



Mémoire

Présenté par

FOCHIVE, Jeannot Fils

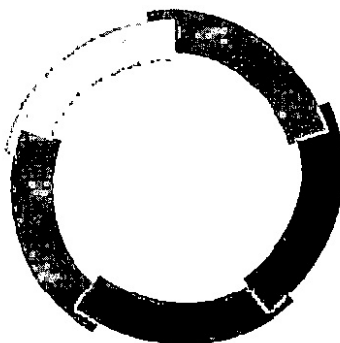
**UNIVERSITE SENGHOR
DEPARTEMENT DE GESTION ET
L'ENVIRONNEMENT**

**Mosaïques hiérarchisées d'écosystèmes artificiels
(MHEA) comme outil stratégique de gestion des eaux
usées : Cas de Douala au Cameroun**

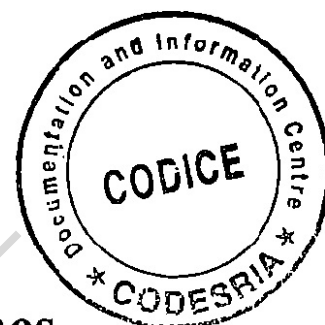
Année académique :

2005

10 OCT. 2006



Jean Blaise Fotso



**Mosaïques Hiérarchisées d'Ecosystèmes
Artificiels (MHEA®) comme outil stratégique de
gestion des eaux usées :
Cas de Douala au Cameroun**

Mémoire présenté

à l'Université Internationale de Langue Française au Service
du développement africain

Université Senghor

Pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Professionnelles Approfondies (DEPA)

DEPARTEMENT DE GESTION DE L'ENVIRONNEMENT

Directeur de stage :
Professeur Michel Radoux,
Responsable SEV Université de Liège Belgique (Ex-FUL).

JURY INTERNATIONAL :

Professeur Michel Bouchard, Université de Montréal/Canada.

Professeur Michel Damian, Université Senghor (Président).

Professeur Guy Matejka, Université de Limoges / France.

Avril 2005, Alexandrie - Egypte.

TABLE DES MATIERES

DEDICACE	IV
REMERCIEMENTS	V
LISTE DES ACRONYMES	VIII
RESUME	IX
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I: GENERALITES SUR LES EAUX USEES	6
INTRODUCTION.....	6
1. POLLUTION DU MILIEU AQUATIQUE	6
2. LES TYPES DE POLLUTION ET LES PARAMETRES DE MESURE.....	7
2.1. LES TYPES DE POLLUTION.....	7
2.2. PRINCIPAUX PARAMETRES D'EVALUATION DE POLLUTION.....	9
3. ORIGINES ET CARACTÉRISTIQUES DES EAUX USÉES.....	11
3.1. LES EAUX USEES DOMESTIQUES.....	11
3.2. EAUX USEES URBAINES.....	12
3.3. LES EAUX USEES INDUSTRIELLES.....	12
3.4. LES EAUX USEES AGRICOLES.....	13
3.5. LES EAUX PLUVIALES ET DE RUISSELLEMENT.....	13
4. EPURATION DES EAUX USEES.....	13
5. IMPACTS DE LA POLLUTION DES EAUX USEES.....	14
5.1. IMPACTS ECOLOGIQUES.....	14
5.2. IMPACTS SOCIO-ECONOMIQUES.....	15
CHAPITRE II: GESTION DES EAUX USEES DANS LES PAYS INDUSTRIELS SOUS CLIMAT TEMPERE: CAS DE LA BELGIQUE EN EUROPE	16
1. GESTION DES EAUX USEES EN EUROPE.....	16
1.1. PRODUCTION DES EAUX USEES : QUANTITE ET QUALITE.....	16
1.2. COLLECTE ET L'EVACUATION DES EAUX USEES.....	17
2. EXIGENCES EUROPEENNES: LES NORMES DE QUALITE.....	17
2.1. PROTECTION DES RESSOURCES EN EAU (Directive 75/440/CEE du 16 juin 1975).....	17
2.2. QUALITE DES EAUX DE BAIGNADE (Directive 76/160/CEE du 8 Décembre 1975).....	18
2.3. TRAITEMENT DES EAUX URBAINES RESIDUAIRES.....	18
3. TRAITEMENTS DES EAUX USEES.....	20
3.1. ASSAINISSEMENT AUTONOME INDIVIDUEL.....	21
3.2. ASSAINISSEMENT COLLECTIF.....	21
4. ATOUTS ET CONTRAINTES DES DIFFERNTES TECHNIQUES.....	31
4.1. ATOUTS DES TECHNIQUES INTENSIVES.....	31
4.2. CONTRAINTES DES TECHNIQUES COLLECTIVES INTENSIVES.....	31
4.3. ATOUTS DES TECHNIQUES EXTENSIVES.....	32
4.4. CONTRAINTES DES TECHNIQUES EXTENSIVES.....	33
5. L'EXPERIMENTATION DE LA MHEA®	33

6. HYPOTHESES DE BASE.....	36
7. PROCESSUS METHODOLOGIQUE ET TECHNOLOGIQUE MHEA®.....	36
7.1. <i>COMPARAISON SYSTEMATIQUE.....</i>	<i>36</i>
7.2. <i>OPTIMISATION PROGRESSIVE.....</i>	<i>37</i>
8. FILIERE OPTIMISEE DE LA MHEA® SOUS CLIMAT TEMPERE.....	39
8.1. <i>UN ECOSYSTEME AQUATIQUE D'EAU LIBRE.....</i>	<i>39</i>
8.2. <i>UN ECOSYSTEME SEMI-AQUATIQUE.....</i>	<i>39</i>
8.3. <i>UN ECOSYSTEME TERRESTRE.....</i>	<i>39</i>
CHAPITRE 3: _GESTION DES EAUX USEES DANS LES PAYS EN VOIE DE DEVELOPPEMENT : CAS DE DOUALA AU CAMEROUN.....	41
1. PRESENTATION SOMMAIRE DU CAMEROUN.....	41
2. PRESENTATION DE LA VILLE DE DOUALA.....	43
2.1. <i>LE CLIMAT.....</i>	<i>43</i>
2.2. <i>LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE.....</i>	<i>44</i>
2.3. <i>LA DEMOGRAPHIE.....</i>	<i>46</i>
2.4. <i>LA STRUCTURE URBAINE.....</i>	<i>46</i>
3. GESTION DES EAUX USEES.....	48
3.1. <i>PRODUCTION DES EAUX USEES A DOUALA.....</i>	<i>48</i>
3.2. <i>LA COLLECTE ET EVACUATION DES EAUX USEES.....</i>	<i>49</i>
4. EPURATION DES EAUX USEES.....	49
4.1. <i>LES SYSTEMES D'ASSAINISSEMENT COLLECTIF.....</i>	<i>49</i>
4.2. <i>LE SYSTEME INDIVIDUEL D'ASSAINISSEMENT.....</i>	<i>50</i>
5. IMPACTS DES EAUX USEES.....	51
5.1. <i>IMPACTS DES EAUX PLUVIALES (EAUX DE RUISSELLEMENT).....</i>	<i>51</i>
5.2. <i>IMPACTS ECOLOGIQUES.....</i>	<i>52</i>
5.3. <i>IMPACTS SANITAIRES.....</i>	<i>53</i>
5.4. <i>IMPACTS SOCIO-ECONOMIQUES.....</i>	<i>55</i>
6. LES CONTRAINTES DE GESTION DES EAUX USEES.....	55
6.1. <i>CONTRAINTES INSTITUTIONNELLES.....</i>	<i>55</i>
6.2. <i>CONTRAINTES SOCIO-ECONOMIQUES.....</i>	<i>56</i>
6.3. <i>CONTRAINTES LIEES À L'URBANISATION.....</i>	<i>56</i>
6.4. <i>CONTRAINTES POLITIQUES.....</i>	<i>57</i>
CHAPITRE IV: _PROPOSITION D'AIDE A LA DECISION POUR LA GESTION DES EAUX USEES DOMESTIQUES ET URBAINES AU CAMEROUN.....	58
INTRODUCTION.....	58
1. QUELQUES RESULTATS DES M.H.E.A.®.....	58
2. GESTION DES EAUX USEES DOMESTIQUES ET URBAINES.....	59
2.1. <i>LA PROBLEMATIQUE.....</i>	<i>59</i>
2.2. <i>LES OBJECTIFS RECHERCHES.....</i>	<i>59</i>
3. ETAT DES LIEUX.....	61
3.1. <i>LES EQUIPEMENTS EXISTANTS.....</i>	<i>61</i>
3.2. <i>L'IMPACT DE LA POLLUTION DES EAUX USEES.....</i>	<i>62</i>
4. AIDE A LA DECISION.....	63

4.1. *GESTION NATIONALE DES EAUX USEES DOMESTIQUES ET URBAINES: SCHEMA DECISIONNEL ENVIRONNEMENTAL ET TECHNOLOGIQUE*.....63
4.2. *EXEMPLE DE GESTION NATIONALE DES EAUX USEES PAR LE PROCESSUS MHEA®*.....67

CONCLUSION GENERALE69

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....A

TABLE DES TABLEAUX, SCHEMAS, FIGURES ET CARTESD

GLOSSAIRED

ANNEXESH

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

DEDICACE

Au Seigneur Tout Puissant ;

A ma regrettée sœur Pouomogne Clémentine décédée pendant cette formation (Août 2004);

A tous ceux qui comme moi ont le souci de protection de l'environnement,
Je dédie ce modeste travail.

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

REMERCIEMENTS

Ce travail n'aurait jamais été réalisé si nous n'avons bénéficié du soutien et la contribution de quelques personnes à qui nous tenons à exprimer notre profonde gratitude. Nous pensons notamment :

au professeur Michel Radoux, responsable du Groupe de Recherches MHEA® au Département des sciences et gestion de l'environnement de l'Université de Liège (ex-FUL), qui a accepté de m'encadrer à la station expérimentale de Viville (SEV) en Belgique ;

au professeur Michel Damian, Directeur du Département de gestion de l'environnement de l'Université Senghor, dont le dynamisme a contribué à la réussite de la formation ;

au Conseil pour le Développement de la Recherche en Science Sociales en Afrique CORESRIA, pour le « *programme des petites subventions pour la rédaction des mémoires et thèses* » dont j'ai bénéficié de l'appui financier de la section de juillet 2004 ;

à Iman Fawzi, secrétaire du département de gestion de l'environnement ;

à Perin Marc et Marie Nemcova, mes collaborateurs à la Station de Viville ;

à Dr Joseph Wéthé, Enseignant-chercheur Groupe EIER-ETSHER Ouagadougou pour ses encouragements, ses multiples conseils et la correction pour ce travail ;

à toute l'administration de l'Université Senghor qui n'a ménagé aucun effort pour rendre notre séjour agréable ici à Alexandrie, afin de suivre les enseignements pour lesquels nous avons passé deux années (des techniciens de surface au recteur);

à tous mes collègues Senghoriens de la promotion 2003-2005, à qui je souhaite vivement plein succès et fructueuse collaboration. Je pense à Marinette Traoré Diop, godefroy Chabi, Maneno Biruke, Coulibaly Arouna etc. ;

à toute ma famille pour son éternel soutien ;

à tous mes amis pour tout ce que nous avons en commun. Je pense à Fodouop Tégua Etienne, à la famille Nouadje tchuenta, Ngassa Y. Guy, Kouagaing Moise, Suzy Bityé etc. ;

Je voudrai terminer en famille en félicitant très sincèrement le G7, représentants Camerounais de la 9^{ème} promotion, pour l'esprit qui nous a animé pendant notre séjour en Egypte.

AVANT PROPOS

De nos jours, ne rien dire au sujet de l'eau c'est témoigner de notre indifférence sur les problèmes qui minent au quotidien notre planète. L'inégale répartition géographique de l'eau, la pollution dont elle est victime, les besoins de plus en plus croissants dus à la poussée démographique mondiale, les activités agricoles et industrielles font d'elle un enjeu planétaire avéré. Selon le conseil mondial de l'eau, les besoins augmenteront de 40% d'ici 2020. En 2025, les pays manquant d'eau auront environ 6,5 fois plus d'habitants qu'en 2000, soit 3,5 milliards d'individus au total.

La planète est constituée de 70% d'eau, dont 2,5% seulement représente la ressource totale en eau douce. Les experts estiment que les seuils correspondant à ce qu'il soit possible de prélever au milieu naturel sont déjà dépassés en de nombreux endroits. Ils prévoient même l'épuisement dans les 30 années avenir de plusieurs nappes importantes dont l'exploitation s'est intensifiée : +144% en 30 ans au USA, + 300% en 10 ans en Arabie Saoudite, +100% en 10 ans en Tunisie etc. Si la tendance actuelle à augmenter les prélèvements en eau se poursuit, plus la moitié de l'humanité vivrait en situation de stress hydrique d'ici 2025 (OMS, 2005).

Pendant ce temps, la population du monde n'a cessé d'augmenter : en 1800, la planète comptait 1 milliard de personnes ; en 1900, ce chiffre est passé à 1,5 milliards, pour atteindre 2 milliards d'individus en 1969. On estime qu'elle est de 6,5 milliards de nos jours, et pourrait atteindre 8 milliards d'individus d'ici 2025. Simultanément les activités se sont multipliées et les besoins en eau se sont accrus. Au cours du xx^e siècle, la consommation de l'eau a augmenté deux fois plus rapidement que la population, ce qui a abouti à une surexploitation des eaux souterraines et une baisse du niveau des nappes phréatiques selon la même source. La quantité moyenne d'eau douce disponible par « habitant » et par an devrait passer de 6600 à 4800 m³, une réduction presque du tiers.

Par ailleurs la pauvreté ne cesse d'augmenter. Près de 1,5 milliards de personnes n'ont pas accès à l'eau de qualité, et 2,4 milliards n'ont accès à aucun système d'assainissement (ONU, 2001); ce manque crucial de besoins vitaux pèse très lourds à toute l'humanité.

L'interface de cette situation est la pollution des sources d'approvisionnement en eau responsable des problèmes sanitaires et écologiques: 80% de maladies dans le monde est directement ou indirectement liée à la consommation d'une eau contaminée. Près de 1,7 millions de décès dans le monde chaque année est imputable à une eau insalubre, au manque

d'assainissement et d'hygiène, principalement les diarrhées infectieuses. La plupart des décès surviennent chez les enfants et essentiellement dans les pays en voie de développement. Chaque année, plus d'un million de personnes meurent de paludisme, et des maladies étroitement liées à la mauvaise gestion des ressources hydriques.

Sur le plan international, la décennie 1980-1990 a été consacrée à l'eau, et la journée du 22 mars, a été déclarée journée mondiale de l'eau ; plusieurs sommets ont également consacré à l'eau etc. Mais le traitement des eaux usées ou assainissement est resté en marge de toutes ces stratégies politiques. En effet, les dégâts sont vécus au quotidien par les populations des pays en voie de développement. Si les pays industrialisés sont moins exposés aux conséquences, ce n'est pas pour autant que rien ne doit être fait pour les zones à faibles revenus.

Puisse cette initiative susciter plus d'attention des pays du Nord à cette situation afin que ceux du Sud et particulièrement africains bénéficient des technologies mieux adaptées à leurs contextes.

CODESRIA - BIBLIOTHÈQUE

LISTE DES ACRONYMES

CEE :	Communauté économique européenne.
CF :	Coliformes fécaux.
C.I.eau :	Centre d'information sur l'eau.
CT :	Coliformes totaux.
CUD :	Communauté Urbaine de Douala.
DBO :	Demande biologique en oxygène.
DCO :	Demande chimique en oxygène.
DSRP :	Document stratégique de réduction de la pauvreté.
EH :	Equivalent habitant.
EU :	Eaux usées.
FUL :	Fondation Universitaire Luxembourgeoise.
GIEC :	Groupe Intergouvernemental d'expert sur l'évolution du climat.
MAETUR :	Mission d'Aménagement et d'Equipement des Terrains Urbains et Ruraux.
MES :	Matières en suspension.
MHEA :	Mosaïques Hiérarchisées d'Ecosystèmes Artificiels.
OMS	Organisation Mondiale de la Santé.
PDL :	Plan Directeur Local.
PNUE :	Programme des nations unies pour l'environnement.
PNUD :	Programme des Nations Unies pour le Développement.
POS :	Plan d'Occupation du Sol.
Ps-Eau :	Programme Solidarité – Eau.
PVD :	Pays en voie de développement.
RBTS:	Reed Bed Treatment Systems.
RZM:	Root zone method.
SDAU :	Schéma directeur d'aménagement urbain.
SF :	Streptocoques fécaux.
SIC :	Société Immobilière du Cameroun.
SNEC :	Société Nationale des Eaux du Cameroun.
STEP :	Station d'épuration.
SEV :	Station expérimentale de Viville.
UE :	Union Européenne.

RESUME

Le présent essai est intitulé « *Mosaïques Hiérarchisées d'Ecosystèmes Artificiels M.H.E.A® comme outil stratégie de gestion des eaux usées domestiques et urbaines : le cas de Douala au Cameroun* ». Le Cameroun, pays d'Afrique Centrale est caractérisé par sa démographie soutenue, son insuffisance d'infrastructures d'assainissement, sa pauvreté, etc. Les grandes villes du pays sont les lieux par excellence de convergence de la population. Avec ses activités économiques, la ville de Douala est ainsi otage d'un exode rural sans précédent. De 500 milles habitants en 1980, elle est passée à environ 2 millions de nos jours. Cette situation n'a pas permis aux autorités de la ville de maîtriser son évolution spatiale et temporelle.

De cette situation, découlent plusieurs problèmes dont celui du traitement des eaux usées. Dans les années 1970, des structures d'assainissement ont été construites, mais on ignore de nos jours leurs états de fonctionnement. Le constat qui se dégage est que ce dysfonctionnement est lié aux problèmes d'ordre technique et économique. Au regard des implications de plus en plus inquiétantes, plusieurs interrogations dont celle relative au choix d'une technique plus élaborée et mieux adaptées. La finalité de ce travail en tant que gestionnaires est, de proposer une technique alternative qui soit compatible aux contraintes locales et réponde à nos préoccupations.

Pour y arriver, ce travail a été scindé en quatre chapitres. Le premier nous présente de façon globale les généralités des eaux usées. Il en ressort les différents types d'eaux usées, leurs origines et les diverses implications. Le second chapitre nous décrit les modes de gestion des eaux usées en Europe et notamment en Belgique, mettant en évidence les techniques intensives et extensives d'épuration des eaux usées. Comme technique extensive, nous nous sommes attardés sur les procédés méthodologiques des *M.H.E.A®* développés depuis les années 1970 à la SEV, cadre choisi pour mon stage de formation. Quant au troisième chapitre, il fait un état des lieux des pratiques et de la gestion des eaux usées dans la ville de Douala au Cameroun. Le dernier propose un schéma d'aide à la décision pour le pays voir la sous région.

Suivant les expériences de la SEV, les *M.H.E.A®* offrent des avantages écologiques et économiques, et respectent les Normes Européennes. En plus, d'autres expériences telles celles de M'Diq au Maroc, de Cambérène à Dakar au Sénégal etc. sont des indicateurs Pertinents et vérifiables. A cet effet, l'adaptation des *M.H.E.A®*, et les résultats satisfaisants nous permettent d'appuyer sans réserve son transfert à Douala au Cameroun. Toutefois des préalables de sa durabilité méritent d'être soulevés ; nous pensons notamment à l'intégration de l'assainissement dans l'axe prioritaire national de lutte contre la pauvreté, de la sensibilisation des populations à ce nouvel outil, et de l'implantation d'un centre pilote in situ.

MOTS CLES : Eaux usées, MHEA, Pollution, épuration, assainissement, traitement.

INTRODUCTION GENERALE

De multiples problèmes environnementaux d'origine anthropique affligent le monde contemporain : la désertification, la pollution et la dégradation de l'eau de l'air, et du sol ; les diverses formes de macro pollution, la dégradation des habitats et des écosystèmes ainsi que les pertes de la biodiversité sont désormais reconnus à l'échelle planétaire. Les préoccupations internationales sont à l'ordre du jour. Qu'on se rappelle plus particulièrement de la Conférence des Nations Unies de Stockholm sur l'Environnement Humain (1972), la mise sur pied de la Commission Mondiale sur l'environnement et le développement (1983), et de son rapport dit Rapport de BRUNDTLAND (1987), le Sommet de la Terre de Rio (1992), le Sommet du Millénaire de l'Organisation des Nations Unies à New York en septembre 2000, le Sommet du Développement Durable à Johannesburg (2002). Toutes ces déclarations insistent sur la rationalisation des ressources naturelles et la protection de l'environnement.

Parmi ces ressources, la question de l'eau est l'une des plus stratégiques de notre temps, plus difficile encore parce qu'elle est liée à la vie mais n'est pas le produit des hommes. L'eau représente un lien fondamental unissant la santé humaine et l'environnement. Etant liée à toutes les activités humaines, elle doit être prise en compte dans une dimension transversale à cause de ses multiples fonctions. Si nous sommes d'avis qu'il faut préserver notre environnement contre les multiples pollutions dont celle des eaux usées, il faut disposer des outils techniquement fiables et économiquement accessibles pour l'atteinte de nos objectifs.

Les pays développés ont à ce propos initié plusieurs pistes de recherches, même si toutes ne font pas toujours l'unanimité. Pour le reste (pays émergents ou en voie de développement) la situation est plutôt dramatique puisqu'elle se conjugue avec des problèmes tels le faible revenu des populations, l'insuffisance voire l'absence des compétences techniques, l'explosion démographique, l'urbanisation anarchique, et surtout le manque d'éveil politique.

1/ PROBLEMATIQUE

En dépit des visions optimistes pour l'avenir du Cameroun, les réalités sont toujours présentes: la crise économique des années 1970, la dynamique démographique sans cesse croissante, la dévaluation de la monnaie locale (le franc CFA), la pauvreté, etc.:

- la pauvreté quant à elle a été identifiée au Cameroun comme facteur central de la dégradation de l'environnement (MINEF, 1996) ;

- la métropolisation des villes avec pour effets induits l'extension des quartiers périurbains, l'insuffisance des structures d'assainissement, les habitats précaires etc. ;

- un environnement inconfortable : pollutions, risques sanitaires élevés, les caniveaux et les drains charrient les déchets de tout genre ;

- l'accès à l'eau potable et au réseau d'assainissement demeure encore un luxe pour la majorité de la population.

Au Cameroun, 60% de la population ont recourt aux puits comme source d'approvisionnement en eau potable (PNUD, 2001). L'ensemble des usagers opérant de la sorte correspond à ceux dont le taux de branchement au réseau de la société nationale des eaux du Cameroun (SNEC) est le plus faible ; la majeure partie s'alimente directement à l'eau de marigot ou de puits. De graves problèmes de santé ont ainsi déjà été soulevés ayant des liens avec la qualité d'eau de consommation. Or, le Cameroun a signé le document de stratégie de réduction de la pauvreté (DSRP), qui prévoit entre autres l'accès pour tous à l'eau potable et au réseau d'assainissement. Il s'en suit que le pays ne dispose d'aucun cadre réglementaire en matière de rejet d'eau usée (Tanawa et al, 2004).

Dans les villes de Douala et de Yaoundé, seuls quelques quartiers sont concernés par le réseau d'égouts et des stations d'épuration (STEP). Ceci suscite plusieurs interrogations sur le plan environnemental et sanitaire si aucune disposition n'est entreprise pour assainir les quartiers moins nantis. En plus de la démographique exponentielle, la baisse généralisée du niveau de vie a englouti la population dans une extrême pauvreté. Tous les efforts fournis par les gestionnaires de ces villes se sont toujours penchés vers les stations d'épuration à boues activées qui, bien qu'étant performantes, sont extrêmement coûteuses tant en investissement qu'en exploitation. (Tanawa et al, 2004).

A ces facteurs coût, s'ajoutent la consommation accrue d'énergie, les difficultés à renouveler les pièces de rechange, l'insuffisance des moyens financiers et l'absence de plan de maintenance des équipements existants seraient à l'origine de l'abandon des stations d'épuration. Ce qui accroît le risque de dégradation avancée des écosystèmes récepteurs des effluents issus des systèmes. Du fait des insuffisances de traitement des polluants présents dans les eaux usées, il en découle des rejets d'effluents non suffisamment traités dans les écosystèmes aquatiques.

Cette situation déplorable, qui ne cesse de s'accroître, pose des problèmes d'adaptabilité des systèmes d'épuration en place depuis une trentaine. Nous n'approfondirons pas ici un thème précis, mais proposerons un survol des préoccupations et des enjeux du traitement des eaux usées. Nous reconnaissons par ailleurs l'importance du traitement des eaux usées et les valeurs des

outils utilisés par le passé ; mais croyons que leur mise en cause serait liée au déphasage de ce système avec le contexte socioéconomique actuel.

Si l'on s'accorde aujourd'hui à reconnaître que les systèmes extensifs représentent une alternative pour les villes telle Douala ou Yaoundé, il n'en demeure pas moins que la problématique du meilleur choix technique reste entière eu égard à la multitude des systèmes existants. Dans cette situation d'incertitude, il convient de proposer une alternative pour la régulation de ce problème. Le processus méthodologique des Mosaïques Hiérarchisées d'Ecosystèmes Artificiels *M.H.E.A*®, qui est ici un outil d'aide à la prise de décision, permettrait probablement d'atteindre certains objectifs de part ses principes. Cependant sa proposition dans un contexte nécessite au préalable la mise en évidence de quelques points d'ombre :

- ◆ les causes réelles du dysfonctionnement des techniques existantes dans à Douala ;
- ◆ la singularité des Mosaïques Hiérarchisées d'Ecosystèmes Artificiels *M.H.E.A*® ;
- ◆ les conditions de son transfert dans les contextes des pays en voie de développement notamment à Douala au Cameroun ?

Pour répondre à ces interrogations, nous proposons à travers ce travail une approche méthodologique bâtie autour de quatre grands axes.

2/ METHODOLOGIE DU TRAVAIL

Ce document se divise en quatre parties :

- « **Les généralités sur les eaux usées** » Cette partie introduit la définition de la notion d'eau usée, les types de pollutions et leurs paramètres d'évaluation. Elle identifie par ailleurs les origines, les caractéristiques des différentes eaux usées et ressort les effets qu'elles entraînent.

- « **La gestion des eaux usées dans les pays industrialisés sous climat tempéré (le cas de la Belgique en Europe)** ». Après avoir situé le lecteur sur les généralités, cette partie définit les pratiques Belges : de la production au traitement des eaux usées. Nous rappelons ensuite les atouts, les contraintes de chaque technique et les exigences ou Normes d'émission. Une spécification est ce pendant accordée aux *M.H.E.A*® comme technique extensive dans l'optique d'une éventuelle transférabilité.

