATION DE L'ENQUETE

Des lettres de demande d'autorisation d'enquête ont été transmises par la Direction de l'Ecole Nationale Supérieure Polytechnique (ENSP) de Yaoundé aux autorités administratives locales (Mairies, Sous-préfectures). Il a été par la suite procédé à la reproduction des questionnaires et des photographies aériennes des quartiers choisis ainsi que l'acquisition du matériel nécessaire.

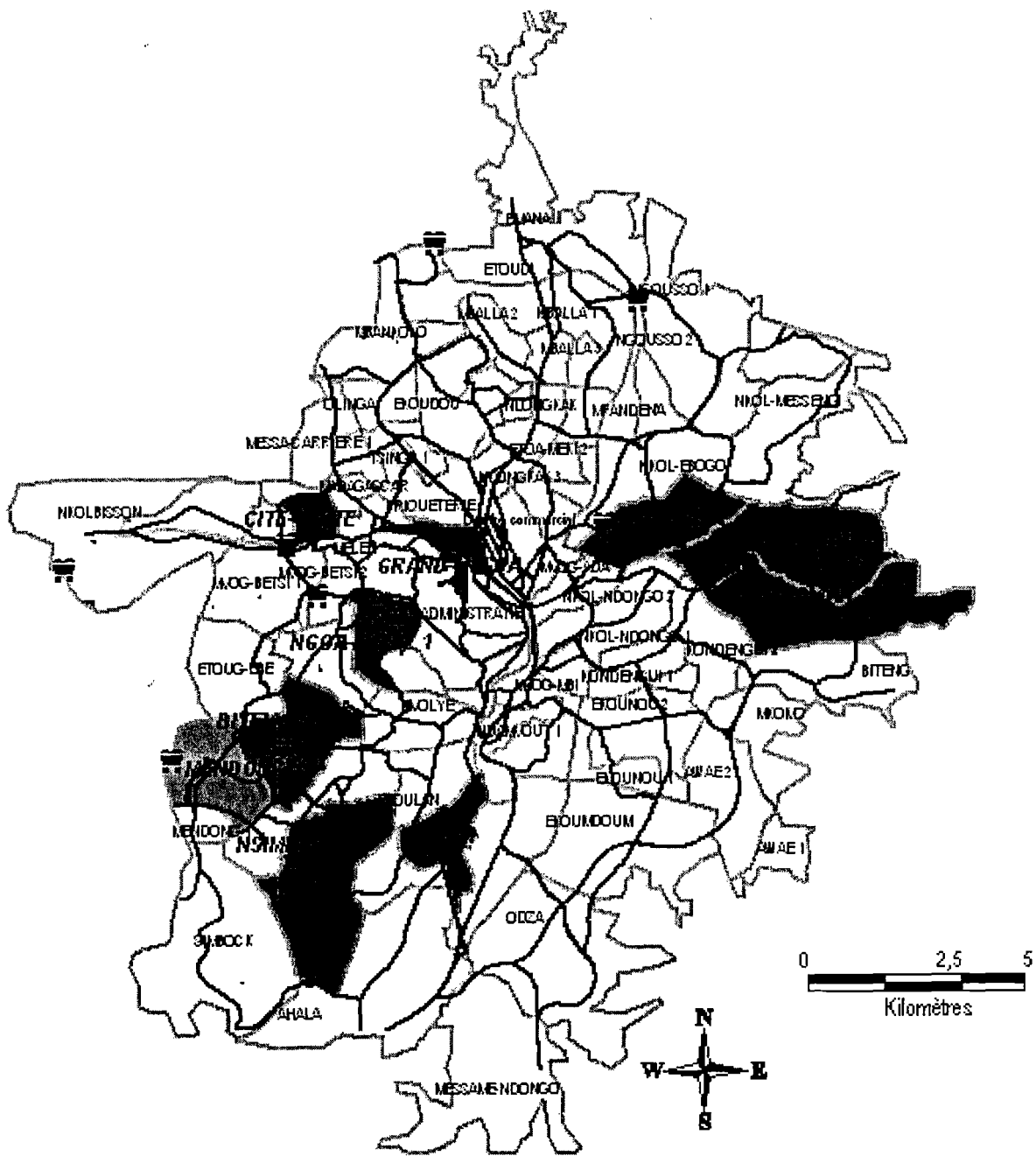
Le recrutement de 10 enquêteurs a été facile. Ils font partie du réseau d'enquêteurs du Laboratoire Environnement et Sciences de l'Eau (LESEAU) de l'ENSP et de l'ONG camerounaise Environnement Recherche Action (ERA), deux structures dans lesquels nous avons travaillé. Leur expérience, dans des études similaires par le passé, a facilité la formation.

Afin de limiter l'initiative des enquêteurs dans le choix des ménages à interroger, chaque quartier a été segmenté en îlots quasi homogènes sur le plan spatial et à répartir dans chaque îlot un nombre uniforme de fiches à remplir. Cette précaution réduit les risques de passages répétés et évite aux enquêteurs d'être enclin à sélectionner les ménages voisins de leur domicile ou appartenant à des connaissances. Ces précautions s'accommodent de la méthode de Politz très utilisée dans les enquêtes en milieu urbain [Grais, 1998].

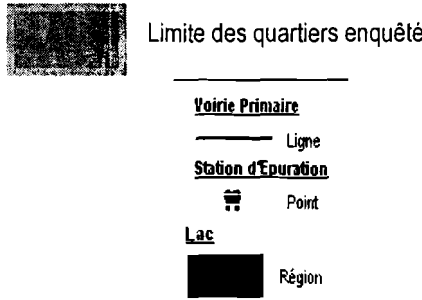
II.2.5. TRAITEMENT INFORMATIQUE DES DONNEES

Le contrôle des fiches s'est effectué à la fin de chaque journée. Ce contrôle a consisté en la vérification du respect du nombre de fiches par quartier et par îlot, la cohérence du remplissage des fiches et la vraisemblance des informations, strate par strate. Le cas échéant, des corrections ont été apportées en concertation avec l'enquêteur. Ce n'est qu'après cela, que les fiches étaient validées, codifiées, dépouillées et traitées.

Un masque de saisie des fiches a été élaboré dans le logiciel EXCEL. Le traitement a permis d'obtenir des résultats sous forme de tableaux ou de graphiques.



LEGENDE



Font numérique : LESEAU/ENSP
Août 2004
Logiciel SIG : MapInfo 7.5

Carte 3 : Localisation des quartiers enquêtés

II.3. METHODOLOGIE D'ENQUETES AUPRES DES AGRICULTEURS

L'épuration des eaux usées génère nécessairement des sous-produits dont il est important de connaître le devenir. Plusieurs filières sont envisageables telles que le rejet des effluents dans les cours d'eau, la mise en décharge des boues d'extraction ou leur incinération. Ces dernières solutions sont coûteuses et les risques de dysfonctionnement des systèmes sont importants. Il s'avère alors nécessaire de rechercher des solutions bénéfiques pour les activités intra – urbaines potentielles réutilisatrices des sous-produits telles que le maraîchage, l'élevage et l'artisanat très développées Afrique en général et au Cameroun en particulier [Niang, 1996 ; Cissé, 1997 ; Wéthé, 2000 ; IAGU, 2002 ; Kengné, 2002 ; Koné, 2002 ; Wéthé et al., 2002].

A Yaoundé, des travaux ont porté de manière parcellaire sur l'évaluation du potentiel de réutilisation des sous-produits de l'épuration [Agendia, 1987 ; Kengné et al., 2002]. D'où la nécessité d'une étude prospective et d'une évaluation des secteurs d'activités susceptibles de constituer un potentiel de réutilisation des sous-produits de l'épuration des eaux usées. Ceci devrait permettre de répondre aux questions suivantes : Qui sont les promoteurs agricoles de la ville de Yaoundé ? Quelles sont leurs pratiques et les perspectives en matière d'utilisation des eaux usées et polluées en agriculture ? Quels sont les risques encourus dans leurs pratiques ?

Pour répondre à ces questions, des enquêtes individuelles de type orienté et des entretiens de groupe avec les opérateurs concernés ont été conduits dans une quinzaine de sites agricoles de Yaoundé entre février et octobre 2002. Ces rencontres avaient pour but d'une part, de cerner les acteurs, les pratiques, les problèmes rencontrés, les solutions envisagées, les risques encourus dans leurs activités et d'autre part, d'évaluer auprès de ces promoteurs, la demande potentielle en sous-produits de l'épuration.

La démarche suivie est composée de 3 phases principales : l'élaboration de la fiche d'enquête, l'identification des sites maraîchers, la constitution de l'échantillon et la réalisation de l'enquête.

II.3.1. ELABORATION DE LA FICHE D'ENQUETE.

Cette fiche comporte 3 sections (Annexe II). La première section, qui porte sur les données sociodémographiques et sur l'habitat, vise à caractériser les promoteurs. La seconde section décrit la parcelle agricole avec des indicateurs tels que le mode d'acquisition de la parcelle, la superficie moyenne. La troisième section permet de cerner l'activité avec des paramètres tels que la main d'œuvre utilisée, les spéculations pratiquées, les systèmes d'irrigation, les pratiques de réutilisation d'eaux usées ou autres sous-produits ainsi que les problèmes rencontrés. Cette fiche a été préalablement testée sur 3 « maraîchers pilotes » puis corrigée et validée.

II.3.2. IDENTIFICATION DES SITES MARAICHERS, CONSTITUTION DE L'ECHANTILLON ET ADMINISTRATION DE L'ENQUETE

Une descente sur le terrain a permis d'identifier les sites potentiels de réutilisation des eaux usées dans la ville. Chaque site était répertorié dans une grille comportant les informations sur le quartier concerné, la proximité ou non d'une station d'épuration, les principales cultures pratiquées, l'importance de l'activité agricole (Annexe II).

La liste des sites maraîchers n'étant pas importante, ils ont été choisis en privilégiant non seulement la représentativité géographique, mais aussi les zones situées en aval des points de rejet des stations d'épuration compte tenu de la problématique de cette recherche.

Au total, une quinzaine de sites agricoles a été sélectionnée. En l'absence de statistiques fiables, un seuil minimal de 40 promoteurs a été fixé pour étudier puis valider les résultats.

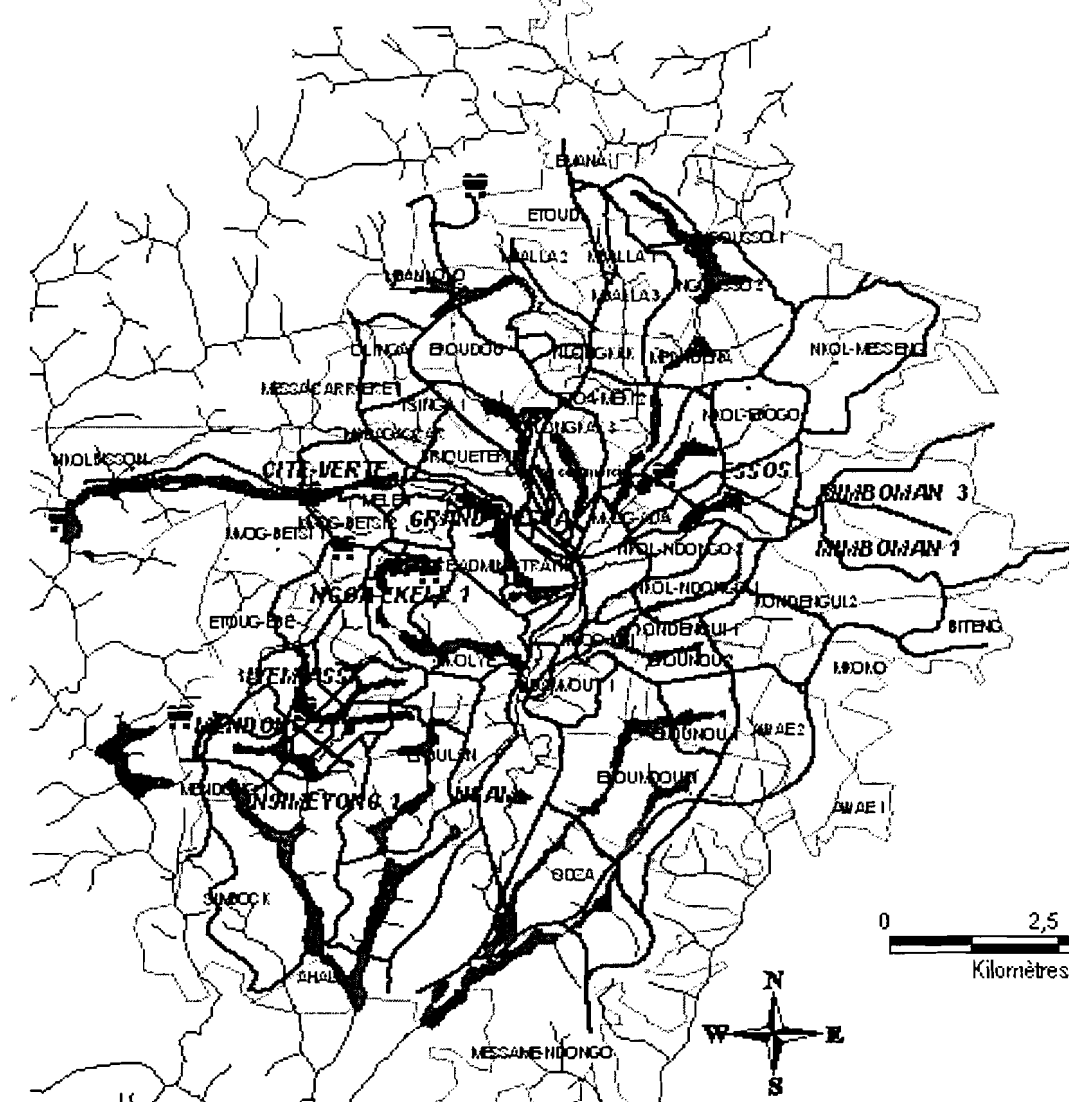
Avec les fiches d'enquête, les sites maraîchers de la ville ont été sillonnés et les fiches d'enquêtes étaient administrées au fur et à mesure que des opérateurs agricoles étaient disponibles. Les données ainsi collectées ont été codifiées puis traitées dans EXCEL. Le tableau II.6 présente, pour chaque site choisi, le nombre de maraîchers effectivement rencontrés.

Tableau II.6 : Les sites agricoles étudiés

N°	QUARTIER	Nombre d'agriculteurs interrogés	N°	QUARTIER	Nombre d'agriculteurs interrogés	N°	QUARTIER	Nombre d'agriculteurs interrogés
1	Mbankolo	7	7	Essos	2	13	Nsimeyong	9
2	Biyem Assi	6	8	Mballa 4	3	14	Olézoa	2
3	Briqueterie	3	9	Mendong	13	15	Oyom Abang	3
4	Djongolo	4	10	Messa	4	16	Université	11
5	Efoulan	4	11	Mimboman	3		Total	86
6	Ekounou	4	12	Nkol Bisson	8			

Dans chaque zone agricole, 3 échantillons d'eau ont été prélevés, en amont, au milieu et en aval du bassin versant pour l'étude des nuisances potentielles de ces activités. Les échantillons ont été transportés au laboratoire d'analyse des eaux et des sols de l'Université de Yaoundé I.

La carte 4 localise ces différents sites ainsi que les zones humides correspondantes.



LEGENDE

Zones Humides



Zone humide étudiée



Zone humide non étudiée



Lac et étang

Cours d'Eau



Cours d'eau

Station d'épuration



Point

Voie Primaire

Ligne

Quartiers Enquetés



Limite des quartiers

Font numérique : LESEAU/ENSP
Août 2004

Carte 4 : Localisation des zones humides de Yaoundé

II.4. METHODOLOGIE D'ANALYSE DES IMPACTS DES REJETS D'EAUX USEES DANS LES ZONES HUMIDES

L'objectif de ce volet de l'étude est d'identifier les sources de pollution de ces milieux naturels par les eaux usées, d'en évaluer leur degré de contamination et de dégradation par l'analyse d'échantillons d'eau de surface qui s'écoulent dans ces écosystèmes. Cette partie de la recherche a été conduite dans une vingtaine de zones humides.

L'enquête auprès des ménages et l'entretien avec les responsables du Ministère de la santé publique complètent ce volet par l'appréciation qu'ils font des risques de pollution par les eaux usées et des conséquences qu'ils pressentent au niveau environnemental et sanitaire.

II.4.1. IDENTIFICATION DES SOURCES DE POLLUTION DES ZONES HUMIDES

A partir de la photographie aérienne de 1993, nous avons délimité 25 zones humides appartenant à 12 sous bassins versants. Trois critères ont permis de constituer l'échantillon : la présence de stations d'épuration, de quartiers spontanés et d'activités anthropiques particulières.

Une campagne d'identification des sources de pollution a été menée à l'aide de la grille élaborée à cet effet (Annexe II). Une note de 1 à 4 a été attribuée à chaque type de sources pour marquer l'intensité de sa contribution à la pollution des zones humides visitées (tableau II.7).

Tableau II.7 : Grille d'appréciation du niveau de pollution des zones humides par les eaux usées

Niveau de pollution		Faible	Moyen	Elevé	Très élevé
Logique d'appréciation	Niveau de minéralisation	<i>Faible</i>	<i>Moyen</i>	<i>Accentué</i>	<i>Elevé</i>
	Indice de pollution organique	<i>Faible</i>	<i>Moyen</i>	<i>Accentué</i>	<i>Très accentué ou exceptionnel</i>
Notation		1	2	3	4

II.4.2. ANALYSE DE LA QUALITE DES EAUX DE SURFACE DES ZONES HUMIDES

Dans chaque zone humide choisie, 3 échantillons moyens d'eau de surface correspondant aux positions amont, milieu et aval ont été prélevés (figure II.6).

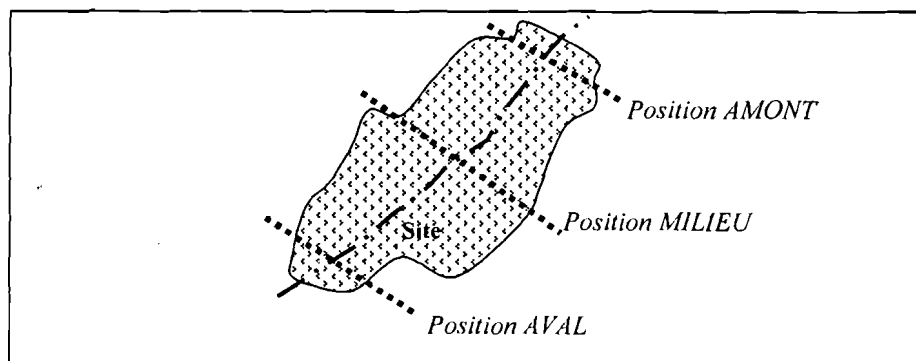


Figure II.6 : Plan de prélèvement des échantillons de sol dans les zones humides

Pendant le parcours des zones humides, des prélèvements complémentaires ont été également effectués en certains points particuliers (exutoires des stations d'épuration, points de rejet des eaux usées des ouvrages d'assainissement individuel ou d'autres activités anthropiques) ; ceci avait pour but de mesurer la part de ces sources particulières sur la pollution du milieu aquatique.

Les matériels et les protocoles expérimentaux utilisés pour évaluer les paramètres de pollution des eaux superficielles des zones humide sont ceux décrits par Hach (1992) dans *Hand book of water analysis* dont une synthèse est reprise en annexe II.

Le cheminement des opérations est schématisé par l'organigramme de la figure II.7.

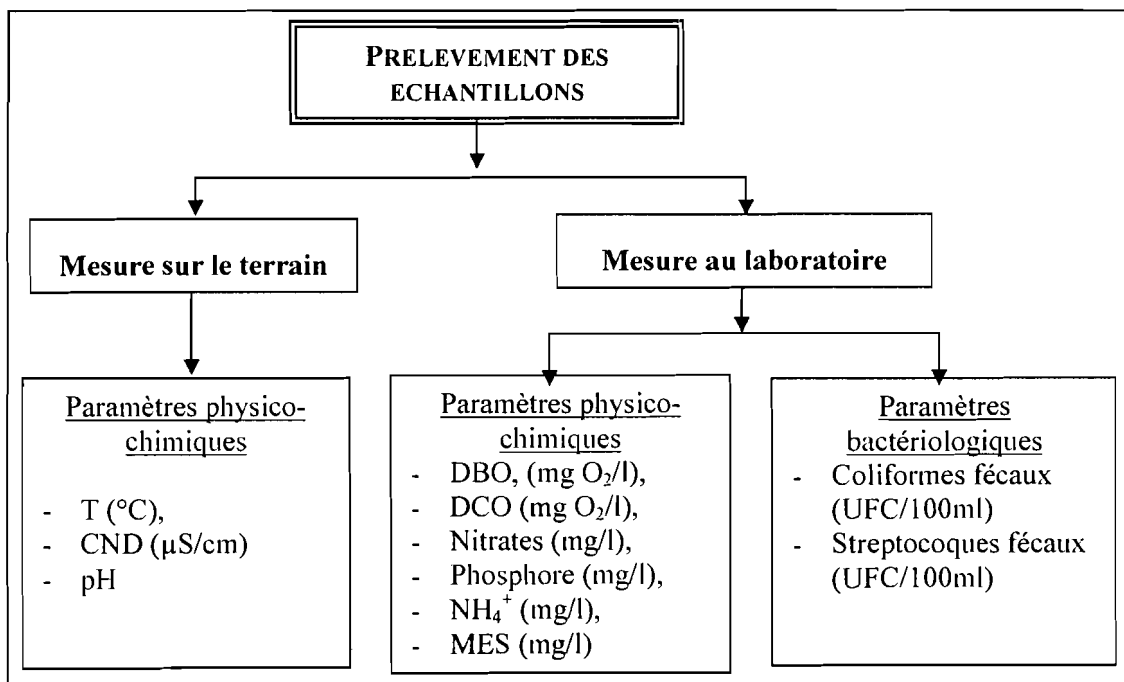


Figure II.7 : Schéma synoptique général de détermination des paramètres physico-chimiques et des bio-indicateurs de pollution de l'eau superficielle des zones humides étudiées

Les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des échantillons ont été déterminées pour l'essentiel au laboratoire *Water Research Unit* (WRU) de la Faculté des sciences de l'Université de Yaoundé 1. Certaines analyses ont été effectuées dans les laboratoires d'analyse des eaux du Ministère des mines, de l'eau et de l'énergie du Cameroun.

II.5. METHODOLOGIE D'ETUDE PHYTOSOCIOLOGIQUE

Il est reconnu « *qu'une plante qui vit et se développe dans un milieu fortement chargé est susceptible non seulement de supporter des eaux usées brutes, mais aussi et peut être, de montrer des capacités épuratrices* » [Radoux, 1977]. L'étude préliminaire des espèces végétales dans les zones humides revêt ainsi son importance lorsqu'on envisage d'expérimenter les écosystèmes d'épuration des eaux usées. La possibilité d'une valorisation locale est un autre critère non négligeable [Radoux, 1977].

La phytosociologie est la démarche la mieux appropriée pour effectuer un tel inventaire floristique. La méthode SIGMA ou « Sigmatiste », mise au point par la Station Internationale de Géobotanique Méditerranéenne et Alpine en France, a été utilisée à cet effet. Les principes de cette méthode ont été largement détaillés dans Guinochet (1955, 1973) [Yonkeu, 1996].

Un total de 23 zones humides a ainsi été parcouru au cours de l'année 2001 (février – mars et juin – octobre). Les résultats de ces relevés ont été regroupés en 19 stations correspondant aux noms des quartiers dont elles constituent les limites naturelles.

II.5.1. PROTOCOLE DE COLLECTE DES DONNEES ET EXECUTION DES RELEVES

Certains auteurs pensent que l'établissement de la liste floristique est précédé par la délimitation de l'aire minimale à partir de la courbe Aire – Espèce [Gounot, 1969 ; Godron, 1968 ; cités par Yonkeu, 1996]. D'autres ont établi, pour l'Afrique tropicale, des aires minimales de :

- 16 m² à 400 m² pour les strates herbacées du Sud de la région Baoulé et de la basse Côte d'Ivoire [Roland, 1967 ; Poissonnet et al., 1972 ; cités par Yonkeu, 1996] ;
- 64 m² dans les strates herbacées du Bénin et de la Province de l'Adamaoua, situé au nord à 500 km de Yaoundé [Adjanohoun, 1962 ; Pamo et al., 1986 ; cités par Yonkeu, 1996].

En l'absence de courbes Aire – Espèce pour les strates herbacées de la région de Yaoundé, nous avons fixé des aires de 64 m² comme surface de relevé. Dans chaque zone humide (relevé), 3 points de prélèvement, de 64 m² chacun, ont été analysés, soit un total de 3 648 m² couverte dans les 19 relevés. En chaque point, il a été procédé à un inventaire exhaustif des espèces rencontrées en prenant soin de noter leur importance. Au fur et à mesure que la surface d'observation était agrandie, telle que le schématise la figure II.8, les nouvelles espèces étaient annotées.

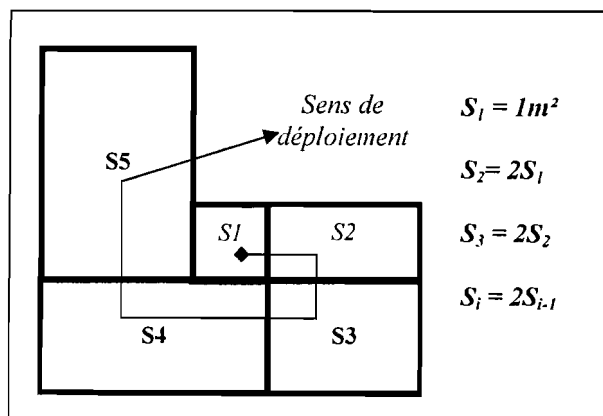


Figure II.8 : Dispositif en colimaçon du déploiement sur le site selon la méthode SIGMA.

En chaque point de prélèvement, les plantes étaient récoltées dans leur meilleur état possible (présence de fleurs épanouies et si possible les fruits). Pour chaque relevé, un fichier, comportant

les indications du site (nom du cours d'eau, topographie, hauteur de l'eau), la date, la liste complète et les noms des espèces, était élaboré.

Les coefficients d'abondance – dominance, pour chaque espèce, ont été appréciés dans l'aire délimitée en nous basant sur l'échelle de Braun Blanquet dont les valeurs sont consignées dans le tableau II.9 [Roggeri, 1995 ; Salle, 1985 ; Schmitz, 1971, 1988 ; Yonkeu, 1996].

Tableau II.8 : Echelle des coefficients de quantité de Braun – Blanquet

Echelle des coefficients de quantité	Recouvrement (%)	Echelle des quantités moyennes correspondantes ²
+	Très faible	0,002
1	<5%	0,025
2	5 – 25%	0,150
3	25 – 50%	0,375
4	50 – 75%	0,625
5	75 – 100%	0,875

L'indice de sociabilité a été également estimé suivant l'échelle suivante proposé par Lacoste et al., 1969 (in WEB 14) :

- 1 → Individus isolés les uns des autres
- 2 → Touffes
- 3 → Groupes, tâches ou coussinets
- 4 → Colonies ou tapis importants
- 5 → Nappe continue ou peuplement dense, presque pur

Les échantillons collectés étaient placés dans des presses pour herbar et transportés au Laboratoire de Botanique de l'Université de Yaoundé 1 en vue de la première phase d'identification à partir de la flore de l'Afrique de l'Ouest élaborée par Hutchinson et Dalziel entre 1954 et 1972. Ces échantillons ont ensuite été transférés à l'Herbier National du Cameroun basé à Yaoundé pour des études taxonomiques plus poussées.

II.5.2. TRAITEMENT DES DONNEES

Les informations collectées ont été regroupées dans la matrice dite de « Présence – Absence » dont l'intersection des lignes (espèces) avec les colonnes (sites) contient la fréquence de présence³ de l'espèce qui est de 1 pour sa présence et de 0 pour son absence. Cette matrice contient les espèces classées par ordre de présence décroissante et regroupées de manière à faire

² L'échelle des quantités moyennes correspondances entre les coefficients d'abondance – dominance de Braun Blanquet a été proposée par Mullender et rapportée par Vaden Berghen (1982). Source : Yonkeu, 1996 ; Sarr et al., 2001.

³ La fréquence de présence d'une espèce, au sens mathématique du terme, est le rapport du nombre de relevés dans lesquels l'espèce est présente au total de ceux dont comporte l'échantillon d'étude.

apparaître les discontinuités floristiques lorsque c'est possible. La recherche de cette discontinuité s'exécute de manière itérative et consiste à isoler les groupes de relevés auxquels certaines espèces apparaissent plus ou moins nettement liées du point de vue de leurs fréquences.

De la matrice Présence - Absence, nous avons déduit les associations végétales et constitué un tableau dit élaboré (ou Matrice d'Abondance - Dominance).

Sur le plan pratique, le fichier des données a été saisi sous le logiciel EXCEL en vue de traitements ultérieurs.

II.6. METHODOLOGIE D'ETUDE DES TYPES DES SOLS DES ZONES HUMIDES

L'étude des sols sur lesquels se développent les macrophytes a été réalisée dans les mêmes zones humides que celles ci-dessus présentées.

II.6.1. PLAN DE PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS

Le plan de prélèvement est schématisé par la figure II.9.

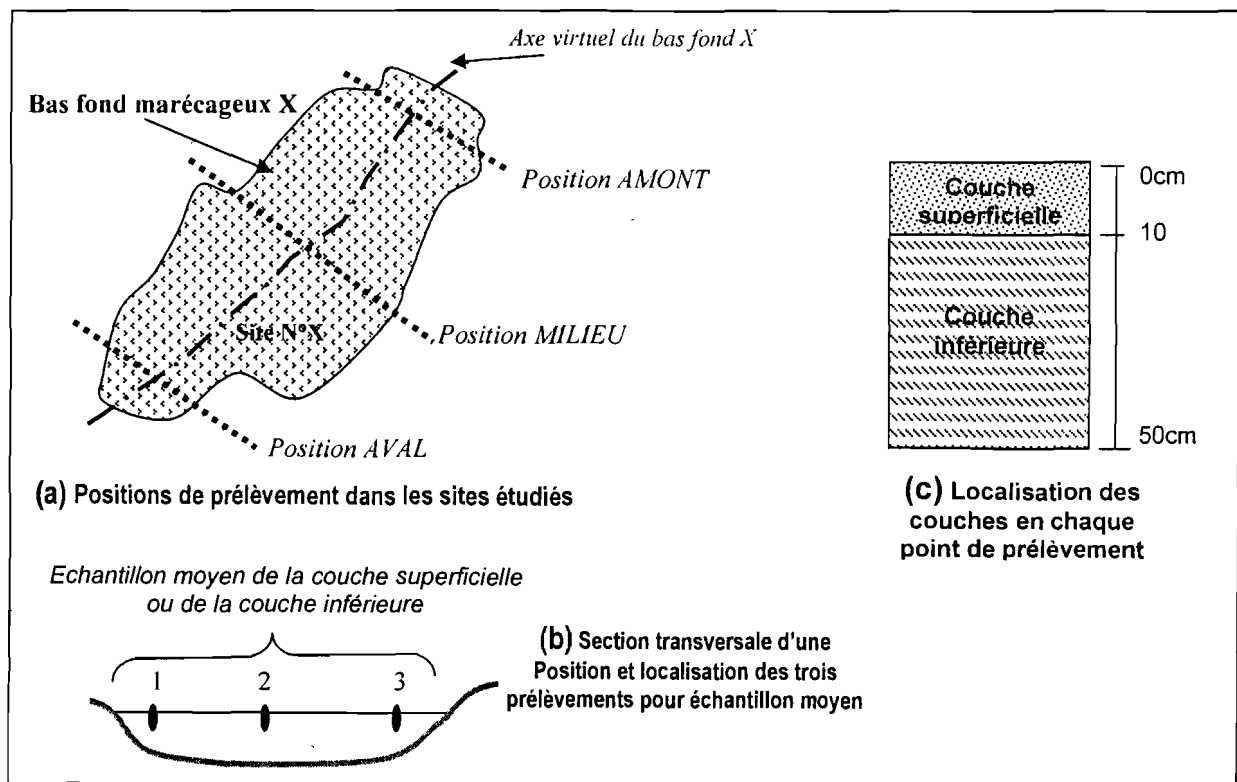


Figure II.9 : Plan de prélèvement des échantillons de sol

Chaque site comporte 3 positions de prélèvement, en amont, au milieu et en aval (schéma (a)), exception faite pour certains sites, tels que Olézoa, Biyem Assi et Hôpital de la Caisse, à cause

des contraintes d'accès au milieu du site due à la présence de déchets solides encombrants et de l'eau à des profondeurs importantes. A chaque position, trois points de prélèvement sont localisés sur les rives à près de 2 mètres et vers le centre du site (schéma (b)). Au niveau d'un point de prélèvement, des échantillons de sol sont prélevés en surface, à moins de 10 cm du sol, et en profondeur autour de 50 cm (schéma (c)).

Pour chaque couche, le mélange des prélèvements 1-2-3 forme l'échantillon moyen de la position considérée. La collecte des échantillons (voir liste en Annexe II) s'est effectuée en saison sèche entre février et septembre, en 2001 et en 2002, pour faciliter l'accès aux sites qui présentent par ailleurs des reliefs accidentés.

Pour chaque site, 9 prélèvements ont été effectués en surface et en profondeur, soit 6 échantillons moyens par site et donc 108 échantillons pour l'ensemble des zones humides étudiés. Ces échantillons ont été ensachés et transportés au Laboratoire de Pédologie de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé 1 pour des analyses granulométriques.

II.6.2. PROTOCOLE D'ANALYSES GRANULOMETRIQUES DES ECHANTILLONS

Les analyses de ces échantillons ont nécessité comme matériel :

- une étuve pour le séchage des échantillons et une colonne de tamis de type *Fritsch* pour le tamisage à sec des échantillons ;
- un distillateur à eau de type *Monodest 3000* et un agitateur rotatif pour disperser les argiles ;
- une balance de précision et du petit matériel (spatule, béciers, allonges, boîtes à tare, pipette de *Robenson* et boîtes de 1,5 litres pour agitation et dispersion des échantillons).

Après avoir homogénéisé l'échantillon et prélevé 20 g du mélange dans des béciers de 25 ml, nous avons procédé à la destruction de la matière organique par l'eau distillée, à froid durant 24 heures puis par chauffage à l'étuve à 105°C pendant 24 heures. L'échantillon refroidi est transvasé dans des bouteilles de 1,5 l après ajout de 25 ml d'une solution d'héxamétaphosphate de sodium à 52 g/l et de d'eau distillée à 400 ml. L'ensemble est porté sur l'agitateur rotatif pendant 2 heures pour une vitesse de 35 tours/mn puis transvasé dans l'allonge.

La méthode d'analyse granulométrique utilisée est celle du Laboratoire Commun de Dakar décrite par Paycheng (1980). Cette méthode permet de classer les éléments du sol par catégorie de granulométrie après destruction de la matière organique et des agrégats. Par sédimentation et tamisage, nous avons recherché les principaux éléments suivants :

1. les sables grossiers (2 mm à 200 μ) et les sables fins (200 μ à 50 μ) ;

2. les limons grossiers (50μ à 20μ) et les limons fins (20μ à 2μ) ;
3. les argiles éléments inférieurs à 2μ .

II.6.3. EXPRESSION MATHEMATIQUE DES RESULTATS

Les paramètres recherchés sont la masse et le pourcentage des éléments constitutifs de l'échantillon. Pour les évaluer, nous avons utilisé les méthodes mathématiques suivants :

Expressions mathématiques de la Masse des éléments dans 20 g

☞ Masse de l'argile	→	$M_{\text{argile}} = (a_1 - a_0 - f) \times 50 \text{ (g)}$
☞ Masse de l'argile plus limon fin	→	$M_{L_f} = [(b_1 - b_0) - (a_1 - a_0 - f)] \times 50 \text{ (g)}$
☞ Masse de l'argile plus limon	→	$M_{L_g} = [(c_1 - c_0) - (b_1 - b_0)] \times 50 \text{ (g)}$

Expressions mathématiques du pourcentage des éléments dans 20g

☞ Pourcentage de l'argile	→	$\% \text{arg} = (a_1 - a_0 - f) \times 250 ;$
☞ Pourcentage de limon fin	→	$\% L_f = [(b_1 - b_0) - (a_1 - a_0 - f)] \times 250.$
☞ Pourcentage de limon	→	$\% L_g = [(c_1 - c_0) - (b_1 - b_0)] \times 250$ ou $\% L_g = 100\% - (\%A + \%L_f + \%S_f + \%S_g)$
☞ Pourcentage des sables totaux	→	$\% \text{Sables totaux} = 5 \times (D_1 - D_0) ;$
☞ Pourcentage des sables grossiers	→	$\% \text{Sables grossiers} = 5 \times (E_1 - E_0) ;$
☞ Pourcentage des sables fins	→	$\% \text{Sables fins} = 5 \times (F_1 - F_0) ;$

Variables	Variables
- a_0 : poids de la tare des argiles	- D_1 : poids de sables totaux et de la tare
- a_1 : poids de l'argile et de sa tare	- G_0 : poids de la tare de sables grossiers
- b_0 : poids de la tare de l'argile + limon fin	- G_1 : poids de sables grossiers et de la tare
- b_1 : poids des argiles + limon fin et de sa tare	- F_0 : poids de la tare de sables fins
- c_0 : poids de la tare de l'argile + limon	- F_1 : poids de sables fins et de la tare
- c_1 : poids des argiles + limons et sa tare	- f : poids du blanc
- D_0 : poids de la tare pour la pesées des sables	- Valeur moyenne de l'échantillon ($20 \pm 0,2$) g

Le logiciel STATISTICA a été utilisé pour opérer une classification des zones humides de Yaoundé en fonction de leurs vraisemblances texturales. Il offre la possibilité d'effectuer des analyses multivariées de la masse importante de données collectées. En effet, ces analyses, qui portent sur 18 échantillons (3x2 prélèvements pour 3 positions dans chaque site), concernent en même temps 4 paramètres (argiles, limons, sables et matières organiques) pour les 19 zones humides parcourues. Ce qui représente un total de 1 368 données à traiter.

II.7. METHODOLOGIE D'ETUDE DES DONNEES CLIMATOLOGIQUES ET HYDRAULIQUES

Les paramètres climatiques influencent le fonctionnement et l'efficacité des stations extensives d'épuration des eaux usées. Ils interviennent, à des degrés divers, dans le développement et la croissance des macrophytes [Radoux, 1977 ; Yonkeu, 1996].

Parmi ces paramètres, la température, la pluviométrie, l'humidité de l'atmosphère et l'évaporation seront particulièrement examinées dans ce volet de la recherche pour leur disponibilité sur une période suffisamment étendue dans les services météorologiques de Yaoundé. Les autres paramètres, tels que l'insolation, la pression atmosphérique, la vitesse du vent et la couverture atmosphérique, lorsqu'ils existent, sont incomplets et présentent des discontinuités sur des périodes relativement importantes pour une même année d'observation.

A l'influence des facteurs climatiques sur les plantes, s'ajoute le régime hydraulique dans les zones humides étudiées, notamment la profondeur et la vitesse d'écoulement de l'eau de surface. C'est pour cette raison que cet aspect a été également abordé dans cette partie.

II.7.1. MATERIEL ET METHODE D'ETUDE DES FACTEURS CLIMATIQUES

Les données climatiques nous ont été fournies par le Service de la Météorologie National. Elles concernent les moyennes mensuelles des températures, des précipitations, de l'hygrométrie et de l'évapotranspiration potentielle, entre 1992 à 2003. L'analyse de ces données a permis de mettre en relief les particularités climatiques de Yaoundé, susceptibles d'influencer le fonctionnement des systèmes d'épuration extensive des eaux usées et le développement des espèces végétales dans les zones humides. Elle a aussi permis d'évaluer les moyennes, les variations mensuelles et interannuelles pour la durée d'observation.

II.7.2. MATERIEL ET METHODE D'ETUDE DES DONNEES HYDRAULIQUES

Les éléments hydrauliques dont il est question portent essentiellement sur l'écoulement des eaux superficielles dans les zones humides ayant fait l'objet d'études de sols, d'études phytosociologiques et d'analyses de la qualité des eaux de surface. Il ne s'agit que d'une estimation tout à fait grossière des débits, mais ces évaluations sont suffisantes à notre niveau de caractérisation des sites étudiés. Cette étude s'est déroulée de juin à la septembre 2002.

Le principe est assez simple et consiste à se fixer d'amont en aval du point de relevé, une distance donnée entre deux points X_1 et X_2 à l'aide du double décimètre, puis à jeter dans l'eau

l'élément flottant en amont du point X_1 . Au passage de ce flotteur à la position X_1 , le chronomètre est déclenché et stoppé au passage du point d'arrivées X_2 . Entre les deux points (X_1 , X_2), il s'est écoulé un temps (t) fourni par le chronomètre. On répète l'opération autant de fois que possible, jusqu'à obtenir une séquence d'au moins 3 valeurs consécutives proches les unes des autres. Les mesures des sections mouillées sont effectuées à la suite de la détermination de la vitesse de l'eau en ce point.

CONCLUSION

En conclusion, l'on constat que le niveau d'assainissement des eaux usées et excréta est particulièrement bas à Yaoundé comme dans bien de villes africaines au sud du Sahara. Cette situation contribue à accroître les risques sanitaires auprès des populations. La recrudescence des maladies diarrhéiques, notamment les épidémies de choléra constatées ces derniers mois au Sénégal, au Nigeria, au Mozambique, au Burundi, au Cameroun, au Congo (RD), en Zambie, au Liberia, au Tchad etc., en est une parfaite illustration. Les efforts qui ont été fournis par les Gouvernements, les municipalités avec l'appui des partenaires au développement, ont porté, soit sur des systèmes dépassant leur capacité à assurer une exploitation régulière et convenable, soit alors sur des techniques qui n'ont jamais été au préalable expérimentées localement. Ceci a conduit à l'abandon de ces systèmes et avec pour conséquence la pollution et la dégradation de l'environnement urbain et surtout des écosystèmes aquatiques.

Une revue de la littérature montre que plusieurs solutions regroupées autour du concept de technologies d'épuration extensive des eaux usées existent de par le monde. Ces technologies ont montré des résultats acceptables du point de vue des performances épuratoires dans leurs contextes urbanistiques et environnementaux respectifs. L'imprudence d'effectuer un transfert tous azimuts, de ces technologies dans des régions différentes de celle où elles ont été expérimentées et validées, justifie après ce chapitre, notre choix pour le processus des MHEA® comme moyen d'optimisation et de développement des technologies extensives d'épuration des eaux usées en zones de climat tropical humide.

La mise en application de ce processus, dans un contexte comme celui de Yaoundé, recommande que soient préalablement étudiés les facteurs urbanistiques et naturels, les contraintes environnementales et sanitaires de l'assainissement ainsi que les conditions de réussite de ce processus dans un centre de recherche et d'expérimentation.

La méthodologie générale, adoptée et présentée dans ce chapitre, concourt à atteindre ces objectifs. Les résultats obtenus font l'objet des prochains chapitres.

Troisième Chapitre :

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

INTRODUCTION

Ce chapitre présente l'ensemble des résultats des investigations menées à Yaoundé de octobre 1999 à juillet 2003. Il clarifie les principaux facteurs à prendre en compte dans l'application future du processus des MHEA® en zone de climat tropical humide et se structure en paragraphes :

1. Le premier paragraphe présente les facteurs urbanistiques. Le principe consiste, d'une part, à présenter les caractéristiques socioéconomiques et l'organisation spatiale de l'habitat dans les quartiers structurés de Yaoundé et d'autre part, à décrire les pratiques d'approvisionnement en eau et d'assainissement des eaux usées. L'évaluation des quantités d'eaux consommées et rejetées par les ménages et par strates précèdera l'analyse de la perception populaire sur les problèmes environnementaux et sanitaires dus aux eaux usées. Ce volet s'achève par la présentation des solutions endogènes telles que perçues par les ménages eux-mêmes en vue d'une meilleure gestion de ces rejets.
2. Le second paragraphe porte sur l'évaluation de la pollution des zones humides par les eaux usées et la description des activités agricoles qui y sont menées. La démarche consiste à décrire les sources de pollution et à évaluer les impacts des rejets non suffisamment traités sur les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des eaux de surface qui irriguent ces écosystèmes particuliers. Ce volet s'achève par l'analyse des conséquences de cette pollution d'une part, et des pratiques agricoles d'autre part sur les zones humides et la santé humaine à Yaoundé.
3. Le troisième paragraphe est axé sur la production des connaissances relatives au climat et aux données naturelles des zones humides de Yaoundé. Le principe consiste à analyser les facteurs climatiques et à caractériser le régime d'écoulement des eaux superficielles et la texture des sols des zones humides de Yaoundé. Ce volet se termine par la présentation du potentiel phytosociologique de ces écosystèmes et l'appréciation du « rôle naturel » que jouent les zones humides dans l'autoépuration des effluents liquides rejetés par les activités anthropiques sans traitement suffisant.

A la fin de chaque paragraphe, les analyses visent à élucider les atouts et les contraintes de l'implantation d'un centre de recherche et de développement des technologies d'épuration extensive des eaux usées en zone de climat tropical humide. Le rôle d'un tel centre, basé sur le processus des MHEA®, sera de comparer systématiquement les comportements et les performances épuratoires de ces technologies et d'optimiser celles dont l'efficacité aura été éprouvée localement en respect des normes établies.

Données urbanistiques

III.1. CARACTERISTIQUES URBANISTIQUES

Ce paragraphe a pour objectif de caractériser le cadre de vie des ménages des quartiers structurés de Yaoundé. Il aborde l'organisation spatiale de l'habitat, la typologie de l'habitat, le statut d'occupation de la parcelle et les activités socioéconomiques menées par membres du ménage.

III.1.1. ORGANISATION SPATIALE ET NIVEAU DE STANDING DE L'HABITAT

Trois formes de types de tissu urbain caractérisent l'échantillon étudié (figure III.1.1) :

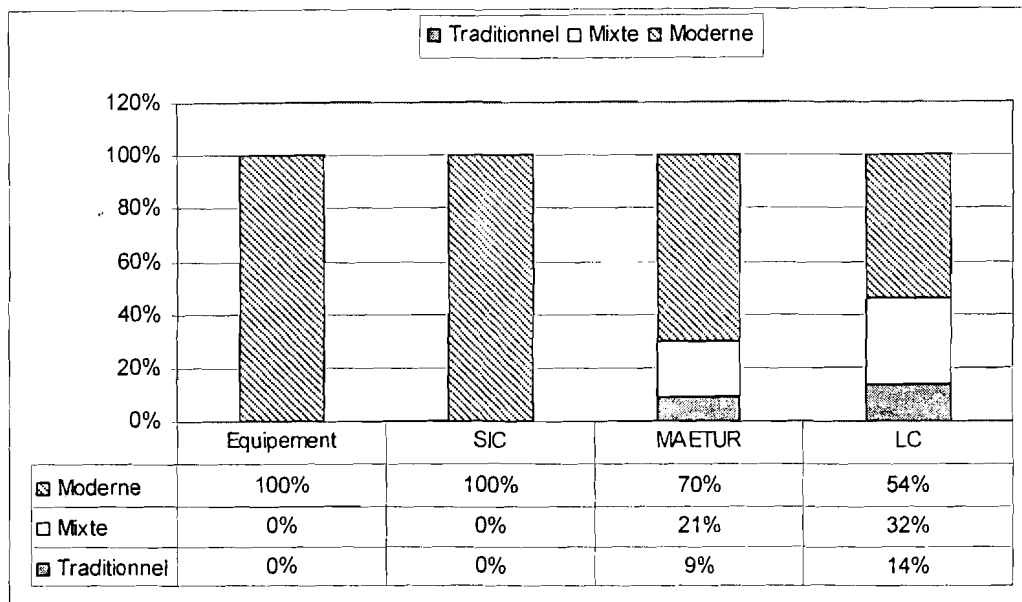


Figure III.1.1 : Typologie de l'habitat en fonction des strates

La zone d'équipements (administratif, commercial, industriel), dont l'université en est une particularité, est connue pour la forte concentration des réseaux techniques urbains et des immeubles accessibles à 100% par une voirie carrossable. Le coefficient d'occupation des sols (COS) est relativement élevé ($> 0,7$) et on y dénombre environ 85 habitants/ha ou 12 maisons/ha. A la cité universitaire, il a été relevé un taux de cohabitation de 1,1 personnes/chambre.

Le tissu MAETUR et SIC est constitué majoritairement de logements de moyen et de haut standing. Quelques parcelles occupées par des maisons en matériaux mixtes ou traditionnels sont recensées en périphérie des zones MAETUR. La densité d'habitation est en moyenne de 45 habitants/ha ou 25 maisons/ha et un $COS < 0,5$. Les infrastructures et les équipements urbains y sont élevés et le taux d'accessibilité des parcelles est supérieur à 90%. Bien que 77% des parcelles soient occupées par une seule maison, l'étude dénombre en moyenne 1,7 maisons ou appartements/parcelle et un taux de cohabitation moyen de 1,3 ménages/parcelle.

Le tissu du lotissement communal (LC) est doté d'infrastructures secondaires du fait des aménagements sommaires. La densité d'habitation y est relativement élevée (de 100 à 150 habitants/ha ou 20 maisons/ha) avec un COS de 0,6 et un taux d'accessibilité de la parcelle compris entre 70 et 90%. Le tiers des parcelles est composé de logements de type mixte, la maison principale est en parpaings de ciment et les dépendances, y compris la cuisine, sont en torchis, plus connu sous le vocable « poto-poto ». Il s'agit des maisons en terre recouvrant une structure en bois. Près de 60% des parcelles sont occupées par une seule maison. Il a été recensé une moyenne de 1,8 maisons/parcelle et un taux de cohabitation d'environ 2,1 ménages/parcelle.

L'analyse du statut d'occupation de la parcelle révèle qu'environ 60% des ménages de l'échantillon sont des locataires. Cette catégorie est 43% chez les ménages MAETUR, 48% chez les ménages LC contre 66% chez les ménages SIC et 100% à la cité universitaire. La faction importante des locataires avait également été identifiée dans les tissus similaires par LESEAU et al., 2003, qui évaluait par ailleurs le coût moyen mensuel du loyer entre 30 et 110 €/mois dans les appartements et villas de la SIC et des zones MAETUR, contre 20 et 60 €/mois dans les appartements et villas réalisés par des promoteurs privés dans d'autres tissus. Cette variation dépend, entre autres, de la taille (nombre de pièces) de la villa ou de l'appartement, du niveau de standing, de la proximité des services urbains de base (écoles, marché, hôpital), de la relation sociale du locataire avec le propriétaire et du niveau de revenu du locataire [LESEAU, 2003].

La variation de la taille des ménages n'est pas assez significative selon le niveau du standing de la strate : elle est en moyenne de 7 personnes dans les ménages LC et les ménages MAETUR contre 6 personnes dans les ménages SIC. L'ensemble de l'échantillon est marqué par un taux élevé de fréquentation des établissements scolaires avec de 3 à 4 enfants inscrits dans un des cycles de l'enseignement, indépendamment de la strate.

III.1.2. ACTIVITES SOCIOECONOMIQUES DANS LE MENAGE

III.1.2.1. Situation d'emploi dans les ménages

La situation de l'emploi dans l'échantillon est caractérisée par la pluriactivité et la diversification des sources de revenus dans les ménages des quartiers planifiés. L'enquête relève d'une part, des chefs de ménage actifs ayant un emploi principal et dans certains cas, un emploi secondaire, et d'autre part, des conjointes et des enfants actifs vivant dans la parcelle familiale (figure III.1.2).

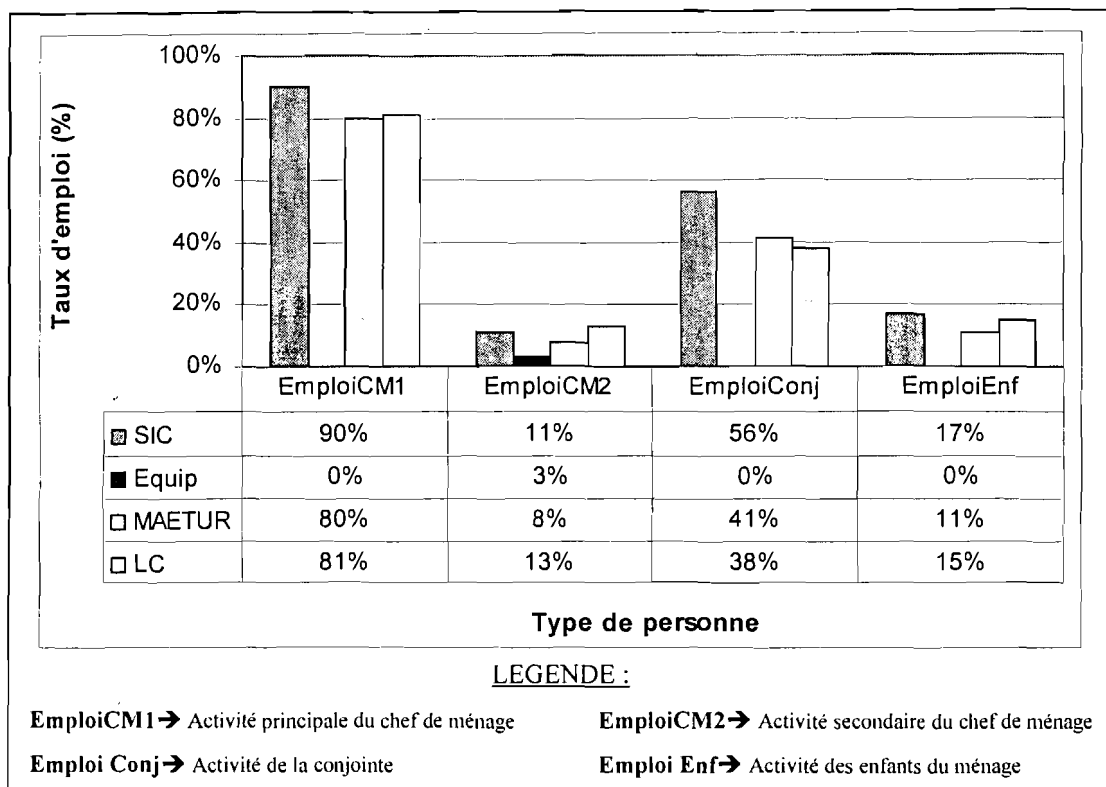


Figure III.1.2 : Situation de l'emploi dans les ménages

Cette diversité s'exprime par :

- un taux d'emploi direct des chefs de ménage de 76% en moyenne ; ce taux est relativement plus élevé dans les ménages SIC à standing plus élevé. Le secteur public (60% des chefs de ménage actifs) et le secteur privé informel (23% des cas) sont les deux principaux pourvoyeurs d'emploi dans les quartiers structurés de Yaoundé ;
- une pratique d'activité secondaire, de type temporaire ou saisonnier, qui apparaît auprès de 10% des chefs de ménage ayant déjà une activité principale, ceci sans différence significative selon les strates. L'activité secondaire du chef de ménage est orientée, dans 70% des cas, vers le secteur informel contre 30% vers le secteur privé formel ;
- un taux d'emploi de la conjointe, de 42% dans l'échantillon avec une différence significative exprimée selon les strates. Le secteur public est majoritaire (48% des cas) dans l'offre d'emploi aux conjointes contre 35% pour le secteur informel et 17% pour le secteur privé formel ;
- la présence d'enfants en activité et vivant encore dans la parcelle est observée dans 14% de l'échantillon, légèrement plus dans les strates de haut standing. Près de 67% de cette catégorie travaillent dans le secteur privé informel contre 20% dans le secteur public.

III.1.2.2. Les revenus issus des activités socioéconomiques dans le ménage

Du fait des réticences à décliner leurs revenus, l'évaluation de ce paramètre ne concerne que 30% de l'échantillon. L'analyse des données qui en découle montre la distribution suivante :

1. moins de 9% des actifs ont un revenu de plus de 450 €/mois ;
2. environ 16% des actifs disposent d'un revenu variant de 305 à 450 €/mois ;
3. plus de 40% des actifs ont des revenus mensuels variant de 150 à 305 €/mois ;
4. environ 17% des actifs ont des revenus mensuels de 90 à 150 €/mois ;
5. 11% des actifs disposent de 38 à 90 €/mois ;
6. moins de 9% des actifs disposent d'un revenu inférieur au Salaire Minimum Interprofessionnel Garanti (SMIG) qui est d'environ 37 €/mois au Cameroun.

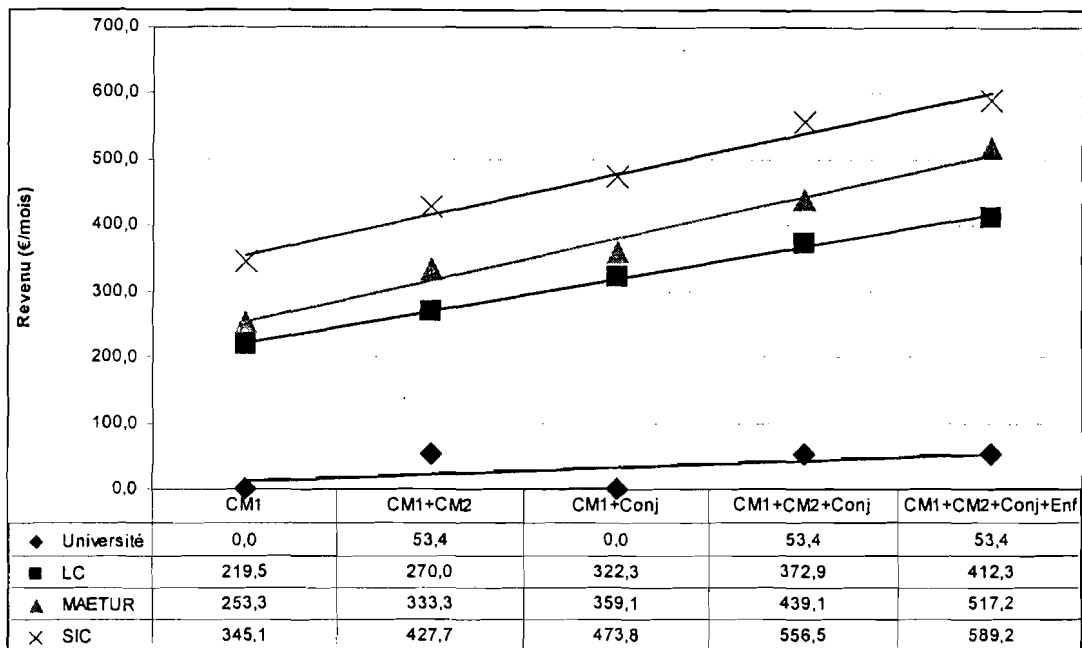


Figure III.1.3 : Part des revenus des actifs selon les tissus urbains

Le poids des revenus de l'activité secondaire du chef de ménage n'est pas négligeable (figure III.1.3) : ils constituent respectivement 23%, 24% et 32% de l'apport de l'activité principale dans les ménages LC, les ménages MAETUR et les ménages SIC. Les apports financiers de l'activité de la conjointe sont significatifs puis qu'ils représentent en moyenne 37% du revenu de l'activité principale des chefs de ménage dans les ménages SIC, 42% dans les ménages MAETUR et 47% dans les ménages LC. Par contre, l'impact des revenus des enfants actifs, vivant encore dans le ménage, est presque négligeable dans les zones de la SIC (moins de 9% du revenu principal) et devient considérable dans les lotissements municipaux (18%) et ceux de la MAETUR (31%). L'importance du secteur informel peut expliquer cette faiblesse relative.