- « **La gestion des eaux usées dans les pays en voie de développement sous climat tropical humide : le cas de Douala au Cameroun** ». Après une présentation sommaire du Cameroun, cette partie présente les particularités de la ville de Douala. Ensuite, elle ressort les pratiques de gestion des eaux usées (production, collecte, évacuation, mode de traitement) et l'identification des impacts afin d'élaborer les contraintes qui entravent une gestion efficace.

- « **proposition d'aide à la décision de gestion des eaux usées** ». Le décideur est ici considéré comme l'ensemble des intervenants sur qui repose le rejet ou l'acceptation d'une proposition d'un projet. D'une part, cette partie présente les résultats des *M.H.E.A*® sous climat méditerranéen (cas de M'Diq au Maroc) et sous climat sahélien (cas de Cambérène à Dakar au Sénégal), et des facteurs à prendre en compte dans une prise de décision. Dans une vision de durabilité, nous espérons à travers ce transfert de processus méthodologique définir une filière des Mosaïques Hiérarchisées d'Ecosystèmes Artificiels *M.H.E.A*® adaptée à la sous région afin de réguler les problèmes de santé publique et de protection de notre environnement.

Notre responsabilité et objectivité sont plus que jamais interpellées dans cette tâche. Notre travail se propose de fournir des arguments techniquement, socialement, et économiquement pertinents qui puissent aider au choix d'une alternative d'épuration qui soit en phase avec les exigences locales. Toutefois, le choix est de prime à bord porté sur les techniques extensives. En dépit de tout, la question d'épuration des eaux ne cesse de soulever des débats souvent bien passionnés. Mais si les approximations sont nombreuses dans tous les domaines de la société, elles foisonnent à son propos. Au delà de tous les discours, de toutes les craintes et autre frilosité que génèrent les contemporains, il y a des évidences, des souffles de vérité et des espoirs dans les résultats des techniques extensives, même s'ils ne font pas encore l'unanimité. Il n'est donc pas question ici de chercher à convaincre, mais d'exprimer en toute objectivité une vision scientifique. Les Mosaïques Hiérarchisées des Ecosystèmes Artificiels (*M.H.E.A*®) dont il est question ici pourrait constituer une filière localement acceptable suite aux résultats déjà en notre possession.

L'ambition de ce modeste travail, est de proposer un guide pratique utile aux élus politiques, aux maîtres d'œuvres et aux maîtres d'ouvrages afin d'orienter leurs décisions vers le choix d'une technique rustique. L'expérience est bien osée, ou du moins suit une piste qui de nos jours est entamée. Nous ne proposons donc que d'ajouter une pierre à l'édifice global et demain, les connaissances seront sûrement plus complètes, les stratégies plus évoluées. Certains pourront avoir d'autres idées que celles qui y sont développées, tant mieux ; ainsi aurions-nous contribué à la protection du milieu naturel, et à l'amélioration de notre cadre de vie, tributaire de la santé publique.

3/ CONTEXTE DU STAGE

S'inscrivant dans la logique de cadre du cursus de notre formation à l'Université Senghor, le stage est prévu entre la première et la deuxième année. La station expérimentale de Viville (SEV) de l'ex-FUL située en région Wallonne en Belgique a été le cadre réservé pour cet atelier qui a duré quatre mois (de mai à septembre 2004).

Mise en place en 1977 par la fondation Universitaire Luxembourgeoise (FUL), la station expérimentale de Viville (SEV) est constituée d'un laboratoire d'analyse des caractéristiques des eaux usées, d'une station météorologique. Plusieurs protocoles expérimentaux ont conduit l'équipe de Recherche que dirige Michel Radoux à définir une filière des **M.H.E.A**®.

A la suite de la réforme universitaire en Belgique, l'ex-FUL est devenue depuis juin 2004 la faculté des Sciences et de Gestion de l'Environnement de l'Université de Liège. Depuis 1977 date de sa mise sur pied, la station expérimentale de Viville (SEV) s'est donnée pour mission de développer les techniques extensives d'épuration par l'exploitation des capacités épuratoires des écosystèmes naturels. C'est à la suite de plusieurs expériences qu'est né le processus méthodologique des Mosaïques Hiérarchisées d'écosystèmes Artificiels (**M.H.E.A**®). Actuellement, la filière **M.H.E.A**® retenue sous climat tempéré est constituée des bassins étanches d'écosystèmes disposés en trois niveaux (eau libre, semi aquatique et terrestre).

Ce stage de formation m'a permis de me familiariser avec tous les équipements de la station, ensuite de maîtriser tout le processus de traitement des eaux usées de l'entrée des eaux brutes à la sortie des eaux usées. Cette expérience s'inscrivait bien dans l'optique d'une étude de transfert de processus sous un climat tropical humide dans le contexte des pays à faibles revenus.

CHAPITRE I:

GENERALITES SUR LES EAUX USEES

INTRODUCTION

L'histoire de la production des déchets se confond avec celle de l'apparition de la vie. Les hommes et les animaux ont toujours produit des déchets de par leur métabolisme, mais ces déchets à l'origine n'étaient pas considérés comme polluants, puisqu'ils étaient de faible quantité et affectaient moins le milieu naturel. Leur volume peu important, leur dispersion dans la nature et la forte capacité d'auto épuration du milieu expliquant ce phénomène.

Avec la sédentarisation des hommes, la stabulation des animaux, la formation des agglomérations, la production et la concentration des déchets sont devenues plus importantes pour la capacité d'auto épuration du milieu récepteur. Ce n'est qu'à partir de là que l'on a commencé à parler de pollution, car responsable de plusieurs nuisances. Le but de ce chapitre est de présenter un aspect global de la pollution des différents types d'eaux usées. Pour cela, il est axé autour de cinq principaux points:

- ◆ pollution du milieu aquatique ;
- ◆ les types de pollution et les paramètres de mesure ;
- ◆ origines et les caractéristiques des eaux usées ;
- ◆ épuration des eaux usées;
- ◆ impacts de la pollution des eaux usées.

1. POLLUTION DU MILIEU AQUATIQUE

Un milieu aquatique est dit pollué lorsque son équilibre a été modifié de façon durable par l'apport en quantités trop importantes de substances toxiques d'origines naturelles ou humaines. Ces pollutions peuvent entraîner diverses nuisances : l'accroissement de la mortalité de certaines espèces animales ou végétales jusqu'à leur extinction, altération de leurs capacités physiologiques, la détérioration de la qualité de l'eau au point de la rendre impropre à différents usages : alimentaire, industriel, agricole, ludique etc.

Toutefois, tous les polluants ne présentent pas les mêmes risques pour les écosystèmes; certains sont biodégradables riches en espèces animales, végétales et en microorganismes. Un écosystème est naturellement capable de transformer et d'éliminer en partie ou en totalité les substances biodégradables qu'il reçoit afin d'assurer le maintien de son équilibre. Mais, si ces substances dépassent le seuil critique, les capacités d'auto épuration du milieu ne suffiraient plus pour en assurer son équilibre. L'agent polluant ne pouvant pas être éliminé rapidement, s'accumule et rompt progressivement l'équilibre du milieu aquatique : on dit alors qu'il y a pollution de ce milieu.

2. LES TYPES DE POLLUTION ET LES PARAMETRES DE MESURE

2.1. LES TYPES DE POLLUTION

Il existe quatre types de pollution des eaux (M. Avargues et al., 1971):

2.1.1. La pollution physique ou primaire:

Les caractéristiques physiques des eaux résiduares sont très diversifiées. Elles se matérialisent par des indices facilement identifiables qui peuvent être répartis en trois groupes:

- **la pollution mécanique:** c'est la rupture de l'équilibre d'un milieu aquatique suite à l'apport des particules physiques ;

- **la pollution thermique:** en général la plage de température (+10 et +25°C), est favorable au développement de la microflore et de la microfaune, responsables de l'épuration. Au delà de cette plage, l'équilibre du milieu est rompu ;

- **la pollution radioactive:** caractérisée par la présence des déchets radioactifs dans l'eau ; elle est essentiellement issue des industries nucléaires.

2.1.2. La pollution chimique organique ou secondaire

Elle se caractérise par deux composantes : les composés organiques de synthèse, et les composés issus des métabolismes humain, animal et végétal :

- les composés organiques de synthèse

- ◆ activités industrielles (produits chimiques, hydrocarbure etc.) ;
- ◆ pratiques agricoles (pesticides, herbicides, insecticides etc.) ;
- ◆ activités domestiques (détergents, graisse, etc.).

- les composés issus du métabolisme humain animal et végétal

Ils sont représentés par les matières fécales et divers autres déchets humain ou animal. Deux paramètres nous permettent d'évaluer ce genre de pollution.

* la demande biochimique en oxygène (DBO_5) qui représente la quantité d'oxygène dissous nécessaire pour oxyder par voie biologique les matières organiques biodégradables de l'eau. Elle s'exprime en $mg.L^{-1}$ d'oxygène dissous ;

* la demande chimique en oxygène (DCO): qui caractérise la quantité d'oxygène dissous nécessaire pour oxyder chimiquement sans intervention d'êtres vivants, toutes les substances oxydables (sels minéraux oxydables, composés organiques biodégradables ou non). Elle s'exprime également en $mg.L^{-1}$ d'oxygène dissous.

2.1.3 La pollution chimique minérale

La pollution chimique minérale se caractérise par la présence de deux composés minéraux: les dérivés de l'azote et du phosphore :

- **les dérivés de l'azote:** (nitrates: NO_3^- , nitrites; NO_2^- , l'ion ammonium: NH_4^+), dont la contamination se fait de manière ponctuelle (rejet domestique et industriel, etc.), et diffuse (eau de ruissellement, lessivage des sols agricoles).

- **le phosphore:** il est en quantité limitée dans l'écosystème aquatique et son supplément dans un milieu favorise l'eutrophisation. Son apport se fait essentiellement par apport diffus (érosion des sols, lessivage des terres agricoles etc.), et ponctuel (rejets des eaux usées domestiques, agricoles, industrielles, etc.).

L'enrichissement des milieux aquatiques par ces minéraux entraîne la contamination des nappes phréatiques par les nitrates.

2.1.4. La pollution biologique

Les matières fécales et les urines sont chargées de germes commensaux et pathogènes issus des porteurs sains ou malades. Les rejets des industries agro-alimentaires et les eaux résiduaires urbaines abritent également de nombreux microorganismes pathogènes. Les caractéristiques de ces derniers nous orientent dans la classification de la pollution biologique.

- **La pollution bactérienne :** la présence des bactéries dans une eau usée est un indicateur de contamination bactérienne. Ces bactéries sont responsables des maladies telles que les fièvres typhoïdes, le choléra, les gastroentérites, l'angine, la pneumonie etc. La concentration en bactéries totales des eaux usées domestiques est de l'ordre de 10^8 à 10^{10} germes / 100ml.

- **La pollution virale :** l'indicateur de cette pollution est la présence excessive des virus dans les eaux usées. Ils sont responsables des maladies infectieuses d'origine hydrique telles que la poliomyélite, la méningite, l'hépatite A etc.

- **La pollution zoo parasitaire:** la présence des parasites dans l'eau sera généralement un indice de contamination fécale. Les parasites responsables de cette pollution sont très diversifiés et provoquent des maladies telles que la bilharziose, l'amibiase, la dracunculose, etc.

2.2. PRINCIPAUX PARAMETRES D'EVALUATION DE POLLUTION

La pollution d'une eau est appréciée par une série de mesures à caractère global qui traduit avec un maximum de fidélité, les nuisances susceptibles d'être induites dans le milieu récepteur par les rejets d'effluents. Les principaux paramètres permettant de faire une évaluation de la pollution des eaux sont les suivants:

- ◆ les matières en suspension (MES) pour la pollution primaire ;
- ◆ la DCO et la DBO₅ pour la pollution secondaire ;
- ◆ les composés de l'azote (N) et de phosphore (P) pour la pollution tertiaire ;
- ◆ les germes indicateurs de contamination fécale pour la pollution biologique.

2.2.1 Paramètres de mesure de pollution physique ou primaire.

Cinq paramètres caractérisent la pollution du type primaire :

- ◆ **la température:** elle doit être comprise dans la plage de température compatible avec la survie de la flore et la faune aquatique ;
- ◆ **la turbidité:** c'est la présence plus ou moins importante de matières en suspension d'origine minérale ou organique, pouvant faire rompre l'équilibre du milieu aquatique ;
- ◆ **le potentiel d'hydrogène (pH):** en général, les eaux usées domestiques présentent une plage *pH* le plus souvent compatible avec la survie des microorganismes épurateurs ;
- ◆ **les matières en suspension (MES):** ce sont les particules non dissoutes contenues dans l'eau; elles sont exprimées en mg.L⁻¹.

2.2.2 Paramètres de pollution chimique organique ou secondaire.

Les eaux usées peuvent être caractérisées par une grande diversité de substances organiques ; dans ce cas leur évaluation se fait soit par la DBO₅, soit par la DCO. On simplifie alors par la mesure plus globale de l'effet des matières organiques sur l'oxygène utilisé pour les dégrader dans les conditions expérimentales normalisées. La mesure de ces demandes en oxygène est exprimée en mg.L⁻¹, et fait l'objet de la norme *AFNOR T90 -101*. (C.Coste & M. Loudet, 1987). La consommation de l'oxygène contenu dans l'eau est fonction de la concentration de la matière organique, donc du degré de pollution secondaire.

La notion de biodégradabilité.

On entend par biodégradabilité, la faculté de décomposition des polluants organiques par la seule action des bactéries. Le rapport DCO/DBO₅ indique le degré de biodégradabilité des substances organiques contenues dans une eau usée. Ce rapport permet ainsi une classification sommaire des différents types d'eaux usées ; si le rapport:

DCO / DBO₅ = 1,5 ⇒ Eaux vannes.

DCO / DBO₅ = 2,5 ⇒ Eaux urbaines.

DCO / DBO₅ > 2 – 3 ⇒ Eaux industrielles.

DCO / DBO₅ > 3 - 5 ⇒ Eaux issues des stations d'épuration.

2.2.3. Paramètres de mesure de pollution chimique minérale ou tertiaire.

Ils concernent la présence dans le milieu des différents composés de l'azote, du phosphore, et les métaux lourds :

- **l'azote** : c'est l'un des paramètres importants de la pollution chimique car responsable de l'eutrophication des lacs et des cours d'eau. Ce phénomène se caractérise par la prolifération d'algues et la diminution de l'oxygène dissous, ce qui appauvrit la faune et la flore aquatique. Les deux implications principales de l'enrichissement en azote dans un milieu aquatique sont essentiellement la contamination des nappes phréatiques par les nitrates et l'eutrophication du milieu. La mesure s'exprime en mg N.L⁻¹, incluant l'azote organique et l'azote ammoniacal, aussi appelé azote total ou azote KJELDAHL.

N.B: L'azote total (NT) est la somme des divers composés suivants:

Norg: azote organique (celui qui fait partie des protéines et des acides aminés).

NH₄⁺: azote ammoniacal (ou ammonium en solution), lui même en équilibre avec le gaz.

NH₃ (ammoniac) selon le pH et la température de l'eau.

NO₂⁻: azote nitreux (ou ion nitrite), très toxique pour les poissons mais peu stable.

NO₃⁻: azote nitrique (ou ion nitrate).

Tous sont exprimés en mg N.L⁻¹.

Nous avons alors, $\underline{NT = N_{org} + NH_4^+ + NO_2^- + NO_3^-}$

NT : N total

NO₂⁻: nitrite

NO₃⁻: nitrate

NH₄⁺: ammonium (ou ammoniaque)

N kjeldahl: Norg + NH₄⁺

N minéral: $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$.

NT = N kjeldahl + $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$

NT = Norg + N minéral ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$)

Nkjeldahl = Norg + NH_4^+ .

- **le phosphore et ses composés minéraux** : ils sont essentiels pour la croissance des différents organismes présents dans les eaux. Leur rejet dans les eaux usées domestiques stimule rapidement la croissance des organismes photosynthétiques (microphytes et macrophytes), et entraîne l'eutrophication.

- Les métaux lourds

Ils sont d'origine industrielle (chimie, métallurgie etc.), mais aussi agricoles (engrais, pesticides à l'état des traces). Les doses libérées dans les milieux s'accumulent dans la chaîne trophique pour atteindre un seuil de toxicité létale.

2.2.4. Paramètres de mesure de pollution biologique ou quaternaire.

L'analyse microbiologique des eaux s'inscrit dans un cadre général de protection de la santé et de l'environnement. Elle a été mise en pratique dès la naissance de la microbiologie, fin XIX ème siècle (O.Thomas, 1995). La directive européenne 75/440/CEE du 16 juin 1975 et les normes qui en découlant concernent uniquement l'aspect sanitaire défini dans le cadre de la prévention d'épidémies d'origine microbiologique. Le vocable pollution biologique regroupe la pollution bactérienne, la pollution virale et la pollution zoo parasitaire comme l'indique le paragraphe 2.1.4 de ce même chapitre.

3. ORIGINES ET CARACTÉRISTIQUES DES EAUX USÉES.

On distingue généralement cinq principaux types d'eaux usées (W. W. Eckenfelder, 1982).

3.1. LES EAUX USEES DOMESTIQUES

C'est l'ensemble des eaux issues des multiples activités domestiques. Cet ensemble comporte les eaux vannes constituées de matières fécales et des urines. Les rejets des toilettes et les eaux ménagères (cuisine, de vaisselle, lessive, etc.). Le tableau suivant nous donne un ordre de grandeur des caractéristiques des eaux usées domestiques.

Eaux usées domestiques (180 l.J⁻¹)		
Paramètres	mg.l.J⁻¹	Charge polluante (gr.l.J⁻¹)
DCO	500	90
DBO ₅	250	45
MES	750	135
N	30 – 50	10
P	20	4
Coliformes fécaux	10 ⁸ – 10 ¹⁰ / 100ml	
PH	7.2	

Tableau 1 : Synthèse de Caractérisation d'une eau usée domestique (Michel Radoux, 2004-a).

3.2. EAUX USEES URBAINES

Elles sont un peu plus complexes que les précédentes de part leurs diverses origines; Sous ce vocable, sont regroupées:

- ◆ les eaux usées domestiques proprement dites ;
- ◆ les eaux usées résiduaires d'origine industrielle ou artisanale directement liées à l'activité de la population urbaine concernée ;
- ◆ les eaux pluviales et de ruissellement de l'entité urbaine impliquée ;
- ◆ les eaux résiduaires d'installation à caractère social (hôpitaux, établissements, scolaires, magasins etc.).

3.3. LES EAUX USEES INDUSTRIELLES

Elles proviennent des diverses industries et sont caractérisées par la diversité des activités de ces industries. Les effluents varient considérablement en fonction du type d'industrie dont ils sont issus :

- ◆ pour les industries agro-alimentaires, les effluents sont caractérisés par les MES et des teneurs élevées en matières organiques biodégradables ;
- ◆ pour les industries chimiques, les eaux de rejet sont constituées de produits chimiques dissous qui inhibent facilement le processus biologique ;
- ◆ pour les industries minières, les eaux résiduaires contiennent plus de matières en suspension.

3.4. LES EAUX USEES AGRICOLES

Elles proviennent des activités agricoles telles que l'élevage, les cultures maraîchères et céréalières, l'aquaculture, la pêche etc. Dans ce cas, le ruissellement des eaux entraîne l'azote le phosphore et les résidus de pesticides.

3.5. LES EAUX PLUVIALES ET DE RUISSELLEMENT

On a longtemps considéré les eaux d'origine pluviale comme étant "**propre**" et sans aucune conséquence sur les milieux récepteurs. Mais en réalité, ces eaux véhiculent une part importante de pollution. Certaines études aux USA et en Europe ont montré que la quantité moyenne annuelle de cette pollution rejetée dans le milieu naturel est comparable (en ordre de grandeur) à celle des rejets urbains après traitement.

Constituants	Zone urbaine	Zone agricole
MES (mg.L ⁻¹)	5 - 1200	---
DCO (mg.L ⁻¹)	20 - 610	---
DBO (mg.L ⁻¹)	1 - 173	---
P (mg.L ⁻¹)	0,02 - 7,3	0,1 - 7,3
N (mg.L ⁻¹)	0,3 - 7,5	0,5 - 6,5
N-nitrite (mg.L ⁻¹)	---	0,03 - 5,0
Chlorure (mg.L ⁻¹)	3 - 35	---

Tableau 2: Concentration des polluants en fonction des zones (Jean-charles Lavigne Delville, 1994).

Il faut par ailleurs prendre en compte les dégâts liés à la fréquence des précipitations: l'érosion des sols en zones agricoles à déclivité, les inondations parfois catastrophiques (destruction de l'habitat, des infrastructures, épidémies etc.). Elles sont caractérisées par une très forte diversité de charges polluantes suivant les zones traversées.

4. EPURATION DES EAUX USEES.

Epurier une eau usée n'implique pas de la rendre potable ; c'est une série d'opérations qui consiste à réduire ou à éliminer les charges polluantes des eaux usées afin qu'elles soient compatibles avec les milieux récepteurs auxquels elle est destinée. Le traitement des eaux usées

répond donc aux responsabilités des citoyens, collectivités locales et industrielles en matière de protection de l'environnement et de la santé publique. Une épuration complète comprend plusieurs étapes:

- **le prétraitement**, qui consiste à retenir les particules solides et les sables ;
- **l'épuration primaire**, élimine les particules fines plus denses ou moins denses que l'eau, afin d'extraire les matières susceptibles de gêner les traitements ultérieurs, (MES) ;
- **l'épuration secondaire**, cette étape sert à l'abattement ou élimination des matières organiques biodégradables ou non ;
- **l'épuration tertiaire** prend en charge l'élimination de tous les composés minéraux de l'azote (nitrates, nitrites), du phosphore, et des métaux lourds ;
- **le traitement biologique ou la désinfection** est la phase d'élimination des germes pathogènes.
- **le traitement des boues de vidange** : le processus de dépollution des eaux usées produit d'un côté de l'eau épurée et de l'autre des sous-produits en grande quantité (boue). Le traitement des boues vise selon la dévolution finale, à réduire leur volume, leur pouvoir de fermentation lié à leur teneur en matière organique, ou à éliminer les bactéries et les parasites présents.

5. IMPACTS DE LA POLLUTION DES EAUX USEES.

Les eaux usées issues de divers usages, naturel ou humain sont généralement déversées dans les milieux récepteurs après traitements ou non. Il est question des niveaux de traitement des eaux usées, des effets que les effluents urbains peuvent avoir sur la qualité des nappes d'eau, des végétaux, des animaux, ainsi que de ces effets sur la santé humaine et sur l'environnement.

5.1. IMPACTS ECOLOGIQUES

Ils ont trait à la dégradation du milieu biologique, et se mesurent en comparant l'état du milieu pollué par rapport à ce qu'il aurait été sans pollution. De manière générale, ces effets sont considérés à travers la réduction des potentialités d'exploitation du milieu (pêche, aquaculture, tourisme, etc.) à court et long terme.

La présence des matières organiques dans un milieu provoque l'asphyxie de celui-ci et le dégagement des odeurs nauséabondes. En quantité excessive, les éléments nutritifs tels que le phosphore et l'azote causent:

- ◆ l'eutrophisation du milieu par l'enrichissement en azote et phosphore ;
- ◆ la disparition des espèces aquatiques due à la réduction d'oxygène disponible ;

- ◆ la destruction des frayères, l'altération des habitats et la disparition des espèces aquatiques;
- ◆ la contamination des nappes phréatiques souterraines et superficielles ; la perturbation de l'esthétique du milieu est l'impact le plus perceptible.

5.2. IMPACTS SOCIO-ECONOMIQUES

Les eaux usées non traitées sont responsables de la réduction ou la disparition des activités touristiques suite à la contamination des eaux de baignade.

- ◆ la disparition des activités récréatives ;
- ◆ l'absence des activités de pêche, et accroissement des prix des produits de la pêche;
- ◆ la contamination des nappes phréatiques (source d'eau de consommation) entraîne un surcoût de production de l'eau potable d'une part, et d'autre part, des frais supplémentaires de soins chez les populations, et un ralentissement de la productivité.

5.3. IMPACTS SANITAIRES

Ils concernent toutes les implications directes ou non des eaux usées sur la santé humaine. Les salmonelloses sont les affections intestinales les plus caractéristiques et les plus fréquentes parmi celles liées à la consommation des eaux polluées. Les affections généralement décrites lorsqu'on est en face des eaux de piscine ou à des plages contaminées sont les mycoses, les staphylocoques, les affections de la sphère ORL (nez, gorge, oreilles). La transmission des maladies d'origine hydrique dépend de trois facteurs (Bontoux J., 1993):

- ◆ l'agent (bactéries, virus, ou parasites) vecteur des maladies ;
- ◆ l'environnement (généralement les milieux hydriques) réservoirs de ces agents ;
- ◆ l'individu (homme et animal) constituant la victime principale.

La diarrhée, la dysenterie, le choléra, la typhoïde, l'amibiase l'hépatite, la bilharziose sont quelques-unes des maladies transmises à l'homme par les eaux contaminées. Elles peuvent se faire par contact direct (boissons, manipulation de l'eau), ou par contact indirect (aliments souillés, hôtes intermédiaires etc.). L'une des plus importantes parasitoses des pays tropicaux est la bilharziose ou schistosomiase ; endémique dans soixante quatorze pays, cette maladie frapperait environ 300 millions de personnes. Elle vient au premier rang parmi les maladies à transmission hydrique (Guy Neuvy, 1992). L'ascaridiose est une parasitose provoquée par des ascaris vivant dans l'intestin. C'est uniquement par manque d'hygiène que les habitants des pays à faibles revenus en souffrent le plus, surtout en milieu rural. La contamination se fait soit par contact dans les mares d'eau ou dans les marigots. Le tableau en annexe N° 3 présente les principales maladies transmises à l'homme par les eaux potables contaminées et les eaux souillées.

CHAPITRE II:

GESTION DES EAUX USEES DANS LES PAYS INDUSTRIELS SOUS CLIMAT TEMPERE: CAS DE LA BELGIQUE

1. GESTION DES EAUX USEES EN EUROPE.

1.1. PRODUCTION DES EAUX USEES : QUANTITE ET QUALITE

En Europe, on distingue cinq principales sources de production d'eaux usées, chacune d'elles ayant des caractéristiques particulières (cf. paragraphe 3 du premier chapitre). Les eaux usées se caractérisent par des paramètres qui dépendent principalement :

- ◆ du niveau de vie ;
- ◆ de la densité de la population ;
- ◆ des méthodes d'approvisionnement en eau potable ;
- ◆ des équipements domestiques disponibles ;
- ◆ du climat etc.