III.1.2.3. Les dépenses mensuelles du ménage

La Direction de la Statistique et de la Comptabilité Nationale (DSCN) considère la dépense du ménage comme un estimateur pertinent du flux financier dans ce ménage [RGPH, 1987 ; DSCN, 1993, 1996 ; DIAL et al., 1993, 1996]. Dans cette recherche, les dépenses ont été recueillies sur près de 60% de l'échantillon en agrégeant les dépenses de nutrition, de loyer, de transport, d'eau, d'électricité, de téléphone, de santé, d'épargne et autres dépenses de loisir.

Sur l'ensemble des répondants, la dépense mensuelle déclarée dans un ménage classique¹ est en moyenne de 308 ± 13 €/mois/ménage. Les ménages MAETUR (avec 252 ± 7 €/mois/ménage) dépensent moins que les ménages LC (402 ± 13 €/mois/ménage) et les ménages SIC (430 ± 11 €/mois/ménage). L'épargne mensuelle, dégagée à partir des activités principales du chef de ménage, est en moyenne de 19 ± 6 €/mois/ménage. Cette épargne décroît de manière significative avec la strate : les ménages LC (avec $9,1 \pm 5,3$ €/mois/ménage) et les ménages MAETUR (avec $8,9 \pm 1,6$ €/mois/ménage) se démarquent nettement en épargnant plus de 4 fois moins que les ménages SIC (avec $38,4 \pm 10,3$ €/mois/ménage). Ces épargnes sont susceptibles de s'accroître si l'on prend en compte les apports dus aux revenus générés par les activités des membres secondaires du ménage et de l'activité secondaire du chef de ménage.

En rapportant les dépenses mensuelles à la taille du ménage, la comparaison inter – strate semble plus pertinente et permet de prendre en compte les dépenses des ménages Unitaires de la cité universitaire. Ainsi, la dépense mensuelle spécifique, qui est de 58 €/mois/personne dans les quartiers structurés de Yaoundé, varie de 37 ± 5 €/mois/personne dans les ménages MAETUR à 69 ± 11 €/mois/personne dans les ménages SIC en passant par 52 ± 7 €/mois/personne dans les ménages Unitaires et 59 ± 13 €/mois/personne dans les ménages LC.

III.1.3. DISCUSSION DU VOLET SOCIOECONOMIQUE ET URBANISTIQUE

L'enquête confirme l'importance des parcelles individuelles à Yaoundé et justifie en quelque sorte le rythme effréné de l'expansion spatiale de cette ville. L'incidence de ce phénomène sur les stratégies d'assainissement collectif des eaux usées est telle que la mise en place des réseaux d'assainissement nécessitera des investissements trop importants. En outre, avec un relief relativement accidenté, cette forme d'étalement horizontal obligera l'installation, en nombre important, d'équipements annexes dont principalement les stations de relevage des côtes piézométriques en vue d'acheminer les effluents vers la station de traitement.

¹ Il n'est pas pris en compte ici, la dépense mensuelle dans les ménages quasi unitaires de la cité université

L'analyse de l'habitat et de la densité de desserte en réseau de voirie dans les quartiers structurés de Yaoundé montre que toutes les parcelles ont au moins une façade sur une voie carrossable et sont dominées, à plus de 90%, par un standing au-delà du niveau moyen ; ce qui constitue un facteur favorable pour la mise en place d'un système collectif de collecte des eaux usées dans ces quartiers. Ce type d'habitat augure en outre, la prédominance d'équipements sanitaires et d'ouvrages modernes d'évacuation des eaux usées susceptibles de s'intégrer parfaitement dans le réseau collectif projeté (cas des fosses septiques pouvant jouer le rôle de fosse d'interception). L'accessibilité directe des parcelles facilite également l'implantation, sans risques majeurs de déguerpissement, d'un réseau d'égout en utilisant l'emprise de la voirie comme support.

Comparativement à l'ensemble de la ville, la proportion de l'habitat de standing est nettement meilleure dans les quartiers structurés de Yaoundé, malgré les évolutions constatées : le haut standing est passé de 4,8% en 1983 à 12,2% en 1993, le bas standing s'est relativement dégradé de 77,4% en 1983 à 78,7% en 1993 et l'habitat traditionnel a évolué positivement de 17,8% en 1983 à 9,1% en 1993 [RGPH, 1987 ; DSCN, 1993, 1996 ; DIAL et al., 1993, 1996].

L'analyse du statut d'occupation de la parcelle montre une nette opposition entre d'une part, les ménages MAETUR et ménages LC et d'une part, les ménages SIC. Pour ce dernier groupe, l'étude révèle une proportion de 3 locataires pour 2 propriétaires, contre 3 propriétaires pour 2 locataires dans le premier groupe. Le statut d'occupation de la parcelle à la SIC est relativement proche de celui relevé à Yaoundé si l'on se réfère aux enquêtes de 1993 qui avaient évalué à 39,4% les propriétaires de parcelles, à 56,5% les locataires, à 3% vivant dans les maisons familiales et à 1,1% les ménages logés par leurs employeurs respectifs [DSCN, 1993 ; DIAL, 1993]. Ce paramètre est un facteur à considérer dans toute stratégie d'implication des ménages dans la formulation des besoins, le choix des priorités, le montage des projets, le financement, la réalisation et l'exploitation des systèmes d'assainissement collectif des eaux usées dans une localité donnée. Les expériences des projets communautaires antérieurs auxquels nous avons participé pour améliorer le cadre de vie urbain, nous confortent dans ce constat [FOCARFE, 1995 ; ERA, 2000]. En effet, pour les projets de construction des points d'eau, des ouvrages de franchissement, des systèmes de précollecte et de compostage des déchets ménagers dans une quinzaine de quartiers de Yaoundé, nous avons remarqué que la participation effective des propriétaires avait été un gage de la durabilité et de la stabilité du processus mis en place. Par contre, l'instabilité des locataires en avait constitué un facteur de démotivation quant à leur participation effective. En effet, selon une étude de la DSCN en 1996, « *les locataires de Yaoundé sont en général dans une situation de mobilité extrême avec un taux évalué à près de 50% tous les 3 ans* ». Les raisons évoquées sont entre autres, les fluctuations des loyers, le

changement de statut de locataire au propriétaire d'une maison construite pendant la période de location, les affectations professionnelles ou le souci de réduire la distance entre le lieu de résidence et le lieu de travail.

Le statut foncier des quartiers structurés de Yaoundé est privilégié lorsqu'on la compare à celle de l'ensemble de la ville : la quasi-totalité des parcelles est dotée de titre foncier. Leur acquisition est facilitée par le statut public des promoteurs des aménagements. Par contre, les études antérieures relevaient que moins de 15% des parcelles étaient dotées d'un titre foncier à Yaoundé [DSCN, 1996 ; LESEAU, 2003]. Cette garantie foncière est un facteur favorable à l'implication effective des ménages bénéficiaires des projets d'amélioration du cadre de vie. En effet, les études menées dans les quartiers de moyen standing et les bidonvilles de Yaoundé entre 1993 et 1997 ont démontré que l'insécurité foncière constituait un frein à l'ambition des ménages à accéder à une maison décente et à des équipements coûteux parce qu'ils craignent d'éventuels déguerpissements. A l'opposé, les ménages qui en étaient sécurisés étaient beaucoup plus enclins à accepter d'investir pour améliorer leur cadre de vie [FOCRFE, 1995 ; ERA, 2000].

Le taux d'activité des chefs de ménage dans notre échantillon est relativement élevé puisque près de 80% des chefs de ménage sont actifs. La situation d'emploi de la conjointe du chef de ménage y est également meilleure avec plus de 40% de femmes actives contre environ 25% en 1996 à Yaoundé [DSCN, 1997]. Notre enquête classe le secteur formel (public ou privé) comme le principal pourvoyeur d'emplois chez les actifs des quartiers structurés de Yaoundé avec plus de 67% de actifs contre moins de 30% des actifs de l'ensemble de la ville. Quel que soit le secteur d'activité, l'enquête montre que la catégorie socioprofessionnelle des chefs de ménage actifs est plus intéressante dans les quartiers structurés que celle des actifs de Yaoundé. En effet, les cadres (décideurs, seniors, juniors) du secteur public de ces quartiers représentent environ 73% des actifs contre 50% dans la population active de Yaoundé. La même catégorie, dans le secteur privé formel, est de 40% des actifs de l'échantillon contre 21% dans toute la ville.

La pluriactivité des chefs de ménage et l'insertion dans divers secteurs d'emplois des autres membres de la famille diversifient les sources de revenus, améliorent les entrées financières et permettent au ménage d'effectuer plus d'épargnes : celles-ci représentent 2,2% des revenus des ménage LC, 3,4% des revenus des ménages MAETUR et 8,2% des revenus des ménages SIC.

L'étude établit que les ménages à faible revenu, ceux du premier quintile en l'occurrence, habitent dans des maisons de bas standing. D'autre part, le secteur formel assure la qualité de l'emploi avec les salaires les plus élevés. Un responsable de la DSCN affirmait, lors d'un entretien en juillet 2002, que les différentes études menées jusqu'à lors montrent que « *ce secteur concentre les emplois les plus qualifiés et les mieux protégés car contractualisés dans près de*

96% des cas dans le secteur public et 42% environ dans le secteur privé formel contre seulement 4% dans le secteur privé informel caractérisé par son instabilité et sa précarité qui rendent ainsi plus vulnérables les actifs considérés dont la plupart est sans qualification ».

L'analyse des revenus montre que les entrées financières dans l'échantillon (qui varient de 220 à 415 €/mois/actif, tous secteurs confondus) sont plus élevées que celles relevées à Yaoundé (et qui varient en moyenne de 38 €/mois/actif à 305 €/mois/actif, selon le responsable de la DSCN). Une telle différence s'accroît davantage si l'on prend en compte l'apport des activités des autres membres du ménage et de l'activité secondaire du chef de ménage.

La structure des dépenses mensuelles de consommation dans les quartiers structurés de Yaoundé (évaluées à 307 €/mois/ménages, soit environ 95% des revenus moyens) est dominée par la dépense d'alimentation qui en représente 26% en moyenne. Cette tendance est relevée par les études du même type, même si les intensités sont différentes : DIAL et al., (1996) évaluait les dépenses mensuelles moyennes dans un ménage de Yaoundé à environ 186 €/mois/ménages et au tiers, la part des dépenses d'alimentation. Il en découle que la dépense moyenne d'un ménage des quartiers structurés de Yaoundé est 1,7 fois plus élevée que celle d'un ménage classique de cette ville et que la part des dépenses d'alimentation en est 1,3 fois plus importante. Cependant, la situation générale de la consommation des ménages de Yaoundé a été marquée, en 1994, par une baisse drastique (d'environ 50% de la valeur d'avant 1991) en la faveur de la réduction des revenus (de près de 58% au cours de la même période dans la fonction publique), la crise économique du début des années '90, la dévaluation du franc CFA, etc. Les rubriques les plus touchées par cette baisse sont principalement les dépenses d'alimentation (de 30 à 50%), l'habillement (32%), l'acquisition des équipements domestiques et l'entretien du patrimoine (8%). Ce phénomène a nécessairement eu des effets néfastes sur l'amélioration du niveau de vie général des ménages du fait de la baisse des investissements, la hausse des prix des équipements, des matériaux et du matériel de construction, etc. Ce qui permet à DIAL et al. (1996) de conclure que *« les ménages ne doivent leur survie qu'au virement des pratiques vers le secteur informel qui fournit aujourd'hui plus de 80% des biens et services consommés par les ménages de Yaoundé pour des raisons de prix d'achat plus faible, de proximité des résidences et de la facilité à obtenir des crédits sans trop de contraintes mais sur la base d'une simple connaissance mutuelle »* [DSCN, 1996 ; DIAL et al., 1996].

Malgré ces baisses, l'étude constate que les ménages des quartiers structurés de Yaoundé effectuent des épargnes mensuelles non négligeables (de 2 à 9% du revenu moyen mensuel par ménage). Ce qui, de la part des spécialistes de la DSCN, permet d'espérer des éventuelles

contributions financières directes de la part des ménages bénéficiaires des programmes participatifs d'assainissement collectif des eaux usées dans les quartiers concernés.

Au final, nous pouvons penser que la situation socioprofessionnelle des ménages des quartiers structurés de Yaoundé a nécessairement des répercussions sur la situation de l'alimentation en eau des ménages et de l'assainissement des eaux usées qui en découlent.

III.2. APPROVISIONNEMENT EN EAU

L'approvisionnement en eau potable des agglomérations camerounaises est assuré par l'Etat à travers une concession accordée à la Société Nationale des Eaux du Cameroun (SNEC), société parapublique créée en 1968. Le secteur privé, formel ou informel, contribue également à l'offre de ce service par la réalisation des points d'eau alternatifs.

Le présent paragraphe a comme objectif de décrire les pratiques d'approvisionnement en eau dans les quartiers structurés de Yaoundé avec comme principe d'identifier les systèmes utilisés, de quantifier l'eau consommée par type d'usages, de décliner le cheminement de l'eau consommée ainsi que les problèmes évoqués en matière d'approvisionnement en eau.

III.2.1. PRINCIPAUX SYSTEMES D'APPROVISIONNEMENT EN EAU ET QUANTITES CONSOMMEES SELON LES USAGES

Les modes d'approvisionnement en eau identifiés dans l'échantillon sont les suivants :

1. le branchement direct sur le réseau de la SNEC auquel l'on associe le raccordement chez des voisins ayant un branchement direct ;
2. le borne fontaine payante (BFP) raccordée au réseau SNEC et gérée par un fontainier privé qui se charge de la vente de l'eau et du paiement des redevances correspondantes ;
3. les puits individuels ou communautaires alimentés par la nappe superficielle.

Ces modes peuvent être utilisés seuls ou de manière combinée (tableau III.2.1).

Tableau III.2.1 : Répartition des systèmes d'alimentation en eau selon les tissus urbains étudiés.

Système AEP	Usage d'un seul mode			Usage combiné de modes	
	SNEC	BFP	Puits	SNEC+Puits	BFP+Puits
Ménages - Unitaires	100%	0%	0%	0%	0%
Ménages - SIC	100%	0%	0%	0%	0%
Ménages - MAETUR	72%	1%	16%	0%	10%
Ménages - Communaux	44%	7%	24%	12%	13%
<i>Moyenne</i>	<i>73%</i>	<i>3%</i>	<i>12%</i>	<i>5%</i>	<i>7%</i>

L'usage d'un seul système est majoritaire et le raccordement au réseau de la SNEC en est le

mode principal avec cependant des ratios qui décroissent avec la strate. Les puits et les bornes fontaines sont utilisés essentiellement par les ménages situés en périphérie des quartiers lotis par la municipalité et la MAETUR. Selon les personnes enquêtées, cette pratique est due à « l'éloignement du réseau, aux complications des procédures de branchement, au coût élevé du raccordement ». Ce coût est de 115 €/ménage pour un branchement sans extension (à moins de 5 m). L'extension du réseau principal, sur une distance de 200 m avec canalisation en PVC de 90 mm de diamètre coûte environ 2900 €.

La combinaison de 2 sources d'alimentation en eau concerne 12% de l'échantillon appartenant aux tissus MAETUR et LC. De l'avis de ces ménages, cette pratique est de plus en plus favorisée par « les coupures répétitives de l'eau en réseau, le coût élevé des factures ou la contamination de l'eau des puits devenue impropre à certains usages ». Une telle situation est à considérer lorsqu'on envisage d'évaluer les quantités d'eau consommées. En effet, une évaluation basée uniquement sur l'analyse des factures mensuelles d'eau consommée en réseau représente un biais non négligeable pour les ménages combinant les modes d'approvisionnement en eau.

III.2.1.1. Quantité d'eau consommée à partir des puits et des bornes fontaines payantes

La figure III.2.1 présente la moyenne de la consommation journalière d'eau à partir du puits.

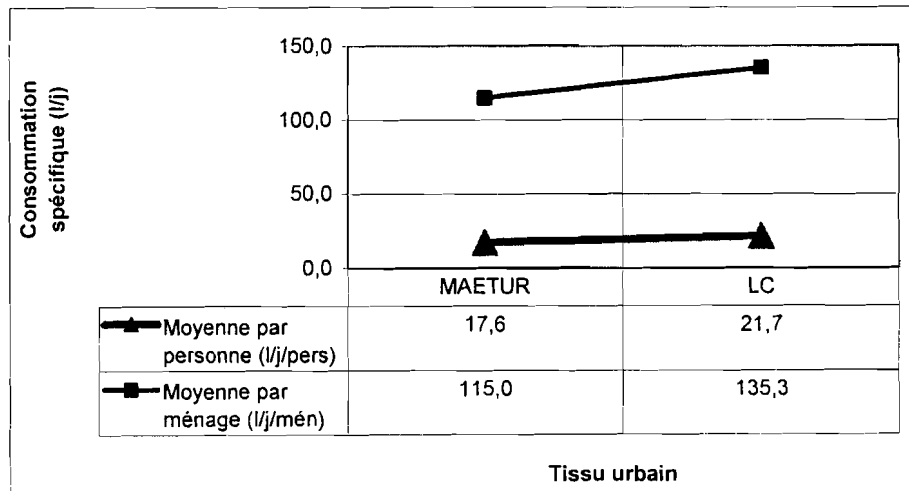


Figure III.2.1 : Quantité d'eau journalière (en litres/j) consommée à partir du puits

L'eau de puits est gratuite et le volume spécifique consommé par jour décroît quand le niveau de standing croît (figure III.2.1).

Le concept de bornes fontaines payantes est apparu au Cameroun en 1993 à la suite de la disparition des bornes fontaines publiques à cause des impayés d'environ 8,54 millions d'euros dus par les municipalités à la SNEC. La gestion actuelle des bornes fontaines est davantage confiée à des privés (fontainiers) qui revendent l'eau au prix contractuel de 0,76 €/m³ d'eau et s'acquittent de leurs factures auprès de la SNEC au prix fixe de 0,45 €/m³.

La quantité moyenne d'eau consommée à partir des bornes fontaines a été évaluée auprès de 40 ménages : elle est de 35 l/j/ménage, soit 5,8 l/j/personne sans variations nette selon les strates. Les dépenses mensuelles correspondantes oscillent en moyenne entre 0,75 et 3 €/mois/ménage pour un prix unitaire moyen de 1,5 €/m³ qui est 2 fois plus cher que le prix contractuel de la SNEC. Ce prix varie cependant selon les quartiers et la densité des bornes fontaines. Ainsi, dans les quartiers communaux anciens, mieux nantis en réseau et en bornes fontaines (comme Essos et Nsam), 80% des ménages dépensent en moyenne 0,75 €/m³ tandis que dans les quartiers relativement nouveaux (comme Biyem Assi – MAETUR, Nsimeyong et Mimboman), cette dépense se situe entre 1,5 €/m³ et 3 €/m³.

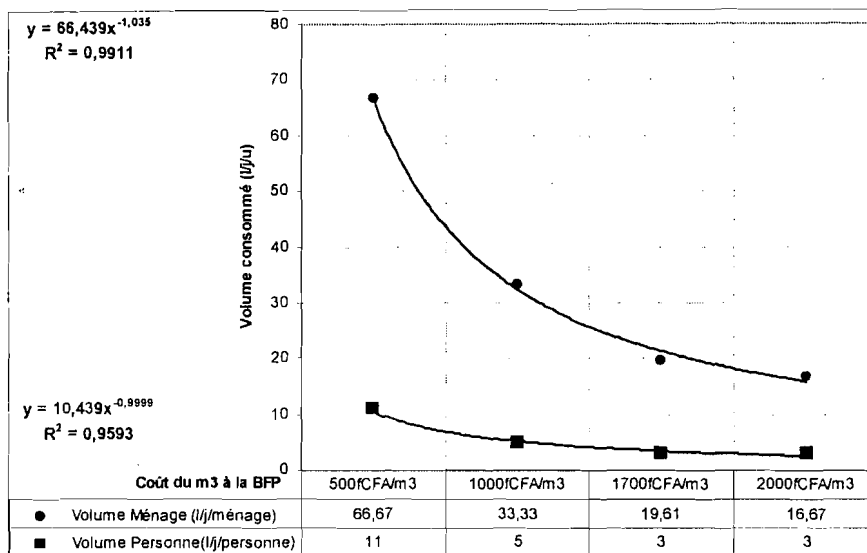


Figure III.2.2 : Variation de la consommation journalière de l'eau au niveau de la borne fontaine en fonction du prix unitaire pratiqué.

La figure III.2.2, montre que la pratique des prix élevés de l'eau à la borne fontaine réduit la consommation journalière dans le ménage concerné. En effet, le volume spécifique journalier décroît de 11 l/j/personne quand l'eau est vendue à 0,75 €/m³ (cas de Essos et Nsam) à 3 l/j/personne dans des zones où l'eau est vendue à 3 €/m³ (cas de Mimboman, Biyem Assi – MAETUR et Nsimeyong, quartiers périphériques).

III.2.1.2. Quantité d'eau consommée au niveau des usagers de la SNEC

La figure III.2.3 situe la variation, en fonction de la strate, de la consommation d'eau dans les ménages raccordés au réseau de la SNEC.

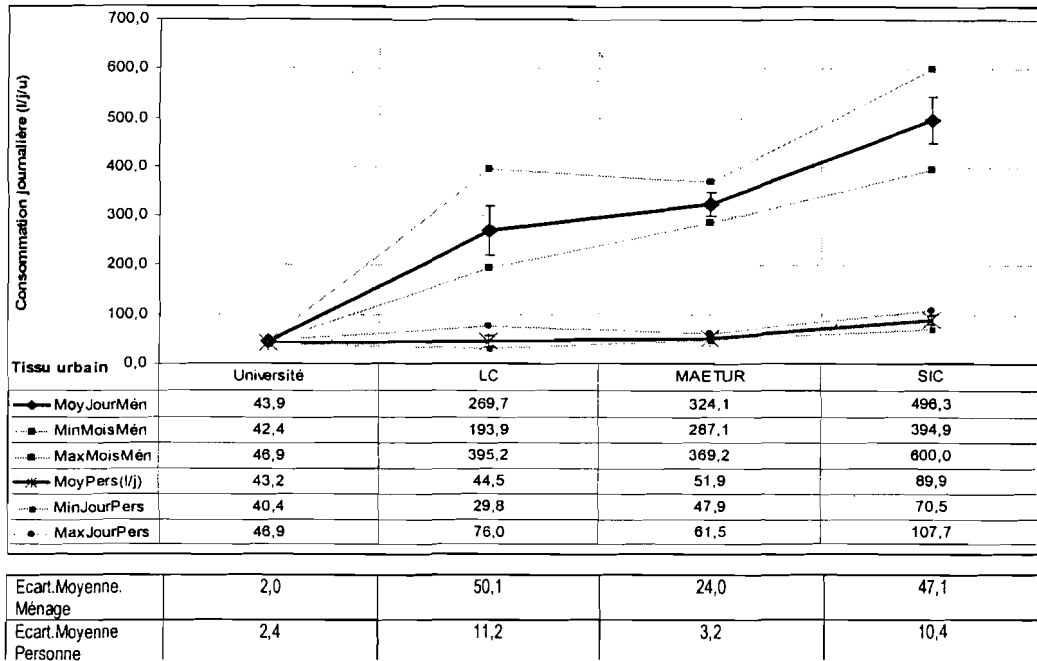


Figure III.2.3 : Consommations journalières spécifiques de l'eau en réseau en fonction des strates.

Ainsi, la consommation moyenne d'eau est de 383 ± 14 l/j/ménages dans les quartiers structurés de Yaoundé, soit environ 66 ± 2 l/j/personne. Avec une moyenne de 90 ± 10 l/j/personne, un habitant de la SIC consomme environ 2 fois plus d'eau que ceux des autres lotissements.

III.2.1.3. Les usages de l'eau et les quantités correspondantes

III.2.1.3.1. Les usages

L'observation d'un échantillon réduit a permis de mieux cerner les périodes de haute consommation et les quantités d'eau par type d'usage. Ces usages sont classés en 4 catégories : l'alimentation (*boisson et cuisson*), l'hygiène corporelle (*bain, lavage des mains et défécation*), l'hygiène du milieu (*vaisselle, lessive et nettoyage de la maison*) et les autres usages (*lavage des véhicules, arrosage des jardins*). Les modes d'alimentation selon les usages dépendent fortement des systèmes disponibles dans les ménages. En effet, l'eau en réseau est utilisée pour tous les usages tandis que l'eau des bornes fontaines payantes sert principalement à l'alimentation et à l'hygiène corporelle, mais beaucoup moins à l'hygiène du milieu. Par contre, l'eau des puits est moins utilisée pour l'alimentation et sert à l'hygiène corporelle et à l'hygiène du milieu.

Par rapport aux tranches horaires, les observations établissent que la période de pointe se situe entre 5 et 8 heures du matin avec des consommations 2 à 7 fois plus élevées que celles des autres périodes de la journée. Ces mêmes observations montrent également que les quantités consommées par usage diffèrent selon les modes utilisés (tableaux II.2.2 et II.2.3).

Cas des ménages raccordés au réseau de la SNEC

Tableau III.2.2 : Consommation moyenne horaire (l/h) de l'eau en réseau en fonction des tissus urbains

Type de tissu	5h-8h	8h-13h	13h-18h	18h-5h	Débit moyen horaire (l/h)	Coefficient de pointe
Ménages - SIC	48,4	7,6	27,8	15,7	20,6	2,3
Ménages - MAETUR	41,7	2,9	12,5	11,1	13,5	3,1
Ménages - Communaux	27,3	3,4	13,1	9,6	11,3	2,4
Ménages - Unitaires	4,8	1,3	1,2	1,6	1,8	2,6
Moyenne	41,6	6,3	16,3	13,1	15,9	2,6

Dans cette catégorie, la variation de la consommation journalière d'eau se structure comme suit :

- 9% de la consommation satisfait les usages d'alimentation, avec cependant des fluctuations selon les strates : 16% dans les ménages LC, 11% dans les ménages SIC et les ménages Unitaires et 7% dans les ménages MAETUR ;
- 13% de l'eau consommée est destinée à l'hygiène du milieu ; cette proportion décroît avec le standing de la strate de 18% dans les ménages SIC à environ 15% dans les ménages MAETUR, les ménages LC et les ménages - Unitaires ;
- 67% de cette consommation est utilisée pour l'hygiène corporelle avec une décroissance selon la strate : de 68% dans les ménages SIC et les ménages Unitaires à 60% dans les ménages MAETUR et les ménages LC ;
- 12% de l'eau consommée est destinée aux autres usages ; ce ratio varie peu selon les strates de 9% à 10% dans l'ensemble.

A partir des consommations moyennes horaires, nous déduisons dans le tableau III.2.2 un coefficient de pointe moyen de 2,6 qui présentant une faible dispersion selon les strates.

Cas de combinaison de systèmes

Tableau III.2.3 : Consommation moyenne horaire (l/h) de l'eau en fonction des tissus urbains pour les ménages combinant plusieurs sources d'alimentation en eau

Système	Type de tissu	5h-8h	8h-13h	13h-18h	18h-5h	Débit horaire journalier (l/h)	Coefficient de pointe
SNEC et Puits	Ménages - MAETUR	39,1	2,8	11,7	10,4	12,7	3,1
	Ménages - Communaux	26,8	3,3	12,9	5,7	6,6	4,0
BFP et Puits	Ménages - MAETUR	15,9	1,1	4,8	4,2	5,2	3,1
	Ménages - Communaux	26,8	3,3	12,9	6,0	7,1	3,8

Pour l'utilisation conjointe de l'eau de la SNEC et celle des puits, la moyenne de la consommation journalière est de 304 l/j/ménage dans les ménages MAETUR et de 159 l/j/ménage dans les ménages LC. Pour ces deux tissus, la structure de la consommation est respectivement de 7% et 15% pour l'alimentation, de 70% et 50% pour l'hygiène corporelle, de 18% et 22% pour l'hygiène du milieu et de 4% à 5% pour les autres usages.

Par contre, pour la combinaison bornes fontaines (BFP) et puits, la moyenne de la consommation journalière est de 124 l/j/ménage dans les ménages MAETUR et de 160 l/j/ménage dans les

ménages LC. Ces 2 groupes présentent des comportements relativement similaires pour l'hygiène corporelle (respectivement de 31% et 29%) et s'opposent dans les autres usages.

Avec un débit moyen horaire de 12,7 l/h dans les ménages – MAETUR et de 6,6 l/h dans les ménages - communaux, les coefficients de pointe correspondant sont respectivement de 3,1 et 4.

III.2.1.3.2. Cheminement des eaux consommées

Les exutoires des eaux rejetées sont de deux types : le milieu naturel (cours d'eau, rigole et caniveau) et les ouvrages d'assainissement (latrines, fosses septiques, stations d'épuration).

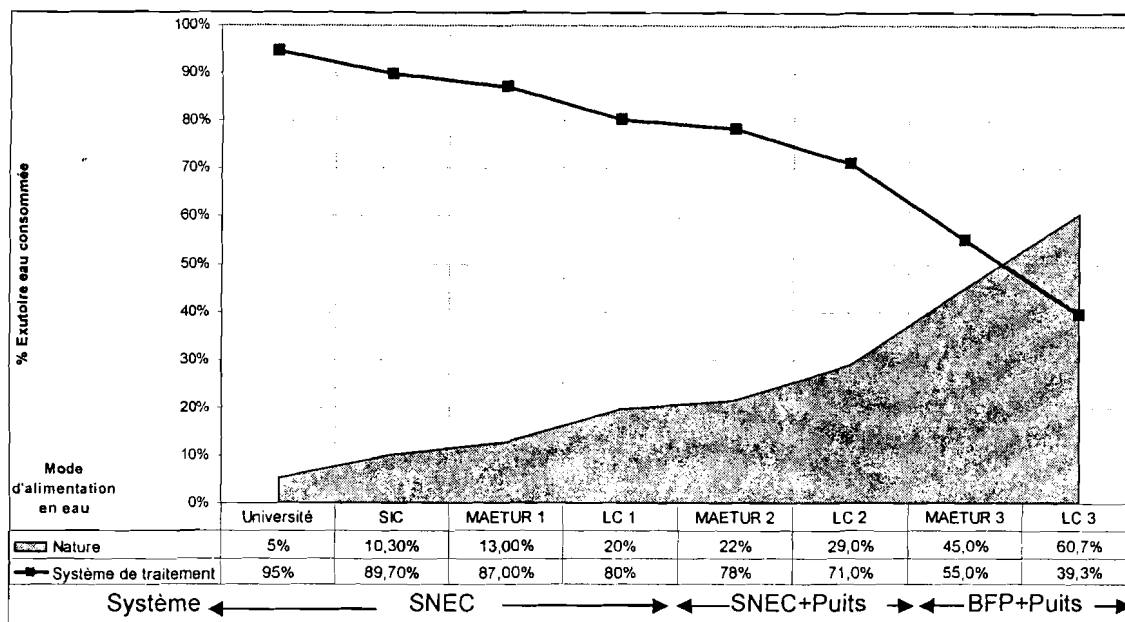


Figure III.2.4 : Cheminement des rejets d'eaux consommées en fonction des systèmes

Près de 70% de l'eau consommée dans l'échantillon transite dans un système d'assainissement. Le reste, provenant pour la plupart des activités de nettoyage de la maison, du lavage des véhicules, de l'arrosage des jardins, de la vaisselle et de la lessive dans certains quartiers, est instantanément rejeté dans le milieu naturel.

La figure III.2.4 montre la double influence du standing et du mode d'alimentation en eau sur le comportement des ménages en matière de rejet des eaux dans le milieu naturel : cette pratique augmente quand le standing diminue et quand le système d'alimentation en eau s'éloigne du réseau conventionnel. Pour les ménages LC qui combinent la borne fontaine payante et le puits, moins de 40% des eaux consommées transitent par un ouvrage d'assainissement.

Spécificité des ménages SIC et des ménages Unitaires

Dans les ménages SIC, toutes les eaux des usages d'alimentation et d'hygiène corporelle ainsi que 85% des eaux de l'hygiène du milieu vont directement dans le réseau d'égout. Par contre, toutes les eaux des autres usages (10,3% de la consommation journalière) sont rejetées dans la nature. Par contre dans les ménages Unitaires, les autres usages sont négligeables et seule l'eau du

nettoyage des chambres est parfois rejetées en dehors du système d'assainissement.

Tableau III.2.4 : Répartition de la consommation dans un ménage - SIC par type d'exutoire

Exutoire	Ménages SIC		Ménages Unitaires	
	Nature	Système d'assainissement	Nature	Système d'assainissement
Alimentation	0,0%	6,6%	0%	6,8%
Hygiène corporelle	0,0%	67,4%	0%	67,5%
Hygiène du milieu	2,3%	13,3%	3,0%	20,4%
Autre usages	10,3%	0,0%	2,4%	0,0%
Total	12,6%	87,4%	5,4%	94,6%
Quantité d'eau (l/j/ménage)	52,7	433,1	1,1	42,8

Ainsi, nous pouvons évaluer entre 85 et 90% (respectivement entre 90 et 95%), le taux de rejet des eaux consommées par les ménages SIC (respectivement les ménages Unitaires) dans le réseau d'égout raccordé à une station d'épuration.

Cas des ménages MAETUR

Dans cette strate, le comportement des ménages connaît une différenciation selon le mode d'approvisionnement en eau utilisé (tableau III.2.5).

Tableau III.2.5 : Répartition de la consommation dans un ménage - MAETUR par type d'exutoire

Exutoire	MAETUR – SNEC		MAETUR – SNEC+Puits		MAETUR – BFP+Puits	
	Nature	Système d'assainissement	Nature	Système d'assainissement	Nature	Système d'assainissement
Alimentation	0%	15,6%	0,0%	6,8%	0,0%	24,0%
Hygiène corporelle	0%	59,8%	0,0%	71,6%	0,0%	31,0%
Hygiène du milieu	0%	28,0%	17,6%	0,0%	44,0%	0,0%
Autre usages	13,0%	0,0%	4,0%	0,0%	1,0%	0,0%
Total	13,0%	87,0%	21,6%	78,4%	45,0%	55,0%
Quantité d'eau (l/j/ménage)	42,1	282,6	65,8	238,7	55,6	67,9

Dans les ménages MAETUR raccordés uniquement au réseau de la SNEC, seules les eaux de lavage des véhicules ou d'arrosage des jardins sont rejetées dans la nature. Environ 87% de la consommation journalière transitent dans des ouvrages d'assainissement.

Pour les ménages MAETUR qui combinent le réseau de la SNEC et le puits, le taux de rejet dans les systèmes d'assainissement est de 78,5% la consommation journalière de l'eau. Par contre, ce taux est de 55% le volume journalier consommé par les ménages qui s'alimentent auprès des bornes fontaines et les puits. Dans ces ménages, l'hygiène du milieu et les autres usages se font essentiellement dans la cour.

Cas des ménages LC

Le mode d'approvisionnement en eau, les usages de l'eau et les exutoires des eaux rejetées dans ce groupe de ménage sont présentés par le tableau III.2.6.

Tableau III.2.6 : Répartition de la consommation dans un ménage – communal par type d'exutoire

Exutoire	SNEC		SNEC+Puits		BFP+Puits	
	Nature	Système d'assainissement	Nature	Système d'assainissement	Nature	Système d'assainissement
Alimentation	0,0%	15,6%	0,0%	15,0%	0,0%	13,6%
Hygiène corporelle	0,0%	59,5%	0,0%	56,0%	0,0%	25,7%
Hygiène du milieu	9,4%	5,3%	24,0%	0,0%	55,1%	0,0%
Autre usages	10,4%	0,0%	5,0%	0,0%	5,6%	0,0%
Total	19,8%	80,2%	29,0%	71,0%	60,7%	39,3%
Quantité d'eau (l/j/ménage)	35,3	234,9	46,2	113,0%	90,2	58,4

Le taux de rejet dans un système d'assainissement est de 80% dans les ménages raccordés au réseau de la SNEC, contre 71% pour ceux combinant l'eau de la SNEC et le puits et environ 40% chez ceux qui s'alimentent à la borne fontaine et le puits. Pour ce dernier groupe, l'hygiène du milieu et les autres types d'usages s'effectuent en général dans la cour.

III.2.2. PROBLEMES D'APPROVISIONNEMENT EN EAU

Les problèmes d'approvisionnement en eau, tels qu'évoqués par les ménages interviewés, sont différemment exprimés selon le mode d'alimentation utilisé et le niveau de standing de la strate.

III.2.2.1. Problèmes d'approvisionnement à partir du réseau de la SNEC

Ce groupe de ménages situe ses problèmes à 3 niveaux : la fourniture de l'eau, la qualité de l'eau servie et l'accessibilité au réseau (tableau III.2.7).

Tableau III.2.7 : Problèmes d'alimentation en eau en fonction des tissus urbains

TU	Ménages Unitaires	Ménages LC	Ménages MAETUR	Ménages SIC	Moyenne
Fourniture	63%	42%	48%	58%	55%
Qualité de l'eau	30%	29%	41%	42%	39%
Accessibilité	0%	8%	8%	0%	4%
Non précisé	7%	21%	3%	0%	2%
Total	100%	100%	100%	100%	100%

Les problèmes de fourniture d'eau en réseau semblent les plus importants auprès de 55% des ménages raccordés. De l'avis de 75% de ces ménages, l'efficacité de la fourniture de l'eau en réseau est réduite par de nombreuses lacunes dont « *les coupures régulières, abusives, intempestives ou sans préavis* », ..., « *la baisse de pression ou de débit* », mais également, « *les lenteurs des interventions d'entretien, ..., et les coûts élevés des factures* ». Sur cet aspect, les ménages Unitaires (63%) et les ménages SIC (58%) s'opposent aux ménages MAETUR et les ménages LC dont l'un des soucis est de se raccorder avant de juger de la qualité du service.

Les problèmes de qualité de l'eau en réseau sont évoqués par 39% des ménages raccordés, avec cependant des intensités différentes selon les strates. Ces ménages pensent distinctement que l'eau en réseau est « *de qualité douteuse* » (51% des cas), notent parfois « *la présence de*

particules solides » (23% des cas), évoquent le caractère « *parfois rougeâtre ou jaunâtre de l'eau* » (18% des cas) et le « *goût trop relevé de javel ou de chlore* » (9% des cas).

Les difficultés d'accès au réseau de la SNEC sont citées par 8% des ménages des zones loties par la municipalité et la MAETUR. La moitié de ces ménages accuse « *le coût trop élevé du branchement du fait de l'absence de réseau d'eau à proximité des habitations* ». A cela s'ajoute la procédure d'obtention d'un abonnement, qui de l'avis de 46% des ménages concernés, est « *assez longue, lourde ou parfois périlleuse* ».

III.2.2.2. Problèmes d'approvisionnement à partir des bornes fontaines et des puits

Les problèmes relevés par les usagers des bornes fontaines se déclinent en ces termes : « *l'éloignement de l'ouvrage par rapport à la parcelle ou le quartier* » (36% des ménages concernés), « *la longue file d'attente au niveau de la borne fontaine* » et enfin « *les coupures d'eau et les dépôts solides dans l'eau de la borne fontaine* ».

Près de 39% des ménages disposant d'un puits relèvent comme problèmes majeurs : « *la présence de matières solides et de microbes* » à laquelle s'ajoutent « *l'inconfort, l'insalubrité, les difficultés d'accès à l'ouvrage, le très faible niveau d'aménagement des ouvrages et les risques d'accidents lors du puisage* ».

Les problèmes ainsi évoqués sont vérifiés par les déférentes études, portant sur près 400 puits dans les arrondissements de Yaoundé 4^{ème} et 5^{ème} et les quartiers spontanés de cette ville entre 1996 et 2001. Ces études montraient, en effet, que plus de 85% de ces ouvrages étaient non aménagés et ne disposaient pas de margelles ni de tertre. De plus, l'eau de ces puits était soit suspecte, médiocre ou alors de mauvaise qualité parce qu'elle comportait, dans 75% des cas, entre 2.10^{+2} 00 et 2.10^{+4} UFC de coliformes et de streptocoques fécaux par 100 ml d'échantillon. Cette situation constitue un véritable problème de santé pour lequel il faut trouver des solutions adaptées. [Wéthé, 1996 ; Taisne, 1997 ; Adeline, 1998 ; Duchemin, 1998 ; LESEAU, 1998 ; Djeuda et al., 2001].

III.2.3. DISCUSSION DU VOLET APPROVISIONNEMENT EN EAU

Ce volet met en évidence la relation entre les pratiques d'approvisionnement en eau (mode, consommation, usages, rejets) et la typologie de l'habitat. Dans les quartiers structurés, le taux de raccordement direct au réseau est plus élevé que la moyenne générale de Yaoundé qui était d'environ 60% en 2001 [LESEAU, 2001]. De même, la proportion de bornes fontaines payantes et de puits est plus de 10 fois moins élevée que dans l'ensemble de la ville. Cette situation, généralement transitoire, est susceptible d'évoluer vers le raccordement direct au réseau.

Un des résultats importants de ce volet est l'évaluation, pour les quartiers structurés de Yaoundé, des paramètres nécessaires à la conception des stations d'épuration des eaux usées, à savoir, les quantités consommées, les débits de pointe horaire, les coefficients de pointe ainsi que les taux de rejet. D'une manière générale, la consommation spécifique de l'eau en réseau dans les quartiers structurés de Yaoundé est de 1,5 à 4 fois supérieure à la moyenne générale de cette ville, mais de 2 à 7 fois inférieure aux ratios (de 150 à 200 l/j/habitant) généralement considéré dans les villes européennes lors de la planification des projets d'alimentation en eau et d'épuration des eaux usées. La valeur maximale de 90 l/j/personne trouvée dans ces quartiers est proche de la moyenne prise en compte dans les zones rurales de la Belgique et de la France pour le dimensionnement des systèmes d'épuration [Gougoussi, 1984 ; FRB & FUL, 1984 ; Boutin, 2001].

De l'avis de Taisne (1997) et LESEAU (1998), les causes de cette consommation relativement faible sont liées au système de facturation. Celui-ci accorde une part fixe trop élevée (*de 1,3 à 1,7 €/mois*) à la location des compteurs et l'entretien des réseaux. Ce système laisse un faible écart entre les deux tranches de consommation (de 0,45 et 0,56 €/m³ pour les consommations inférieures ou supérieures à 10 m³/mois/abonné) [Taisne, 1997 ; Adéline, 1998 ; LESEAU, 1998].

Des mêmes auteurs, « *les problèmes liés à la qualité et la fourniture de l'eau en réseau se résument en sa turbidité considérable et au goût désagréable du fait vraisemblablement des chloramines* ». Allant dans le même sens, Jean Duchemin, cité par Taisne (1997), remarquait également que « *les installations de la station de traitement de l'eau potable de Yaoundé souffraient de pannes des pompes doseuses de chlore, des insuffisances de contrôle des filtres à sable. Ce qui justifierait les coupures abusives de l'eau en réseau et probablement du goût apparent de chlore du fait des dosages non maîtrisés* ». D'autre part, les délais de réparation de ces pannes pouvaient être longs, d'autant plus que les services compétents affirment être débordés par plus d'une vingtaine d'interventions par jour sur les branchements, ce qui équivaldrait à environ 7.000 interventions par an pour 40.000 abonnés en service.

Les rigoles, les caniveaux d'eau pluviale, la chaussée et l'espace libre dans la parcelle constituent l'exutoire des eaux issues de la vaisselle, de la lessive, du nettoyage de la maison, du lavage éventuel des véhicules. Cette situation peut avoir des influences sur la situation de l'assainissement des eaux usées dans les quartiers concernés dans cette étude.

III.3. ASSAINISSEMENT DES EAUX USEES MENAGERES

Les quartiers structurés de Yaoundé ont la particularité de disposer, en plus des ouvrages d'assainissement individuel, de l'essentiel des réseaux d'égout et des stations d'épuration des eaux usées de cette ville. Le présent volet a porté sur l'analyse de l'importance de ces ouvrages, les comportements des ménages, les problèmes rencontrés ainsi que l'évaluation participative des risques dus aux modes de gestion des eaux usées et excréta dans les ménages concernés.

III.3.1. LES SYSTEMES D'ASSAINISSEMENT DES EAUX USEES

Deux catégories de systèmes d'assainissement des eaux usées existent dans l'échantillon :

1. les ouvrages individuels, utilisés par 53% de l'échantillon ; ils se composent :
 - des fosses septiques rencontrées dans 32% de l'échantillon, dont 71% des ménages MAETUR, 53% des ménages LC et les 8 ménages SIC de Mendong qui en sont dotés à la suite du dysfonctionnement du système collectif de leur quartier,
 - des latrines utilisées par 21% de l'échantillon, principalement les ménages LC (47% des cas) contre 29% chez les ménages MAETUR ;
2. les systèmes collectifs (réseaux d'égout et station d'épuration) qui desservent 47% de l'échantillon, essentiellement les ménages SIC et les ménages Unitaires.

III.3.1.1. Les latrines

Ces ouvrages, dont 80% sont réalisés par une main d'œuvre non qualifiée, sont utilisés par les ménages qui ne sont pas raccordés au réseau d'eau potable. Près de 70% de ces ouvrages datent de 10 à 20 ans et seulement 12% ont fait l'objet d'une vidange. L'usage de camions spécialisés concerne 63% des cas de vidange, moyennant le paiement de 53 € à 115 €/vidange selon le volume de la fosse et des difficultés d'accès à l'ouvrage. Les lieux de dépôt des boues de vidange sont généralement les zones humides situées en périphérie de la ville.

Près de 92% des propriétaires de latrines ne sont pas satisfaits de leurs ouvrages. Les causes évoquées sont, entre autres, « *la présence permanente de mouches, de cafards et des rongeurs* » (46% des problèmes), « *le dégagement d'odeurs nauséabondes* » (21% des problèmes), « *les défauts de construction* » (20 des cas) et « *l'insuffisance d'entretien* » (13% des cas) ».

Pour résoudre ces problèmes, 75% de ces ménages souhaitent acquérir des systèmes décents dont les latrines améliorées (42% des solutions), les fosses septiques (31%) ou des réseaux d'égout (4%). Près de 12% des solutions va dans l'usage des déodorants et des insecticides.

III.3.1.2. Les fosses septiques

Près de 90% des fosses septiques sont réalisés par des tâcherons plus ou moins qualifiés. Les fosses septiques de moins de 10 ans et celles de 10 à 20 ans représentent chacun 22% de l'échantillon et 4% des fosses ont plus de 20 ans. Environ 60% de ces ouvrages, ont connu au moins une vidange, généralement mécanique (92% des cas), moyennant le paiement de 80 €/vidange. Les lieux de dépôt des boues de vidange sont les mêmes que précédemment.

Une fraction de 60% des détenteurs de fosses septiques n'est pas satisfaite des performances de leurs ouvrages à cause des « *dysfonctionnements* (62% des cas), *des défauts de maintenance* (14%), *des défauts de construction* (10%) et *de la présence de cafards et d'odeurs* (8%) ». Les solutions préconisées vont de la reconstruction de nouvelles fosses septiques (60% des solutions) à la remise en marche des services d'hygiène municipaux (8% des solutions) en passant par la réalisation des réseaux d'égout équipés de stations d'épuration (32% des solutions proposées).

III.3.1.3. Les systèmes d'assainissement collectif

Les réseaux d'égout et les stations d'épuration desservent 46% de l'échantillon. Leur existence reste méconnue par près de la moitié des ménages interviewés, de même que les coûts de branchement au réseau d'égout ou les redevances mensuelles.

Moins de 22% des usagers de ces systèmes affirment être satisfaits des performances et du fonctionnement de ces systèmes du moment où « *ceux-ci assurent la salubrité du quartier et une bonne évacuation des eaux usées loin des habitations* ». Par contre, 78% des usagers ne sont pas du même avis. Deux raisons sont évoquées : plus de 66% des ménages concernés évoquent « *les pannes prolongées, la vétusté des installations et l'abandon de l'entretien des stations* ». Environ 33% de cet échantillon pense que « *le non de traitement effectif des eaux usées contribue à l'insalubrité du quartier, à la prolifération des mares d'eaux stagnantes, à la pollution du milieu aquatique, aux odeurs nauséabondes et au développement de gîtes larvaires* ».

Pour y remédier, 38% des ménages sont favorables à la réhabilitation des installations, 31% interpellent la responsabilisation et la motivation des exploitants, 26% préconisent la construction d'une nouvelle station et enfin, 5% souhaitent que la municipalité relance les campagnes de sensibilisation, d'animation et d'éducation des usagers.

III.3.2. CARACTERISTIQUES DES EAUX USEES

Les eaux usées domestiques sont des mélanges fort complexes de produits chimiques, de matières organiques et des agents microbiens dont les principaux déterminants sont les bio-indicateurs de la pollution fécale. Le suivi de ces paramètres s'est effectué sur les influents des

fosses septiques et ceux des stations d'épuration. Les résultats obtenus, qui se veulent instantanés pour n'avoir pas pris en compte des variations saisonnières, sont résumés comme suit :

- La température varie de 24,5 à 27,7 °C aux entrées des fosses septiques et de 23,1 à 28,3°C aux entrées des stations d'épuration.
- Le potentiel d'hydrogène est neutre ou légèrement basique avec une moyenne de $7,2 \pm 0,2$ pour les influents des fosses septiques et de $7,0 \pm 0,3$ pour ceux des stations d'épuration.
- Avec une conductivité moyenne de 800 ± 287 $\mu\text{S}/\text{cm}$, les influents des stations d'épuration ont un niveau de minéralisation moyennement accentué ou important tandis que ceux des fosses septiques, avec une moyenne de 1.523 ± 896 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ont une minéralisation élevée. Les minima et maxima sont respectivement de 115 à 4.280 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour les fosses septiques et de 255 à 2.580 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour les stations d'épuration.
- Les concentrations des matières en suspension (MES) sont extrêmement variables avec des plages de 113 à 10.000 mg/l pour les fosses septiques (1.223 ± 1.058 mg/l en moyenne) et de 255 à 2.600 mg/l pour les stations d'épuration (485 ± 248 mg/l en moyenne).
- Les teneur en azote ammoniacal (NH_4^+) sont en moyenne de 26 ± 21 mg/l (étendue entre 0,4 et 125,0 mg/l) pour les influents des stations d'épuration et de 35 ± 22 mg/l pour ceux des fosses septiques (dont l'étendue varie de 2,4 à 118,4 mg/l).
- Les teneurs moyennes en phosphore sont respectivement de $10,0 \pm 5,3$ mg/l pour les influents des stations d'épuration (étendue entre 1,1 et 50,0 mg/l) et de $46,3 \pm 35,6$ mg/l dans les influents des fosses septiques (variant entre 1,5 et 216 mg/l). Les valeurs les plus élevées sont relevées les week-ends dans les fosses septiques.
- La demande biochimique en oxygène (DBO_5) et la demande chimique en oxygène (DCO) sont également très fluctuantes. La teneur moyenne en DBO_5 aux entrées des fosses septiques est de 642 ± 117 mg/l (variant de 430 à 865 mg/l) contre 545 ± 204 mg/l (105 à 1.050 mg/l) pour les stations d'épuration. La teneur moyenne en DCO est de 1.139 ± 427 mg/l pour les influents des stations d'épuration (variant de 183 à 2.650 mg/l) contre 1.422 ± 282 mg/l pour les fosses septiques (étendue de 1.018 à 3.100 mg/l). En général, la DCO rapportée à la DBO_5 est de $2,1 \pm 0,1$ pour les influents des stations d'épuration (variant de 1,1 à 3,7) et ceux des fosses septiques (étalé entre 1,6 et 3,9).
- Les teneurs en coliformes fécaux varient de 10^{+06} à 10^{+08} UFC/100ml et celles des streptocoques fécaux oscillent entre 10^{+5} et 10^{+7} UFC/100ml quelque soit le système.

Les volumes spécifiques de ces rejets oscillent entre 40 et 90 litres/pers/jour (tableau III.3.1)

Tableau III.3.1 : Comparaison des volumes spécifiques initiaux et actuels des rejets d'eaux usées pour quelques stations.

Paramètres	Nsam (Phases 2)	Messa	Cité verte	Mendong	Biyem Assi
Volume spécifique Initial du projet (l/j/pers)	57,2	100,0	85,0	70,0	69,2
Volume spécifique Etude (l/j/pers)	49,2	86,2	64	58	42
Erreur relative (%)	14%	14%	25%	17%	39%

Comparés aux volumes initiaux considérés lors du dimensionnement de certaines stations d'épuration de Yaoundé, notre démarche aboutit à des erreurs relatives variant de 14% à 40%.

Les charges polluantes spécifiques sont estimées pour les MES et la DBO₅ (tableau III.3.2). Afin de considérer les rejets des restaurants, des laboratoires, des salles de cours etc., dans l'évaluation de ces paramètres à l'Université de Yaoundé 1, nous avons considéré les débits spécifiques de 128l/pers/j proposés par SOGREAH (1993).

Tableau III.3.2 : Valeur moyennes des charges polluantes spécifiques (en g/pers/j) pour quelques paramètres caractéristiques des eaux usées.

Type de tissu urbain	Quartier	MES mg/l	DBO ₅ mg O ₂ /l
SIC	Biyem Assi - SIC	40,0	49,0
	Cité Verte	53,6	43,9
	Mendong	37,1	35,2
	Messa	43,9	55,2
Equipement	Cité universitaire	21,0	30,2
MAETUR	Biyem Assi - MAETUR	44,3	37,8
	Nsimeyong	74,0	33,4
Lotissements communaux	Essos	23,2	15,8
	Mimboman	9,9	30,5
	Nsam	46,8	27,7
<i>Moyenne de l'échantillon</i>		<i>39,4</i>	<i>35,9</i>
<i>Ecart par rapport à la moyenne</i>		<i>13,2</i>	<i>8,5</i>

Ainsi, nous pouvons retenir du tableau III.3.2 que :

- la charge moyenne des MES est d'environ $39,4 \pm 13,2$ g/pers/j sur l'ensemble des échantillons analysés. Les eaux usées des ménages Unitaires et des ménages LC sont moins chargées (respectivement de 21 et 27 g/pers/j) que celles des ménages SIC (44 g/pers/j) et les ménages MAETUR (59 g/pers/j).
- la charge journalière spécifique en DBO₅ est de $37,0 \pm 8,5$ g O₂/pers/j. Ce ratio est plus élevé dans les ménages SIC (46 g O₂/pers/j) et relativement moins élevé dans les ménages MAETUR (36 g O₂/pers/j) et dans les ménages LC (25 g O₂/pers/j). Il est 1,5 fois plus élevé dans les ménages Unitaires (30 g O₂/pers/j).

La DBO₅ est le seul paramètre dont les valeurs initiales disponibles permettent une comparaison avec celles que nous avons évaluées. L'analyse qui suit concerne trois aspects de ce paramètre :

- la concentration de ce paramètre (en mg O₂/l) aux entrées de chaque station considérée ;
- la charge spécifique (en g/pers/j) évaluée pour chaque strate considérée ;

- la charge totale (en kg/j) pour toute la strate à partir des données démographiques de 1996.

Les valeurs considérées pour la station de Nsam sont les moyennes de l'échantillon, cette station étant prévue pour traiter les effluents des quartiers situés en amont de celle-ci. Le tableau III.3.3 montre une relative opposition entre nos valeurs et celles qui ont servi au dimensionnement des stations d'épuration de la ville.

Tableau III.3.3 : Valeurs comparées des charges en DBO₅ entre l'étude et le projet initial

Paramètres	Nsam	Messa	Cité verte	Université de Yaoundé I	Mendong	Biyem Assi SIC
[DBO ₅] Projet (mg O ₂ /l)	383	540	559	260	548	600
[DBO ₅] Etude (mg O ₂ /l)	551	641	687	323	609	768
<i>Rapport [DBO₅] Etude/Projet</i>	<i>1,44</i>	<i>1,19</i>	<i>1,23</i>	<i>1,24</i>	<i>1,11</i>	<i>1,28</i>
Charge spécifique Projet (gDBO ₅ /j/pers)	21,9	54,0	47,5	33,3	38,3	41,5
Charge spécifique Etude (g DBO ₅ /j/pers)	35,9	55,2	43,9	30,2	35,2	49,0
<i>Rapport DBO₅ spécifique Etude/Projet</i>	<i>1,64</i>	<i>1,02</i>	<i>0,93</i>	<i>0,91</i>	<i>0,92</i>	<i>1,18</i>
Charge totale Projet (kg de DBO ₅ /j)	5371	243	570	130	1150	59
Charge totale Etude (kg de DBO ₅ /j)	6638	719	483	192	1057	74
<i>Rapport DBO₅ Totale Etude/Projet</i>	<i>1,24</i>	<i>2,96</i>	<i>0,85</i>	<i>1,47</i>	<i>0,92</i>	<i>1,26</i>

Du tableau III.3.3, nous retenons que l'erreur relative, entre les concentrations en DBO₅ obtenues dans cette étude et les données de la conception des stations d'épuration, varie de 10% (à Mendong) à 30% (à Nsam). Ainsi, le rapport entre la concentration obtenue et celle du projet est de 1,1 plus élevé dans la station de Mendong à 1,4 dans la station globale de Nsam.

La charge spécifique est l'indicateur dont l'opposition entre nos estimations et les données de conception est assez disparate : nos résultats sont légèrement inférieurs à ceux de Cité verte, Mendong et Université de Yaoundé I et supérieurs à ceux de Messa, Nsam et Biyem Assi.

En rapprochant les capacités initiales des stations (en équivalents – habitant) des données démographiques du fichier de la DSCN de 1996, nous apprécions clairement le dépassement des capacités de ces systèmes, exception faite de Mendong et Cité verte dont les charges totales de notre étude rapportées à celles du projet initial sont inférieures à 1. Ce rapport varie de 1,3 pour la station de lagunage de Biyem Assi (avec une erreur relative de 20%) à 3 pour Messa (avec une erreur relative de 66%). Ces résultats confirment les conclusions des différents diagnostics de ces ouvrages [SOGREAH, 1993 ; Wéthé, 1999, 2001 ; Kengné, 2000 ; LESEAU, 2003].

III.3.3. PERCEPTION POPULAIRE SUR LES EAUX USEES

Les eaux usées constituent une source de problèmes comme le pensent les deux tiers de l'échantillon. Cette appréciation varie avec la strate (45% des ménages LC, 67% des ménages SIC, 75% des ménages MAETUR, 83% des ménages Unitaires) de même que les domaines dans lesquels les effets des eaux usées sont les plus visibles :

- Pour les ménages SIC et les ménages Unitaires, les problèmes posés par les eaux usées touchent en priorité l'environnement (plus de 90% des ménages concernés) avant la santé (respectivement 60% et 75% des cas) et le cadre de vie (respectivement 50 et 65% des cas).
- Pour les ménages MAETUR, l'importance est accordée en priorité à la santé (75% des ménages), au cadre de vie (72% des cas) avant l'environnement (62% des cas).
- Par contre, dans les ménages LC, l'environnement (avec 55% des ménages) est pressenti comme domaine le plus exposé avant le cadre de vie (47%) et la santé (38%).

III.3.3.1. Les problèmes d'environnement

Par ordre d'importance, les problèmes environnementaux, tels qu'évoqués par l'échantillon, se déclinent comme suit :

- la pollution de la ressource en eau, éprouvée par 78% de l'échantillon dont plus de la moitié pense que *« la dégradation de la qualité de l'eau ainsi que la disparition des lacs et des poissons en sont les manifestations les plus perceptibles à Yaoundé »* ;
- la détérioration des sols exprimée par 63% de l'échantillon qui estiment que *« les défauts d'évacuation et de traitement des eaux usées polluées altèrent la qualité des sols et entraînent également leur ravinement »* ;
- la dégradation du cadre de vie avec *« la destruction du patrimoine urbain, l'inesthétisme, les odeurs et le ralentissement des activités socio-économiques »* qui en sont autant de conséquences néfastes telles que perçues par 40% des ménages interviewés.

III.3.3.2. Les problèmes de santé

De l'avis des ménages interviewés, deux raisons fondamentales font des rejets d'eaux usées des risques majeurs pour la santé humaine, à savoir :

- *« la prolifération des gîtes de développement des vecteurs de maladies tels que les moustiques, les mouches, les cafards et les rongeurs »* exprimée par 60% de l'échantillon ;
- *« les risques accrus de contamination du fait de l'abondance dans les eaux usées de germes pathogènes »*, perçus par 40% des ménages.

Les conséquences de cette situation peuvent être regroupées en 3 catégories :

1. les maladies liées à la consommation de l'eau : 67% des ménages pensent à la typhoïde, à la diarrhée (40% des cas), au choléra et à la dysenterie amibienne (30% chacune) ;
2. les maladies dues à des vecteurs qui se développent dans les eaux usées : 17% de l'échantillon évoquent principalement le paludisme qui est récurrent dans la ville ;

3. les maladies liées au contact d'une eau contaminée et les affections respiratoires sont les autres conséquences, non négligeables, comme l'expriment 16% de l'échantillon.

Le croisement des réponses précédentes avec la question relative aux maladies survenues dans les ménages durant les 3 derniers mois ayant précédé l'enquête, montre la prédominance des maladies d'origine hydrique (paludisme, diarrhée, dysenterie et typhoïde) parmi les 7 maladies déclarées par l'échantillon (figure III.3.1).

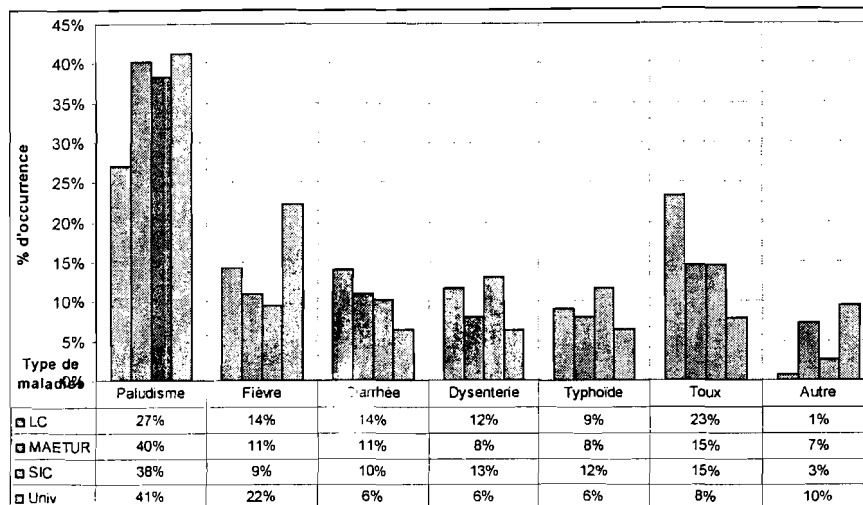


Figure III.3.1 : Principales maladies déclarées en fonction de leur occurrence

Ainsi, nous retenons de la figure III.3.1 que :

- le paludisme est perçu par 35% de l'échantillon comme étant la première affection avec beaucoup plus d'intensité dans les strates de standing relativement élevé ;
- la diarrhée et la dysenterie auraient prévalu dans 11% de l'échantillon tandis que 10% affirment avoir souffert de la typhoïde. Le taux d'occurrence de la diarrhée semble décroître quand le niveau de standing augmente tandis que les fluctuations des dysenteries et des typhoïdes dans les ménages SIC s'opposent sensiblement à celles des autres strates ;
- la fièvre (13% des ménages) et la toux (17% des cas) ne sont pas directement liées aux rejets d'eaux usées polluées mais sévissent suivant une occurrence qui diminue quand le standing augmente, exception faite des ménages Unitaires.

L'ensemble des maladies évoquées par l'échantillon ne semble pas affecter particulièrement une tranche d'âge spécifique. Tous les groupes y sont exposés à des intensités diverses quelque soit la strate.

III.3.3.3. Les problèmes sur le cadre de vie

Deux situations favorisent les impacts négatifs des rejets d'eaux usées et polluées sur le cadre de vie : le bouchage et les cassures des réseaux d'égout qui occasionnent les remontées d'eaux sur

la chaussée. Les conséquences, telles que perçues sont, entre autres :

- la destruction des infrastructures, la réduction de la durée de vie et la praticabilité des réseaux de voirie, évoquées par 76% de l'échantillon dont le tiers pense que *« de tels dégâts occasionneront des dépenses importantes si on envisage de réhabiliter ces réseaux »* ;
- l'inesthétisme de l'environnement urbain, du fait de l'insalubrité, les odeurs nauséabondes et autres désagréments, est évoqué par 24% de l'échantillon.

Les ménages SIC, autant que les ménages MAETUR, perçoivent mieux ces impacts ; ceci est justifié par le vécu quotidien dû aux défaillances des réseaux d'égout existants.

III.3.3.4. Les solutions préconisées pour une meilleure gestion des eaux usées

L'acuité des problèmes dus au défaut de traitement des eaux usées domestiques est bien perçue dans l'échantillon. Les solutions proposées sont de 2 catégories, d'une part, l'information et la formation des ménages sur les techniques adaptées d'assainissement et d'autre part, la capitalisation des ressources endogènes et l'implication effective des bénéficiaires aux différentes étapes des projets d'assainissement.

Campagnes de formation et d'information des ménages sur les techniques adaptées

Sur ces aspects, les ménages souhaitent mieux connaître les meilleures techniques d'assainissement de même que l'hygiène et les risques sanitaires dus aux eaux usées.

Par rapport au premier aspect, l'enquête révèle que seuls 18% des ménages sont informés de l'existence de systèmes plus performants que ceux qu'ils utilisent. Ce qui justifie l'engouement des 80% restant à bénéficier des campagnes d'animation et d'information sur les différents systèmes possibles, leurs avantages et inconvénients ainsi que les modalités de leur mise en œuvre et de leur exploitation.

Le choix des systèmes individuels est motivé *« par leur autonomie de gestion et leur coût de réalisation et d'exploitation relativement peu élevé »*. Cependant, quelques inquiétudes subsistent, notamment, *« leur inadaptation aux quartiers structurés dont les parcelles sont de petites dimensions, les risques élevés de pollution de la ressource en eau du fait de la faiblesse des rendements épuratoires, l'exigence de vidanges régulières et coûteuses »*.

Le choix des systèmes collectifs est argumenté par *« leur adaptation aux quartiers structurés, la présence de zones marécageuses pouvant accueillir des stations d'épuration »*. De plus, les stations sont *« plus efficaces et sécuritaires pour le cadre de vie et l'environnement si le matériel d'exploitation et les ressources humaines y relatifs sont adaptés,..., ne nécessitent pas de vidanges régulières à la charge du ménage,..., leur conception répond à des règles scientifiques.*

(plus de 75%) par tous pour vivre dans un milieu sain. A cela s'ajoutent les dispositions des ménages (plus de 90%) à participer à toutes les phases des projets futurs pour peu qu'on les implique réellement. Leur volonté à contribuer financièrement, matériellement et sous forme de main d'œuvre est un atout majeur à prendre en compte ;

- la prédisposition des ménages à recevoir des campagnes de sensibilisation, d'animation, de formation et d'information relatives aux technologies d'assainissement, à l'hygiène et à la santé humaine et environnementale. La présence, dans tous les ménages, de moyens de communication et d'information est également un atout majeur pouvant faciliter le développement et la diffusion de telles campagnes.

Comme facteur défavorable, l'étude révèle que plus de 90% des fosses septiques (respectivement 80% des latrines) sont construites par une main d'œuvre non qualifiée. Ceci pourrait représenter un handicap pour le bon fonctionnement d'un système d'égout qui devrait les intégrer. Des précautions devraient être prises pour palier ces lacunes avant leur raccordement.

Sur le plan fondamental, ce volet a permis d'évaluer quelques paramètres clés (taux de rejet, caractéristiques des eaux usées, volume spécifique de rejet, charges organique spécifiques) nécessaires à la conception des systèmes collectifs dans les quartiers structurés de Yaoundé. Comparativement aux valeurs théoriques utilisées pour le dimensionnement de ces systèmes, l'étude révèle que les deux derniers paramètres clés ont été infirmés. En effet, nous constatons que les volumes spécifiques des rejets d'eaux usées, évalués à 40 l/pers/j dans cette étude, sont nettement inférieurs aux valeurs usuelles, de 90 à 100 l/pers/j pour les zones rurales et de 150 à 180 l/pers/j pour les agglomérations, préconisées dans la littérature pour les villes européennes. En outre, les charges organiques moyennes que nous avons estimées (soit 550 mg/l de DBO₅, étendues entre 105 à 1100 mg/l) sont nettement plus élevées dans notre échantillon que celles qui ont servi au dimensionnement des stations d'épuration par boues activées actuelles de Yaoundé ; les valeurs utilisées son plus proches de celles des eaux résiduaires urbaines en Belgique et en France (valeurs comprises entre 200 et 400mg/l) [FRB et FUL, 1980 ; Gougoussi, 1980 ; Eckenfelder, 1982 ; CEMAGREF, 1997 ; Boutin, 1998 ; Radoux 2002 ;]. En l'absence de données fiables obtenues localement, ces valeurs (volumes de rejet, charges organiques) ont été transposées dans certaines études des systèmes d'épuration des eaux usées au Cameroun et en Afrique, conduisant ainsi au surdimensionnement des ouvrages et donc à des coûts d'investissement élevés [CFPI, 2003 et 2004]. Ceci montre bien l'intérêt de pouvoir maîtriser localement les flux d'eaux usées produits dans une localité où l'on envisage expérimenter et développer les systèmes d'épuration.

D'autre part, l'évaluation des charges organiques (en DBO₅) permet de nous rendre compte du dépassement des capacités de la plupart des stations d'épuration construites à Yaoundé. Dans

leur état actuel, les facteurs de dépassement des capacités sont de l'ordre de 1,2 à 3 lorsque nous comparons les charges spécifiques (g/pers/j) ou la charge totale en DBO₅ (en kg/j) dans la strate considérée. Cette situation provient à la fois de la mauvaise évaluation des charges polluantes initiales en phase d'étude et du défaut d'appréciation des prévisions de croissance démographique dans la zone concernée. Ce dépassement de capacité, couplé à l'abandon des systèmes d'épuration par boues activées et au dysfonctionnement quasi général des systèmes d'assainissement autonomes, entraînent des rejets d'eaux usées non suffisamment traitées dans le milieu naturel. Les conséquences de ces pratiques sur le cadre de vie, les ressources naturelles en général et principalement les zones humides sont de plus en plus perceptibles dans la ville de Yaoundé.

**Impacts environnementaux et sanitaires
de la pollution des zones humides
par les eaux usées**

III.4. POLLUTION DES ZONES HUMIDES PAR LES EAUX USEES

Les zones humides de Yaoundé sont la destination finale des effluents brutes ou non suffisamment traités par les systèmes d'épuration. L'objet de ce paragraphe est d'en apprécier l'influence en identifiant, dans ces écosystèmes, les sources de pollution par ces effluents et en recherchant, dans les eaux de surface, les paramètres caractéristiques d'une telle pollution.

III.4.1. IDENTIFICATION DES SOURCES DE POLLUTION DES ZONES HUMIDES

Les sources de pollution des eaux de surface qui irriguent les zones humides sont multiples comme nous le renseigne le tableau III.4.1 (cellules marquées de gris).

Tableau III.4.1 : Principales sources potentielles de pollution des eaux des zones humides étudiées (janvier 2001 – août 2002)

Désignation du site	Exutoire des stations d'épuration	Eaux usées et systèmes individuels	Activités économiques informelles	Activités agricoles	Dépôt d'ordures ménagères	Habitat spontané	Industries et commerce formel	Activités de service	Hôpital
Biyem Assi Lac									
Biyem Assi NIKI									
Djongolo									
Cité verte									
Efoulan lac									
Rond point Bastos									
Hôpital Caisse									
Hôpital Général									
Lac municipal									
Mendong Ecole									
Mendong Gendarmerie									
Mendong Lycée									
Messa									
Nkol Bisson									
Nsimeyong Jouvence									
Nsimeyong Tam Tam									
Olézoa									
Oyom Abang									
CHU									
ENSP									
Nation									
Obili									

Les polluants liquides émis par les sources ainsi identifiées peuvent atteindre la ressource en eau superficielle selon deux mécanismes : le transfert vertical si la perméabilité du sol est favorable et le transfert latéral avec le concours du ruissellement et de l'érosion hydrique [Radoux, 1995].

Ces sources peuvent être regroupées en 2 classes : les sources ponctuelles et les sources diffuses.

III.4.1.1. Les sources de pollution ponctuelles

Les sources de pollution dites ponctuelles sont aisément localisables et donc facilement maîtrisables si l'on envisage des actions de dépollution. Les stations d'épuration des eaux usées, les hôpitaux et laboratoires, les entreprises industrielles, commerciales et de services du tableau III.4.1 en font partie.

Les stations d'épuration des eaux usées sont au nombre de 8 dans l'échantillon et traitent théoriquement 3 040 m³ d'eau usées par jour. Leurs rejets agissent, par effet direct ou indirect, dans 13 zones humides de l'échantillon : Biyem Assi, Hôpital de la Caisse (HCE), Hôpital Générale de Yaoundé (HGY), Université, Centre Hospitalier Universitaire (CHU), Nkol Bisson, Messa, Cité verte, Mendong (Lycée et Ecole). Seules Biyem Assi (lagunage), Hôpital de la Caisse (HCE), Hôpital Général de Yaoundé (HGY) et Lycée technique de Nkol Bisson (Nkl) fonctionnent encore. Ces stations, autant que celles de Messa, CHU, Université et Cité verte et les exutoires d'eaux brutes de Mendong (Lycée et Ecole), déversent des quantités importantes (environ 2 375 m³/jour) d'eaux usées brutes dans le milieu aquatique.

Les hôpitaux et les laboratoires : il a été dénombré 4 centres hospitaliers dont 3 hôpitaux de référence : Hôpital Général de Yaoundé, Hôpital de la Caisse, Centre Hospitalier Universitaire de Yaoundé et Hygiène Mobile. Ces hôpitaux ainsi que les laboratoires de la Faculté de sciences et de médecine utilisent généralement des produits chimiques fortement toxiques pour l'environnement. Ce sont entre autres, les acides (sulfurique, chlorhydrique, phosphatique, etc.), les composés cyanés (cyanure d'ammoniaque et de fer), les bases (sodium), les métaux lourds (aluminium, plomb, fer, cadmium, cuivre), les solvants, etc., susceptibles de se retrouver dans les eaux superficielles. La production journalière de l'ensemble des hôpitaux et dispensaires de la ville de Yaoundé avait été évaluée à environ 812 m³/jour [LESEAU, 2002].

Les entreprises industrielles, commerciales et de service dans le secteur formel : elles ont été identifiées dans 17 sous bassins versants auxquels appartiennent les zones humides étudiées. Il s'agit des industries agro-alimentaires, des hôtels, des restaurants, des stations de services, des administrations publiques, etc. Les industries agroalimentaires (particulièrement les Brasseries du Cameroun avec un rejet moyen de 4 000 à 5 000 m³/jour) représentent les plus importants producteurs d'eaux usées. En effet, LESEAU (2002) évaluait à 8 939 m³/jour (dont 63,8% pour les brasseries) le volume total des rejets d'eaux usées issues des industries, des commerces, des administrations et entreprises de service. Il remarquait également qu'aucune de ces structures ne disposait de système de traitement qui soit fonctionnel [LESEAU, 2002]. Les eaux résiduaires (issues du lavage des matières premières, de la fabrication, du refroidissement, de l'entretien ainsi que des solvants, de toilettes et vestiaires, etc.) sont alors rejetés sans traitement complet

dans les cours d'eau de la ville, dans certains cas, seul le prétraitement est opéré. Le Mfoundi est le réceptacle principal des effluents industriels de la ville Yaoundé.



Photo 8 : Rejets d'eaux usées brutes industrielles dans le Mfoundi



Photo 9 : Egout cassé (gauche), regard comblé (droite) et remontée d'eaux usées sur la chaussée à Biyem Assi

III.4.1.2. Les sources de pollution diffuse

Les sources de pollution diffuse sont nombreuses dans les bassins versants étudiés. Elles émettent des micro-polluants disséminés dans l'espace et sont de ce fait difficilement localisables et contrôlables. Nous avons classé dans ce groupe les eaux usées et eaux vannes, les activités informelles, les activités agricoles, les dépôts sauvages d'ordures ménagères et la colonisation par les bidonvilles.

Les eaux usées et excréta rejetés directement dans la zone humide ou indirectement à partir des latrines et des fosses septiques mal construites. Ces pratiques ont été identifiées dans 14 zones humides : Messa, Biyem Assi Lac et NIKI, Cité verte, Efulan, Djongolo, Hôpital de la Caisse et Hôpital Général de Yaoundé et Université (ENSP, CHU, Lac Mélen, Obili et Bonamoussadi). LESEAU (2002) évalue à 1 456 m³/jour le volume d'eaux usées ménagères et eaux vannes déversées dans les latrines et les puisards des fosses septiques ; ce qui équivaut à environ 5 m³ d'eaux usées que chaque hectare urbanisé doit infiltrer à Yaoundé¹ [LESEAU, 02] ;

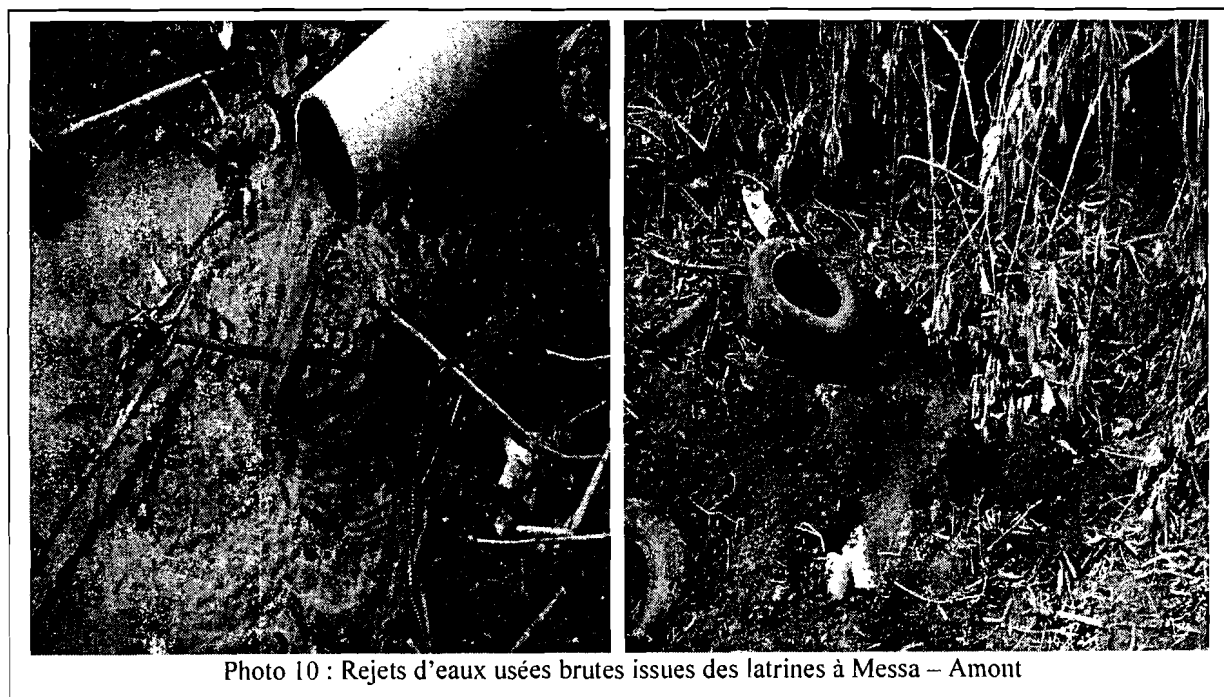


Photo 10 : Rejets d'eaux usées brutes issues des latrines à Messa – Amont

Les activités économiques du secteur informel identifiées dans 18 zones humides. Les petits métiers de rue (restaurants, ateliers de mécanique et de menuiserie, laverie automobile, etc.) sont les plus dominants. Quelques uns disposent de latrines traditionnelles dont le fonctionnement n'est pas adéquat. A Yaoundé, la quantité journalière d'eaux usées rejetées par 9 647 unités informelles de production est évaluée à 242,6 m³. Près de 94,8% de ces effluents sont les eaux usées, 5,0% sont les huiles de vidange et 0,2% les acides et eaux de teintures) [LESEAU, 02].

¹ L'hypothèse de calcul est la suivante : la population est estimée à 1.3 millions d'habitant, la quantité d'eau consommée est de 60 l/j/habitant, le taux de rejet est de 0.8 et seules 70% de ces eaux transitent par les ouvrages d'assainissement individuel. Chaque hectare urbanisé comprend 20 unité de consommation (ménage, commerce, etc.). Les calculs aboutissent à 250 l/j/puisard.

Elles participent efficacement à la dépollution des éléments chimiques et organiques. Systèmes modernes et performants, elles assurent l'hygiène et l'esthétisme du milieu car elles traitent de manière complète les eaux usées avant leur rejet dans la nature ». Cependant, les ménages sont sceptiques quant aux systèmes à boues activées ayant montré leurs limites pendant des décennies à Yaoundé. Leurs craintes portent sur « *les pannes régulières et l'abandon des stations construites par la SIC, ..., la non maîtrise de cette technique par les exploitants* ». Ainsi, envisager de tels systèmes revient « *à courir une fois de plus des risques de voir les sites devenir des dépotoirs sauvages des déchets solides et liquides ou des abris des vecteurs de maladies en l'absence d'entretien du fait des coûts élevés* ».

En ce qui concerne les campagne d'hygiène et de sensibilisation sur les risques dus aux eaux usées, les ménages pensent que les programmes d'information et de sensibilisation sur l'hygiène alimentaire et corporelle, la salubrité du cadre de vie et la prévention des maladies hydriques sont peu fréquents dans les médias et les programmes scolaires. Le développement de ces thèmes est jugé « *insuffisant et peu adapté au contexte car le niveau de langage est assez spécialisé et donc pas accessible à toutes les couches sociales* ».

Capitalisation des ressources endogènes et l'implication des ménages dans le processus

Les dysfonctionnements des systèmes d'assainissement collectif et l'intensité des désagréments que causent les eaux usées non traitées sur l'environnement, la santé et le patrimoine urbain sont tels que 75% des ménages interrogés sont favorables à l'acquisition de nouveaux systèmes d'évacuation et de traitement des eaux usées pour autant « *qu'il leur soit prouvé que ceux-ci sont plus performants* ». Quatre formes de contributions sont préconisées à cet effet :

- la contribution financière, envisagée par 60% de l'échantillon qui proposent un taux moyen d'environ 4,5 €/mois/mois/ménage ;
- la contribution sous forme de main d'œuvre préconisée par 22% de l'échantillon qui acceptent de consacrer en moyenne de 2 à 3 jours de travail par semaine ;
- la contribution sous forme de matériel (brouettes, pelles, etc.) et de matériaux de construction (ciment, acier, parpaing, sable et gravier) envisagée par 11% de l'échantillon ;
- l'appui conseil lors des études et du contrôle de la réalisation des travaux, et des campagnes d'information, d'animation des ménages et de formation des tâcherons.

Toutes ces formes de contribution peuvent, selon les ménages, être améliorées s'ils sont mieux informés sur les coûts des ouvrages et le mode de gestion préconisé. En effet, l'efficacité et la pérennité d'un projet nécessitent l'adhésion et l'implication des bénéficiaires à toutes les phases de ce projet. Les ménages affirment « *avoir été longtemps mis à l'écart dans les programmes*

antérieurs et justifient ainsi leur désintéressement ». Ils préconisent que « soient revus, le mode d'exploitation et la forme d'organisation de la gestion des systèmes envisagés ».

Tableau III.3.4 : Mode de gestion des nouveaux systèmes d'assainissement des eaux usées

	PME	Propriétaire	Association de résidents	ONG	Autre	Total
LC	29%	10%	36%	24%	0%	100%
MAETUR	21%	11%	14%	48%	5%	100%
SIC	25%	16%	20%	37%	2%	100%
Université	40%	13%	37%	7%	3%	100%
Moyenne	27%	13%	25%	32%	2%	100%

La volonté de participer à la gestion des nouveaux projets est réelle dans l'échantillon. Les ménages proposent à cet effet que l'exploitation des nouveaux systèmes soient confiés, aux ONG compétentes (32% de l'échantillon), soit aux petites et moyennes entreprises (27% des cas), aux associations de résidents dans chaque quartier (25% des cas), soit enfin aux propriétaires des systèmes envisagés (13% des cas). La priorité semble plus accordée aux ONG dans les strates de la SIC et de la MAETUR, aux petites et moyennes entreprises à la cité universitaire et aux associations des résidents dans les ménages LC.

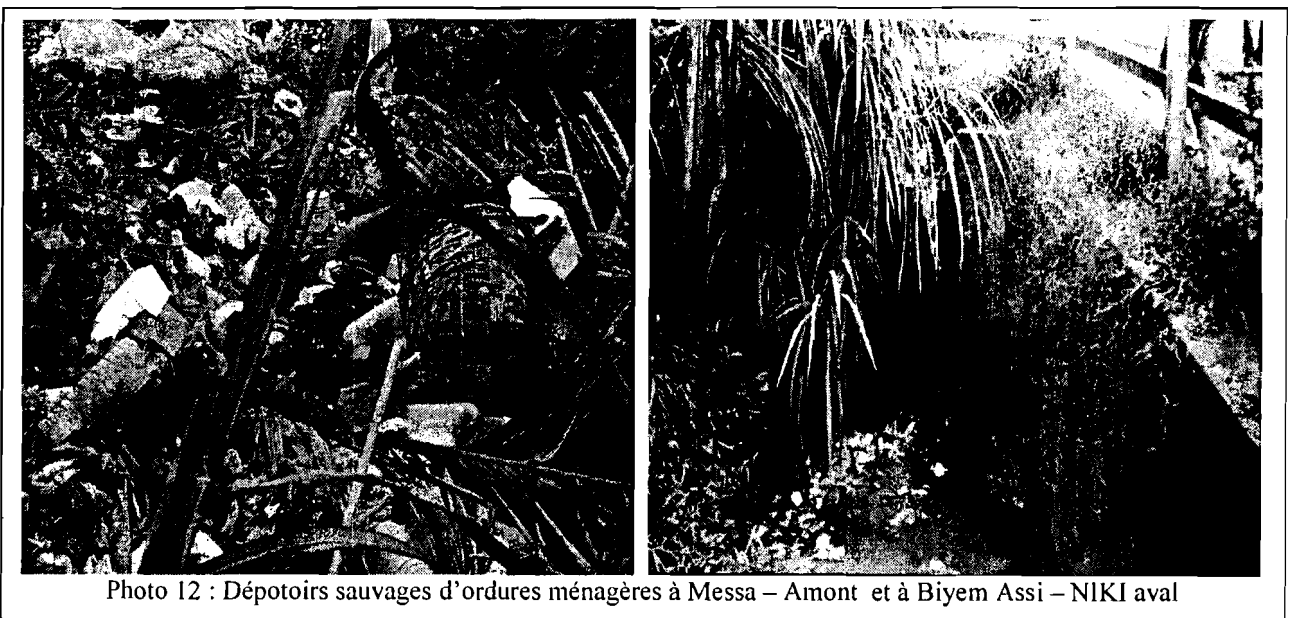
III.3.4. DISCUSSION DE L'ASPECT ASSAINISSEMENT DES EAUX USEES

De ce qui précède, il ressort que la ville de Yaoundé présente des atouts favorables pour l'implantation des systèmes de collecte d'épuration extensive des eaux usées. Nous citerons :

- l'importance numérique d'ouvrages d'assainissement susceptibles de s'intégrer parfaitement dans un système d'égout : 47% des ménages sont déjà raccordés à un réseau d'égout et plus de 32% sont dotés de fosses septiques ; ces dernières peuvent, en cas de besoin, servir de fosses d'interception et de décantation primaire dans un système d'égout à faible diamètre ;
- les volumes spécifiques de rejets d'eaux usées (de 40 l/pers/j) sont suffisamment importants pour d'une part, justifier la mise en place des réseaux d'égout classiques ou des réseaux à faible diamètre et d'autre part, garantir le bon fonctionnement de ces derniers ;
- l'importance quantitative (de 60% à 90%) des ménages non satisfaits de leurs ouvrages et qui souhaitent obtenir des systèmes beaucoup plus performants : il s'agit de 66% des usagers des stations à boues activées, 60% des détenteurs des fosses septiques et 75% des détenteurs de latrines. Leurs souhaits vont principalement vers les réseaux d'égout et des stations d'épuration extensives : 26% des ménages raccordés aux stations à boues activées, 32% des détenteurs des fosses septiques et 35% des détenteurs des latrines ;
- la conscience populaire (plus de 67%) quant aux conséquences environnementales et sanitaires des rejets d'eaux usées non suffisamment traitées et la volonté réellement affichée



Les activités agricoles, notamment le maraîchage et le petit élevage, sont pratiquées dans 14 zones humides. Elles utilisent parfois des pesticides, des insecticides, les fertilisants chimiques et organiques dont certains sont périmés ou prohibés. Les rejets liquides issues de ces activités sont estimés à 26,2 m³/jour dans la ville de Yaoundé [LESEAU, 2002].



Les dépôts sauvages d'ordures ménagères ont été relevés dans les emprises de toutes les zones humides. L'accès dans ces quartiers n'est pas aisé et les ménages concernés doivent parcourir de longues distances sur des chemins piétonniers, au relief accidenté, pour vider leurs poubelles dans les bacs à ordures situés le long des routes qui bordent ces quartiers. Cette contrainte oblige les « moins courageux » à déverser leurs déchets directement dans les cours d'eau.

La colonisation illégale des zones humides par l'habitat spontané est présente dans 14 zones humides. En l'absence de parcelles viabilisées et accessibles à tous, certains ménages ruent vers

les espaces libres des zones humides dans l'attente d'un éventuel déguerpissement.

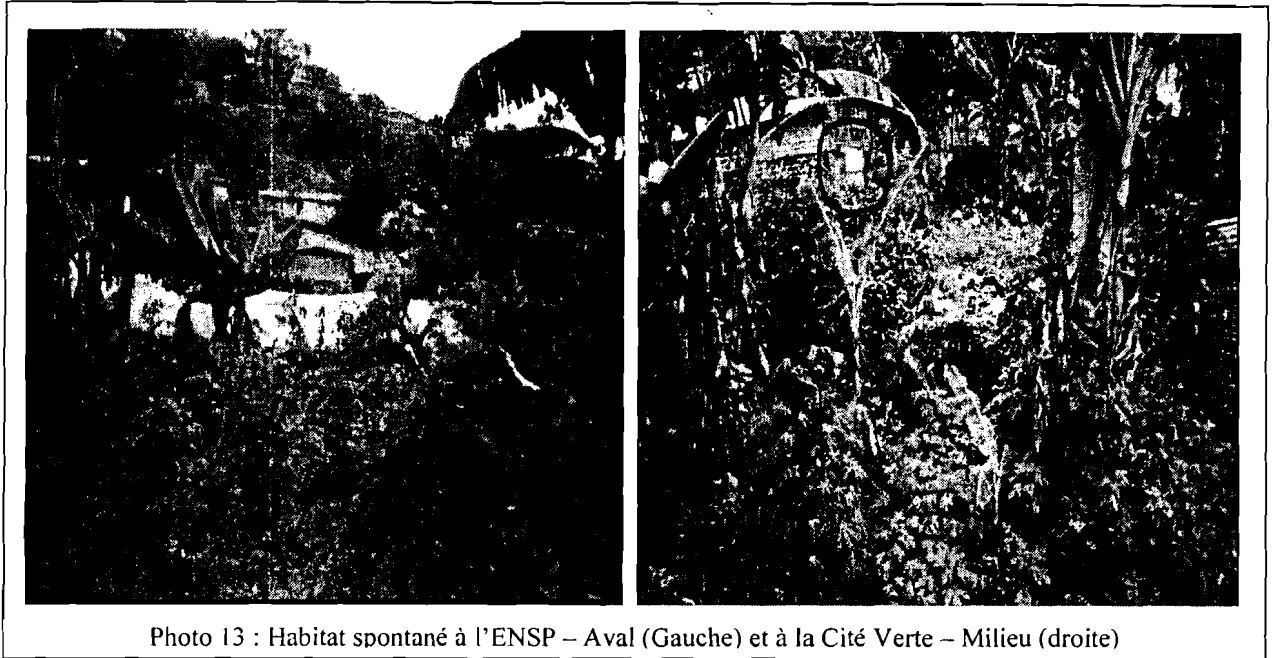


Photo 13 : Habitat spontané à l'ENSP – Aval (Gauche) et à la Cité Verte – Milieu (droite)

Ainsi, nous retenons que les zones humides de Yaoundé sont fortement soumises à une pression anthropique qui y rejette d'importantes quantités d'eaux usées non suffisamment traitées. La prolifération des latrines et fosses septiques défailantes fait craindre le dépassement des capacités d'infiltration des sols et les risques de contamination des eaux superficielles et souterraines qui alimentent généralement les puits situés à proximité des points de stockage.

Les effets de ces rejets sur la qualité des eaux de surface ont été appréhendés dans 22 de zones humides à partir de l'analyse, en laboratoire, des paramètres de contrôle suivants : pH, température, conductivité électriques, azote, phosphore, demandes chimiques et biochimiques en oxygène et les germes tests de la contamination fécale (coliformes et streptocoques fécaux).

III.4.2. IMPACTS SUR LES COMPOSANTES PHYSICO-CHIMIQUES ET MICROBIOLOGIQUES DES EAUX SUPERFICIELLES

III.4.2.1. Influence sur la température et le potentiel d'hydrogène

La température joue un rôle important dans les processus physico-chimiques et biologiques du milieu naturel. Elle est susceptible d'y influencer, directement ou indirectement, la solubilité des gaz, l'élimination des bactéries fécales, la productivité biologique du milieu et les cinétiques des réactions chimiques et biochimiques. Le pH, qui caractérise l'acidité ou la basicité d'un milieu donné, est susceptible d'influencer la dynamique des microorganismes, les réactions de dégradation de la matière organique et l'élimination des germes pathogènes [Gaujous, 1995].

Sur l'ensemble des zones humides étudiées, la température des eaux de surface varie en moyenne

de 24 à 27°C sans qu'une différence significative ne soit relevée entre l'amont et l'aval, même aux passages des points de rejet d'eaux usées brutes ou d'effluents issus des stations d'épuration abandonnées : les fluctuations se situent entre 0,1 et 1°C.

Les pH moyens des eaux de surface varient de 6 à 8,5. Les valeurs nettement supérieures à 7 sont relevées d'une part, à proximité des exutoires des stations d'épuration non fonctionnelles (Cité verte, Mendong-Ecole, Mendong-Lycée) et d'autre part, aux sorties des lacs et étangs (Nkol Bisson, Lac Municipal, Lac d'Efoulan, Mélen, Obili, Hôpital Général). En aval de l'exutoire de la station d'épuration du Centre Hospitalier Universitaire (CHU), nous avons relevé des pH de 5,5 dus probablement aux produits acides utilisés pour le traitement des malades.

De ce qui précède, nous retenons que :

- l'influence des rejets d'eaux usées sur la température des eaux de surface n'est pas décelable. Les valeurs moyennes relevées fluctuent peu de l'amont à l'aval des zones humides étudiées. Dans l'ensemble, ces valeurs restent dans la gamme des températures favorables à toute vie aquatique et sont conformes aux normes camerounaises qui impose que tout rejet liquide dans le milieu aquatique soit à une température inférieure à 30°C ;
- les rejets d'eaux usées influencent nettement le pH des eaux superficielles : les effluents ménagers tendent à relever le pH contrairement aux effluents hospitaliers. Malgré l'importance et la complexité de ces rejets, nous constatons que les potentiels d'hydrogène des eaux de surface de Yaoundé sont, dans leur ensemble, compatibles pour la vie aquatique eu égard à la norme camerounaise et acceptables en irrigation au sens de la norme formulée par la FAO (de 6,5 à 8,5).

III.4.2.2. Influence sur la conductivité électrique et les matières en suspension

La conductivité électrique (C_e) d'une eau caractérise le degré de minéralisation de celle-ci et son aptitude à laisser passer un courant électrique du fait de la présence d'anions (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , etc.) et de cations (Ca_2^+ , Mg_2^+ , Na^+ , K^+ , etc.). La relation entre la conductivité d'une eau donnée et son taux de minéralisation, s'exprime, selon Gaujous (1995) de la manière suivante :

- $C_e < 100 \mu\text{S/cm}$ → eau à minéralisation très faible ;
- $100 < C_e < 200 \mu\text{S/cm}$ → eau à minéralisation faible ;
- $200 < C_e < 333 \mu\text{S/cm}$ → eau à minéralisation moyenne ;
- $333 < C_e < 666 \mu\text{S/cm}$ → eau à minéralisation moyenne accentuée ;
- $666 < C_e < 1000 \mu\text{S/cm}$ → eau à minéralisation importante ;

- $C_e > 1000 \mu\text{S/cm}$ → eau à minéralisation élevée ;

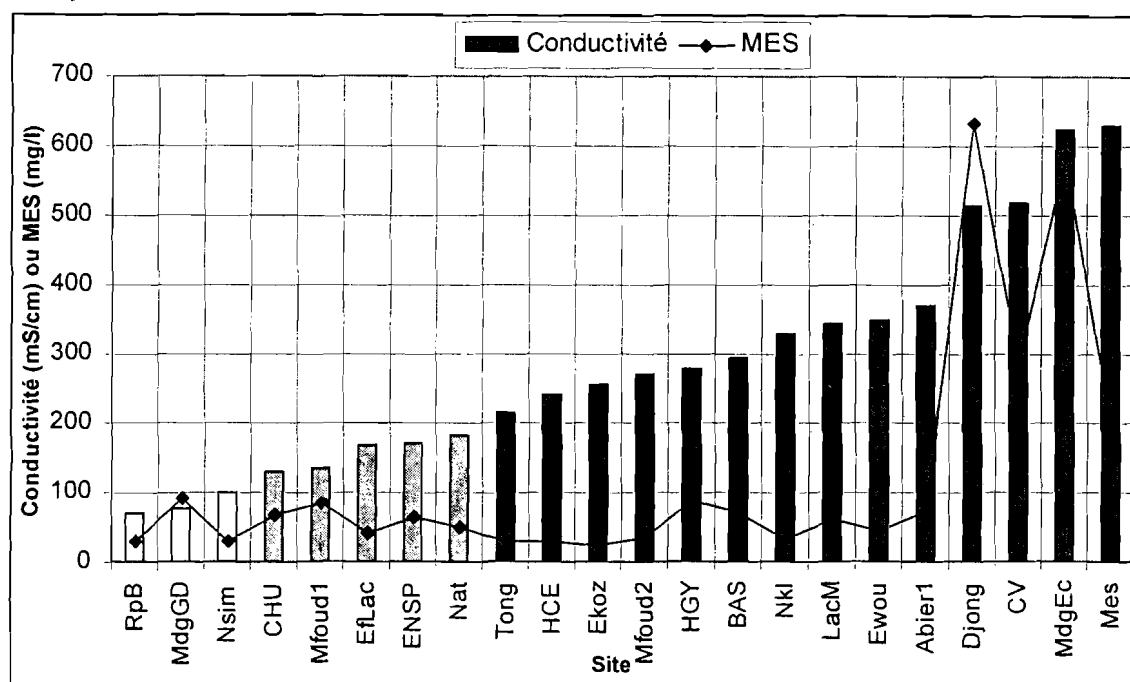


Figure III.4.1 : Variation de la conductivité moyenne des eaux de surfaces en fonction des sites

En rapportant ces relations aux informations de la figure III.4.1, il ressort la classification des zones humides suivante :

- les eaux à *minéralisation très faible* caractérisent Rond point Bastos (Mfoundi amont), de Nsimeyong – Monté Jouvence et de Mendong – Gendarmerie ;
- les eaux à *minéralisation faible* irriguent CHU, Mfoundi 1 (Long Kak), ENSP, Efulan – Lac et Nation ;
- les eaux à *minéralisation moyenne* se retrouvent à Tongolo, Hôpital de la Caisse, Ekozoa, Mfoundi 2 (Poste), Hôpital Général de Yaoundé, Biyem Assi – SIC et Nkol Bisson ;
- les eaux à *minéralisation moyenne accentuée ou importante* irriguent Messa, Ewoué, Lac municipal, Abiergue 1 (Marché du charbon), Djongolo (aval), Cité verte, Mendong – Ecole.

La figure III.4.1 montre clairement l'effet des rejets d'eaux usées brutes ou non suffisamment traitées sur le degré de minéralisation des eaux de surface étudiées. En effet, c'est dans les cours d'eau recevant directement les effluents des stations d'épuration en panne, des égouts fissurés ou des systèmes autonomes inefficaces que le taux de minéralisation est supérieur au niveau moyen.

III.4.2.3. Influence sur les teneurs en phosphore, azote, en demande chimique et biochimique en oxygène

Selon Gaujous (1995), les phosphates sont des anions facilement fixés par le sol et leur présence, à des teneurs de l'ordre de 0,5 mg/l, peut déjà être considérée comme un indice de pollution. Nos

analyses ont essentiellement porté sur l'orthophosphate (PO_4^{3-}) présent dans les eaux superficielles à des pH compris entre 5 et 8. Il représente la forme la plus stable des composés phosphatés (acides métaphosphates (HPO_3) et pyrophosphates ($\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$), etc.) [Gaujous, 1995].

Du même auteur, l'azote constitue un problème de santé publique lorsqu'il se trouve dans l'environnement sous sa forme ammoniacale (NH_4^+). Pour des teneurs inférieures à 0,01 mg/l, l'eau peut être considérée comme pure ou sous une autoépuration active [Gaujous, 1995].

La demande biologique en oxygène (DBO_5), tout comme le carbone organique total, est évalué pour traduire l'importance des charges organiques polluantes dans les eaux. La demande chimique en oxygène (DCO), qui correspond à la teneur de l'ensemble des matières organiques biodégradables ou non, s'exprime par la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation des substances organiques présentes dans les eaux résiduaires. La législation camerounaise interdit tout rejet liquide avec plus de 30 mg/l de DBO_5 et de 120 mg/l de DCO en 24 heures.

Les variations des concentrations moyennes de ces paramètres dans les différentes zones humides étudiées sont consignées dans la figure III.4.2.

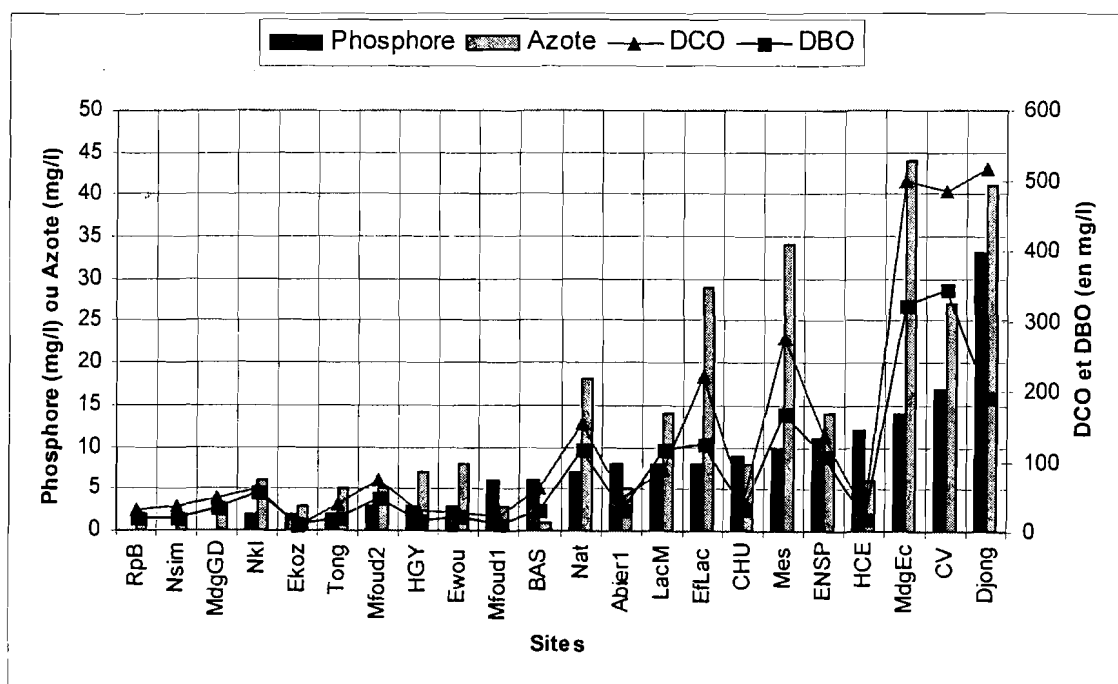


Figure III.4.2 : Variation des charges en phosphore, azote, DCO et DBO_5 des eaux de surfaces

La figure III.4.2 montre l'influence des rejets d'eaux usées brutes ou non suffisamment traitées sur la qualité des eaux de surface dans les zones humides de Yaoundé. Les rejets bruts de Mendong - Ecole, Cité verte et Messa participent à l'augmentation des teneurs en phosphore, en azote, en demande chimique et biochimique en oxygène dans les eaux de surface. Il en est de même pour les excréta rejetés directement dans les eaux de surface en aval de Djongolo et en amont du lac municipal, lac Efulan, Nation, ENSP et du CHU. Cette figure montre également

que les variations de la DBO₅ et de la DCO sont similaires à celles du phosphore et de l'azote.

En référence à l'indice de pollution et à l'espérance à une autoépuration active d'une eau de surface, tel que définis par Gaujous (1995), nous avons établi la figure III.4.3.

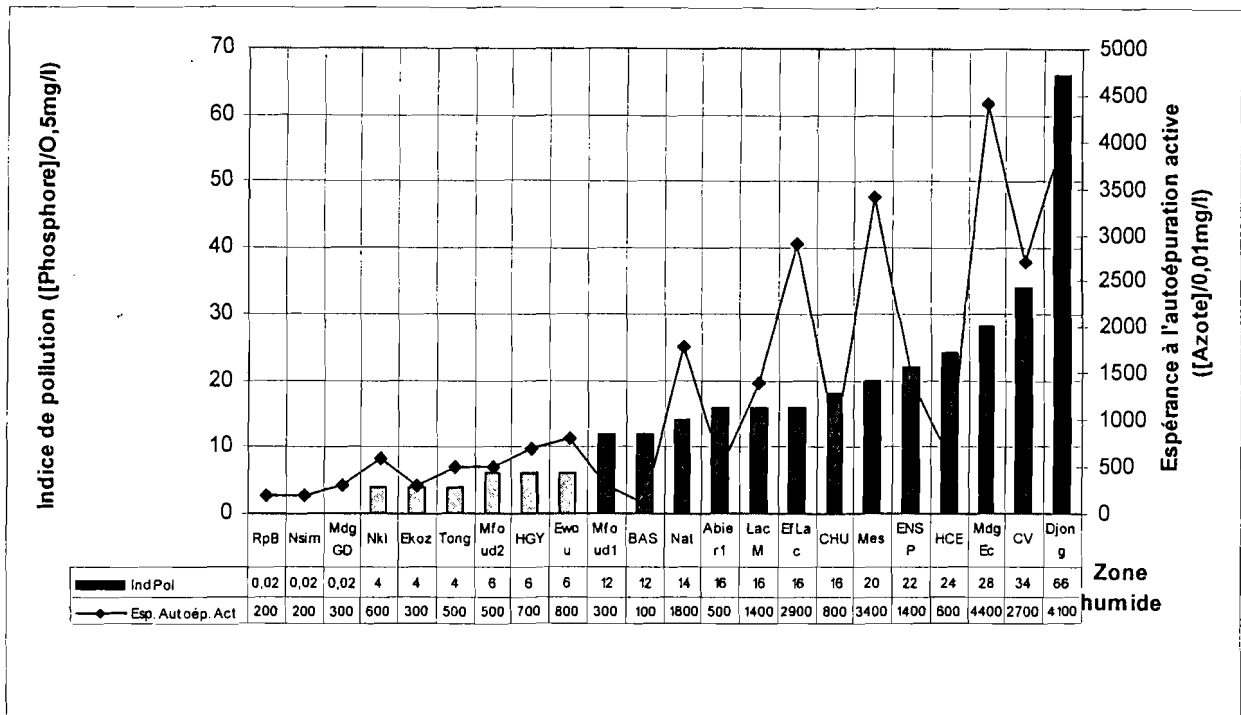


Figure III.4.3 : Indice de pollution et espérance à l'autoépuration active des eaux de surface des zones humides

Il se dégage de cette figure un regroupement des sites en 4 classes :

1. Les sites à indice de pollution moyen : la charge en phosphore est inférieure au seuil requis (moins de 0,1mg/l) et les chances d'une autoépuration active ne sont réduites que de 200 à 300 fois. En outre, les teneurs en DBO₅ et en DCO sont inférieures à la norme sur la qualité des eaux de surface au Cameroun. Les zones humides telles que Rond point Bastos (RpB), Nsimeyong (Nsim) et Mendong Gendarmerie (MdgGD) en font partie.
2. Les sites à indice de pollution accentué : ils sont caractérisés par des indices de pollution 4 à 6 fois plus élevés que le seuil indiqué et par des chances d'autoépuration active compromises de 300 à 800 fois. Cette catégorie regroupe Nkol Bison (Nkl), Ekozoa (Ekoz), Tongolo (Tong), Mfoundi 2 (Mfoud2), Hôpital Général de Yaoundé (HGY) et Ewoué (Ewou). Tous ces sites respectent la teneur en DBO₅ des eaux de surface au sens de la norme Camerounaise. Il en est de même pour les teneurs en DCO, exception faite de Nkol Bison et Mfoundi 2 avec des charges proches du double de la norme considérée.
3. Les sites à indice de pollution très accentué : les charges en phosphore sont de 10 à 20 fois plus élevées que le seuil fixé par Gaujous (1995) et les chances d'autoépuration active sont compromises de 300 à 3000 fois. Dans ce groupe, se retrouvent Mfoundi 1,

Biyem Assi, Nation, Abiergue 1, Lac municipal, Efoulan Lac et CHU. Les eaux de surface de ces sites respectent la norme camerounaise en matière de charge en DBO₅, exception faite de Nation et de Lac Efoulan qui en sont au double. Ces derniers, de même que le Lac Municipal, ont des charges en DCO 4 fois plus élevées que cette norme.

4. Les sites à indice de pollution exceptionnel : ils présentent des concentrations en phosphore de 20 à 70 fois plus élevées que l'indice préconisé selon Gaujous (1995) et leurs chances d'autoépuration active est de 600 à 4100 fois compromises. Dans cette catégorie se retrouvent les zones humides suivantes : Djongolo (Djon), Cité verte (CV), Mendong – Ecole (Mdg EC), Hôpital de la Caisse (HCE), Messa (MES), ENSP.

La teneur de l'oxygène dissous n'a pas été évaluée au cours de ce travail. Cependant, une récente étude du laboratoire *Water Research Unit* de l'Université de Yaoundé 1 présentait des teneurs de 1,1 et 5mg/l d'oxygène dissous dans les eaux de surface de cinq des sites étudiés : Abiergué (1,9 mg/l), Ntem – (2,0 mg/l), Djongolo – Aval, (1,2 mg/l) et d'autre part. Mingoa (5,0 mg/l) [WRU, 2001]. Ce qui montre que les eaux considérées sont dans un état d'asphyxie élevé.

De ce qui précède, il ressort que les rejets d'eaux usées brutes ou non suffisamment traitées ont des influences notables sur les teneurs en azote, en phosphore et sur les charges organiques des eaux des zones humides étudiées. Les indices de pollution très accentués et au-delà sont obtenus dans les zones humides recevant les rejets des stations d'épuration en panne, des pratiques de défécation directe et des latrines traditionnelles. De même, les chances d'une auto-épuration active sont nettement plus compromises dans ces zones.

III.4.2.4. Influence sur les paramètres microbiologiques

L'analyse des germes pathogènes, indicateurs de la contamination fécale dans les eaux superficielles, permet d'évaluer l'importance de leur contamination par les eaux usées. Pour les eaux de baignade ou celles destinées à l'irrigation des parcelles agricoles, la norme camerounaise exige que ces eaux ne contiennent pas plus de 2000 UFC/100ml de coliformes fécaux et les directives de l'OMS recommandent de ne pas dépasser 1000 UFC/100ml.

La figure III.4.4 montre que les ressources en eaux superficielles des zones humides de Yaoundé sont fortement polluées par les rejets d'eaux usées brutes ou peu traitées. En effet, les charges moyennes en coliformes fécaux et streptocoques fécaux sont supérieures ou égales à la norme camerounaise et au seuil recommandé par l'OMS pour les eaux de baignade.

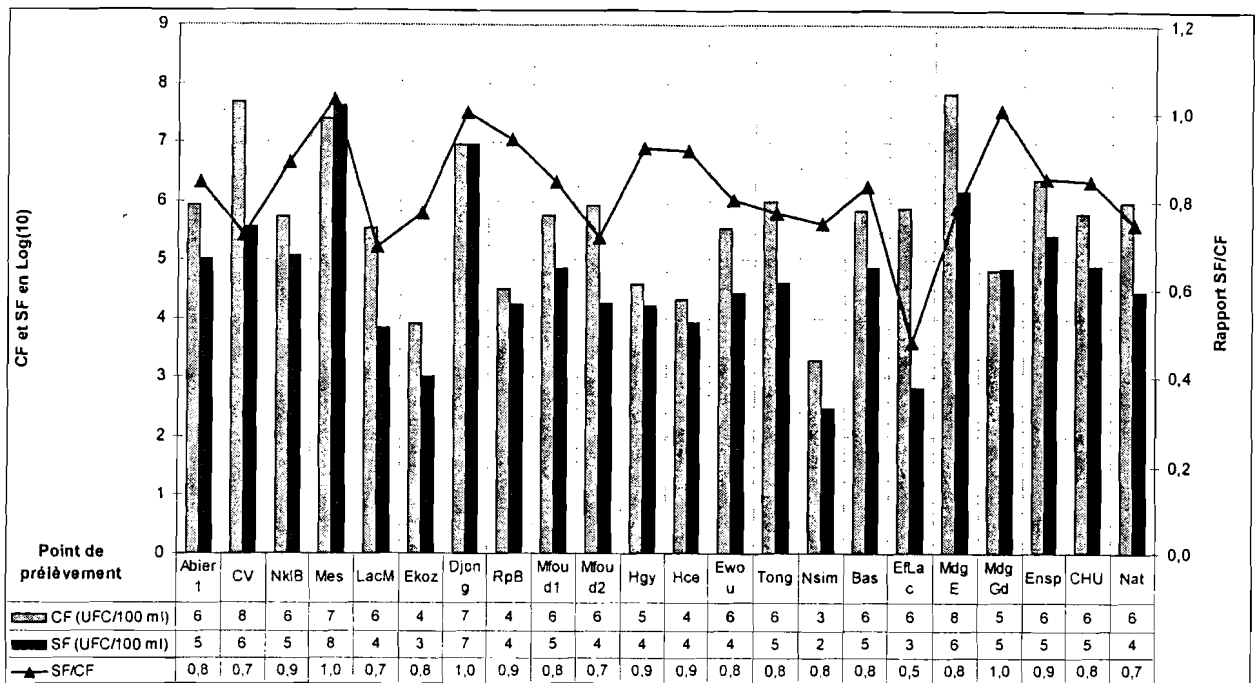


Figure III.4.4 : Influence de eaux usées sur la qualité microbienne des eaux de surface

De cette figure, il découle que sur les 22 sites étudiés, 17 ont, en certains points, des eaux dont la charge en coliformes et streptocoques fécaux est assimilable à celle des eaux usées domestiques (entre 6 et 8 unités logarithmique). Seules les eaux de Nsimyong semblent respecter les recommandations de l'OMS pour la baignade.