En Belgique on estime le rejet d'un équivalent habitant à environ 180 l.J^{-1} d'eaux usées ; ce volume représentant environ 80% du volume de consommation journalière pour chaque habitant. Pour les pays en voie de développement, le volume varie suivant le standing de l'habitat : de 40 L/J/Hab. pour les logements sociaux à 100 L/J/ Hab. pour le standing moyen, 200 L/J/Hab. pour le haut standing. Les quartiers qui s'alimentent par les bornes fontaines utilisent de 8 à 10 L/J/Hab. (F.Valiron, 1991).

Importance de l'entité habitée (nombre d'habitants)	Quantité d'eaux usées (l.EH^{-1})
< 5000	150
5000 – 10 000	180
10 000 – 50 000	220
50 000 – 250 000	250
> 250 000	300

Tableau 3 : Variation de la production des eaux usées dans les localités (Michel Radoux, 2004-a).

1.2. COLLECTE ET L'EVACUATION DES EAUX USEES.

1.2.1. La collecte des eaux usées

Le mode de collecte des eaux usées dépend de la zone où l'on se trouve :

- **pas de réseau d'égouts** : dans les localités moins denses où l'installation des réseaux d'égouts est coûteuse, les fosses septiques constituent les bassins de collecte par excellence ;

- **réseaux d'égouts unitaires** : ce sont des systèmes de conduits qui évacuent dans les mêmes canalisations les différents types d'eaux usées. Ils sont économiques en construction et en entretien, mais nécessitent la prise en compte des variations des débits d'eau de pluie dans la phase de conception et de dimensionnement des émissaires ;

- **réseaux d'égouts séparatifs** : les différentes eaux usées sont évacuées par des conduits différents. L'avantage ici est d'éviter le risque d'insuffisance de la section hydraulique des égouts. Dans certains cas, c'est la variation de charge polluante qui impose la séparation des conduits.

1.2.2. L'évacuation:

L'évacuation des effluents consiste à leur acheminement depuis leurs lieux de production jusqu'à une station d'épuration (STEP). L'évacuation des eaux usées vers les stations d'épuration en Belgique se fait de deux façons : par les réseaux d'égouts ou par les camions de vidange.

2. EXIGENCES EUROPEENNES: LES NORMES DE QUALITE

L'épuration des eaux usées s'inscrit dans une démarche de protection de notre environnement et de préservation des ressources en eau. Elle est concrètement mise en œuvre par les collectivités locales, selon une réglementation abondante et en fonction des critères tenant compte du milieu naturel local. L'idée d'épuration des eaux est définie par des objectifs de qualité que l'on choisit pour leurs usages ultérieurs. Ces exigences diffèrent selon les usages définis par des normes d'émission.

2.1. PROTECTION DES RESSOURCES EN EAU (Directive 75/440/CEE du 16 juin 1975).

Il s'agit pour cette Directive, de protéger les nappes superficielles ou souterraines susceptibles d'être potabilisées. Son but est de réglementer toutes les activités dans les zones de protection réparties en trois groupes:

- ◆ zone de prise (surface d'installation des appareils de captage) ;

- ◆ zone de prévention (zone où la pollution pourrait atteindre l'eau lors du captage) ;
- ◆ zone de surveillance (bassin hydrographique).

2.2. QUALITE DES EAUX DE BAIGNADE (Directive 76/160/CEE du 8 Décembre 1975).

Cette Directive vise à évaluer le niveau de contamination fécale des zones de baignade par dénombrement des coliformes fécaux (C.F), des coliformes totaux (C.T) et des streptocoques fécaux (S.F) essentiellement. Elle fixe les normes de qualité pour les eaux de baignade et les indications générales sur les mesures à prendre pour assurer la surveillance. Elle impose par ailleurs des qualités bactériologiques aux lieux de baignade. Voir le tableau ci-après :

Qualité bactériologique requise pour les eaux de baignade selon la Directive 76/160/CEE du 8 décembre 1975			
Paramètres	Norme guide	Norme impérative	Fréquence d'échantillonnage
Coliformes totaux	500/100 mL	$10^4 \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$	Bimensuelle
Coliformes fécaux	100/100 mL	$2 \cdot 10^3 \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$	Bimensuelle
Streptocoques fécaux	100/100 mL	-	(1)
Salmonelles	-	0/1000 mL	(1)
Entérovirus	-	0/10.000 mL	(1)

(1): Teneur à vérifier par les autorités compétentes lorsqu'une enquête effectuée dans la zone de baignade en révèle la présence possible ou une détérioration de la qualité des eaux.

Tableau 4 : Critères de conformité des eaux de baignade (Michel Radoux, 2004-a).

2.3. TRAITEMENT DES EAUX URBAINES RESIDUAIRES

La Directive 91/271/CEE du 21 mai 1991, vise à protéger l'environnement des eaux urbaines résiduaires. En fonction de leur taille, toutes les zones bâties doivent être équipées d'un système de collecte des eaux résiduaires urbaines d'ici fin 2005. Les eaux usées doivent subir des traitements primaire, secondaire ou tertiaire selon la vulnérabilité des zones réceptrices ; cette Directive impose pour le 31 décembre 2005:

- Pour les Agglomérations de plus de 2000 EH,

- ◆ l'épuration primaire et secondaire partout ;

- ◆ l'épuration primaire, secondaire, et tertiaire en zone dite sensible ;
- ◆ un traitement approprié en zone d'assainissement individuel.

- Pour les Agglomérations de moins de 2000 EH,

un traitement approprié partout, y compris en zone d'assainissement individuel.

Normes européennes pour les stations d'épuration (S.T.E.P).

Prescriptions relatives aux stations d'épuration des eaux urbaines résiduaires.

Paramètres	Concentration	%minimal de réduction (1)
MES	35 mg.L ⁻¹	90%
DCO	125 mg d'o ₂ .L ⁻¹	75%
DBO5	25 mg d'o ₂ .L ⁻¹	70 – 90%

(1): réduction par rapport aux valeurs d'entrée.

Tableau 5: Synthèse des prescriptions relatives aux rejets provenant des stations d'épuration des eaux usées urbaines résiduaires (C.I.eau, 2003).

N.B: On appliquera la valeur de la concentration ou le pourcentage de réduction. Ces prescriptions sont relatives aux stations d'épuration (S.T.E.P) en zones sensibles à eutrophisation.

- Pour les agglomérations de 10.000 à 100.000 EH,

Paramètres	Concentration	%minimal de réduction (1)
N total	15 mg N L ⁻¹	70 – 80%
P total	2 mg P L ⁻¹	80%

Tableau 6-1: Valeurs de la concentration ou pourcentage de réduction de l'azote et du phosphore

- Pour les agglomérations de plus de 100.000 EH,

Paramètres	Concentration	%minimal de réduction (1)
N total	10 mg N L ⁻¹	–
P total	1 mg P L ⁻¹	–

(1): réduction par rapport aux valeurs d'entrée

Tableau 6-2 : Valeurs de la concentration ou pourcentage de réduction de l'azote et du phosphore (www.http.europa.eu.int).

N.B.: On appliquera la valeur de la concentration ou le pourcentage de réduction.

3. TRAITEMENTS DES EAUX USEES

Le but est de diminuer la quantité de substances polluantes contenue dans les eaux usées afin que celles-ci ne dégradent pas le milieu naturel. Deux techniques de traitement existent Comme le montre la figure ci-dessous : la technique individuelle et la technique collective

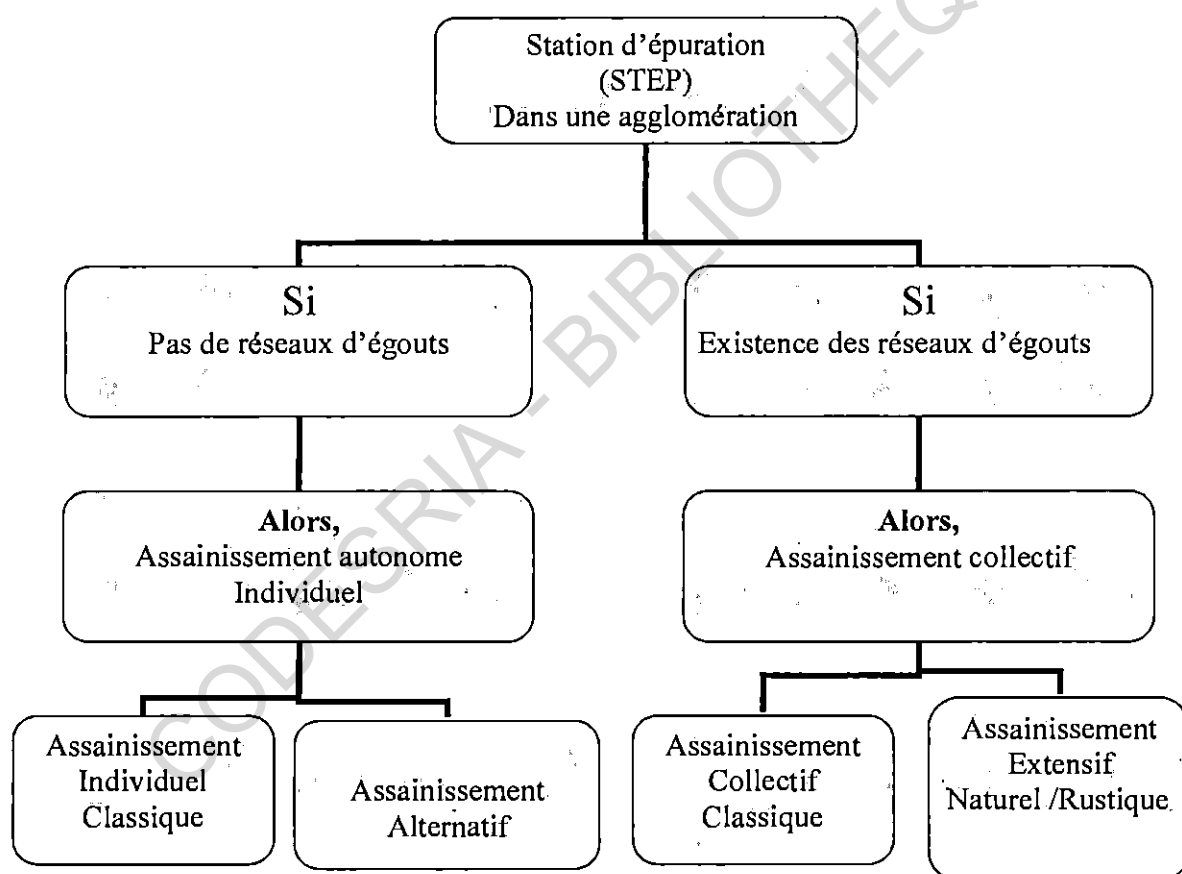


Tableau 7 : Modes de traitement des eaux usées.

Source : tableau conçu par le chercheur sur la base de la documentation de la bibliothèque de la station expérimentale de viville.

3.1. ASSAINISSEMENT AUTONOME INDIVIDUEL

Le principe de l'assainissement individuel suppose pour chaque concession, les équipements d'épuration autonome des eaux usées. On distingue deux types :

- **l'assainissement individuel classique**, qui nécessite les équipements tels que le dégraisseur, le plateau absorbant, le lit bactérien ou le décolloïdeur liés à la fosse septique ;

- **l'assainissement individuel alternatif** : il s'agit d'une fosse septique suivie des ouvrages tels que :

- ◆ les tranchées d'infiltration ;
- ◆ l'épandage drainé ;
- ◆ le filtre à sable ;
- ◆ le puits d'infiltration.

Lorsqu'on ne dispose pas assez d'espace pour l'épandage ou la tranchée d'infiltration, on adopte le puits d'infiltration.

3.2. ASSAINISSEMENT COLLECTIF

L'assainissement collectif consiste à traiter de façon globale les eaux usées d'une collectivité ou d'un groupe de concessions. Les eaux prétraitées sont collectées et dirigées vers des stations de traitement. Les techniques collectives de traitement peuvent être classées en deux grands groupes: les techniques collectives intensives ou classiques et les collectives extensives ou rustiques.

3.2.1. Techniques collectives intensives

Les techniques dites intensives se caractérisent par une occupation concentrée des surfaces, une utilisation de l'énergie artificielle et un temps de séjour relativement court de traitement. Malgré leurs sollicitations, elles éprouvent assez de difficultés à assurer le traitement tertiaire et la désinfection. Le processus de traitement dans les stations dites classiques comporte:

- ◆ le prétraitement ;
- ◆ le traitement primaire ;
- ◆ le traitement secondaire, dont les principales techniques sont :

* le lit bactérien

Encore appelé lit percolateur, c'est un réacteur biologique aérobie, où les microorganismes sont fixés sur les supports inertes et forment un bio film. Il produit industriellement l'effet épurateur du sol (F. Edeline, 1992). Pour des eaux usées domestiques le lit bactérien offre un Rendement épuratoire en DBO5 > à 85%. (W.W. Eckenfelder, 1982).

*** les boues activées**

Cette technique n'est autre qu'une accélération artificielle des processus d'auto épuration dans les milieux naturels. Au sein d'un courant d'eaux usées, les bactéries aérobies sont soumises à l'action d'une oxygénation. Ces bactéries ont pour rôle de décomposer les matières organiques et de former une masse de boues d'où son nom de boues activées.

Caractéristiques épuratoires des boues activées:

Effluents produits: $DBO_5 < 10-15 \text{ mg. L}^{-1}$

$MES < 20 \text{ mg. L}^{-1}$

Rendement en DBO: 90%.

Durée de séjour: environ 15 min.

*** Disques biologiques**

C'est un réacteur constitué de disques de grand diamètre montés sur axe dont la rotation assure alternativement l'aération puis le contact avec les eaux usées. Cet équipement est suivi généralement d'un bassin de décantation qui permet de séparer les phases liquides (eau traitée) et solides (les films bactériens morts).

- Les traitements tertiaires.

Ils peuvent être Physique, Chimique et Physico-chimique.

- Désinfection

Les traitements d'épuration primaires et secondaires ne détruisent pas complètement les germes présents dans les eaux de rejets. La désinfection est un procédé initié pour une élimination supplémentaire des germes des eaux usées.

- Le traitement des boues d'épuration

Les traitements appliqués aux boues visent selon leur volume, leur pouvoir de fermentation liée à la teneur en matière organique, ou éventuellement à les hygiéniser (élimination des bactéries et parasites). Ce traitement est assuré par des étapes successives d'épaississement, de déhydratation et de stabilisation.

3.2.2. TECHNIQUES COLLECTIVES EXTENSIVES D'EPURATION

Elles sont caractérisées par le temps de séjour des effluents relativement long et la surface qu'elles exigent est importante. Il existe plusieurs groupes de techniques collectives extensives.

3.2.2.1. Les lagunages

Il s'agit d'un système qui simule l'action d'auto épuration des rivières, mais à un rythme assez élevé. Encore appelé bassin de stabilisation, son principe de fonctionnement est d'assurer biologiquement le traitement total des eaux usées dans des bassins exposés à l'air libre. Ces bassins généralement disposés en série sont de grandes surfaces mais de petites profondeurs (inférieures à 2 m). On distingue plusieurs catégories de lagunages:

3.2.2.2 Le lagunage à microphytes aérobies.

Il comporte généralement trois bassins étanches d'environ un mètre de profondeur disposés en série et ne comportant pas de végétations supérieures:

- **1^{er} bassin** (50% de la surface totale) assure l'élimination des MES par simple sédimentation, ceci nécessite un temps de séjour d'environ 60 jours ;
- **2^e bassin** (25% de la surface totale) en eau libre, les bactéries utilisent l'oxygène fourni par le phytoplancton par photosynthèse pour décomposer les matières organiques ;
- **3^e bassin** (25% de la surface totale) assurant le traitement tertiaire. Ici, il y a un développement d'algues.

Performances: Les épurations primaires et secondaires sont de l'ordre de 70 à 90%. Par contre, mauvaise épuration tertiaire (environ 50%).

Gestion: Elle est concentrée au fauchage de la végétation périphérique et à la vidange périodique des boues.

Schéma de principe

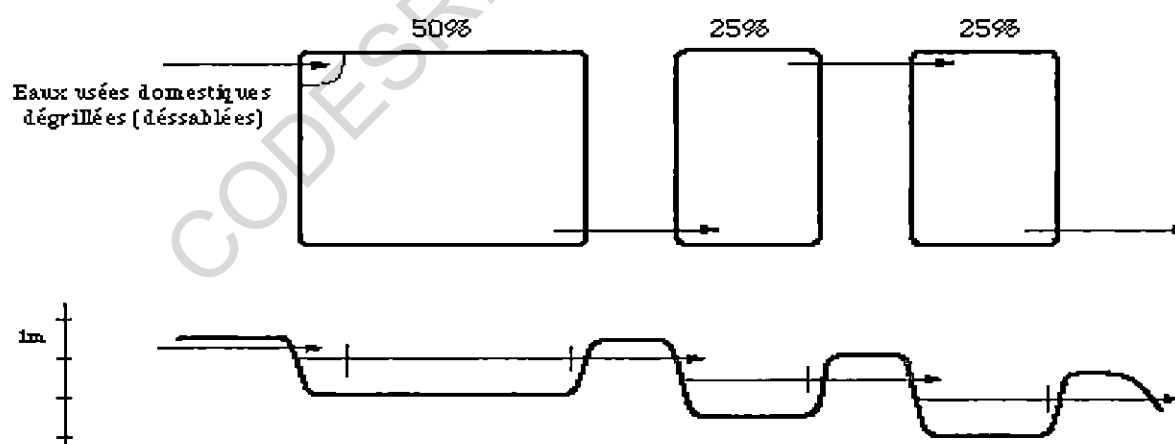


Schéma 1 : Le lagunage à microphytes aérobies. (Michel Radoux, 2004-b).

Caractéristiques:

- ◆ occupation surfacique $10 \text{ m}^2 \cdot \text{EH}^{-1}$;

- ◆ charge hydraulique admissible: 50kg de DBO/ha ;
- ◆ temps de séjour: 60 jours.

3.2.2.3. Le lagunage à microphytes anaérobies.

Ce système est presque identique au précédent, mais à la différence que le 1^{er} bassin occupe 20% de la surface totale, pour une plus profond environ 5 m ; tandis que les 2^e & 3^e bassin disposent chacun de 40% de la surface totale. Les deux derniers bassins assurent à l'effluent un indispensable traitement aérobie de finition.

Caractéristiques: elles sont identiques au précédent, avec comme remarque que cette technique est moins répandue que la première, du fait d'un dégagement d'odeurs nauséabondes au niveau du bassin de tête.

Schéma de principe

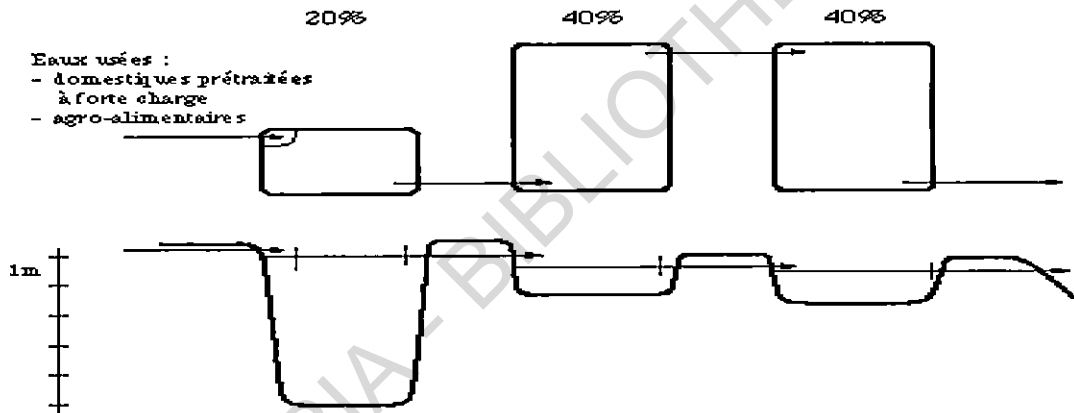


Schéma 2 : Le lagunage à microphytes anaérobies. (Michel Radoux, 2004-b)

3.2.2.4. Le lagunage mixte à macrophytes.

Ce système dérive directement du lagunage naturel, et comporte aussi trois bassins en série dont seul le dernier est planté d'hélophytes. Le but de ces plantes est de limiter par leur ombrage, le développement excessif du phytoplancton au printemps. L'association des macrophytes et des périphytons entraîne une clarification de l'effluent.

Performances: Idem qu'au lagunage à microphytes traditionnel, avec une amélioration des rendements primaire et secondaire.

Gestion: La végétation hélophytique n'est pas généralement faucardée, donc la gestion est essentiellement concentrée à la vidange des boues produites.

Caractéristiques:

- ◆ occupation du sol: $10 \text{ m}^2 \cdot \text{EH}^{-1}$;
- ◆ emprise du 1^{er} bassin 50% de la surface ;
- ◆ emprise des 2^e & 3^e bassin occupant chacun 25% de la surface.

Il est à noter que c'est le 3^e bassin planté de macrophytes qui contribue de façon significative à la clarification des eaux à la sortie.

Schéma de principe

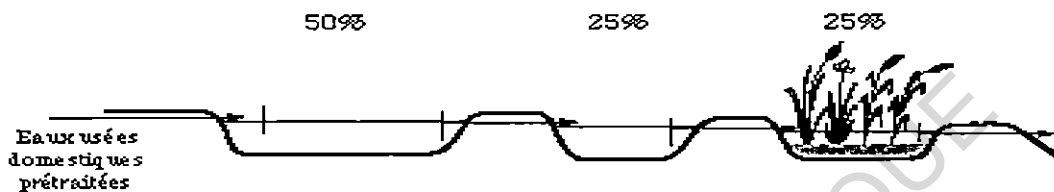


Schéma 3 : lagunages à macrophytes. (Michel Radoux, 2004-b).

Remarques:

Les lagunes sont des milieux aquatiques qui abritent une diversité importante de communautés de flores et de faunes qui varient en fonction des éléments nutritifs présents. Elles ont pour rôles d'oxygéner le milieu par photosynthèse, d'assimiler les composées de l'azote, du phosphore et d'assurer la décomposition des matières organiques. Généralement, en dehors du temps de séjour et la surface importante qu'elle occupe, le lagunage présente de manière empirique de bons résultats en élimination des germes pathogènes; *Raisons probables:*

- ◆ les germes disséminés dans un vaste milieu où ils sont amenés à séjourner longtemps, évoluent dans les conditions de température auxquelles ils ne sont pas adaptés ;
- ◆ ils sont soumis à la concurrence vitale avec des organismes mieux adaptés et exposés aux prédateurs des bactéries ;
- ◆ les germes fixés sur les matières en suspension sédimentent dans le fond de la lagune et se trouvent ainsi éliminés du milieu liquide.

3.2.2.5. Les bassins d'épuration à hydrophytes flottants

Système de deux bassins plantés de faibles profondeurs (environ 0,50 m). Parlant des bassins à hydrophytes flottants, les plus connus sont les bassins à jacinthes d'eau (*Eichhornia crassipes*) sous climat tropical et subtropical en Amérique centrale et du sud, les bassins à lentilles d'eau sous climat tempéré aux USA, et en Europe. Le dimensionnement sous climat tempéré est de l'ordre de $5 \text{ m}^2 \cdot \text{EH}^{-1}$.

Performances: système très performant en MES, et en charge organique, et le temps de rétention est nettement court.

Gestion: fréquents prélèvements de la biomasse produite, et surveillance des entrées et des sorties des eaux.

Schéma de principe

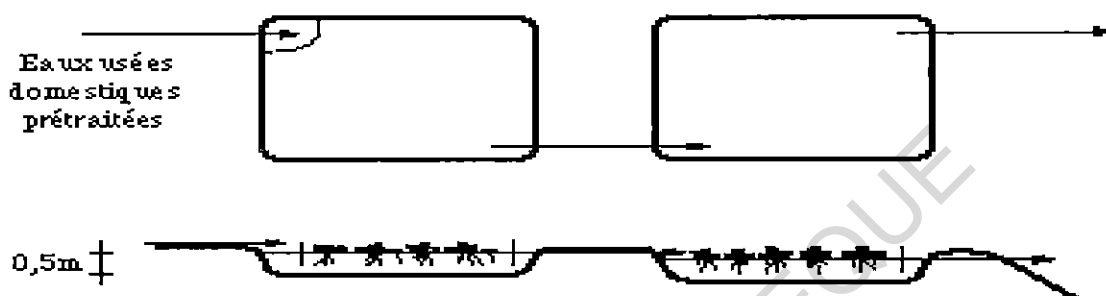


Schéma 4 : Les bassins à hydrophytes flottants (Michel Radoux, 2004-b).

Performances: ce système présente de bonnes qualités en épuration primaire et en charge organique, mais une mauvaise épuration tertiaire. Sous climat tempéré, le temps de rétention est nettement court.

Gestion: elle consiste à assurer un prélèvement périodique très fréquent de la biomasse.

En 1975, une expérience a été menée au Texas dans un étang traitant les effluents dont les caractéristiques sont:

- ◆ débit: $109 \text{ m}^3 \cdot \text{J}^{-1}$;
- ◆ temps de séjour: quatre à cinq jours ;
- ◆ profondeur de l'étang: 0,85 m ;
- ◆ emprise au sol: $2 \text{ m}^2 \cdot \text{EH}^{-1}$;
- ◆ charge organique : $4,34 \text{ g} \cdot \text{m}^2$.

Les résultats de cette expérience sont synthétisés dans le tableau suivant:

Paramètres	Phase d'étude 1		Phase d'étude 2	
	Entrée (mg.L ⁻¹)	Sortie (mg.L ⁻¹)	Entrée (mg.L ⁻¹)	Sortie (mg.L ⁻¹)
DBO₅	17	3,5	40	5
%de rétention		80		87
DCO	80	40	155	59
%de rétention		50		67

P total	5,42		3,95	7		5,71
%de rétention		21			18	
N total	7,94		1,94	7,74		3,35
%de rétention		75			56	
Coliformes totaux						
	26500		750	75500		5900
%de rétention		97			92	
Coliformes fécaux	1850		10	13500		275
%de rétention		99			97	

Tableau 8 : Rendement d'une station expérimentale (Michel Radoux, 2004-c).

Comme conclusion, il ressort de ce tableau que la capacité épuratoire de cet étang en épuration primaire, secondaire et tertiaire ne répond pas aux Normes de rejet des S.T.E.P des eaux usées résiduelles. En plus de la désinfection, les eaux issues de cet étang ne respectent pas les qualités exigées pour l'eau de baignade.

3.2.2.6. Les bassins d'épuration à rhizophytes

Le principe d'épuration est basé sur l'utilisation des plantes aquatiques contenues dans le deuxième bassin. L'eau doit de ce fait être suffisamment transparente pour laisser passer la lumière indispensable au développement des plantes.