Il est reconnu que le tube digestif de l'homme contient plus de coliformes fécaux que les streptocoques fécaux, contrairement aux animaux à sang chaud. Ainsi, les teneurs en coliformes fécaux rapportées à celle des streptocoques fécaux peuvent traduire l'origine de la pollution due aux eaux usées ([Geldreich, 1976 ; Doran et al., 1990 ; Freedmann et al., 1990 ; cités par LESEAU, 2003 ; Mampouya, 2002]). Bien que l'unanimité ne semble pas acquise sur cette approche, parce que les teneurs peuvent changer selon le degré de mortalité de chaque micro-organisme dans les cours d'eau, l'absence d'autres indicateurs plus pertinents recommande son usage ([Freedmann et al., 1990 ; cités par LESEAU (2003).

Sur l'ensemble de l'échantillon, le rapport entre les streptocoques fécaux et les coliformes fécaux est compris entre 0,5 à 1 : ce qui suggère effectivement que l'origine de la pollution des eaux de surface de Yaoundé est majoritairement due aux eaux usées domestiques et donc humaine.

L'analyse des métaux lourds n'a pas été abordée dans cette étude. Cependant, les travaux menés par LESEAU, en 2002 (tableau III.4.2), montraient que les effluents que certaines industries déversent dans quelques zones humides étudiées, contiennent des traces de métaux lourds [LESEAU, 2002].

Tableau III.4.2 : Concentration de certains métaux lourds dans les effluents industriels et hospitaliers de Yaoundé [LESEAU, 2002]

Désignation activité	[Cd] µg/l	[Pb] µg/l	[Zn] µg/l	[Cu] µg/l
Société SITRACEL	5	250	300	1200
Hôpital général	21	14	28	17
Centre hospitalier universitaire	15	15	38	16

Ainsi, la teneur en cadmium est de 3 à 4 fois plus élevée dans les effluents des centres hospitaliers que dans ceux issus de l'industrie métallurgique (SITRACEL). Cette teneur demeure néanmoins inférieure au seuil requis (de 0,2mg/l) par la Directive européenne du 15 mai 1991, pour les rejets dans le milieu aquatique. D'autre part, la teneur en plomb est de 17 fois plus élevée dans les effluents de la société métallurgique que dans ceux des centres hospitaliers. Les valeurs relevées montrent que les effluents de cette société comportent plus de risques de toxicité aigus pour l'écosystème aquatique si l'on se réfère à la même Directive européenne qui fixe la limite à ne pas dépasser à 0,1mg/l. Enfin, les charges en zinc, 8 à 11 fois plus élevées dans les effluents industriels que dans ceux des centres sanitaires, ne respectent pas les valeurs limites (de 2mg/l) fixées dans la Directive européenne. De même, la teneur en cuivre, qui est 75 fois plus importante dans les effluents industriels comparés aux rejets liquides hospitaliers, dépassent de 3 fois les valeurs limites de la Directive européenne du 21 mai 1991.

III.4.3. DISCUSSION SUR LES CONSEQUENCES DE LA POLLUTION PAR LES EAUX USEES SUR LES ZONES HUMIDES ET LA SANTE HUMAINE

Les résultats précédents établissent que les eaux superficielles des zones humides de Yaoundé sont fortement polluées par les rejets liquides provenant de diverses sources. Ces rejets en modifient profondément les caractéristiques physicochimiques (hausse de la conductivité et des charges organiques) et bactériologiques (surcharge en germes indicateurs de pollution fécale). Les dépôts sauvages d'ordures ménagères, la prolifération des activités socioéconomiques informelles et des occupations anarchiques des emprises, etc., aggravent davantage la situation et cause des dommages sur les écosystèmes aquatiques et sur le cadre de vie des citoyens.

III.4.3.1. Conséquences sur les zones humides

Les conséquences sur l'écosystème aquatique sont visibles en terme de dégradation du milieu biologique. Selon Gaujous (1995), la mesure de cette dégradation n'est pas évidente. En effet, celle-ci peut se traduire uniquement par l'accentuation d'un phénomène naturel, comme par exemple le « vieillissement lent et progressif des plans d'eau ». Cependant, Gaujous (1995) préconise que la conséquence écologique soit considérée à travers la réduction des potentialités d'exploitation ou de jouissance du milieu considéré à court, à moyen et à long terme. Pour les zones humides (les lacs et les étangs en l'occurrence), nous sommes d'avis qu'un des

phénomènes susceptibles d'engendrer une telle réduction, semble le comblement rapide des plans d'eau et la disparition des espèces aquatiques. Ce phénomène est connu sous le nom d'eutrophisation caractérisant un « vieillissement rapide » des plans d'eau [Milway, 1970].

L'eutrophisation est l'un des impacts les plus visibles de la pollution des zones humides par les eaux usées à Yaoundé. Plusieurs études ont montré que ce phénomène est généré par la surcharge continue du milieu aquatique en matières organiques et en composés de l'azote et du phosphore, en quantités supérieures aux capacités d'autoépuration de ce milieu. De l'avis de Milway (1970), Dejoux (1988) et Gaujous (1995), ce phénomène contribue à l'anoxie des plans d'eau, à leur envasement rapide, à la prolifération des matières végétales et à la disparition progressive du milieu aquatique [Milway, 1970 ; Dejoux, 1988 ; Gaujous, 1995]. Ces mêmes études évoquent que, dans de telles conditions, il s'en suit la décomposition incomplète de la matière organique, la consommation abusive d'oxygène dissous du fait de l'intensification de l'activité biologique, le dégagement d'odeurs nauséabondes, etc.

A Yaoundé, la plupart des plans d'eau artificiels ont été construits à la fin des années '40 (Lac d'Obili à l'Est de l'Université de Yaoundé 1 et Source au Sud de cette institution). D'autres ont été réalisés à la fin des années '50 (Lacs de Mélen, Etang de la Retenue, Etang Atemengue à l'Est de l'Université et Lac municipal au Nord de cette structure). Il s'agit dans l'ensemble des bassins de déblais réalisés dans les lits des cours d'eau (Mingoa et Olézoa) dans le but de permettre les activités de pisciculture et de sport nautique. Ces étangs ne bénéficient plus d'entretien depuis la fin des années '70 et '80. Du fait de la pollution élevée des eaux qui les alimentent, ces plans d'eau subissent dès lors une eutrophisation très avancée.

En analysant les photographies aériennes de Yaoundé (de 1974, 1983 et 1993), Fotso (1988) et Fonkou (1996) se rendaient déjà compte de l'importance de l'eutrophisation de l'étang de la Retenue, le lac Atemengué, le lac de Mélen – CHU et le lac d'Obili - Nations. Ces plans d'eau sont progressivement envahis par divers macrophytes vivant ou se développant dans des milieux aquatiques eutrophes : *Pistia stratiotes*, *Ipomoea aquatica*, *Enydra fluctuans*, *Hydrocaris chevaleri*. Les mêmes auteurs observaient en outre que la colonisation des plans d'eau par ces plantes augmentait l'épaisseur du substrat flottant, favorisant ainsi le développement d'autres macrophytes, aquatiques et semi-aquatiques, telles que *Cyperus papyrus*, *Thalia welwitschii*, *Echinochloa pyramidalis*, *Commelina nudiflora*, *Leersia hexandra*, entre autres. Ils annonçaient des vitesses de colonisation rapide de 1,1% (entre 1948, 1957 et 1974) à 2,1% par an (entre 1974 et 1986). Pour le cas spécifique de la zone humide située en aval de la station d'épuration de Biyem Assi, LESEAU (2003) évaluait à 90% le taux de couverture du plan d'eau par *Cyperus papyrus* et *Echinochloa pyramidalis*, encore marginale entre 1980 – 1990. Il constatait

également que ces espèces avaient remplacé les plantes flottantes qui s'y trouvaient. Le développement de ces espèces traduit l'envasement du plan d'eau qui doit aujourd'hui faire face aux activités agricoles et des remblaiements à des fins de construction des habitations.

Ainsi, 30 années après leur réalisation, aux profondeurs (en m) et aux superficies (en ha) ci-après, l'Etang de la Retenue (3,5m et 2,1ha en 1957), le lac Atemengué (3,5m et 3ha en 1957), le lac de Mélen - CHU (2,5m et 1,4ha en 1957) et le lac d'Obili - Nation (3m et 2,6ha en 1948) ont perdu l'étendue de la surface d'eau avec des phases d'accélération d'environ 15% par an de 1986 à 1994 après la réalisation des stations d'épuration. En 1996, le taux de comblement de ces retenues d'eau était estimé à près de 50% de la profondeur initiale avec des réductions maximales enregistrées dans les zones marginales des étangs. Ces plans d'eau ne doivent leur survie que grâce à des campagnes sporadiques de vidange et de curage [Fotso, 1988 ; Fonkou, 1996].

Prenant en compte les valeurs relevées par Fotso (1988) et Fonkou (1996), la figure III.4.5 projette le taux de comblement de 4 plans d'eau présents dans notre échantillon avec les données que nous avons collecté entre janvier 2001 et février 2002. Pendant cette période, nous avons relevé des épaisseurs de sédiments équivalant à plus de 60% voire 85% de la profondeur initiale dans les plans d'eau des bassins versants des cours d'eau Olézoa, Mingoa et Biyeme. Ainsi, du fait du comblement, le lac d'Obili perd environ 83% de sa profondeur d'eau initiale et le lac de Mélen 66% (figure III.4.5).

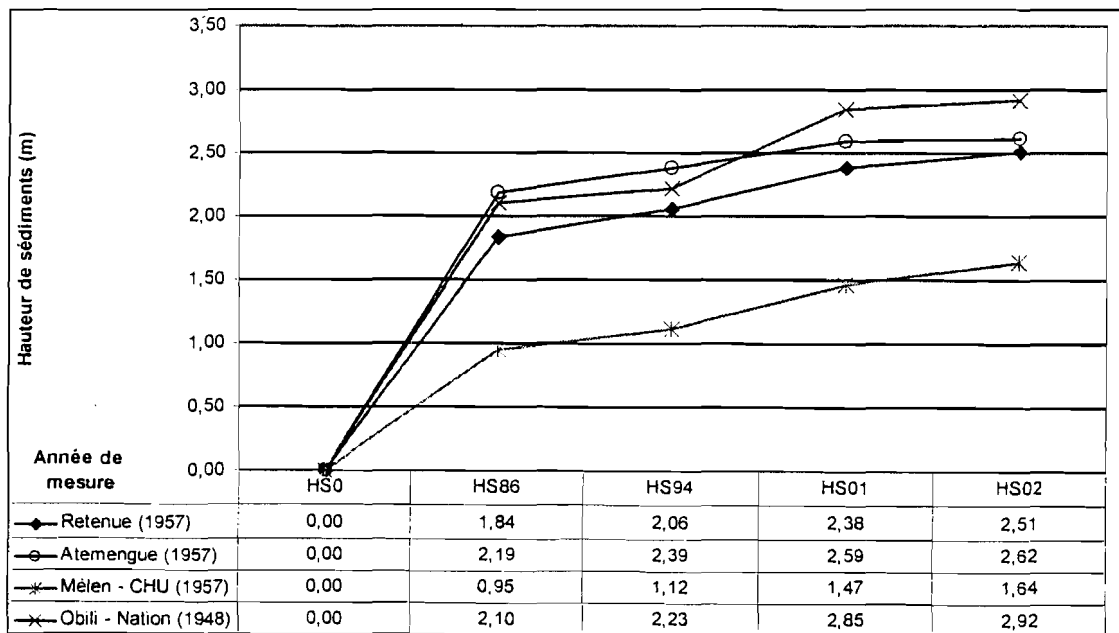


Figure III.4.5 : Variation du taux de comblement de quelques plans d'eau de 1957 à 2002.

L'avancée des plantes semi aquatiques vers le centre des plans d'eau est la conséquence du comblement progressif de ces derniers, à partir du bord, et la formation de substrats flottants, parfois de plus 50 cm d'épaisseur. Ces substrats sont constitués de tiges entremêlées des plantes

mortes en décomposition. L'accélération de la colonisation est due à la construction des stations d'épuration non fonctionnelles actuellement, à l'arrêt des opérations d'entretien des plans d'eau et à la densification des bassins versants considérés par la prolifération des quartiers à habitat spontané dépourvus de systèmes d'assainissement des eaux usées et excréta efficients et le développement des activités économiques polluantes. Cette situation se manifesterait par une évolution rapide des écosystèmes lacustres qui passeraient ainsi d'un état oligotrophe à un état eutrophe suivant l'illustration de la figure III.4.6 extraite de Gaujous (1995).

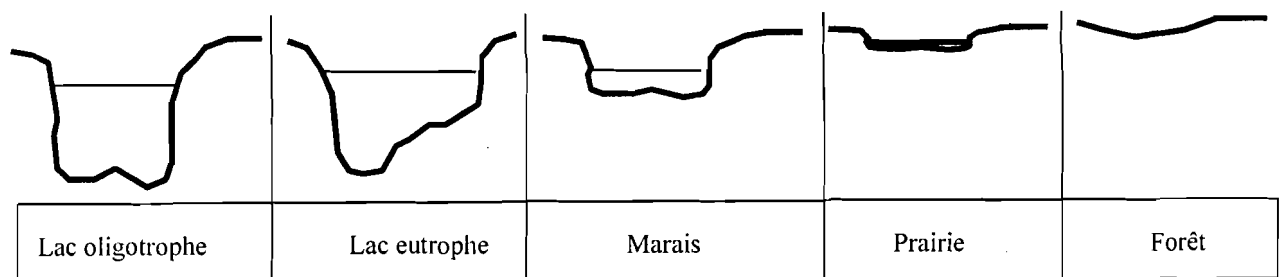


Figure III.4.6 : Tendances d'évolution possible des plans d'eau de Yaoundé (Gaujous, 1995)

La présence de sédiments, noirâtres, associés au sable montre d'une part, que les vases sont constituées de matières organiques en décomposition anaérobie et d'autre part, que l'érosion hydrique des sols des sous bassins versants considérés contribue également au comblement des plans d'eau de Yaoundé. Ce phénomène est accentué par la présence dans ces sous bassins, des tas sauvages de déchets solides urbains dont le ramassage n'est pas régulier.

Aujourd'hui, la disparition des poissons est constatée dans les plans d'eau artificiels de Yaoundé. Dès leur création, les rendements piscicoles, qui avoisinaient les 6 à 10 tonnes de poissons par étang et par an, procuraient des revenus substantiels pour les pêcheurs [Fonkou, 1996]. La pisciculture tend à disparaître et même si cette activité continuait, la question de la pollution de la ressource reste préoccupante autant que celle relative à la qualité des poissons qui s'y développent actuellement. Certains métaux lourds (cuivre, zinc, plomb, cadmium) présents dans les eaux de surface à l'état de trace [LESEAU, 2002], pourraient se retrouver, en des concentrations plus élevées, dans les sédiments et s'accumuler dans les poissons. Ainsi, les lacs recevant les effluents du Centre Hospitalier Universitaire constituent alors un danger pour la santé des consommateurs des poissons qui y sont pêchés. En effet, Dejoux (1988) énonçait que la présence de cuivre dans les sédiments pouvait entraîner la désoxygénation des couches de sédiments et partant, la baisse de la production des espèces aquatiques. Il ajoutait que la croissance des plantes était perturbée pour une teneur de 0,02 mg/l et arrêtée pour des teneurs de 0,2 mg/l. De plus, l'accumulation du cuivre dans la chaîne trophique était la cause des troubles du comportement des poissons ainsi que des troubles du foie et des reins chez l'homme [Dejoux, 1988].

Aussi, à partir des résultats du tableau III.4.2, il y a lieu d'affirmer d'une part, que les risques de perturbation de la croissance des plantes aquatiques dans les sous bassins versant dont font partie l'Hôpital Général de Yaoundé et le Centre Hospitalier Universitaire sont réels et d'autre part, que les risques d'arrêt de la croissance des plantes dans le sous bassin versant où se déversent les effluents de la société SITRACEL sont 6 fois plus élevés.

Dejoux (1988) annonçait également que le plomb est un poison cumulatif responsable du saturnisme, de troubles rénaux et cardio-vasculaires, de cancer, etc. Le cadmium est susceptible d'entraîner chez l'homme, des atteintes rénales, des troubles digestifs et de l'hypertension artérielle. Ses effets toxiques sur les organismes supérieurs et les algues se manifestent à partir de 0,1 mg/l. Ces conséquences seraient réelles dans le sous bassin versant de la SITRACEL.

III.4.3.2. Inesthétisme, pollution visuelle et olfactive

Les conséquences esthétiques se classent, en général, dans la catégorie des perturbations de l'image du paysage du milieu beaucoup plus perceptibles par les riverains et les utilisateurs de ces milieux. Le spectacle que laissent entrevoir les plans d'eau eutrophisés de Yaoundé est désolant pour quiconque les découvre pour la première fois. La présence d'espèces rudérales est le reflet de la pollution par les eaux usées et de l'abandon de l'entretien des plans d'eau. Jadis, lieux de sport nautique, de loisir et de pêche, le lac municipal, les lacs de Mélen, d'Obili et d'Efoulan, parce que fortement enherbés, sont aujourd'hui des zones de concentration des reptiles et de convergence des dépôts d'ordures ménagères. Ces déchets (matières organiques, vidanges, pneus, etc.) bouchent les ouvrages de drainage des eaux pluviales à Messa, Hôpital Général, Hôpital de la Caisse, Cité Verte, Djongolo (carrefour de l'Intendance), empêchant ainsi l'écoulement normal des eaux superficielles. L'augmentation de la charge organique qui en découle entraîne le dégagement d'odeurs nauséabondes, régulièrement citées par les ménages riverains comme principales nuisances. Les opérateurs agricoles y sont également confrontés.

La production et la diffusion des polluants issus des eaux résiduaires constituent un phénomène réel à Yaoundé. Ce phénomène affecte considérablement l'équilibre du milieu aquatique par la modification des caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux de surface. Malheureusement, c'est dans les emprises de ces zones humides, fortement polluées, que se développent les pratiques agricoles utilisant la ressource en eau contaminée pour l'irrigation. Ce domaine, et principalement le maraîchage de contre saison, représenteraient pourtant un potentiel important de valorisation des sous-produits de l'épuration des eaux usées à Yaoundé.

III.5. PRATIQUES AGRICOLES COMME POTENTIEL DE REUTILISATION DES EFFLUENTS TRAITES

L'agriculture intra-urbaine se développe davantage à Yaoundé à la faveur de l'augmentation continue de la demande en produits maraîchers. Les jeunes, issus de l'exode rural, sans niveau scolaire compétitif ni qualification professionnelle autre qu'en agriculture, trouvent en ce secteur d'activité le seul moyen de subsister. De même, le chômage et la pauvreté urbaine qui ne cessent de s'accroître, contribuent également à dynamiser ce secteur.

L'objectif de ce paragraphe est de cerner cette activité et d'en analyser les atouts et les contraintes des stratégies de valorisation des sous produits de l'épuration par voie naturelle. Ce paragraphe comporte deux parties, d'une part, la description du profil des promoteurs et des pratiques agricoles et d'autre part, l'analyse des contraintes rencontrées et les risques encourus.

III.5.1. PROFIL DES PROMOTEURS ET DES PRATIQUES AGRICOLES DE YAOUNDE

Les maraîchers de Yaoundé sont de tous genres et les femmes constituent 60% de l'échantillon. Ils sont relativement jeunes, l'âge moyen de 37 ans s'étend de 18 à 56 ans. Marié à 80% des cas, chaque promoteur de cette catégorie a en charge un ménage de 5 à 6 personnes en moyenne.

Cette activité absorbe, en général, une main d'œuvre dont le niveau scolaire est assez varié : 22% des opérateurs n'ont jamais fréquenté un établissement scolaire tandis que 31% n'ont pas achevé le niveau du primaire, contre 45% pour le secondaire et 1% pour l'université. Cette pratique représente, pour 64% de ces opérateurs, l'activité principale ; les autres promoteurs proviennent majoritairement du secteur informel mais également de la fonction publique.

Le maraîchage concentre 93% des promoteurs contre 3% pour l'horticulture, 1% pour l'élevage et la pisciculture. Les raisons de choix de cette activité sont essentiellement d'ordre économique, perçues en terme « *de baisse des revenus des ménages, de grimpée des prix des denrées alimentaires, ..., d'équilibre de la ration alimentaire, ..., d'offre d'un emploi pour combattre l'oisiveté, d'arrondir les fins de mois et de minimiser les dépenses nutritionnelles* ».

III.5.1.1. Caractéristiques des parcelles agricoles

Les sites maraîchers de Yaoundé sont généralement localisés dans le domaine public de l'Etat (zones humides et flancs des collines). Parmi les 16 sites étudiés, 9 sont localisés en aval des rejets des stations d'épuration et reçoivent directement des eaux polluées. L'acquisition de ces sites suit une procédure qui n'implique pas nécessairement les pouvoirs publics (figure III.5.1).

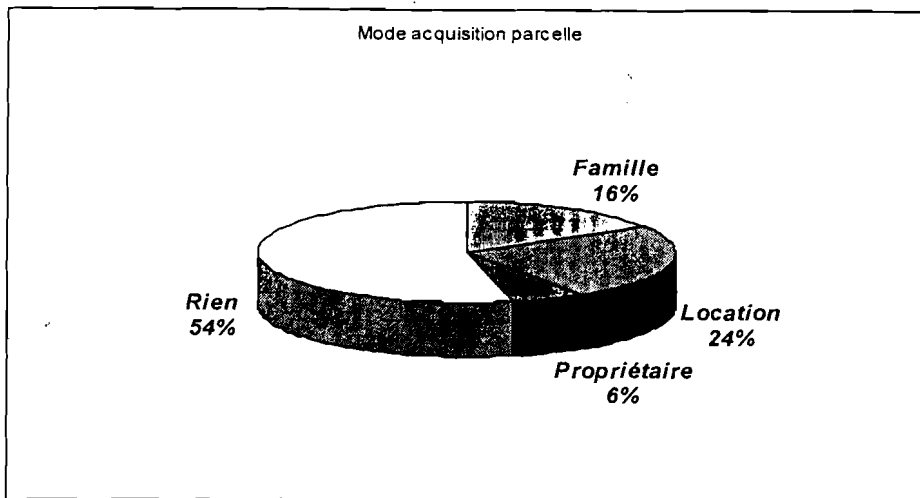


Figure III.5.1 : Mode d'acquisition des parcelles agricoles de Yaoundé

Ainsi, les formes d'acquisition des parcelles agricoles les plus courantes à Yaoundé sont :

- *les parcelles agricoles sans autorisation*, ni de l'Etat, ni de la municipalité, ni des responsables coutumiers : elles représentent 54% de l'ensemble des sites étudiés ;
- *les parcelles locatives* avec, comme forme de compensation, le paiement de 20 à 155 €/an ou le partage proportionnel des récoltes. Elles représentent 24% des sites étudiés ;
- *les parcelles des propriétaires* ou parcelles familiales qui représentent 22% des sites.

Dans l'ensemble, la superficie moyenne des parcelles cultivées est de 600 m². Les parcelles de petite taille (moins de 200 m²) se trouvent dans les quartiers denses (Messa, Briqueterie, Université, Olézoa, Djongolo) tandis que celles de grande taille (1000 m² et plus) se localisent dans les quartiers périphériques et peu denses (Mimboman, Ekounou, Nsimeyong, Mendong).

L'effectif moyen du personnel agricole est de 2 personnes par parcelle. Cependant, 45% des sites sont exploités par une seule personne (parcelles de petite taille) contre 8% qui sont exploités par 4 personnes (parcelles de grande taille). Ce personnel est essentiellement familial et n'est pas rémunéré dans 90% des cas. L'indemnisation des 10% restants se fait, soit par un système de partage des récoltes, soit par rémunération de 22 et 31 €/campagne de désherbage ou de labour.

L'agriculture urbaine à Yaoundé est caractérisée par la diversité des espèces cultivées dont les plus importantes sont les aubergines, les carottes, la salade, le basilic, le chou, le persil, la tomate, les oignons, le piment, les céleris, le gombo et plusieurs autres légumes locaux tels que *Amaranthus hybridus*, *Solanum macrocarpum* et quelques arbres fruitiers (manguiers, papayers). Pour 70% des exploitants, il s'agit en général d'une agriculture d'auto-consommation. La vente des récoltes, par le tiers restant, s'effectue in situ ou dans les marchés environnants.

III.5.1.2. Mode d'irrigation et d'amendement des parcelles agricoles

L'eau d'irrigation provient des cours d'eau permanents (87% des exploitants) et des excavations peu profondes (13% des cas). La méthode d'irrigation au moyen de raies sommaires est la plus courante (40% des cas) suivie de l'aspersion à l'aide de vieux récipients (20% des cas) ou de la combinaison des deux types (15% des cas). Le quart des exploitants affirme « *ne rien faire de particulier pour amener l'eau dans les parcelles dont les sols sont suffisamment saturés* ».

La fréquence moyenne d'arrosage varie de 1 à 2 fois par jour selon les spéculations et la saison climatique. Le suivi de l'activité d'arrosage par aspersion pendant une semaine dans 5 parcelles agricoles de 4.500 m², permet d'évaluer à 7,8 m³/jour, la quantité totale d'eau d'arrosage, soit un ratio 1,7 l/m²/jour. Ce ratio, qui paraît faible, se justifie par la localisation des sites dans des zones humides pourvues en permanence d'eau, même parfois en saison sèche.

Pour 45% des cas, l'amendement des parcelles agricoles est effectué par des opérateurs qui utilisent des produits chimiques (NPK, Urée, pesticides, insecticides) et des engrais organiques (résidus des végétaux après récolte, macrophytes fauchés, ordures ménagères biodégradables, excréments d'animaux, terreaux, cendres comme pesticide et insecticide organique). Les engrais chimiques sont répandus suivant un ratio de 25 à 50 grammes/m² et le kilogramme de ces produits est acheté entre 0,75 et 1,5 €/kg. Les engrais organiques, notamment les bouses de vache et les fientes de poule, sont achetées entre 2,28 et 3,81 € le sac de 50kg.

Par contre, 55% des opérateurs agricoles jugent « *superflu l'usage de fertilisants chimiques dont certains sont prohibés* ». De leur avis, « *les eaux d'arrosage sont suffisamment riches en nutriments pour leurs plantes* ». Sur le plan physico-chimique, ces eaux ont des températures moyennes de 23 à 28°C et un pH moyen de 6,5 à 7,5. Elles sont de ce fait compatibles avec les normes formulées par la FAO pour l'irrigation. Faiblement ou moyennement minéralisées, avec une conductivité variant de 130 à 500 µS/cm, ces eaux sont particulièrement riches en nutriments avec des teneurs moyennes relativement importantes en azote (de 1,2 à 22,4 mg/l) et en phosphore (de 1,6 à 14,7 mg/l). Cependant la qualité microbiologique de ces eaux est à redouter. Les concentrations en germes pathogènes (entre 10⁺⁴ et 10⁺⁶ UFC de coliformes et streptocoques fécaux) sont bien au-delà de la norme maximale prescrite par l'OMS pour les eaux d'irrigation. En outre, selon les études de Kengné (2002), les risques de présence de parasites (œufs d'helminthe et kystes de protozoaires) sont importants. Ces études relevaient une telle présence dans 33% des échantillons d'eau d'arrosage de cinq parcelles agricoles localisées en aval des quartiers populaires de Yaoundé [Kengné, 2002].

III.5.1.3. Contraintes et perception populaire des risques encourus

L'évidence de la contamination des eaux d'arrosage laisse transparaître des risques accrus pour la santé des promoteurs agricoles, des revendeurs et des consommateurs des produits qui en découlent. La perception de ces risques par les consommateurs est toutefois mitigée. Parmi les 60% des ménages informés de l'usage des eaux polluées en irrigation, plus de la moitié déconseille l'achat de ces produits tandis que 27% les apprécient et 20% estiment « *qu'ils n'ont pas le choix en l'absence d'alternatives* ». Dans l'un ou l'autre cas, la perception des risques encourus porte essentiellement sur les maladies diarrhéiques redoutées par 80% des ménages. Pour limiter ces risques, ils préconisent entre autres, *l'abstinence à l'achat et l'achat sélectif* (24% des cas), *le lavage minutieux de ces produits avant la cuisson au moyen d'eau javellisée ou de permanganate de potassium* (67% des cas).

Au niveau des promoteurs agricoles, les principales contraintes rencontrées sont entre autres, *les coûts d'achat élevés des fertilisants, leur origine et leur qualité douteuse, les risques de toxicité, les odeurs nauséabondes et enfin, les risques de déguerpissement qui hantent les occupants illégaux des domaines publics de l'Etat*. En outre, les contacts des promoteurs avec des produits chimiques et des eaux polluées les exposent à des affections dont les plus dominantes, de l'avis de 80% des promoteurs, sont les suivantes :

- les maladies d'origine hydrique (paludisme, fièvre jaune, typhoïde, affections cutanées) relevées par 55% des promoteurs ;
- la fatigue révélée par 14% des promoteurs du fait de l'usage de matériels rudimentaires ;
- les affections pulmonaires (8% des cas) dont l'origine serait la poussière lors du labour, du désherbage mais également lors de l'épandage des fertilisants et des pesticides.

III.5.2. DISCUSSION DE L'ASPECT REUTILISATION DES EAUX USEES EN AGRICULTURE

Ce paragraphe met en exergue l'existence d'activités agricoles potentiellement utilisatrices des sous produits de l'épuration des eaux usées par voie naturelle.

Les avantages de l'agriculture intra-urbaine sont certains à Yaoundé. Cette activité très répandue dans les zones humides de Yaoundé, offre de l'emploi aux jeunes sous scolarisés et aux chômeurs. Elle est susceptible de produire des valeurs ajoutées et constitue un domaine potentiellement favorable pour la valorisation des sous-produits de l'épuration par voie naturelle à Yaoundé. Les promoteurs, dans leurs pratiques actuelles, utilisent de manière empirique, les

macrophytes et les résidus de végétaux pour l'amendement des sols. La volonté de plus de la moitié d'entre eux à utiliser les « eaux riches » pour fertiliser leurs parcelles est un atout favorable qu'il conviendra d'exploiter.

Cependant, une telle activité rencontre comme contrainte majeure, le statut foncier précaire des parcelles agricoles. Sécuriser ce statut foncier est fondamental et devra garantir la pérennité de la stratégie de valorisation envisagée dans un contexte comme celui de Yaoundé. A cette contrainte, s'ajoute l'inorganisation de ce secteur d'activité : aucune organisation ni regroupement quelconque des promoteurs n'a été relevé dans les sites étudiés. Ceci constitue un handicap majeur dans la mobilisation des acteurs concernés en vue de solliciter, auprès des autorités, la prise en compte de leurs activités dans toutes stratégies d'organisation et de gestion de l'espace urbain. Enfin, un autre facteur de blocage est d'une part, à la méconnaissance, par certains promoteurs, des avantages et inconvénients des sous-produits de l'épuration en agriculture, et d'autre part, les difficultés de conditionnement et de transfert des sous-produits dans les parcelles agricoles, notamment pour les sites éloignés des stations d'épuration.

Fort est de reconnaître que l'usage des eaux polluées en agriculture peut porter préjudice à la santé humaine. De l'avis des responsables sanitaires de Yaoundé², la recrudescence des maladies diarrhéiques (dysenteries, amibiases, hépatites, paludisme, etc.) dans cette localité est liée au défaut d'hygiène et d'assainissement, mais aussi à l'ingestion d'eau non potable. Ces maladies, qui touchent 1 patient sur 6 à Yaoundé, concernent principalement les enfants de moins de 5 ans. Ces derniers représentent environ le tiers des malades ayant consulté un centre de santé dans cette ville entre 1996 et 2002 (figure III.5.2).

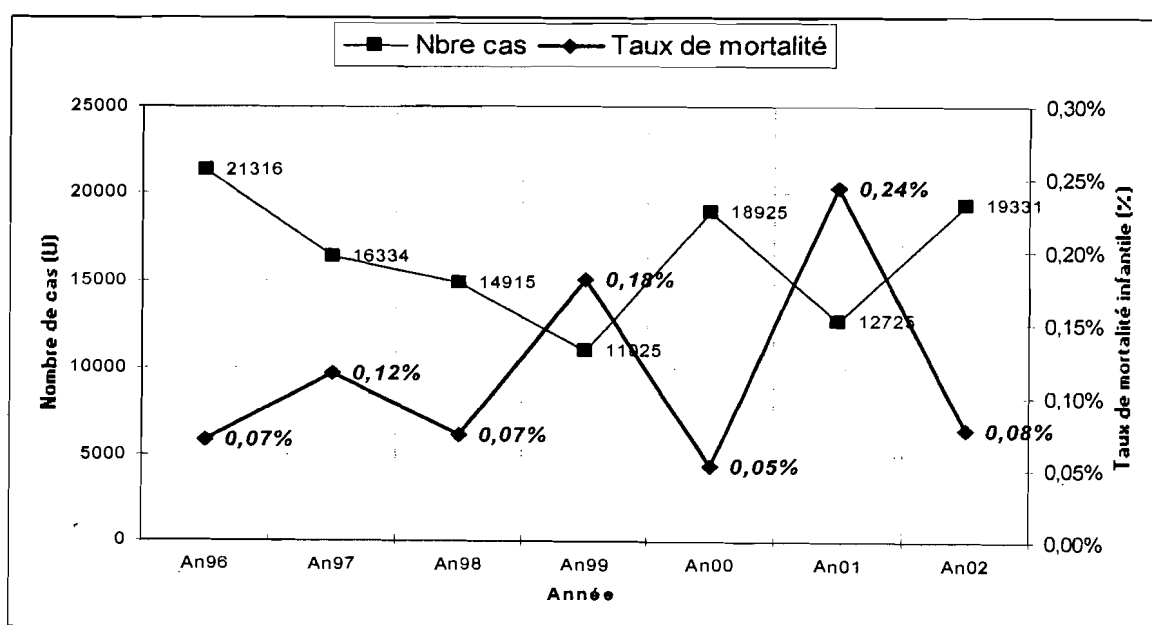


Figure III.5.2 : Evolution des maladies diarrhéiques chez les enfants de moins de 5 ans à Yaoundé de 1996 à 2002.

Pour cette période, la figure III.5.2 établit que ces affections ne semblent pas en voie d'éradication à Yaoundé car le nombre de cas déclarés ne cesse de fluctuer d'année en année chez les enfants de moins de 5 ans. Les statistiques disponibles dénombrèrent, en effet, 19.000 cas déclarés dont 10 décès (en 2000), 13.000 cas déclarés dont 31 décès (en 2001) et 19.500 cas déclarés dont 15 décès (en 2002). De plus, le taux de mortalité, chez ce groupe, a connu une hausse en 1997 (avec 0,12%), en 1999 (avec 0,18%) et surtout en 2001 (avec 0,24 %).

D'après ces statistiques, la prévalence des maladies diarrhéiques n'a pas une préférence du genre puis que dans l'échantillon, 49,9% des cas sont de sexe masculin et 50,1% sont de sexe féminin. Ce taux de prévalence est moins élevé à Yaoundé et à Douala, les 2 grandes villes du Cameroun avec moins de 14% des cas, comparé à ceux des autres villes (21%) et villages (23%).

Des précautions d'urgence doivent donc être prises pour non seulement mettre à disposition des promoteurs agricoles une eau d'irrigation conforme aux normes exigées mais également traiter efficacement les eaux usées et excréta produits dans les ménages. De tout ce qui précède, il est à penser que l'urgence de se pencher sur l'optimisation des systèmes d'épuration extensive qui soient adaptés au contexte local se justifie une fois de plus.

L'efficacité de ces systèmes dépend étroitement d'un certain nombre de facteurs, dont entre autres, le climat et les macrophytes utilisés, qu'il est important d'aborder dans le contexte climatique particulier de la région de Yaoundé.

² Service épidémiologie et endomo-épidémies du Ministère de la santé (Direction de la santé communautaire)

Données naturelles

III.6. ANALYSE DE QUELQUES DONNEES NATURELLES DES ZONES HUMIDES ET DE LA REGION CLIMATIQUE DE YAOUNDE

Le développement des espèces végétales dépend, entre autres, des facteurs hydrologiques, pédologiques et anthropiques, mais également des conditions d'humidité du milieu (profondeur et vitesse de l'eau, durée d'humidité, etc.). Il est question, dans ce paragraphe, de cerner la particularité de ces paramètres dans le contexte de Yaoundé. La présentation des espèces aquatiques et semi-aquatiques dont l'utilité en épuration extensive des eaux usées a été déjà éprouvée et l'analyse du rôle auto-épurant de quelques zones humides achèveront ce volet.

III.6.1. LES FACTEURS CLIMATIQUES DE LA REGION DE YAOUNDE

L'étude s'intéresse principalement aux facteurs climatiques essentiels (température, pluviométrie, humidité atmosphérique, ensoleillement et évapotranspiration) pour lesquels le suivi est assez régulier dans les services météorologiques de Yaoundé. Les autres paramètres (pression atmosphérique, vitesse du vent, etc.) présentent des discontinuités sur des périodes assez importantes pour être exploitables. Ils ne seront donc pas développés dans ce paragraphe.

III.6.1.1. La température

La figure III.6.1 présente les variations mensuelles et interannuelles des moyennes des températures de Yaoundé de 1992 à 2002.

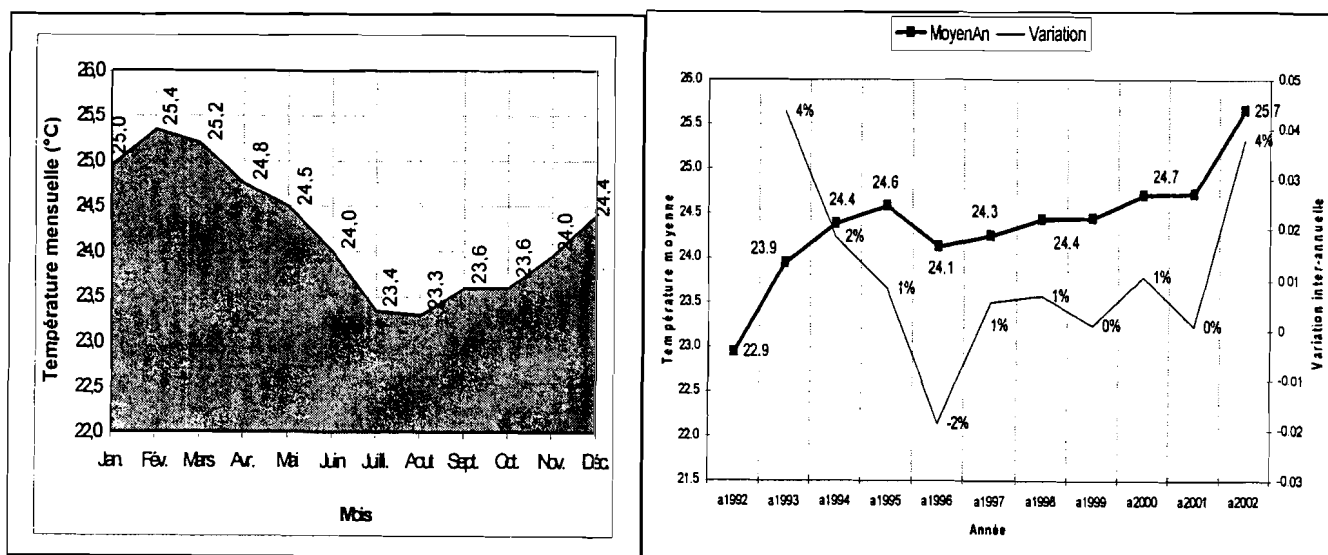


Figure III.6.1 : Variations mensuelles et interannuelles de la température de Yaoundé de 1992 à 2002

La courbe de droite révèle que la variation interannuelle de la température a augmenté de près de $+2,7^{\circ}\text{C}$ de la valeur de 1992. L'année 1992 ($22,9 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$) est la moins chaude et 2001 ($25,7 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$) est la plus chaude, ce qui dénote une relative constante thermique entre ces deux dates.

La courbe de gauche montre que les mois les moins chauds sont juillet et août ($23,4 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$)

tandis que la période de janvier à mai est la plus chaude (avec entre $24,5$ et $25,5\pm 0,6^{\circ}\text{C}$). Il s'ensuit un contraste thermique mensuel très faible, de $1,4^{\circ}\text{C}$ en moyenne et étendu de $1,1$ à $4,4^{\circ}\text{C}$. Ainsi, en se basant uniquement sur le paramètre température sur une année donnée, il n'est pas aisé d'opérer une distinction nette des saisons climatiques à Yaoundé.

Sur la période d'observation, la moyenne des températures mensuelles est de $24,3\pm 0,4^{\circ}\text{C}$ et l'amplitude thermique journalière, qui est de $9,3\pm 0,3^{\circ}\text{C}$, varie entre 7 et 12°C selon les mois ; celle-ci semble plus nette que la variation mensuelle et interannuelle.

De ce qui précède, il ressort que le climat de Yaoundé est toujours chaud et se caractérise par une relative monotonie thermique. De plus, les températures moyennes et leurs fluctuations sont similaires à celles des régions à climat tropical humide dont les températures moyennes annuelles se situent entre 23 et 27°C et les amplitudes journalières et annuelles varient de 2 et 12°C [WEB12 ; WRI, 1999 ; Word Bank, 2000 ; FAO, 2000 ; ONU-HRI, 2000]. Pour ce paramètre, la ville de Yaoundé est bien représentative de l'ensemble de la zone macro-climatique considérée.

III.6.1.2. La pluviométrie

Les variations mensuelles et interannuelles des précipitations de Yaoundé, entre 1992 et 2002, sont synthétisées à travers la figure III.6.2.

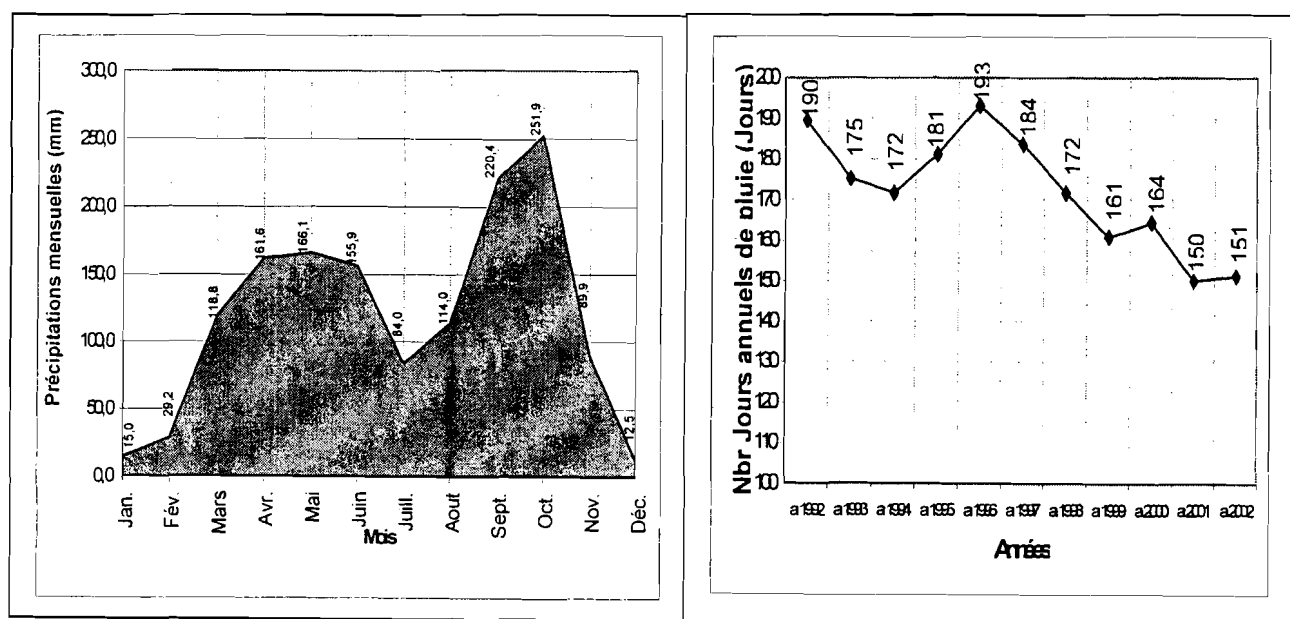


Figure III.6.2 : Variations mensuelles et interannuelles des hauteurs de pluies précipitées (mm de pluie) et du nombre de jours de pluies à Yaoundé (1992 et 2002)

La précipitation moyenne mensuelle est de 118 ± 39 mm de pluies totalisées pendant 14 ± 1 jours à Yaoundé, soit une moyenne annuelle de 1.420 ± 19 mm.

La courbe des variations mensuelles des hauteurs précipitées montre qu'il n'y a pas eu de mois sans enregistrement de pluie entre 1992 et 2002 à Yaoundé. La période de mars à mai est

généralement appelée « *Petite saison des pluies* » avec des intensités de pluie relativement faibles et irrégulières (de 119 à 166±45 mm de pluies pendant 6 à 21 jours). La période d'août à octobre, considérée comme la « *Grande saison des pluies* », est marquée par de fortes précipitations (de 114 à 251±60 mm pendant 23 et 24 jours).

La variation du nombre de jours de précipitation est nettement marquée au cours des 11 dernières années. En valeur absolue, cette fluctuation va de 189±18 jours en 1992 à 150±18 jours en 2001, soit une baisse relative d'environ 21% entre ces deux dates.

La distinction du régime climatique est généralement fondée sur les critères de distribution et du rythme des précipitations. Les données ci-dessus établissent que les pluies sont fréquentes et abondantes pendant toute l'année à Yaoundé ; ce qui offre à cette ville un climat particulièrement humide. Bien que le marquage des saisons ne soit pas aisé sur une année donnée, l'on s'accorde néanmoins à reconnaître 4 saisons climatiques faites de l'alternance des périodes de pluie et des périodes sèches. La grande saison des pluies couvre la période d'août à octobre et précède la grande saison sèche qui s'étale de novembre à février. La petite saison des pluies s'étend de mars à mai tandis que la petite saison sèche commence en juin et s'achève en juillet.

Ainsi, la distribution annuelle des précipitations à Yaoundé, leur rythme et leur intensité sont suffisamment assimilables à ce qui est observé dans les zones de climat tropical humide [WEB1 ; WEB12 ; WRI et al., 1999 ; Word Bank, 2000 ; FAO, 2000 ; ONU-HRI, 2000]. Pour ce paramètre, Yaoundé est donc un échantillon représentatif de cette zone macro-climatique considérée.

III.6.1.3. L'ensoleillement

Le degré d'ensoleillement influence également le développement des plantes et les performances des systèmes extensifs d'épuration des eaux usées en participant à la photosynthèse.

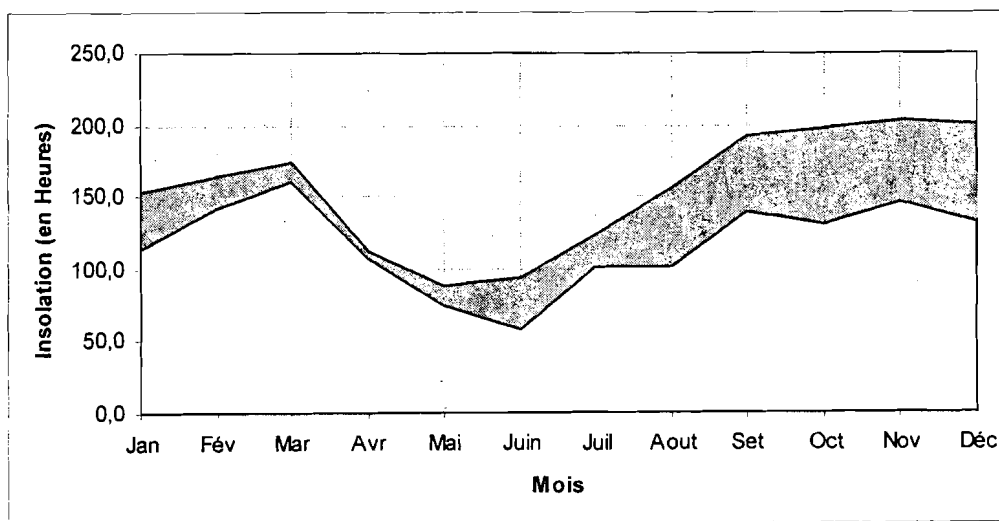


Figure III.6.3 : Variation annuelle de l'insolation moyenne à Yaoundé (de 1992 à 2002)

Entre 1992 et 2002, les relevés obtenus à la station météorologique de Yaoundé montrent une nette variation de l'insolation dans cette région (Figure III.6.3).

L'insolation moyenne annuelle est de $1\,634 \pm 20$ heures, variant de 1 400 heures à 1 865 heures entre 1992 et 2002. Les mois les moins ensoleillés sont mai et juin (avec de 81,2 à 76,3 heures d'insolation) tandis que les périodes de haut ensoleillement sont respectivement février-mars (de 152 à 168 heures) et septembre-novembre (de 164 à 176 heures).

Comparativement aux zones de climat tropical sec où l'insolation dépasse les 2 000 heures par an, celle de Yaoundé, caractéristique des zones de climat tropical humide, est réduite du fait de l'abondance des précipitations dans l'année et de l'importance de la nébulosité. La figure III.6.3 illustre ce propos avec des valeurs d'insolation relativement faibles en saison de pluie et importantes pendant les saisons sèches.

Au final, l'insolation moyenne annuelle dans la région de Yaoundé est comprise dans la gamme de 1 000 à 2 000 heures par an, généralement observée dans les zones de climat tropical humide. Il en est de même pour l'importance de la nébulosité et surtout de l'angle d'incidence du rayonnement solaire, proche de la verticale [WEB2 ; WEB10 ; WEB14]. Yaoundé constitue donc un échantillon représentatif des zones de climat tropical humide pour le paramètre insolation.

III.6.1.4. L'humidité atmosphérique

Les variations mensuelles et interannuelles de l'humidité moyenne de Yaoundé entre 1992 et 2002 s'observent à travers la figure III.6.4.

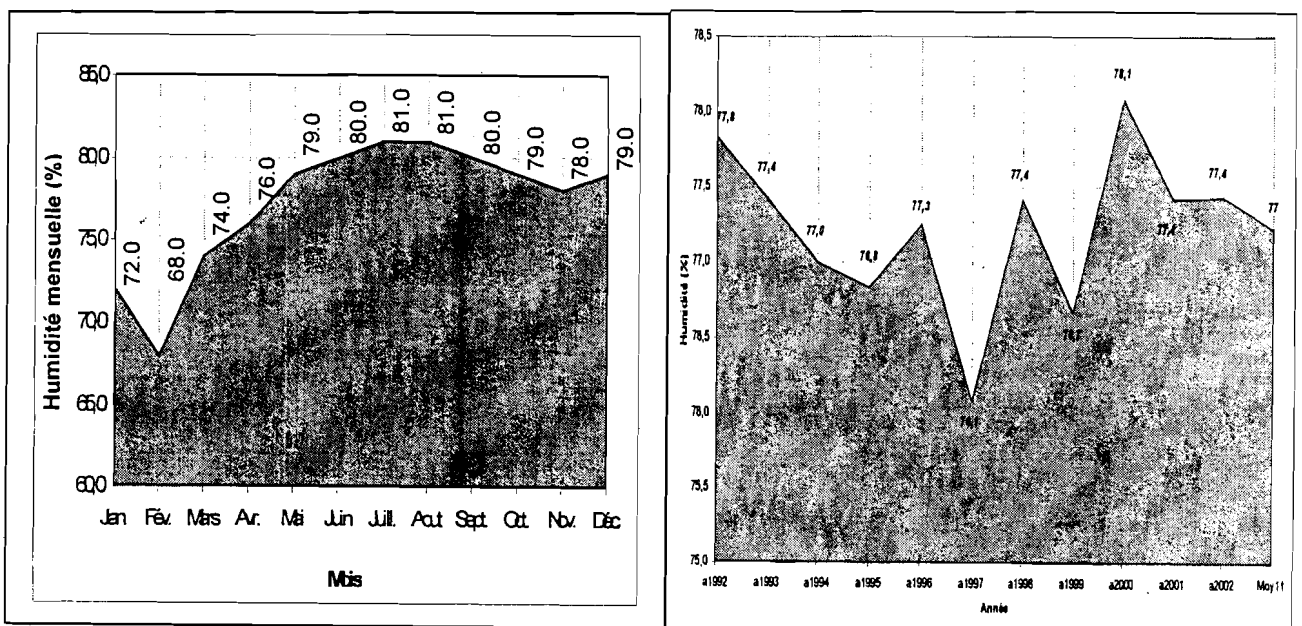


Figure III.6.4 : Variations mensuelles et interannuelles de l'humidité atmosphérique à Yaoundé (1992 à 2002)

La moyenne mensuelle de l'humidité atmosphérique de Yaoundé est de $77 \pm 0,4\%$. La période de

juin à septembre est la plus humide (avec plus de 80% d'humidité) tandis que la période de janvier à mars est la moins humide (de 68% à 74%). L'humidité atmosphérique minimale, de $61\pm 3\%$, a été observée en février 1997 et la valeur maximale, de $87\pm 2\%$, a été obtenue en juillet 1992 et en novembre 2000.

La courbe des variations interannuelles de l'humidité atmosphérique montre une baisse, en valeur absolue, de 0,5% entre 1992 et 2002. Les années 1992 et 2000 (avec environ $78,0\pm 0,4\%$) sont les plus humides, contrairement aux années 1995, 1997 et 1999.

Dans l'ensemble, les données ci-dessus établissent que la valeur minimale de l'humidité atmosphérique annuelle de la ville de Yaoundé est supérieure à 70%, seuil caractéristique du minima de l'humidité de l'air dans les zones de climat tropical humide [WRI et al., 1999 ; Word Bank, 2000 ; FAO, 2000 ; ONU-HRI, 2000 ; WEB2 ; WEB10 ; WEB 12]. D'où l'évidence de la représentativité climatique de cette ville en ce qui concerne l'humidité atmosphérique.

III.6.1.5. L'évapotranspiration potentielle

Ce paramètre permet d'évaluer les besoins en eau des plantes pendant la période de végétation. Les données auxquelles nous avons eu accès concernent la période de 1992 à 2001 et sont mesurées directement à partir d'un lysimètre. Leurs fluctuations mensuelles et interannuelles sont présentées par la figure III.6.5.

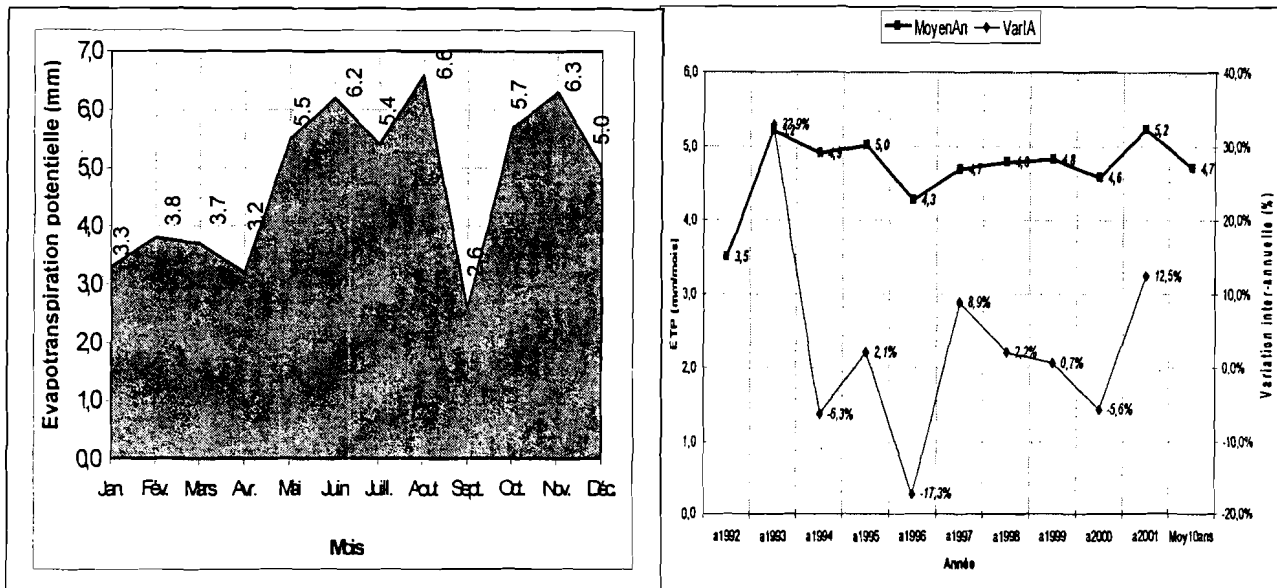


Figure III.6.5 : Variations mensuelles et interannuelles de l'évapotranspiration à Yaoundé (1992 et 2001)

La moyenne mensuelle de l'évapotranspiration est de $4,7\pm 0,4$ mm/mois sur la période d'observation. Les mois d'août ($6,6\pm 1$ mm/mois), de novembre ($6,3\pm 1,1$ mm/mois) et de juin ($6,2\pm 0,6$ mm/mois) ont connu de fortes évapotranspirations à Yaoundé.

La courbe de droite situe la fluctuation interannuelle de l'évapotranspiration et montre que 1992

a enregistré la plus faible évapotranspiration (3,5 mm) tandis que 1993 et 2001 connaissent la plus forte évapotranspiration (5,2 mm chacune).

L'évapotranspiration rapportée à la pluie précipitée n'est que de 2,6% à 7,1% dans la région de Yaoundé. Preuve que l'évapotranspiration est très en dessous des précipitations reçues dans cette ville comme dans l'ensemble de la région de climat tropical.

III.6.1.6. Discussion sur les facteurs climatiques de la région de Yaoundé

Le déficit hydrique d'une culture représente la différence de l'évapotranspiration potentielle (ETP) de cette culture et la pluie efficace pour la période concernée. La pluie efficace ou « pluie utile » est approximative à 80% de la pluie totale afin de prendre en compte les phénomènes de ruissellement et d'évapotranspiration au contact du sol [Yonkeu, 1993].

La figure III.6.6 présente 2 types d'informations : le diagramme ombro-thermique (précipitation et température) et la période climatique de Yaoundé (précipitation, évapotranspiration et demi-évapotranspiration). Dans la pratique, une telle figure situe les événements remarquables à partir des intersections des 3 courbes ci-dessus citées.

Les précipitations superposées aux températures montrent que décembre et janvier sont les mois les plus chauds avec un déficit de précipitation important. L'élévation des précipitations dans les autres mois justifie le taux d'humidité relativement important dans cette ville.

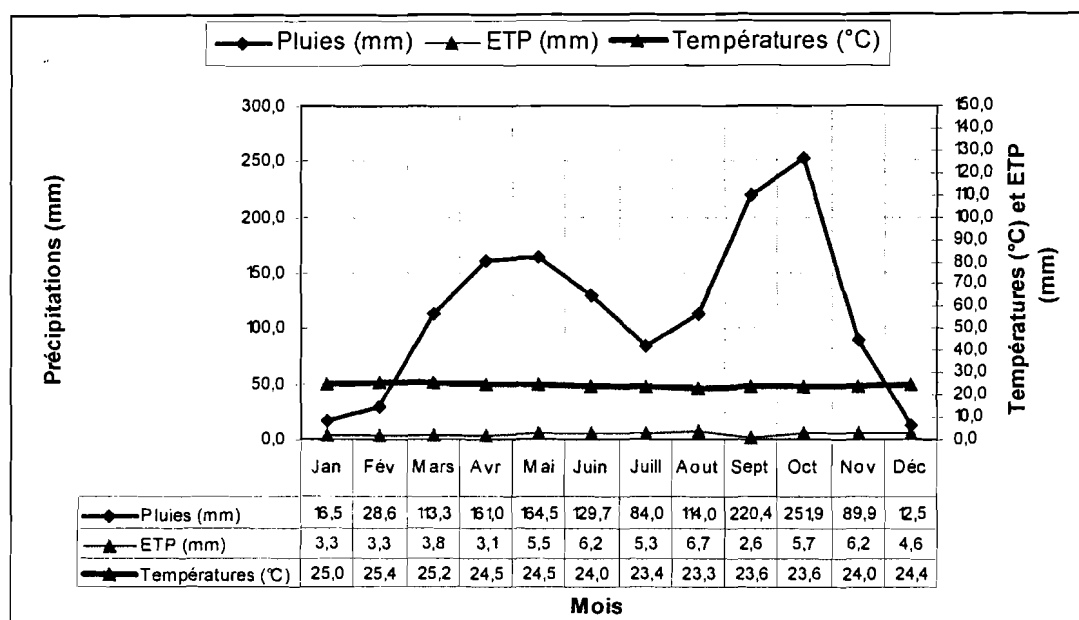


Figure III.6.6 : Diagramme ombro-thermique et période végétative de Yaoundé

La courbe du bilan hydrique ne montre pas d'intersections entre la courbe des précipitations et celle de l'évapotranspiration. Celle-ci ne représente, en effet, que 37%, 20% et 12% des précipitations mensuelles respectivement de décembre, janvier et février, considérés comme les

mois les plus chauds avec moins d'humidité. Pendant les autres mois, ce paramètre est presque négligeable puisqu'il ne représente que 7% des précipitations mensuelles.

Il en découle que les apports de précipitations sont effectifs sur tous les mois de l'année et surpasse toujours l'évapotranspiration. L'avènement de la « petite saison des pluies », de février à mars, permet au sol de constituer son stock d'eau utile pour la germination et l'installation du couvert herbacé. De la mi-avril à octobre, Yaoundé subit la période humide et la « grande saison des pluies », qui survient entre août et octobre, assure le développement végétatif. Le mois de novembre correspond à une diminution de la fréquence et de l'intensité des pluies, susceptible de dessécher quelque peu la strate herbacée [Yonkeu, 1993]. La période allant de mars à novembre correspond, dans le contexte « *yaoundéen* », à la période active de végétation, traduisant ainsi une saison de végétation qui s'étale sur toute l'année.

Nous retenons de ce paragraphe que :

- ✓ le climat de la ville de Yaoundé est toujours chaud et marqué par une monotonie thermique du fait de la faiblesse des contrastes saisonniers pendant toute l'année ;
- ✓ le rythme des précipitations est tel que Yaoundé est quasiment arrosée sur toute l'année avec des variations saisonnières et des intensités plus importantes en saisons des pluies ;
- ✓ l'ensoleillement est régulier dans cette ville mais, l'importance de la nébulosité réduit quelque peu la durée moyenne de l'insolation pendant l'année ;
- ✓ l'humidité atmosphérique est particulièrement élevée et quasi-constante sur toute l'année, ce qui justifie la monotonie thermique.

Ainsi, les facteurs climatiques de la ville de Yaoundé caractérisent parfaitement les zones de climat tropical humide.

III.6.2. REGIME D'ÉCOULEMENT DES EAUX SUPERFICIELLES ET TEXTURE DES SOLS DANS LES ZONES HUMIDES DE YAOUNDE

Le régime d'écoulement des eaux, autant que les composantes du climat, sont déterminants dans la survie des plantes aquatiques et semi-aquatiques dans une zone humide donnée. Il en est de même des caractéristiques des substrats sur lesquels se développent ces plantes.

III.6.2.1. Localisation géographique et description sommaire des zones humides

Un total de 27 zones humides (marrais, tourbières, lacs) ont été délimitées dans le périmètre urbanisé de la ville Yaoundé. L'ensemble couvre une superficie totale de 669,8 ha dont 13,6 ha

pour les lacs. L'étude du régime d'écoulement des eaux superficielles et de la texture des sols s'est déroulée dans 18 zones humides (carte III.6.1 et tableau III.6.1).

Tableau III.6.1 : Paramètres de localisation des zones humides de Yaoundé

Désignation	Arrondissement	Localisation géographique			Superficie totale (ha)	Superficie du lac (ha)
		LN	LE	Altitude (m)		
Djongolo CEPER	1 ^{er} Arrondissement	3°52'12,7''	11°31'08,03''	735	13,4	
Hôpital Général de Yaoundé		3°52'08,9''	11°31'41,2''	730	60,6	
Rond point Bastos		3°53'38,2''	11°30'19,5''	734	18,0	
Cité verte	2 ^{ème} Arrondissement	3°51'52,3''	11°29'01,7''	740	34,4	/
Messa		3°51'47,6''	11°30'21,7''	740	16,4	9,2
Nkol Bisson		3°51'54,1''	11°27'20,8''	723	24,6	0,2
Cité Nations	3 ^{ème} Arrondissement	3°50'31,1''	11°30'03,3''	730	10,1	
Efoulan		3°49'42,6''	11°30'06,4''	715	82,1	/
Obili CHU		3°51'09,01''	11°29'42,3''	745	3,8	1,2
Olézoa		3°50'20,3''	11°30'47,8''	730	14,9	/
Université ENSP		3°51'12,9''	11°29'58,1''	750	7,3	/
Hôpital de la Caisse	5 ^{ème} Arrondissement	3°51'47,9''	11°31'41,4''	727	14,0	
Biyem Assi Lac	6 ^{ème} Arrondissement	3°50'03,9''	11°29'29,1''	714	56,7	
Biyem Assi NIKI		3°49'53,4''	11°29'08,9''	718	28,9	/
Mendong Ecole		entre 707 et 712	3°49'16,2'' et 3°49'53,2''	11°27'37,3'' et 11°27'56,6''	17,7	/
Mendong Gendarmerie					16,2	0,97
Mendong Lycée					5,5	/
Nsimeyong Montée Jouvence					14,2	0,42

Cet échantillon couvre une superficie total de 450,2 ha (soit 66,5% du total) et tous les lacs de la ville y sont présents.

Les sites de l'Arrondissement de Yaoundé 1

Djongolo CEPER prend sa source en contre bas du parc animalier dit « Kiriakides ». Il connaît quelques activités de remblaiement et agricoles en amont. En aval, il est abondamment couvert par des macrophytes et traverse une zone de fortes activités commerciales et artisanales en aval. *L'Hôpital Général de Yaoundé (HGY)* est traversé, du nord au sud, par la ligne de la Compagnie du chemin de fer du Cameroun et ses installations. Il est soumis à une intense activité anthropique. Il longe, d'amont en aval, les marchés (Etoudi, Elig Edzoa, Mfoundi), les zones loties par la municipalité (Etoudi, Mballa 4 et 5) ou par la MAETUR (Ngoussou et Santa Barbara, Mfandéna, Elig Essono). Exutoire des effluents de l'Hôpital Général de Yaoundé, ce site est entrecoupé par des parcelles agricoles et l'habitat précaire (Elig Edzoa, Etoa Méki) qui y déversent leurs déchets. *Rond point Bastos - RpB* est situé en amont d'un quartier résidentiel de haut standing (Bastos). Il prend sa source en contre bas de l'hôtel « Mont Fébé » et traverse les champs maraîchers. Sa partie aval subit progressivement des remblaiements en vue des constructions anarchiques.

Les sites de l'Arrondissement de Yaoundé 2

Messa est occupé, de l'amont vers l'aval, par des constructions précaires (*Messa*, *Etétak*, *Mélen 4* et *5*), des parcelles agricoles (maraîchage et horticulture), une plantation d'eucalyptus et le lac municipal (9,2 ha) dont près de 40% de la surface est envahie par les végétaux aquatiques. Elle reçoit les eaux brutes de la station de *Messa* et est fortement anthropisée (développement d'activités économiques : garages, laveries de véhicules, petits commerces et restaurations). *Cité Verte (CV)* est partiellement occupée par des constructions précaires, le commerce informel et la gare routière de l'Ouest. Elle reçoit les eaux usées de la *Cité Verte*, sert de ressources pour le lavage des véhicules avant d'alimenter la zone humide de *Nkol Bisson (NKLB)*. Cette dernière comporte, de l'amont vers l'aval, des points de lavage de véhicules, un lac (0,2 ha) totalement envahi par un tapis végétal et des parcelles agricoles. Il reçoit les effluents de la station d'épuration du Lycée technique de *Nkol Bisson*.

Les sites de l'Arrondissement de Yaoundé 3

Cité des Nations comporte, en aval, une tourbière relativement profonde qui reçoit les déchets solides et liquides produits dans des mini cités de fortune. A *Obili CHU* se trouvent 3 lacs (*Atemengué*, *Mélen* et *Obili*) qui reçoivent les déchets solides et liquides déversés par les riverains, mais également les effluents des stations d'épuration de l'Université de Yaoundé 1 et du Centre Hospitalier Universitaire (CHU). *Université ENSP* comporte, en amont, des habitations spontanées de *Mélen 2* et *3*, des champs maraîchers au milieu, l'exutoire de la station de l'Université de Yaoundé 1 et un lac totalement envahi par *Cyperus papyrus* en aval. Il déverse ses eaux dans le site d'*Obili CHU*. *Olézoa* est localisé en aval des sites de *Obili CHU*, de *Cité Nation* et de *Université ENSP* et traverse la zone industrielle de *Ndamvout* avant de se rejeter dans le cours d'eau *Mfoundi*. *Efoulan Lac* est totalement dominé par des nénuphars et délimite les lotissements communaux de *Efoulan* et ceux de la *MAETUR* à *Nsimeyong*. Les activités agricoles et de lavage des véhicules s'y développent.

Le site de l'Arrondissement de Yaoundé 5

L'Hôpital de la Caisse (HCE) traverse le lotissement municipal (*Essos*, *Fouda*) ou *MAETUR* (*Omnisport*, *Mfandena*) et les quartiers spontanés situés en contrebas. Il recueille en outre les effluents de la station d'épuration de l'hôpital de la Caisse ainsi que les eaux des laveries informelles des voitures.

Les sites de l'Arrondissement de Yaoundé 6

Nsimeyong Montée Jouvence traverse les zones loties par la *MAETUR* (*Etoug Ebe*, *Nsimeyong*) où se développent d'importantes activités socioéconomiques informelle (garages, menuiserie,

restaurations). Il comporte, en aval, un lac couvert par des macrophytes sur 60% de sa superficie. *Biyem Assi NIKI* reçoit les effluents de la station de lagunage de ce quartier ainsi que les effluents de la station à lit bactérien de la garde présidentielle. Il traverse plusieurs bidonvilles (Obili) et les lotissements de la MAETUR (Biyem Assi, Etoug Ebé). *Biyem Assi Lac* est une vaste plaine inondable complètement asséchée par les remblais d'habitation, des parcelles agricoles. *Mendong Ecole*, *Mendong Lycée* et *Mendong Gendarmerie* reçoivent les eaux usées brutes de ce quartier résidentiel et ont une végétation très variée et sont entrecoupés par des parcelles agricoles, des étangs piscicoles, des fermes d'élevage et des constructions illégales.

III.6.2.2. Régime d'écoulement des eaux superficielles dans les zones humides

Les paramètres caractéristiques du régime d'écoulement dans le lit du cours d'eau de Yaoundé sont consignés dans le tableau III.6.2.

Tableau III.6.2 : Paramètres hydrologiques dans les zones humides de Yaoundé (juin – juillet 2002)

N°	Nom site	Vitesse moyenne (m/s)	Hauteur moyenne de l'eau (m)	Pente moyenne (m/m)	Débit moyen (l/s)
1	Biyem Assi Lac	0.29	0,24±0,08	0.015	182.5
2	Biyem Assi NIKI	0.20	0,52±0,17	0.015	220.6
3	Cité Verte	0.19	0,66±0,37	0.030	182.0
4	Djongolo CEPER (amont)	0.01	0,02±0,00	0.033	1.0
5	Efoulan Lac	0.38	0,08±0,5	0.015	37.4
6	Hôpital de la Caisse	0.40	0,19±0,08	0.031	149.4
7	Hôpital général de Yaoundé	0.32	0,22±0,18	0.023	253.3
8	Mendong Ecole	0.11	0,08±0,4	0.015	2.8
9	Mendong Gendarmerie	0.17	0,37±0,20	0.005	85.4
10	Mendong Lycée	0.11	0,23±0,14	0.015	22.2
11	Messa	0.18	0,23±0,09	0.018	68.2
12	Nkol Bisson	0.31	0,45±0,13	0.020	127.6
13	Nsimeyong Montée Jouvence	0.25	0,25±0,04	0.013	87.2
14	Obili CHU	0.38	0,30±0,13	0.040	135.9
15	Olézoa	0.45	0,37±0,30	0.020	400.4
16	Rond point Bastos	0.12	0,14±0,9	0.025	18.4
17	Université ENSP	0.27	0,42±0,15	0.020	7.8
18	Université Nations	0.77	0,55±0,10	0.020	510.7

Ainsi, les zones humides sont de faible pente (inférieure à 5%) en référence au classement des sols préconisé par le *United States Department of Agriculture* [Ministère français de la Coopération, 1993]. Ce qui peut expliquer les valeurs relativement faibles des vitesses d'écoulement des eaux de surface. Olézoa (0,45 m/s), Université Nation (0,77 m/s) et Hôpital de la Caisse (0,40 m/s) ont des vitesses d'écoulement supérieures à la limite généralement tolérée (0,40 m/s) pour qu'il n'y ait pas d'érosion des berges ayant des sols de classe texturale proche des argiles, des limons ou des argilo-sableuses. Cependant, la présence de macrophytes et la sinuosité des lits des cours d'eau peuvent, par endroit, limiter ce phénomène. Les autres zones humides, avec des vitesses

moyennes relativement faibles (0,2 m/s), sont fortement exposés aux risques de dépôts solides.

En dehors des zones humides contenant, en partie, des étangs (Cité Verte en aval, Nkol Bisson, Lac municipal et CHU), les hauteurs d'eau, dans les autres zones humides, sont relativement peu élevées. Ces dernières s'apparentent, beaucoup plus, des flaques ou des mares. En cette période d'étiage, les débits d'écoulement dans les cours d'eau sont plus importants à Université Nations (avec 0,51 m³/s) et Olézoa (0,4 m³/s), élevés à Hôpital général de Yaoundé (0,25 m³/s) et Biyem Assi NIKI (0,22 m³/s) et relativement moindre à Biyem Assi Lac (0,18 m³/s), Cité Verte (0,18 m³/s), Hôpital de la Caisse (0,15 m³/s), Obili CHU (0,14 m³/s) et Nkol Bisson (0,13 m³/s).

L'hydromorphie, en dehors du lit du cours d'eau, est variable dans l'ensemble des zones humides étudiées. L'observation a permis de classer ces dernières en 4 catégories :

- les zones humides à caractère d'hydromorphie temporaire et peu marquée en amont et en aval : il s'agit de Biyem Assi Lac et de Olézoa ;
- les zones humides à caractère d'hydromorphie permanente, peu marquée en amont mais bien marquée en aval : il s'agit de Hôpital général de Yaoundé, Djongolo CEPER et Cité Verte ;
- les zones humides à caractère d'hydromorphie bien marquée en amont et en aval : ce sont, Hôpital de la Caisse, Messa, Mendong Ecole, Mendong Lycée ;
- les zones humides à caractère d'hydromorphie bien marquée avec engorgement prononcé aussi bien en amont qu'en aval : ce sont Lac municipal, Obili Lac, Université Nation, Université Nation, Nsimeyong Monté Jouvence, Biyem Assi NIKI, Rond point Bastos, Efulan Lac, Mendong Gendarmerie.

Cependant, il convient de relever que ces résultats correspondent au régime d'écoulement en période d'étiage. Les mesures ont été effectuées pendant les saisons sèches dans un but d'évaluer la pollution des eaux de surface par les rejets d'eaux usées, en situation de dilution minimum par les eaux de pluie. Le phénomène d'écoulement des eaux de surface étant lié à la pluviométrie, il est donc clair que ces données changent de manière significative en saison des pluies.

De ce paragraphe, on retient que le réseau hydrographique est particulièrement dense à Yaoundé et présente une densité hydrographique de l'ordre de 2,5 km/km² de surface urbanisée. Il en est de même des zones humides situées le long des cours d'eau et qui occupent environ 4% de la superficie totale de Yaoundé. Les lacs et les marais sont également importants et couvrent près de 2% de la superficie totale des zones humides. Même en situation d'étiage, le niveau d'eau dans les cours d'eau n'est pas négligeable et les débits à l'étiage sont toujours mesurables. Ce constat de densité importante des cours d'eau et d'arrosage en continu pendant toute l'année est

plutôt caractéristique des zones situées sous climat tropical humide ou équatorial ; il est bien évidemment contraire à ce que l'on observe généralement dans les régions de climat tropical sec où certains cours d'eau tarissent complètement pendant les saisons sèches.

III.6.2.3. Textures des sols des zones humides de Yaoundé

L'évaluation de la texture des sols constitue le centre d'intérêt de ce paragraphe.

III.6.2.3.1. Texture des sols dans les zones humides

De la figure III.6.7, il ressort une diversité et une variabilité, dans l'espace, des classes texturales (en % des fractions) des zones humides de Yaoundé. Celles-ci sont, en effet, caractérisées par une combinaison, plus ou moins marquée, d'argiles, de limons et de sables (fin ou gros).

Il découle du diagramme textural simplifié du Laboratoire des sols de Versailles que les sols des zones humides de Yaoundé sont à dominance argileuse et se regroupent dans la classe des sols argileux à argilo sableux. Les nuages de points se situent dans la tranche des sols dits à texture équilibrée puisque les fractions sableuses (de 40% à 60%), argileuses (>35%) et limoneuses (de 10% à 30%) sont dans les gammes requises (tableau III.6.2).

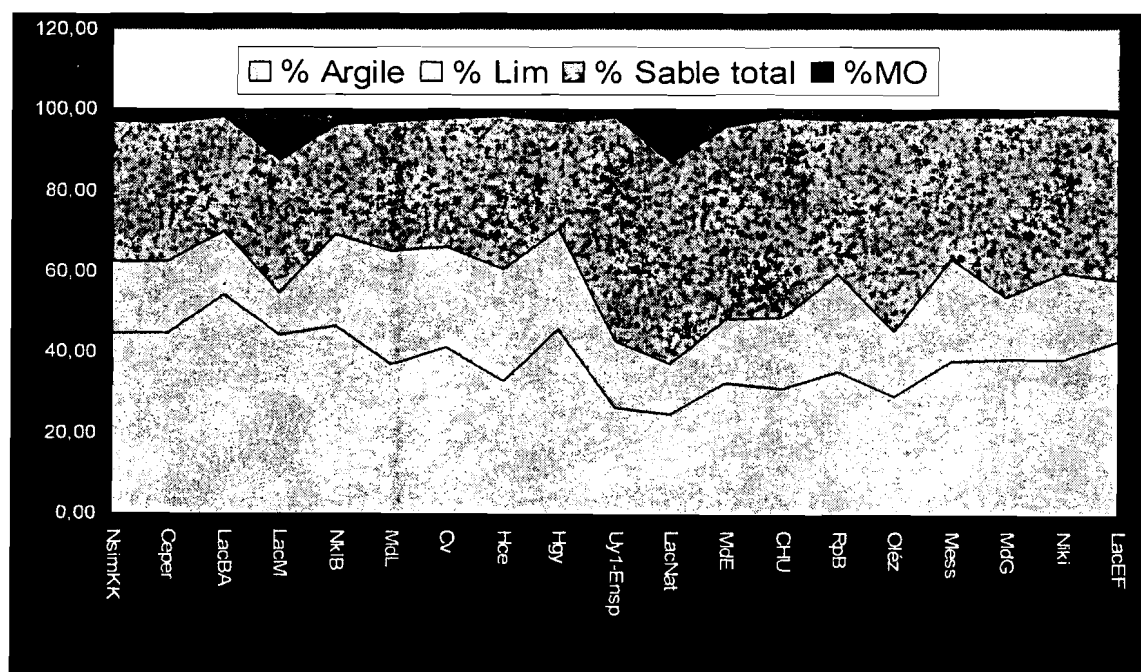


Figure III.6.7 : Profils des horizons de surface dans les zones humides de Yaoundé

La localisation des sites dans des zones inondables est à l'origine de la tendance argileuse des sols. De plus, ces sites ont une fraction sableuse moyenne ; ce qui montre qu'ils sont peu perméables. Etant donné qu'ils sont le lieu de rejets sauvages des déchets solides et liquides, l'analyse note des fractions non négligeables des matières organiques (MO), variables selon que la zone humide est plus ou moins soumise à des actions anthropiques (tableau III.6.3).

Tableau III.6.3 : Composition moyenne (en % de poids) des sols (horizon superficiel) dans les zones humides

Désignation du site	LEGENDE Code Site	% Argile	% Lim	% Sable total	%MO
Lac de la cité des nations	LacNat	25,00	12,50	49,86	12,64
Lac municipal	LacM	44,40	10,60	32,50	12,50
Mendong Ecole	MdE	32,92	15,83	47,49	3,76
Nkol Bisson	NklB	46,67	22,50	27,22	3,61
Djongolo CEPER	Ceper	45,00	17,50	34,47	3,03
Mendong Lycée	MdL	37,08	27,92	32,06	2,94
Hôpital général de Yaoundé	Hgy	45,83	25,00	26,34	2,83
Nsimeyong Montée Jouvence	NsimKK	45,00	17,50	34,86	2,64
Olézoa	Oléz	29,56	16,25	51,69	2,50
Rond point Bastos	RpB	35,83	23,75	37,93	2,49
Cité Verte	Cv	41,67	24,55	31,80	1,98
Messa	Mess	38,29	24,94	34,89	1,88
Mendong Gendarmerie	MdG	38,75	15,42	43,97	1,86
Université ENSP	Uyl-Ensp	26,57	16,47	55,18	1,78
Lac Efulan	LacEF	43,02	15,32	40,07	1,59
Biyem Assi Lac	LacBA	54,58	15,42	28,42	1,58
Centre hospitalier universitaire	CHU	31,17	17,67	49,58	1,58
Hôpital de la Casse	Hce	33,25	27,60	37,79	1,36
Biyem Assi NIKI	Niki	38,75	21,25	39,13	0,87

Le tableau III.6.3 révèle que sur les 10 premiers sites dont les teneurs en matières organiques sont supérieures à 2%, la moitié comporte un lac ou un étang (*Lac municipal, Nkol Bisson, Mendong Lycée, Nsimeyong Montée Jouvence et Rond point Bastos*) et l'autre moitié est constitué de zones humides à inondation permanente ou fortement sollicitée en amont (*Cité des nations, Mendong Ecole, et Djongolo CEPER, Hôpital général et Olézoa*).

III.6.2.3.2. Les ensembles texturaux

La classification des sols des zones humides étudiées en fonction de leur vraisemblance texturale est représentée par la figure III.5.8.

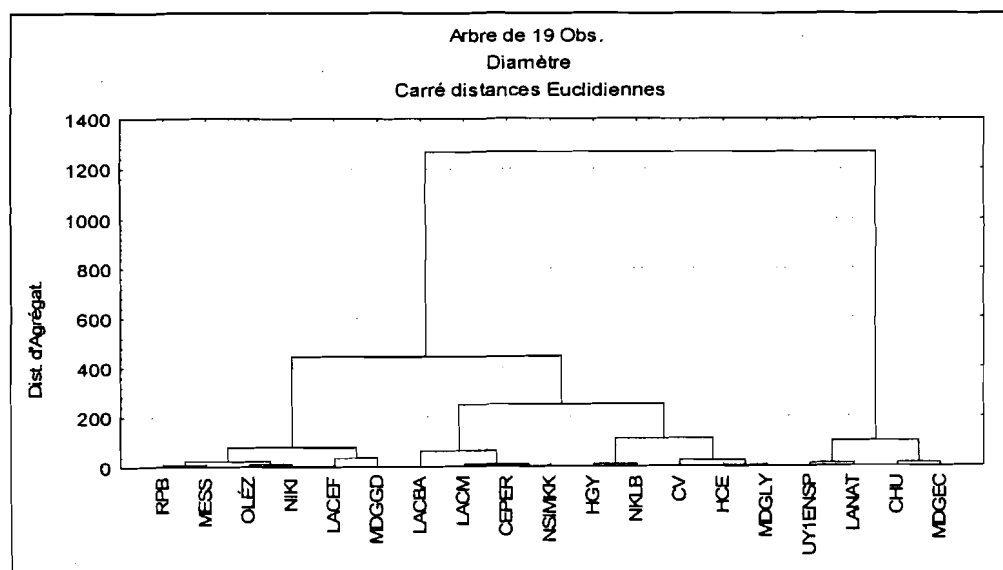


Figure III.6.8 : Classification des zones humides selon la classe texturale

Le tableau III.6.4 présente les distances de chaque site au centre de gravité de la classe correspondante (distance intra – classe) et les distances de ces centres de gravité à la diagonale (distance inter – classe)¹.

Tableau III.6.4 : Classification des zones humides en fonction des classes et distances intra – classes

CLASSE	Distances Euclidiennes Intra – classe		Distances Euclidiennes Inter – classe			
	<i>Composition</i>	<i>Distance</i>	<i>Classe n°1</i>	<i>Classe n°2</i>	<i>Classe n°3</i>	<i>Classe n°4</i>
Classe n°1	Mendong Lycée (MdgLy)	2,90	0,00	48,14	19,85	216,68
	Cité Verte (Cv)	1,53				
	Nkol Bisson (NkIB)	3,21				
	Hôpital de la Caisse (Hce)	2,60				
	Hôpital général (Hgy)	3,21				
Classe n°2	Mendong Gendarm (MdgGd)	2,37	6,94	0,00	40,68	66,34
	Biyem Assis Niki (NIKI)	1,0				
	Lac Efulan (LacEf)	3,11				
	Olézoa (Oléz)	0,76				
	Messa (Mess)	1,84				
	Rond point Bastos (RpB)	2,42				
Classe n°3	Nsimyong Jouv (NsimKK)	1,37	4,45	6,38	0,00	208,02
	Lac Biyem Assi (LacBA)	3,39				
	Lac municipal (LacM)	1,55				
	Djongolo (Ceper)	1,21				
Classe n°4	Mendong Ecole (MdgEc)	2,99	14,72	8,14	14,42	0,00
	Lac Cité Nations (LacNat)	3,01				
	Centre Hospitalier Univ. (CHU)	2,77				
	Université ENSP (YyIENSP)	2,73				

La comparaison intra – classe se fonde sur le principe selon lequel, le site, ayant une distance euclidienne au centre de la classe la plus faible, sera représentatif de la classe. La comparaison inter – classes considère que 2 classes ont un maximum de vraisemblance lorsque la distance euclidienne qui sépare leurs centres de gravité respectifs est relativement faible. En appliquant ces principes aux données du tableau III.6.4, il se dégage clairement 4 classes de zones humides ayant entre eux un maximum de vraisemblance texturale :

- la classe texturale de la Cité Verte influence la Classe n°1 beaucoup plus que l'Hôpital de la Caisse, Mendong Lycée et Nkol Bisson ;
- la classe texturale de Olézoa et dans une certaine mesure celle de Biyem Assis NIKI sont représentatives de la Classe n°2 beaucoup plus que celles de Messa, Mendong Gendarmerie, Rond point Bastos et Efulan Lac ;
- la Classe n°3 est sous l'influence de Djongolo CEPER beaucoup plus que celle de, Nsimyong Montée Jouvence, Lac municipal et Lac de Biyem Assi ;
- la Classe n°4 est influencée par la texture moyenne du Centre Hospitalier Universitaire (CHU), beaucoup plus que Université ENSP, Mendong Ecole et Cité Nations

Ainsi, les classes n°1 et n°3 ont des textures beaucoup plus proches qu'elles ne le sont avec les

¹ ces variables sont établies à partir du module *NUYES DES POINTS DYNAMIQUE* du logiciel *STATISTICA*.

classes n°2 et n°4, et vice versa.

La figure III.6.9 présente le tracé moyen de chaque classe du tableau III.6.3 en fonction des fractions moyennes pondérées des caractéristiques de la texture du sol considérée.

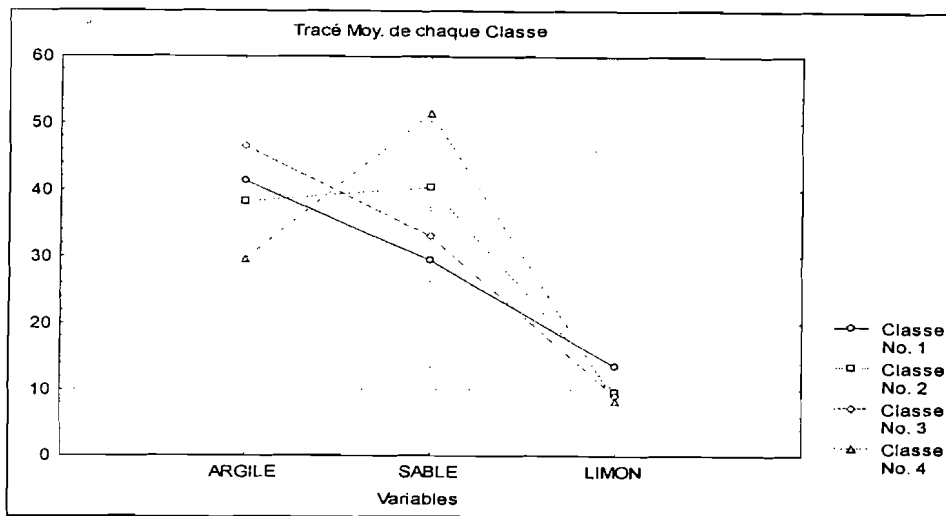


Figure III.6.9 : Différentes classes en fonction de la texture des sols

De cette figure, nous retenons la composition moyenne suivante pour chaque classe :

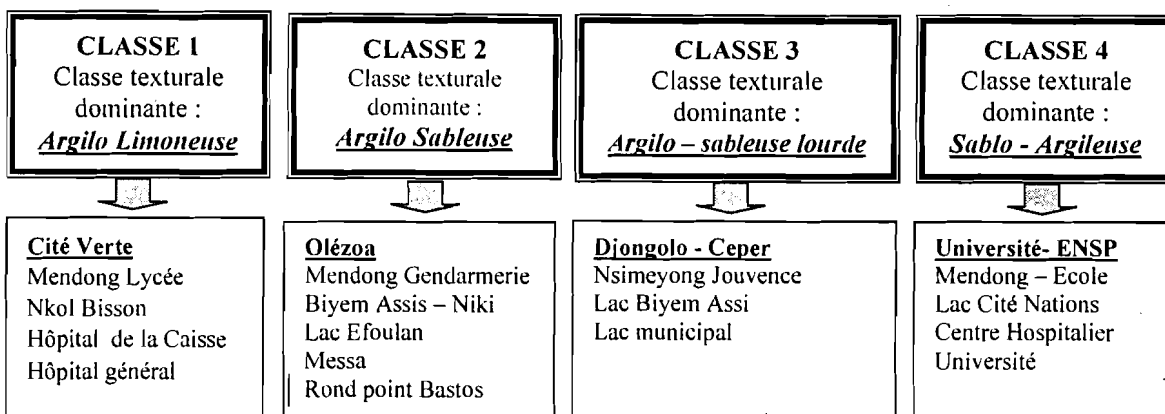


Figure III.6.10 : Classification des sites selon les textures des sols des zones humides.

III.6.3. DISCUSSION SUR L'ASPECT TEXTURE DE SOL DANS LES ZONES HUMIDES DE YAOUNDE

Ce volet montre la variabilité des classes texturales et la complexité de la combinaison des composantes principales que sont les argiles, les limons (fin ou gros) et les sables (fins ou gros). Dans l'ensemble, l'horizon superficiel des sols des zones humides de Yaoundé est à dominance argileuse et se regroupe dans la classe des sols argileux à argilo sableux

De par sa nature, l'argile présente un pouvoir adsorbant et une capacité de rétention d'eau importante permettant aux sols des zones humides d'assurer l'alimentation en eau des plantes, le développement racinaire et les échanges anioniques. De plus, la présence des argiles, en des fractions importantes dans ces zones humides, est un atout majeur susceptible d'être exploité

dans le cadre de la mise en place des stations d'épuration naturelles pendant les phases pilotes de vulgarisation des systèmes extensifs d'épuration. Bien compactés et/ou stabilisés, l'utilisation de ces matériaux peut contribuer à minimiser les coûts de réalisation de ces systèmes [Kégné, 2000 ; CEREVE – EIER, 2002].

De par son relief très accidenté, Yaoundé dispose de plusieurs zones de dépression qui matérialisent les zones humides couvrant des superficies relativement importantes. Ces écosystèmes peuvent servir de sites d'implantation des stations d'épuration naturelle moyennant des aménagements spécifiques en vue de consolider l'étanchéité des ouvrages et de faciliter l'écoulement des effluents dans l'écosystème d'épuration et leurs rejets dans le milieu naturel.

L'étude montre que la plupart des zones humides représentent des écosystèmes de faible pente avec d'importantes discontinuités du fait de la présence de bosses, de creux et des activités anthropiques le long de leurs parcours. Cette topographie particulière est à l'origine de la grande variabilité, même en saison sèche, du régime d'écoulement des eaux de surface qui irriguent ces zones humides. De l'avis de plusieurs auteurs, cette variabilité est susceptible d'une part, de conditionner un microclimat particulier et d'entraîner une diversité du degré de submersion du milieu et d'autre part, de jouer un rôle essentiel dans la détermination de la végétation qui se développe dans les zones humides [Radoux, 1977 et Ennabili, 1999, citant Lacoste et al. (1969), Grosselvitte et al., (1978), Atbib (1979), Breen et al. (1988), Naomi et al. (1994)].

De ce qui précède, nous retenons que les plantes peuvent se développer tout au long de l'année à Yaoundé comme c'est le cas dans les régions de climat tropical humide.

III.7. ETUDE PHYTOSOCIOLOGIQUE DES ZONES HUMIDES DE YAOUNDE

Les espèces végétales des zones humides de Yaoundé se développent dans un contexte de forte charge de pollution. Le présent paragraphe analyse les résultats obtenus dans 19 sites et présente de manière synthétique quelques macrophytes dont les rôles épuratoires ont déjà été prouvés ou sont en cours d'expérimentation en Afrique et dans le Monde. Ce paragraphe s'achève par un aperçu du rôle auto épurateur constaté dans quelques zones humides étudiées.

III.7.1. STATISTIQUES SUR LES MACROPHYTES DES ZONES HUMIDES DE YAOUNDE

III.7.1.1. Analyse de l'homogénéité floristique

En phytosociologie classique, Guinochet (1973) énonce qu'il est d'usage de se fixer 5 classes de présence des espèces dans les différents relevés selon la grille du tableau III.7.1 :

Tableau III.7.1 : Classes de présence des espèces [Guinochet, 1973].

Classe	Nombre d'espèces présentes dans les relevés
Classe I	1 à 20%
Classe II	21 à 40%
Classe III	41 à 60%
Classe IV	61 à 80%
Classe V	81 à 100%

L'histogramme des fréquences, qui en découle, permet d'évaluer le caractère homogène ou non de l'association végétale étudiée (figure III.7.1). Ainsi, une telle association est dite homogène quand la courbe corrélée à l'histogramme est de type unimodal avec une allure en U ou bien constamment descendante, vers la gauche ou vers la droite, sans irrégularité trop marquée. Cette association est hétérogène si cette courbe est fortement sinueuse [Guinochet, 1973].

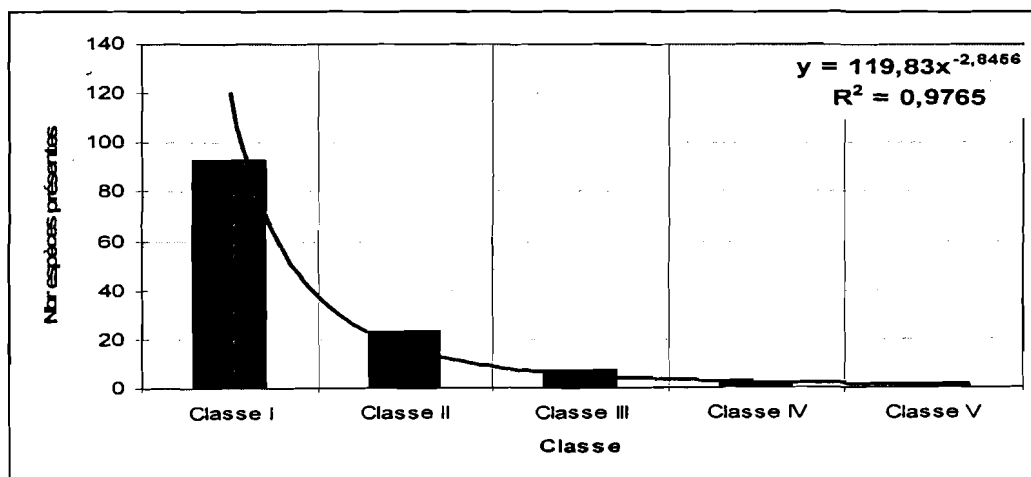


Figure III.7.1 : Histogramme des fréquences des espèces végétales des zones humides étudiées selon les classes. Partant de ces principes, nous avons élaboré la figure III.7.1 à partir de nos relevés. L'histogramme correspondant peut être corrélé par la courbe constamment descendante vers la

droite (figure III.7.1). Ainsi, sur l'ensemble des 19 relevés de l'échantillon, les surfaces de végétation (soit un total de 3 648 m²) que nous avons étudiées sont homogènes.

III.7.1.2. Analyse de la distribution géographique et inter - spécifique

Sur l'ensemble des relevés, 388 échantillons de plantes ont été récoltés. Ces échantillons ont été identifiés à partir de la flore de l'Herbier National du Cameroun, complétée, dans certains cas, par la Flore de l'Afrique de l'Ouest élaborée par Hutchinson et Dalziel entre 1954 et 1972. Cette identification a permis de constituer un total de 126 espèces distinctes appartenant à 44 familles et inégalement réparties sur l'ensemble des 19 relevés :

- 7 relevés sur 19 concentrent près de 55% du total des espèces : *Hôpital général de Yaoundé, Lac Cité des Nations, Lac du CHU, Université de Yaoundé 1 ENSP, Rond point Bastos, Mendong Ecole et Mendong Gendarmerie* ;
- 5 relevés regroupent environ 27% du total des espèces : *Lac Efoulan, Djongolo CEPER, Mendong Lycée, Lycée technique de Nkol Bisson et Lac Municipal* ;
- 7 sites renferment moins de 19% des espèces : *Biyem Assi NIKI, Olézoa, Nsimeyong Montée Jouvence, Biyem Assi Lac, Messa, Cité verte et Hôpital de la Caisse*.

A cette inégalité de la distribution spatiale s'ajoute l'irrégularité de la répartition de ces espèces selon les familles :

- la première catégorie de famille concerne les *Poaceae* qui compte 21 espèces identifiées, soit 17% de l'ensemble des observations ;
- la seconde catégorie, représentée par les *Asteraceae* (15 espèces) et les *Cyperaceae* (12 espèces), compte 19% du total des observations ;
- la troisième catégorie est constituée de *Convolvulaceae* (7 espèces), *Onagraceae* (5 espèces), *Amaranthaceae* et *Commelinaceae*, *Cucurbitaceae*, *Euphorbiaceae*, (avec 4 espèces chacune) et renferme près de 22% du total des espèces ;
- la quatrième catégorie concerne les 26 familles restantes qui renferment environ 26% du nombre total des espèces relevées sur les sites.

III.7.2. ANALYSE DE LA REPARTITION EN FONCTION DE LA ZONATION HORIZONTALE

Les zones humides de Yaoundé sont, soit des milieux lotiques (inondés ou irrigués par des cours d'eau) dont le renouvellement des eaux est régulier et relativement rapide, soit des milieux

lentiques (lacs et étangs) pour lesquels le renouvellement des eaux est lent ou apparemment absent. En bordure de ces écosystèmes, l'humidité varie selon l'importance du niveau de l'eau.

A partir de la zonation horizontale observée dans chaque site, nous avons regroupé les plantes aquatiques en 3 catégories : les plantes terrestres, les plantes semi-aquatiques et les plantes aquatiques flottantes ou submergées (figure III.7.2).

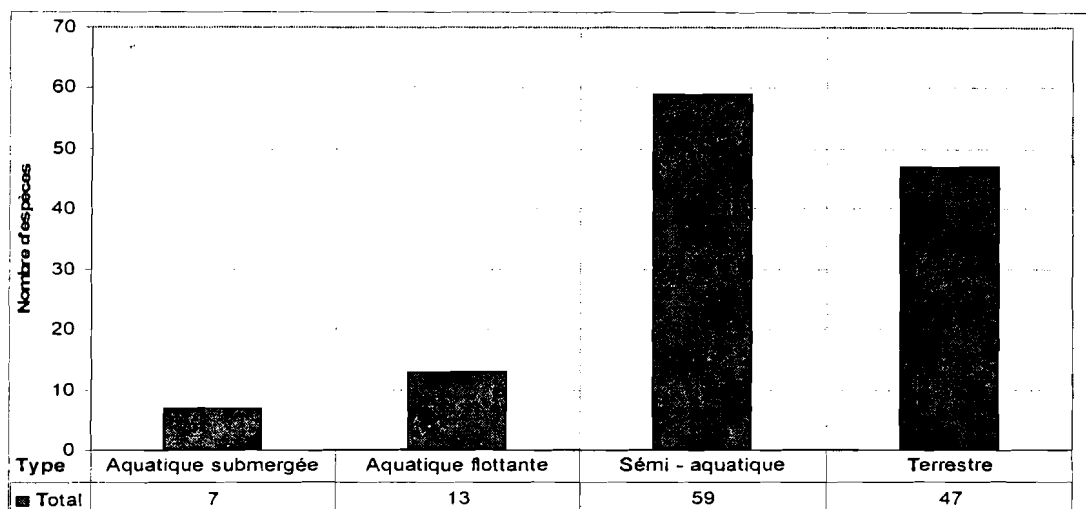


Figure III.7.2 : Répartition des plantes aquatiques en fonction de leur localisation dans la zone humide

Ainsi, l'importance de chaque catégorie d'espèces végétales se présente comme suit :

- les plantes terrestres représentent environ 37% du nombre des espèces identifiées,
- les plantes semi – aquatiques sont majoritaires avec environ 47% des cas identifiées,
- les plantes aquatiques, flottantes ou submergées, constituent 16% des cas identifiés.

Les plantes terrestres des milieux humides

Ces plantes se rencontrent en bordure des zones humides et regroupent :

- <i>Ageratum conyzoides</i> linn	- <i>Hausska</i> sp	- <i>Ludwigia de-currens</i>	- <i>Pteridium quilinum</i>
- <i>Alchornea</i> sp	- <i>Eragrostis aspera</i>	- <i>Lycopodium cernuum</i> L	- <i>Rhynchosia resinosa</i>
- <i>Amaranthus spinosus</i>	- <i>Eragrostis tremula</i>	- <i>Mikania cordata</i>	- <i>Solanum torvum</i>
- <i>Asystasia</i> sp	- <i>Galinsoga ciliata</i>	- <i>Mimosa</i> sp	- <i>Spermacoce</i> sp
- <i>Bidens pilosa</i>	- <i>Hypselodelphys violacea</i>	- <i>Momordica foetida</i>	- <i>Spilanthes africana</i>
- <i>Brassica integrifolia</i>	- <i>Impatiens</i> sp	- <i>Monordica</i> sp	- <i>Synedrella nodiflora</i>
- <i>Bulbostylis barbata</i>	- <i>Ipomoea batata</i>	- <i>Panicum pansum</i>	- <i>Titonia diversifolia</i>
- <i>Calopogonium mucunoides</i>	- <i>Ipomoea bracteata</i>	- <i>Paspalum serot-culatum</i>	- <i>Triplotaxi</i> sp
- <i>Centrosema pubescens</i>	- <i>Ipomoea alba</i>	- <i>Pennisetum polystaetion</i>	- <i>Tristema mauricana</i>
- <i>Corchorus fascicularis</i>	- <i>Ipomoea involucrata</i>	- <i>Phyllanthus amarus</i>	- <i>Triumpheta pentandra</i>
- <i>Cyathula ach</i>	- <i>Lantana camara</i> linn	- <i>Phyllanthus</i> sp	- <i>Vernonia</i> sp
- <i>Epilobium salignum</i>	- <i>Ludwigia adscendens</i>	- <i>Pouzolsia guineensis</i> benth	- <i>Zchneria capillacea</i>

Leurs racines, qui apprécient la proximité de l'eau, tolèrent les variations de niveau d'eau mais ne supportent pas l'immersion prolongée.

Les plantes semi – aquatiques

Cette catégorie comprend les espèces enracinées ci-dessous et qui se développent dans des zones à inondation plus ou moins permanente.

- <i>Alchornea cordifolia</i>	- <i>Costus afer</i>	- <i>Eragrostis cilianensis</i>	- <i>Odenlandia lancifolia</i> dc
- <i>Alternanthera maritima</i>	- <i>Cucumis melo</i>	- <i>Impatiens basalmia</i>	- <i>Paspalum paniculatum</i> linn
- <i>Aneilema lanceolatum</i>	- <i>Cyathula prostrata</i>	- <i>Ipomoea aquatica</i>	- <i>Pennisetum purpureum</i>
- <i>Arthropteris</i> sp	- <i>Cyperus aloperculoides</i>	- <i>Ipomoea eriocarpa</i>	- <i>Phragmites australis</i>
- <i>Asystasia gangetica</i>	- <i>Cyperus distans</i> linn	- <i>Ipomoea</i> sp	- <i>Polygonum</i> sp
- <i>Brachiaria lata</i>	- <i>Cyperus papyrus</i> linn	- <i>Jathorhiza macrantha</i>	- <i>Pteris atrovirens</i>
- <i>Brachiaria villosa</i>	- <i>Cyperus rotundus</i>	- <i>Kyllinga pumila</i>	- <i>Raphia palma-pinus</i>
- <i>Brillantaisia</i> sp	- <i>Cyperus</i> sp	- <i>Launaea cornuta</i>	- <i>Rhynchospora corymbosa</i>
- <i>Chromolaena odorata</i>	- <i>Cyrtosperma senegalense</i>	- <i>Leersia hexandra</i>	- <i>Scleria racemosa</i> poir
- <i>Clematis</i> sp	- <i>Dinebra retriflexa</i>	- <i>Mariscus squarrosus</i>	- <i>Scleria sphaerocarpa</i>
- <i>Coix lacryma-jobi</i> linn	- <i>Drymoeria cordata</i>	- <i>Melinis repens</i>	- <i>Setaria verticillata</i>
- <i>Combretum racemosum</i>	- <i>Echinochloa cruspavonis</i>	- <i>Melinis</i> sp	- <i>Sida rhombifolia</i>
- <i>Commelina benghalensis</i>	- <i>Echinochloa</i> sp	- <i>Mimosa invisa</i>	- <i>Teramnus</i> sp
- <i>Commelina niaritana</i>	- <i>Emilia coccinea</i>	- <i>Mimosa pudica</i>	- <i>Voacanga thouarsii</i>
- <i>Commelina nudiflora</i>	- <i>Emilia praetermissa</i>	- <i>Mitragyna stipylota</i>	

Leurs racines sont dans l'eau et le reste se trouve hors de l'eau. Elles aiment l'humidité, supportent l'immersion prolongée et tolèrent les variations de niveau d'eau.

Les plantes aquatiques

Cette catégorie se compose des plantes aquatiques flottantes et des plantes submergées.

Les plantes aquatiques flottantes (ou à feuilles flottantes) sont des espèces non enracinées qui voguent librement sur l'eau. Formant un tapis épais en surface, elles créent de l'ombrage, empêchent ainsi la pénétration de la lumière et donc la prolifération des algues. Ce groupe, qui représente 11% de l'échantillon récolté, se compose de :

- <i>Azolla africana</i>	- <i>Enydra fluctuans</i>	- <i>Nymphaea lotus</i>
- <i>Ceratopteris cornuta</i>	- <i>Hydrocharis chevalieri</i>	- <i>Pistia stratiotes</i>
- <i>Echinochloa colona</i>	- <i>Hydrocharis ranunculoides</i>	- <i>Thalia welwitschii</i>
- <i>Echinochloa pyramidalis</i>	- <i>Lemna paucicaustata</i>	- <i>Typha latifolia</i>
- <i>Eichhornia crassipes</i>	- <i>Lemna</i> sp	

Les plantes aquatiques submergées représentent 5% des observations et regroupent toutes les espèces dont les racines et le feuillage se développent sous l'eau. Certaines sont enracinées dans le sol et d'autres flottent. Parmi ces plantes vivaces nous avons :

- <i>Ceratophyllum demersum</i>	- <i>Ludwigia</i> sp	- <i>Polygonum senegalense</i>
- <i>Ludwigia hyssopifolia</i>	- <i>Luffa cylindrica</i>	- <i>Utricularia foliosa</i>

III.7.3. MATRICE D'ABONDANCE – DOMINANCE ET GROUPEMENTS VEGETAUX

La matrice dite de « Présence – Absence » est généralement utilisée en phytosociologie pour situer la présence ou non d'une espèce dans un relevé donné. Cependant, elle ne renseigne pas sur l'importance de la couverture spatiale de ces espèces ni de leur groupement ou de leur cohabitation en fonction des conditions du milieu (anthropisation, hydrologie, facteurs climatiques, pédologiques et de pollution) comme c'est le cas avec la matrice dite « Abondance – Dominance » (tableau III.7.2).

La définition des groupements des végétaux a été prioritairement faite sur la base de la composition spécifique, faisant appel à deux indices de base : *l'indice d'abondance – dominance*, qui détermine la proportion relative des individus d'une espèce donnée et la surface couverte par cette espèce et *l'indice de sociabilité*, qui tient compte du mode d'organisation et de regroupement ou non des individus au sein d'une communauté (Lacoste et al., 1969, in WEB 14 ; Radoux, 1977 ; Ennabili, 1999).

A titre indicatif, les conditions du milieu, fortement perturbées dans les zones humides étudiées, sont également associées dans ce processus à partir de la légende suivante :

Critères	Légende	Critères	Légende
<i>Degré d'anthropisation :</i>	A1 → Faible ou moyen A2 → Moyennement accentué A3 → Elevé	<i>Degré d'inondation et Hauteur² d'eau :</i>	P3 → Permanent et Important P2 → Permanent et Moyen T2 → Temporaire ³ et Moyen T1 → Temporaire et Faible
<i>Texture du sol :</i>	A → Argile franche A1 → Argilo-sableuse As → Argilo-sableuse lourde AS → Argilo-sableuse	<i>Niveau de pollution (degré de minéralisation et importance des matières organiques et du phosphore) :</i>	1.1 → Très Faible et Faible 2.1 → Moyen et Faible 2.2 → Moyen et Moyen 4.3 → Accentué et Elevé

Sur la base de ces critères, le remaniement de la position des espèces végétales nous a permis d'en effectuer l'ordonnancement délimitant, si possible, les classes qui correspondent à des discontinuités floristiques plus ou moins bien tranchées. Le résultat de cette opération est la matrice d'abondance – dominance (tableau III.7.2) où chaque colonne représente un seul relevé.

² Classement extrait du Tableau III.6.1 : Important → H ≥ 40cm ; Moyen → H compris entre 20 et 40cm ; Faible → H < 20cm

³ Caractère d'hydromorphie très peu marqué, notamment en saison sèche et Inondation de courte durée (quelques heures ou quelques jours, principalement après les événements pluvieux).

Tableau III.7.2 : Matrice Abondance – Dominance (Juillet à Novembre 2001) selon l'échelle de Braun Blanquet (in Salle, 1985 ; Yonkeu, 1993)

Relevé	CHU	ENSP	LaN	LaM	MdG	MdL	LaE	MgE	Hcc	RpB	NkIB	Ceper	Nsim	Hgy	Mess	Oléz	Niki	Cv	LaBa
Altimétrie (m)	747	750	730	738	704	700	710	724	730	773	723	735	713	741	740	730	718	741	713
Anthropisation	A2	A2	A3	A3	A2	A1	A2	A2	A3	A1	A3	A3	A2	A3	A3	A2	A2	A3	A2
Hauteur d'eau et Hydromorphie	P3	P3	P3	P3	P3	P2	P3	P2	P2	P3	P3	T2	P3	T2	P2	T1	P3	T2	T1
Texture	AS	AS	As	A	As	Al	As	AS	Al	As	A	A	A	A	As	As	As	As	A
Pollution	2.2	2.2	2.2	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	2.1	1.1	2.1	2.1	2.1	2.1	4.3	2.2	2.1	4.3	2.1
Indice de ociabilité	3	4	4	3	4	4	3	4	3	3	3	4	4	2	3	4	4	5	5

GROUPE 1 : Groupe d'espèces caractéristiques des milieux lenticues

Echinochloa pyramidalis	5	4	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Ipomoea aquatica	3	3	3	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Leersia hexandra	4	2	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Enydra fluctuans	2	3	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Ceratophyllum demersum	2	2	2	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Commelina nudiflora	2	2	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lemna paucicaustata	2	2	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Pteris atrovirens	2	2	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Thalia welwitschii	2	2	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Pistia stratiotes	1	1	1	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Ceratopteris cornuta	2	2	1	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Hydrocaris chevalieri	1	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Azolla africana	1	1	1	1	.	1	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.
Hydrocaris ranunculoide	1	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Jathorhiza macranta	3	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lemna Sp	.	.	2	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.
Ipomoea involucreta	.	.	.	3	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

GROUPE 2.1 : Différentielles des sols à caractère d'hydromorphie engorgée et fortement polluées

Mitragyna stipylosa	.	.	.	1	2	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Scleria racemosa poir	.	.	1	.	2	1	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Cyperus sp	.	.	.	2	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Emilia praetermissa	.	.	.	2	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Impatiens sp	.	.	.	.	.	2	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Odenlandia lancifolia dc	.	.	.	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Calopogonium mucunoide	.	.	.	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

GROUPE 2.2 : Différentielles des sols à caractère d'hydromorphie moyenne peu profonde et moyennement polluées

Titonia diversifolia	.	.	.	.	.	.	.	.	2	2	.	3	.	3	.	.	.	.	.
Centrosema pubescens	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	1	1	.	.	.	.	.	.
Asystasia sp	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	2	.	.	1	.	.	.	.
Corchorus fascicularis	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	1	1	.	.	.	.	.	.
Ipomoea cf alba	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.
Eragrostis ciliaris	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	.	2	.	.	.	.	.	.
Echinochloa colona	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	2	.	.	.
Amaranthus spinosus	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.

GROUPE 2 : Groupe d'espèces caractéristiques des zones lotiques à hydromorphie marquée

Mimosa pudica	.	.	2	2	.	2	.	2	.	2	.	2	.	2	.	.	.	.	.
Brachiaria lata	.	.	1	2	.	2	.	.	.	.	.	.	1	2	.	.	.	.	.
Pennisetum polystaetion	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.
Chromolaena odorata	.	.	3	.	.	.	.	.	1	.	.	.	2	1	.	.	.	.	.
Cyathula prostrata	.	.	.	.	2	.	.	.	2	2	.	.	.	1	.	.	.	.	.
Rhynchospora corymbosa	.	.	1	.	2	2	.	.	.	4	.	3	2	.	.	.	.	.	.
Alchornea cordifolia	.	.	.	.	1	.	2	.	2	2	1	.	.	.	.	.	3	.	.
Phragmite australis	1	.	.	.	.	2	.	.	.	1	.	.	.	2	.	.	.	.	.
Cyperus rotundus	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.
Asystasia gangetica	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	2	.	1	.	.	.	.	.
Phyllanthus sp	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.
Triumpheta pentandra	.	.	.	.	.	.	.	1	.	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.
Phyllanthus amarus	.	.	.	.	.	2	.	.	.	2	.	.	.	3	.	.	.	.	.
Combretum racemosum	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.
Commelina benghalensis	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.
Teramnus sp	.	.	.	.	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.
Emilia coccinea	.	.	.	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.

GROUPE 3 : Groupe d'espèces caractéristiques des zones humides de Yaoundé (fond floristique des zones humides)

Pennisetum purpureum	2	2	1	3	3	3	3	3	4	3	2	2	2	2	3	3	3	4	4
Echinochloa crusgavonis	3	3	2	3	.	.	2	.	4	2	4	.	2	2	3	3	2	3	3
Echinochloa sp	.	.	3	3	2	3	2	2	.	2	3	2	2	2	.	.	.	.	2
Ludwigia sp	2	2	2	.	.	.	2	.	.	2	.	.	.	2	.	3	3	.	2
Cyperus distans lium f	.	3	2	2	2	2	2	2	.	2	.	.	.	2	2	2	.	.	.
Artropteris sp	1	.	1	1	2	2	2	1	2	.	2	2	2	.	.	.	.	.	.
Aneilema lanceolatum	.	.	2	.	.	.	.	1	.	1	1	.	.	1	1	1	1	.	.
Raphia palma-pinus	1	1	.	.	2	1	.	.	.	1	2	1	.	2	1	.	.	.	.
Costus afer	.	.	2	2	2	2	2	2	.	2	2	2	.	.	.	.	2	.	.