Performances: Ces prairies aquatiques artificielles sont utilisées surtout dans le cas des eaux usées piscicoles ; caractérisées par une pollution particulièrement importante, puisque la teneur élevée en NH_4^+ soluble est directement assimilée par la végétation aquatique.

Schéma de principe

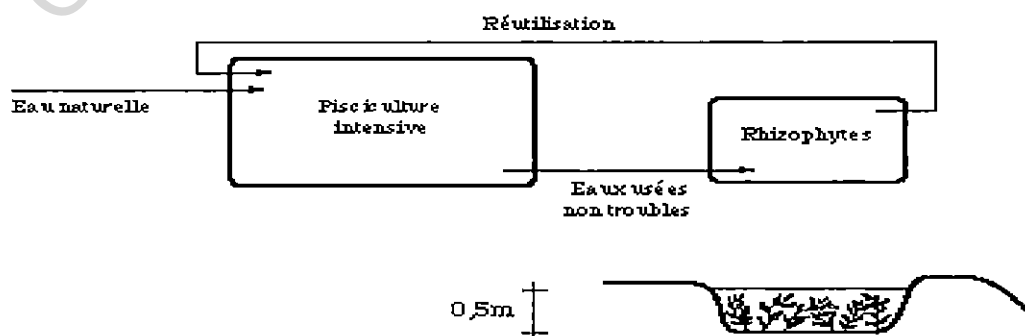


Schéma 5 : Les bassins à rhizophytes fixés (Michel Radoux, 2004-b).

3.2.2.7. le procédé LELYSTAD

Ce procédé a été développé aux Pays-Bas entre 1967 à 1974. Il comporte plusieurs de bassins disposés en série plantés d'espèces végétales héliophytes (Pragmites, Scirpus); l'épuration des eaux usées est basée sur deux phénomènes: l'infiltration verticale des eaux dans le sol et la translation des eaux au dessus du sol.

Caractéristiques	Performances
Emprise au sol: $10 \text{ m}^2 \cdot \text{EH}^{-1}$	DBO & DCO: 80%
Temps de rétention: 10 jours	Azote (N Kjeldahl): 60%
Profondeurs des bassins: 0,40 m.	Phosphore total: 50%.

Gestion : elle est basée essentiellement sur le faucardage annuel des héliophytes.

Schéma de principe

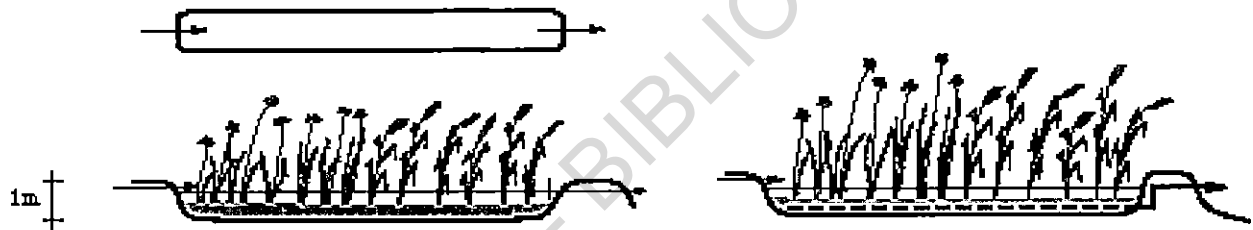


Schéma 6 : Le système LELYSTAD (Michel Radoux, 2004-b).

3.2.2.8. Le Reed Bed Treatment Systems (R.B.T.S.) ou Marais Artificiels.

Ce sont des techniques qui utilisent des héliophytes, pour assurer l'épuration:

* Le procédé KICKUTH ou Root Zone Method (R.Z.M.).

Technique Allemande, dont le principe est de faire circuler les eaux usées en translation dans un bassin pentu contenant des substrats (sol et gravier) sur lesquels sont plantés des roseaux. La gestion est presque nulle puisque la technique n'exige pas de faucardage des roseaux.

Caractéristiques du procédé KICKUTH

- ◆ emprise au sol: $5 \text{ m}^2 / \text{EH}$;
- ◆ charge hydraulique: D.B.O: 150 à 300 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$;

- ◆ temps de séjour: 5 à 8 jours ;
- ◆ épuration secondaire: 80% environ.

Schéma de principe



Schéma 7 : Le système KICKUTH (Michel Radoux, 2004-b).

*** le Procédé SEIDEL.**

Développé en 1964 par K. SEIDEL, ce procédé est constitué de bassins plantés d'hélophytes disposés en plusieurs étages. La station comporte plusieurs étages successifs de bassins artificiels plantés d'hélophytes. Le premier étage est composé de plusieurs bassins où les eaux usées s'écoulent en percolation. Les étages suivants sont placés en série et l'effluent s'écoule suivant un flux souterrain horizontal. Le substrat généralement utilisé est formé d'une couche de gravier recouverte d'une couche de sable fin. Le dimensionnement de l'ensemble des bassins est de l'ordre de 3 à 5 m².EH⁻¹.

Performance: il assure environ 90% d'épuration primaire et secondaire, 70% pour l'azote et 40% pour le phosphore. En ce qui concerne la désinfection, le rendement serait excellent.

Schéma de principe

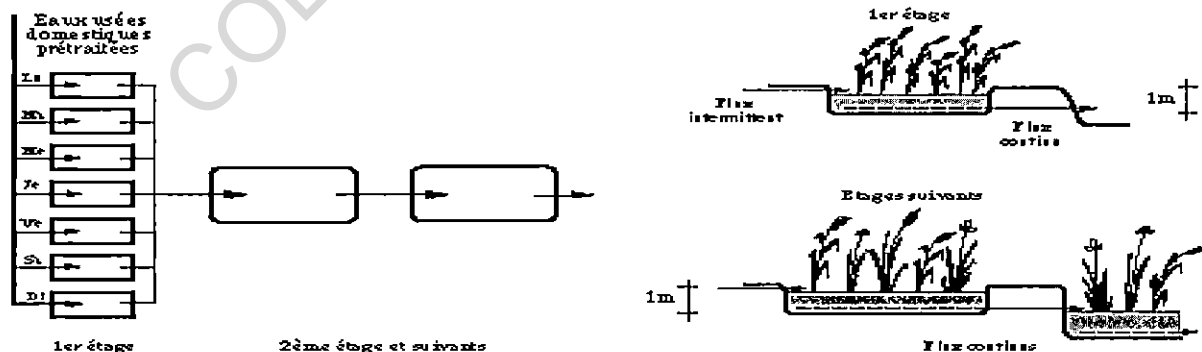


Schéma 8 : Le système SEIDEL (Michel Radoux, 2004-b).

3.2.2.9. L'épandage souterrain / plateau absorbant

La technique de l'épandage souterrain utilisée pour les eaux usées des habitations individuelles et des lotissements dépourvus de systèmes d'égouts mais pouvant disposer d'un espace suffisant. Il utilise le potentiel du sol et parfois du sous-sol pour assurer l'épuration d'eaux usées domestiques prétraitées. Les substances organiques que contiennent les eaux sont absorbées par les plantes cultivées en surface sous forme de matières minérales. Ce système comporte deux dispositifs successifs:

- ◆ un prétraitement anaérobie constitué d'une fosse septique ;
- ◆ un dispositif de dispersion et de traitement des eaux dans le sol, constitué d'un réseau souterrain de tranchées filtrantes horizontales situé à environ 60 cm en dessous du sol et planté de végétaux. Le dimensionnement des tranchées dépend essentiellement du climat et de la nature du sol. Toutefois, l'emprise au sol varie de 5 à 20 m².EH⁻¹.

Performance: lorsqu'il est bien conçu, il assure une épuration complète des eaux usées.

Gestion: pour le traitement anaérobie, la gestion consiste à évacuer régulièrement les boues décantées afin d'éviter le colmatage et à récolter la biomasse végétale produite en surface.

Schéma de principe

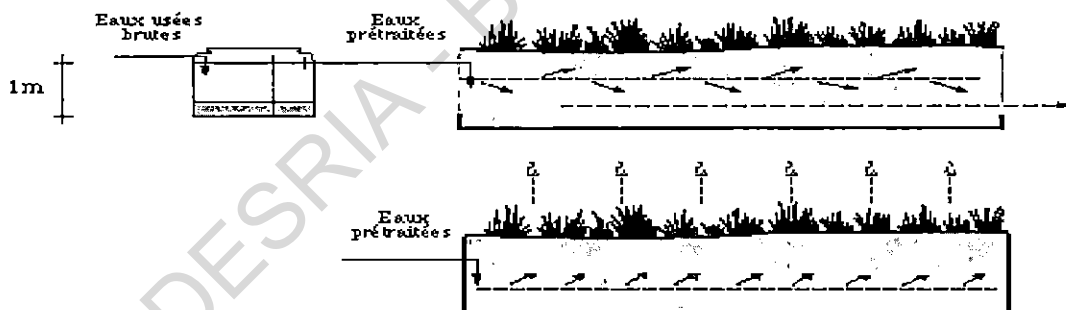


Schéma 9: L'épandage souterrain/Plantation absorbant (Michel Radoux, 2004-b).

3.2.2.10. Epandage en plantation ligneuse

Le principe de ce système est de répartir de façon uniforme les eaux usées prétraitées par la fosse septique à la surface d'un sol planté d'espèces ligneuses. L'efficacité de ce système est difficile à évaluer puisque les eaux usées traitées percolent directement dans le sous-sol. La dispersion de ces eaux se fait par des tranchées d'irrigation ou par des réseaux de canalisations. L'emprise au sol est estimée à 7 m².EH⁻¹.

Performance:

Il est difficile d'évaluer les performances épuratoires puisque les rejets sont diffus.

Gestion:

Elle est orientée vers l'optimisation des sous- produits tel que la biomasse ligneuse par exemple.

Schéma de principe

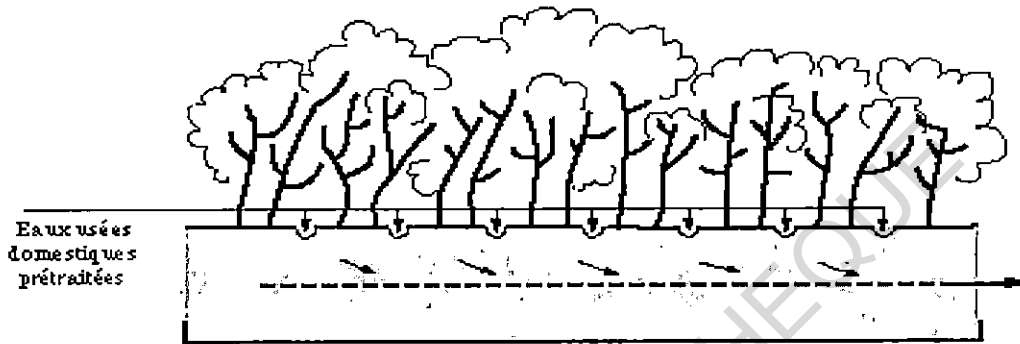


Schéma 10 : L'épandage en plantation ligneuse (Michel Radoux, 2004-b).

4. ATOUS ET CONTRAINTES DES DIFFERNTES TECHNIQUES

4.1. ATOUS DES TECHNIQUES INTENSIVES.

- ◆ moins exigeantes en espace ;
- ◆ temps d'épuration relativement court ;
- ◆ bon rendement épuratoire ;
- ◆ possibilité d'exploitation des boues stabilisées (mais encore rare en Belgique) ;
- ◆ efficace et concurrentielle pour les agglomérations de plusieurs dizaines de milliers d'habitants.

4.2. CONTRAINTES DES TECHNIQUES COLLECTIVES INTENSIVES.

➤ Coûteuses en installation, et en exploitation. L'exemple de la station d'épuration de Bastogne située sur un versant Rhin, conçue pour une charge nominale de 17.500 EH a coûtée 340.000.000 francs Belges en 1996, (8.500.000 euros, soit 485 euros/EH) et un coût d'exploitation prévisionnel annuel estimé à 8.200.000 francs Belges.

➤ Coût d'exploitation (entretien et gestion) élevé. la station classique à boues activées de Cambérène à Dakar au Sénégal a été conçue pour traiter $9600 \text{ m}^3 \cdot \text{J}^{-1}$ (moins de 10% des eaux usées produites quotidiennement à Dakar):

- Coût de construction: 2,6 milliards CFA (8.000.000 euros, soit 835 euro/EH).
- Coût d'entretien: 120 millions CFA. (Charge salariale du personnel non comprise).

Et cette station n'assurait ni épuration tertiaire, ni la désinfection. Les coûts élevés que nécessite l'entretien de la station ne pouvant plus être assurés par l'Office Nationale d'Assainissement du Sénégal (ONAS) ; les performances épuratoires ont chuté, entraînant une pollution importante de la côte océanique où aboutissent les "eaux traitées". (Bécaye S. Diop, 2002).

- mauvaise intégration paysagère ;
- utilisation excessive de l'énergie électrique ;
- fréquence des opérations d'entretien ;
- la majorité des stations ne dispose que des installations de prétraitement, d'épuration primaire, et secondaire, tandis que les traitements tertiaires et la désinfection sont rares à cause de leurs coûts ;
- technique mal adaptée aux variations de la charge polluante.

4.3. ATOUS DES TECHNIQUES EXTENSIVES

- lorsqu'elles sont bien conçues et bien gérées, elles offrent des rendements épuratoires satisfaisants à tous les niveaux avec des particularités en désinfection très remarquables ;
- excellente intégration paysagère, puisqu'elles s'inspirent des écosystèmes naturels régionaux ;
- le plus souvent, elles génèrent des sous-produits valorisables (Biomasse animale, Biomasse végétale, Ressource d'eau pour maraîchage, Production du biogaz à partir des boues etc.);
- elles n'exigent pas de main-d'œuvre hautement qualifiée ;
- désinfection excellente ;
- faible coût de construction et d'entretien par rapport aux stations classiques ;
- système rustique (sans nécessité d'énergie artificielle) ;
- possibilité d'Exploitation des sous-produits telles que boues, espèces ligneuses, etc. ;
- bonne résistance aux variations de charges polluantes ;
- rusticité de construction et facilité de maintenance ;

- les techniques extensives présentent une capacité excellente en désinfection des eaux et contribuent efficacement à l'élimination des composés azotés et phosphorés.

4.4. CONTRAINTES DES TECHNIQUES EXTENSIVES

- le temps de séjour des effluents est relativement long dans les bassins ;
- emprise du sol très importante ($10\text{m}^2/\text{EH}$) ;
- favorable à la prolifération des moustiques. Sous climat chaud, le plan d'eau constitue le lieu idéal pour le développement des larves de moustiques et de mollusques. Or, certains moustiques sont des hôtes intermédiaires dans le cycle du *Plasmodium falciparum* qui provoque le paludisme. De même, certains mollusques sont des hôtes intermédiaires pour les schistosomes qui sont responsables des bilharzioses. Cet aspect est à prendre en compte pour le développement des techniques extensives fondées sur les écosystèmes aquatiques et semi aquatiques ;
- mal connues du public, la majorité des stations construites de nos jours restent encore au stade pilote ou expérimental.

Conclusion

Face à ces avantages, n'est-il pas possible d'envisager des cas de figure où on peut exploiter les qualités avérées d'épuration d'une technologie tout en minimisant ses défauts ? C'est la piste que l'équipe de recherche conduite par Michel Radoux explore depuis 1977 à la station expérimentale de Viville en mettant sur pied un programme de recherche/développement à l'ex-FUL. Avec l'exploitation contrôlée des résultats expérimentaux des techniques mono-écosystémiques, ils ont combiné et hiérarchisé artificiellement divers écosystèmes naturels dont s'inspirent ces technologies. C'est ce qui deviendra une combinaison pluri-écosystémiques dite « *Mosaïques Hiérarchisées d'Ecosystèmes Artificiels (M.H.E.A®)* ».

5. L'EXPERIMENTATION DE LA MHEA®

Selon Michel Radoux, toutes les technologies extensives s'inspirent chacune d'un écosystème naturel précis. Il existe huit catégories d'écosystèmes : Quatre écosystèmes terrestres avec circulation de l'eau dans le sol, et quatre autres semi aquatiques ou aquatiques. Ces écosystèmes sont identifiés et repris dans le tableau ci-dessous.

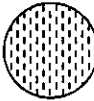

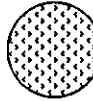
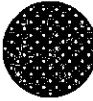
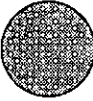
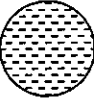


Principaux écosystèmes artificiels							
terrestres				semi aquatiques ou aquatiques			
circulation des eaux dans le sol				circulation des eaux au-dessus du sol			
sans végétation	végétation ligneuse	végétation herbacée	végétation hélrophytique	végétation hélrophytique	végétation immergée	végétation flottante	végétation planctonique
							

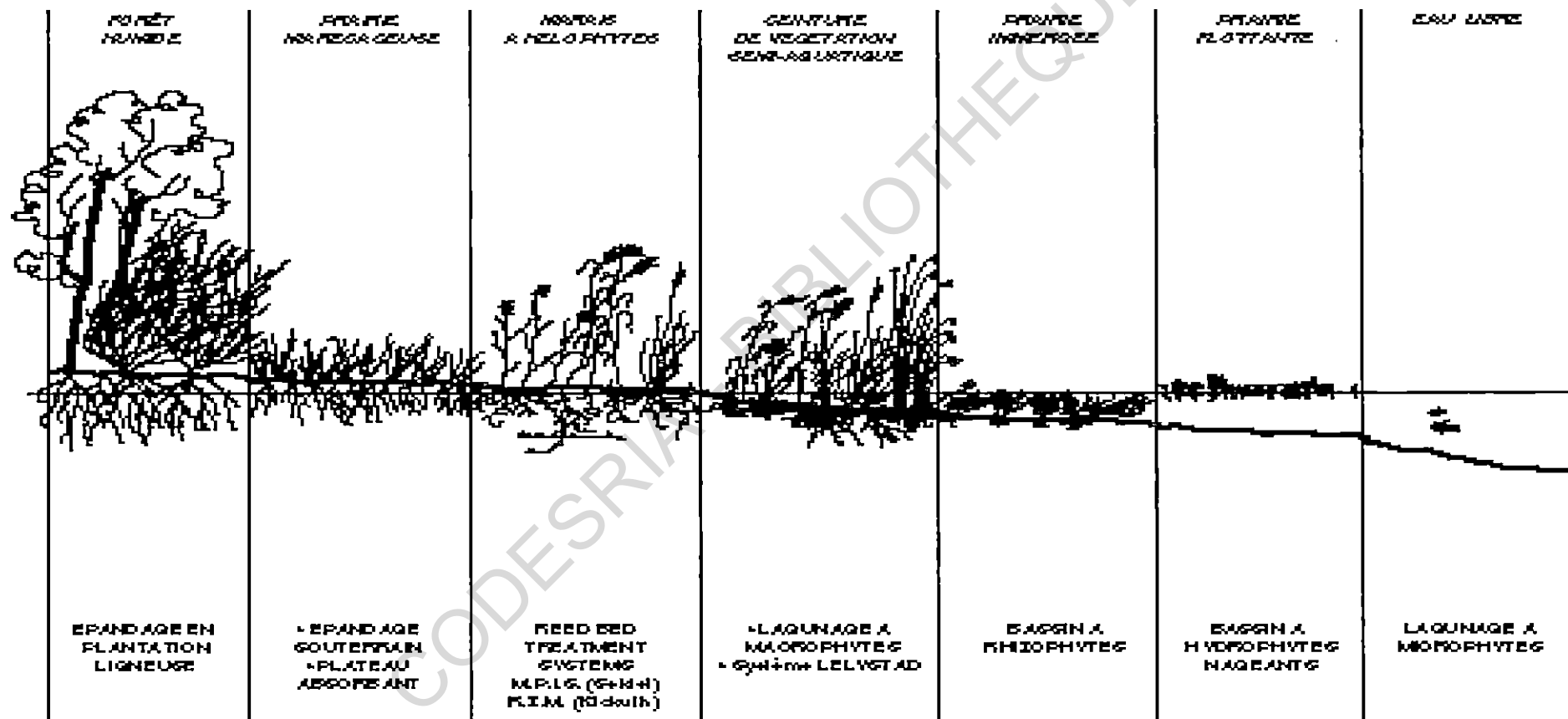
Tableau 9: Principaux types d'écosystèmes artificiels (Michel Radoux, 2004-b).

NB. Toutes les techniques extensives suscitées s'inspirent de chacun de ces écosystèmes. Cf. Tableau.ci-après

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

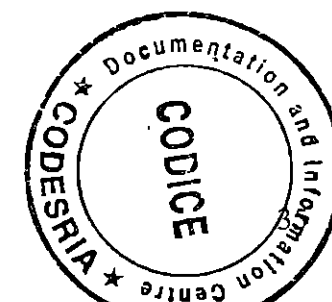
Zones naturelles humides / Techniques extensives d'épuration.

ZONE HUMIDE NATURELLE



TECHNIQUES EXTENSIVES D'EPURATION

Tableau 10 :Zones.naturelles.humides/Techniques.extensives.d'épuration.(Michel Radoux, 2004-c)



Si chacune de ces technologies ne peut à elle seule donner entière satisfaction, elle dispose néanmoins de capacités d'épuration avérées. Il s'agit, pour cette équipe de recherche, de procéder à une organisation équilibrée d'écosystèmes dont ces technologies s'inspirent, et où chaque formation occupe une position offrant un rendement épuration optimal. La filière **MHEA®** est donc le fruit de cette recherche, sans aucune prétention, intègre les volets socio-économiques et environnementaux, tout en répondant aux exigences européennes en vigueur

6. HYPOTHESES DE BASE.

Etant difficile d'évaluer objectivement ces capacités, il a paru plus facile pour cette équipe d'évaluer et de comparer les capacités d'épuration des différents écosystèmes naturels dont les techniques s'inspirent. A ce propos, plusieurs interrogations se présentent:

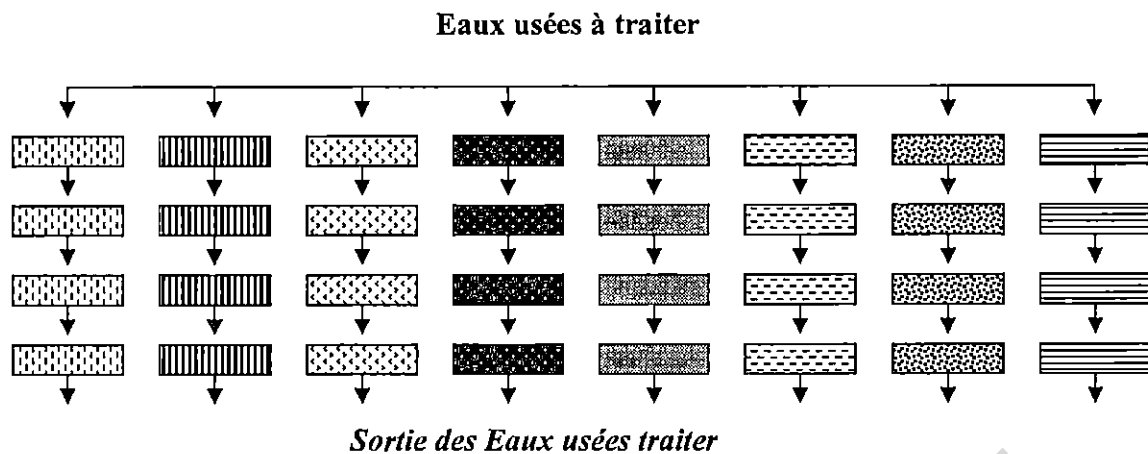
- ◆ quel écosystème doit-on choisir?
- ◆ comment parvenir à améliorer toutes les capacités qu'offrent les écosystèmes?
- ◆ comment accroître ces capacités sans modifier les écosystèmes?
- ◆ comment minimiser les contraintes d'épuration de ces écosystèmes?

La réponse à toutes ces interrogations repose sur le processus méthodologique que nous offre les Mosaïques Hiérarchisées d'Ecosystèmes Artificiels (**MHEA®**).

7. PROCESSUS METHODOLOGIQUE ET TECHNOLOGIQUE MHEA®.

Cette équipe de recherche choisit de disposer les écosystèmes les uns par rapport aux autres (principe de la mosaïque), et de les classer en fonction des qualités d'épuration qu'ils offrent. Il s'agit, dans un premier temps, de reconstituer artificiellement chacun de ces écosystèmes dans des conditions identiques de fonctionnement, de leur distribuer les eaux usées identiques (en débit, et en charge), de comparer les résultats respectifs des eaux à la sortie: c'est *le principe des comparaisons systématiques*.

7.1. COMPARAISON SYSTEMATIQUE



Dans un second temps, les résultats précédents serviront à concevoir un nouvel ordre sélectif d'écosystèmes dans le but de rechercher une filière dont les eaux traitées à la sortie conviendraient aux exigences environnementales en vigueur: *le principe de l'optimisation continue.*

7.2. OPTIMISATION PROGRESSIVE

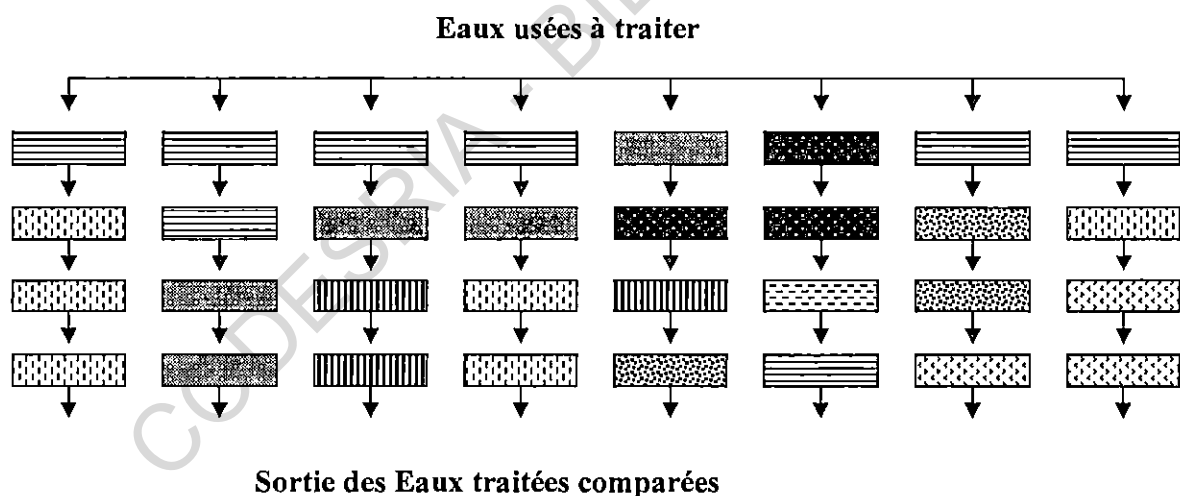


Figure 1 : Comparaison systématique et optimisation progressive (Michel Radoux, 2004-b).