Tableau III.7.2 : Matrice Abondance – Dominance selon l'échelle de Braun Blanquet (suite/fin)

Relevé	CHU	ENSP	LaN	LaM	MdG	MdL	LaE	MgE	Hce	RpB	NkIB	Ceper	Nsim	Hgy	Mess	Oléz	Niki	Cv	LaBA
Altimétrie (m)	747	750	730	738	704	700	710	724	730	773	723	735	713	741	740	730	718	741	713
Anthropisation	A2	A2	A3	A3	A2	A1	A2	A2	A3	A1	A3	A3	A2	A3	A3	A2	A2	A3	A2
Hauteur d'eau et Hydrographie	P3	P3	P3	P3	P3	P2	P3	P2	P2	P3	P3	T2	P3	T2	P2	T1	P3	T2	T1
Texture	AS	AS	AS	A	AS	AI	AS	AS	AI	AS	A	A	A	A	AS	AS	AS	AS	A
Pollution	2.2	2.2	2.2	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	2.1	1.1	2.1	2.1	2.1	2.1	4.3	2.2	2.1	4.3	2.1
Indice de ociabilité	3	4	4	3	4	4	3	4	3	3	3	4	4	2	3	4	4	5	5

GROUPE 4 : Espèces compagnes des zones humides de Yaoundé

Panicum panicum				3	2	3		3			2			2		3		3	
Nymphaea lotus	2	2	3	2			3				1		3						
Luffa cylindrica	3						2							2	2	2		2	
Momordica foetida				1										1			1	2	1
Mikania cordata								1				1			2				
Cyrtosperma senegalense	1	2	1									2		2					
Cyperus papyrus linn	2	5															5		
Typha latifolia			1									1							
Eichhornia crassipes			2									3							
Spilanthes africana			1											2					
Impatiens basalmina	2			2						3	4	2	3	2					
Ipomoea sp				2		3					2	2					2		
Ipomoea eriocarpa	2						2					2							
Hypselodelphys violacea	1		1		1			1						1					
Brachiaria villosa			2												2				
Polygonum sp		2		2							2				2				
Launnaea cornuta		1						1									1		
Coix lacryma-jobi linn			1																1
Cyperus aloperculoides				2													3		2
Mariscus squarrosus	1						1									2			

GROUPE 5 : Espèces rares des zones humides de Yaoundé

Dinebra retriflexa												1							
Scleria sphaerocarpa												1							
Rynchosia resinosa																	2		
Lantana camara linn											1								
Cyathula ach										2									
Ludwigia adscendens										2									
Mimosa sp										2									
Alchornea sp										2									
Brassica cf integrifolia										1									
Monordia sp										1									
Vernonia sp										1									
Eragrostis aspera								2											
Ipomoea batata								2											
Kyllinga pumila								2											
Paspalum paniculatum linn								2											
Pouzolsia guineensis benth								2											
Brillantaisia sp								1											
Clematis sp								1											
Drymoeria cordata								1											
Eragrostis tremula						2													
Bulbostylis barbata						1													
Ipomoea bracteata					2														
Pteridium aquilinum					2														
Galinsoga ciliata					1														
Lycopodium cernuum l					1														
Paspalum serot culatum					1														
Tristena mauriciana					1														
Zehneria capillacea					1														
Ludwigia de currens															3				
Ageratum conyzoides linn														1					
Bidens pilosa														1					
Spermacoe sp														2					
Solanum torvum														1					
Synedrella noldiflora														1					
Triplotaxi sp														1					
Ludwigia hyssopifolia							2												
Mimosa invis			2																
Sida rhombifolia			1																
Utricularia foliosa			1																
Melinis repens	1																		
Epilobium salignum hausska		1																	
Setaria verticillata		1																	
Voacanga thouarsii		1																	
Melinis sp																2			
Commelina niaritana																			1
Cucumis melo									1										
Polygonum senegalense									3										

La matrice Abondance – Dominance (tableau III.7.2) montre que les 126 espèces récoltées dans

les zones humides de Yaoundé constituent 5 groupements végétaux :

1. Le **Groupement à *Echinochloa pyramidalis***, Caractéristiques des milieux lenticues, moyennement ou fortement chargés et à degré d'anthropisation moyennement accentué, indépendamment de la nature du substratum. En plus des plantes terrestres (*Ipomea involucreta*) et semi-aquatiques (*Commelina nudiflora*, *Ipomea aquatica*, *Jathorhiza macranta*, *Leersia hexandra*, *Pteris atrovirens*), ce groupement est constitué des plantes submergées (*Ceratophyllum demersum*) et flottantes (*Azolla africana*, *Ceratopteris cornuta*, *Echinochloa pyramidalis*, *Hydrocharis chevalieri*, *Hydrocharis ranunculoide*, *Lemna paucicaustata*, *Lemna* sp, *Pistia stratiotes*, *Thalia welwitschii*). Ces plantes sont regroupées, soit en colonies ou tapis importants (à Obili CHU et Lac Municipal), soit en nappes continues ou peuplements denses (à Université ENSP et Lac Nation).

2. Le **Groupement à *Mimosa pudica***, Caractéristiques des zones lotiques à hydromorphie marquée, faiblement ou fortement chargées. L'inondation y est permanente ou temporaire de longue durée et l'action anthropique y est moyennement accentuée. Ce groupement renferme les plantes semi-aquatiques (*Alchornea cordifolia*, *Asystasia gangetica*, *Bracharia lata*, *Chromolaena odorata*, *Combretum racemosum*, *Commelina benghalensis*, *Cyathula prostrata*, *Cyperus rotundus*, *Emilia coccinea*, *Mimosa pudica*, *Phragmites australis*, *Rhynchospora corymbosa*, *Teramnium* sp) et les plantes terrestres (*Pennisetum polystaetion*, *Phyllanthus* sp, *Phyllanthus amarus*, *Triumpheta pentandra*). Deux sous – groupements en font partie :
 - le **Sous – groupement à *Mitragyna stipylosa***, Différentielles des zones lotiques à caractère d'hydromorphie engorgée et fortement pollués. L'inondation y est permanente avec des hauteurs d'eau moyennes ou élevées. Ces relevés ont un degré d'anthropisation faible ou moyennement accentué. Ce sous – groupement comporte les plantes semi – aquatiques (*Emilia praetermissa*, *Cyperus* sp, *Impatiens* sp, *Mitragyna stipylosa*, *Odenlandia lancifolia* dc, *Scleria racemosa* poir) et terrestres (*Calopogonium mucunoides*).
 - le **Sous – groupement à *Titonia diversifolia***, Différentielles des zones lotiques à caractère d'hydromorphie moyenne peu profonde et moyennement polluées. Les hauteurs d'eau sont moyennes ou faibles et l'inondation temporaire. Les plantes aquatiques flottantes (*Echinochloa colona*), semi-aquatiques (*Asystasia* sp, *Eragrostis cilianensis*) et terrestres (*Amaranthus spinosus*, *Centrosema pubescens*, *Corchorus fascicularis*, *Ipomea alba*, *Titonia diversifolia*) constituent ce sous – groupement ;

3. Le **Groupement à *Pennisetum purpureum***, Caractéristique des zones humides de Yaoundé, puisqu'elles sont présentes dans plus 50% des relevés. Ce groupement, qui constitue en fait le fond floristique commun des zones humides de Yaoundé, est composé

des plantes aquatiques submergées (*Ludwigia* sp) et des plantes semi – aquatiques (*Aneilema lanceolatum*, *Arthropteris* sp, *Costus afer*, *Cyperus distans* linn f, *Echinochloa crusgavonis*, *Echinochloa* sp, *Raphia palma-pinus*). Ce fond floristique important témoigne le fait que la végétation des zones humides de Yaoundé forme une sorte de continuum dont la différenciation est liée à quelques facteurs anthropiques (sollicitation, pollution) et à l'humidité (présence permanente ou non de l'eau).

4. Le **Groupement à *Panicum pansum***, Compagnes des zones humides, composé dans plantes aquatiques flottantes (*Nymphaea lotus*, *Typha latifolia*, *Eichhornia crassipes*) semi-aquatiques (*Impatiens basalmia*, *Brachiaria villosa*, *Polygonum* sp, *Launnaea cornuta*, *Coix lacrymajobi* linn, *Cyperus aloperculoides*, *Cyperus papyrus* linn, *Cyrtosperma senegalense*, *Ipomoea eriocarpa*, *Mariscus squarrosus*) et des plantes terrestres (*Luffa cylindrica*, *Ipomoea* sp, *Hypselodelphys violacea*, *Momordica foetida*, *Mikania cordata*, *Panicum pansum*, *Spilanthes africana*) ;
5. **Les espèces rares** constituées des plantes aquatiques flottantes (*Polygonum senegalense*), aquatiques submergées (*Ludwigia hyssopifolia*, *Utricularia foliosa*), semi – aquatiques (*Brillantaisia* sp, *Clematis* sp, *Commelina niaritana*, *Cucumis melo*, *Dinebra retriflexa*, *Drymoeria cordata*, *Kyllinga pumila*, *Melinis repens*, *Melinis* sp, *Mimosa invisia*, *Paspalum paniculatum* linn, *Scleria sphaerocarpa*, *Setaria verticillata*, *Sida rhombifolia*, *Voacanga thouarsii*) et des plantes aquatiques terrestres (*Ageratum conyzoides* linn, *Alchornea* sp, *Bidens pilosa* , *Brassica integrifolia*, *Bulbostylis barbata*, *Cyathula* ach, *Epilobium salignum* hausska, *Eragrostis aspera*, *Eragrostis tremula*, *Galinsoga ciliata*, *Ipomoea batata*, *Ipomoea bracteata*, *Lantana camara* linn, *Ludwigia adscendens*, *Ludwigia de currens*, *Lycopodium cernuum* l, *Mimosa* sp, *Monordica* sp, *Paspalum serobt-culatum*, *Pouzolsia guineensis* benth, *Pteridium aquilinum*, *Rhynchosia resinosa*, *Solanum torvum*, *Spermacoce* sp, *Synedrella nodiflora*, *Triplotaxi* sp, *Tristema mauriciana*, *Vernonia* sp, *Zchneria capillacea*).

Certaines de ces espèces ont prouvé leur efficacité en épuration extensive des eaux usées aussi bien en phase d'expérimentation qu'en grandeur réelle en Afrique et dans le Monde.

III.7.4. QUELQUES MACROPHYTES POTENTIELLEMENT EFFICACES EN EPURATION DES EAUX USEES

La reconnaissance de la contribution des plantes aquatiques à l'épuration des eaux usées s'est accentuée ces trois dernières décennies [Harvey et al., 1973 ; Wolverton et al., 1979 et 1987 ; Myrand et al., 1982 ; DeBusk et al., 1987 ; Reddy et al., 1987 ; Radoux et al., 1977, 1980, 1992, 1995 ; Bonnefont, 1990 ; Brix, 1994 ; Bonomo et al., 1995 ; Agendia, 1995 ; Nemcova, 2001 ; Kengné, 2000 ; Koné, 2002 ; Laouali, 2003].

Une analyse documentaire nous a permis d'identifier les espèces qui sont apparues dans la liste des macrophytes inventoriés dans les zones humides de Yaoundé. Les entretiens avec certains opérateurs ont permis de relever celles qui ont une utilité dans cette localité (tableau III.7.3).

Tableau III.7.3 : Identification des espèces épuratrices et de leur utilité à Yaoundé

N°	Espèces	Utilité possible à Yaoundé	
		Partie utilisée	Type d'utilisation
Plantes aquatiques submergées			
1	<i>Ceratophyllum demersum</i>	/	/
2	<i>Ludwigia</i> sp	Toute la plante	- Plante fourragère : alimentation d'animaux
3	<i>Polygonum senegalense</i>	Fruits	- Usage en pharmacopée traditionnelle
Plantes aquatiques flottantes			
4	<i>Azolla africana</i>	/	/
5	<i>Ceratopteris cornuta</i>	/	/
6	<i>Lemna</i> sp	Toute la plante	- Alimentation de la volaille
7	<i>Nymphaea lotus</i>	Fruits	- Renforcement des aliments du petit ruminant
		Feuilles et des pétioles	- Pharmacopée traditionnelle
8	<i>Pistia stratiotes</i>	Toute la plante	- Pharmacopée traditionnelle
9	<i>Typha latifolia</i>	Jeunes inflorescences	- Consommation humaine
Plantes semi – aquatiques			
10	<i>Brachiaria lata</i>	Toute la plante	- Plante fourragère
11	<i>Cyperus papyrus</i>	Tronc	- Fabrication de nattes et combustibles.
12	<i>Cyrtosperma senegalense</i>	Fruits	- Pharmacopée traditionnelle
13	<i>Echinochloa crusgavonis</i>	Toute la plante	- Plante fourragère
		Feuille et tronc	- Fabrication des toitures en chaume
14	<i>Eichornia crassipes</i>	Toute la plante	- Bon fourrage pour alimentation du petit ruminant et des porcs
15	<i>Ipomoea aquatica</i>	Jeunes feuilles et racines	- Pharmacopée traditionnelle
16	<i>Paniculatum linn</i>	Toute la plante	- Bon fourrage pour alimentation des ruminants.
17	<i>Phragmites australis</i>	Feuilles	- Fabrication de natte et de clôture
		Jeunes pousses	- Consommation humaine
18	<i>Raphia palma-pinus</i>	Feuille	- Réalisation des toitures en chaume
		Tronc	- Extraction d'une boisson locale « vin de raphia »
19	<i>Rhynchospora corymbosa</i>	/	/
20	<i>Scleria racemosa</i> poir	/	/
Plantes terrestres			
21	<i>Brassica integrifoli</i>	/	/
22	<i>Panicum pansum</i>	Feuille et tronc	- Plante fourragère
		Feuille	- Cnfection des toitures en chaume et fabrication des nattes
23	<i>Paspalum distichum</i>	Tronc et feuille	- Bonne fourragère pour l'alimentation des ruminants

En résumé, parmi les 126 espèces végétales identifiées dans les zones humides de Yaoundé, 23 ont déjà été testées, avec succès, en épuration extensive des eaux usées. Parmi ces dernière, 17 ont une utilité dans la région de Yaoundé.

Un tel fichier constituera la base initiale pour le démarrage des expérimentations en épuration extensive des eaux usées selon l'approche méthodologique et technologique des MHEA ® à Yaoundé.

A l'état naturel, l'analyse des caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux de surface, qui drainent quelques zones humides de Yaoundé, montre que la contribution de celles-ci à l'autoépuration de ces eaux entre l'amont et l'aval.

III.7.4.1. Réduction de la conductivité et des matières solides en suspension (MES)

Le tableau III.7.4 situe l'importance de la réduction de la conductivité électrique et des matières solides en suspension (MES) entre l'amont et l'aval de quelques zones humides de Yaoundé.

Tableau III.7.4 : Variation des teneurs en MES (mg/l) et en conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Sites	Conductivité électrique			Matières en suspension		
	Amont	Aval	Abattement (%)	Amont	Aval	Abattement (%)
Mendong Ecole	1386	197	86%	1705	23	99%
Mendong Gendarmerie	86	76	12%	146	44	70%
Ekozoa	/	/		45	14	69%
Nkol Bisson	407	288	29%	59	18	69%
Biyem assi NIKI	/	/	/	105	60	43%
Rond point Basto	/	/	/	29	27	7%
Messa	612	490	20%	406	105	74%
Cité verte	723	434	40%	765	65	92%
Efoulan	/	/		58	41	29%
Obili CHU	242	7	68%	95	96	0%
Hôpital Général de Yaoundé	303	269	11%	98	99	0%

La diminution de la conductivité électrique des eaux de surface est importante après la traversée de Mendong – Ecole, où la conductivité baisse de près de 86% de sa valeur amont (exutoire des eaux usées brutes), et Centre Hospitalier Universitaire avec une réduction de la conductivité de plus de 3 fois sa valeur initiale. Cité Verte et Nkol Bisson contribuent à une baisse respective de 1,4 et 2 fois, contre 1,1 à 1,2 à Hôpital général de Yaoundé et Messa.

La rétention des matières solides en suspension des eaux de surface est sensible, dans 9 zones humides, notamment à Mendong – Ecole et Cité verte (avec une baisse relative de 95% malgré les rejets d'eaux usées brutes en amont), à Messa, Mendong – Gendarmerie, Ekozoa et Nkol Bisson (qui connaissent des baisses des teneurs en MES de plus de 70% après avoir séjourné dans des étangs ou traversé des zones couvertes de macrophytes à l'état naturel. Cette baisse est relativement moindre à Efoulan et Rond point Bastos (avec moins de 30%).

III.7.4.2. Réduction des demandes chimique (DCO) et biologique (DBO₅) en oxygène

Le rabattement des charges organiques est relativement important dans 5 zones humides dont 4 reçoivent des eaux usées brutes ou non suffisamment traitées (tableau III.7.5).

Tableau III.7.5 : Variation des teneurs en DCO et DBO₅ (mg/l) de l'amont à l'aval de quelques zones humides.

Sites	Conductivité électrique			Matières en suspension		
	<i>Amont</i>	<i>Aval</i>	<i>Abattement (%)</i>	<i>Amont</i>	<i>Aval</i>	<i>Abattement (%)</i>
Mendong Ecole	1236	100	92%	800	64	92%
Mendong Gendarmerie	48	46	4%	36	30	17%
Ekozoa	7	4	43%	10	6	40%
Nkol Bisson	167	36	78%	117	24	79%
Biyem assi NIKI	93	92	0%	36	33	8%
Rond point Basto	/	/	/	/	/	/
Messa	85	84	1%	59	41	31%
Cité verte	176	93	47%	132	45	66%
Efoulan	325	288	11%	214	125	42%
Obili CHU	78	38	51%	55	22	60%
Hôpital Général de Yaoundé	34	27	21%	19	20	0%

La baisse des teneurs en DCO et DBO₅ est remarquable en aval de Mendong Ecole et Kol Bisson (avec plus de 75% de la teneur initiale). Ces sites sont suivis par Obili CHU, Cité Verte et Ekozoa dont les taux de réduction de la DCO et de la DBO₅ varient entre 40% et 70%. A ces zones humides, nous pouvons adjoindre Efoulan dont les charges en DBO₅ baissent de plus de 40% entre l'amont et l'aval.

III.7.4.3. Réduction des composés azotés et phosphorés

L'abattement des composés azotés et phosphorés des eaux de surface à travers les zones humides de Yaoundé est assez varié (tableau III.7.6).

Tableau III.7.6 : Variation des teneurs en NH₄⁺ (mg/l) et PO₄³⁻ (mg/l)

Sites	NH ₄ ⁺ (mg/l)			PO ₄ ³⁻ (mg/l)		
	<i>Amont</i>	<i>Aval</i>	<i>Abattement (%)</i>	<i>Amont</i>	<i>Milieu</i>	<i>Abattement (%)</i>
Mendong Ecole	32,8	2,7	92%	127,5	2,6	98%
Mendong Gendarmerie	0,4	0,2	50%	2,4	3,1	0%
Ekozoa	1,4	1,2	14%	4,3	4,3	0%
Nkol Bisson	5,7	0,1	98%	10,6	6,1	42%
Biyem assi NIKI	12,2	1,9	84%	1,5	0,6	60%
Rond point Basto	/	/	/	/	/	/
Messa	6,1	4,8	21%	32,2	32,2	0%
Cité verte	29,6	14,5	51%	9,6	1,3	86%
Efoulan	10,2	10,1	0%	42,5	36	15%
Obili CHU	17,5	6,3	64%	17,8	2,3	87%
Hôpital Général de Yaoundé	2,9	2,1	28%	8,1	7,8	4%

Cinq zones humides ont des effets auto-épurateurs assez importants sur l'azote et le phosphore : il s'agit de Mendong Ecole, Nkol Bisson, Biyem Assi NIKI, Cité Verte et Obili CHU dont les diminution des composés azotés (NH₄⁺) et phosphorés (PO₄³⁻) varient de 40 à 98%, malgré

l'intensité des activités anthropiques (lavage de véhicule, agriculture) dans certains cas ;

III.7.4.4. Réduction des germes pathogènes : Coliformes et streptocoques fécaux

Du tableau III.7.7, nous pouvons retenir que les zones humides de Yaoundé possèdent, à l'état naturel, des potentialités différentes d'abattement des germes indicateurs de la pollution fécale (coliformes fécaux et les streptocoques fécaux).

Tableau III.7.7 : Variation des teneurs en coliformes et streptocoques fécaux (en ULog/100ml)

Sites	Coliformes fécaux				Streptocoques fécaux			
	Amont	Milieu	Aval	Abattement	Amont	Milieu	Aval	Abattement
Mendong Ecole	8	7	6	2	7	5	5	2
Mendong Gendarmerie	5	5	4	1	5	5	3	2
Ekozoa	4	4	4	0	3	3	2	1
Nkol Bisson	6	4	4	2	6	3	3	3
Biyem assi NIKI	6	6	5	1	5	4	4	1
Rond point Basto	5	4	3	2	5	4	3	2
Messa	7	8	5	2	6	8	6	0
Cité verte	6	8	6	0	4	6	4	0
Efoulan	6	4	2	4	3	2	2	1
Obili CHU	6	4	6	0	5	4	4	1
Hôpital Général de Yaoundé	5	4	4	1	5	3	3	2

La rétention de ces germes, exprimée ici en unités logarithmiques, est relativement importante dans les zones humides comportant des lacs. Ce sont, Efoulan, Rond point Bastos, Nkol Bisson, Mendong Gendarmerie, Mendong Ecole et Hôpital Général de Yaoundé. Les temps de séjour sont relativement importants ces écosystèmes.

III.7.5. DISCUSSION SUR LES ASPECTS ECOLOGIQUES

Ce paragraphe nous renseigne sur l'importance et la diversité des espèces végétales dans les zones humides de Yaoundé. Sur une superficie totale de 1.216m² délimitée dans l'ensemble des 19 sites étudiés, il a été identifié 126 espèces végétales différentes représentant 44 familles ; ceci représente un ratio moyen d'environ 1 espèce distincte pour chaque 10m². Une telle densité et une telle diversité des espèces végétales sont généralement caractéristiques des macroclimats de type tropical humide ou équatorial [Ita, 1994 ; ONU-HRI, 2000 ; www.membres.lycos.fr/amazon/).

De plus, sur le plan floristique, les zones humides de Yaoundé présentent toutes les facettes des paysages que l'on peut rattacher à ces écosystèmes à l'état naturel. Il s'agit :

1. des plantes aquatiques flottantes qui représentent les prairies flottantes,

2. des plantes aquatiques submergées qui sont caractéristiques des prairies immergées,
3. des plantes semi-aquatiques qui font partir des ceintures de végétations semi-aquatiques,
4. des plantes terrestres, constituantes des prairies marécageuses et des forêts humides.

L'étude phytosociologique montre que ces plantes sont inégalement réparties dans les 19 relevés : 10 d'entre eux renferment 73% du nombre total des espèces végétales récoltées. En outre, l'analyse de la matrice d'Abondance – Dominance laisse apparaître que ces écosystèmes sont une espèce de continuum entre l'environnement terrestre à l'environnement aquatique. En effet, il nous a paru difficile de pouvoir délimiter la frontière entre ces deux écosystèmes.

L'équilibre de ces écosystèmes aquatiques, la survie de la flore aquatique et la pérennité de l'eau dans les zones humides considérées pourraient être fortement perturbés du fait du taux d'anthropisation élevés.

En nous rapprochant des études de Ennabili (1999), en région côtière marocaine, nous pouvons affirmer que la forte pression anthropique justifie en quelque sorte la diversité des espèces végétales et l'importance des espèces rudérales ou mésophiles dans les zones humides de Yaoundé. Le même auteur, citant plusieurs autres, tels que Lacoste et al. (1969), Radoux (1977), Grosselvites et al., (1978), Atbib (1979), Breen et al. (1988), Naomi et al. (1994) et Armstrong et al. (1994), démontre également que les inégalités constatées sur la répartition géographique et interspécifiques des différentes plantes aquatiques des zones humides étaient dues à plusieurs facteurs, dont entre autres :

- les conditions topographiques qui ont un rôle essentiel dans la détermination de la végétation des zones humides, en ce qu'elles conditionnent le microclimat, le type et le degré de submersion du milieu ainsi que leur régime hydrique ;
- la typologie des sols qui peuvent influencer suivant leurs composantes physiques, chimiques et biologiques ;
- la quantité et la qualité des sels minéraux et des matières organiques présents dans les eaux de surface qui irriguent ces zones ;
- les actions anthropiques, notamment les comblements et les rejets de déchets solides et liquides.

Selon ces auteurs, le phénomène de submersion est à l'origine de l'évolution des formations végétales dans les zones humides matérialisée par la présence d'espèces rares. Ils soulignent en outre que plus la hauteur de submersion est importante, plus le pourcentage d'hygrophytes dans les zones humides étudiées est élevé.

Ce paragraphe nous a permis de constater que les zones humides de Yaoundé, dans leur état naturel, ont un intérêt écologique et sanitaire certain dans l'abattement des polluants présents dans les eaux de surface qui les alimentent. Ainsi, elles participent, malgré l'importance des rejets anthropiques, à l'auto-épuration grâce à l'abondance de leur faune et de leur flore. Ces derniers ont des pouvoirs d'absorption et de fixation des éléments minéraux dissous et, de sédimentation des matières solides en suspension assez importants.

Une vingtaine de macrophytes identifiés ont des utilités assez diverses à Yaoundé et dans sa région. Ils contribuent à l'alimentation des populations, à la pharmacopée traditionnelle, à l'amendement des parcelles agricoles, à l'amélioration de l'alimentation du bétail et à la fabrication d'éléments de toiture ou de literie (nattes, matelas en paille). Cette végétation peut ainsi participer à la production biologique valorisable et exploitables par l'homme principalement dans le secteur agro-pastoral.

Ces plantes pourront donc servir d'éléments de base pour l'expérimentation de l'épuration extensive des eaux résiduaires selon le processus méthodologique et technologique des Mosaïques hiérarchisées d'Ecosystèmes Artificiels (MHEA®) dans le contexte climatique et urbanistique de Yaoundé. Ce sont en outre des espèces qui respectent les critères, tels que préconisées par Radoux (1977), dans le choix judicieux des macrophytes utilisables pour le traitement des eaux usées :

- ces plantes ont une productivité élevée pour espérer une assimilation accrue de nutriments nécessaires à cette croissance ;
- elles ne sont pas exotiques, car n'ont pas été introduites dans la zone d'étude, mais existent et se développent depuis longtemps dans la ville de Yaoundé ;
- ces espèces sont aptes à pouvoir vivre et à se développer sans contrainte dans des milieux eutrophes, très riches en nutriments, comme c'est le cas dans les biotopes où elles ont été récoltées ;
- avec l'inconstance des rejets anthropiques dans les zones humides étudiées, ces plantes présentent des aptitudes à pouvoir supporter les variations en apport de nutriments ;
- elles appartiennent au groupe des espèces dites *grégaires* comme le montre l'étude phytosociologique qui révèle que ces plantes vivent et se reproduisent en massif ou en groupe et non de façon isolée
- plus de la moitié de la vingtaine de plantes potentiellement utilisables en épuration des eaux usées offre des possibilités de valorisation locale, principalement en agriculture, en élevage

en artisanat ou en pharmacopée traditionnelle. Cependant, la valorisation des plantes aquatiques reste encore peu développée dans les consciences des opérateurs dont certains ne la pratiquent que par « habitude » ou mimétisme.

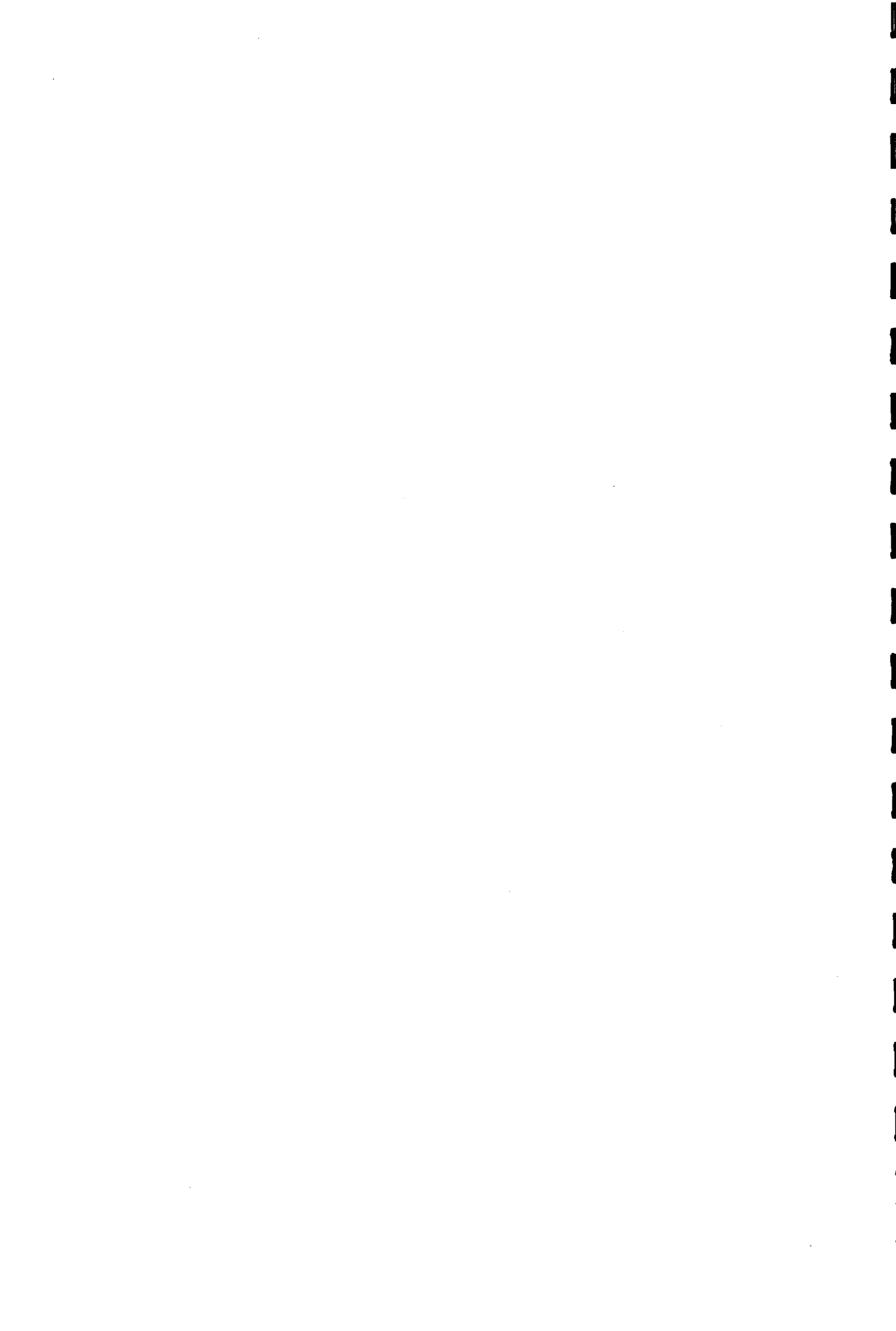
CONCLUSION

L'une des préoccupations de cette thèse a été d'élucider les paramètres locaux à prendre en compte dans la conception et la gestion des systèmes extensifs d'épuration des eaux usées. La démarche adoptée a permis de produire des résultats qui, sur le plan fondamental, représentent une base fiable pour le dimensionnement des systèmes adaptés au contexte urbanistique, environnemental et climatique des quartiers planifiés des régions de climat tropical humide.

Deux objectifs assignés à cette recherche sont atteints. D'un côté, l'habitat des quartiers planifiés est caractérisé et les pratiques d'approvisionnement en eau potable et d'assainissement des eaux usées domestiques sont cernées et analysées. De l'autre, la spécificité climatique et phytosociologique de Yaoundé est appréhendée. En outre, le chapitre met en évidence les atouts urbanistiques et environnementaux de l'installation des systèmes extensifs d'épuration des eaux usées dans la ville de Yaoundé. Il clarifie les contraintes majeures du développement de ces systèmes selon le processus des MHEA® en zone de climat tropical humide.

Les résultats de l'étude phytosociologique montrent que les zones humides de Yaoundé sont particulièrement riches en espèces végétales. L'ensemble des composantes de l'écosystème aquatique utilisable en épuration extensive des eaux usées y est disponible. Cette potentialité permettra de disposer d'un important « gisement » de 23 espèces végétales susceptibles d'être expérimentées en épuration extensive des eaux usées suivant le processus méthodologique et technologique des MHEA® en zone de climat tropical humide.

L'importance de la participation des zones humides dans la réduction des polluants dus aux activités anthropiques est une des constatations de ce chapitre. Cette participation ne doit cependant pas occulter le caractère fortement pollué des eaux de surface qui drainent la ville et irriguent les parcelles agricoles. La nécessité de pouvoir les organiser afin d'optimiser la réduction de ces polluants s'impose dans le contexte climatique, urbanistique et environnemental de la zone considérée. Ce travail préliminaire, qui se situe en aval de ce travail de thèse, ne peut se mener que dans le cadre d'un centre d'expérimentation créé localement.



Quatrième Chapitre :

DE LA NECESSITE D'UN CENTRE DE RECHERCHE ET DE
DEVELOPPEMENT DES TECHNOLOGIES EXTENSIVES
D'EPURATION DES EAUX USEES EN ZONE DE CLIMAT
TROPICAL HUMIDE

INTRODUCTION

Le mauvais choix technologique (priviliégiant des systèmes onéreux) et les bases quasi-arbitraires des paramètres de dimensionnement constituent, entre autres, les causes principales des dysfonctionnements des systèmes d'assainissement des eaux usées à Yaoundé. Pour surmonter ces erreurs dans l'avenir, il est important que des campagnes d'expérimentation soient minutieusement conduites en station de recherche.

Le présent chapitre propose la création d'un centre de recherche et de développement des technologies d'épuration extensive basés sur le processus des MHEA® sous climat tropical humide. Il se structure en 3 paragraphes. Le premier paragraphe justifie la création du centre tandis que le second situe ses objectifs et présente les axes de recherche à développer en vue d'apporter des réponses aux préoccupations actuelles. Le troisième paragraphe précise les modalités de fonctionnement du centre.

IV.1. JUSTIFICATION DE LA CREATION DU CENTRE ET OBJECTIFS ASSIGNES

Les chapitres précédents renseignent sur les enjeux de la situation de l'assainissement des eaux usées à Yaoundé et situent l'urgence de mettre en place des technologies d'épuration appropriées compte tenu de l'acuité des impacts des rejets liquides pollués sur la santé et l'environnement. Cependant, dans un contexte marqué par l'insuffisance de données fiables, comme c'est le cas à Yaoundé, toutes solutions hâtives sont susceptibles de produire à nouveau des résultats voués à l'échec. Ceci impose donc que des réflexions locales, plus approfondies, soient préalablement menées pour mettre au point des solutions technologiques les plus appropriées.

En effet, le problème central du « choix de la meilleure technologie d'épuration des eaux usées », à Yaoundé et dans les villes d'Afrique tropicale humide, reste encore entier :

- au niveau des acteurs politiques et décisionnels qui, sur la base des données scientifiques et techniques disponibles, doivent bâtir les stratégies, définir les politiques générales et choisir les systèmes compatibles avec leurs moyens ;
- au niveau des scientifiques qui doivent éclairer les décideurs et les gestionnaires des systèmes d'épuration en générant des données fiables permettant d'aider à concevoir, à valider et à diffuser les modèles de conception et de fonctionnement de ces technologies ;
- au niveau des techniciens qui doivent mettre en œuvre et exploiter les systèmes choisis ;
- au niveau des citoyens dont la participation au processus dépend de la compréhension qu'ils ont des systèmes proposés, de leur mode de gestion et leur efficacité.

Cette difficulté s'accroît davantage du fait de la multitude des technologies extensives dont l'opportunité du transfert peut être hasardeuse dans des contextes différents du milieu d'expérimentation. De plus, les récentes études comparatives, menées suivant le processus des MHEA®, constatent qu'aucune filière naturelle simple n'a pas pu se montrer supérieure aux autres, en toute saison et à tous les niveaux de traitement. Ces études ont abouti à la conclusion selon laquelle « *seule une combinaison judicieuse d'écosystèmes artificiels différents a toujours pu dépasser les rendements d'une succession d'écosystèmes identiques* » [Radoux et al., 1986, 1991, 1994, 1996, 2002 ; Cadelli et al, 1996 ; Niang, 1996 ; Ennabili, 1999 ; Becaye, 2002 ; Mbéguéré, 2002].

L'insuffisance de données fiables sur les systèmes extensifs en Afrique tropicale humide suscite alors bien des questionnements au rang desquels nous pouvons énoncer les suivantes :

1. Quelles sont les technologies les plus performantes selon les normes de préservation de l'environnement, de la santé publique et de la réutilisation des sous-produits de l'épuration ? Lesquelles offrent, en toute saison, le meilleur rapport efficacité/coût ?
2. Quel est le comportement des technologies extensives sous climat tropical humide, face aux variations des charges hydrauliques et organiques des effluents à traiter ? Peut-on se référer aux résultats, bien qu'encourageants, issus des travaux menés dans des contextes différents de cette zone macro-climatique ?
3. Quels sont les modèles et les ratios de dimensionnement à considérer dans un tel contexte ? Peut-on toujours s'inspirer des éléments proposés par les concepteurs des techniques mises au point dans des contextes différents ?

Les réponses à ces questions ne peuvent être possibles que dans le cadre d'un programme de recherche établi et mené, de manière rigoureuse, dans un centre de recherche dont la zone géographique d'influence est assez importante. Dans le cas spécifique de la présente recherche, une vingtaine de pays africains, entièrement ou partiellement localisés sous climat tropical humide, seront concernés par le centre :

- pour l'Afrique de l'Ouest, il est question d'une part, du sud du Bénin, de la Côte d'Ivoire, du Ghana, du Togo et du Nigeria et d'autre part, de la Gambie, la Guinée Bissau, la Guinée – Conakry, le Libéria et la Siéra Leone ;
- pour l'Afrique du Centre, il s'agit des pays suivants : Burundi, Cameroun, Congo – Brazzaville, Gabon, Guinée Equatoriale, République Centrafricaine, R-D Congo, Ouganda et Rwanda.

La ville de Yaoundé peut valablement accueillir ce centre pour sa parfaite représentativité urbanistique, climatique et environnementale des villes tropicales humides d'Afrique.

IV.2. OBJECTIFS DU CENTRE ET ACTIONS DE RECHERCHE

L'objectif du centre est de renforcer les capacités des acteurs locaux dans « le choix de la meilleure technologie d'épuration extensive des eaux usées ». Ceci se fera par la production locale et la diffusion des informations scientifiques et techniques fiables sur les performances épuratoires et le fonctionnement des technologies d'épuration extensive des eaux usées en zone de climat tropicale humide.

Pour atteindre cet objectif et permettre une appropriation locale complète des technologies optimisées, le centre envisage de conduire un programme de recherche et d'actions qui comporte trois phases :

1. la première phase concerne la comparaison systématique et l'optimisation, sur place, des technologies extensives d'épuration des eaux usées,
2. la seconde phase consiste à effectuer des campagnes d'information, de développement et de vulgarisation des filières optimisées à l'échelle locale et régionale,
3. la troisième phase participe du suivi et de l'évaluation du programme de recherche.

Pour chaque phase, les objectifs spécifiques et les activités à mener sont déclinés comme suit.

Phase n°1 : Comparaison systématique et optimisation des technologies extensives d'épuration des eaux usées.

Cette phase, qui démarrera après l'implantation et de l'équipement du centre, sera conduite selon les deux principes fondamentaux du processus des MHEA ® : la comparaison systématique des principales technologies et l'optimisation continue de nouvelles filières conçues localement de manière à cumuler les avantages particuliers relevés lors de la comparaison systématique.

Quatre axes d'activités de recherche structurent cette phase :

1. L'étude comparée des performances épuratoires des filières extensives d'épuration sous un même climat et avec les mêmes eaux usées. Il est également question de vérifier et de caler les modèles courants, dont entre autres, les modèles de Marais, de Vincent et de McGarry et Pescod. La finalité est de produire, après optimisation, les informations devant aider les acteurs à opérer un « choix objectif du/des meilleures filières ».
2. L'étude du développement des macrophytes permettra de cerner les plus efficaces, leur cycle de croissance et leur incidence sur le rendement épuratoire selon les charges et les saisons climatiques. La finalité est de déterminer la « meilleure période de récolte des macrophytes des bassins ».

3. L'analyse de la dynamique d'accumulation des boues aura pour objectif de caractériser les boues et le processus de décantation de celles-ci en fonction des conditions climatiques et des procédés utilisés. La finalité est d'optimiser la gestion des boues, d'établir la périodicité de leur vidange qui garantit la meilleure épuration des eaux usées.
4. L'étude de la valorisation des sous – produits de l'épuration sous climat tropical humide évaluera leurs apports dans les secteurs d'utilisation et les conditions de leur intégration dans les contextes concernés. Ainsi, l'on étudiera l'influence de ces « matières premières » sur le co-compostage, l'amélioration de la fertilité des sols et la production agricole. Il est également envisagé d'analyser localement les conditions de leur prise en compte dans le financement partiel de l'exploitation des systèmes. Comme finalité, ce thème capitalisera les informations sur la qualité du co-compost obtenu, élaborera et diffusera auprès des acteurs intéressés un guide méthodologique de co-compostage et d'utilisation du produit final et enfin, consolidera les résultats des travaux antérieurs.

Phase n°2 : Campagnes d'information, de développement et de vulgarisation des filières optimisées à l'échelle locale et régionale

Cette phase participera au renforcement des capacités techniques des acteurs politiques et décisionnels et à la dissémination des filières optimisées dans les régions similaires à celle ayant servi à l'expérimentation. Les activités à mener par le centre sont les suivantes :

1. L'éducation relative à la gestion intégrée des eaux usées à travers d'une part, la sensibilisation des collectivités locales et du grand public et d'autre part, l'information et la formation des scientifiques, des techniciens et des futurs gestionnaires.
2. La cartographie, à l'échelle régionale, des agglomérations susceptibles de recevoir les filières précédemment optimisées. L'objectif est d'analyser, dans chaque cas, les aspects socio-urbanistiques et environnementaux à pondérer le cas échéant.
3. L'intégration technologique des filières MHEA® optimisées, par la construction, la mise en route et le suivi d'une ou de plusieurs stations pilotes en grandeur réelle.
4. Le développement du processus des MHEA® par la multiplication, en grandeur réelle, des filières d'épuration retenues et optimisées dans les zones d'applicabilité.

Phase n°3 : Suivi et évaluation du programme

1. L'évaluation socio-économique du programme consistera à établir un bilan financier, social, sanitaire et écologique des MHEA® à l'échelle locale, nationale et régionale.
2. La critique opérationnelle régulière du programme, par des experts indépendants,

permettra de maintenir l'efficacité et la coordination de toutes les actions entreprises.

Ces différentes phases peuvent être exécutées simultanément ou de manière séquentielle selon le planning prévisionnel étendu sur cinq années précisé en Annexe IV.

IV.3. MODALITES DE FONCTIONNEMENT DU CENTRE

Le fonctionnement du centre et l'exécution du programme nécessitent des moyens (matériels, humains et financiers), un mode d'organisation approprié et un site d'implantation.

IV.3.1. Des moyens nécessaires pour l'équipement et le fonctionnement du centre

La création du centre et la mise en œuvre des activités du programme de recherche nécessitent l'acquisition de moyens matériels, humains et financiers au rang desquels, nous avons identifié :

- les équipements nécessaires au fonctionnement d'un laboratoire d'analyse des eaux. Le LESEAU dispose déjà d'un local qui nécessite d'être renforcé en matériels ;
- les équipements de bureautique (consommables informatiques, ordinateurs, etc.) ;
- les équipements de mesure sur place des paramètres météorologiques ;
- les équipements et infrastructures d'aménagement du site : bassins, tuyauterie, clôture, local annexe, raccordement à l'émissaire des eaux usées, au réseau d'eau et à l'électricité.

Le suivi quotidien a besoin d'un noyau de chercheurs et d'un personnel d'appui administratif (secrétaire – comptable, magasinier, gardien, laborantins et assistants de recherche) qui devront être pris en charge pendant la durée du programme.

Le budget correspondant s'élève environ **577 000 €** (*cinq cent soixante dix sept mille Euros*) pour les six années du programme. Ce budget prend essentiellement en compte l'ensemble des activités de recherche des phases 1 et 3, ainsi que les deux premières actions de la phase 2. La durée du programme ainsi élaboré est de 6 années dont la première est consacrée à la réalisation et à l'équipement du centre et les 5 années qui suivent, permettront d'exécuter les activités énoncées plus haut. Le planning de ces activités est détaillé en Annexe IV, de même que le budget prévisionnel. La répartition de ce budget, par rapport aux trois phases du programme est telle qu'environ 84% est destiné à la mise en œuvre de la phase 1, environ 9% pour la phase 2 et 7% pour la phase 3. De même, la première année du programme nécessitera plus de 28% du budget global. La répartition de ce budget sur les autres années est sensiblement homogène comme le mentionnent les graphiques et tableaux de l'Annexe IV.

IV.3.2. De l'organisation de la gestion du centre

Le schéma d'organisation du fonctionnement du centre est présenté comme suit :

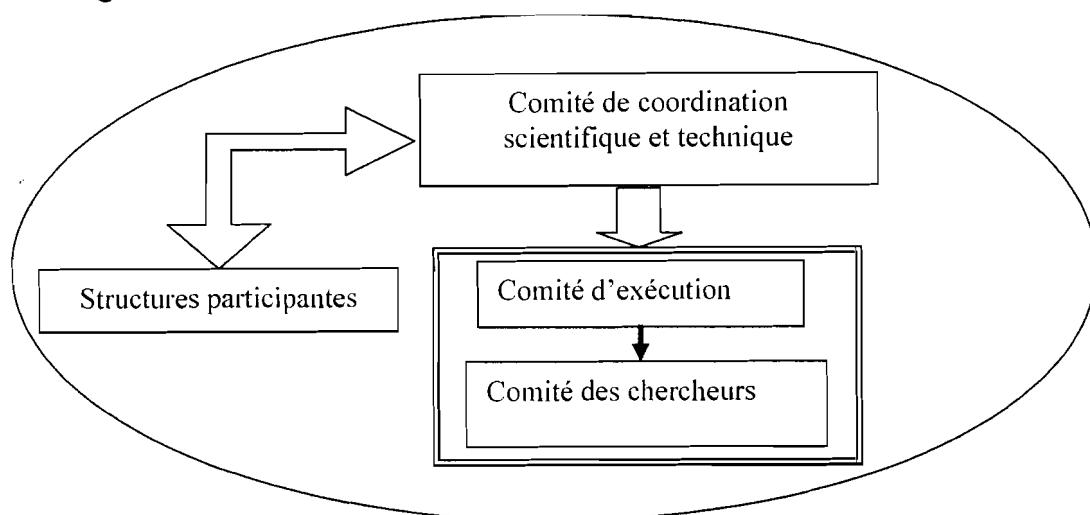


Figure IV.1 : Mode de gestion du centre

Du rôle du Comité de coordination scientifique et technique

Ce comité coordonne, suit et évalue annuellement le programme de recherche. Il valide les résultats scientifiques et techniques obtenus et propose, en cas de besoin, les orientations à opérer. Il est le facilitateur du comité d'exécution dans l'établissement des relations avec les institutions et les organismes du domaine de gestion intégrée des ressources en eau.

Le comité est composé des institutions d'encadrement de cette thèse et de celles travaillant sur des thématiques similaires en Afrique et ailleurs. Il s'agit notamment de :

- l'Université de Liège, à travers le *Groupe de Recherche sur les MHEA® et la Station Expérimentale de Viville (SEV)* basés au Département des Sciences et de Gestion de l'Environnement. Ce groupe se chargera de la coordination et de la validation scientifique et méthodologique du programme au niveau international.
- l'Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé, à travers le *Laboratoire Environnement et Sciences de l'Eau*. Ce laboratoire sera chargé de la coordination et de la validation scientifique et technique du programme au niveau local, national et régional.
- le Groupe EIER-ETSHER de Ouagadougou, à travers le *Groupe de Recherche Equipement et Gestion de l'Eau et des Déchets en milieu Urbain* de la Direction de la recherche de cette institution. Ce groupe participera à la validation scientifique en comparaison avec les travaux similaires sous climat soudano – sahélien d'Afrique.
- l'Université Abdelmalek Essaadi de Tétouan au Maroc, à travers le *Centre Expérimental MHEA® de M'Diq (SEM)*. Ce groupe se chargera de la validation scientifique et

méthodologique du programme en rapport avec les travaux similaires sur le processus des MHEA® sous climat méditerranéen.

- l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar et l'Office National de l'Assainissement du Sénégal, à travers la *Station Expérimentale de Cambérène (SEC)*. Il se chargera de la validation scientifique et méthodologique du programme en rapport avec les travaux similaires sur le processus des MHEA® sous climat sahélien.

Du rôle du Comité d'exécution

Cet organe représente l'exécutif du centre, chargé de mettre en œuvre le programme de recherche et les actions d'information et de formation au droit des acteurs urbains concernés par la thématique. Cette équipe sera composée d'un coordonnateur, d'un personnel d'appui administratif (secrétaire, comptable, magasinier, gardien) et des techniciens (microbiologiste, chimiste, aides laborantins). Elle animera un groupe de chercheurs (enseignants – chercheurs, chercheurs, doctorants, étudiants en diplôme) issus principalement du Laboratoire Environnement et Sciences de l'Eau et des laboratoires de biologie végétale, des Sciences de l'eau et le *Water Research Unit* de la faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé 1. De plus elle impliquera les futurs diplômés des institutions de formation et de recherche du Cameroun et des pays de la sous région climatique concernés dans ce programme.

Le LESEAU servira de cadre administratif et scientifique du programme de recherche. Il appuiera le comité d'exécution dans la mise en œuvre des relations avec les institutions locales.

Des structures participantes

Compte tenu de leur implication dans la gestion de l'assainissement urbain au Cameroun et en Afrique, nous avons identifié ci-dessous, les structures susceptibles d'être intéressées par les résultats du programme et de leur mise en œuvre en phase pilote et de vulgarisation. Il s'agit :

- au niveau local, de la Société Nationale de l'Eau du Cameroun (SNEC), de la Société Immobilière du Cameroun (SIC), de la Mission d'Aménagement des Terrains Urbains et Ruraux du Cameroun (MAETUR), des municipalités du Cameroun, de l'Herbier National et de l'Université de Yaoundé 1 (faculté des Sciences) ;
- au niveau régional et international, du Groupe des écoles inter-états EIER – ETSHER de Ouagadougou au Burkina Faso, des universités et centres de recherche en Afrique tropicale humide, du Centre d'Enseignement et de Recherche Eau Ville Environnement en France et du Centre Régional pour l'Eau potable et l'Assainissement à faible coût – CREPA de Ouagadougou.

IV.3.3. Du choix du site d'application et d'implantation du centre

Plusieurs sites sont susceptibles de recevoir le centre dans la ville de Yaoundé. Parmi ceux-ci, nous avons retenu Cité Verte, Biyem Assi SIC, Centre Hospitalier Universitaire, Hôpital général de Yaoundé, Hôpital de la Caisse, Lycée technique de Nkol Bisson, Université de Yaoundé 1 et Messa. Ils sont déjà dotés de réseau d'égout et n'appartiennent pas aux équipements stratégiques.

Le choix du « site idéal » s'est opéré à partir des critères définis et pondérés dans le tableau IV.1.

Tableau IV.1 : Poids de pondération des différents critères de choix des sites

Code critère	Notation	Dénomination
C1 → Représentativité des eaux usées à traiter	1	Peu représentatif (effluents industriels et/ou hospitalier uniquement)
	2	Moyen (effluents domestiques uniquement)
	3	Suffisant (Proche des eaux usées urbaines)
C2 → Disponibilité de l'espace pour accueillir les bassins d'expérimentation	0	Non disponible
	1	Disponible
C3 → Proximité des champs maraichers pour l'expérimentation des sous-produits de l'épuration	0	Non disponible
	1	Disponible
C4 → Accessibilité directe aux piétons et aux véhicules	0	Non accessible
	1	Accessible
C5 → Présence d'un réseau d'égout fonctionnel	0	Non fonctionnel
	1	Fonctionnel
C6 → Sécurité des installations	0	Non assurée
	1	Assurée
C7 → Possibilité offerte pour l'écoulement gravitaire des effluents entre les bassins	1	Nécessité d'une pompe de relevage
	2	Gravitaire

Sur la base de ces critères, nous avons établi la figure IV.2 montrant, pour chaque site, le total des notes pondérées obtenues.

Ainsi, le choix portera sur les trois premiers sites classés par ordre d'importance des points obtenus (figure IV.2) : Messa, Université de Yaoundé 1 et Lycée technique de Nkol Bisson.

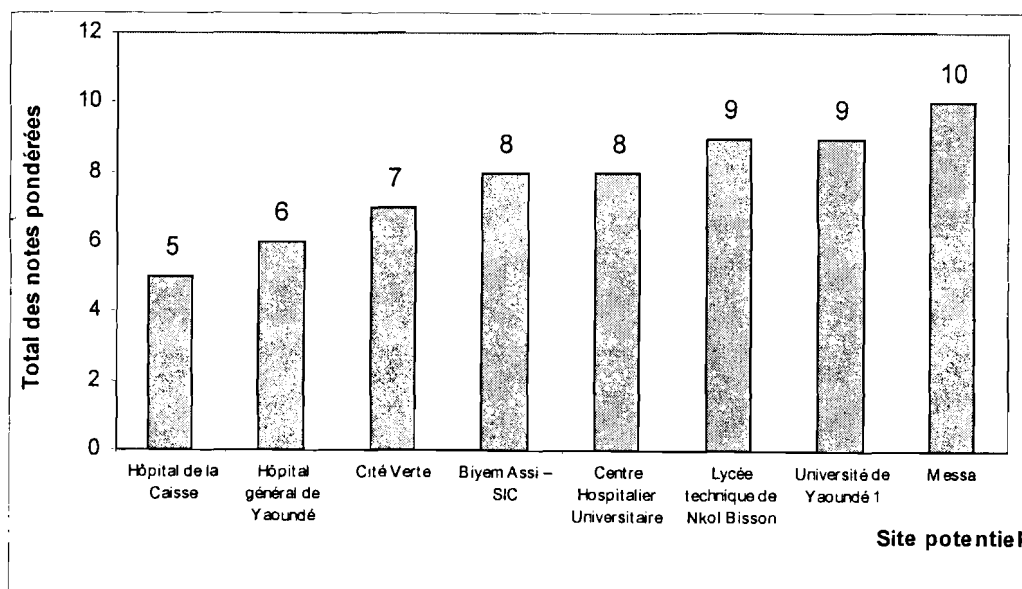


Figure IV.2 : Classification des sites potentiels selon la pondération des critères de choix

Les deux derniers traitent les eaux usées issues des équipements collectifs. De plus, le réseau

d'égout de l'Université de Yaoundé 1 est défectueux et sa remise en service demande des investissements relativement importants. Pour cela, Messà est le site idéal pour abriter les installations du centre. Il comporte en outre d'autres atouts. Il est facilement accessible et l'horticulture y est assez développée. La proximité de la Gendarmerie Nationale serait dissuasive et la présence des écoles, des dispensaires, des marchés, des administrations, etc., donnerait aux effluents de ce quartier un aspect relativement proche des « eaux usées type de Yaoundé ». Enfin, l'installation du centre dans ce site impliquera directement les deux sociétés parapubliques (MAETUR, SIC) chargées de la fourniture des parcelles et des logements sociaux au Cameroun.

CONCLUSION

Ce chapitre justifie la création d'un centre de recherche et de développement des technologies extensives d'épuration des eaux usées urbaines sous climat tropical humide. La mise en œuvre effective du programme proposé permettra d'atteindre des résultats suivants :

- la production d'informations scientifiques et techniques fiables sur les performances et le fonctionnement des systèmes extensifs d'épuration des eaux usées ; ces informations sont utiles aux professionnels, aux politiques, aux décideurs et aux scientifiques ;
- l'optimisation, sur place, de filières d'épuration plus avantageuses et le transfert judicieux des technologies extensives, préalablement testées et validées sur place ;
- l'appui technique continu et le renforcement des capacités des collectivités locales décentralisées et des populations ;
- le renforcement et la contribution à l'efficacité des réseaux nationaux, régionaux et internationaux d'échanges des données en matière d'épuration des eaux usées.

L'importance des pays intéressés par les résultats attendus justifie la nécessité de l'implication financière effective des principaux acteurs concernés pour couvrir les besoins nécessaires à la création et au fonctionnement du centre. Les défis à relever sont importants.

Pour le cas spécifique de Yaoundé, l'intérêt du centre de recherche et l'espoir de vulgariser ces résultats sont acquis et confortés par les hypothèses, suivantes, qui ont été validées à l'issue des travaux menées par LESEAU (2003).

Dans une perspective du développement de l'habitat urbain au Cameroun pour les dix prochaines années, il ressort de ces travaux que la SIC planifie la construction de plusieurs quartiers à habitat collectif dans les grandes agglomérations et les villes moyennes du Cameroun. La MAETUR poursuivra les aménagements et l'équipement de nouveaux lotissements. Le CFC

s'orientera davantage vers le financement et la production de logements en location - vente. La Communauté Urbaine de Yaoundé lancera de nouveaux lotissements communaux. Les quartiers résidentiels de moyen et haut standing de Mfandéna 2 et de Mendong (avec 400 nouvelles parcelles) en sont des parfaites illustrations. Ces quartiers sont en cours de densification et risquent de générer autour d'eux, d'autres zones d'habitat qu'il est nécessaire de protéger contre la concentration des effluents provenant des zones d'habitat planifié.