Pour développer ensuite, à l'échelle de toute une région macro climatiquement les résultats concrets de ces deux actions scientifiques et expérimentales, il faut les insérer dans un processus à plus long terme comportant huit actions de nature diverse mais indispensables (cf. Annexe 4). Depuis plus de vingt années d'existence, la S.E.V, a procédé à de nombreuses expérimentations avec les différents écosystèmes suscités. Toutes ces combinaisons ont été testées par rapport aux

principaux paramètres de caractérisation de la pollution et de l'épuration des eaux usées domestiques et urbaines.

En tenant donc compte de toutes ces informations pendant la période de recherche, sous des conditions particulières de l'Europe (Belgique), cette équipe de recherche a conçu une combinaison d'écosystèmes artificiels capable d'assurer une excellente qualité d'épuration des eaux usées domestiques dont les rendements pour les années 1988/1989 et 1992/1993 sont présentés dans les histogrammes suivants. Ci-dessous, quelques histogrammes de performances des résultats des expériences:

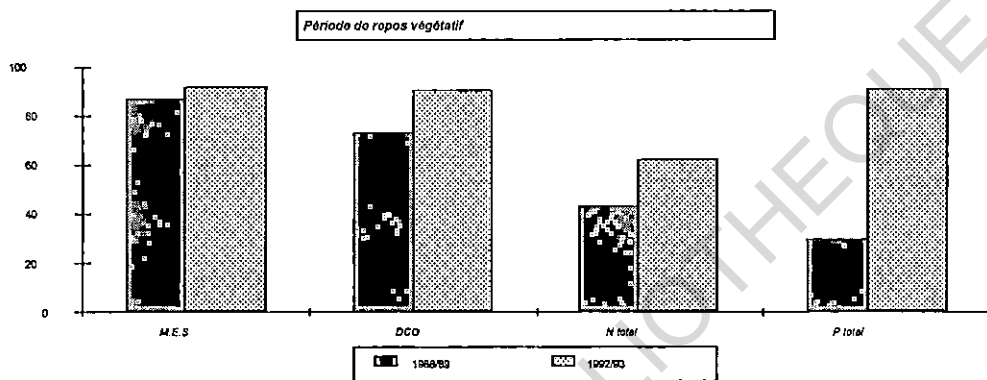


Figure 2- a

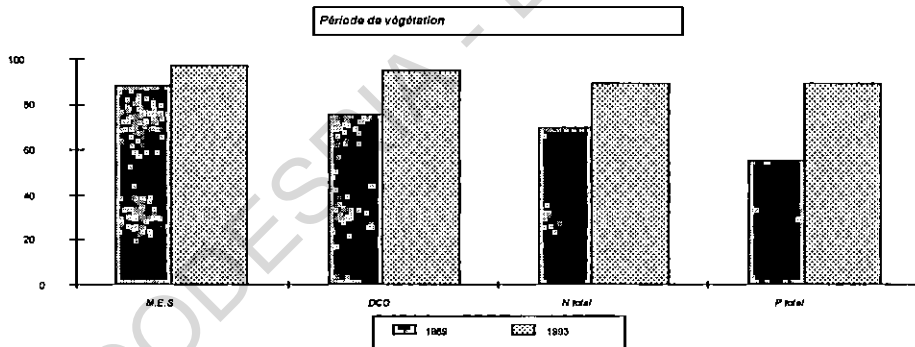


Figure 2- b : Rendements en épuration primaire, secondaire et tertiaire de deux *MHEA*® Optimisées entre 1989 et en 1993 ; période végétatif et non végétatif. (Michel Radoux, 2004-b).

Avec toutes les informations recueillies et présentées ci-dessus, on remarque que les capacités épuratoires sont influencées par plusieurs facteurs tels que:

- ◆ le débit des eaux usées exprimé en E.H / ha ;
- ◆ les types de plantes utilisées dans les bassins ;
- ◆ le temps de séjour des eaux usées dans les bassins ;
- ◆ le nombre de bassins pour un même temps de séjour ;

- ◆ la fréquence d'entretien de la station ;
- ◆ la saison (période de végétation ou non).

8. FILIERE OPTIMISEE DE LA MHEA® SOUS CLIMAT TEMPERE

Les histogrammes ci-dessus, issus des expériences de la S.E.V nous montrent que l'efficacité d'épuration des écosystèmes est influencée par des facteurs endogènes tels que le débit d'alimentation, le temps de séjour, le nombre de bassins, le type d'écosystème, et l'entretien apporté aux bassins etc. Fort de ces multiples expériences, une filière locale de **MHEA®** a été retenue respectant les conditions du milieu et les exigences de l'Union Européenne. Cette filière comporte donc trois différents écosystèmes artificiels.

8.1. UN ECOSYSTEME AQUATIQUE D'EAU LIBRE

Constitué des bassins étanches peu profonds (0,80 à 0,90 m) occupant environ 25% de la superficie totale. Il est sans substrat et sans végétation supérieure seuls les microphytes (bactéries et micro-algues) peuvent s'y développer. Les principaux objectifs épuratoires étant la réduction suffisante des MES, l'oxygénation des eaux usées et contribution à l'abattement des charges polluantes.

8.2. UN ECOSYSTEME SEMI-AQUATIQUE

Constitué des bassins étanches peu profonds contenant un substrat planté de *Typha latifolia* et de *Typha angustifolia*. Ces bassins représentent 25% de la surface totale de la filière et a environ 1,00 m de profondeur totale. Le substrat d'épaisseur de 0,40 à 0,50 m est recouvert d'une nappe aquatique permanente de 0,25 à 0,30 m.

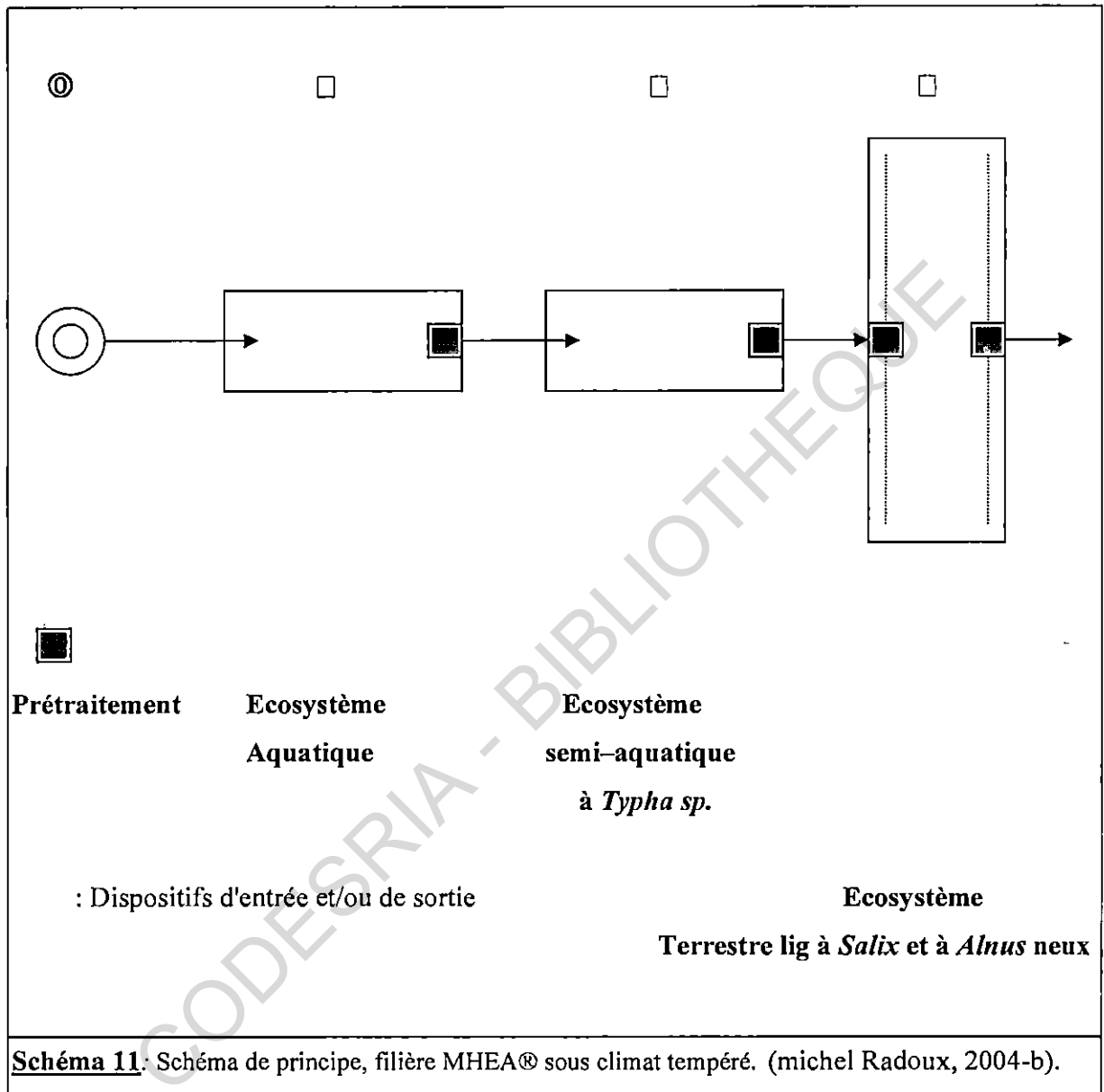
8.3. UN ECOSYSTEME TERRESTRE

Ce dernier occupe les 50% de la surface restante, et est constitué de substrats plantés d'arbustes (*Alnus glutinosa* et *Salix viminalis*). La profondeur du bassin est de 1,00 m environ, le substrat étant poreux, favorise la circulation homogène de l'eau à travers le sol. Ce substrat de granulométrie moyenne comporte une nappe phréatique permanente située entre 0,10 et 0,20 m en dessous de la surface du terrain naturel. Le schéma retenu pour les régions tempérées se présente comme suite. Après le prétraitement qui est généralement fait avant l'entrée des eaux en STEP, il existe trois différents niveaux de traitement :

- ◆ le premier niveau : écosystème aquatique à eau libre ;

- ◆ le second niveau : écosystème semi aquatique à Typha ;
- ◆ le troisième niveau : écosystème terrestre à végétation ligneuse (Salix ou Alnus).

Voir schéma ci-après



CHAPITRE 3:

GESTION DES EAUX USEES DANS LES PAYS EN VOIE DE DEVELOPPEMENT : CAS DE DOUALA AU CAMEROUN

1. PRESENTATION SOMMAIRE DU CAMEROUN

Pays d'Afrique Centrale, situé à l'extrême Nord-est du Golf de Guinée, le Cameroun s'étend depuis les étroites zones sahéliennes du Nord (entre le Nigeria et le Tchad) où l'agriculture dépend des rares précipitations, jusqu'au plateau méridional couvert de forêt équatoriale du sud. Il couvre une superficie de 475.000 km² et présente une diversité physique, biologique et écologique remarquable. La population estimée à 16 millions d'habitants, est en perpétuelle croissance. Selon l'Agenda 21 local, la population du Cameroun est passée de 10,5 millions en 1987, à 15 millions en 1999 avec un taux d'accroissement annuel de 2,4% entre 1990 et 2003 (taux d'accroissement annuel en milieu urbain : 6,2% entre 1970 et 1990, et en milieu rural entre 1990 et 2003 il était de 4,3%). Les populations migrent sans cesse vers les principales villes que sont Douala et Yaoundé. Selon L'UNICEF en 2002, 63% de la population totale utilise les ressources d'eau potable améliorées et 48% ont accès à l'assainissement.

Bien que situé dans la zone intertropicale, il présente un climat presque uniforme. Le pays est en général chaud avec des températures moyennes comprises entre 20 et 28°C. Ces températures augmentent du Sud vers le Nord et l'intérieur du pays ; les régions hautes reçoivent cependant plus de précipitations que celles de basses altitudes. Ci-après, la localisation géographique du Cameroun par rapport au reste du continent africain.

d'Afrique. Ces fleuves de régimes très irréguliers sont répartis en quatre grands bassins versants : le bassin du Niger, le bassin du Tchad, le bassin de l'Atlantique et le bassin du Congo. Par ailleurs, le pays est également doté de nombreux lacs naturels (créés par les activités volcaniques et les mouvements tectoniques) ou artificiels (création des digues de rétention d'eau). Le pays présente un relief assez varié et les précipitations sont inégalement réparties sur l'étendu du territoire.

2. PRESENTATION DE LA VILLE DE DOUALA

Douala est une ville située au Sud-ouest du Cameroun, sur la côte littorale et plus précisément sur l'estuaire du fleuve Wouri à proximité de l'Océan Atlantique. Les zones urbaines occupées sont estimées à environ 15.000 ha (Communauté Urbaine de Douala, 2001). Cette ville allie plusieurs fonctions (portuaire, industrielle et Capitale économique), ce qui expliquent toute sa sollicitation par les populations du pays et de la sous région. L'interface de cette situation est l'inconfort qui se caractérise par :

- l'exode rural ; la population urbaine est estimée à 6,2 millions (PNUD, 2001);
- la métropolisation de la ville : extension des quartiers périurbains et les zones à risque dans lesquelles s'entassent les populations démunies ;
- l'insuffisance voir l'absence d'infrastructures (réseau d'adduction d'eau potable, électricité, téléphone, voirie, réseaux d'égouts, collecte de déchets etc.) ;
- l'environnement urbain inconfortable, pollution (air, eau, sol) risques sanitaires, habitats précaires et insalubres, conséquence d'un développement foudroyant de la pauvreté ; 50,5 % de la population du pays vit dans les ménages dont les revenus sont en deçà du seuil de pauvreté (PNUD, 2001). Ces traits caractéristiques de la ville, sont liés à des facteurs tels que le climat, le réseau hydrographique, la démographie et surtout la pauvreté de la population.

2.1. LE CLIMAT

Le climat de Douala est caractérisé par :

- une saison sèche (mi novembre à fin février) ;
- une saison humide (mars à mi novembre) ;
- l'humidité atmosphérique à Douala est particulièrement élevée (80%d'humidité relative en février) ;
- la température est suffisamment élevée (moyenne annuelle de 27°C) ;

- la moyenne annuelle pluviométrique est d'environ 4200 mm.

Cette répartition pluviométrique est reprise dans le tableau ci-après:

Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc
58	79	208	239	325	520	749	783	649	385	154	48
Total: 4197 mm											

Tableau 11: Répartition mensuelle moyenne de précipitation à Douala (MINUH, 1983).

2.2. LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

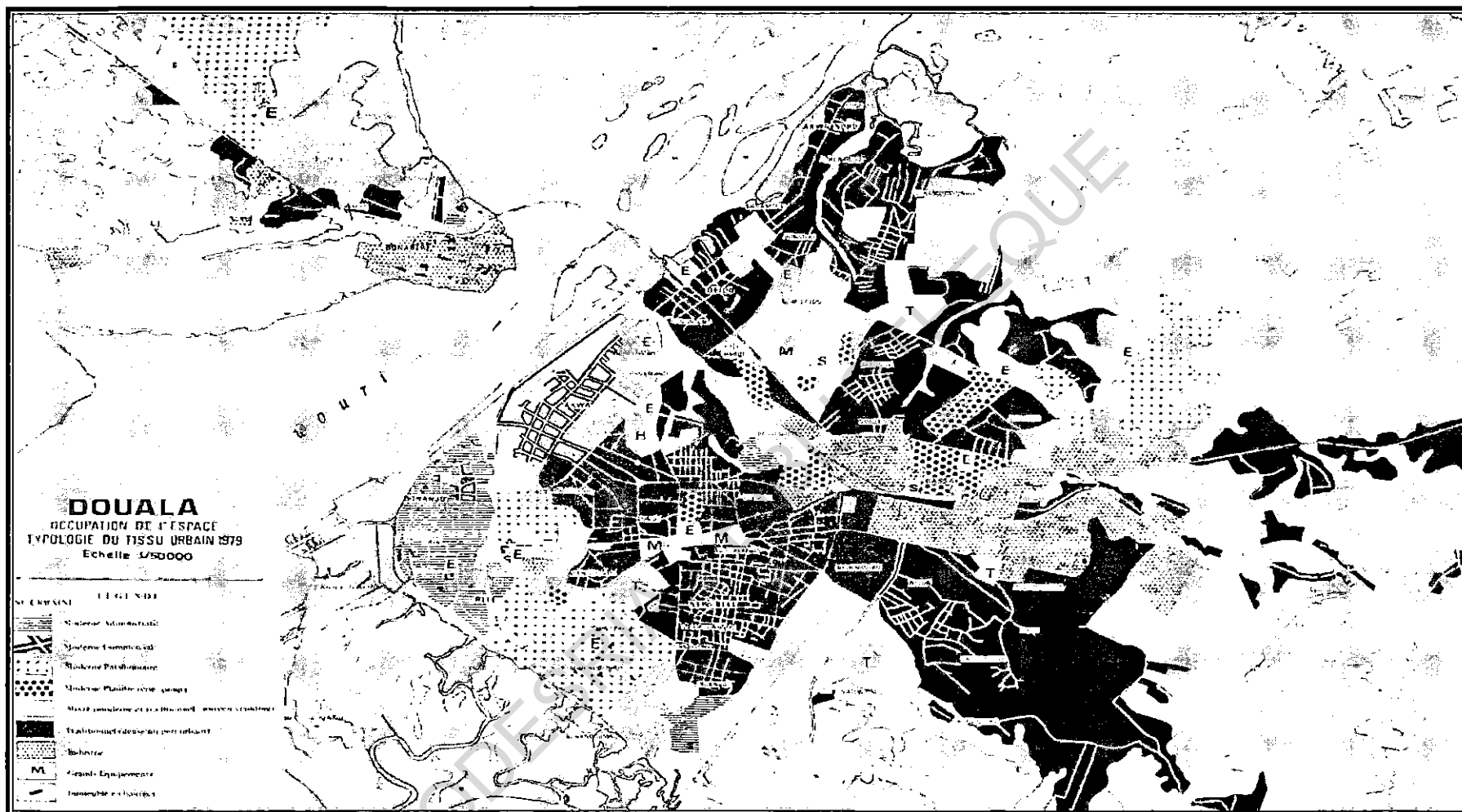
La ville est composée de plusieurs sous bassins versants. Le fleuve Wouri, avec un débit de crue maximal de $1825 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, représente l'exutoire final de toutes les eaux de Douala. Ce pendant deux autres rivières bordent le périmètre urbain de part et d'autre du Wouri:

- le fleuve de la Dibamba de $6,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ de débit d'étiage est situé sur la rive droite ;
- le fleuve Mungo de débit d'étiage décennal de $32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ est situé sur la rive gauche ;

L'estuaire du Wouri débouche ainsi dans un vaste plan d'eau dont la marée occasionne généralement des remontées à l'intérieur des terres. L'organisation hydrographique de la ville se subdivise naturellement en trois grandes zones:

- En rive droite du Wouri, un ensemble des sous bassins versants est drainé par les petits cours d'eau débouchant tous dans le Wouri.
- En rive gauche du Wouri, une série de bassins versants alimente directement le Wouri (Besseke, Mbopi, Mbanya, Tongo Bassa, Kondi, Ngongué) ;
- Enfin au sud, se succèdent les bassins versants tels que le Bobongo et le Mgoua.

Les besoins en eau potable nécessaires pour le développement de la ville de Douala ont été estimés par la société nationale des eaux du Cameroun (SNEC): $90\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{J}^{-1}$ en 1986, $140\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{J}^{-1}$ en 1990 et $305\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{J}^{-1}$ en 2000, (MINUH, 1983). Selon le rapport du PNUD en 2001, dans les centres équipés d'un réseau d'adduction d'eau potable est d'environ 20% de la population bénéficient d'un branchement particulier. 20% s'alimentent par les bornes fontaines, alors que 60% dépendent encore des puits et des eaux de surface. La production annuelle de la SNEC est de 56 millions de m^3 , répartie dans les grandes villes de la manière suivante : à Yaoundé 29%, à Douala 41%, et à Garoua 8,5%. Ces trois villes absorbent environ les $\frac{3}{4}$ de la production en zone urbaine ; ce qui donne une moyenne par habitant de 30 à 40l/J (PNUD, 2001). Cette moyenne est bien en deçà de la moyenne exigée par l'OMS qui est de 80 à 120l/J.



Carte 2 : Carte d'Urbanisation de la ville de Douala

Source, Direction de l'urbanisme et de l'habitat du ministère de l'urbanisme et de l'habitat cité dans SDAU, 1983.

2.3. LA DEMOGRAPHIE

La ville de Douala a connue une démographie exponentielle dont la courbe d'évolution est reprise par le graphique suivant.

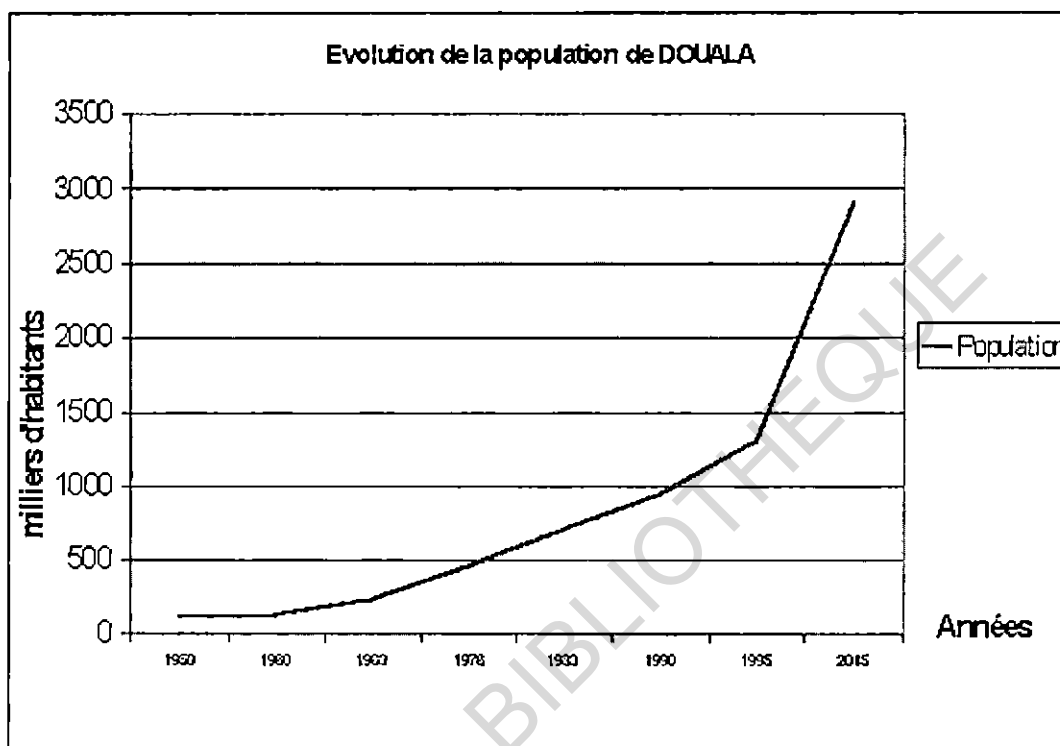


Fig. 3 : Histogramme d'évolution de la population de la ville de Douala de 1950 à 2015. Source : Division géographique nationale du ministère des affaires étrangères du Cameroun cité dans izf, 2004.

L'une des conséquences directes de cette situation est l'incapacité de l'Etat à contenir la population, qui se traduit par l'insuffisance des structures d'accueil (logements, voiries etc.), et la naissance des quartiers spontanés. Les équipements initiaux se sont vus rapidement débordés devant une croissance exponentielle de la population et une autorité absente.

2.4. LA STRUCTURE URBAINE

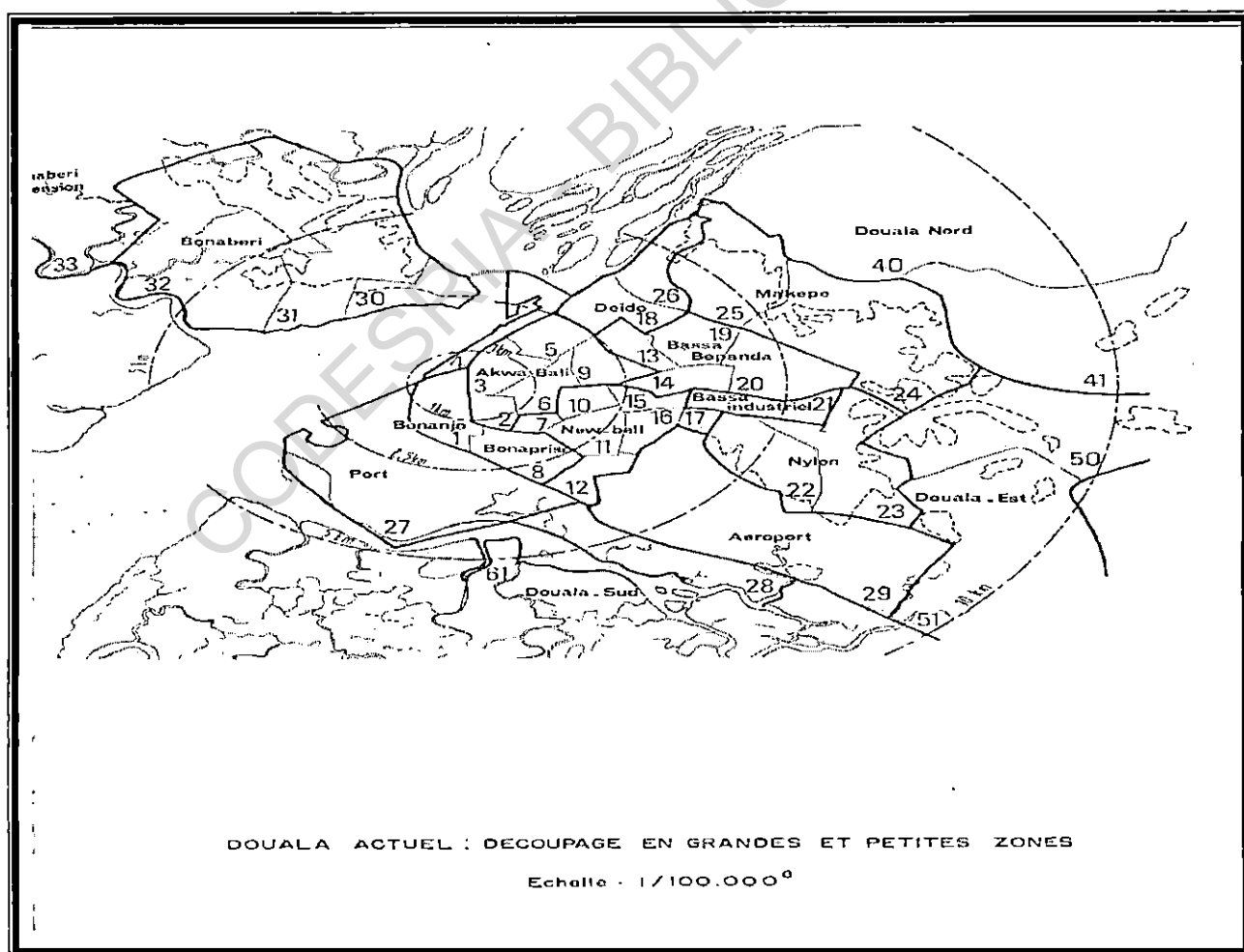
Globalement, la ville s'est organisée en cinq principales zones approximativement concentriques voir carte 2:

- **les zones industrielle et portuaire**, il s'agit des quartiers Bassa, Bonabéri, et tout l'espace portuaire qui s'étend actuellement du pont du Wouri à la pointe de Joss ;
- **les zones commerciale et administrative**, qui regroupe Bonanjo, Akwa, Bali ;

- les zones résidentielles haut standing (Bonapriso, Akwa, Maképè, Bonamoussadi), où la majorité des habitats sont de haut et moyen standing. Ces quartiers présentent un réseau de voirie revêtu encore en bon état, ils sont bien équipés et peu dense. La qualité des constructions qui s'y trouvent témoigne d'un niveau moyen de revenu et en arrière plan de ces zones, se trouvent les quartiers populaires (New-Bell, Akwa II etc.) ;

- les zones d'habitats spontanés : les zones de New-bell, Bépanda, Nkouloloun, Nylon, Nkolmitag, Brazzaville, Madagascar, Bonaloka, Bonassama, Congo etc. sont caractérisées par une forte densité de la population, une précarité des habitats, un accès difficile, une insuffisance d'infrastructures (réseaux d'eau potable et d'égouts d'évacuation etc.). Les populations sont fréquemment victimes d'inondations parfois mortelles et des épidémies diverses.

- les zones d'habitats moyens : sont concernées, les quartiers Deïdo, Ndogbong, Cité sic, Bonabéri Cité des palmiers, denses et partiellement équipés. On y trouve des habitats mixtes, peu équipés en structures sociales et l'accès y est parfois difficile à cause du non entretien des routes. Ci-après une carte des principales zones de la ville.



Carte 3 : Carte de répartition des quartiers dans la ville de Douala.

Source, Direction de l'urbanisme et de l'habitat du ministère de l'urbanisme et de l'habitat cité dans SDAU, 1983.

3. GESTION DES EAUX USEES

La gestion intégrée des eaux usées fait appel d'une part à la contribution des usagers calculée au prorata de leurs consommations d'eau potable. D'autre part à la technique de traitement des eaux usées et les instances de décision. Nous nous concentrerons uniquement aux techniques d'épuration en place. Comme la plupart des grandes agglomérations, Douala n'a pas échappé à la règle. Ainsi, la gestion des eaux usées fait appel aux paramètres telles que : la production d'eau potable, son usage, la collecte des eaux usées, le traitement et le rejet. Comme complément à ces paramètres, nous ajouterons les instances institutionnelles qui doivent se situer en amont de toutes opérations.

3.1 PRODUCTION DES EAUX USEES A DOUALA

Il existe cinq principales sources de production d'eaux usées (cf. chapitre 1, troisième paragraphe). Mais dans ce cadre, notre étude est consacrée uniquement aux eaux usées urbaines et domestiques :

- les eaux usées domestiques sont issues essentiellement des activités ménagères. Il faut signaler que la production des eaux usées domestiques est fonction du niveau de vie des populations. Par ailleurs, à défaut des données précises sur la quantité d'eaux usées produites par les ménages, le plan directeur local de 1986 (PDL) de la zone de Douala Est nous oriente sur la capacité de production d'eau potable qu'offre la société nationale des eaux du Cameroun (SNEC) qui est d'environ $110.000 \text{ m}^3 \cdot \text{J}^{-1}$. A cette production, il est démontré qu'environ 80% représente la capacité journalière des eaux usées domestiques. Il faut signaler que cette méthode d'estimation n'est pas très précise, mais constitue dans cette condition un indicateur non négligeable pour la gestion.

- les eaux usées urbaines proviennent d'une part des activités pluviales (eau de ruissellement), et d'autre part des structures sociales : les établissements scolaires, centres hospitaliers, stades magasins etc. Les volumes précis de ces types d'eaux usées sont difficiles à évaluer (dans notre contexte), les caractéristiques varient selon les zones traversées.

3.2. LA COLLECTE ET EVACUATION DES EAUX USEES

Les opérations de collecte et d'évacuation des eaux usées dépendent des zones où on se trouve ; on distingue trois groupes dans ces opérations:

- Premièrement, le groupe concernant les zones munies des réseaux. Ces réseaux bien localisés ont été installés au centre ville et couvrent les quartiers Bonanjo, Akwa, Bonapriso. Ils sont dégradés et quasi entièrement abandonnés (SDAU, 2002) ; ces égouts sont l'héritage d'un passé jadis glorieux de la colonisation des Allemands.

- Deuxièmement, on retrouve le groupe constitué des zones viabilisées par la Société Immobilière du Cameroun (SIC) et la Mission d'Aménagement et d'Equipement des Terrains Urbains et Ruraux (MAETUR). Ces promoteurs ont équipés les lotissements des réseaux de voiries et d'égouts qui aboutissent dans des stations d'épuration; ces réseaux concernent essentiellement quelques quartiers dont Bonamoussadi, Cité Sicam, Cité des Palmiers, Cité de Ndogbati et Maképé.

- Le troisième groupe concerne les zones qui ne disposent ni des réseaux fiables de voiries, ni des réseaux d'égouts. Pour ce groupe, les systèmes de fosses septiques, constituent le gros des équipements d'assainissement.

4. EPURATION DES EAUX USEES

Assainir, c'est faire en sorte que les diverses eaux usées utilisées dans une ville par les habitants et par les industries ainsi que les eaux de pluie, s'évacuent sans occasionner des gênes à la cité ou à l'Environnement, notamment sur le plan de la santé, de la vie piscicole ou de la flore des rivières. (F.Valiron, 1991). Si les stations d'épuration sombrent aujourd'hui dans un disfonctionnement total, C'est probablement pour des raisons technique et économique. Les ouvrages de traitement des eaux usées de la ville de Douala peuvent se classer en deux catégories : les ouvrages d'assainissement individuel (fosses septiques, puits perdus et latrines) et les système d'assainissement collectif (réseau d'égout et STEP).

4.1. LES SYSTEMES D'ASSAINISSEMENT COLLECTIF

Il s'agit de la collecte et de l'évacuation des eaux usées par les différents conduits vers les stations d'épuration. Cette pratique couvre les zones de Bonanjo, Bonapriso, Akwa, les zones SIC et MAETUR (Cité de Ndogbati, Cité des Palmiers, Bonamoussadi et Maképé) où ont été localisés les réseaux d'égouts. Quelques stations de type classiques ont été installées dans la ville : à

l'hôpital LA QUINTINI, la Cité des Palmiers et à la Cité Sicam. Ces stations ont été destinées uniquement au traitement primaire et puis secondaire (rarement observé). D'après le constat, ce système est confronté aux difficultés de fonctionnement essentiellement d'ordre technique et économique.

4.2 LE SYSTEME INDIVIDUEL D'ASSAINISSEMENT

Cette catégorie est la plus répandue dans la ville de Douala et se substitue aux systèmes collectifs qui présentent des limites de fonctionnement. L'utilisation des systèmes individuels d'assainissement a connu une telle croissance au fil des ans en raison de l'insuffisance d'égouts dans les zones d'extensions, du non entretien des égouts existants et de l'absence de plan d'occupation du sol. Parmi les principaux ouvrages d'assainissement individuel rencontrés on peut citer les fosses septiques, les fosses étanches et les latrines traditionnelles.

4.2.1. Les fosses septiques

Les fosses septiques sont un système d'assainissement constitué de deux ou trois compartiments enterrés. Elles reçoivent les eaux usées domestiques provenant directement des appareils sanitaires et assurent le prétraitement afin de les renvoyer dans les systèmes d'épandages. Elles sont fréquentes dans les quartiers modernes et mixtes où les systèmes d'égouts sont inexistantes (ou en total disfonctionnement) et sont rarement suivies d'épandages. La forme la plus élaborée de ces fosses est le décanteur digesteur toujours associé au puisard ; beaucoup d'utilisateurs répugnent à signer des contrats de maintenance de leurs installations; ce qui conduit à des situations de dégradation, dont ne sont pas exclus de grands bâtiments de quelques quartiers. Ces zones sont constituées principalement des quartiers Akwa, Ndog-bong, Deido, Makèpè, etc.

4.2.2. Les fosses étanches

Ce sont des fosses enterrées scindées en deux compartiments bien étanches qui reçoivent les excréments des domiciles dans l'attente d'une éventuelle vidange. Dans certains cas, ces fosses septiques sont connectées directement à des puisards d'infiltration qui représentent la destination finale des effluents « *traités* » à travers le système. La présence de la nappe phréatique affleurant le sol et la fréquence de précipitation de la ville empêchent dans certains cas la mise en place de véritables fosses septiques et puisards. À défaut d'un entretien suffisant, le colmatage du sol par les particules solides est responsable de la pollution olfactive et de la contamination des nappes d'eau superficielles. (MINUH, 1986).

4.2.3. Les latrines traditionnelles

Il s'agit des fosses d'important volume qui reçoivent directement les excréta et les eaux ménagères. Selon le programme solidarité Eau (pS-Eau), ces systèmes sont les plus courants et se déclinent autour de cinq types d'installation :

- ◆ ouvrage extérieur simple trou (pas de chasse d'eau, fosse sèche pas de puisard) ;
- ◆ ouvrage extérieur simple trou (fosse sèche, pas de chasse d'eau) ;
- ◆ ouvrage extérieur simple trou (fosse revêtue avec toit) ;
- ◆ ouvrage (fosse revêtue à la Turque avec chasse d'eau) ;
- ◆ ouvrage intérieur (fosse revêtue, cuvette à l'anglaise, chasse d'eau, avec puisard).

La profondeur varie en fonction des sites et le périmètre est maçonné à une hauteur de un mètre pour supporter la dalle de couverture. Les zones ainsi concernées sont généralement les bidonvilles : une partie de New-bell, Maképé, Bépanda, Ndog-Passi, Yabassi, Bonabéri et toute la zone Nylon. Les eaux de ménage sont directement déversées dans les caniveaux et rigoles, tandis que les excréta sont évacués dans les latrines. Il est bien régulier de trouver que les habitants s'approvisionnent à partir des puits d'eau à proximité de ces latrines, puisque 60% de la population ont recourt aux puits comme source d'approvisionnement (PNUD, 2001). L'ensemble des usagers opérant de la sorte correspond à ceux dont le taux de branchement au réseau de la société nationale des eaux du Cameroun (SNEC) est le plus faible ; car la majeure partie s'alimente directement à l'eau de marigot ou de puits. De graves problèmes de santé ont ainsi déjà été soulevés, la plupart ayant des liens directs avec la qualité d'eau de consommation.

La pauvreté gagne du terrain dans cette ville, et l'épuration des eaux usées est loin d'être une priorité commune pour cette population, bien que les conséquences soient catastrophiques. Les milieux aquatiques urbains et périurbains sont devenus le théâtre de l'insalubrité par excellence, et pose des problèmes de santé publique. Tous les rejets hydriques de la ville de Douala comptent sur une capacité d'auto épuration du sol dont le seuil critique est déjà atteint. Ces populations sont ainsi exposées directement (par contact physique) à toutes les maladies habituellement véhiculées par ces eaux (gastro-entériques, choléra, typhoïdes etc.). Cette même situation favorise aussi à la prolifération d'insectes vecteurs de maladies.

5. IMPACTS DES EAUX USEES

5.1. IMPACTS DES EAUX PLUVIALES (EAUX DE RUISSELLEMENT)

Le développement, l'urbanisation et l'imperméabilisation croissante des sols ont fait des eaux pluviales une véritable menace pour la population et son environnement. N'étant presque plus absorbées par le sol, le débit d'eau de ruissellement devient important et provoque des dégâts énormes: les inondations permanentes, l'érosion hydrique des sols, la destruction des chaussées, le comblement des milieux lacustres.

Douala est une ville particulièrement arrosée, avec une précipitation moyenne annuelle de 4200 mm. L'insuffisance voire l'absence des caniveaux, des drains et le non entretien des ouvrages existants expose régulièrement la ville à de nombreuses inondations. Les populations des zones à risque et de quelques "*grands quartiers*" en payent régulièrement les frais: la destruction des habitations, des infrastructures urbaines, et les pertes en vies humaines sont quelques unes des conséquences des inondations.

5.2. IMPACTS ECOLOGIQUES

Parler des effets des polluants sur l'environnement côtier revient à prendre en compte la dimension sous régionale. Il ne faut donc pas se limiter uniquement au niveau du Cameroun mais parler de l'ensemble de l'environnement côtier de l'Afrique centrale. Cette sous région a un littoral long de 1789 km, et le plateau continental d'une profondeur de 200 m. La zone côtière d'Afrique Centrale est caractérisée par des lagunes, des mangroves, des plages de sable et des zones humides d'estuaires. La pollution marine constitue une préoccupation majeure en Afrique centrale en particulier dans le golfe de Guinée.

Les sources de pollution sont diverses : (les activités de raffinage de pétrole, les industries côtières, les déchets solides urbains, les eaux usées des villes côtières etc.). Cette pollution marine perturbe les habitats, le fonctionnement des écosystèmes et entraîne un amoindrissement de la diversité biologique. Les eaux usées domestiques, urbaines et les effluents agricoles contribuent activement à la pollution marine. Cette forme de pollution est la conséquence du développement industriel et urbain des zones côtières. La ville de Douala connaît ainsi de nombreux problèmes au niveau des nappes aquifères. Les ressources côtières en eau douce sont en outre menacées par la montée du niveau de la mer, qui selon les prévisions du GIEC, pourrait atteindre un mètre d'ici 2100 [(GIEC, 2001) ; cité dans le rapport du PNUE, L'Avenir de l'Environnement en Afrique p181]. A l'intérieur des terres, l'impact du déclin de la qualité de l'eau est à la fois écologique et social. La contamination des nappes d'eau douce se traduit par les pertes de la biodiversité, la restriction de l'écoulement, l'extinction des espèces par les phénomènes de bioamplification.

5.3. IMPACTS SANITAIRES

Malgré quelques mesures d'évacuation des eaux usées entreprises par différentes communes, les problèmes de santé sont très préoccupants dans la ville de Douala. La présence des germes pathogènes dans les eaux usées, la prolifération des gîtes des vecteurs de maladies, la consommation des produits des cultures maraîchères sont des risques potentiels des maladies. Selon une analyse des données issues du service épidémiologie et endomo-épidémies du ministère de la santé (Direction de la santé communautaire) le risque de maladies hydriques est élevé dans toute la ville (MINSANTE, 1986). Il ressort que ces maladies sont la cause de près de 15% des affections dans les ménages de la ville de Yaoundé qui, de ce point de vue présente des similitudes avec Douala. Les enfants de moins de 5 ans seraient les plus touchés : 30% des cas déclarés dans l'ensemble des centres hospitaliers de la ville. (Wéthé et al, 2003).

Les mauvaises conditions d'écoulement des eaux pluviales et le non traitement des eaux usées sont responsables de nuisances graves. Les effets de cette situation sont à l'origine de quatre catégories de maladies :

- Cas où ces eaux hébergent des agents pathogènes qui passent chez l'homme par ingestion ; il s'agit des virus de poliomyélite, d'hépatite virale, des vibrions cholériques, des bacilles de typhoïde, des kystes d'amibiase etc. Cette série de maladies relève essentiellement d'une mauvaise alimentation en eau de boisson. Plus de 25% d'habitants de la ville seraient directement confrontés à ce genre de problèmes (MINSANTE, 1981).

- Cas où les eaux usées hébergent des agents pathogènes qui pénètrent dans l'organisme par voie transcutanée : Les larves d'ankylostome et des anguillules, à l'origine des vers intestinaux. On a pu démontrer selon les statistiques des dispensaires de la ville que ces vers intestinaux se retrouvent plus chez les populations habitant les quartiers où le temps de séjour des flaques et des mares était le plus significatif.

- Cas où l'eau donne l'asile à des hôtes intermédiaires nécessaires aux agents telles que la bilharziose, les filaires, qui ont pour origine le développement des mollusques envahissant les cours d'eaux. Sont concernés les populations des quartiers Diedo, Bonabéri ou Youpwé dont l'activité de pêche et d'extraction du sable dans les cours d'eau sont les plus développées.

- Cas où l'eau permet le développement des formes larvaires des insectes vecteurs des maladies : dans cette catégorie on retrouve le paludisme, la fièvre jaune etc. Cette catégorie de maladie couvre presque tous les quartiers de la ville.

Le tableau ci-après fait une synthèse des maladies liées à l'eau dans la ville de Douala autour des années 80.

TABLEAU 12: LES MALADIES D'ORIGINE HYDRIQUE A DOUALA (MINUH, 1983)

Affection A	-1 an		1-4 ans		5 à 14 ans		15 à 44		+ de 45 ans		Total	
	H	F	H	F	H	F	H	F	H	F	H	F
Diarrhées graves	1.593	1.419	1.348	1.222	475	404	970	746	748	314	5.134	4.105
Typhoïde	3	1	2	0	2	2	2	0	2	2	11	5
Choléra	0	0	0	0	1	3	13	15	2	3	16	21
Dysenterie	296	254	541	501	503	407	660	361	446	224	3.446	1.747
Poliomyélite	0	0	3	2	10	9	2	2	0	0	15	13
Vers intestinaux	854	1210	2.369	2.173	2.443	1.266	3.320	3.344	2.243	1.571	11229	10.664
Paludisme	3.457	3.353	3.919	3.719	2.913	3.453	5.073	5.033	3.219	1.438	18.581	16.996
Onchocercose	0	3	1	6	29	84	323	441	160	194	513	728
Bilharziose intestinale	0	0	0	0	1	1	37	23	3	1	41	25
Bilharziose vésicale	0	2	0	1	2	1	4	1	1	0	7	5
Total A	6.203	6.242	8.183	7.624	6.379	6.630	10.404	10.066	6.824	3.747	37.993	34.309
											72.303	
Total B	11.852	11.599	15.626	15.003	13.904	14.432	35.027	41.230	20.479	12.996	96.906	95.276
											192.182	
A x 100/B	52,33%	53,8%	52,36%	50,8%	45,87%	45,93%	29,7%	24,41%	82,15%	28,83%	37,73%	

Affection A : Maladies hydriques

H : Hommes

Total B : Toutes affections confondues

F : Femmes

Remarques : Ce tableau n'indique que le nombre de consultation sur une série de dispensaires témoins

Au demeurant, les pourcentages indiqués reflètent l'état général de la ville

- Environ 50% des affections relatives aux enfants sont d'origine hydrique
- Environ 38% des affections chez les adultes sont d'origine hydrique.

Source : Délégation Provinciale du Ministère de la santé – Statistiques 1981. (SDAU, Annexe n°3 : EAU-ASSAINISSEMENT).

5.4. IMPACTS SOCIO-ECONOMIQUES

Ces impacts sont les conséquences des précédentes implications. Bien qu'étant une métropole économique, le secteur d'emploi y est précaire. Ce qui rend la population de la ville plus vulnérable face aux problèmes quotidiens de santé. Les implications sanitaires du paragraphe précédent nous renseignent sur la prévalence des maladies d'origine hydrique et les ramifications se feraient ressentir principalement à deux niveaux :

- au niveau scolaire, la baisse de rendement scolaire chez les enfants ;
- au niveau professionnel chez les parents qui doivent consacrer le gros de leur temps et de leurs revenus aux soins médicaux des enfants.

Il faut ainsi signaler que le gros des revenus de la population est consacré aux soins médicaux. L'augmentation de la productivité des parents entraîne l'accroissement des revenus familiaux etc. Quand l'assainissement est mauvais, les maladies prolifèrent et les frais de santé augmentent. La récurrence des maladies appauvrit l'économie nationale, quand on ne peut ni aller à l'école, ni au travail. La pollution des rivières affecte le secteur touristique et les activités induites.

6. LES CONTRAINTES DE GESTION DES EAUX USEES

La solution à un tel problème ne doit pas être précipitée si elle se veut durable. On doit autant que faire se peut, identifier les principales causes et impliquer tous les acteurs au circuit de la gestion de l'eau. A ce propos nous avons identifié plusieurs niveaux dans l'organisation de la gestion des eaux usées.

6.1. CONTRAINTES INSTITUTIONNELLES

Au Cameroun dans le secteur de l'assainissement, les attributions et les compétences sont encore dispersées entre la société de production de l'eau, les ministères, les organismes parapublics et les communes, ce qui entraîne plusieurs conséquences:

- la difficulté à élaborer un plan cohérent de gestion des eaux qui se traduit par l'absence de plan directeur d'assainissement;
- l'accès difficile aux financements nécessaires aux les projets car plus les interlocuteurs sont nombreux, plus les plans sont fragmentés pour un même besoin;
- l'insuffisance voir l'absence d'une collaboration interservices.

Le Cameroun dispose pourtant des institutions administratives qui ont en charge la gestion de l'eau : les institutions impliquées sont entre autres:

- **la Société Nationale des Eaux du Cameroun (SNEC)** chargée de la production et de la commercialisation ;

- **le Ministère de l'environnement et des forêts** ; qui a en charge l'élaboration et le suivi de la politique nationale en matière d'environnement) ;

- **le Ministère des mines de l'eau et de l'énergie** : (politique nationale de l'eau et de l'assainissement, évaluation de la ressource en eau, établissement des normes de rejets des effluents, contrôle technique des exploitations classées) etc.

Autant de secteurs d'influence qui interviennent d'une manière directe dans la gestion des eaux ce qui témoigne de la non transparence, de la fuite des responsabilités et entravent la gestion efficace de cette ressource.

6.2. CONTRAINTES SOCIO-ECONOMIQUES

Ces contraintes sont les plus spécifiques, voire les plus importantes en matière d'assainissement. Elles concernent surtout les populations les plus démunies et leurs lieux d'habitation auxquelles sont liés certains facteurs:

- L'alimentation en eau, représente un indicateur du mode de consommation, du niveau d'équipement et oriente sur le type d'assainissement à préconiser ;

- La contribution financière des ménages est un élément très important dans le secteur d'assainissement. Cette rubrique est encore à son état embryonnaire, la société nationale des eaux du Cameroun (SNEC) étant incapable de donner des chiffres précis de ses abonnés ;

- Le revenu de la population encore très faible ne leur permet pas de mener des actions dans ce sens, car les actes préventifs ne constituent pas une priorité pour cette population qui doit se battre en priorité pour assurer le plat quotidien ;

- L'incivisme de la population est une préoccupation puisque la notion du bien public n'est pas la chose la mieux partagée. D'où les dépôts d'ordure dans tous les coins et le déversement des eaux de vidange dans les drains, les pertes sur le réseau de distribution d'eau potable. L'usage abusif et le non respect des équipements publics sont souvent liés à une incompréhension du fonctionnement et de l'utilité de ces installations.

6.3. CONTRAINTES LIEES À L'URBANISATION

L'urbanisation est mal maîtrisée dans la ville de Douala. On assiste malheureusement à des modifications de l'occupation des sols prévues par le plan d'occupation du sol (POS). D'autre part

l'occupation des zones inondables conduit à l'apparition des quartiers spontanés. Cette situation rend difficile l'élaboration et le suivi d'un schéma directeur d'assainissement. Les plus importants des problèmes que posent les quartiers spontanés, sont la densité, Le manque de plan d'aménagement.

6.4. CONTRAINTES POLITIQUES

La gestion de l'espace urbain au Cameroun est régie par les textes notamment la loi 68/10 du 27 mars 1968 relative au code d'urbanisme, l'ordonnance 73/20 du 20 mai 1973 abrogeant le texte précédent. Le projet de décret relatif à l'urbanisme et l'aménagement urbain de 1986, le projet de loi relatif à la planification urbaine de 1990, et les Directives d'élaboration des plans d'occupation des sols (P.O.S) n'ont jamais été adoptés ni promulgués et ne peuvent de ce fait être imposables aux tiers (Wéthé Joseph, 1999).

Sur une centaine de villes recensées en 1987, 31% ne dispose pas de plans d'urbanisme, et parmi les 69% qui en possèdent, 84% n'ont jamais été approuvés jusqu'à présent, tandis que les 16% restant n'ont pas été mis à jour depuis plus de trente ans.(ONGA-NANA, 1995). Les villes de Douala et Yaoundé disposent d'un schéma directeur d'aménagement urbain (S.D.A.U), mais qui n'ont jamais été approuvés (Wéthé Joseph, 1999). Il s'agit ici de placer le pouvoir public au centre des politiques de décision. Il doit se sentir interpellé, afin d'établir un plan global d'aménagement. En tant que premier responsable de protection de l'environnement à travers les lois et règlements, il doit être en même temps garant de la sécurité et de la santé de sa publique.

En bref, l'épuration des eaux ne constitue a priori pas une priorité pour gouvernement, bien que les conséquences soient dramatiques. Les maladies liées à la qualité de l'eau conjuguée à la pauvreté plongent les populations dans un environnement inconfortable. Si les implications d'une mauvaise gestion des eaux usées sont variées, que peut-on préconiser dans ces conditions compte tenu des contraintes sus mentionnées? L'objectif du chapitre suivant est de proposer une technique d'épuration qui soit moins énergivore et mieux adaptée aux contestes des villes des pays à faible revenus dont la Cameroun.

CHAPITRE IV:

PROPOSITION D'AIDE A LA DECISION POUR LA GESTION DES EAUX USEES DOMESTIQUES ET URBAINES AU CAMEROUN

INTRODUCTION

Le premier chapitre de cet ouvrage nous a permis de présenter des généralités sur les eaux usées, (les différentes catégories, leurs origines, les caractéristiques et les implications diverses sur l'environnement). Le second fait appel aux méthodes européennes de gestion des eaux usées, avec une spécificité accordée aux techniques extensives dont les Mosaïques Hiérarchisées d'Ecosystèmes Artificiels (M.H.E.A.®). Le troisième brosse un état de la situation de Douala au Cameroun, pour déboucher au dernier qui retrace un tour d'horizon sur les M.H.E.A.®, avant de proposer un canevas susceptible d'être un guide pour tous ceux qui ont en charge la gestion des eaux usées.