Dans la perspective de la gouvernance locale, le Cameroun s'est effectivement orienté vers le processus de décentralisation. La mise en œuvre de ce processus donne plus de responsabilité aux municipalités en matière de gestion urbaine et des services d'assainissement en particulier. En 2002, la transformation du Ministère de l'Administration Territoriale en Ministère de l'Administration Territoriale et de la Décentralisation est une volonté de l'Etat à suivre de près ce processus et à bien mener les stratégies envisagées. Il est également prévu que la privatisation du service des déchets solides s'étende aux eaux usées. Ce qui permettra aux entreprises privées (rémunérés par les pouvoirs publics ou par les populations) de s'intéresser à ce secteur. Enfin, la progression de la démocratie locale va continuer de progresser pour donner la possibilité à l'usager citoyen de participer plus efficacement à la gestion des « affaires locales ».

Dans une perspective de la mise en application de la nouvelle réglementation en matière d'assainissement des eaux usées, le Gouvernement a promulgué les décrets d'application de la loi n°098/005 du 14 avril 1998 portant sur l'eau. Ce décret, publié depuis le 08 mai 2001, précise les conditions de rejet des eaux usées dans le milieu récepteur.

**CONCLUSION GENERALE
ET PERSPECTIVES**

Les expérimentations du processus méthodologique et technologique des Mosaïques Hiérarchisées des Ecosystèmes Artificiels – MHEA® ont produit des résultats satisfaisants sous climat tempéré, méditerranéen et sahélien. Le transfert de ce processus, sous climat tropical humide, requiert au préalable que soient cernés les principaux facteurs techniques, urbanistiques et naturels (climat, flore épuratrice et milieu récepteur) susceptibles d'influencer l'implantation, la recherche et le développement des technologies d'épuration extensive des eaux usées.

L'objectif de cette thèse était donc de répondre à ces préoccupations, à partir de l'étude du cas de la ville de Yaoundé. Au démarrage de ce travail, la question centrale se déclinait en ces termes : *« le contexte socio-économique, urbanistique, environnemental, climatique et phytosociologique de Yaoundé est-il favorable à l'implantation des écosystèmes d'épuration, testés et optimisés suivant le processus des MHEA® ? »*. Dans le cas contraire, *« quelles peuvent en être les contraintes majeures ? »*.

La réponse, par l'affirmative, représentait notre hypothèse de recherche à partir de l'étude du cas des quartiers planifiés de Yaoundé. Le choix de ces quartiers ne relève pas du hasard et n'exclut pas non plus les bidonvilles sous équipés. Au contraire. Le souci est de contribuer à l'amélioration du cadre de vie urbain en garantissant, en amont, le succès de l'expérimentation du processus des MHEA® et d'entrevoir, en aval, les conditions de leur transfert dans les quartiers sous-équipés. Dans une étape préliminaire, comme c'est le cas pour ce travail, les quartiers structurés disposent d'atouts urbanistiques susceptibles de réduire les coûts d'installation d'un centre de recherche et de garantir l'efficacité des travaux et la vulgarisation des résultats qui en seront issus. Par ailleurs, nous restons convaincus que, si les problèmes de pollution des ressources naturelles dus aux ouvrages, non fonctionnels, des quartiers structurés sont résolus, alors les conséquences sanitaires seront amoindries, voir éradiquées dans les quartiers pauvres situés en aval des exutoires et dans les bassins versants considérés.

Cette recherche met en relief la crise technique et environnementale due aux dysfonctionnements des systèmes d'assainissement des eaux usées dans la ville de Yaoundé. Les causes de ces défaillances se situent à plusieurs niveaux. Sur le plan institutionnel et réglementaire, l'étude met en évidence l'absence d'un véritable responsable en charge de la gestion des systèmes collectifs d'épuration des eaux usées à Yaoundé. Malgré les efforts fournis, les imprécisions, qui subsistent encore au niveau des textes, entretiennent davantage le flou sur la répartition des compétences entre les acteurs du domaine. Ce qui justifie l'inorganisation et l'insuffisance de coordination des actions dans ce secteur. Sur le plan financier, l'étude constate le très faible niveau de financement du secteur de l'assainissement de la part de l'Etat, des municipalités et des partenaires au développement. La persistance de la crise économique a, en effet, conduit à la

réduction drastique des subventions de l'État aux municipalités et aux organismes parapublics (SIC, MAETUR) chargés de lotir et produire des logements sociaux au Cameroun. Aujourd'hui, les investissements publics ne peuvent satisfaire que moins de 10% des besoins des villes et les perspectives d'un accroissement des recettes municipales ne sont pas lisibles, à moyen et à long terme à la Communauté Urbaine de Yaoundé. Sur le plan technique, le diagnostic des systèmes et les entretiens avec les responsables qui en ont la charge, permettent d'affirmer que les choix techniques ne se sont pas toujours effectués sur des bases pertinentes. A Yaoundé, les procédés par boues activées sont une pure transposition par les responsables de la SIC de l'époque où le Cameroun connaissait une relative prospérité économique : « *leurs coûts élevés étaient, aux yeux de ces responsables, un gage de leur performance* » [LESEAU, 2003]. En l'absence de données locales fiables, les ratios de dimensionnement de la plupart de ces ouvrages étaient plutôt des valeurs par défaut extraites de la littérature occidentale et transférées à Yaoundé. Sur ce point, cette recherche démontre que les eaux usées des quartiers planifiés de Yaoundé sont nettement plus chargées (de 2 à 5 fois selon les paramètres) que celles qui avaient été considérées pour simuler les calculs. C'est ainsi que quelques années après leur mise en service, les techniques à boues activées se sont nettement écartées des capacités humaines, matérielles et financières de leurs gestionnaires. Ce résultat situe l'intérêt de maîtriser, au préalable et sur place, les flux hydrauliques et organiques ainsi que leurs variations journalières et saisonnières avant tout choix de technologie d'épuration. L'insuffisance des campagnes d'entretien, les contraintes pour s'approvisionner en pièces de rechange ont accéléré la détérioration des réseaux (cassures, bouchages) et surtout l'abandon des stations d'épuration. Les conséquences sur l'environnement et le cadre de vie ont été identifiées et analysées dans cette étude : les rejets liquides, non suffisamment traités, contribuent fortement à la dégradation de la qualité des eaux de surface de Yaoundé. Les zones humides sont dans une situation d'eutrophisation avancée, marquée par leur envahissement continu par des macrophytes des milieux eutrophes à une vitesse évaluée à 2,1% par an entre 1974 et 1986. Cette étude établit que le comblement de certains plans d'eau de loisir (sports, pêches) a entraîné des pertes en hauteur initiale de 60 à 85% en 2002. La disparition progressive de ces plans d'eau, constitue une perte importante pour la ville. De plus, les rejets liquides hospitaliers et industriels constituent des risques majeurs de contamination par les métaux lourds (plomb, cadmium, argent, etc.). Bien que n'ayant pas été approfondis, les risques sur la santé humaine sont bien perçus par les ménages interviewés au cours de cette étude.

Du diagnostic de la situation globale de l'assainissement des eaux usées à Yaoundé, le présent travail aboutit au constat suivant : le développement et l'usage des technologies extensives d'épuration des eaux usées est incontournable dans cette ville. En effet, la réhabilitation des stations d'épuration par boues activées coûtera aussi chère que la construction de nouvelles

stations du même type. « *Ce qui accentue davantage la démobilité des gestionnaires de ces systèmes* » [LESEAU, 2003]. Les scénarii, visant à remplacer les stations défectueuses par des procédés similaires, sont très au-delà des capacités financières des municipalités à qui incombe la gestion du patrimoine urbain. En effet, sur la base du budget communal de l'année 1996 dont nous avons pu rentrer en possession, il faudrait en exemple près de 1,5 fois le budget annuel de la Communauté Urbaine de Yaoundé pour remplacer 6 stations à boues activées desservant seulement 71 550 Eq-H (soit 122 €/Eq-H). Pour les mêmes capacités, il faudrait par contre 40% de ce budget (soit 34,2 €/Eq-H) pour supprimer les 6 stations et transférer les effluents vers la station de Nsam. Malheureusement, cette dernière n'est pas achevée, depuis 1987, pour des raisons financières. Par contre, avec seulement 20% de ce budget (16,4 €/Eq-H) les mêmes stations à boues activées peuvent être remplacées par des systèmes extensifs. Ainsi, en adoptant plutôt les systèmes extensifs, on réaliserait une économie de 18 à 106 €/Eq-H. Ramenés à 100 000 habitants ou plus, l'on se rend compte de l'importance prévisible énorme des économies potentielles. En clair, l'étude établit que les systèmes intensifs ne sont pas adaptés au contexte socio-économique actuel de la ville de Yaoundé. Elles peuvent valablement être remplacées par des systèmes extensifs qui, en plus des avantages de simplicité technique, de facilité de conception, de souplesse d'exploitation, sont reconnus pour leurs faibles consommations d'énergie et l'importance des abattements des polluants y compris la désinfection.

Plus de 200.000 systèmes extensifs d'épuration des eaux usées existent à travers le monde et sont calqués, pour la plupart, sur l'une des composantes principales des écosystèmes caractéristiques des zones humides naturelles. Face à cette multitude et en l'absence de données comparatives fiables sur le dimensionnement, le fonctionnement et les performances épuratoires, cette étude adopte une attitude prudente. En effet, toute décision hâtive, dans le choix de l'un ou l'autre de ces systèmes, peut conduire aux mêmes erreurs commises par le passé et qui ont abouti à l'installation d'ouvrages coûteux et finalement inopérants. Le transfert automatique des technologies extensives, dans des contextes différents de ceux qui ont servi à leur expérimentation, serait donc hasardeux. D'où la nécessité absolue d'une part, de mener localement des comparaisons systématiques et objectives des principales filières d'épuration des eaux usées et d'autre part, d'optimiser, par la suite, celles qui auraient présenté des performances épuratoires intéressantes en exploitant les atouts majeurs de chacune d'elle, relevés lors de la phase de comparaison. Ces deux nécessités constituent les principes fondateurs du processus méthodologique et technologique des MHEA® et justifient clairement son usage dans le but d'apporter les solutions les plus adaptées à l'épuration extensive des eaux usées sous climat tropical humide. Le choix de ce processus, comme moyen de transfert approprié des technologies extensives d'épuration dans la zone macro climatique considérée, est davantage justifié par les

actions suivantes qu'il intègre dans sa démarche : l'information du public, l'intégration technologique, le développement du processus, l'application régionale, l'éducation environnementale et l'évaluation. La mise en œuvre et le suivi de toutes ces actions ne peuvent être possibles qu'à travers le cadre d'un centre de recherche et de développement basé dans cette zone climatique. La proposition de la création d'un tel centre trouve ainsi sa justification dans cette étude. Ce centre est une opportunité de pouvoir effectuer, en toute objectivité et en toute rigueur scientifique et technique, le montage sur place des technologies extensives d'épuration des eaux usées adaptées au contexte socioculturel, économique, technique et environnemental des localités situées sous climat tropical humide. De plus, ce centre participera au renforcement des capacités des acteurs locaux en charge de la gestion de l'assainissement des eaux usées.

L'étude met en exergue un certain nombre de qualités qui font de Yaoundé une « ville échantillon » pouvant valablement accueillir le centre de recherche. Elle valide ainsi l'hypothèse de la représentativité de Yaoundé, du point de vue urbanistique, technique, environnemental, par rapport aux villes africaines situées en zone de climat tropical humide.

La représentativité urbanistique est caractérisée par un polycentrisme décisionnel du fait de la multiplicité des acteurs qui interviennent sans coordination suffisante dans le domaine de la gestion urbaine et de l'assainissement. Cette représentativité est également marquée par un taux de croissance démographique élevé (plus de 4% par an), la prédominance des maisons d'habitation individuelles (plus de 60%) et la prolifération (à près de 70%) des quartiers sous équipés et à statut foncier précaire. Il en découle un accroissement excessif et continu des superficies urbaines qui amplifie les investissements liés au développement des systèmes collectifs d'assainissement. La représentativité urbanistique se définit, encore, par la pauvreté urbaine et l'importance des activités informelles dans l'économie locale. Enfin, tous les pays de la zone macro climatique ciblée, ont amorcé ou achevé la mise en place du processus de décentralisation qui confère aux municipalités davantage de responsabilités en matière de gestion urbaine et d'assainissement des eaux usées.

La représentativité climatique est fondée sur les intensités moyennes, les distributions et les rythmes mensuels et interannuels des facteurs climatiques essentiels de la région de Yaoundé. Pour ces paramètres, les données de l'étude correspondent suffisamment bien à celles qui caractérisent la grande région de climat tropical humide. Avec des températures moyennes de 22 à 27°C et de faibles amplitudes thermiques, le climat de Yaoundé est relativement chaud toute l'année. Ce climat est également humide du fait de précipitations fréquentes et abondantes, avec des moyennes annuelles supérieures à 1 500 mm de pluie. Les moyennes mensuelles et annuelles de l'évapotranspiration sont très en dessous des précipitations reçues et le taux minimal

d'humidité observé est supérieur au seuil (de 70%) caractéristique de l'humidité atmosphérique en zone de climat tropical humide. La ville est relativement bien ensoleillée (avec entre 1 000 et 2 000 heures par an) malgré l'importance de la nébulosité, principalement en saison des pluies. Ainsi, du point de vue climat, la ville de Yaoundé symbolise bien un « échantillon représentatif » de la région macro climatique considérée. L'importance de la densité hydrographique et l'influence, sur toute l'année, des facteurs climatiques sur le régime d'écoulement des cours d'eau et la richesse des espèces végétales des zones humides, caractérisent également les zones de climat tropical humide. L'étude relève que les zones humides sont des écosystèmes particulièrement riches et producteurs d'espèces végétales susceptibles d'intervenir dans des écosystèmes artificiels d'épuration.

La représentativité technique est constatée par l'étude à travers plusieurs paramètres. Le taux de raccordement des ménages des quartiers structurés sur le réseau conventionnel d'eau potable est relativement important (près de 80%). Ceci induit des consommations d'eau relativement élevées (entre 40 et 90 litres/j/pers en moyenne) comparées à celles relevées dans les ménages non raccordés (environ 20 litres/j/pers dans les puits et 5 à 6 litres/j/pers auprès des bornes fontaines payantes). Il en est de même des taux de rejet des eaux usées produites qui varient de 70 à 95% chez les abonnés et de 40 à 55% pour les autres sources. Face au désengagement de l'Eta, les populations des quartiers structurés se mobilisent en développant des ouvrages d'assainissement autonome : 32% de fosses septiques et 21% de latrines.

La représentativité environnementale et sanitaire est justifiée par l'omniprésence et la diversité des sources de pollution anthropique qui contaminent durablement les ressources naturelles. A Yaoundé en particulier, et dans les villes tropicales humides en général, les externalités négatives sur l'environnement et la santé sont fortement perceptibles. Sur le plan sanitaire, la recrudescence des maladies d'origine hydrique, qui représentent la cause première de la mortalité infantile en Afrique, est un indicateur pertinent de la pollution continue des ressources en eau renouvelables par des rejets liquides non suffisamment traités. Cependant, les données dont nous disposons n'en établissent pas clairement les relations de cause à effet.

L'étude arrive donc à conclure que la ville de Yaoundé se prête à l'implantation du centre de recherche et de développement des technologies extensives d'épuration des eaux usées à partir du processus des MHEA®. En plus de sa représentativité ci-dessus résumée, les quartiers structurés de Yaoundé comportent des atouts majeurs pour l'installation d'un tel centre :

Sur le plan urbanistique, l'importance de la trame de voirie permet d'envisager l'implantation, dans les quartiers planifiés, des réseaux d'assainissement collectif sans risques accrus de déguerpissement. Avec un taux relativement élevé de fosses septiques et des rejets liquides

importants, le design des réseaux d'assainissement intégrant ces ouvrages est possible et le bon fonctionnement hydraulique des collecteurs est assuré. De plus, la sécurité foncière, la forte volonté des ménages à participer à l'amélioration des systèmes d'assainissement actuels, le niveau de revenu relativement élevé et les pratiques d'épargne, laissent espérer la disposition des ménages à contribuer efficacement pour la durabilité de l'exploitation des systèmes envisagés.

Sur le plan environnemental, les résultats obtenus permettent de constater une conscience populaire réellement affichée quant aux effets des rejets d'eaux polluées sur l'environnement et la santé humaine. Pour faire face à ces problèmes, les ménages sont volontaires pour se doter de systèmes d'assainissement plus efficaces. Sur un autre plan, l'importance des activités agricoles intra-urbaines montre qu'il existe un potentiel réel de valorisation des sous-produits de l'épuration des eaux usées par voie naturelle.

Parmi les facteurs naturels, les résultats de l'étude établissent que les paramètres climatiques sont favorables pour la croissance continue des plantes, le développement des microorganismes épurateurs et la photosynthèse utiles en épuration extensive. Les valeurs des températures (de 20 à 27°C) laissent entrevoir des possibilités de réduction des superficies nécessaires pour l'implantation des filières d'écosystèmes épurateurs [Eckenfelder, 1982; Valiron, 1996 ; Radoux, 1995, 2002 ; Koné, 2002]. Sur un autre plan, l'étude constate d'une part, la disponibilité, dans les zones humides, d'espaces suffisants (environ 670 ha) pour accueillir des stations extensives décentralisées. A titre d'exemple, il faudrait mobiliser entre 260 et 390 ha¹ (soit 40 à 60% de la superficie totale des zones humides étudiées) pour implanter une série de 3 bassins (anaérobie, facultatif et maturation) pour traiter 78 000 m³ d'eaux usées produites par la population totale (1,3 million d'habitants) de Yaoundé. De plus, l'utilisation d'argile pourra réduire les coûts de réalisation de ces bassins. En outre, l'étude phytosociologique dans les zones humides de Yaoundé révèle la disponibilité et la diversité des plantes aquatiques (126 espèces au total) formant l'essentiel des paysages des écosystèmes naturels dont s'inspirent les filières extensives. Ces écosystèmes, à l'état brut, participent à l'abattement des polluants physico-chimiques et bactériologiques présents dans les eaux superficielles fortement chargées. Parmi ces plantes, l'étude a identifié 23 espèces qui ont déjà été testées en épuration extensive des eaux usées en Afrique et dans le monde. Un tel fichier sera la base de départ des expérimentations des filières extensives suivant le processus des MHEA® en zone tropicale humide. L'organisation de ces plantes, en modules artificiels en vue de maximiser les taux d'abattement, constitue un objectif technologique fondamental du centre dont la création est souhaitée par ce travail.

¹ Ces surfaces brutes des écosystèmes d'épuration ont été évaluées suivant un ratio de l'ordre 2 à 3 m²/Eq-H, hypothèse réaliste généralement estimée sous climat chaud en fonction des niveaux souhaités de qualité des eaux traitées.

Cependant, malgré la représentativité de Yaoundé et ses atouts, les contraintes ci-dessous ont été mises en évidence au cours de cette recherche.

Au plan urbanistique, l'usage de latrines, par environ 20% de l'échantillon, est susceptible de réduire, quelque peu, le taux de couverture des quartiers structurés par les réseaux d'égout. Les risques de bricolage, lors de la réalisation des ouvrages autonomes, subsistent et pourraient porter préjudice au bon fonctionnement des systèmes collectifs envisagés. La nécessité de mener au préalable des campagnes de sensibilisation et d'information des populations pour accroître leur intérêt à adopter les systèmes collectifs est révélée dans ce travail. Ce processus est généralement long et contraignant comme nous l'avions constaté dans les projets antérieurs portant sur la gestion des déchets solides. Il demande beaucoup de patience et une mobilisation de ressources matérielles et humaines importantes, souvent pour des résultats parfois mitigés.

Sur le plan environnemental, les contraintes potentielles portent sur deux risques : d'une part, les conflits fonciers éventuels avec les occupants illégaux actuels des zones humides où nous envisageons d'implanter les stations d'épuration et d'autre part, les possibilités d'inondation des écosystèmes d'épuration du fait de la forte pluviométrie et des faibles pentes des zones humides.

Au final, les résultats et les enseignements tirés de ce travail permettent d'affirmer que les objectifs, initialement fixés dans cette thèse, sont parfaitement atteints. La démarche adoptée a permis de produire des informations qui, sur le plan technique, permettent de dresser clairement le bilan général de la situation de l'assainissement des eaux usées et excréta dans les tissus d'habitat structuré de Yaoundé. Sur le plan fondamental, ces informations représentent une base fiable pouvant aider les professionnels de l'assainissement à mieux cerner les concepts préliminaires propres aux quartiers planifiés des villes situées sous climat tropical humide. Sur le plan de l'application, la création d'un centre de recherche et de développement des technologies extensives dans cette région climatique permettra de répondre aux préoccupations des acteurs impliqués dans les stratégies d'assainissement des eaux usées dans ces zones.

Ainsi, les villes, situées sous climat tropical d'Afrique, pourraient bénéficier des résultats qui seraient obtenus dans le centre d'expérimentation des MHEA®, localisé au quartier Messa de Yaoundé. Le transfert des informations, portant sur la conception, la réalisation et l'exploitation des systèmes extensifs d'épuration, en grandeur réelle, pourrait ainsi s'opérer sans trop de biais. L'étude évaluée à **577 000 €**, le coût total de l'investissement et du fonctionnement nécessaire pour la mise en place de ce centre et le suivi des programmes de recherche qui y sont planifiés pendant 6 années. Cette somme peut paraître gigantesque en première approche, mais, elle est négligeable au regard des investissements, en pure perte, qui ont été engloutis, jusqu'à présent, dans la construction de stations à boues activées non appropriées et totalement inefficaces.

Dans la perspective d'assurer une large vulgarisation des techniques extensives d'épuration des eaux usées, optimisées à partir du centre de recherche et de développement de Yaoundé, l'étude propose, ci-dessous, des pistes de réflexion à approfondir.

- ✓ **La sécurisation foncière de l'espace urbain** : cette réflexion, qui doit aller au-delà des quartiers planifiés de Yaoundé, permettra à l'Etat et aux municipalités de limiter le développement des quartiers à appropriation spontanée et de combattre, à terme, la spéculation foncière qui règne dans le marché immobilier. Des pistes ont déjà été explorées, selon que l'on se trouve en zones libres, en cours de densification ou déjà occupées [LESEAU, 2003]. Dans les zones libres ou en cours de densification, la réflexion devra se focaliser sur les mécanismes permettant aux autorités locales et centrales de rattraper le retard dans la fourniture des terrains aménagés. Elle devra également porter sur les mécanismes d'offre massive et bon marché de parcelles ayant un minimum d'équipements et d'infrastructures de base. L'accélération de l'immatriculation foncière à partir de la restructuration, qui permet de simplifier le parcellaire par des alignements des parcelles, est envisageable dans ce cas. Dans les zones déjà occupées, la réflexion doit permettre aux autorités d'identifier les propriétaires fonciers, de les légitimer et d'engager des procédures d'immatriculation collective. La mise en œuvre de ces propositions requiert une réelle volonté politique. Ces opérations, qui pourraient engendrer des déguerpissements, nécessitent qu'un minimum de participation et de transparence dans les procédures soit instauré entre les différents protagonistes.
- ✓ **L'organisation du service d'assainissement urbain** : la restriction du nombre d'acteurs du domaine est souhaitable et même salutaire du point de vue juridique et financier [LESEAU, 2003]. Une telle démarche clarifierait le contexte d'action et concentrerait au mieux les budgets alloués par l'Etat. La réflexion approfondira cette nécessité dans le but de résoudre la crise, due au chevauchement des rôles et aux fuites de responsabilité, qui caractérise le secteur de la gestion urbaine et de l'assainissement à Yaoundé. Dans cette logique, les textes régissant ce secteur doivent être clarifiés en toute objectivité dans le sens de mieux spécifier les rôles et l'étendue des attributions de chaque acteur. L'unification des responsabilités, pour ce qui concerne les structures étatiques, ainsi que l'implication effective des collectivités locales et des populations sont plus que nécessaires. Le processus de décentralisation place évidemment les municipalités au centre de la gestion des services urbains de proximité. Le transfert de ces prérogatives, au niveau local, suppose donc la mise à disposition effective des moyens matériels, humains et financiers qui l'accompagnent. La réflexion devra donc analyser les conditions d'une

bonne coordination des actions des différents intervenants à travers la création d'un espace de concertation animé par les collectivités locales qui sont responsables du patrimoine urbain. La création d'un tel espace devra être facilitée par l'Etat afin que les équipements d'assainissement existants soient pleinement transférés dans le patrimoine communal ; ce qui suppose leur remise en marche et le renforcement des capacités locales pour en assurer une meilleure prise en charge de leur entretien.

- ✓ **Le financement du service d'assainissement des déchets liquides** : il est opportun de rendre attractif et incitatif le secteur de l'assainissement des eaux usées, comme c'est le cas pour les services d'eau potable et des déchets solides. La réflexion doit approfondir la recherche des mécanismes permettant de mobiliser les ressources financières nécessaires à l'exploitation efficace et durable des systèmes d'assainissement des eaux usées. La fiscalité et la redevance sont deux pistes envisageables simultanément compte tenu de la spécificité de la ville² et des difficultés que rencontrent généralement les autorités municipales à recouvrir les taxes urbaines³ [LESEAU, 2003]. La fiscalisation concernerait uniquement les personnes physiques et morales qui disposent d'une carte de contribuable. La réflexion devra aboutir à l'établissement d'une base de données géographiques pour ces groupes de personnes qui ne représentent qu'une fraction des citoyens, la majorité appartenant au secteur informel et vivant dans les bidonvilles. Cette réflexion devra également proposer des voies et moyens pour limiter les lenteurs de décaissement, clarifier les comptes et permettre une relative autonomie des collectivités locales. Dans son principe, la redevance est basée sur la quantité des déchets liquides produits et collectés ; elle concernerait donc tous les autres usagers compte tenu des difficultés à localiser, en première approche, les bénéficiaires des services urbains [LESEAU, 2003]. La réflexion devra donc approfondir les propositions émises et qui consistent à s'appuyer sur les factures d'électricité pour élargir l'assiette de la redevance de 50 à 75%. L'usage de ce canal trouvera certainement un écho favorable, compte tenu de la volonté affichée des bénéficiaires à participer financièrement pour autant que le service soit effectivement rendu. Enfin, détruire et reconstruire les stations obsolètes, changer les équipements en panne, construire de nouvelles installations plus adaptées, former le personnel et mettre en place les structures de gestion, nécessitent un financement de base relativement important. Un tel financement de réinitialisation pourrait provenir par exemple de l'initiative des fonds des « Pays Pauvres Très Endettés (PPTE) » pour lesquels le Cameroun est éligible [LESEAU, 2003].

² Tissus urbains et structuration de la ville

³ Moins de 50% des ménages paye effectivement la taxe sur l'enlèvement des déchets solides à la Communauté urbaine de Yaoundé

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BIBLIOGRAPHIE

- Adeline, T., 1998 – *Réhabilitation de points d'eau populaires dans une grande métropole : le cas de Yaoundé – AFVP et Hydro Conseil, Les éditions du Gret, Paris, 115-117.*
- Agendia, P.L., 1987 – *Bioaccumulation of mineral nutrients by some typical aquatic macrophytes: application in the purification of Biyem Assi domestic sewage –* Doctorat de spécialité de l'Université de Yaoundé, 161 p.
- Agendia, P.L., 1995 – *Treatment of sewage using aquatic plants : case of the Biyem Assi domestic sewage : Yaoundé -* Thèse de Doctorat d'Etat, de l'Université de Yaoundé I, 154 p.
- Agendia, P.L., Kengné, I.M., Fonkou, T., Mfènya, R., Sonwa, J.D., 1997 – *Compost production from Pistia Stratiotes biomass generated by a macrophytic sewage treatment system in Yaoundé, Cameroon –* Cahier Agricultures, 6, 1, 15-19.
- Aish van Vaerenbergh et al., 1994 – *Election fêlure. Enquête sur le comportement électoral des Wallons et des francophones en 1991 –* DeBoeck Université, Bruxelles, 269 p.
- Albarello, L., 1999 – *Apprendre à chercher. L'acteur social et la recherche scientifique –* Collection Méthodes et Sciences Humaines. DeBoeck Université, Bruxelles, 193 p.
- Bachelier, G., 1959 – *Etude pédologique des sols de Yaoundé. Contribution à l'étude de la pédogenèse des sols ferrallitiques –* in *L'Agronomie tropicale*, vol. XIV, 3, 279-304.
- Baudoin, Y., 1995 – *L'aide aux PVD du continent africain en matière de SIG : quelques réalités –* Article, Atelier sur « Le SIG et leur application dans les sciences sociales, Montréal.
- Blanchet A., Ghiglione R., Massonnat J., Trognon A., 1987 – *Les techniques d'enquête en sciences sociale –* Paris, Dunod, 208 p.
- Bécaye S. D., 2002 – *Epuration des eaux usées domestiques et urbaine par MHEA® en zone sahélienne : le rôle potentiel des écosystèmes terrestres -* Thèse de doctorat en sciences de l'environnement, UCAD, Dakar
- Bonnefont, J.L., Martin, Y.V., Guinnet, B., 1990 – *Etude expérimentale de la décroissance des bactéries fécales en milieu marin : quantification, facteurs impliqués -* Water Research, 24, 3, 267 –273.
- Bonomo, R.A., et al., 1995 – *Biochim, Biophys. –* Acta, 1247, 121 - 125.
- Boudet, G., 1975 – *Pâturage naturels de Haute et Moyenne Casamance –* IEMVT, Etude agrostologique, 27.
- Boutin C. et al., 1998 – *Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités. –* Document technique du FNDAE n°2, Ministère français de l'agriculture et de la pêche. CEMAGREF, CSTB, Imprimerie Jouve, Paris, 96 p.
- Brix, H., 1994 – *Function of macrophytes in constructed wetlands –* Water Science and Technology, 29, 4, 71-78.
- Brix, H., 1997 – *Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands ? –* Water Science and Technology, 35, 5, 11-17.
- Cadasse D., 2002 – *L'Afrique a soif –* Dossier l'Eau pour l'Afrique. in www.unep.org/GEO/geo3/.
- Cadelli D., Radoux M., Nemcova, M., 1998 – *Constructed wetlands for wastewater treatment en Belgium. In : Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe, J. Vymazal, H. Brix, P.F. Green and R Haberl , eds –* Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, 77-93.
- CEMAGREF, 1997 – *Le lagunage naturel : les leçons tirées de 15 ans de pratique en France –* CEMAGREF, ENSP, Agence de l'eau, Paris, 60 p.
- CFPI, 2002 – *Etude de la réhabilitation de la station de lagunage de l'EIER –* CFPI, Groupe EIER – ETHSER, 60 p.
- CFPI, 2004 – *Etude de la remise en conformité des eaux usées de la BRAKINA et de l'Abattoir frigorifique de Ouagadougou -* Rapport final, CFPI, Groupe EIER – ETHSER, 100 p.
- Charbonnel, F., 1989 - *Manuel du lagunage à macrophytes en région tropicales -* Paris, ACCT, 37 p.
- Chevry, G.R., 1962 - *Pratique des enquêtes statistiques -* Presse Universitaire de France, Paris, 310 p.
- CIEH, 1972. *Comité Inter-Africain d'Etude Hydrauliques – Etude économique comparative de différents procédés de traitement des eaux usées sous climat tropical –* CIEH, Ouagadougou, 24 p.
- CIEH, 1993-*Etude comparative des systèmes d'épuration collectifs en Afrique –*BCEOM/CIEH, Ouagadougou, 114 p.
- Cissé, G., 1997 - *Impact sanitaire de l'utilisation d'eaux polluées en agriculture urbaine : cas du maraîchage à Ouagadougou -* Thèse de doctorat, EPFL, Lausanne, 267 p.

- CNUEH, 2001 - *State of the World's Cities 2001*. Nairobi , Kenya, CNUEH , Habitat, Nairobi, 200 p.
- Coquery – Vidrouch, 1988 - *Processus d'urbanisation en Afrique* - Tome 1, L'Harmattan-Villes et Entreprises. Paris, 150 p.
- De Sangly, F., 1992 - *L'enquête et ses méthodes : Le questionnaire* - Collection Sociologie 128, Nathan Université, Paris, 126 p.
- DeBusk, T. A., Reddy, K.R., 1987 – Bod removal in floating aquatic macrophyte : Based wastewater treatment systems - *Water Science and Technology* 19, 12, 273-279.
- Dejoux, C., 1988 - *La pollution des eaux continentales africaines : expériences acquises, situation actuelles et perspectives* - Edition de l'ORSTOM, Paris, France, 289 – 330.
- DIAL, DSCN, 1993 – *Conditions d'activités de la population de Yaoundé : principaux résultats, Enquête 1-2-3 Phase 1* – Yaoundé, 17 p
- DIAL et DSCN, 1993 – *Consommation et conditions de vie des ménages à Yaoundé : principaux résultats, Enquête 1-2-3 Phase 3* – Yaoundé, 17 p
- DIAL et DSCN, 1993 – *Le secteur informel à Yaoundé : principaux résultats, Enquête 1-2-3 Phase 2* – Yaoundé, 29 p
- Djeuda Tchapinga, H.B., Tanawa, E., Ngnikam, E., 2001 - *L'eau au Cameroun. Tome I : Approvisionnement en eau potable* - LESEAU-ENSP, Presse Universitaire de Yaoundé, 359 p.
- Djeuda Tchapinga, H.B., Tanawa, E., Ngnikam, E., Temgoua, E., Ngo Massana, B., 1999 - *Réseaux, normes et qualité de l'eau en relation avec les usages dans un centre urbain secondaire du Cameroun : cas de la ville de Bafang, Ouest - Cameroun* - GEOCAM , 2, 11 p.
- Djuikom E., 1997 - *Qualité bactériologique et physico-chimique des cours d'eau du réseau du Mfoundi à Yaoundé*. Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle en Biologie Animale, Université de Yaoundé I, 160 p.
- DSCN, 1996 – *Enquête camerounaise auprès des ménages. Volume I, Méthodologie* – Yaoundé, 27 p
- DSCN, 1997 – *Enquête camerounaise auprès des ménages. Volume II, Résultats* – Yaoundé, 45 p.
- Duchemin, J. , 1998 - *Grilles de qualité des eaux d'alimentation humaine : Paramètres et fréquences d'analyses des sources en fonction du substrat et de l'environnement* - Documents guides des classements des eaux de la DDAAS, Loire-Atlantique, 8 p.
- Eckenfelder, W.W., 1982 - *Gestion des eaux usées urbaines et industrielles. Caractérisation, technique d'épuration, aspects économiques* - Edition Technique & Documentation Lavoisier, Paris, 503 p.
- EIER, CEREVE, 2002 - *Valorisation des eaux usées par lagunage dans les pays en voie de développement : Etude des cas du Burkina Faso, Cameroun, Côte d'Ivoire, Ghana, Niger et Sénégal-Rapport final, Volumes 1 et 2. Programme Solidarité Eau , pS-Eau. Projet A10 CEREVEE/EIER/UAM*. Volet Action de recherche sur le thème. Groupe EIER – ETSHER I CEREVE/ENPC. Ouagadougou, 120 p.
- ENDA, 2000 – *Enda Tiers Monde. L'épuration extensive des eaux usées pour leur réutilisation dans l'agriculture urbaine : des technologies appropriées en zone sahélienne pour la lutte contre la pauvreté* - Projet 04367, Enda TM, Dakar, 69 p.
- Ennabili, A., 1999 - *Végétation hygrophite du Maroc méditerranéen : Ecologie, Socio-économie et Rôle potentiel dans l'épuration des eaux usées* - Thèse de doctorat en Sciences de l'environnement à la FUL, 1999.
- ENSP, 1995– *Maîtrise de l'environnement urbain*–Rapport du séminaire. FICU/AUPELF-UREF, ENSP/DCU. Yaoundé, 150 p.
- ERA Cameroun, 2000 – *Rapport d'activités 2000* – Yaoundé, 70 p.
- Fanqueville, A., 1987 - *Construire une capitale* - Editions de l'ORSTOM, 160 p.
- FAO, 2002 – *A climate Database for cropwat* – www.fao.org/ag/agl/.
- FOCARFE , 1995 – *Compostage des déchets solides dans une vingtaine de sites de Yaoundé* – Rapport final du projet n°4, SCAC, Coopération Française, FOCARFE, Yaoundé, 60 p.
- FOCARFE,, 1993 – *Rapport du projet de valorisation des ordures ménagères par compostage dans les quartiers spontanés de Yaoundé* – FOCARFE, Yaoundé, 50 p.
- Fondation Roi Baudoin, FUL, 1980 - *L'épuration des eaux en zone rurale* - Collection Villes et Villages N°80, 70 p.
- Fonkou T., 1996 – *L'épuration par voie naturelle des eaux usées au campus de l'Université de Yaoundé I* – Thèse de doctorat de 3^{ème} cycle, spécialité Hydrobotanique appliquée. Université de Yaoundé I, 152 p

- Fotso, E., 1988 – *Contribution à l'étude des milieux aquatiques : cas de l'étang de la Retenue de Mélen , Yaoundé* - Mémoire de maîtrise, Université de Yaoundé, 57 p.
- Gaujous D., 1995 - *La pollution des milieux aquatiques : aide mémoire* - Edition Technique & Documentation Lavoisier, Paris, 220 p.
- Germain, R., 1952 - *Les associations végétales de la plaine de la Ruzzi , Congo Belge en relation avec le milieu* - Publication de l'INEAC. Série scientifique N°52, 321 p.
- Godron, M. et coll., 1968 – *Relevé méthodique de la végétation et du milieu*. Code et transcription sur cartes perforées – Edition du CNRST, 502 p.
- Gougoussi, C., 1984 - *Assainissement individuel et aptitude des sols à l'élimination et à l'épuration des effluents domestiques* - Document du BRGM N°38, Paris, 304 p.
- Grais, B., 1998 - *Méthodes statistiques : Techniques statistiques 2* - 3^{ème} édition, Dunod, Paris, 402 p.
- Grosbras, J.M., 1987 - *Méthodes statistiques des sondages* - Collection Economie et statistiques avancées de l'ENSAE, Economica, Paris, 331 p.
- 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, 65 p.
- Guinochet, M., 1973- *Phytosociologie* - Collection d'écologie I, Masson et Cie, Editeur. Paris , VI^{ème}, 201 p.
- Guiral, D., Bouvy, Y. M., Arfi, R., Bambara, S. , 1993 - *Ecologie des bassins de lagunage pour le traitement des effluents domestiques en milieu tropical* - Journal Ivoirien d'Océanographie et de Limnologie. Vol. 2 1, 19-39.
- Harvey, F. , 1973 – Nutrients removal using lemna minor – J.W.P.C.F, 45 , 9, 1928 – 1938
- IAGU, , 2002 – *Programme d'étude sur la réutilisation des eaux usées en agriculture urbaine en Afrique francophone : cas du Burkina Faso* – Groupe EIER-ETSHER, IAGU, Dakar, 150 p.
- Iketunuonye, M., 1987- *A contribution to the study of aquatic macrophytes in Cameroon: Their biology, ecology, phytosociology in natural ecosystems and in phytoepurational systems*- Thèse de doctorat, Université de Yaoundé, 166 p.
- Ita, E. O. , 1994 - *Aquatic plants and wetland wildlife resources of Nigeria* - CIFA/OP 21, Food and agriculture Organization of United Nation, Rome, 52 p.
- Kengné, N. I.M. , 2000 - *Evaluation d'une station d'épuration des eaux usées domestiques par lagunage à macrophytes à Yaoundé : performances épuratoires, développement et biocontrôle des Diptères Culcidae* - Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle à l'Université de Yaoundé I, 138 p.
- Kengné, N. I.M., Agendia, P.I., Amougou, A., 2002 – *Epuration des eaux usées domestiques par lagunage à macrophytes et utilisation en agriculture urbaine à Yaoundé*. Communication à l'atelier de restitution de la Phase IV du CREPA, Ouagadougou.
- Kengné, N. I.M., Agendia, P.I., Amougou, A.Brissaud, F., Jiagho, E.R., Ndikefor, E.A., Temgbet, Z., Menyengue, P., Ngniado, P., Ayissi, I.T.F. , 2000 – *Evaluation d'une station d'épuration d'eaux usées domestiques par lagunage à macrophytes à Yaoundé : performances épuratoires, développement des moustiques : un dilemme* - Colloque international Eau.Santé, Ouagadougou. IRD, 1/2. 24-31.
- Klutsé, A. , 1995. *Epuration des eaux usées domestiques par lagunage en zone soudano-sahélienne : Ouagadougou – Burkina Faso*. Thèse de doctorat de l'Université de Montpellier II, 160 p.
- Koné, D., 2000 – *Le traitement des eaux usées par lagunage : une décennie de recherche à l'EIER* – in Actes du séminaire international Assainissement urbain en Afrique, Gorée-Dakar, Aquadev, 53-56.
- Koné, D., 2002 - *Epuration des eaux usées par lagunage à microphytes et à macrophytes en Afrique de l'Ouest et du Centre. Etat des lieux, performance épuratoires et critères de dimensionnement*-Thèse de doctorat, EPFL, Lausanne, 170 p.
- Kopieu, G., 1992 – *Expérience de la Côte d'Ivoire dans l'épuration des eaux usées par bassin de stabilisation ou lagunage* – in *Atelier de réflexion sur l'environnement*, 27-31 janvier 1992, Yamoussokro, Côte d'Ivoire, 283-307.
- Laouali, M.S., 2003 – *Epuration des eaux usées par lagunage expérimental en climat tropical : Etude comparative de lagunages à microphytes et macrophytes, Valorisation des sous-produits* - Thèse de doctorat d'état, Université de Ouagadougou, 209 p.
- LESEAU, 1998 - *Gestion de L'Eau et Protection de la Ressource* - Rapport final du projet de recherche, Programme Solidarité Eau, Coopération française, ENSP, Yaoundé, 200 p.

- LESEAU, 2002 - *Inventaire des déchets solides et liquides non ménagers de la ville de Yaoundé* - Rapport final, Service de Coopération et d'Action Culturelle, Ambassade de France au Cameroun, Yaoundé, 125 p.
- Mampouya, M., 2002 – *Epidémiologie, Hygiène du milieu et Hygiène alimentaire* – Extrait de cours en FPU GSE, EIER, Ouagadougou.
- Maystre, L.Y., 2000 – *L'assainissement urbain en Afrique : enjeux et attentes* – in « Assainissement urbain en Afrique ». Actes du séminaire international de Gorée, Goré-Dakar, Aquadev, 17-22.
- Mbéguéré Mbaye, 2002 – *Epuration des eaux usées domestiques et urbaine par MHEA® en zone sahélienne : le rôle potentiel des écosystèmes aquatiques et semi-aquatiques* - Thèse de doctorat, UCAD, Dakar.
- Mbumbia, L. , 2002 - *Etude de l'évolution des transformations thermiques des phases minérales des latérites de Yaoundé en vue de la modélisation d'un four à basse température de cuisson* - Thèse de doctorat, Université Catholique de Louvain, 299 p.
- Milway , 1970 - *L'entrophisation dans les grands lacs et les retenues d'eau* - Rapport du Symposium d'Uppsala, Skokloster Uppsala, Suède, OCDE.
- MINEF, 1996 – *Programme National de Gestion de l'environnement au Cameroun* – Vol. 1 à 6, Yaoundé, 500 p
- MINUH, 1996 - *Rapport national sur les établissements humains au Cameroun* HABITAT II, Yaoundé, MINUH/DAH, 200 p.
- Myrand, B., De La None, J. , 1982 - *Croissance individuelle et dynamique des populations de Daphnia magna en culture dans les eaux usées traitées* – Hydrobiologia, 97, 167 – 177.
- Nations Unies, 2001 - *World Population Prospects : 1950-2050* - New York, ONU, Division de la population.
- Nemcova, M., Cadelli, D., Radoux, M. , 2001 - *The impact of flow pattern on purification efficiencies of terrestrial ecosystems planted with ligneous species in the MHEA® system* - in Transformation of Nutrients in Natural and Constructed Wetlands, J. Vymazal. Backhuys Publishers , eds, Leiden , the Netherlands 243-255.
- Ngnikam E., Wéthé J., Vermande P., 1994 – *Gestion et traitement des déchets solides urbains de Yaoundé, horizon 2010*. Rapport en 3 volumes. ENSP – FEICOM, Yaoundé, 320 p.
- Ngnikam, E., 2000 – *Evaluation environnementale et économique de systèmes de gestion des déchets solides municipaux : cas de Yaoundé au Cameroun* – Thèse de doctorat, INSA, Lyon, 363p .
- Ngnikam, E., Wéthé, J., Tanawa, E., Ridacker, A., 1997a – *Composting of household waste to clean street and increase crops yield in Yaoundé : a solution for poor cities* – In Communication at international conference on agriculture for Food, energy and industry, FAL, FAO, june 1997, Brunschig, Allemagne, 9 p.
- Ngnikam, E., Wéthé, J ; Vermande, P., 1995 – *Une méthodologie d'évaluation des déchets des marchés des villes africaines : l'exemple de Douala et Yaoundé au Cameroun* – Bulletin du RABEDE N°5, ENDA TM, Dakar.
- Ngnikam, E., Wéthé, J., Tanawa, E., Vermande P. , 1997b – *Une démarche intégrée pour la maîtrise de la gestion des déchets solides urbains au Cameroun* – Revue Sciences et technique des déchets N°5, Edition SAS, Paris, 22-34.
- Niang, S., Diop, B.S., Mbeguéré, M., Radoux, M., 1997 - *Optimisation des rendements de six stations miniaturisées d'épuration par voies naturelles soumises à des eaux usées urbaines fortement chargées* - Bulletin de l'IFAN Cheikh Anta Diop, T49, Série A N°1, 191 -204.
- Nya, J., Brissaud, F ; Kengné, I.M., Drakides, C., Amougou, A., Atangana, E.R., Fonkou, T., Agendia, P.L., 2002 – *Traitement des eaux usées domestiques au Cameroun : performances épuratoires comparée du lagunage à macrophytes et du lagunage à microphytse* – in « Proceedings of international symposium on environmental pollution control and waste management », EPCOWN 2002, Tunis, INRST, JICA 2/2, 726-736.
- OMS, 2000 – *Global water supply and sanitation assessment, 2000 report* – in http://www.int/water_sanitation_health/Globalassessment/.
- OMS et PNUD, 1990 - *L'urbanisation et ses incidences sur la santé de l'enfant : possibilités d'action* – Chiral, France.
- OMS et UNICEF , 2000 – *Eau potable et assainissement en Afrique* – in <http://www.unep.org/geo/geo3/french/>.
- Onga Nana, M. , 1995 – *Décentralisation et aménagement urbain intégré : contribution à une nouvelle approche de l'urbanisation au Cameroun* - Avant projet de thèse, Yaoundé, 171 p.
- ONU/HRI, 2000 – *Document de base faisant partie intégrante des rapports présentés par les États Parties : Cameroon. 19/06/2000. HRI/CORE/1/Add.109. , Core Document*, ONU, Extrait du rapport.

- ONU/WWAP, 2003 – *UN world water development report. Water for people, Water for life. Rapport d'évaluation de la situation mondiale de l'eau potable et l'assainissement en 2000* – UNESCO/Berghalm Books, in <http://www.unesco.org/water/wwap/words>.
- ONU-Afrique - *Relance, d'après des données de la Division de la population de l'ONU.* - <http://www.un.org/french/ecosocdev/>
- Page, M., 1980 - *La maîtrise de la croissance urbaine* - Edition Que sais-je ? PUF, Paris, 80 p.
- Pamo, 1983 – *Mathematical approach to range conditions in comparison to the SCS method* – PhD Dissertation, New Mexico State University, USA, 189 p.
- Pettang C., Vermande P., Zimmermann M., 1995 – *L'impact du secteur informel dans la production de l'habitat au Cameroun* – Cahier des sciences humaine, 31, 4, 883 - 903.
- PNUD, 1996 – *Rapport sur le développement* – Nations Unies, Rapport 1996 pour l'Afrique.
- PNUD, 2000 – *Rapport sur le développement* – Nations Unies, Rapport 2000 pour l'Afrique.
- Quivy, R., Van Campenhoudt, L., 1988 - *Manuel de recherche en sciences sociales* - Dunod, Paris, 271 p.
- Radoux, M., 1976 - *Zones humides et recherche fondamentale en écologie végétale* - Revue Parc naturel, 31, 4, 217-224.
- Radoux, M., 1977 – *Contribution à l'étude de la productivité, de la structure et du fonctionnement des roselières des districts de Mosan et Lorain* – Thèse de doctorat de la FUL, Arlon, Belgique.
- Radoux, M., 1980 - *Approche écologique et expérimentale des potentialités épuratrices du roseau commun Phragmites australis. Trim. ex Stend.* – Liège, Tribune du Cebedeau, 439 – 440. 33, 329 – 339.
- Radoux, M., 1982. *Etude comparée des capacités épuratrices d'un lagunage et d'un marais artificiel miniature recevant la même eau usée en zone rurale* - In J.J. Symoens, S.S. Hooper & Compère : *Studies on aquatics vascular plants*. Royal botanic society of Belgium, Brussel, 346 – 352.
- Radoux, M., 1987 - *Epuraton des eaux usées par hydrosère reconstituée sous climat tempéré. Hypothèses d'application sous climat sahélien* - Tribune du Cebedeau, 40 Liège, 11 – 20.
- Radoux, M., 1991 – *Epuraton des eaux usées par une mosaïque hiérarchisée d'écosystèmes artificiels : l'exemple de Lallaing*. Communication présentée au Colloque « L'environnement dans la stratégie de développement du Nord-Pas-de-Calais », Hellemmes, Lille.
- Radoux, M., 1994 – *L'optimisation des technologies rustiques d'épuration : la mosaïque hiérarchisée d'écosystèmes artificiels.* – in : Atelier de l'Eau, S. Daubrebande, J.M. Marcoen, D. Xanthoulis, J. Van Gysel, C. William, eds, CEBEDOC, Liège, 227-245.
- Radoux, M., 1995 - *Qualité et traitement des eaux : note de cours à l'Université Senghor d'Alexandrie, 1er et 2ème partie* – FUL, Arlon, Belgique, 329 p.
- Radoux, M., 1996a - *L'utilisation rationnelle de l'épuration par voie naturelle des eaux usées urbaines dans les pays du Sud* - Forum des chercheurs sur l'eau et les hommes, Approche a.s.b.l., 61-103.
- Radoux, M., 1996b - *La genèse d'une nouvelles technologie extensive d'épuration des eaux usées : la M.H.E.A.* - Revue Environnement et Société n° 16, Numéro spécial 25 ans de la FUL, 81-82.
- Radoux, M., 2002 – *L'optimisation des technologies naturelles d'épuration* – Extrait Chapitre 2 du cours sur la « Qualité et traitement des eaux », Université Senghor d'Alexandrie, FUL, Arlon, Belgique, 57p.
- Radoux, M., Cadelli, D., Nemcova, M., Diop, B.S., Mbeguéré, M., 2000. - *Optimisation of naturela wastewater treatment technologies : stratégies and development in third word : cas study, Implementation of MHEA® process in Dakar , Senegal. Managing water and waste in the new Millennium. The challenges for developing areas* - Midrand/Johannesburg, 23-26 may 2000,.
- Radoux, M., Cadelli, D., Nemcova, M., Ennabili, A., Ezzahri, J., 2003 - *Optimisation of extensive wastewater treatment systems under Mediterranean conditions , Morocco : compared purification efficiency of artificial ecosystem* - The Wetlands-Nutriments metals and mass cycling, J. Vymazal, Netherland 1-26.
- Radoux, M., Cadelli, D., Paquet, 1996 - *Intégrer et optimiser les techniques naturelles d'épuration : la méthodologie et la technologie M.H.E.A.* FUL, Arlon.
- Radoux, M., Nemcova, M., Cadelli, D., 2002 - *Epuraton et réutilisation des eaux usées domestiques et urbaines dans les régions en développement. Exemple au Sénégal, Dakar, Cambérène et au Maroc , Tétouan, M'Diq* - Colloque international sur Francophonie et Développement durable, Dakar.

- Reddy, K. R., Agami, M.M.D.A., Tucker, J.C., 1991 – *Influence of potassium supply on growth and nutrient storage by water hyacinth* – *Bioresource Technology* 37, 79-84.
- Reddy, K. R., DeBusk, T.A., 1987 – *Nutrient storage capabilities of aquatic and wetlands plants. Aquatic plants for water treatment and resource recovery* – Reddy, K.R. and Smith, W.D., Orlando, Mangnolia Publishing Inc., 337-357.
- République du Cameroun, 1976 - *Régime foncier et domanial* - Imprimerie Nationale. Yaoundé, 158 p.
- Requier – Desjardins, D., 1998 – *Impacts environnementaux de l'urbanisation*. Cours photocopiés - Département Gestion de l'environnement, Université Senghor d'Alexandrie, Alexandrie.
- RGPH, 1987 - *Deuxièmes recensements généraux de la population et de l'habitat du Cameroun* - Vol. II, résultats bruts, République du Cameroun, 838 p.
- Roggeri, H., 1995 - *Zones humides tropicales d'eau douce. Guide des connaissances actuelles et de la gestion durable* - Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 385 p.
- Salle, F. F. A., 1985 - *Contribution à l'étude des pâturages naturels de Haute et Moyenne Casamance : étude phytosociologique par l'analyse factorielle des correspondances* - Thèse de doctorat vétérinaire de l'Ecole nationale Vétérinaire de Toulouse, Université Paul Sabatier, Toulouse, 86 p.
- Schmitz, A., 1971 - *La végétation de la plaine de Lubumbashi, Haut Katanga* - Publication de l'Institut national pour les Etudes Agronomiques du Congo, INEAC, Série scientifique N°113, Ministère Belge de l'Education National et de la Culture, 387 p.
- Schmitz, A., 1988 - *Révision des groupements végétaux décrits du Zaïre, du Rwanda et du Burundi*. Musée Royal de l'Afrique Centrale – *Annales des Sciences économiques* n°17, Tervuren, Belgique, 315 p.
- Sikati, F.V., 1991 – *Variation temporelle des bio-indicateurs bactériens à l'entrée et à la sortie de la station d'épuration du Centre Hospitalier Universitaire de Yaoundé*, CHU – Mémoire de maîtrise, Université de Yaoundé. 64 p.
- SOGREAH, 1993 – *Etudes du plan directeur d'assainissement de la ville de Yaoundé* – Rapport 10014R3, 350 p.
- Tanawa, E., 1986 – *Assainissement des eaux usées de l'agglomération de Yaoundé : exemple du campus de l'Université de Yaoundé I* – Mémoire de fin d'études d'ingénieur, ENSP, Yaoundé, 87 p.
- Tanawa, E., 1992 - *Contribution à l'étude des données relatives aux villes moyennes des pays en développement : application à la gestion de la voirie* - Thèse de doctorat, INSA de Lyon, 242 p.
- Tanawa, E., Djeuda Tchapinga H.B., Ngnikam E., Siakeu J., Ngo Massana B., 1998 - *Municipalités et services public : l'exemple de l'eau potable au Cameroun* - Série "Politique Africaine", Kartala.
- Tanawa, E., Djeuda Tchapinga, H. B., Ngnikam, E., 1998 - *Accès to drinking water in small size urban area : the case of Cameroon* - International Conference "Community Research for the Habitat Agenda. Linking Research and Policy for the Sustainability of Human Settlements", Geneva 6-8 July 1998, 10 p.
- Tanawa, E., Djeuda Tchapinga, H.B., Ngnikam, E., Wéthé, J., Temgoua, E., 2000 - *L'accès à l'eau potable : un enjeu pour la démocratie locale au Cameroun*. In *Logique technique, logique démocratique : la mise en œuvre de la démocratie* - in Cahiers Velin, Vaux-En-Velin, France.
- Tanawa, E., Djeuda, Tchapinga, H B., Ngnikam, E., Siakeu, J., 1999 - *L'approvisionnement en eau potable à Yaoundé et dans d'autres villes camerounaises : les difficultés des pouvoirs publics et les options pratiques des populations* – in ouvrage collectif du Département des Sciences de la Terre de l'Université de Yaoundé I, 20 p.
- Tanawa, E., Ndoumbé, N.H., Minla, J., 2001 - *Programmes Municipaux Intégrés de Lutte contre La Pauvreté dans la Commune Urbaine d'Arrondissement de Yaoundé VI* - Dossier préparatif de la consultation de ville. Projet n°CAM/2000/008/08/56, 88 p.
- Tanawa, E., Wéthé, J., 1996 – *Le SIG : un outil d'aide à la gestion des réseaux d'eau potable au Cameroun* – 8^{ème} conférence internationale de l'UADE, Yaoundé.
- Touré, C.S., 1986 – *Elimination de la pollution carbonée dans les deux réacteurs à biomasse fixée sur support latérite et quartz en conditions climatiques tropical et sahéliennes* – Thèse de doctorat, EPFL, Lausanne, 159 p.
- Tribillon, J.F., 2001 - *Questions urbaines : Libres propos sur quelques innovations urbanistiques introduites par la loi SRU du 13 décembre 2000* - L'élargissement du raisonnement urbanistique, les Zac, Paris, 25 p.
- Troupin, G., 1978 - *Flore du Rwanda. Spermatophytes* – Vol. 1, Musée Royal de l'Afrique, Annales, Série IN-8. Sciences économique n°9, Centrale, Tervuren, Belgique, 413 p.
- UADE et OIEAU, 1993 – *Assainissement urbain en Afrique : Gestion des déchets liquides et solides dans les*

- centres urbains d'Afrique* – Rapport final du séminaire « Assainissement urbain en Afrique ». Ministère Français de la coopération, 250 p.
- Valiron, F., 1996 - *L'eau et la vie des hommes au XXI^{ème} siècle. Thème 5 : Le cas des mégalo-poles* - Académie de l'eau et Mouvements Universels de la Responsabilité Scientifique, UNESCO. Agence de l'eau Sein-Normandie et Sciences et devenir de l'homme, Paris, du 26 au 27 mars 1996.
- Vanchi-Bonnardi, R., 1973 - *Grand Atlas du continent africain* - Edition Jeune Afrique. 1^{ère} Edition, Paris, 260 p.
- Vennetier, P., 1991 - *Les villes d'Afrique tropicale, 2^{ème} Edition*, Masson, Géographie, Paris, 244 p.
- Wéthé, J., 1995 – *Situation de l'assainissement des eaux usées à Yaoundé, Cameroun* – Rapport de stage organisé par la JAICA, d'août à octobre, Sapporo, Hokkaïdo, 50 p.
- Wéthé, J., 1997 – *Mobilisation et gestion participative des points d'eau dans les quartiers spontanés : analyse du cas de Yaoundé, Cameroun* – Rapport. Convention de recherche 005/96/CREPA, Programme RAGEDE, CREPA, Ouagadougou, 76 p.
- Wéthé, J., 1999 - *Urbanisation et protection de la ressource en eau : une approche basée sur les Systèmes d'Information Géographiques appliquée à Yaoundé au Cameroun*. Mémoire de fin d'études de DEPA, Université Senghor d'Alexandrie, Egypte, Département de Gestion de l'environnement, 107p.
- Wéthé, J., 2001 – *Rapport d'étape 1 : activités de recherche à Yaoundé 2000 – 2001* – ENSP Yaoundé, 85 p.
- Wéthé, J., 2002 – *Rapport d'étape 2 : activités de recherche à Yaoundé 2001 – 2002* – ENSP Yaoundé, 50 p.
- Wéthé, J., Kientga, M., Koné, D., 2002 – *Réutilisation des eaux usées urbaines en agriculture urbaine en Afrique : étude du cas de Ouagadougou, Burkina Faso* – Rapport de projet IAGU/RAUF, Ouagadougou, 150 p.
- Wéthé, J., Radoux, M., Tanawa, E., 2003 – *Assainissement des eaux usées et risques socio-sanitaires et environnementaux en zones d'habitat planifié de Yaoundé, Cameroun*. – VertigO, 4, 1, 1-12.
- Wolverton B.C., McDonald, R.C., 1979 – *Upgrading facultative lagoons with vascular aquatic plants* – J. Water Pollution and Contrôle, vol 51, 2, 305-313.
- Wolverton, B.C., 1987 – *Aquatic plants for wastewater treatment : An overview* – in « Aquatic plants for water treatment and resource recovery », Orlando, Reddy, K.R., a W.H.s, Magnola, 3-16.
- Wolverton, B.C., Barlow, R.M., McDonald, R.C., 1975 – *Application of vascular aquatic plants for pollution removal, energy and food production in a biological system* – NASA, Washington, TM X 72726.,
- WRU, 2001 – *Water Research Unit, Caractéristiques des eaux d'irrigation des parcelles agricoles dans les quartiers densément peuplés de Yaoundé*. WRU, Université de Yaoundé 1, 10.
- Yonkeu, S., 1993 – *Végétations des pâturages de l'Adamoua, Cameroun : écologie et potentialités pastorales* – Thèse de doctorat de l'Université de Renne 1, spécialité écologie appliquée, Rennes, 213.