La filière M.H.E.A.® est entièrement dépendante du climat et des caractéristiques des eaux usées ; le schéma conçu pour l'Europe ne saurait être imposé dans un contexte climatique différent. Ce processus a été adapté sous climat méditerranéen et tropical sec. Ainsi, d'autres filières ont vu le jour et les résultats de cette recherche semblent très satisfaisants.

1. QUELQUES RESULTATS DES M.H.E.A.®

Le transfert de processus méthodologique Nord-Sud étant prometteur, nous demeurons favorables à son adaptation non seulement du fait de son coût faible, mais de part la formation des techniciens locaux qu'il offre. Ainsi, plusieurs stations d'expérimentation ont suivi celle de Viville en Belgique dans divers contextes climatiques et/ou socio-économiques.

◆ **Station Expérimentale M.H.E.A.® de M'diq**, pour traitement des eaux usées domestiques et urbaines en zone touristique au Maroc sous climat méditerranéen ;

◆ **Station d'Essais préliminaires M.H.E.A.® de Cambérène**, qui traite les eaux usées domestiques et urbaines en zone périurbaine au Sénégal sous un climat tropical sec, etc.

2. GESTION DES EAUX USEES DOMESTIQUES ET URBAINES

2.1. LA PROBLEMATIQUE

Face à la crise économique de plus en plus persistante, les villes du Cameroun sont devenues des lieux d'accueil par excellence des populations. Ces villes sont ainsi confrontées à de multiples problèmes qui entravent leur développement : la croissance démographique quasi-exponentielle, l'insuffisance des infrastructures à caractère social, l'installation anarchique de la population, la précarité des logements etc. Selon l'agenda 21 local, 60% de la population ont recourt aux puits comme source d'approvisionnement en eau (PNUD, 2001). L'ensemble des usagers opérant de la sorte correspond à ceux dont le taux de branchement au réseau de la société nationale des eaux du Cameroun (SNEC) est le plus faible ; la majeure partie s'alimente directement à l'eau de marigot ou de puits.

L'interface de cette situation est la pollution du milieu urbain par des eaux usées non traitées qui posent des problèmes épineux de part ses nombreuses implications sur l'environnement et la qualité de vie de la population. L'une des conséquences directe de ce phénomène est la prévalence des maladies soulevées, ayant des liens avec la qualité d'eau de consommation (dysenterie, la typhoïde, le paludisme etc.). Cependant le problème de traitement des eaux usées s'est toujours posé à une échelle réduite, il est devenu plus persistant du fait de la croissance démographique et de la forte densité de la population. Si les méthodes classiques d'épuration des eaux usées installées dans ces villes dans les années 1970 n'ont pas comblé les attentes, n'est-il pas temps d'explorer d'autres pistes qui soient plus accessibles et mieux adaptées aux contraintes qui sont les nôtres ?

2.2. LES OBJECTIFS RECHERCHES

L'épuration des eaux usées demeure pour l'instant un outil prospectif fondé sur des préoccupations légitimes et fondamentales: améliorer la santé publique, garantir un meilleur cadre de vie ou valoriser un environnement en lui évitant les dommages irréversibles, tels sont les objectifs que se fixe cette recherche.

2.2.1. La santé publique

Bien qu'elle soit un des objectifs prioritaires d'assainissement dans les pays en voie de développement. L'amélioration de la santé publique passe par certains préalables:

- ◆ l'accès pour tous à l'eau potable ;
- ◆ le renforcement des voies de communication ;
- ◆ la mise sur pied des structures d'assainissement adéquates ;
- ◆ la collecte et l'évacuation et le traitement régulier des eaux usées ;
- ◆ la collecte et l'évacuation des eaux pluviales ;
- ◆ l'entretien régulier des égouts.

Il faut reconnaître que ces objectifs s'adresse plus aux populations des quartiers à faibles revenus, dont les conditions sanitaires sont les plus précaires. Ainsi, l'amélioration de la situation sanitaire des collectivités et l'hygiène publique par la prévention auront des impacts sur la qualité de vie et les revenus de la population.

2.2.2. Le cadre de vie et économie

La mise en valeur des infrastructures concerne également les centres urbains, où les conséquences des inondations sont parfois mortelles et le risque d'épidémie élevé. C'est aussi la principale attente des populations des quartiers spontanés, en raison de la précarité des constructions, de l'absence des réseaux de distribution d'eau potable et d'évacuation des eaux usées. La réalisation d'infrastructures d'assainissement sera un des éléments d'amélioration des conditions qui devra prévoir le renforcement des capacités d'approvisionnement en eau potable, la restructuration des habitats, des voies de communication etc.

2.2.3. L'environnement national et l'économie

Les grandes villes du Cameroun ont un taux de croissance démographique élevé et le non traitement des eaux usées sont des raisons d'un risque de dégradation de l'environnement. La quantité d'eaux usées domestiques produite par les populations est élevée et les dégâts importants. Il convient d'amener ces eaux à un niveau de qualité acceptable de rejet. Cette opération aura des impacts sur les activités touristiques par la viabilisation et la valorisation du cadre de vie, donc sur l'économie nationale.

2.2.4. Le développement mondial durable

Les enjeux environnementaux et sanitaires s'avèrent aujourd'hui primordiaux, raison pour laquelle la qualité de l'eau de rejet s'affirme comme un enjeu planétaire. L'opinion européenne s'accorde donc à soutenir la qualité à tous les niveaux:

- **qualité environnementale:** en édictant les directives qui permettent lorsqu'elles sont unanimement appliquées, de protéger les ressources en eau et les milieux aquatiques qui imposent des systèmes d'épuration plus performants et fiables ;

- **qualité du cadre de vie:** en réalisant les ouvrages de collecte, d'évacuation, et de traitement des eaux usées partout où besoin est ;

- **qualité technique:** l'investissement dans la recherche de la performance et d'alternatives est considéré comme un moyen d'atteindre les normes de qualité ;

- **qualité économique:** proposer aux usagers des meilleures solutions et à un coût concurrentiel.

Comme pays en voie de développement, le Cameroun a affirmé son engagement dans la lutte contre la pauvreté par l'adoption du document de stratégie de réduction de la pauvreté (DSRP). Si l'accès pour tous à l'eau potable et au système d'assainissement est un préalable de lutte contre la pauvreté, l'épuration des eaux usées doit intégrer le programme national, régional les principes du développement durable.

3. ETAT DES LIEUX

3.1. LES EQUIPEMENTS EXISTANTS

La ville de Douala a disposé de quelques équipements sanitaires qu'on peut classer de la manière suivante :

- équipements sanitaires individuels (fosses septiques et puisards, fosses étanches, latrines traditionnelles etc.) ;

- équipements sanitaires collectifs (constitués de quelques réseaux d'égouts jusqu'aux rares stations de traitement). Cf. Paragraphe 4 du troisième chapitre. Toutefois, l'évacuation des effluents urbains reste dominée par les camions vidange des services agréés au près des communes urbaines locales.

3.2. L'IMPACT DE LA POLLUTION DES EAUX USEES

3.2.1. L'état sanitaire des populations

Malgré les mesures d'évacuation mises sur pied par les différentes communes, les problèmes de santé dus au non traitement des eaux usées sont toujours préoccupants. La présence des germes pathogènes dans les eaux usées, la prolifération des gîtes des vecteurs de maladies, la consommation de certains aliments sont des risques potentiels de contamination. Selon une analyse des données issues du service épidémiologie et endomo-épidémies du ministère de la santé (Direction de la santé communautaire), les risques de maladies hydriques sont élevés dans toute la ville. Plus grave encore dans les ménages riverains des cours d'eau et des zones de stagnation des eaux usées. Une synthèse de la situation sanitaire est présentée dans le tableau des maladies hydriques à Douala (cf. paragraphe 5.3 : impacts sanitaires des eaux usées).

3.2.2. L'activité économique

La ville de Douala est scindée en plusieurs secteurs d'activités formelles ou non, contribuant à l'économie du pays (Le secteur touristique, industriel, agricole, artisanal, La pêche dans les différents cours d'eau qui bordent la ville et autres petits commerces.). Chaque secteur étant ainsi responsable d'une partie d'émission des polluants.

3.2.3. Le cadre de vie

Le cadre de vie de la population des habitants se dégrade au fil du temps. La pauvreté, la difficulté d'accès à l'eau potable, le manque d'infrastructures de communication et d'assainissement y contribuent efficacement. Les flaques d'eau non drainées, les caniveaux non entretenus charrient les déchets de tout genre, les dépotoirs d'ordures ménagères rendent la qualité de vie inconfortable. Dans le cadre d'une gestion globale de l'eau visant le maintien du patrimoine aquatique, l'assainissement doit se donner comme principaux objectifs : la Protection de la ville contre les inondations, la protection de la santé de la population et préserver le milieu naturel. (Y, Azzout, S. Barraud, F. N. Cress, E. Alfakih, 1994).

3.2.4. L'état de l'environnement national

La gestion des déchets urbains est l'une des questions environnementales les plus récurrentes des pays à faible revenu. Dans certaines capitales africaines, moins de 30% des déchets sont évacués. (Tanawa E. & Ngnikam E., 2004). L'environnement du Cameroun est

caractérisé par plusieurs problèmes liés pour la plus part au rejet d'eaux usées non traitées. Ces problèmes sont d'ordre environnemental, sanitaire et économique: la contamination des sols, la contamination des eaux de surface et la prévalence des maladies d'origine hydrique.

Cette situation est aggravée par l'utilisation des intrants agricoles. La construction d'habitat dans les bas-fonds et la naissance des activités informelles sont des facteurs qui enveniment le phénomène. Les conséquences déjà visibles sont entre autres, le comblement et l'eutrophisation des plans d'eau, la disparition de la biodiversité.

4. AIDE A LA DECISION

4.1. GESTION NATIONALE DES EAUX USEES DOMESTIQUES ET URBAINES: SCHEMA DECISIONNEL ENVIRONNEMENTAL ET TECHNOLOGIQUE

1. **➤ Assainissement individuel (par concession/parcelle)oui, voir 2**
Bien que cette forme représentant 95% de l'assainissement dans les villes africaines, elle est présente des limites telles que :
La maîtrise approximative des installations,
Le manque d'espace alloué,
Le manque d'entretien périodique. (Cf. paragraphe 4.2 chapitre 3). En plus aucune indication sur ses performances.**Non, voir 3**
- Assainissement groupé (par quartier) oui 4**
Le manque d'espace disponible dans les quartiers, de voie de communication et d'accès à l'eau potable, ne nous permet pas d'envisager ce cas de figure :**voir 5**
- Assainissement collectif (par agglomération).**
Dans ce cas le problème d'équité se pose, les réseaux d'égouts étant localisés dans certains quartiers précis. Les agglomérations ne disposant pas d'équipements nécessaires ne seront pas concernées. Par contre, ceux des agglomérations disposant des acquis (Réseau d'adduction d'eau potable, Voiries urbaines, fosses septiques etc.), constitueront un avantage au projet. Ces atouts sont des préalables pour un assainissement du type collectif :.....**Voir 6**

2. **Technologies traditionnelle** : Il s'agit des latrines et des fosses simples. Elles sont les plus fréquentes en Afrique (95%) dans les zones défavorisées et sont mal entretenues pour la majorité. Elles transmettent les substances polluantes par diffusion directe dans le sol. (Risque de contamination des ressources en eau et de transmission des maladies).
.....voir 8
- Technologies intensives** : En dehors des cas d'assainissement collectif, les techniques individuelles n'existent pas pour les particuliers en raison du coût élevé d'installation.
..... 9
- Technologies extensives** : le coût d'installation et le manque d'espace ont conduit certes les populations à éviter ce genre de technologie, mais il est plus économique dans un cas de traitement collectif des effluents.....10
3. Dans le cas où l'assainissement individuel n'est pas utilisé, il faut nécessairement envisager l'assainissement groupé (4) ou collectif (6), ce qui demande la rénovation ou l'implantation d'un réseau d'égouts et souvent un pré-traitement individuel pour chaque parcelle.
4. **Technologies traditionnelles (édicules publics)** : l'expérience des fosses collectives publiques desservant plusieurs parcelles n'a pas encore été expérimentée; mais les concessions en milieu urbain disposent pas d'espace.....11
- Technologies intensives** : Il s'agira de cibler un quartier muni d'un minimum d'équipement (réseaux d'adduction et d'évacuation) et en tenant en compte toutes les contraintes (techniques et économiques) citées aux chapitre II.....12
- Technologies extensives** : la lagune est la technique extensive qui a été testée au Cameroun et son utilisation remonte dans les années 1985 avec la construction des stations pilotes dans les villes de Garoua au Nord et à Yaoundé, la capitale du pays. Les résultats ont semblé satisfaisants, mais les auteurs ont évoqué le problème du temps de séjour long, de suivi et la surface qu'elle occupe (Simo et al, 1988).....13
5. Dans ce cas, le réseau d'égouts du quartier est raccordé au collecteur d'agglomération (6) où chaque parcelle est assainie de manière autonome. Ce qui n'est pas le cas

pour nos villes où les réseaux de collecte existants remontent à la période coloniale, et sont bien localisés dans quelques quartiers du centre ville. (2).

6. **➤ Technologies intensives :.....14**
Elles sont un héritage de la colonisation du Cameroun, et sont de nos jours dans un état déplorable. En plus ces techniques intensives localisées au centre ville ont des contraintes telles que :
- ◆ la technique mal maîtrisée ;
 - ◆ le coût d'installation et d'entretien élevé ;
 - ◆ le non prise en compte du traitement tertiaire et de la désinfection ;
 - ◆ le système en total disfonctionnement.
- Technologies extensives15**
Malgré le manque d'espace au centre ville, la technologie extensive doit être explorée dans nos contextes climatiques et économiques pour des raisons évidentes suivantes:
- ◆ faible coût d'installation et d'entretien ;
 - ◆ traitement complet des effluents ;
 - ◆ disponibilité d'espace en zones périurbaines etc. ;.....voir 15

7. ➤ Dans ce cas, les différents quartiers sont répartis en assainissement groupé (4) ou autonome (2).

8. Technologies traditionnelles individuelles

➤ Malheureusement, ces technologies (latrine traditionnelle etc.) sont les plus répandues dans les zones non alimentées par l'eau potable. Les conséquences sont dramatiques tant pour la santé publique que pour l'environnement. Cf. paragraphe 4.2.3 du chapitre 3.

➤ Ces techniques n'assurant aucun traitement préalable, les excréments vont dans la nature. Cette technique représente une source de contamination avérée. des nappes d'eau dans la ville. Les maladies diarrhéiques, les mauvaises odeurs dans certains quartiers sont quelques effets directs.

9. Technologies intensives individuelles

➤ Les technologies intensives individuelles sont très rares dans la ville du fait de la non maîtrise et des contraintes qui y sont liées. On distingue les fosses septiques associées aux équipements complémentaires (dégraisseur, plateau absorbant, lit bactérien, etc.) Cf. chapitre II, paragraphe 2.1.

➤ Lorsqu'elle est bien conçue et bien entretenue, elle offre des résultats excellents en traitement primaire et secondaire, mais le traitement tertiaire et la désinfection ne sont pas pris en compte. D'autre part le coût d'installation est assez élevé.

10. Technologies extensives individuelles

➤ Il s'agit des équipements tels que les fosses septiques, suivies des systèmes d'épandage, des tranchés d'infiltration, des filtres à sable etc.

➤ Lorsqu'elle est bien conçue et bien entretenue, elle offre des résultats excellents dans toutes les phases du traitement, mais présente des contraintes telles que :

- ◆ le coût d'installation ;
- ◆ le manque d'espace dans chaque concession ;
- ◆ le risque de colmatage du sol ;
- ◆ la vidange de la fosse septique et le fauchage de la biomasse végétale des épandages.

11. Technologies traditionnelles groupées

➤ Il s'agit pour chaque concession des systèmes de fosse septique bien conçue qui assure le prétraitement et la récupération des effluents se fait par des réseaux d'égouts, vers un épandage.

➤ Ce système présente des avantages tels que le confort de vie dans les quartiers, l'exploitation de l'aire d'épandage pour maraîchage, la réduction des maladies, mais exige des préalables pour son installation (restauration d'un réseau d'évacuation, disposition des surfaces suffisantes pour aménagement de l'épandage).

12. Technologies intensives groupées

➤ Ce système qui a été mis sur pied au Cameroun, et l'exploitation pose des difficultés de nos jours. Il s'agit plus précisément des boues activées, localisées dans quelques quartiers structurés.

➤ Ils sont de nos jours presque en total dysfonctionnement pour deux principales raisons : Le problème technique (manque de personnel qualifié pour le suivi), le problème économique (coût d'installation et d'entretien des équipements).

13. Technologies extensives groupées

➤ Les plus fréquentes sont : Le lagunage, l'épandage souterrain, l'épandage en plantation ligneuse etc. (Cf. paragraphe 3.2.2 du chapitre II)

➤ Avantages et contraintes de ces technologies :

Le lagunage, l'épandage souterrain, l'épandage en plantation ligneuse (cf. chapitre II).

14. Technologies intensives collectives

➤ Les techniques intensives collectives sont généralement: le lit bactérien, les boues activées et le disque biologique, (avantages et contraintes Cf. chapitre II paragraphe 3.2.1).

15. Technologies extensives collectives

➤ Il s'agit des lagunages, des épandages en plantation ligneuse, des épandages souterrains, des plateaux absorbants, des systèmes SEIDEL, KICKUTH, etc. (Cf. chapitre II). Chaque technique prise de façon isolée ne permet d'atteindre les objectifs, mais leur combinaison tel que préconise les MHEA®, offre d'excellents résultats.

4.2. EXEMPLE DE GESTION NATIONALE DES EAUX USEES PAR LE PROCESSUS MHEA®.

Vu les avantages qu'offrent les MHEA® en Belgique (Technique rustique, peu coûteuse etc.) Cf. Chapitre II. Nous restons très favorable à son transfert dans le contexte camerounais. En plus son transfert sous d'autres contraintes climatiques et socio-économiques est une véritable pièce à conviction.

Le Cameroun est un pays des zones tropicales et équatoriales où on retrouve une diversité d'écosystèmes naturels, ce qui représente déjà un atout pour cette option. Les connaissances acquises sur les capacités épuratoires des techniques, les principaux atouts et inconvénients de chacune d'elle sont connus (Cf. chapitre II). En plus, les résultats des MHEA® sous climat tempéré (Belgique), méditerranéen (Maroc), et sahélien (Sénégal) sont satisfaisants. Si les préalables sont respectés, une filière des MHEA® répondrait mieux aux exigences que posent la gestion des eaux usées au Cameroun.

Une série de huit actions sont des préalables au transfert de ce processus méthodologique. Les quatre premières exigent un engagement national du pays à résoudre les problèmes d'eaux usées, l'établissement d'un cadre institutionnel, la formation des cadres scientifiques formés à la méthode et un centre pilote d'expérimentation :

Action 6 : Education relative à la gestion intégrée des eaux usées

L'Etat doit renforcer ses capacités dans un circuit intégré de la gestion de l'eau par :

- ◆ les informations et la sensibilisation sur les risques sanitaires liés à l'eau ;
- ◆ la formation des techniciens (fonctionnaires) qui auront la charge de gérer les stations.

Action 1 : Des informations objectives

Un Centre expérimental de Recherche/Développement doit être mis en place, chargé de répertorier toutes les technologies rustiques extensives afin de recueillir toutes les informations relatives à leurs capacités épuratoires par comparaisons systématiques.

Action 2 : Optimisation de filière hiérarchisées MHEA® adaptées

Concevoir sur place une station du type MHEA®. Une fois le centre de recherche acquis, établir un cahier de charge de gestion technique de la station avec l'option de valorisation des sous-produits (boues et biomasse végétale).

Action 3 : Intégration technologique de la filière MHEA®

Une fois la première station opérationnelle terminée, conquérir d'autres espaces soit en station expérimentale dans le but de trouver une filière locale optimisée.

Action 7 : Evaluation socio-économique

Ce transfert reste un projet et doit se gérer comme tel. A tout moment un bilan de gestion doit être fait afin de savoir si oui ou non les objectifs visés sont atteints.

Action 4 : Développement du processus

IL s'agit ici de mettre sur pied des stations en grandeur réelle dans les zones de même caractéristiques climatiques, dans le pays ou ailleurs.

Action 5 : Applicabilité régionale

C'est la possibilité du pays de devenir un centre pilote de recherche en MHEA® pour tous ces qui partagent les mêmes contraintes climatiques, économiques, institutionnelles et socioculturelles.

Action 8 : Critique opérationnelle du programme

Afin de rendre son action crédible, les experts indépendants doivent pouvoir donner librement leurs points de vue sur les résultats des actions entreprises.

CONCLUSION GENERALE

La présente étude a porté sur une expérience de traitement des eaux usées domestiques et urbaines par voie naturelle. Le processus méthodologique des Mosaïques Hiérarchisées des Ecosystèmes Artificiels (MHEA®) est une technique rustique, encore mal appréciée par nous contemporains. Initiée dans un contexte climatique particulier, l'objet ici est d'étudier la possibilité de son adaptation dans le contexte Camerounais. Elle a toutefois témoigné des filières différentes dans les conceptions autres que celle de la Belgique.

Le stage de quatre mois passé à la station expérimentale de Viville (SEV) m'a permis de me familiariser avec ce processus. En tant que gestionnaire, je me suis intéressé essentiellement aux résultats techniques et au processus de transfert technologique sous climat tropical humide.

- Filière du processus méthodologique des MHEA® retenue à la SEV en Belgique

Elle est constituée d'écosystèmes reconstitués in situ (aquatique, semi aquatique et terrestre). Son emprise au sol est environ de $10 \text{ m}^2 \cdot \text{EH}^{-1}$ et le rendement est de 98% de rétention de MES, 95% de matières organiques, 95% d'azote, de phosphore et est excellente en désinfection.

- Filière du processus méthodologique des MHEA® au Maroc.

Elle a été mise en place en 1996 au Centre Expérimental MHEA® de M'Diq au Maroc, avec des écosystèmes locaux, l'emprise nette au sol est égale à $2,3 \text{ m}^2 \cdot \text{EH}^{-1}$ ($1 \text{ EH} = 70 \text{ l} \cdot \text{J}^{-1}$), on est arrivé à reconstituer dans ces conditions une filière sous climat méditerranéen. En moyenne annuelle, l'eau sortie du niveau II respecte la norme européenne de rejet ($125 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ pour la DCO et $25 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ pour la DBO_5). Le deuxième niveau (l'écosystème à Arundo) présente une rétention de 85 % d'azote et 97 % de phosphore. En désinfection, Les écosystèmes terrestres sont plus efficaces et permettent un abattement par niveau de 2 à 4 puissances de 10 pour les CF et pour les SF (Didier Cadelli, et al, 2000);

- Filière du processus méthodologique des MHEA® au Sénégal.

Mise en œuvre depuis 1993, à Cambérène à Dakar, l'emprise du sol est de $1,7 \text{ m}^2 \cdot \text{EH}^{-1}$. Le processus méthodologique est presque idem au précédent et les résultats ont été satisfaisants dans toute la filière d'épuration (Mbaye Mbéguéré et Bécaye Sidy D., 2002) ;

- Etat des lieux au Cameroun

Douala est aujourd'hui peuplée d'environ 2 millions d'habitants. Située sur l'estuaire du Wouri, la ville reçoit annuellement 4200 mm de pluie, sa température moyenne est assez élevée

(27°C) et son taux d'humidité relative de 80%, lui confère une vulnérabilité particulière. Cette situation contraste avec ces activités économiques, les structures de communication et d'assainissement. Tous ces problèmes contribuent ainsi à la mauvaise santé de sa population : 50% d'affection chez les patients seraient liées à la consommation de l'eau contaminée, et les enfants constitueraient les principales victimes. Si la quasi-totalité des stations qui s'y trouvent est en état de dysfonctionnement, l'alerte est donc donnée par la prévalence des maladies, la fréquence des inondations ; il faut agir vite pour réduire les victimes potentielles.

Toutefois certaines inquiétudes rendent encore les usagers septiques ; la question de disponibilité de l'espace d'installation pour ce type d'équipement, et le risque de prolifération des moustiques. D'une part, la densité de la population de nos villes rend difficile l'installation d'équipement en milieu urbain (le plan d'occupation du sol n'ayant pas tenu compte cette situation). Toutes les installations de stations d'épuration (intensives ou extensives), sont malheureusement obligées d'être ramenées en zones périurbaines où il y a plus d'espace.

D'autre part, à la présence de l'anophèle et des hôtes intermédiaires des schistosomes (responsables des bilharzioses intestinales et urinaires) peut être résolu. Selon A. Klutsé 1995, le développement des larves de moustiques dans les bassins est conditionné par la présence des macrophytes donc le rôle est double. Ces macrophytes créaient de l'ombrage dans les bassins, servent de support pour les moustiques adultes qui pondent et pour les jeunes issus des nymphes avant leurs premiers vols. Mais l'identification d'une espèce de poisson larvivore de la famille des *Poecelidae*, plus précisément les *Poecelia reticulata* (petits poissons de 2 à 3 cm de long), constituerait une réponse écologiquement efficace à ce problème.

Cette étude nous a permis de constater que la gestion des eaux usées et le mode de décision suppose la prise en compte de l'éco technologie, de l'efficacité énergétique, du pouvoir institutionnel et des populations concernées. C'est le but auquel nous proposons de contribuer par ce travail. Les différentes étapes abordées avec méthode, rigueur, mais aussi avec bon sens ont permis de construire une démarche décisionnelle aussi lisible que possible. Les MHEA® ont l'avantage d'être moins coûteux en installation, en entretien et respectent les normes européennes de rejet des eaux usées en vigueur. Au regard de ces informations, quelle leçon pour le Cameroun ?

L'adaptation du processus méthodologique en vue de définir une filière des MHEA® compatible aux contextes climatique, socio économique et politique pour Douala au Cameroun est possible eu égard aux résultats obtenus à la SEV, et en référence à tout ce qui précède. Malgré les résultats et autres considérations techniques, ce transfert ne pourra s'effectuer de façon durable que si certaines conditions sont prises en compte, nous pensons notamment à :

- ◆ une évaluation des effets directs et indirects, temporels et permanents de ce projet sur l'environnement
- ◆ une volonté politique nationale en matière de lutte contre la pauvreté et la protection de la santé publique ;
- ◆ une définition d'un cadre institutionnel et réglementaire ;
- ◆ une programmation des ateliers de formation des techniciens à la maîtrise de la méthode ;
- ◆ une sensibilisation des populations locales ;
- ◆ une implication effective des populations à la gestion des eaux usées et à l'assainissement.