Sites internet

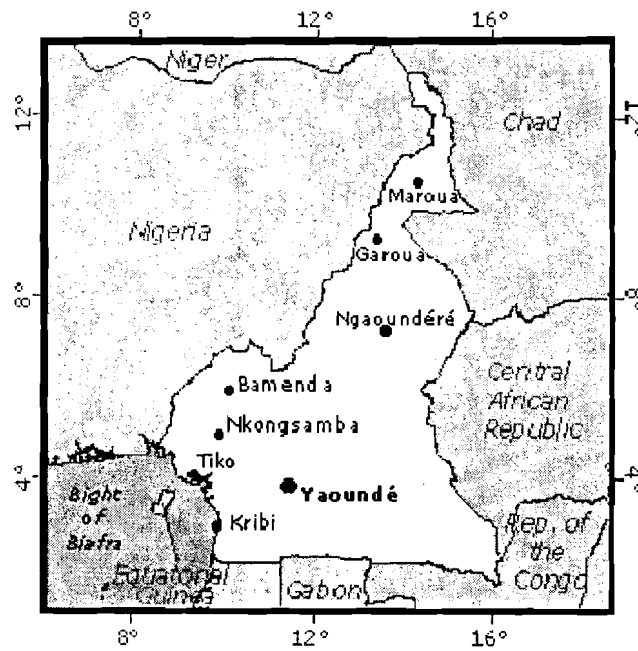
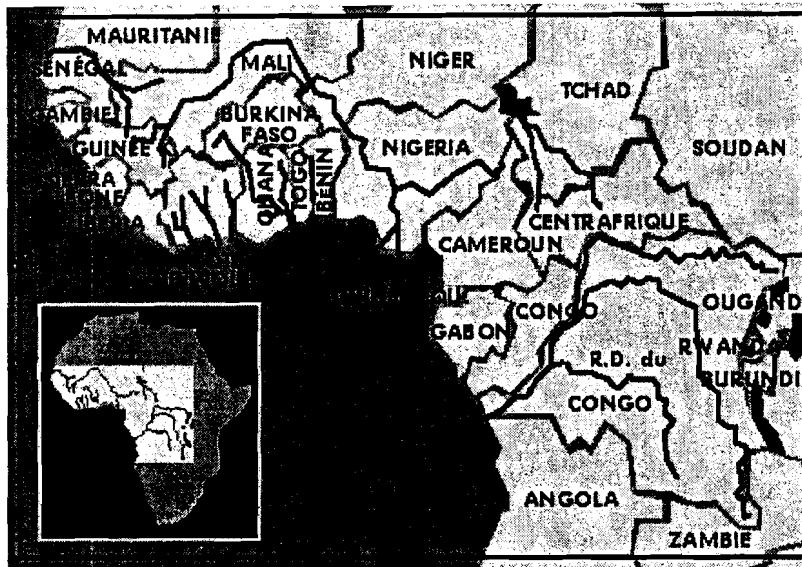
- WEB1, <http://fr.wikipedia.org/wiki/Climat>
- WEB2, <http://membres.lycos.fr/amazonny/forettropicale.htm>
- WEB3, <http://mtn-cremli.ac-nice.fr/~ordimad/arbre/presenta/dos63/index.htm>
- WEB4, <http://www.congo2000.net/geographie/climat.html>
- WEB5, <http://www.momes.net/education/geographie/1/climat.html>
- WEB6, <http://www.un.org/millennium>
- WEB7, <http://www.unep.org/GEO/geo3/>
- WEB8, <http://www.wateryear2003.org/fr/>
- WEB9, <http://www.wateryear2003.org/fr/ev/>
- WEB10, <http://www.fao.org/WAICENT/fao/agricult/agl/aglw/Aquastat>
- WEB11, <http://www.who.int/world-health-day/2003/en/>
- WEB12, <http://www.worldbook.com/fun/atw/>
- WEB13, <http://www.worldwaterforum.net/main.html>
- WEB14, <http://www.perso.wanadoo.fr/spephane-guibert/ecologie/inventaire/vegetal/vegetal2/>

ANNEXES

Annexe I : Carte de localisation du Cameroun et de Yaoundé	194
Annexe II : Outils de collecte et d'analyses des données	196
Annexe III : Quelques données caractéristiques des zones humides de Yaoundé	208
Annexe IV : Détail du budget du centre de recherche et de développement des technologies extensives suivant le processus des MHEA .	223

Annexe I :
Carte de localisation du Cameroun et de Yaoundé

CARTE de Localisation du Cameroun



Source: FAO-Forestry. Déni de responsabilité. Version: 1995

Annexe II :
Outils de collecte et d'analyses des données de terrain

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE
POLYTECHNIQUE
B.P. 8390 Yaoundé - CAMEROUN
Tél: 222 45 47

UNIVERSITE DE YAOUNDE 1
THE UNIVERSITY OF YAOUNDE

Laboratoire Environnement et Sciences de l'Eau

FICHE D'ENQUETE AUPRES DES MENAGES DE YAOUNDE

Nom Enquêteur : _____

Date enquête : /__/_/___/

Nom du quartier : _____

Numéro de la fiche : /__/_/

100/- CONNAISSANCE DU MENAGE

101/- Nombre de maisons dans la parcelle /__/_/ 102/- Nombre de ménages/parcelle /__/_/

102/- Typologie de l'habitat/___/ 1/- Moderne 2/- Mixte 3/- Traditionnelle 4/- Autre _____

103/- Niveau de standing du cadre de bâti /___/ 1/- Très haut 2/- Haut 3/- Moyen 4/- Bas

104/- Date d'occupation de la parcelle / maison /__/_/___/ (JJ/MM/AA)

105/- Statut d'occupation de la parcelle / maison /___/ 1- Propriétaire 2- Locataire 3- Maison familiale 4- Autres /_____/

106/- Genre du chef de ménage : /___/ 1- Masculin 2- Féminin

107/- Taille du ménage enquêté : /__/_/ personnes

108/- Nombre d'enfants allant à l'école 1/- primaire /__/_/ 2/- secondaire /__/_/ 3/- Universitaire /__/_/

109/- Nombre d'enfants en activité et vivant dans les ménages /__/_/___/ enfants

110/- Le chef de ménage a-t-il un emploi ? /___/ 1/- Oui 2/- Non

111/- Si oui, quelle est son activité principale ? /_____/

112/- Le chef de ménage exerce-t-il un activités secondaires ? /___/ 1/- Oui 2/- Non

113/- Si oui, laquelle ? /_____/

114/- Quelle est l'activités de la conjointe ? /_____/

115/- Activités des enfants ayant un emploi ? /_____/

116/- Revenu mensuel du chef de ménage 1^{er} : → /_____/ 2^{ème} → /_____/

117/- Revenu mensuel de la conjointe /_____/.

118/- Revenu mensuel des enfants en activité 1^{er} : → /_____/ 2^{ème} → /_____/.

119/- A combien s'élève les dépenses mensuelles du ménages ? /_____/ fCFA

120/- A quoi sert ces dépenses ? 1/- Nutrition/___/ 2/- Loyer /___/ 3/- Déplacement /___/ 4/- Eau/___/ 5/- Electricité /___/ 6/- Téléphone/___/ 7/- Santé /___/ 8/- Autres /___/

121/- Quelle est l'épargne mensuelle du ménages ?

122/- Moyen d'information existant : 1/- Téléviseur /___/ 2/- Radio /___/ 3/- Autre à préciser /___/ _____

123/- Y a-t-il dans la ville ou dans votre quartier un endroit où les enfants vont s'informer ? /___/ 1/- Oui 2/- Non

124/- Si Oui, lequel ? 1/- Maison des jeunes /___/ 2/- Centre de jeunesse /___/ 3/- Autre à préciser _____

200/- CONSOMMATION DE L'EAU POTABLE DANS LE MENAGE

201/- Principal mode d'alimentation en eau /___/ 1- Réseau SNEC 2- Chez le voisin connecté 3- Borne fontaine (préciser prix/quantité : ___ fCFA/___l) 4- Puits/forage 5/- Autres à préciser

202/- Si Puits/forage, préciser le niveau d'aménagement /___/ 1/- Bien 2/- Moyen 3/- Sommaire

203/- Si Puits/forage quelle est la quantité d'eau consommée par jour ? /_____/ m³/jour

204/- Si Réseau SNEC ou le voisin, quelles sont les quantités d'eau consommée pendant les trois derniers mois (cf. tableau)

Mois et Année	Quantité d'eau consommée (m ³ /mois)	Coût total mensuel (fCFA/mois)	Décomposition du montant total			Autres observations (coût des tranches)
			Montant réel de la consommation	Montant de la TVA (fCFA)	Autres frais à préciser (fCFA)	

205/- Quels sont les principaux usages de l'eau et les horaires correspondants ? (compléter le tableau)

N° d'ordre	Usages	Source utilisée	Fréquence (nombre de fois par jour)	Volume par fréquence (litres/fréquence)	Exutoire des eaux usées (lieu d'évacuation)
20501	Boisson				
20502	Cuisson				
20503	Bain / Douche				
20504	Bain (baignoire)				
20505	Hygiène de la main				
20506	Vaisselle				
20507	Lessive				
20508	Lavage du véhicule				
20509	Propreté de la maison				
20510	Arrosage des jardins				
20511	Chasse d'eau dans les WC				
20512	Autres à préciser				

206/- Quels sont les principaux problèmes que vous rencontrez en matière d'alimentation en eau ? _____

207/- Pouvez-vous nous préciser dans le tableau ci-dessous les différents équipements sanitaires existants (nombre, quantité d'eau/jour et nombre de personnes/jour)

N° d'ordre	Equipement sanitaire	Nombre existant	Fréquence d'utilisation/ personne/jour	Où vont les eaux	Tranches horaire d'utilisation				
					Tôt le matin	Nuit	Matinée	Après-midi	Soirée
3020	Baignoire								
3021	Colonne de douche								
3022	Lave – mains								
3023	Evier de cuisine								
3024	Buanderie								
3025	Robinet extérieur								
3026	Machine à laver								
3027	Lavabo								
3028	W.C.								
3029	Autres à préciser								

300- FONCTIONNEMENT DES OUVRAGES D'EVACUATION ET DE TRAITEMENT DES EAUX USEES

301/- Quels sont les principaux systèmes d'évacuation des eaux usées produites dans votre ménage ? / ___ / 1- Réseau d'égout (de connections ?) 2- Fosse septique & puits filtrant (caractéristiques au verso ?) 3- Latrines (caractéristiques au verso) 4- Autres à préciser. _____

Dans le cas des ménages ayant une fosse septique ou une latrine (Système autonome)

301/- Quand l'avez-vous construite ? / ___ / ___ / ___ /

302/- Par qui ce système a-t-il été construit ? / _____ /

303/- Quel a été le coût de réalisation / _____ / rCFA,

304/- Avez-vous déjà effectué une vidange ? 1/- Oui 2/- Non

305/- Si oui combien de fois déjà ? / ___ / ___ / fois

306/- Quand remonte la date la dernière vidange / ___ / ___ / ___ / JJ/MM/AA

307/- Avec quoi avez-vous fait cette vidange ? / ___ / 1/- Camion spécialisé 2/- Manuellement 3/- Autre _____

308/- Combien avez-vous payé pour effectuer cette vidange ? / _____ / rCFA

309/- Connaissez-vous où sont évacuer les produits de vidange de votre fosse ? / ___ / 1/- Oui 2/- Non

310/- Si Oui, préciser le lieu (ville/quartier) / _____ /

311/- Quel est votre appréciation sur le fonctionnement de votre ouvrage d'assainissement ? _____

Cas des ménages raccordés au réseau d'égout

313/- Connaissez-vous où se situe la station d'épuration de votre quartier ? / ___ / 1- Oui 2- Non

314/- Selon vous, qui à la charge d'assurer la gestion de cette station ? _____

315/- Combien avez-vous payé pour être raccordés au réseau d'évacuation des eaux usées de votre quartier ? / _____ / rCFA

316/- Comment jugez-vous ce taux ? / ___ / 1/- Elevé 2/- Moyen 3/- Bas 4/- Autre _____

317/- Combien payez-vous chaque mois/année pour la collecte, l'évacuation et le traitement de vos eaux usées dans la station d'épuration ? / _____ / rCFA/mois/année.

318/- Comment jugez-vous ce taux ? / ___ / 1/- Elevé 2/- Moyen 3/- Bas 4/- Autre _____

319/- Quel est votre jugement sur son fonctionnement actuel ? _____

320/- Etes-vous satisfaits du service que vous rendent le réseau d'égout et la station d'épuration ? / ___ / 1- Oui 2/- Non

321/- Pouvez-vous nous dire pourquoi ? _____

400/- PROBLEMES RENCONTRES EN MATIERE D'ASSAINISSEMENT DES EAUX USEES

401/- Veuillez compléter le tableau ci-dessous, en précisant par ordre d'importance à chaque niveau, les principaux problèmes que vous rencontrez en matière d'assainissement

N° d'ordre	Niveau	Problèmes rencontrés par ordre d'importance	Date de la dernière survenue	Fréquence
4010	Latrines			
4011	Equipements sanitaires internes			
4012	Connections / fosse ou regards			
4013	Fosse septique ou regards			
4014	Connections au réseau collectif			
4015	Réseau d'évacuation			
4016	Puisard de la fosse septique			
4017	Station d'épuration			

402/- Quelles solutions préconisez-vous pour remédier à ces problèmes? _____

403/- Les eaux usées constituent-elles pour vous une source de problèmes ? / ___/ 1/- Oui 2/- Non

404/- Si Oui, précisez lesquelles (*par ordre d'importance*) et les conséquences sur votre cadre de vie ?

N° d'ordre	Secteur	Types de problèmes	Types de conséquences
4031	Santé des membres de la famille		
4032	Environnement immédiat		
4033	Infrastructures urbaines en général		
4034	Autres à préciser		

405/- Quelles sont les principales maladies dont souffrent les membres de votre famille ? 1/- Paludisme / ___/ 2/- Fièvre/ ___/ 3/- Diarrhée/ ___/ 4/- Dysenterie/ ___/ 5/- Typhoïde/ ___/ 6/- Toux/ ___/ 7/- Autre / ___/ _____

406/- Quelle est la catégorie des membres de la famille les plus touchés ou exposés à ces maladies ?

1/- les enfants de moins de 4 ans Masculin / ___/ Féminin / ___/

2/- les enfants de 5 à 15 ans Masculin / ___/ Féminin / ___/

3/- les adultes Masculin / ___/ Féminin / ___/

407/- Où soignez-vous ces maladies (par ordre de préférence) ? 1/- Hôpital/ ___/ 2/- Pharmacie/ ___/ 3/- Automédication/ ___/ 4/- Pharmacopée traditionnelle/ ___/ 5/- Autre à préciser / ___/

408/- Pensez-vous qu'on parle suffisamment de ces problèmes à l'école ? / ___/ 1/- Oui 2/- Non

409/- Si Oui, quels sont les principaux thèmes débattus ? _____

410/- Pensez-vous qu'on en parle suffisamment à la télévision ? / ___/ 1/- Oui 2/- Non

411/- Si Oui, quels sont les principaux thèmes débattus ? _____

500/- PERCEPTION PAR LES MENAGES DE LA CONTAMINATION PAR LES EAUX USEES

501/- Pensez-vous que les rejets d'eaux usées puissent contaminer : 1/- le sol/ ___/ 2/- l'eau/ ___/

502/- Pouvez-vous nous dire pourquoi ? _____

503/- Pensez-vous que les eaux usées produites puissent être valorisée ? / ___/ 1/- Oui 2/- Non

504/- Si Oui, dans quel domaine peuvent-elles être valorisée ? / ___/ 1/- Agriculture 2/- Elevage 3/- Autre à préciser / ___/

505/- Savez-vous qu'il existe à Yaoundé des maraîchers qui arrosent leurs champs avec les eaux usées ? / ___/ 1/- Oui 2/- Non

506/- Que pensez-vous des légumes produits dans ces champs ? / _____/

507/- Quels risques court-on en consommant ces légumes ? _____

508/- Quelles précaution prenez-vous pour éviter ces risques à l'achat ? _____

509/- Quelles précaution prenez-vous pour éviter ces risques à la cuisson ? _____

510/- Quelles précaution prenez-vous pour éviter ces risques à la consommation directe ? _____

600/- PERCEPTION PAR LES MENAGES DES AUTRES SYSTEMES D'ASSAINISSEMENT

601/- Etes-vous au courant d'autres type de système d'épuration des eaux usées ? / ___/ 1/- Oui 2/- Non

602/- Si Oui, lesquels ? _____

603/- Selon vous, ce système fonctionnerait-il mieux que celui que vous utilisez actuellement ? / ___/ 1- Oui 2- Non

604/- Pourquoi ? _____

605/- Ce système est-il mieux adapté à votre milieu ? / ___/ 1- Oui 2- Non

606/- Donnez-nous vos raisons : _____

607/- Si on vous proposait par exemple un système qui pourrait mieux fonctionner, seriez-vous prêts à contribuer pour sa mise en place ? / ___/

1- Oui

2- Non

608/- Si Oui, quelle serait la forme de votre contribution ? / ___/

- 1- Financière (précisez le montant mensuel / _____ / FCFA)
- 2- Matériel (précisez le type _____)
- 3- Main d'œuvre (précisez le nombre d'hommes - jours de travail / ___/ H-J)
- 4- Autres à préciser _____

609/- Quelle forme d'organisation souhaiteriez-vous être mise en place pour gérer le système actuel et ou futur ?

- 1- Confier à une entreprise ou une PME locale / ___/
- 2- Gérer par le propriétaire de l'ouvrage / ___/
- 3- Gérer par les résidents eux-mêmes réunis dans une association / ___/
- 4- Gérer par une ONG / ___/
- 5- Autres à préciser / ___/ _____

GUIDE D'ENQUETE POUR LES MENAGES

Ce guide est établi pour permettre aux enquêteurs de bien remplir les fiches qui leur sont données. A cet effet, elle donne des précisions ci-dessous devant permettre une meilleure compréhension de certaines questions posées.

N° Question	Précisions supplémentaires
103	<ul style="list-style-type: none"> • Il s'agira pour l'enquêteur de cocher tout simplement la case correspondante du tableau qui est présenté
108	<ul style="list-style-type: none"> • L'activité principale du chef de ménage est l'activité qui occupe la majeure partie du temps journalier de ce dernier
109	<ul style="list-style-type: none"> • L'activité secondaire représente, soit l'activité du ou de la conjoint(e), soit alors celle exercée par le chef de ménage en dehors des heures de service de l'activité secondaire.
110	<ul style="list-style-type: none"> • Il sera question ici de relever si possible, les revenus de l'activité principale (1^{er}) et ceux de l'activité secondaire du ménage (2^{ème}). Cette question a toujours été délicate et nécessite une approche rassurante de la part de l'enquêteur pour obtenir l'information recherchée. Si l'enquêté ne souhaite pas donner l'information sollicitée, veuillez passer immédiatement aux questions suivantes.
204	<ul style="list-style-type: none"> • Cette question est destinée aux ménages directement connectés aux réseaux de la SNEC : dans ce cas, l'enquêté devra si possible fournir à l'enquêteur les 12 dernières factures pour qui devront être relevées telles l'indique le tableau. • Cette question s'adresse également à ceux qui sont raccordés chez un voisin ayant un compteur SNEC : dans ce dernier cas, il est sera question de demander à l'enquêté de donner pour chaque mois, les montants payés chez le voisin et les quantités d'eau consommée.
301	<ul style="list-style-type: none"> • Il est demandé à l'enquêté de décrire les caractéristiques des ouvrages d'assainissement du ménage enquêté. Il devra donc visiter cet ouvrage. L'enquêté doit en cas de besoin utiliser le verso des feuilles pour relever les informations détaillées.
302	<ul style="list-style-type: none"> • Il est impératif de préciser dans les cases correspondant à chaque type d'équipement les tranches horaires d'utilisation, la fréquence d'utilisation considérée comme étant le nombre de fois qu'une personne du ménage enquêté utilise l'équipement

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE
POLYTECHNIQUE
B.P. 8390 Yaoundé - CAMEROUN
Tél: 222 45 47

UNIVERSITE DE YAOUNDE 1
THE UNIVERSITY OF YAOUNDE

Laboratoire Environnement et Sciences de l'Eau

FICHE D'ENQUETE AUPRES DES AGRICULTEURS DE YAOUNDE

Nom Enquêteur : _____ Date enquête : /__ / __ / __ /

Nom du quartier : _____ Numéro de la fiche : /__ /

100/- CONNAISSANCE DE L'AGRICULTEUR

101/- Remplir le tableau suivant :

Age	Sexe	Ethnie	Religion	Statut matrimonial	Nbre de femmes	Nbre enfants	
						Garçons	Filles

102/- Qualification et Activités exercées

Niveau instruction	Diplômes			Profession principale		Profession secondaire	
	Primaire	Secondaire	Universitaire	Type	Année	Type	Année

103/- Caractérisation de l'habitat occupé par l'agriculteur

Quartier de résidence	Moyen de déplacement	Statut d'occupation de l'habitation	Type de construction de la maison	Date d'entrée	Mode d'alimentation en eau potable	Type d'ouvrage d'assainissement des eaux usées	Fréquence de vidange de l'ouvrage

104/- Quelles sont les raisons qui vous ont poussé à faire cette activité _____

200/- CARACTERISATION DE LA PARCELLE AGRICOLE

201/- Depuis quand exercez-vous ce métier ? / ____ /

202/- Quelle est la date d'occupation de votre champ : /__ / __ / __ / (JJ/MM/AA)

203/- Comment avez-vous obtenu ce champ ? /__ / 1- Achat aux particuliers 2- Sur autorisation de la Mairie 3- Location chez le propriétaire (préciser le coût mensuel de location / ____ / /CFA/an) 4- Terrain familial 5- Occupation sans acte 6- Autres à préciser _____

204/- Décrire l'environnement immédiat de la parcelle (utilisez si possible le verso de la feuille) _____

205/- Quelle est la superficie totale de votre champ ? / ____ / (préciser l'unité, ha/m²/...) (au cas où il ne connaîtrait pas, estimer cette superficie vous-même en relevant ses dimensions _____).

206/- Préciser la situation altimétrique de la parcelle cultivée /__ / et le bas fond 1-Bas fond marécageux 2- à cheval entre le versant de la colline 3- sur le versant de la colline 4- Autres à _____

207/- Quel est le nombre de personnes travaillant dans votre champ ? / ____ / personnes.

210/- Ces gens sont-ils rémunérés ? /__ / 1- Oui 2/- Non

211/- Si oui quelle est la forme de rémunération ? /__ / 1- financière (montant / ____ / /CFA/mois.) 2- partage du fruit de la récolte 3- Autre _____

212/- Si non pourquoi ? /__ / 1- membre de la famille 2- Autre à préciser _____

300/- CONNAISSANCE DES PRATIQUES CULTURALES

301/- Quelles sont les principales cultures produites dans le champ agricole ? (remplir le tableau suivant)

N°	Types cultures	Période semis	Période récolte	Rendement à l'hectare	Superficie occupée par le produit	Forme de vente (feuille, tige, fruits, graine, tubercule, en tas, en poids, en volume, etc.)	Prix de vente
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

302/- Quel est le lieu de vente des produits récoltés dans votre champ ? 1- Sur place /__ / 2- Marché /__ / 3- Marchés de la ville /__ / 4-

Directement chez restaurateurs 5- Autres _____

303/- Cas de la saison sèche

- 3031/- Quelles sont les principales sources d'approvisionnement en eau utilisée pour l'arrosage de votre champ ? 1- Cours d'eau
voisin /___/ 2- Puits/forage dans les champs /___/ 3/- Eaux usées /___/ 4-
Autres à préciser /___/ _____
- 3032/- De quelle façon cette eau est apportée dans le champ ? 1- par irrigation /___/ 2- par transport dans des récipients /___/ (relever les
volumes _____ litres) 3- Autres à préciser /___/ _____
- 3033/- Quelle est le volume moyen d'eau utilisée pour l'arrosage du champ ? /___/ litres/ha.
- 3034/- Quelle est le volume moyen d'eaux usées utilisées pour l'arrosage du champ ? /___/ litres/ha.
- 3035/- Quelle est la fréquence d'arrosage de votre champ ? /___/ fois par jour.
- 3036/- A quel moment de la journée faites-vous l'arrosage du champ ? 1- Tôt le matin /___/ 2- Dans la matinée /___/
3- Dans l'après-midi 4- Autre à préciser /___/ _____

304/- Cas de la saison des pluies

- 3041/- Quelles sont les principales sources d'approvisionnement en eau utilisée pour l'arrosage de votre champ ? 1- Cours d'eau
voisin /___/ 2- Puits/forage dans les champs /___/ 3/- Eaux usées /___/ 4-
Autres à préciser /___/ _____
- 3042/- De quelle façon cette eau est apportée dans le champ ? 1- par irrigation /___/ 2- par transport dans des récipients /___/ (relever les
volumes _____ litres) 3- Autres à préciser /___/ _____
- 3043/- Quelle est le volume moyen d'eau utilisée pour l'arrosage du champ ? /___/ litres/ha.
- 3044/- Quelle est le volume moyen d'eaux usées utilisées pour l'arrosage du champ ? /___/ litres/ha.
- 3045/- Quelle est la fréquence d'arrosage de votre champ ? /___/ fois par jour.
- 3046/- A quel moment de la journée faites-vous l'arrosage du champ ? 1- Tôt le matin /___/ 2- Dans la matinée /___/
3- Dans l'après-midi 4- Autre à préciser /___/ _____

- 309/- Quels sont les types de produits utilisés pour fertiliser vos champs ? 1- Engrais chimiques /___/ 2- Engrais organiques /___/
3- Autres à préciser /___/ _____

310/- Pouvez-vous préciser les caractéristiques de ces produits dans le tableau suivant ?

	Produits chimiques		Produits organiques					Autres à préciser	
	Pesticides	Engrais	Eaux usées	Excrétas des animaux	Végétaux prélevés dans le site	Terreaux	Compost		Ordures ménagères brutes
Nom									
Quantités/ ha									
Période d'utilisation									
Mode de prélèvement									
Prix d'achat									
Mode d'épandage									

311/- Quelles sont les principales raisons qui vous amènent à utiliser ces produits ? _____

312/- Quels sont les principaux problèmes rencontrés dans l'utilisation de ces produits ? _____

313/- Quels sont les principales maladies dont vous souffrez le plus ? _____

GUIDE D'ENQUETE AUPRES DES AGRICULTEURS/ELEVEURS/ARTISANS DE YAOUNDE

Ce guide est établi pour permettre aux enquêteurs de bien remplir les fiches qui leur sont données. A cet effet, elle donne des précisions ci-dessous devant permettre une meilleure compréhension de certaines questions posées.

N° Fiche Agriculteurs	Précisions supplémentaires
200	<ul style="list-style-type: none"> L'enquêteur doit positionner la parcelle, le site ou l'atelier sur la photocopie du plan de la ville qui leur sera remise.
204	<ul style="list-style-type: none"> La description de l'environnement immédiat de la parcelle, du site ou de l'atelier doit ressortir les points suivants : proximité des habitations, d'un cours d'eau, des dépôts d'ordures, d'une station d'épuration, d'un bas fond ou d'un plan d'eau naturel, la forme de la parcelle, du site ou de l'atelier. L'enquêteur peut également utiliser en cas de besoin le verso de la fiche d'enquête pour les informations complémentaires
205	<ul style="list-style-type: none"> Si l'enquêté ne connaît pas la superficie de son lieu d'activité, il revient à l'enquêteur de pouvoir l'estimer au moyen du double décimètre (chaîne) qui lui sera remis.
301	<ul style="list-style-type: none"> Chaque ligne du tableau représente une et une seule culture, un seul animal élevé ou un seul objet artisanal fabriqué. Pour chaque produit, il est demandé à l'enquêteur de préciser la forme de vente.

LES PRINCIPAUX LACS ET PLANS D'EAU VISITES.

N°	Dénomination du site	Localisation	Observation
1.	Marécage, Exutoire de la STEP de Mendong	Côté Carrefour ZIBI	Agriculture
2.	Marécage de Mendong	Derrière Lycée Mendong – New MAETUR	Maraîchage
3.	Marécage Mendong – Simbock	Contrebas Gendarmerie de Mendong	Maraîchage
4.	Lac de poisson de Mendong	Contrebas Gendarmerie de Mendong	Elevage de porc, volaille et pisciculture
5.	Lac marécageux de la « Montée Jouvence »	A côté du Carrefour « KK »	Maraîchage autour
6.	Lac marécageux de « Biyem Assi – NIKI »	Face super marché NIKI	Cyperus papyrus
7.	Lac marécageux de « Biyem Assi – LAC »	Route Acacia – Shell Nsimeyong	Broussaille
8.	Lac d'Efoulan	Montée Mairie d'Efoulan	Lavage de véhicule
9.	Marécage d'Efoulan	50m en aval du lac d'Efoulan	Broussaille
10.	Marécage d'Olézoa	Carrefour des « 3 statuts »	Broussaille
11.	Marécage de Mvolyé	Contrebas maison des Jeune et du Quartier Général	Agriculture
12.	Marécage « des Nations »	En face de la Mini-cité des Nations	Agriculture
13.	Lacs artificiel d'Obili (3 au total)	Longeant le quartier Bonamoussadi	Pisciculture/ agriculture
14.	Lac artificiel du C.H.U.	Exutoire de la STEP du CHU	Broussaille
15.	Lac à « Cyperus papyrus » de l'Université	Exutoire de la STEP de l'Université, contrebas ENSP	Cyperus papyrus
16.	Lac de Nkolbisson	Entrée Lycée Technique de Nkolbisson	-
17.	Marécage de Nkolbisson	Exutoire STEP du LT de Nkolbisson	Maraîchage
18.	Marécage de la Cité Verte	Exutoire de la STEP de la Cité Verte	Broussaille
19.	Bas fond d'Eucalyptus de Messa	Exutoire de la STEP de Messa	Herbes et eucalyptus
20.	Lac Municipal de Yaoundé	Aval du bas fond e Messa	Envasement poussé
21.	Marécage de Djongolo CEPER	Route CEPER, face du FNUAP	Broussaille
22.	Marécage de Ngouso – Hôpital Général	Contrebas de la STEP de l'Hôpital (rivière Ntem)	Agriculture et broussaille
23.	Plan d'eau du cours d'eau Ebogo	Exutoire STEP de l'Hôpital de la Caisse	
24.	Plan d'eau – Nord Aéroport militaire	Arrosé par la rivière Aké	
25.	Plan d'eau de la rivière Nkié/Odza	Arosé par la rivière Nkié (ou Odza)	

PROTOCOLE D'ANALYSE EN LABORATOIRE DES EAUX DE SURFACE DANS LES ZONES HUMIDES.

Paramètres	Appareils ou outils	Méthodes	Lieu de mesure
Potentiel d'hydrogène (pH)	pH mètre SCHOT GERATE 818	Electrode (lecture directe)	In situ
Température (T. °C)	Conductimètre HACH	Electrode (lecture directe)	In situ
Conductivité électrique (CND. $\mu\text{S}/\text{cm}$)	Conductimètre HACH	Electrode (lecture directe)	In situ
Matières en suspension (MES. mg/l)	Spectrophotomètre HACH DR/2010	Non filterable Residue ($\lambda = 810 \text{ nm}$)	En Laboratoire
Demande chimique en oxygène (DCO, mgO_2/l)	Mixeur - Réacteur de DCO - Spectrophotomètre	Digestion au réacteur ($\lambda = 620 \text{ nm}$)	En Laboratoire
Demande biologique en oxygène (DBO ₅ , mgO_2/l)	Incutrol/2 HACH Appareil à DBO ₅	Manométrie Lecture directe après incubation 5 jours à 20°C	En Laboratoire
Phosphore (P, mg/l)	Spectrophotomètre HACH DR/2010	Molybdovana-date ($\lambda = 430 \text{ nm}$)	En Laboratoire
Ammoniac (NH_4^+ , mg/l)	Spectrophotomètre Distillateur HACH	Nessler ($\lambda = 525 \text{ nm}$)	En Laboratoire
Nitrates (NH_3 , mg/l)	Spectrophotomètre HACH DR/2010	Cadmium Reduction ($\lambda = 400$)	En Laboratoire
Fer (Fe, mg/l)	Spectrophotomètre HACH DR/2010	TPTZ method ($\lambda = 590 \text{ nm}$)	En Laboratoire
Coliformes et streptocoques fécaux	Boîte de Pétri - Plaques chauffante - Barreau aimanté - Autoclave - Membrane poreuse - Incubateur - Microscope X 10-15	Coulage des boîtes de Pétri stérilisées, Filtration sous vide, Incubation à 35°C (pour SF) et 44,5°C (pour CF) - Identification et comptage au Microscope X 10-15	En Laboratoire

MATERIEL UTILISE POUR L'ETUDE PHYTOSOCIOLOGIQUE

Pour mener cette étude, nous avons eu besoin du matériel suivant :

- des piquets en bois pour borner les espaces à étudier, d'une ficelle de 200 m de long pour les délimiter et une chaîne de 50 m pour mesurer les dimensions des aires des relevés ;
- des presses pour herbarium pour le recueil des espèces à identifier et des machettes pour faciliter l'accès dans les sites ;
- un GPS, pour relever les coordonnées géographiques (x, y) des points des relevés et une carte d'adressage de la ville de Yaoundé pour localiser les zones humides concernées.

MATERIELS ET METHODES DE PRELEVEMENT ET D'ANALYSE DES SOLS

La campagne de prélèvement des échantillons de sol a nécessité le matériel suivant :

- une machette pour l'accessibilité aux points de prélèvement et une tarière pour le prélèvement des échantillons ;
- des sachets en plastique pour emballer les échantillons et des papiers autocollants pour étiqueter les échantillons ;
- une truelle pour racler le plantoir, la machette et la tarière, une planche pour le quartage de sol et un carnet de note pour caractériser le site ;
- un G.P.S. pour relever les coordonnées géographiques des points de prélèvement et une carte d'adressage de la ville de Yaoundé pour localiser les zones humides étudiées.

Les échantillons prélevés ont été transportés au Laboratoire de Pédologie et Sciences des Sols de l'Université de Yaoundé I puis conservés dans les conditions de 25°C. Les analyses de ces échantillons ont nécessité comme matériel :

- une étuve pour le séchage des échantillons et une colonne de tamis de type Fritsch pour le tamisage à sec des échantillons ;
- un distillateur à eau de type Monodest 3000 et un agitateur rotatif pour disperser les argiles ;
- une balance de précision et du petit matériel (spatule, béciers, allonges, boîtes à tare, pipette de Robenson et boîtes de 1,5 litres pour agitation et dispersion des échantillons).

MATERIEL ET METHODE D'ETUDE DES DONNEES HYDRAULIQUES

Pour appréhender ces données, nous avons eu besoin du matériel suivant :

- un double décimètre, pour mesurer la largeur du lit du cours d'eau et la profondeur du plan d'eau aux positions considérées ainsi que les distances ;
- des éléments flottants (en polystyrène léger) pour la mesure de la vitesse du filet ou de la lame d'eau ;
- un chronomètre pour mesurer le temps de parcours des éléments flottants sur la distance considérée et évaluer ainsi la vitesse de l'eau dans le plan d'eau ;
- des piquets en bois pour borner le lit du cours d'eau avant la mesure des largeurs et de la profondeur de l'eau.

Annexe III :
Quelques données caractéristiques des zones humides de Yaoundé

CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU SOL DANS LA ZONE DE MENDONG

Nom des Sites	Positions	Horizons et profondeurs	% Argile	% Limon	% Sable total	Classe texturale	Classe texturale
MENDONG ECOLE	Amont	A : 0 - 10 cm	35	25	35,25	Al	Argilo-limoneuse
		B1 : 10 - 50 cm	25	7,5	64,7	AS	Argilo-sableuse
	Milieu	A : 0 - 10 cm	45	12,5	37	A	Argile
		B1 : 10 - 50 cm	27,5	12,5	54,35	AS	Argilo-sableuse
	Aval	A : 0 - 10 cm	47,5	22,5	29,85	A	Argile
		B1 : 10 - 50 cm	17,5	15	63,8	SA	Sablo-argileuse
MENDONG LYCEE	Amont	A : 0 - 10 cm	32,5	20	41,7	As	Argilo-sableuse lourde
		B1 : 10 - 50 cm	40	22,5	38,15	A	Argile
	Milieu	A : 0 - 10 cm	70	15	9,7	AA	Argile lourde
		B1 : 10 - 50 cm	2,5	75	17,35	Ls	Limon-sableux
	Aval	A : 0 - 10 cm	47,5	20	31,15	A	Argile
		B1 : 10 - 50 cm	30	15	54,3	AS	Argilo-sableuse
Mendong gendarmerie	Amont	A : 0 - 10 cm	27,5	17,5	55,15	AS	Argilo-sableuse
		B1 : 10 - 50 cm	35	15	49,7	As	Argilo-sableuse lourde
	Milieu	A : 0 - 10 cm	55	20	26,45	A	Argile
		B1 : 10 - 50 cm	37,5	12,5	44,3	As	Argilo-sableuse lourde
	Aval	A : 0 - 10 cm	52,5	7,5	37,1	A	Argile
		B1 : 10 - 50 cm	25	20	51,15	AS	Argilo-sableuse
Cité Nations	Amont	A : 0 - 10 cm	32,5	27,5	40,45	Al	Argilo-limoneuse
		B1 : 10 - 50 cm	30	12,5	48,65	AS	Argilo-sableuse
	Milieu	A : 0 - 10 cm	ND	ND	ND	/	/
		B1 : 10 - 50 cm	20	7,5	53,15	AS	Argilo-sableuse
	Aval	A : 0 - 10 cm	25	12,5	52,4	AS	Argilo-sableuse
		B1 : 10 - 50 cm	22,5	7,5	51,35	SA	argileuse
Obili - CHU	Amont	A : 0 - 10 cm	32,5	15	58,35	AS	Argilo-sableuse
		B1 : 10 - 50 cm	35	32,5	45,35	Al	Argilo-limoneuse
	Milieu	A : 0 - 10 cm	37,5	30	36,95	Al	Argilo-limoneuse
		B1 : 10 - 50 cm	30	25	53,85	AS	Argilo-sableuse
	Aval	A : 0 - 10 cm	45	15	59,65	As	Argilo-sableuse lourde
		B1 : 10 - 50 cm	25	12,5	67,3	SA	argileuse
Université - ENSP	Amont	A : 0 - 10 cm	20	15	67,1	SA	argileuse
		B1 : 10 - 50 cm	27,5	15	51,5	AS	Argilo-sableuse
	Milieu	A : 0 - 10 cm	37,5	7,5	51,7	As	Argilo-sableuse lourde
		B1 : 10 - 50 cm	47,5	15	34,05	A	Argile
	Aval	A : 0 - 10 cm	5	25	71,75	SL	Sable limoneux
		B1 : 10 - 50 cm	22,5	22,5	55,2	SA	argileuse
Efoulan - Lac	Amont	A : 0 - 10 cm	30	32,5	34,85	LA	Limono-argileuse
		B1 : 10 - 50 cm	50	10	35,5	A	Argile
	Milieu	A : 0 - 10 cm	52,5	5	43,05	A	Argile
		B1 : 10 - 50 cm	47,5	17,5	32,05	As	Argilo-sableuse lourde
	Aval	A : 0 - 10 cm	52,5	20	28,8	A	Argile
		B1 : 10 - 50 cm	27,5	7,5	66,15	SA	Sablo-argileuse
Olézoa	Amont	A : 0 - 10 cm	25	15	59,65	AS	Argilo-sableuse
		B1 : 10 - 50 cm	22,5	12,5	67,3	SA	Sablo-argileuse
	Milieu	A : 0 - 10 cm	ND	ND	ND	/	Accès difficile
		B1 : 10 - 50 cm	ND	ND	ND	/	Accès difficile
	Aval	A : 0 - 10 cm	37,5	17,5	41,1	As	Argilo-sableuse lourde
		B1 : 10 - 50 cm	27,5	17,5	51,4	AS	Argilo-sableuse

Nom des Sites	Positions	Horizons et profondeurs	% Argile	% Limon	% Sable total	Classe texturale	Dénomination
Messa	Amont	A ; 0 – 10 cm	12,5	25	61,6	SI	Sablo-limoneuse
		B1 ; 10 – 50 cm	47,5	12,5	39,65	A	Argile
	Milieu	A ; 0 – 10 cm	42,5	12,5	39,75	As	Argilo-sableuse lourde
		B1 ; 10 – 50 cm	22,5	17,5	58,9	SA	Argilo-sableuse
	Aval	A ; 0 – 10 cm	35	37,5	24,45	AI	Argilo-limoneuse
		B1 ; 10 – 50 cm	52,5	27,5	17,35	A	Argile
Cité Verte	Amont	A ; 0 – 10 cm	37,5	35	29,25	AI	Argilo-limoneuse
		B1 ; 10 – 50 cm	37,5	22,5	38,6	AI	Argilo-limoneuse
	Milieu	A ; 0 – 10 cm	35	30	36,25	AI	Argilo-limoneuse
		B1 ; 10 – 50 cm	35	20	39,8	As	Argilo-sableuse lourde
	Aval	A ; 0 – 10 cm	50	27,5	18,65	A	Argile
		B1 ; 10 – 50 cm	55	12,5	28,45	A	Argile
Nkol Bisson	Amont	A ; 0 – 10 cm	55	12,5	28,45	A	Argile
		B1 ; 10 – 50 cm	37,5	45	12,2	AI	Argilo-limoneuse
	Milieu	A ; 0 – 10 cm	65	10	21,55	AA	Argile lourde
		B1 ; 10 – 50 cm	40	22,5	32,35	AI	Argilo-limoneuse
	Aval	A ; 0 – 10 cm	22,5	37,5	37,8	LA	Limon sableux
		B1 ; 10 – 50 cm	60	7,5	30,95	AA	Argile lourde
Bastos – Rond point	Amont	A ; 0 – 10 cm	32,5	25	39,9	AI	Argilo-limoneuse
		B1 ; 10 – 50 cm	35	17,5	43,7	As	Argilo-sableuse lourde
	Milieu	A ; 0 – 10 cm	47,5	10	45,4	A	Argile
		B1 ; 10 – 50 cm	40	25	30,9	AI	Argilo-limoneuse
	Aval	A ; 0 – 10 cm	32,5	35	29,8	IA	Limono-argileuse
		B1 ; 10 – 50 cm	27,5	30	37,9	IA	Limono-argileuse
Djongolo - CEPER	Amont	A ; 0 – 10 cm	47,5	12,5	37,9	A	Argile
		B1 ; 10 – 50 cm	50	17,5	28,6	A	Argile
	Milieu	A ; 0 – 10 cm	37,5	30	29,55	AI	Argilo-Limoneuse
		B1 ; 10 – 50 cm	45	12,5	37,7	A	Argile
	Aval	A ; 0 – 10 cm	45	7,5	42,4	A	Argile
		B1 ; 10 – 50 cm	45	25	30,65	A	Argile
Hôpital de la Caisse - Essos	Amont	A ; 0 – 10 cm	32,5	40	23,55	IA	Limono-argileuse
		B1 ; 10 – 50 cm	55	27,5	13,3	A	Argile
	Milieu	A ; 0 – 10 cm	30	30	44,7	AI	Argilo-Limoneuse
		B1 ; 10 – 50 cm	27,5	20	56,25	AS	Argilo-Sableuse
	Aval	A ; 0 – 10 cm	30	30	44,7	AI	Argilo-Limoneuse
		B1 ; 10 – 50 cm	27,5	20	56,25	AS	Argilo-Sableuse
Hôpital Général de Yaoundé	Amont	A ; 0 – 10 cm	40	35	25,8	AI	Argilo-Limoneuse
		B1 ; 10 – 50 cm	37,5	37,5	19,55	AI	Argilo-Limoneuse
	Milieu	A ; 0 – 10 cm	30	15	55,85	AS	Argilo-Sableuse
		B1 ; 10 – 50 cm	57,5	17,5	19,55	A	Argile
	Aval	A ; 0 – 10 cm	60	10	25,9	AA	Argile Lourde
		B1 ; 10 – 50 cm	50	35	11,4	A	Argile

QUALITE DES EAUX DE SURFACE DANS LES ZONES HUMIDES DE YAOUNDE

Points	Temperature (°C)	pH	Conductivite (µS/cm)	MES (mg/l)	PO43- (mg/l)	NH4+ (mg/l)	Fe (mg/l)	DCO (mg/l)	DBO5 (mg/l)	CF (UFC/100 ml)	SF (UFC/100 ml)
HCaisse Amont	24,1	6,86	202	9	0,02	6,33	2,8	59	30	6,80E+04	7,00E+03
HCaisse Step	24,2	6,77	333	46	7,5	30,25	0,55	183	160	2,60E+06	1,20E+06
HCaisse Aval	24,1	6,9	207	11	0,15	6,45	2,2	39	26	1,00E+04	8,00E+03
HGY Amont	24,1	6,87	258	20	0,15	5	5,6	42	24	8,55E+04	1,00E+03
HGY Aval	23,5	7,05	218	16	0,32	5,85	6,4	79	12	6,65E+04	1,50E+04
Ceper Amont	24,1	6,98	132	10	0,15	2,48	2,5	53	22	6,00E+03	4,00E+03
CeperAval	23,1	6,69	188	12	3	2,28	9,3	39	18	1,00E+04	1,00E+03
GolfAmont	23,7	6,96	46,4	29	0,01	1,6	1,6	19	10	6,00E+04	3,30E+04
GolfAval	23,2	6,58	95,2	27		2,5	14,4	36	22	3,00E+03	1,00E+03
MessaAmont	23,6	6,88	573	99	1,3	27,5	6,9	119	100	3,75E+06	3,00E+05
MendongEcole	24,6	7,23	1386	1705	32,8	127,5	1,1	1236		2,00E+08	4,00E+06
MendongLycée1	23,6	6,8	290	29	5,3	2,57	12,3	160	100	4,00E+06	3,00E+05
MendongLycée2	23,6	6,9	103	16	0,14	2,6	4,75	40	28	8,20E+04	5,00E+03
MendongGdm1	23,7	6,56	69	146	0,35	2,35	5,25	48	36	1,00E+05	1,40E+05
MendongGdm2	23,7	6,53	76	44	0,18	3,05	11	46	30	8,00E+03	1,20E+03
Nsimeyong KKAmont	23,7	6,53	71	28	0,02	1,05	10,3	32	22	1,00E+03	100
Nsimeyong KKAval	23,7	6,6	131	29	0,7	2,87	5,5	38	30	3,00E+03	500
Cité Verte Amont	23,9	7,16	396	34	6	9,6	3,75	176	132	1,76E+06	3,00E+04
Cité Verte Aval	23,8	7	723	765	29,6	71,5	1,75	1182	860	1,40E+08	1,00E+06
Nkolbisson Amont	24,9	7,29	334	45	2,9	11,7	2,5	221	168	1,00E+06	3,00E+05
NkolBisson Etang	24,8	7,1	290	22	0,31	8,65	7,3	39	28	2,50E+04	1,20E+03
NkolBisson Aval	24,8	7,08	288	18	0,11	6,1	4,18	36	24	1,40E+04	2,80E+03
Lac Efoulan	25,9	8,3	189	58	10,2	42,5	2,2	325	214	1,60E+04	3,00E+02
Lac Efoulan Sortie	25,4	8,4	200	41	10,3	36	1,75	288	125	2,30E+02	2,00E+02
Cité Nations	26	7,67	299	72	9,8	41	4,2	400	314	1,16E+05	3,20E+03

POLLUTION DES EAUX DANS LES SITES AGRICOLES : VALEUR MOYENNE DES PARAMETRES DE POLLUTION

	Température (°C)	pH	Conductivité (µS/cm)	MES (mg/l)	PO43- (mg/l)	NH4+ (mg/l)	DCO (mg/l)	DBO5 (mg/l)	CF (UFC/100 ml)	SF (UFC/100 ml)
Biyem Assi	25,7	7,2	293	71	5,8	1,2	60,8	29,2	6,9E+05	7,5E+04
Briqueterie	25,4	6,9	428	85	9,5	6,6	51,5	33,0	1,3E+06	1,4E+05
Djongolo	23,9	6,9	226	19	1,7	9,4	74,5	46,4	4,8E+05	2,1E+05
Efoulan	24,1	7,0	274	115	4,3	16,7	173	92,3	1,2E+07	2,9E+05
Essos	26	6,9	309	43	14,7	6,6	20,4	17,0	1,1E+04	8,9E+03
Mballa 4	24	6,9	244	21	1,8	11,4	82,6	54,0	6,2E+05	2,7E+05
Mbankolo	23,8	6,9	200	20	1,6	8,2	66,6	41,4	4,1E+05	1,8E+05
Mendong	23,8	6,8	266	116	3,2	14,1	129,0	46,2	1,1E+07	3,6E+05
Messa	27,3	7,0	500	95	8,9	22,4	131,0	101,0	8,3E+06	1,3E+07
Mimboman	26,5	7,1	326	37	1,8	8,4	19,7	14,8	4,1E+05	2,9E+04
Nkol Bisson	23,9	6,9	278	121	3,8	14,5	157,0	79,7	1,3E+07	3,2E+05
Nsimeyong	23,8	6,8	252	109	2,9	13,0	121,0	44,3	9,8E+06	3,3E+05
Olézoa	27,4	6,6	133	54	7,9	9,1	65,4	48,9	1,4E+06	1,1E+05
Oyom Abang	23,8	6,8	275	131	4,1	15,1	164,0	80,5	1,5E+07	3,5E+05
Université	27,6	6,4	172	65	11,4	14,3	135,0	105,0	2,3E+06	2,7E+05

Annexe IV :

Détail du budget du centre de recherche et de développement des technologies extensives suivant le processus des MHEA

PHASE 1

DESIGNATION	UNITE	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	PRIX TOTAL	Ventilation des dépenses annuelles (en €) sur la période					
					AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
II/ FONCTIONNEMENT										
Coordinateur du centre	Hommes - Mois	72	610	43 905	7 318	7 318	7 318	7 318	7 318	7 318
Assistants de recherche (2persx6ansX12mois)	Hommes - Mois	144	305	43 905	7 318	7 318	7 318	7 318	7 318	7 318
Secrétaire - comptable (1pers pendant 6 ans)	Hommes - Mois	72	183	13 172	2 195	2 195	2 195	2 195	2 195	2 195
Magasinier (1pers pendant 6 ans)	Hommes - Mois	72	114	8 232	1 372	1 372	1 372	1 372	1 372	1 372
Gardien (1pers pendant 6 ans)	Hommes - Mois	72	69	4 939	823	823	823	823	823	823
Laborantins (2pers pendant 6 ans)	Hommes - Mois	144	229	32 929	5 488	5 488	5 488	5 488	5 488	5 488
Eboueurs - maraichers	Hommes - Mois	96	69	6 586			1 646	1 646	1 646	1 646
déplacements intra-urbains	Mois	72	183	13 172	2 195	2 195	2 195	2 195	2 195	2 195
Déplacements interurbains	Mois	72	183	13 172	2 195	2 195	2 195	2 195	2 195	2 195
Maintenance et Entretien du système	Trimestres	18	457	8 232		2 744		2 744		2 744
Appuis aux chercheurs et étudiants (projection de 4 personnes par an)	Hommes - Mois	288	76	21 953	3 659	3 659	3 659	3 659	3 659	3 659
Organisations des réunions avec les acteurs locaux	Mois	72	76	5 488	915	915	915	915	915	915
Participation aux séminaires et conférences	An	12	1 524	18 294	3 049	3 049	3 049	3 049	3 049	3 049
Publications dans des revues scientifiques	An	15	305	4 573		915	915	915	915	915
Missions d'appui scientifiques et techniques (2perx10j par semestre)	An	12	2 287	27 441	4 573	4 573	4 573	4 573	4 573	4 573
Organisation des réunions de coordination	Mois	6	1 524	9 147		1 829	1 829	1 829	1 829	1 829
Organisation des rencontres du Comité scientifiques	Unité	3	7 622	22 867		7 622		7 622		7 622
Total II				298 007	41 100	54 211	45 491	55 857	45 491	55 857
TOTAL GENERAL PHASE 1				491 356	181 874	75 706	59 557	63 378	54 983	55 857

PHASE 2

DESIGNATION	UNITE	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	PRIX TOTAL	Ventilation des dépenses annuelles (en €) sur la période					
					AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
I/ Education relative à la GIRE										
Rencontres d'information avec les populations	Unités	12	762	9 147	1 524	1 524	1 524	1 524	1 524	1 524
Organisation des séminaires de restitution des études	Unités	6	3 049	18 294	3 049	3 049	3 049	3 049	3 049	3 049
Production des documents divers	Ensemble	6	762	4 573	762	762	762	762	762	762
Divers et imprévus	%	5%	32 014	1 601	267	267	267	267	267	267
Sous total I				33 615	5 603	5 603	5 603	5 603	5 603	5 603
II/ Cartographie régional et étude du contexte										
Etudes du contexte régional	Ensemble	1	12 196	12 196		2 439	2 439	2 439	2 439	2 439
Production des rapports	Ensemble	5	762	3 811		762	762	762	762	762
Divers et imprévus	%	5%	16 007	800		160	160	160	160	160
Sous total II				16 808	0	3 362	3 362	3 362	3 362	3 362
TOTAL PHASE 2				50 423	5 603	8 964	8 964	8 964	8 964	8 964

PHASE 3

DESIGNATION	UNITE	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	PRIX TOTAL	Ventilation des dépenses annuelles (en €) sur la période					
					AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
I/ Evaluation socio-économique du programme										
Honoraires d'un évaluateur	Hommes - Mois	6	1 524	9 147	1 524	1 524	1 524	1 524	1 524	1 524
Production des rapports d'évaluation	Ensemble	6	762	4 573	762	762	762	762	762	762
Divers et imprévus	%	5%	13 720	686	114	114	114	114	114	114
Sous total I				14 406	2 401	2 401	2 401	2 401	2 401	2 401
II/ Critique opérationnelle régulière du programme par des experts indépendants										
Organisation des rencontres scientifiques avec des experts indépendants	Unités	3	6 098	18 294		6 098		6 098		6 098
Production des rapports	Ensemble	1	1 524	1 524		508		508		508
Divers et imprévus	%	5%	19 818	991		330		330		330
Sous total II				20 809	0	6 936	0	6 936	0	6 936
TOTAL PHASE 3				35 216	2 401	9 338	2 401	9 338	2 401	9 338

RECAITULATIF GENERAL (en €)

Phase	MONTANT TOTAL (en €)	VENTILATION ANNUELLE (en €)						%Phase
		An1	An2	An3	An4	An5	An6	
Phase N°1	491 356	181 874	75 706	59 557	63 378	54 983	55 857	85,2%
Phase N°2	50 423	5 603	8 964	8 964	8 964	8 964	8 964	8,7%
Phase N°3	35 216	2 401	9 338	2 401	9 338	2 401	9 338	6,1%
TOTAL GENERAL DES DEPENSES PREVISIONNELLES	576 994	189 878	94 008	70 922	81 680	66 348	74 159	100,0%
	<i>% Budget annuel</i>	<i>32,9%</i>	<i>16,3%</i>	<i>12,3%</i>	<i>14,2%</i>	<i>11,5%</i>	<i>12,9%</i>	

COUT (en Euros) DE REALISATION DE 20 BASSINS D'EXPERIMENTATION EN BETON ARME (5m² chacun)

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire (en €)	Prix total (en €)
Ciment (y compris frais de livraison)	tonnes	20	183	3 659
Sable fin (y compris frais de livraison)	camions de 10t	6	229	1 372
Sable carrière (y compris frais de livraison)	camions de 10t	6	320	1 921
Gravier 5/15 (y compris frais de livraison)	camions de 10t	4	457	1 829
Gravier 15/25 (y compris frais de livraison)	camions de 10t	4	457	1 829
Acier F10	barres 12m	100	7	686
Acier F8	barres 12m	133	5	710
Tuyau F100	Unité	50	14	686
Tuyau F43	Unité	70	9	640
Coude F100	Unité	25	4	95
Coude F43	Unité	110	2	252
Té F100	Unité	25	5	133
Té F43	Unité	30	4	114
Robinets	Unité	40	9	366
Manchons d'étanchéité	Unité	100	3	305
Main d'œuvre	% Total matériaux	30%	14 598	4 379
Total général				18 977