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aaron S. Neba, (1987), *Géographie moderne de la république du Cameroun* ; 2ème éditions Neba. Cadem, New Jersey, 211p.
- Bécaye Sidy D., (2002), *Les écosystèmes aquatiques et semi aquatiques dans l'épuration des eaux usées domestiques et urbaines par les MHEA en Afrique tropicale sèche*. Thèse de 3^{ème} cycle, Institut des sciences de l'environnement, Université Cheikh Anta Diop de .Dakar-Sénégal. 177p.
- Bodart P. (1988), *L'eau dans le Nordeste du Brésil : Etudes de cas*. Du programme solidarité eau (pS-Eau).
- Bontoux J. (1993), *Introduction à l'étude des eaux douces : eaux naturelles, eaux usées, eaux de boisson, qualité et santé*. 2è édition CEBEDOC sprl, Liège. 169 p.
- Cadelli D., et al, (2000). *Optimization of extensive wastewater treatment system under Mediterranean condition (MOROCCO): compared purification efficiency of artificial ecosystems*. Article
- CEREVE-EIER, (2002), *Valorisation des eaux usées par lagunage dans les pays en voie de développement : Etude des cas du Burkina Faso, Cameroun, Cote d'Ivoire, Ghana, Niger et Sénégal*. Rapport scientifique du volet Action de recherche sur le thème : Programme solidarité Eau (pS-Eau). Groupe EIER-ETSHER Ouagadougou.
- C.I.EAU, (2003), *Assainissement : les traitements des eaux usées*, Centre d'information sur l'eau ; catalogue publicitaire, 28 p.
- Coste C. et Loudet M., (1987), *L'assainissement en milieu urbain ou rural. Les réseaux et les ouvrages de retenue* ; Tome 1, édition le Moniteur, Paris. 239 p.
- Coste C. et Loudet M., (1987), *L'assainissement en milieu urbain ou rural. L'épuration et les traitements* ; Tome 2, édition le Moniteur, Paris. 271p.
- CUD, (2001), *prestations de maîtrise d'œuvre pour une tranche prioritaire de travaux*, Schéma directeur d'aménagement urbain révisé, Communauté Urbaine de Douala. 32 p.
- F. Edeline, (2001), *Le pouvoir autoépuration des rivières*. CEBEDOC. Liège, Lavoisier TEC&DOC, Paris. 239p.
- F. Edeline, (1992), *L'épuration biologique des eaux : Théorie & technologie des réacteurs* CEBEDOC. Liège, Lavoisier TEC&DOC, Paris. 303p.
- François G. Brière, (1994), *Distribution et collecte des eaux* P 281-282.

- IEPF, (2003). *Le financement du développement durable*. Liaison francophone (LEF) ; N° 60- 3è Trimestre 2003, 86 p.
- Guy Neuvy, (1991). *L'homme et l'eau dans le domaine tropical*. Masson, Paris. 227p.
- GIEC, 2001 ; *L'Avenir de l'Environnement en Afrique*, Programme des Nations Unies pour l'Environnement. P181.
- Lavigne D., Jean-charles, (1994), *Dépolluer les eaux pluviales: contribution à l'élaboration d'une Stratégie*, collection OTV. Liguge Poitiers France. 349 p.
- M. Avargues et al, (1971). *Précis général des nuisances : Nuisances dues aux activités industrielles*. Guy Le Prai Paris VIè, p 27 – 74.
- Mbaye M., (2002), *Traitement des eaux usées domestiques et urbaines par voie naturelle sous climat tropical : études des performances épuratoires de cinq écosystèmes artificiels terrestres au sein des Mosaïques Hiérarchisées d'écosystèmes Artificiels*. Thèse de 3^{ème} cycle, Institut des sciences de l'environnement, Université Cheikh Anta Diop de Dakar-Sénégal. 175p.
- MINEF, (1996), *Plan de gestion de l'environnement au Cameroun Yaoundé* ; Ministère de l'économie et des finances du Cameroun. Volume ¼ 158 p.
- MINUH, (1983), *Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisation de Douala : Structuration – Occupation de l'Espace*, Annexe n°2 , ministère de l'urbanisme et de l'habitat, Direction de l'urbanisme, 219 p.
- O.Thomas, (1995), *Métriologie des eaux résiduaires, Analyse microbiologique*, P 80 - 129.
- ONGA-NANA, (1995), *Décentralisation et aménagement urbain intégré: contribution à une nouvelle approche de l'urbanisation au Cameroun*, Avant projet de thèse, p 171.
- ONU, (2001), *L'eau, ressource essentielle du développement durable*, rapport du secrétaire général du conseil économique et social de l'ONU. Comité préparatoire du sommet mondial du développement durable, 9 p.
- PDL, (1986), *Rapport de justification et de mise en œuvre*. Plan Directeur Local de la zone Douala Est, ministère de l'urbanisme et de l'habitat, Direction de l'urbanisme, 116 p.
- Radoux Michel, (2004-a), *Qualité et traitement des eaux, 1ère partie : les eaux et la pollution, notes de cours* ; note de cours Université Senghor d'Alexandrie, 133 p.
- Radoux Michel, (2004-c), *Qualité et traitement des eaux, 2ème partie : l'épuration des eaux*; notes de cours Université Senghor d'Alexandrie, 89 p.
- Radoux Michel, (2004-b), *Qualité et traitement des eaux, 3ème partie : l'adaptation des technologies*, notes de cours ; Université Senghor d'Alexandrie, 59 p.

- Radoux M., Didier C., Marie N., Abdeslam E., Jamila E., (2000), *Optimisation des technologies extensives d'épuration sous climat méditerranéen : efficacité comparée de différents écosystèmes artificiels*. Centre Expérimental MHEA® de M'Diq, Maroc. Rapport de protocole, 17p.
- Radoux M., (1997), Appropriation et optimisation des technologies alternatives d'épuration: les Mosaïques Hiérarchisées d'Ecosystèmes Artificiels. In : *Atelier de lancement de la stratégie de l'assainissement au Sénégal*, p 32-37.
- Radoux, M., Nemcova, M., Cadelli, D., (2002), *Epuration et réutilisation des eaux usées domestiques et urbaines dans les régions en développement*. Actes Coll. Intern. "Francophonie et Développement Durable", Dakar, Sénégal.
- Simo A., et al, (1988), *L'épuration biologique des eaux usées domestiques par hydro culture des plantes aquatiques*. (Station de Ronde Adjia, Garoua-Cameroun). Rapport de la convention MAETUR-IRGM, p 1-33.
- Tanawa E. et Ngnikam E., (2004), *Programme « Gestion Durable des déchets et de l'assainissement urbain » Comment aller plus loin dans le cas du Cameroun*, 123 p.
- Valeron François, (1991). *Manuel d'assainissement spécifique pour les pays à faibles revenus*, Agence de coopération culturelle et technique, Presses universitaires de France. P 1-134.
- WJ, Masschelein, (1996), *Processus unitaires du traitement de l'eau potable* : traduction de Y, Azzout et al, 1994. *Technique alternatives en assainissement pluvial: choix, conception, réalisation et entretien*. L'américain par H. Chevolet. P 24-88.
- Wéthé Joseph, (1999), *Urbanisation et protection de la ressource en eau: approche par les systèmes d'informations géographiques SIG appliqués à Yaoundé Cameroun*. Mémoire de fin d'études de 3^{ème} cycle, option Gestion de l'environnement. Université Senghor d'Alexandrie (Egypte).
- 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 – La revue en sciences de l'environnement, vol4, N°1, 24 p.
- W.W. Ekenfelder, (1982). *Gestion des eaux usées urbaines et industrielles : caractérisation - technique d'épuration - aspect économiques*, Lavoisier Technique & Document p1-187.
- Y. Azzout et al, (1994), *Techniques, Alternatives en assainissement pluvial : choix, conception réalisation et entretien*. Lavoisier TEC & DOC, 371 p.
- [www.http://europa.eu.int](http://europa.eu.int). *Procédés extensives des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités*, consulté le 23 Juillet 2004. 41p.
- www.who.int/water_sanitation_health. *Journée mondiale de l'eau: Eau et catastrophe; le rôle de l'organisation mondiale de la santé*, consulté le 15 janvier 2005.

TABLE DES TABLEAUX, SCHEMAS, FIGURES ET CARTES

1. LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Synthèse de Caractérisation d'une eau usée domestique.....	12
Tableau 2 : Concentration des polluants en fonction des zones.....	13
Tableau 3 : Variation de la production des eaux usées dans les localités.....	16
Tableau 4 : Critères de conformité des eaux de baignade.....	18
Tableau 5 : Synthèse des prescriptions relatives aux rejets provenant des stations d'épuration des eaux usées urbaines résiduaire.....	19
Tableau 6-1 & 6-2 : Valeurs de la concentration ou pourcentage de réduction de l'azote et du phosphore (Commission européenne, 2001).....	19
Tableau 7 : Modes de traitement des eaux usées.....	20
Tableau 8 : Rendement d'une station expérimentale.....	27
Tableau 9 : Principaux types d'écosystèmes artificiels.....	34
Tableau 10 : Zones naturelles humides/Techniques extensives d'épuration.....	35
Tableau 11 : Répartition mensuelle moyenne de précipitation.....	44
TABLEAU 12 : Les maladies d'origine hydrique à Douala.....	54

2. LISTE DES SCHEMAS

Schéma 1 : Le lagunage à microphytes aérobie.....	24
Schéma 2 : Le lagunage à microphytes anaérobie.....	25
Schéma 3 : lagunages à macrophytes.....	25
Schéma 4 : Les bassins à hydrophytes flottants.....	26
Schéma 5 : Les bassins à rhizophytes fixés.....	27
Schéma 6 : Le système LELYSTAD.....	28
Schéma 7 : Le système KICKUTH.....	29
Schéma 8 : Le système SEIDEL.....	29
Schéma 9 : L'épandage souterrain/Plantation absorbant.....	30
Schéma 10 : L'épandage en plantation ligneuse.....	31
Schéma 11 Schéma de principe de la filière MHEA® sous climat tempéré.....	40

3. LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Comparaison systématique et Optimisation progressive.....	37
Figure 2-a & b : Rendements en épuration primaire, secondaire et tertiaire de deux <i>MHEA</i> ® Optimisées en 1989 et en 1993.....	38
Figure. 3 : Histogramme d'évolution de la population de la ville de Douala de 1950 à 2015.....	46

4. LISTE DES CARTES

Carte 1 : carte de Présentation du Cameroun en Afrique.....	42
Carte 2 : Carte d'Urbanisation de la ville de Douala.....	45
Carte 3 : Carte de répartition des quartiers dans la ville de Douala.....	47

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

GLOSSAIRE

Agglomération : Zone dans laquelle la population et/ou les activités économiques sont suffisamment concentrées pour qu'il soit possible de collecter les eaux urbaines résiduaires pour les acheminer vers une station d'épuration ou un point de rejet final.

Biomasse : c'est une quantité déterminée de matière vivante pour un milieu donné et défini dans l'espace et le temps.

Biocénose : association d'êtres vivants déterminés dans sa composition et dans sa physionomie par les propriétés du milieu et par les relations d'existence des êtres entre eux.

Biotope : ensemble constitué d'habitat d'une biomasse et par les conditions qui y règnent.

Biodégradabilité : décomposition d'un corps par la seule action des bactéries des polluants organiques.

Chaîne alimentaire : succession de niveaux trophiques compris dans d'un écosystèmes.

Consommateurs : organismes hétérotrophes subdivisés en consommateurs de premier, second, troisième ordre, l'homme étant l'ultime consommateur.

Décomposeurs : terme final de la chaîne alimentaire, ils regroupent les micro-organismes saprophytes (bactéries et champignons).

Eaux industrielles usées : Toutes les eaux usées provenant des locaux utilisés à des fins commerciales ou industrielles autres que les eaux ménagères et les eaux de ruissellement.

Eaux usées ménagères : Eaux usées ménagères provenant des établissements et services résidentiels et produites essentiellement par le métabolisme humain et les activités ménagères.

Eaux urbaines résiduaires : Eaux de ménages usées ou mélange des eaux ménagères avec les eaux industrielles usées et/ou les eaux de ruissellement.

Ecosystème : unité environnementale incluant des espèces végétales et animales ainsi que des composants physiques et chimiques. (F.Edeline, 2001).

Equivalent habitant (EH): Charges organiques biodégradables ayant une demande biochimique d'oxygène par jour.

Eutrophisation : Enrichissement de l'eau en éléments nutritifs, notamment des composés de l'azote et/ou du phosphore, provoquant un développement accéléré des algues et des végétaux d'espèces supérieures qui entraîne une perturbation indésirable de l'équilibre des organismes présents dans l'eau et une dégradation de la qualité de l'eau en question. **Ecosystème** : système stable formé par l'interaction de la biocénose et du biotope.

Fosse septique : c'est un appareil destiné à la collecte, à la liquéfaction partielle des matières polluantes contenues dans les eaux et à la rétention des matières solides et des déchets flottants.

Matière en suspension (MES) : Ensemble des particules minérales et/ou organiques présentes dans une eau naturelle ou polluée.

Producteurs : ce sont des éléments d'un écosystème donc les rôles essentiels sont de fabriquer et d'accumuler l'énergie potentielle sous forme chimique dans les matières organiques qu'ils synthétisent à partir des éléments minéraux et de l'énergie solaire. Ils sont autotrophes et sont constitués par les plantes, le phytoplancton et les bactéries.

Ph: Indice exprimant l'activité (ou la concentration) de l'ion hydrogène dans une solution, à l'aide d'une échelle logarithmique. Si le ph est inférieur à 7, la solution est acide; s'il est supérieur, elle est alcaline.

Plancton : ensemble des organismes en suspension dans l'eau. On distingue un Zoo- et un PHYTO-plancton. On établit également des distinctions en fonction de la taille. (F.Edeline, 2001)

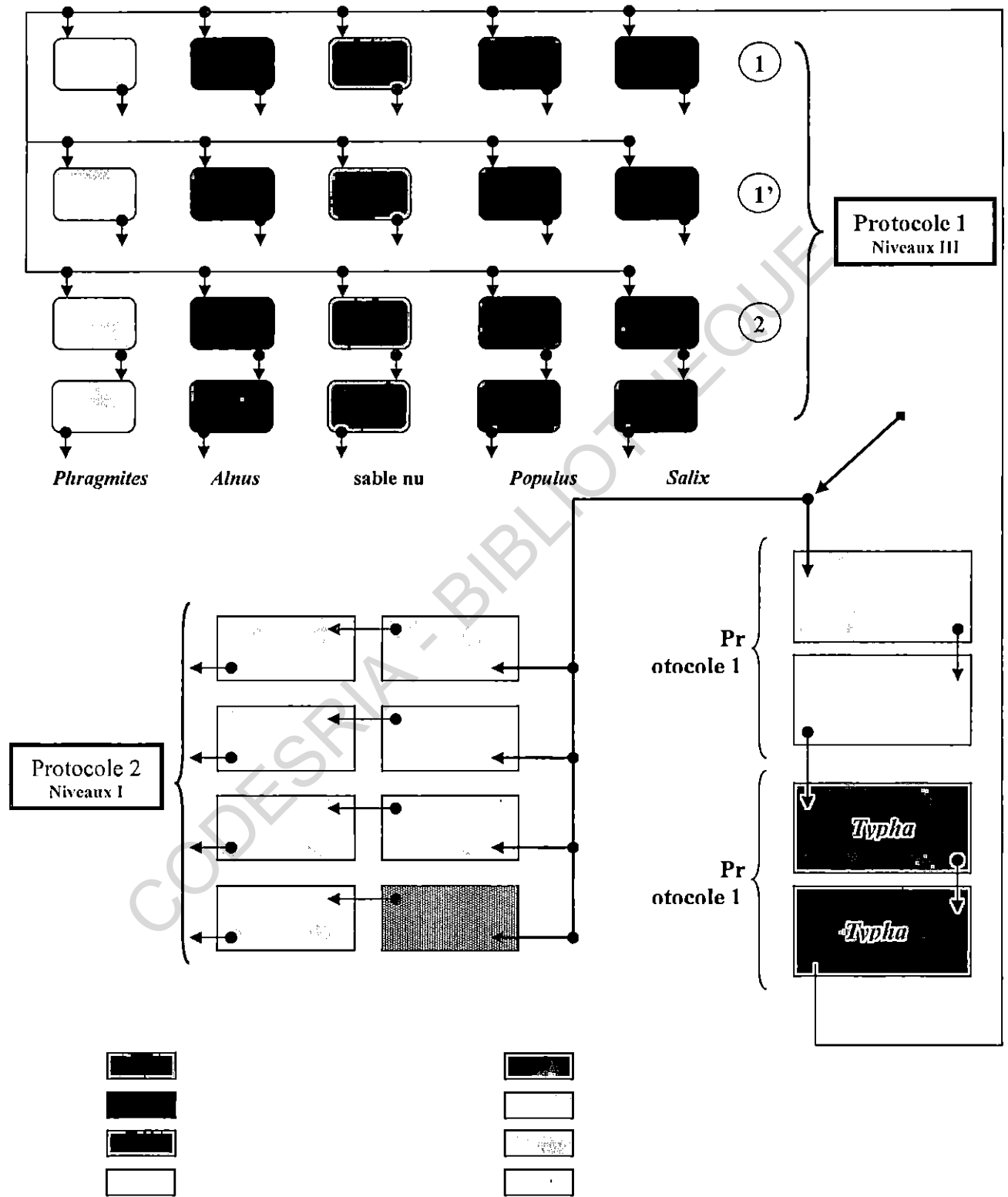
Taux d'accroissement naturel: taux auquel une population augmente sous l'effet de l'excédent des naissances sur les décès.

Traitement approprié : Selon cette Directive, il s'agit "de traiter les eaux urbaines résiduaires par tout procédé et/ou système d'évacuation qui permettent, pour les eaux réceptrices des rejets, de respecter les objectifs de qualité retenus et de répondre aux dispositions pertinentes de la présente directive et d'autres directives communautaires".

Zone sensible : Il s'agit ici des espaces où les eaux naturelles pourraient devenir eutrophes par des apports excédentaires en azote et en phosphore (eaux usées insuffisamment traitées par exemple) ou devenir incompatibles avec les usages que l'on attendait d'elles (qualité piscicole, exigences vis-à-vis du tourisme lié à l'eau, zones de captage destinées à la production d'eau alimentaire etc.).

ANNEXES

Annexe 1. Schéma d'installation à la SEV



Annexe 2 :

Principes de base Souplesse d'implantation - Intégration au paysage

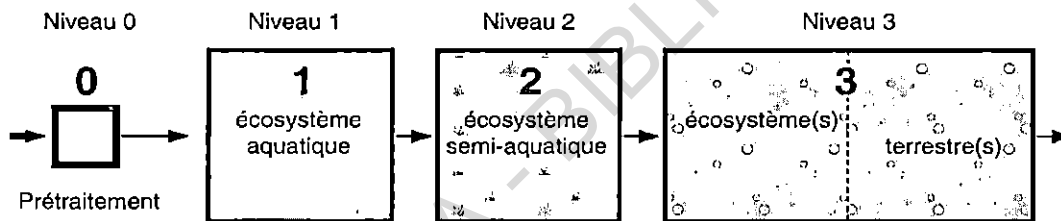
1. Présentation sous climat tempéré humide

DIFFUSION
RESTREINTE

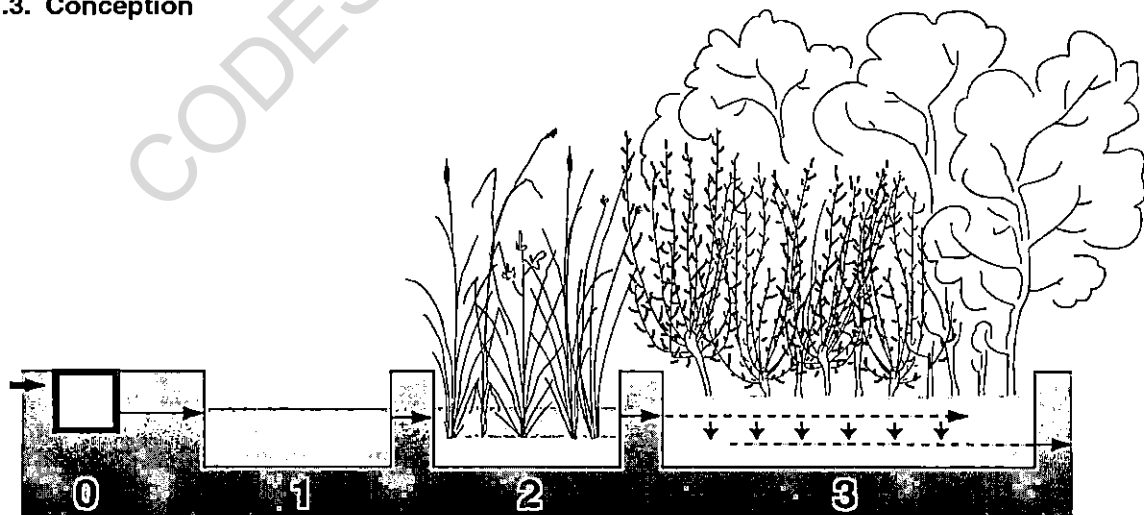
1.1. Principe

Ecosystèmes	à microphytes		à macrophytes	
	bactéries-algues	végétaux herbacés	végétaux ligneux	
Surface	25 %	25 %	50 %	

1.2. Structure



1.3. Conception



Annexe 3

TABLEAU DES PRINCIPALES MALADIES TRANSMISES A L'HOMME PAR LES EAUX POTABLES CONTAMINEES ET LES EAUX SOUILLEES

Maladie	Type d'organisme pathogène responsable	Répartition de la maladie	Principaux modes de transmission à l'homme	Principaux moyens de protection	Réservoir de l'organisme pathogène infectieux
Choléra	bactérie	mondiale	Eaux et aliments contaminés par les matières fécales ; eaux d'égouts	Vaccin peu efficace ; ébullition ou désinfection de l'eau de consommation ; non consommation des légumes crus	homme
Hépatite virale « A »	virus	mondiale	Contact avec les eaux d'égouts ; voie fécale orale	Injection de la gammaglobuline	homme
Fièvre typhoïde	bactérie	mondiale	Eaux et aliments contaminés par les eaux d'égouts ; coquillages	Vaccination : ébullition ou désinfection des eaux de consommation ; pasteurisation des produits laitiers	homme
Fièvre paratyphoïde	bactérie	mondiale	Eaux et aliments contaminés par les eaux d'égouts ; coquillages	ébullition ou désinfection des eaux de consommation ; pasteurisation des produits laitiers	homme
Tétanos	bactérie	mondiale	Spore de bactérie introduite par de la terre, de la rouille, etc. dans une plaie ; contact avec les eaux d'égouts ; injection avec les aiguilles contaminées	vaccination	Homme, animaux, sols
Giardiase	protozoaire	mondiale	Eaux et aliments contaminés par les eaux d'égouts et les matières fécales orale	Filtration de l'eau de consommation ; hygiène	Homme, animaux.
Dysenterie	amibe	mondiale	Eaux de consommation contaminés par les eaux d'égouts ; viande contaminée par des matières fécales ; voie fécale orale	Traitement de l'eau de consommation par filtration et désinfection ; hygiène	Homme, animaux.
Balantidiase	protozoaire	mondiale	Contact physique avec la larve du ver présent dans l'eau	Hygiène ; cuisson des aliments ; ébullition de l'eau ; traitement de l'eau, filtration	porc

			douce contaminée	comprise	
Bilharziose	ver	Afrique Amérique du Sud ; Antilles	Eaux, aliments et objets contaminés ; voie fécale orale ; contacts avec des animaux	Pas de baignade ; port de bottes et de gants par les travailleurs	homme
Diarrhées infectieuses	Divers bactéries	Mondiale ; surtout dans les pays chauds où l'hygiène laisse à désirer	Eaux et aliments contaminés par les eaux d'égouts et les coquillages	Hygiène ; désinfection de l'eau ; cuisson des aliments ; pasteurisation des produits laitiers	Homme et animaux (porc, bovins, moutons, volailles, chats, chiens, etc.)
Maladies des légiionnaires (légionellose)	bactérie	mondiale	Respiration de gouttelettes d'eau contaminée	désinfection	Eau (chaude surtout)
Cryptosporidiose	parasite	mondiale	Voie fécale orale ; eaux de consommation contaminées par les eaux d'égouts	Filtration de l'eau de consommation ; hygiène	Homme, animaux domestiques et sauvages

(François G. Brière, 1994).

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

Annexe 4 : Actions à mener pour la mise en place durable des MHEA®

Action 1 Information objective sur place par comparaison systématique de toutes les grandes catégories de technologies naturelles existantes en centre expérimental de Recherche/Développement.

Action 2 Optimisation continue de filières hiérarchisées *MHEA*® adaptées en centre expérimental de Recherche/Développement, soit:

- la conception sur place des stations *MHEA*®.
- la mise au point de leur gestion technique.
- l'évaluation de possibilités de valorisation des eaux traitées.

Action 3. Intégration technologique des filières *MHEA*®, soit la construction et la mise en route d'une ou de plusieurs stations pilotes en grandeur réelle, gérées par la collectivité locale, elle-même conseillée et suivie par l'équipe scientifique.

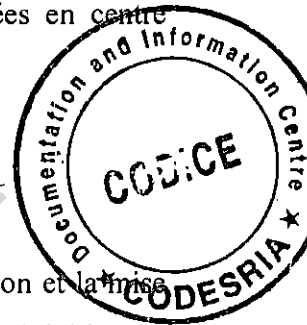
Action 4 Développement du processus, soit la multiplication de stations d'épuration appliquant les filières d'épuration *MHEA*® retenues, en grandeur réelle et dans la zone d'applicabilité (pays lui même et régions assimilables).

N.B: La concrétisation utile de ces quatre premières actions impose un certain nombre de préalable dont principalement:

- Une volonté politique nationale officielle, affirmant clairement les intentions de l'Etat en matière d'épuration des eaux usées urbaines par les technologies naturelles,
- Un cadre institutionnel bien défini sur place en matière de gestion des eaux usées,
- Une équipe scientifique et technique locale préalablement formée à la méthodologie *MHEA*®,
- Un centre expérimental local de Recherche/Développement et ses équipements techniques pour accueillir cette équipe.

Action 5 Applicabilité régionale, soit 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, collectivités locales, aux technologies alternatives classiques.

Action 6 Education relative à la gestion intégrée des eaux usées, soit les deux volets traditionnels concernant d'une part, l'information et la formation des scientifiques, des techniciens, des fonctionnaires responsables et des futures gestionnaires et d'autre part, la sensibilisation des collectivités locales bénéficiaires et du grand public.



Cette action est destinée à renforcer les capacités nationales de l'ensemble des intervenants en gestion intégrée du cycle de l'eau.

Action 7 Evaluation socio-économique, soit le volet destiné à établir le bilan financier, économique, social, sanitaire, écologique, de l'installation des filières 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.

(Michel Radoux, 2003).

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE