



Boraye MONODJI.

GESTION INTEGRÉE DES EAUX USÉES URBAINES
DANS LA ZONE SOUDANO-SAHÉLIENNE DU TCHAD :
Quelle Technologie d'Épuration Adaptée pour la ville de
N'djaména

Mémoire présenté
à l'université internationale de langue française au service
du développement africain

Université Senghor

pour l'obtention de Master en Développement

Département : Environnement
Spécialité : Gestion de l'environnement

Soutenu le 24 avril 2007 devant le jury international composé de :

- Docteur Marcel BAGLO** (Administration territoriale du Benin) : Président,
- Professeur Jean Pierre REVERET** (Ecole des sciences de la gestion l'UQAM, Montréal) : membre
- Dr Caroline GALLEZ** (Directrice du département environnement, Université Senghor) : membre

Alexandrie, Égypte
2007

RESUMÉ

Le développement urbain en Afrique reste une préoccupation majeure. Aux horizons de l'an 2000, les statistiques prévoient que plus de 50% de la population mondiale vivront dans des centres urbains. Comme conséquence, la pollution des eaux inhérente à la vie s'accroît et les écosystèmes dont dépend le bien-être des populations ne cessent de se dégrader.

Ainsi la collecte, l'évacuation, le traitement et la récupération des eaux usées, essentiellement dans les zones soudano-sahéliennes d'Afrique où la ressource hydrique à la limite de suffisance, sont indispensables pour l'amélioration de l'hygiène publique et la conservation des ressources naturelles, en somme pour le maintien des aménités de l'environnement dans le cadre du développement durable est une vision espérable.

Les technologies d'épuration des eaux usées urbaines et les normes de qualité de rejet marquent une évolution de certaines des filières d'épuration. La diversité des technologies permet de mesurer l'ampleur de la problématique des eaux usées. Il convient de rappeler que les techniques sont un moyen de résoudre des problèmes et, qu'elles n'ont guère de valeur si elles sont séparées de leurs contextes socio-économique et environnemental.

De ce fait, les procédés de traitement doivent être en congruence avec l'agrément des communautés concernées et avec leurs moyens. C'est dans cette optique que l'étude présente nous amène à réfléchir sur le choix des technologies fiables et efficaces adaptables en zone soudano-sahélienne de l'Afrique par ricocher au Tchad et plus particulièrement à N'Djaména. Alors parmi les techniques extensives d'épurations des eaux usées urbaines, la perspective de la technologie de la « Mosaïque Hiérarchisée d'Ecosystèmes Artificiels » ou « M.H.E.A » expérimentée à la Station Expérimentale de Viville (S.E.V) à l'Arlon en Belgique dans les mêmes conditions climatiques et d'alimentations en eaux usées réalise parfaitement toutes les étapes d'épuration et surtout les traitements tertiaire et quaternaire qui respectent les exigences les plus sévères des normes CEE (Communauté Economique Européenne).

Pour l'heure il y a urgence en la demeure, peut-être, la technologie M.H.E.A de Radoux nécessite encore du temps, alors que N'Djaména ville-capitale du Tchad déjà millionnaire en habitants et ne disposant pas de station d'épuration effective, mérite d'adopter la technique d'épuration avec *Pistia stratiote* du Cameroun qui réussit bien car cette plante se développe dans les mares de N'Djaména. Dans ce souci, nous avons à l'aide d'un SIG judicieusement identifié un site pilote.

TABLE DE MATIERES

RESUMÉ.....	I
LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES.....	II
SIGLES ET ABRÉVIATIONS.....	III
AVANT PROPOS.....	IV
DEDICACE.....	V
REMERCIEMENTS.....	VI
CHAPITRE. 1 CARACTÉRISTIQUES DU TCHAD.....	4
1.1.1 Situation géographique.....	4
1.2.1- Évolution récente de la situation politique et administrative	7
1.2.2- Évolution économique récente	7
1.2.3- Situation démographique.....	9
1.2.4- Situation sanitaire.....	10
1.2.5- Politique de Population	11
4.6.2. But.....	67
4.6.3. Outils de la géomatique.....	68
4.6.3.2. Télédétection.....	69
4.6.4 Domaines d'application.....	70
4.6.4.1. Premiers champs d'application.....	70
4.6.4.1.1 Géomatique en santé publique.....	71
1- ouvrages généraux	I
1- Ouvrages en lien avec le phénomène urbain, l'épuration des eaux usées, etc.	I
Radoux, M., (1986c) : Epuration des eaux usées domestiques par hydrosère reconstituée sous climat tempéré. Hypothèses d'application sous climat sahélien. Dans : Epuration des eaux usées par « mosaïque hiérarchisée d'écosystèmes artificiels ». FUL, Arlon-Belgique, 1992.....	II
Radoux, M.,(1992) : Qualité et traitement des eaux ? Cours I.S.E. Dakar, Sénégal. 327p.....	II
3- Ouvrages sur N'Djaména et le Tchad	II

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

Cartes

Carte n° 1: Présentation bioclimatique du Tchad.....	14
Carte n°2: Présentant la zone tampon de 1 km au tour des points très contaminés.....	76
Carte n°3: Croissance spatiale de Fort-Lamy / N'Djaména.....	78
Carte n°4 : Pédologie de N'Djaména.....	88
Carte n° 1: Proposition d'identification d'un site pilote pour les quartiers Moursal.....	90

Tableaux

TABLEAU 1: LES POLLUANTS DES EAUX ET LEURS ASPECTS.....	19
TABLEAU 2: SYSTÈME DES EXPÉRIENCES DES STATIONS DES ZONES SOUDANO-SAHÉLIENNES DE L'AFRIQUE.....	44
TABLEAU 3: ANALYSE DE FORCES ET FAIBLESSES DES STATIONS DES ZONES SOUDANO-SAHÉLIENNES EN AFRIQUE CENTRALE ET DE L'OUEST.....	45
TABLEAU 4: AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES TECHNIQUES EXTENSIVES.....	53

TABLEAU 5: SYSTÈMES HYBRIDES.....	66
TABLEAU 6: DOMAINES D'APPLICATION DE LA GÉOMATIQUE EN MILIEUX URBAINS.....	70
TABLEAU 7: QUATRE SITES LES PLUS CONTAMINÉS.....	75
TABLEAU 8: EVOLUTION COMPARÉE DE LA POPULATION ET DE LA SURFACE URBANISÉE DE 1950-1993.....	85
TABLEAU 9: ÉVOLUTION EN HECTARES DE LA RÉPARTITION DES TERRAINS URBANISÉS SUR LA PÉRIODE DE 1991 – 1999.....	85

Figures

FIGURE 1: TAUX DE COUVERTURE D'ASSAINISSEMENT EN AFRIQUE, 1999 ET 2000.....	15
FIGURE 2: DIFFÉRENTS TYPES ET STADE D'ÉPURATION DES EAUX USÉES.....	26
FIGURE 3: COUPE TRANSVERSALE D'UN FILTRE PLANTÉ À ÉCOULEMENT HORIZONTAL.....	31
FIGURE 4: SCHÉMA D'UNE STATION DE LAGUNAGE À MICROPHYTES ET MACROPHYTES.....	35
FIGURE 5: EXEMPLE D'UNE HIÉRARCHISATION D'ECOSYSTÈMES ARTIFICIELS (TYPE RADOUX).....	58
FIGURE 6: LA STATION DE VIVILLE À ARLON.....	59
FIGURE 7: SCHÉMA GÉNÉRAL DES CINQ CASCADES EXPÉRIMENTALES.....	59
FIGURE 8: SCHÉMA DES CINQ CASCADES EXPÉRIMENTALES MONTRANT LA LOCALISATION DES DIFFÉRENTES PLANTATIONS.....	60
FIGURE 9: COURBE D'ÉVOLUTION DE LA POPULATION DE N'DJAMÉNA DE 1921 À 2010.....	82
FIGURE 10: CANALISATION DES EAUX USÉES ET PLUVIALES DIRECTEMENT DANS LE CHARI.....	87
FIGURE 11: LOCALISATION D'UN SITE PILOTE.....	91

SIGLES ET ABRÉVIATIONS

CEE : Communauté Economique Européenne.

C.F.: Coliformes Fécaux.

- D.B.O₅:** Demande Biochimique en d'Oxygène en cinq jours.
- D.C.O.:** Demande Chimique d'Oxygène.
- DIEPA :** Décennie Internationale de l'eau Potable et de l'Assainissement.
- ECOSIT :** Enquête sur la Consommation et le Secteur Informel au Tchad.
- EDST :** Enquête Démographique et de Santé au Tchad
- E.H.:** Equivalent – Habitant.
- M.H.E.A. :** Mosaïques Hiérarchisées d'Ecosystèmes Aquatiques.
- M.E.S. :** Matières En Suspension.
- Nt :** Azote total.
- OMS :** Organisation Mondiale de la Santé.
- PADUR :** Projet d'Appui au Développement Urbain.
- PNP :** Plan National de Population.
- Pt:** Phosphore total.
- R.G.P.H.:** Recensement Général de la Population et de l'Habitat.
- S.F.:** Streptocoques Fécaux.
- S.I.G.:** Système d'Information Géographique.
- S.T.E.E. :** Société Tchadienne d'Eau et d'Electricité.

AVANT PROPOS

L'idée de la réalisation d'orientation vers la gestion des eaux usées urbaines a été conçue dans le cadre de notre programme de formation et pour l'obtention d'un Master avec comme option Gestion de l'Environnement.

L'étude des questions relatives à l'impact des eaux usées s'est considérablement accrue ces dernières années en raison des conséquences généralement négatives sur l'environnement et le développement soutenable.

L'analyse systématique de ces questions est moins avancée dans les pays en développement d'une manière générale et, beaucoup avancée dans les pays africains que d'autres pays du monde.

Il est alors judicieux de se mettre à l'œuvre sans tarder avec comme perspectives à court et moyen terme, la détermination d'une politique et d'une technique de gestion des eaux usées qui soient efficaces en vue d'un environnement sain, « viable » en tant que lubrifiant et promoteur d'un développement durable.

Le travail que nous présentons, à ce propos, n'a pas la prétention d'être parfait, car, les contraintes liées à ce domaine sont nombreuses et transversales. Cependant, il constitue une ébauche pour la connaissance et le choix des techniques extensives d'épuration des eaux usées urbaines qui, pensons-nous, sont les mieux adaptées actuellement dans les pays en développement.

DEDICACE

Pour avoir souffert pendant une trentaine d'années avec moi, je dédie ce travail :

A mon adorable et patiente mère qui tend vers ses 75ans et, je crains que le fruit de ce travail ne l'avantage guère car 'je passe le clair de mon temps à étudier. Je lui demande de ne pas se décourager car ses efforts et prières ne seront pas restés vains Je tiens à saluer la mémoire de mon père et de mon grand frère qui m'ont quitté prématurément.

Mes félicitations et encouragements

vont directement à l'endroit de mon fils Florent Monodji qui m'a tant manqué durant ces deux ans à Senghor. Ce garçonnet a déjà promis à son père et sa mère de suivre leur s pas. Que L'Éternel Dieu et le miséricorde exauce tes vœux en t'accorde une santé de fer et une longue vie.

A toute ma grande famille et tous ceux qui ont une bonne pensée pour moi durant ces deux années, Je vous témoigne toute ma reconnaissance'

Que le Allah vous bénisse

REMERCIEMENTS

La rédaction de ce mémoire a bénéficié du concours de plusieurs personnes à qui je tiens à témoigner toute ma reconnaissance.

Je voudrais tout d'abord remercier le Recteur de l'université SENGHOR, ma Directrice de département Madame Caroline GALLEZ et les membres du jury en les personnes de docteur Marcel BAGLO de docteur Jean-Pierre REVERRET et de docteur Caroline Gallez pour leurs conseils sans cesse prodigués à mon endroit. .

A Monsieur GOZE Bénie, mon encadreur de stage. Cher Bénie, je vous remercie pour toute l'assistance que vous n'avez cessé de m'apporter lors de mon séjour au Québec (Canada) et pour les différents conseils que vous m'avez donnés pour la rédaction de mon mémoire.

Je n'oublie pas également de témoigner à tous les doctorants du département géographie et télédétection de l'université de Sherbrooke pour tous leurs concours et aides pendant le temps que j'ai passé avec eux au laboratoire de télédétection.

Toute ma reconnaissance va à l'endroit de Mme Iman Fawzi, Secrétaire au département gestion de l'environnement pour sa disponibilité et sa sympathie en vers tous les auditeurs. Qu'elle trouve ici toute mon admiration.

A tout le personnel technique et administratif de l'université, je tiens à leur témoigner toutes mes reconnaissances pour tous ce qu'il a pu faire pour tous les étudiants durant notre séjour à Alexandrie.

Je ne saurai faire une liste exhaustive de tous ceux qui m'ont apporté un quelconque appui. Que tous trouvent ici, l'expression de ma profonde gratitude.

INTRODUCTION

Les villes africaines sont aujourd'hui soumises à de nombreux défis au rang desquels figure en bonne place le problème de l'assainissement urbain. En effet, elles sont confrontées à une urbanisation très anarchique qui dépasse la capacité de gestion et de maîtrise des autorités chargés d'assurer le bien-être auquel aspire le flot d'habitants arrivant pour la plupart des zones rurales. Des quantités de déchets solides et liquides sont ainsi produites chaque jour et leur élimination insuffisante a un effet désastreux sur l'esthétique de la ville, l'état sanitaire et la santé de la population, et sur la préservation des sols et sous-sols et les ressources aquatiques.

Si le constat est général, la situation est grave particulièrement dans les zones urbaines. La forte densité de la population entraîne une plus grande production de déchets liquides. Ces effluents non ou insuffisamment traités constituent un milieu propice pour le développement, la prolifération et la transmission des germes pathogènes et des vecteurs des maladies tels que le paludisme, le choléra, la dysenterie, la méningite, la typhoïde, les parasitoses invalidantes etc. (NDUKA AFNOR, 1985°). En plus ces eaux non traitées et mal drainées peuvent contaminer les nappes phréatiques et les milieux aquatiques par des substances dangereuses pour les êtres vivants (biphényl polychlorés, mercure, plomb, zinc, cuivre, etc..) ou des substances eutrophisantes comme le phosphore et azote) (USEPA, 1992).

Dans notre démarche à suivre, nous faisons un état des lieux des caractéristiques géographique, politique et institutionnelle de l'assainissement des eaux au Tchad très similaire à la bande soudanienne et sahélienne de toute l'Afrique dans le premier chapitre. Puis nous analyserons les modes de gestion des eaux usées urbaines existants au deuxième chapitre. Ensuite nous allons examiner les techniques extensives d'épuration des eaux pour en retenir une dont la transférabilité dans notre zone d'étude sera moins problématique et surtout le choix d'espèce de macrophyte pouvant s'adapter sans contraintes majeures à la zone pilote de N'Djaména. Enfin, au quatrième chapitre nous analyserons plus spécifiquement les situations socio-économiques et édaphiques de la ville de N'Djaména, et à l'aide de la géomatique nous allons proposer la localisation d'un site de station d'épuration à macrophyte.

Mots clés : eaux usées urbaines, gestion des eaux usées urbaines, urbanisme, nouvelles technologies d'épuration, géomatique, N'Djaména, Tchad.

Problématique

D'après Dejoux et al. (1981), la pollution urbaine est généralement de nature organique et dépend pour beaucoup de l'étendue des villes, de l'existence de stations d'épuration des effluents, et des habitudes des habitants en matière d'élimination des déchets. Les deux principales sources de matière organique et de nutriments sont les rejets domestiques et les industries de transformation des produits alimentaires. La population africaine connaît une croissance exponentielle, spécialement dans les villes; la population de Bujumbura; par exemple, a triplé en vingt ans. Les populations d'Abidjan et de Lagos montrent de coûts d'exploitation d'investissement excessifs, permettant de clarifier le jeu des acteurs engagés dans la gestion de l'assainissement en mettant en lumière les dysfonctionnements actuels et leurs conséquences sanitaires.

Et enfin nous voudrions bien proposer quelques scénarios permettant d'envisager le développement des systèmes d'assainissement à N'Djaména. Car même le projet PADUR (Programme d'Aménagement et de Développement Urbain) qui est entré en exécution en Avril 2006 s, pour une durée de 12ans n'a pas une approche spécifique pour l'épuration des eaux usées urbaine de la ville de N'Djaména.

But poursuivi

- Contribuer à la résolution des problèmes de pollution des eaux usées au Tchad

Objectifs spécifiques

- Faire l'état des lieux de la ville de N'Djaména.
- Identifier les techniques appropriées de traitement des eaux pour la zone soudano- sahélienne.
- Localiser les lieux adéquats pour l'installation de station d'épuration à la ville de N'Djaména à l'aide de la géomatique

Méthodologie

Pour contribuer à l'atténuation de la pollution des eaux usées urbaines qui nous intéresse présentement, l'approche qui nous semble efficace serait de procéder par une analyse systémique des facteurs sociaux, économiques et environnementaux engendrant les effluents urbains qui dégradent la qualité des différents milieux de vie et par voie de conséquence le bien-être des populations. C'est pourquoi, pour contribuer à l'objectif global que nous nous sommes assignés, nous avons procédé de la manière suivante :

D'abord, avant de venir à l'Université Senghor, nous avons glané des informations tant dans le domaine de l'aménagement rural que dans celui de l'aménagement urbain et surtout les aspects touchant aux ressources hydriques du Tchad. Car de part notre formation de géographe appuyée d'une bonne dose de géomatique, nous a permis de manipuler de puissantes bases de données de l'aménagement du territoire surtout des structures urbaines.

Ensuite, avec notre admission à Senghor, les modules de formation nous ont incité à approfondir les connaissances surtout avec le professeur Michel Radoux qui nous a fait le tour d'horizons des technologies d'épuration des eaux.

Et puis notre stage en géomatique de la santé nous a donné du cran pour appréhender les ressources hydriques qui en même temps contribuent à la santé quand elles sont potables et véhiculent les éléments toxiques et les germes quand elles sont polluées.

Dans notre démarche, nous procéderons méthodiquement de la façon suivante:

Au chapitre 1, portant sur les caractéristiques du Tchad nous permet de diagnostiquer la situation bioclimatique du Tchad qui est un reflet de la situation climatique et socio-économique de l'Afrique de l'Ouest et central où les expériences des stations extensives se font ces derniers temps (Burkina, Cameroun et Sénégal)

Au chapitres 2, nous porterons un regard sur les modes de gestion des usées de nos jours dans les petites comme les grandes agglomérations en Afrique de l'ouest et centrale.

A cet effet, au chapitre3, nous faisons le panorama des technologies d'épuration tant bien intensives qu'extensives et, par la méthode d'analyse des forces et faiblesses des performances épuratoires des technologies extensives, nous retiendrons les plus efficaces pour le Tchad selon les objectifs d'épuration visés.

En fin, aux Chapitres 4 et 5 nous restreindrons notre zone d'étude à l'échelle de la capitale dont nous examinerons les paramètres socio-économiques environnementaux pour retenir à l'aide de la géomatique un site expérimental pour trois quartiers de N'Djaména.

CHAPITRE. 1 CARACTÉRISTIQUES DU TCHAD

1.1 PRÉSENTATION PHYSIQUE DU TCHAD

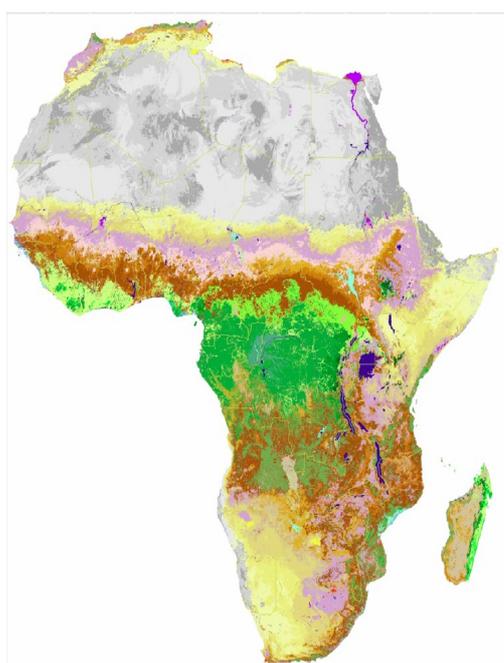
1.1.1 Situation géographique

Le Tchad est situé entre les 7° et 24° degrés de latitude Nord et les 13° et 24° degrés de longitude Est. Il couvre une superficie de 1 284 000 km² ; il est le cinquième pays le plus vaste d'Afrique après le Soudan, l'Algérie, le Zaïre et la Libye. Du Nord au Sud, il s'étend sur 1 700 km et, de l'Est à l'Ouest, sur 1 000 km. Il partage ses frontières avec, au Nord, la Libye, à l'Est, le Soudan, au Sud, la République Centrafricaine et, à l'Ouest, le Cameroun, le Nigeria.

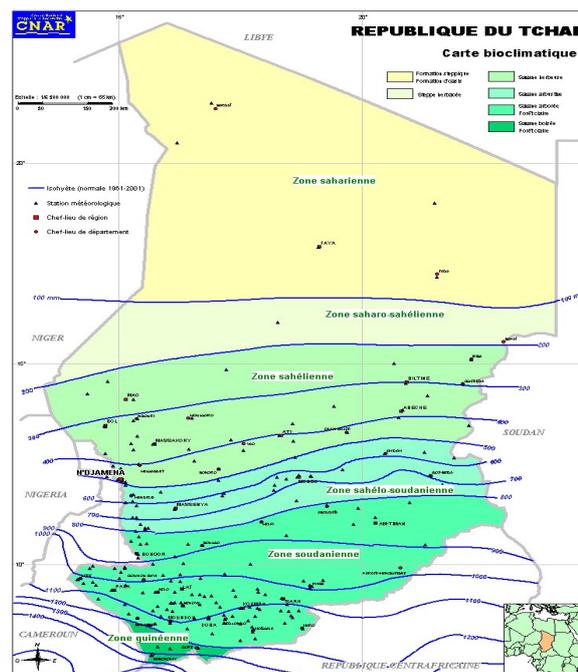
De par sa position géographique, au Sud du Tropique du Cancer et au cœur du continent africain, le Tchad est marqué par une continentalité accentuée dont l'étranglement économique est l'une des conséquences. En effet, le pays est dépourvu de toute façade maritime. Le port le plus proche est le Port Harcourt (Nigeria), situé à 1700 Km de N'Djaména. Cet enclavement extérieur est accentué par une insuffisance des réseaux routiers qui rend difficile la circulation durant une bonne partie de l'année.

Le pays appartient politiquement et économiquement à l'Afrique Centrale, mais en raison des similitudes des conditions climatiques, il est rattaché également aux pays sahéliens.

Carte n° 1: Présentation bioclimatique du Tchad et de l'Afrique



Source : European Commission, joint research centre.



Source : CNAR-Tchad

1.1.2 Situation bioclimatique

Sur le plan climatique, on distingue trois zones principales :

- la zone saharienne qui couvre environ 50 % de la superficie du pays et qui comprend les régions du BET, le nord de la région du Kanem et une partie de la région du Batha. Elle est marquée par une pluviométrie très faible (moins de 300 mm par an), et par une végétation de type steppique ou pseudo steppique. Les sols nus caractérisés par les dunes et ergs du désert saharien occupent les confins septentrionaux de la zone ;
- la zone sahélienne qui couvre une partie de la région du Batha, une partie de la région du Kanem, les régions du Chari Baguirmi y compris la ville de N'Djaména, de Hadjer Lamis, du Guéra, de Wadi Fira (Biltine), du Lac, du Ouaddaï et du Salamat. Elle s'étend sur environ 40 % de la superficie du territoire et se situe entre la zone saharienne au nord et soudanienne au sud. Les pluies ne sont abondantes que dans sa partie sud (400 à 700 mm par an) et s'étalent sur deux à trois mois. La formation végétale est celle de la savane arbustive du type sahélo-soudanien.
- la zone soudanienne comprend les régions du Logone Occidental, du Logone Oriental, du Mandoul, du Mayo Kebbi Est, du Mayo Kebbi Ouest, du Moyen Chari et de la Tandjilé. Elle s'étend sur une superficie représentant environ 10% de celle du pays. Elle est constituée par deux bassins des principaux fleuves (le Chari et le Logone). La pluviométrie dépasse 700 mm par an et pourrait atteindre 1 200 à 1 300 mm au sud (Moundou, Goré et Baibokoum).

1.1.3- Réseau hydrographique

L'ensemble du réseau hydrographique fonctionne au rythme du régime pluviométrique tropical composé de deux saisons (une saison sèche et une saison de pluie). Les périodes de hautes eaux (saison pluvieuse en fin août) et basses eaux (saison sèche fin avril) correspondent à l'alternance des deux saisons bien contrastées.

Le Chari prend sa source dans les hauts plateaux et montagnes de la République Centrafricaine (RCA) à la limite avec le bassin congolais. Il poursuit son chemin en décrivant de nombreuses sinuosités et en recueillant les eaux de ces différents affluents

(essentiellement ceux de l'est du pays) avant de se jeter dans le Lac Tchad. Le Logone quant à lui, prend naissance dans les hauts plateaux de l'Adamaoua au Cameroun (altitude moyenne de 1200m) avant de se jeter dans le Chari à la hauteur de N'Djaména, où il forme avec ce dernier le bec dit de " canard ".

Ces deux grands fleuves avec leurs principaux affluents (Bahr Aoûk, Bahr Sara, Bahr Salamat,... pour le Chari et la Pendé pour le Logone) arrosent une grande partie méridionale du bassin sédimentaire tchadien, épandant partout leurs eaux en période des crues, rendant la circulation terrestre quasiment impossible. En fait, le fonctionnement hydrologique de la cuvette ou du bassin tchadien dépend en grande partie du Chari et du Logone auxquels, il convient d'ajouter les apports des cours d'eau temporaires que sont le Bahr El Ghazal et le K. Yebé. Il semble que pendant les années de bonne pluviométrie, il est possible que toutes les rivières intérieures drainent leurs eaux jusqu'au grand bassin de réception (lac Tchad) par l'intermédiaire des deux canaux fluviaux que sont le Chari et le Logone. Ils inondent ainsi un grand bassin versant endoréique estimé à 600 000 km² à l'exutoire de N'Djaména, A. MUSTAPHA, 1993.

Globalement et cela en fonction des saisons hivernales, leurs débits annuels moyens atteignent :

- à la station de Eré, 80 m³/s en saison sèche (mars - avril) et 1700 m³/s en période de hautes eaux (septembre - octobre) pour le Logone;
- à la station de N'Djaména, on enregistre respectivement pour les mêmes périodes 130 et 3300 m³/s pour le Chari.

En forte crue, les deux fleuves épandent leurs eaux dans de vastes plaines à pente très douce, voire nulle. Le volume d'eau moyen est estimé à 5 milliards de m³ (HYDROPLAN, op. cit). Suite à la sécheresse de 1983/84, le débit à l'étiage du Logone est tombé à 20 m³/s alors que celui des crues atteignait à peine 600 m³/s (HYDROPLAN, 1986, p.16). Les phénomènes d'inondations périodiques sont en fait la conséquence du remplissage du lac Tchad qui reflue les eaux de ce dernier vers le Chari, puis vers le Logone. Mais la situation actuelle du Lac-Tchad est dramatique, il est menacé de disparition avec ses environ trois millions de riverains car avec sa superficie de 25.000 Km² des années 70 il ne reste plus qu'une flaque d'eau de 5000Km² (Constat du NASA d'Amérique)

1.2- PRÉSENTATION SOCIO-ÉCONOMIQUE

1.2.1- Évolution récente de la situation politique et administrative

Ancienne colonie française, le Tchad a accédé à l'indépendance le 11 août 1960. Devenu indépendant, le Tchad a hérité des structures administratives et économiques mises en place par la France. Moins de quatre ans après l'indépendance, son développement a été miné par une succession de crises politico-militaires qui ont eu un effet désastreux sur son potentiel économique. D'une manière générale, la situation se caractérisait par : le gaspillage des ressources publiques en raison principalement du poids des dépenses militaires, de l'inadéquation des modes d'allocation et de pratiques avérées de corruption, d'une prédominance de l'Etat organisé sur une base fortement centralisée, tandis qu'un rôle négligeable était laissé d'une part, au secteur privé et, d'autre part, aux organisations de la société civile, et enfin une absence de possibilité d'expression pour un grand nombre, faute d'élections démocratiques.

L'actuelle décennie a constitué, de ce point de vue, un tournant important pour le Tchad avec l'amorce du processus démocratique qui a conduit à la Conférence Nationale Souveraine (CNS) en 1993, et à l'adoption d'une nouvelle constitution en 1996, puis à la tenue des élections présidentielles et législatives libres et transparentes en 1996 et 2001.

Sur le plan administratif, pour mieux rapprocher l'administrateur de l'administré, le pays a connu une profonde réforme administrative. La situation actuelle se caractérise par le découpage du territoire en 18 régions (y compris la capitale N'Djaména), 50 départements et 202 sous-préfectures.

1.2.2- Évolution économique récente

En ce qui concerne le développement humain, le Tchad occupe la 167^e place parmi les 177 pays inclus dans l'indice 2004 du développement humain des Nations Unies. D'après la première Enquête sur la Consommation et le Secteur Informel au Tchad (ECOSIT-I) en 1995- 96, l'incidence de la pauvreté (à savoir le pourcentage de ménages dont les dépenses annuelles sont inférieures au niveau nécessaire pour couvrir les besoins alimentaires et non alimentaires minima¹ est estimée à 43,4 %. Si l'on utilise

¹ Pour l'ensemble du territoire couvert par l'ECOSIT-I, le niveau (quotidien) est estimé à 253 FCFA, nettement en deçà de la norme internationale du seuil de la pauvreté qui est de un dollar par personne par

une définition transnationale du seuil de pauvreté, quatre cinquièmes des neuf millions d'habitants vivent avec moins d'un dollar par jour. Les indicateurs sociaux restent bien au-dessous des moyennes de l'Afrique subsaharienne. Plus de la moitié des habitants de plus de 15 ans (y compris la majorité des femmes) sont analphabètes. L'accès à des sources améliorées d'eau potable s'est étendu au cours des trois dernières années mais reste néanmoins limité à trois personnes sur neuf.

Le PIB réel par habitant a, d'après les estimations, augmenté en moyenne de 7,6 % au Tchad entre 2001 et 2003 et il devrait augmenter, en moyenne, de 8,3 % entre 2004-2008. En l'absence de données sur l'évolution des revenus des ménages, il est difficile d'évaluer son impact sur la réduction de la pauvreté et sur la redistribution de cette croissance moyenne. Cela étant, on peut raisonnablement supposer que la récente augmentation du revenu national, entraînée par les investissements pétroliers et les retombées dans les secteurs de la construction et des services, bénéficie principalement aux citoyens qui vivent à N'Djaména et dans les villes secondaires du sud. En même temps, la population rurale du sud a subi les effets de la chute des prix mondiaux du coton jusqu'en 2002. Pendant la dernière décennie, les prix mondiaux du coton ont baissé d'une manière soutenue. Ils sont tombés à leur niveau le plus bas en 30 ans en 2001/02 et ont diminué de 56 % entre 1994/95 et 2001/02. Ils remontent légèrement à l'heure actuelle mais dans l'ensemble, la chute des prix pendant la dernière décennie a creusé l'écart entre les revenus urbains et ruraux.

Les faibles indicateurs sociaux du Tchad exigent des efforts intensifiés pour que l'utilisation des ressources pétrolières permette de réduire la pauvreté, et notamment des efforts spécifiques pour atteindre les pauvres dans les régions rurales et isolées du pays. Le programme de réforme soutenu par le crédit proposé, qui porte sur les dépenses publiques et les services pour le développement humain et économique, ainsi que la réforme du secteur cotonnier, fournit la politique et le cadre institutionnel approprié afin d'exécuter les mesures nécessaires pour améliorer des conditions de vie.

Il est prévu que le démarrage de la production et des exportations de pétrole conduisent à une forte accélération de la croissance économique avec une augmentation du PIB réel qui atteindra 33,6 % en 2004, 13,5 % en 2005 et seulement 4,3 % en 2006. Pendant la période 2007-2020, la progression du PIB devrait être environ de 2 % par an

en raison de la baisse prévue de la production dans la région de Doba. En revanche, il est prévu que la croissance du secteur non pétrolier soit soutenue et que le PIB non pétrolier augmente en moyenne d'environ 5 % par an. Ces prévisions sont relativement prudentes dans la mesure où elles reposent sur l'hypothèse qu'aucun nouveau site pétrolier ne sera exploité.

1.2.3- Situation démographique

La population du Tchad, estimée en 1993 à environ 6 280 000 habitants s'établit en 2005 à 9,3 millions et atteindra 12 millions d'habitants en 2015 selon les projections de la Direction de la Coordination des Activités en matière de Population (DCAP, 2003). Le taux d'accroissement de cette population est passé de 1,4 % en 1964 (Service de Statistique, 1966) à 2,5 % en 1993 (BCR, 1995) pour atteindre 3,2 % en 2000 selon les projections de la DCAP en 2003.

Cette population est très mal répartie à travers l'espace national. Cette inégale répartition a pour conséquence des zones de fortes et de faibles concentrations. Environ la moitié de la population du pays (47 %) est concentrée sur seulement 10 % de la superficie totale. La densité moyenne de la population en 1993 est relativement faible (4,9 habitants/km²) et varie de 0,1 habitants/km² dans la région du Borkou-Ennedi-Tibesti (BET) à 52 habitants/ km² dans la région du Logone Occidental. Cette densité moyenne de la population du Tchad estimée à 7,2 habitants/ km² en 2005 s'établira autour de 9,3 habitants/ km² en 2015.

La structure par âge et sexe révèle que la population du Tchad est relativement jeune et à dominance féminine. En 1993, la population âgée de moins de 15 ans représentait 48 % de la population totale, 47 % pour les 15-59 ans et 3,5 % pour les personnes âgées de plus de 64 ans. Les femmes représentaient 52 %, alors que la proportion des hommes se situe autour de 48

1.2.4- Situation sanitaire

Le Tchad est l'un des pays où la situation sanitaire demeure très précaire du fait du manque d'eau potable (27 % seulement de la population ont accès à l'eau potable, EDST-I 1996-97). Les conditions de vie et d'hygiène très défavorables constituent les principaux facteurs de la morbidité et de la mortalité au sein de la population. Dans l'ensemble, cette situation est illustrée par les indicateurs suivants :

- le taux de mortalité infanto juvénile (0-4 ans) : 194 ‰ (EDST-I, 1996-97) ;
- l'espérance de vie à la naissance : 49,6 ans pour l'ensemble de deux sexes (hommes : 48,5 ans, femmes : 50,6 ans) selon les projections de la DCAP en 2005, hypothèse moyenne ;

La faiblesse de ces indicateurs justifie la mise en place de la Politique Nationale de la Santé dont l'objectif général est « d'assurer l'accès à des services de base de qualité ». Cette politique s'inscrit dans la philosophie de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) à savoir : Santé pour tous sur un horizon aussi rapproché que possible. Les principaux axes de la Politique Nationale de Santé sont :

- 1) la poursuite de la lutte contre les maladies endémiques et épidémiques.

Les objectifs intermédiaires retenus sont les suivants :

- Assurer la couverture sanitaire ;
- Développer les ressources humaines ;

1.2.5- Politique de Population

Le Tchad a adopté la Déclaration de la Politique de Population en 1994 et sa mise en œuvre de 1994 à 2001. La politique Nationale de Population (PNP) repose sur le principe que les problèmes de population sont, dans une très grande mesure, la conséquence de choix, d'attitudes et de comportements des individus, des couples et des familles, et participent de ce fait à la culture et à la civilisation. Ces choix se traduisent souvent en terme de besoins d'éducation, de santé, de logement et d'emploi que la performance actuelle de l'économie tchadienne ne peut satisfaire. Plusieurs activités de développement ont été initiées par le Gouvernement en vue de maîtriser ces problèmes mais, ces problèmes demeurent préoccupants malgré les efforts qui ont été déployés.

Le Programme d'Action de Ouagadougou (octobre 1997) qui cherche à harmoniser les positions et interventions des pays du Sahel (CILSS) vis-à-vis des problèmes de population et la Déclaration du Millénaire (2000), le gouvernement a décidé de procéder à la révision de la Déclaration de la Politique de Population (DPP) et, par la suite, le terme « Déclaration de la Politique de Population » a été remplacé par celui de Politique Nationale de la Population (PNP).

1.2.6- Une urbanisation lente et polarisée

Comme dans beaucoup de pays africains, l'urbanisation a pour origine principale la création, pendant la colonisation, de centres administratifs et commerciaux. Le taux d'urbanisation progresse, passant de 9% en 1970 à 23,8% en 2000. Si elle est comparable à d'autres pays de la région, cette évolution demeure relativement faible. Ainsi le Tchad ne connaît pas encore de villes millionnaires. En dehors de la capitale N'Djaména qui compte un peu de 700000 habitants (EDST, 1993), les autres villes sont de moindre importance sur le plan démographique et sont toutes localisées dans les zones Sud et Centre du pays : Moundou (380 000 habitants), Sarh (250 000 habitants), et à l'Est avec Abéché (230 000 habitants). Situées dans la zone agricole du pays, ces villes ont bénéficié d'afflux de population en provenance du Nord (nomades en partie) durant les 20 dernières années du fait de la sécheresse et des conflits ethniques.

1.2.7- Contexte institutionnel de l'assainissement au Tchad

1.2.7-1 Evolution des dispositions réglementaires sur l'assainissement.

Au Tchad, l'arrêté municipal n°109 du 25/12/59 de 1959 réglemente le service d'enlèvement des ordures à l'intérieur du périmètre de la ville de Fort-Lamy (aujourd'hui N'djamena), seule agglomération considérée à l'époque comme urbain. C'était la première disposition réglementaire mettant sur pied un cadre juridique pour l'assainissement. L'analyse du contexte institutionnel de l'assainissement au Tchad permet de distinguer trois périodes :

A/ La période allant de 1959 à 1981:

Cette période est marquée par les faits suivants :

- La création du premier bureau urbain d'hygiène en 1959 chargé de la réglementation des pratiques d'hygiène à Fort Lamy ;
- La mise en application de l'arrêté n° 87 du 19/05/60 interdisant le déversement des eaux usées sur la voie publique ;
- La mise sur pied d'un programme national d'assainissement en 1961 piloté conjointement par L'OMS, L'UNICEF et la République du Tchad ;
- La création d'un centre national de formation du personnel de la salubrité publique en 1965 ;
- La création d'une Direction du génie sanitaire et de l'assainissement (DGSA) en 1981.

B/ La période allant de 1981 à 1990

Cette seconde période coïncide avec la Décennie Internationale de l'Eau Potable et de l'Assainissement (DIEPA) lancée par les Nations Unies. Le Tchad a souscrit à ces objectifs mais les activités correspondantes ne vont commencer qu'en 1985 après la période troublée des années 1979 à 1982. Pendant cette décennie au Tchad, on assiste à la création de plusieurs unités de gestion des problèmes d'Eau et d'Assainissement. Parmi celles-ci, les plus illustratives sont les suivantes :

- Le Comité National de l'Eau et de l'Assainissement (CNEA) créé par décret n°461/PR/MSP/84 en 1984 ;
- La constitution d'une Equipe d'Appui Technique (EAT) par note circulaire du 09/01/1985 ;

- La nomination d'un responsable national pour la Décennie Internationale de l'Eau Potable et de l'Assainissement par arrêté n° 150/MSP/de Mars 1985 ;
- La création d'un Comité de Coordination Hydraulique en 1987 ;
- La mise en application de la décision de la 21/01/89 portant création d'un Comité de salubrité publique pour la ville de N'djamena

C/ La période allant de 1990 à nos jours

Pendant cette décennie, les décrets n° 107/PR/91 et 343/PR/97 portant réorganisation du Ministère en charge de l'hydraulique en créent une Direction de l'Hydraulique comportant une Division Assainissement, en même temps; les décrets n° 519/PR/91 et 086/PR/94 créent une Division de l'Hygiène du Milieu et de l'Assainissement au sein du Ministère de la Santé Publique.

A la fin de l'année 1997, le Plan d'Orientation est revu, il souligne de façon explicite que *<<le manque d'eau potable et les conditions d'hygiène précaires constituent les principales causes de morbidité et de mortalité au sein des populations>>* Ce plan a pour objectifs de :

- s'assurer de la disponibilité en eau potable à quinze minutes de marche à 50 % de la population d'ici l'an 2001 et à 70 % en l'en 2005, ce qui nécessitera un point d'eau pour 250 à 300 habitants et un besoin de 16000 ouvrages en 2001 ;
- réduire de 50 % le nombre de maladies d'origine hydrique ;
- augmenter l'installation des latrines dans les maisons et les services publiques ;
- assurer l'évacuation des déchets solides et les eaux usées.

En 1996, le Tchad est l'un des signataires de la déclaration de Brazzaville portant sur le programme d'action Afrique 2000 basé sur les expériences de la DIEPA. Ces déclarations soulignent la nécessité pour chaque Etat de promouvoir la mobilisation des ressources locales et le partenariat pour asseoir un système de gestion du secteur Eau/Assainissement. Au Tchad, les différentes dispositions réglementaires qui existent à ce jour ont toujours considéré l'Assainissement comme une mesure d'accompagnement à mettre en œuvre soit lors des grandes campagnes de réalisation de points d'eau, soit lors des campagnes de lutte contre les maladies d'origine hydrique, en relation avec d'autres Ministères tels que le Ministère de la Santé publique.

Depuis 1990, on assiste progressivement à l'insertion de cette préoccupation dans certains textes réglementaires tels que la loi n° 14/PR/95, relative à la Protection des Végétaux, la loi n° 14/PR/98, qui définit les principes généraux de la protection de l'environnement, la loi n° 16/PR/99, portant code de l'eau

Le code pénal est un outil juridique pour la protection de l'environnement.

L'Article 346 qualifie de délit et donc punissable « tout acte de pollution d'eau, de cours d'eau dans l'intention de détruire la faune aquatique ».

En outre l'Article 349 punit les auteurs de détournement des eaux destinées à l'irrigation.

A l'analyse de l'arsenal des disposition juridique, réglementaire et pénale des aspects de la gestion des ressources hydriques nous constatons clairement que le gouvernement tchadien n'a pas su prendre des mesures pour préserver les ressources en eau des pollutions d'origine urbaine que nous admettons comme une fatalité inhérente à la vie humaine alors que les impacts de ces pollutions sur les eaux souterraines et de surfaces dégradent considérablement la durabilité de la vie.

D/ Pour mettre en oeuvre les mesures d'assainissement au Tchad

Cinq grands types d'acteurs différents peuvent être distingués.

- ☞ Les différents services des départements ministériels ;
- ☞ La communauté (organisée en associations ou comités) ;
- ☞ Les Organisations Non Gouvernementales ;
- ☞ Le secteur privé,
- ☞ Les partenaires multilatéraux et bilatéraux

CHAPITRE.2 : LA GESTION DES EAUX USÉES URBAINES DANS LES PAYS SOUDANO-SAHÉLIENS D'AFRIQUE.

2.1-LA PRODUCTION DES EAUX USÉES

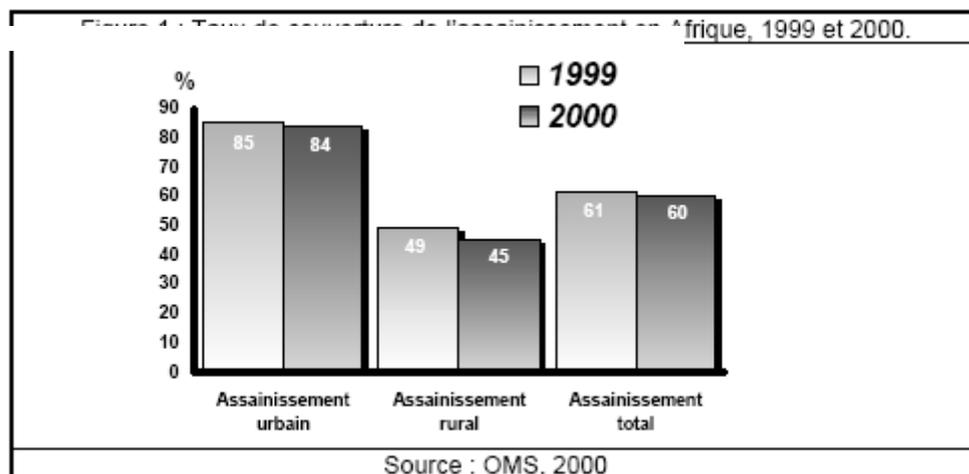
Dans les pays en développement, le volume d'eaux usées produites par habitant est fonction du niveau de vie des populations et des saisons, mais dépend aussi de la disponibilité de l'eau douce et potable. Par exemple, au Tchad qui s'étend sur trois zones climatique au nord au sud la zone désertique est très faible peuplée la zone sahélienne moyennement habitée hormis la capitale N'Djaména et enfin la zone soudanienne est fortement peuplée et mieux arrosée Adapté de USEPA (1988, p9).

2.1.1-Réseaux de collecte et de traitement des eaux usées.

L'importance disparité des problèmes qui résultent, dans les pays en développement, de la production et/ou de l'accumulation des eaux usées, dépend de la diversité des paramètres qui modulent le danger réel que cette charge polluante représente.

Très schématiquement, trois situations de gestion des usées se rencontrent selon les types d'agglomérations:

Figure 1: Taux de couverture d'assainissement en Afrique, 1999 et 2000



2.1.1.1 Dans les « villages » traditionnels.

Dans ces petites entités, l'absence de réseau de distribution d'eau e/ou la difficulté d'approvisionnement entraînent une consommation journalière moyenne, par habitant,

extrêmement faible (en moyennes 5 litres). En effet, dans les villages, les puits traditionnels éloignés ou en nombre insuffisant et l'absence d'installations hydrauliques caractérisent leur station de pénurie en eau potable.

Dans ces zones, il n'y a pas de réseau d'égouts mais la rareté de l'eau potable élimine tout risque de pollution. Les eaux usées produites, extrêmement faibles, rejetées n'importe où, sont le plus souvent très largement épurées par le sol là où elles tombent. Pour la plupart de ces villages traditions des pays en développement, les eaux usées ne constituent pas encore une préoccupation. Le problème, pour eux, est celui de la disponibilité en eau potable.

2.1.1.2- Dans les centres urbains de moyenne importance et la périphérie des grandes villes.

Dans ces agglomérations, la présence d'un réseau de distribution d'eau même sommaire et/ou les facilités d'approvisionnements manuels (proximité d'un puits, d'une borne-fontaine, d'un cours d'eau ou l'achat d'eau à des revendeurs) provoquent immédiatement une énorme augmentation de la consommation journalière par habitant (en moyenne jusqu'à 50 litres). Malheureusement, dans ces zones d'habitat relativement dense, le confort de la disponibilité de l'eau potable n'est pas souvent complété par celui de l'évacuation efficace des eaux usées. La situation des eaux usées constitue de par l'importance que cette population représente dans les villes (environ 80% de la population urbaine dans la plupart des villes des pays en voie de développement) un danger réel et peut se présenter de deux manières : le cas des centres urbains où il y a absence d'égout et le cas où il y'en a pas.

2.1.1.2.1- Cas où il y a absence d'égout.

Les eaux usées (mélangées aux pluviales en saison des pluies) se rassemblent en mares croupissantes ou en marigots au milieu des ruelles, transformant ces quartiers en foyers d'épidémies permanents. Dans ces zones, les maladies comme le paludisme et le choléra sont permanentes et constituent la cause de nombreux décès, surtout parmi les populations infantiles.

De plus, l'urbanisation spontanée et anarchique qui caractérise ces périphériques rend l'installation future d'un réseau d'égout pratiquement impossible. Les couches les plus

modestes de la population utilisent alors les systèmes d'évacuation individuels (latrines, puits perdus, fosses septiques, édicules publics) ou les terrains vagues.

2.1.1.2.2- Présence d'un réseau d'égout de surface pour les eaux pluviales seules.

Certaines parties basses des centres urbains souffrent régulièrement d'inondation en saisons des pluies. Cette situation motive, très souvent, l'installation d'un réseau d'égouts de surface pour la récupération des eaux pluviales. Ce réseau est évidemment utilisé, dans de nombreux cas, par les populations, pour se débarrasser de leurs eaux usées. Il en résulte alors une situation analogue à celle des quartiers sans équipement. Très souvent, les réseaux d'eaux pluviales sont encombrés par les rejets d'eaux usées. Dans ce cas, de vastes étendues d'eaux usées diluées peuvent stagner à proximité des habitations.

La situation de ces centres peut être illustrée par celle de Mopti en 1974, la ville du Mali de 60 000 habitants et qui ne dispose que d'un réseau de surface d'évacuation des eaux pluviales ; les habitants l'utilisent pour leurs eaux vannes et ménagères.

Ces petits centres urbanisés et ces quartiers périphériques des grandes métropoles, ne disposant pas de réseau d'égouts adapté à l'évacuation des eaux usées, n'ont évidemment pas non plus de station d'épuration.

Dans les pays en voie de développement, ces ensembles regroupent la majorité des populations urbaines ; ils sont, malheureusement, à la fois les moins bien équipés et les plus difficiles à assainir.

2.1.1.3- Dans le centre des grandes métropoles.

Le noyau administratif, commerçant et occidentalisé des grandes villes est, en général, bien équipé en ce qui concerne l'évacuation des eaux usées : les égouts sont souterrains, souvent séparatif et assez bien entretenus. Malheureusement, ces eaux usées collectées ne sont pas toujours traitées. Elles aboutissent, dans la plus part des cas, dans un fleuve (Bamako au Mali, Brazzaville au Congo, N'Djaména au Tchad), dans un lac (Bujumbura au Burundi), dans la mer (Alger en Algérie, Dakar au Sénégal,) ou directement dans les maraichages irrigués péri-urbains.

Dans ces centres, peuvent exister des stations classiques d'épuration dont le fonctionnement est très rarement optimal. La charge nominale totale de ces stations, quand elles existent, n'atteint jamais 5% de la charge à traiter. Cette situation s'explique évidemment par une insuffisance du nombre de stations.

De plus, lorsque ces stations ne sont plus en panne chronique pour des raisons budgétaires, elles le sont par manque d'eau usée (pas d'égouts en quantité suffisante, eaux usées diluées en saison des pluies, surdimensionnement local) ou par surcharge (la station de Pikine au Sénégal, a reçu jusqu'à vingt fois sa charge nominale).

2.2 PERTINENCE D'UNE POLITIQUE D'ÉPURATION DES EAUX USÉES DANS LES PAYS SOUDANO-SAHÉLIENS

Les raisons qui motivent la mise en place d'une stratégie d'épuration des eaux usées sont nombreuses. Parmi elles, on peut citer:

- La plus grande maîtrise des ressources en eau potable avec en particulier, la sauvegarde des nappes souterraines encore utilisable ou récupérable à terme ;
- La meilleure protection de l'environnement dans son ensemble.

Tableau 1: Les polluants des eaux et leurs aspects

		Aspect concernant
Polluants	Effet sur la Santé	Environnement
Azote	Affecte nouveau-né	Eutrophisation
Phosphore	Pas d'impact direct	Eutrophisation
Pathogènes	Approvisionnement en eau, aérosols, cultures	Accumulation dans les sols, contamination de la vie sauvage
Métaux lourds	Approvisionnement en eau, cultures, chaîne alimentaire animale et humaine	Domages du sol à long terme, toxique pour les plantes ou la vie sauvage
Substance organique (en trace)	Approvisionnement en eau, chaîne alimentaire, culture, animaux	Accumulation dans le sol

Adapté de Consultants RSA (1993, p. 3-6)

2.2.1- la limitation des risques sanitaires liés aux eaux usées.

L'eau et l'environnement aquatique jouent un rôle prépondérant dans la transmission des maladies affectant les humains. Dans les pays soudano-sahéliens en particulier, l'absence quasi-générale, de réseaux de collecte des eaux usées et de stations d'épuration accentue l'importance des maladies liées au péril fécal. Dans ces pays, on estime que cette situation est responsable de 50% de la mortalité chez les enfants âgés de moins de cinq ans. Les matières fécales contaminent, par des apports massifs, les eaux usées urbaines qui, elles-mêmes, contaminent les sources, les points d'approvisionnement en eau potables, les espaces de récréation où elles peuvent se répandre. Cet ensemencement du milieu en général et des eaux usées en particulier, représente un risque sanitaire sérieux et inacceptable dans les zones où la gestion des eaux usées connaît des lacunes. Les maladies du péril fécal occupent une place importante parmi les causes de décès dans les pays en développement.

L'emploi des eaux usées brutes ou insuffisamment traitées dans le cadre de l'irrigation est systématique dans les périphéries des grandes villes et de certains petits centres urbains où l'eau potable est une denrée rare. De ce fait, les populations se contaminent en consommant de légumes crus non désinfectés ou insuffisamment cuits.

La pullulation des moustiques dans les quartiers où les eaux usées stagnent en marigots et la contamination des eaux de baignade dans les lieux de déversement exposent de nombreuses populations urbaines. C'est particulièrement inquiétant quand l'économie locale est axée sur le tourisme lié à l'eau. Il en résulte que le traitement des eaux usées urbaines est un paramètre fondamental directement lié à la santé publique, avec tous les aspects économiques indirects qu'il comporte (absentéisme, médicaments, frais médicaux et hospitaliers...).

2.2.2- Les besoins en eau potable dans les zones soudano- sahéliennes

Dans bon nombre de pays en développement, la fourniture en eau potable de la population en général et des populations urbaines en particulier est inférieure aux recommandations de l'OMS (35 litres par habitant et par jour). Au Sénégal, 30% seulement de la population urbaines est branchée au réseau d'approvisionnement en eau potable et desservie par branchements particuliers avec des dotations journalières de 45 litres par jour et par habitant. Et à N'Djaména au Tchad à peine 20% de la population sont connectées.

Ce déficit en eau potable a contraint le gouvernement sénégalais à se lancer dans le grand projet de Cayor dont le coût est estimé à quarante milliards de Francs CFA. Seule, la mise en œuvre de ce canal permettra de résorber le déficit en eau potable de la région de Dakar.

L'eau, quand elle existe, n'est pas souvent potable partout dans les centres urbains. Elle est très fréquemment contaminée par les eaux usées en profondeur ou même en surface à travers un réseau de distribution défaillant. De ce fait, la majorité de la population de plusieurs villes consomme de l'eau non potable ou de potabilité médiocre.

Dans les pays tempérés où les ressources en eau sont encore abondantes, l'épuration des eaux urbaines a une finalité de protection de l'environnement. L'objectif essentiel est donc, dans ce cas, de débarrasser les eaux de leur importante charge organique pour ne pas nuire au milieu. Ainsi, les eaux traitées sont rejetées dans un cours d'eau qui n'est pas, en général, utilisée pour les besoins de consommation humaine. Dans le contexte

des pays en développement, la rareté même de l'eau explique l'indispensable réutilisation des eaux traitées. Ces eaux traitées peuvent être revalorisées dans le cadre de diversifications agricoles, de la réalimentation des nappes phréatiques, de l'entretien des zones de récréation et de loisirs afin que l'eau potable puisse être réservée à ses usages les plus nobles (boisson, cuisine, etc.).

On peut retenir que, globalement, la disponibilité en eau potable se pose en quantité et en qualité. Les contraintes locales sont de divers ordres : les eaux souterraines sont soit chargées (dures), soit en trop grande profondeur, soit difficiles à mobiliser, soit encore contaminées par la charge polluante des villes ; les eaux superficielles sont, en général, éloignées des centres de consommation et leur utilisation reste donc très coûteuse. Aujourd'hui, l'alimentation en eau à Dakar, au Sénégal, est assurée à 25 % à partir du Lac de Guiers, situé à 240 kilomètres environ.

2.2.3- La nécessité d'une diversification agricole.

Dans bon nombre de villes des pays en voie de développement, la demande en produits maraîchers est loin d'être satisfaite. Traditionnellement, le marché urbain est pourvu en légumes et autres produits maraîchers à partir des productions des campagnes et des quartiers péri-urbains. Depuis des décennies, le déficit pluviométrique et la forte urbanisation ont contribué à l'aggravation de cette pénurie. Pour satisfaire cette demande intérieure croissante, les villes devront davantage produire localement.

Une destination souhaitable de l'important volume des eaux usées produites dans les villes, une fois traitées et bien désinfectées, est l'irrigation de ces maraîchages. Il est, en effet, utile de développer le secteur de maraîchage à proximité des villes : ses produits contribuent, pour beaucoup, au secteur informel de l'économie des villes, mais aussi à l'équilibre alimentaire des citoyens.

Au Tchad, cette irrigation, par des eaux usées traitées, pourrait contribuer à l'exploitation de certaines espèces fruitières des zones soudano-sahéliennes. Ainsi, les plantations des manguiers (*Mangifère Indica*) et de goyaviers qui peuvent venir en complément alimentaire.

Les eaux traitées peuvent aussi servir à développer l'aquaculture puisqu'il s'agit des eaux souvent riches en éléments nutritifs. Dans le cadre des groupements d'intérêt économique (G.I.E), la pisciculture pourrait être relancée en utilisant en vraie grandeur les eaux traitées. Pour les villes des pays en voie de développement, une telle activité pourrait générer des ressources financières pour les couches les plus défavorisées.

D'autres objectifs pourraient être atteints notamment la satisfaction des besoins protidiens et la protection des espèces menacées. La pisciculture des espèces résistantes comme le tilapia du Nil ou le silure peut être très rentable dans les zones où la pêche demeure la principale activité économique. Elle nécessite moins d'équipements et de moyens financiers. Il faut, toutefois, s'attendre au départ à ce que, les populations soient réticentes si la pisciculture leur impose de modifier leurs habitudes alimentaires. Toutes promotions de réutilisation des eaux épurées, dans l'agriculture, s'insèrent parfaitement dans le sillage d'une gestion globale et intégrée des ressources en eau. Une plus grande quantité d'eau potable devient ainsi disponible pour les usages domestiques. L'autre avantage d'une réutilisation des eaux usées traitées est que ces dernières sont riches en azote, élément nutritif essentiel pour les végétaux. Seul, un apport complémentaire en potassium serait sans doute utile. Au-delà de l'économie en engrais chimiques, la réutilisation de ces eaux présente l'avantage de protéger l'environnement contre les excès de fertilisants qui peuvent être drainés par les eaux de surface ou les eaux souterraines.

2.2.4- La protection des nappes phréatiques

Dans la plupart de nos pays africains, nous pouvons constater que les eaux usées sont mal prises en compte ou ne le sont pas du tout. Elles sont alors soit rejetées dans les cours d'eau soit directement sur le sol sans traitement adéquat au préalable. Suivant la perméabilité des sols traversés et le niveau de la nappe, le rejet d'eau usée peut constituer un véritable danger pour les aquifères. Dans les quartiers péri-urbains, fortement peuplés, à habitat dispersé, où l'assainissement individuel est très mal conçu ou le réseau d'égouts manque le plus souvent la contamination des aquifères par les eaux vannes est assez fréquente. C'est ainsi que dans la plupart des pays en développement, la majorité des populations urbaines consomment de l'eau contaminée. Ceci est le cas de l'agglomération de N'Djaména au Tchad, avec plus de 800 000 d'habitants, où plusieurs quartiers ne possèdent aucune installation sanitaire d'évacuation des eaux usées. Dans cette ville, la situation de la nappe phréatique est préoccupante par l'utilisation des fosses septiques perdues dans les sols (quand même bien qu'ils sont argileux à N'Djaména) ou encore par le drainage des eaux usées brutes directement dans les cours d'eau qui alimentent facilement les nappes phréatiques. La contamination par infiltration a lieu dans les villes moyennes de la soudanien au Sud du pays où les sols sont sablonneux et les nappes phréatiques sont peu profondes. Dans les endroits où les populations sont desservies en eau potable à partir de puits traditionnels, l'intoxication des habitants est inéluctable.

Ainsi la protection des nappes phréatiques localisées au niveau des villes tout comme la préservation de la santé des populations, passent par une épuration complète des eaux usées avant leur rejet dans la nature.

2.2.5- La résorption du déficit en produits ligneux.

L'urbanisation galopante de nos villes, ces dernières années, a accru très fortement la demande en combustibles ligneux. Une forte pression s'est alors exercée sur les ressources forestières, situées à proximité ou loin des villes ; ce qui contribue au dénuement total du paysage péri-urbain. Actuellement, environ 60% de l'énergie consommée au Tchad provient des produits ligneux. Cette énergie est surtout utilisée pour la préparation des repas. Cette fraction d'énergie représente 82% de la consommation totale d'énergie. En plus de la fourniture d'énergie, les produits forestiers sont souvent utilisés comme bois d'œuvre et comme aliments pour le petit élevage. En effet, dans les quartiers péri-urbains, les populations sont encore intimement attachées au mode de vie rural. Elles pratiquent le petit élevage des ovins et des bovins mais aussi gardent la case comme habitation. C'est le cas dans de nombreux « villages » traditionnels de villes. Pour la couverture des charpentes des cases, ces habitants utilisent des espèces végétales qui, jadis, poussaient naturellement dans les milieux humides. Les plus fréquemment utilisées de ces espèces sont les quenouilles (*Typha sp*) et les joncs des chaisiers (*Scirpus lacustris*).

On pourrait penser à l'utilisation de certaines espèces ligneuses dans ces systèmes plantés de macrophytes. Celles sont destinées à la fourniture d'énergie et de biomasse.

De plus, l'eau traitée pourrait servir à l'irrigation, par tranchée rustique, de plantations ligneuses dans le but de produire du bois de chauffe et du bois d'œuvres.

2.2.6- L'aspect esthétique.

La stagnation des eaux usées, le dégagement d'odeurs nauséabondes, la pullulation des insectes indésirables (mouches, moustiques...), surtout en période chaude, constituent la nuisance esthétique la plus évidente et la moins facilement acceptée par les populations. L'apport d'eaux usées non traitées dans un milieu peut en perturber sensiblement l'équilibre et en modifier aussi la faune et la flore. Ces effets sont particulièrement néfastes dans le cas des rejets dans les eaux de surface, surtout dans la ville comme N'Djaména où les sols sont argileux alors, une fois mouillés ils gardent longtemps les effluents urbains. Les étendues de ces eaux usées se voient allègrement augmenter par les eaux de pluies puisque le réseau est unitaire et se stagnent longtemps augmentant l'aspect inesthétique de la ville et de surcroît beaucoup d'agents vecteurs de certaines tropicales d'origine hydriques comme le paludisme, la fièvre typhoïde, et autres se développent au contre gré de s populations environnantes et au manque de volonté de la mairie. En fait ce qui se passe au niveau microscopique, c'est que l'apport de matières organiques entraîne le développement d'une flore bactérienne spécifique qui se nourrit et qui consomme rapidement tout l'oxygène dissous disponible. Il s'ensuit rapidement une asphyxie du milieu au point d'entraîner, par exemple, la mort de nombreux plans d'eau qui donnaient une certaines vitalité à notre environnement.

Une prise en charge intégrée des eaux usées, dans le cadre de leur épuration, pourrait améliorer sensiblement la salubrité de nos villes et rendre attrayant notre environnement. L'eau épurée serait, dans l'optique de l'embellissement de notre cadre de vie, utilisée pour l'arrosage des espaces verts, des parcs à loisirs, des terrains de jeux.

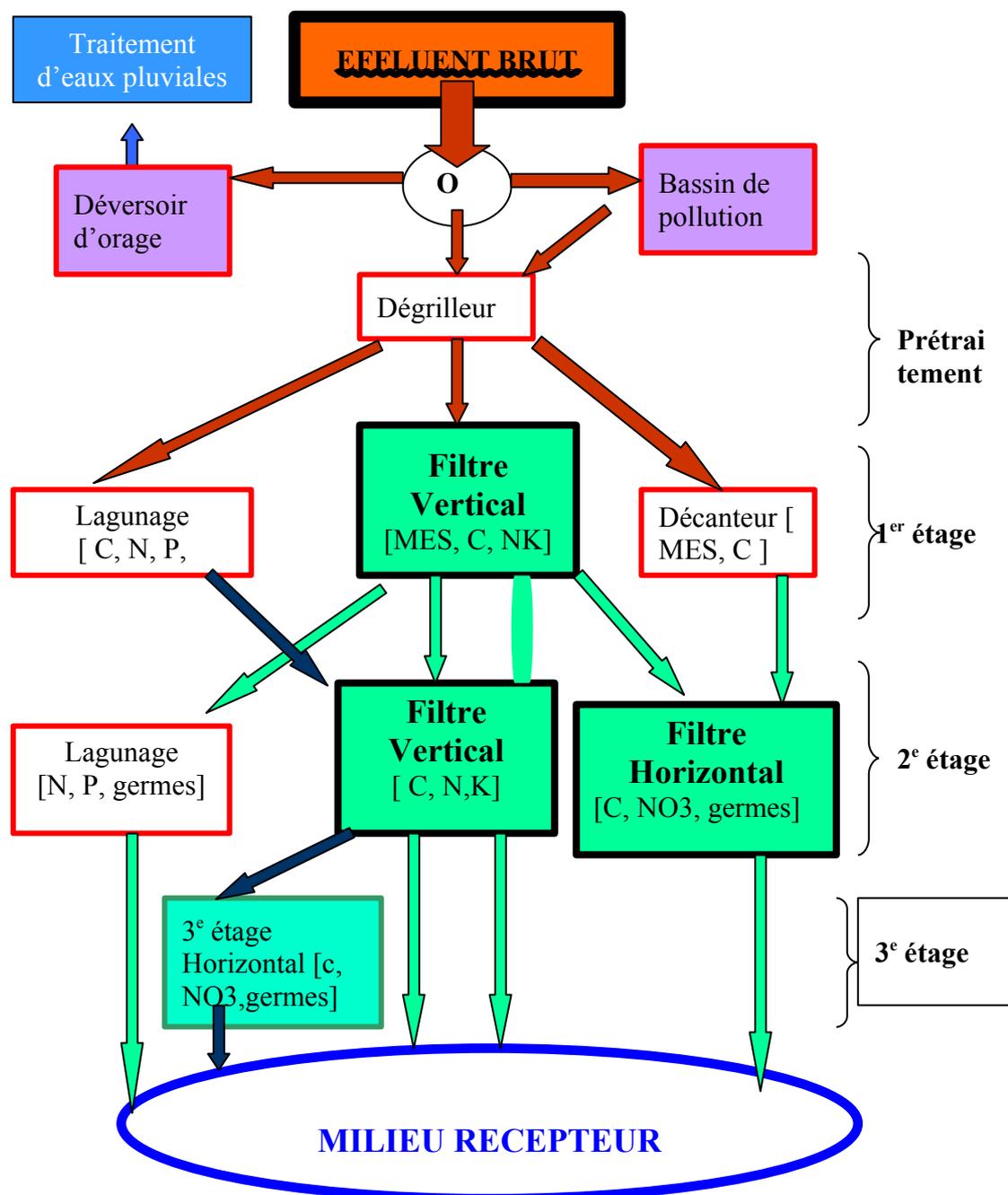
CHAPITRE 3 LES DIFFÉRENTES TECHNIQUES D'ÉPURATION DES EAUX USÉES

Elles peuvent être réparties en trois groupes :

- les techniques individuelles ;
- les techniques collectives intensives ;
- les techniques collectives extensives ou naturelles.

Diverses configurations possibles des techniques d'épuration des eaux usées s'affichent

Figure 2: Différents types et stade d'épuration des eaux usées



Source :

3.1 Les techniques individuelles

Celles-ci sont essentiellement basées sur les capacités épuratrices du sol.

Le dispositif de prétraitement des eaux le plus utilisé est la fosse septique qui reçoit l'ensemble des eaux vannes et des eaux ménagères. Là, ont lieu deux processus importants qui sont : la diminution du taux de matières en suspension et la fermentation anaérobie des boues décantées et des flottants.

L'assainissement individuel proprement dit correspond à l'épandage souterrain de l'effluent prétraité au niveau de la fosse septique. Le principe du dispositif consiste à aménager des tranchées d'infiltration horizontales sur une surface déterminée par les caractéristiques du site.

Le bon fonctionnement de l'assainissement individuel (fosse septique et épandage souterrain) implique une vidange périodique des boues décantées de la fosse septique.

Cette opération consiste à :

- la collecte des boues ;
- leur recyclage en vue de leur utilisation appropriée ;
- leur traitement et leur stabilisation.

D'autres techniques sont envisageables dans les situations où l'approvisionnement en eau est particulièrement critique ou que le sol, imperméable sur de grandes surfaces, n'offre aucun exutoire nature acceptable. Il s'agit :

- des fosses étanches qui ne reçoivent que des eaux vannes. Elles doivent être vidangées et les wc qui les alimentent, doivent comporter des dispositifs dits « à effet d'eau » n'utilisant qu'un litre d'eau à chaque usage.
- Des toilettes à compost. Leur expérimentation est à ses débuts et leur utilisation présente encore des défauts et de sérieux inconvénients. Citons dans cette catégorie, le système Clivus mis au point par le Suédois Lindstom. Ce système fonctionne sans eau et réalise le compost simultanément des matières fécales et des déchets de cuisine.
- Des toilettes chimiques. Elles utilisent des substances chimiques très alcalines destinées à bloquer les fermentations, à empêcher le dégagement d'odeurs et à détruire les germes pathogènes. Leur application est très particulière et elles sont

installées dans les avions, les bateaux de tourisme, etc. Elles sont sans intérêts dans les autres situations.

3.2 Les techniques collectives intensives.

Les procédés collectifs intensifs d'épuration des eaux usées ou stations classiques sont des technologies conçues pour répondre aux plus graves urgences en matière de pollution des eaux. Il s'agit d'une part des rejets industriels eux-mêmes, hautement polluant et souvent toxiques, et d'autre part, des rejets domestiques urbains, moins toxiques chimiquement mais au moins aussi contaminants par leurs volumes et par les risques pathogènes qu'ils comportent.

Le nombre de techniques et de dispositifs susceptibles d'être mis en oeuvre dans une station classique est considérable.

Leur choix dépend à la fois des caractéristiques des eaux usées à traiter, du degré d'épuration désiré et des moyens financiers disponibles. Les opérations de traitement réalisées dans ces stations classiques sont de quatre grands ordres :

- le prétraitement ;
- le traitement primaire ;
- le traitement secondaire ;
- le traitement tertiaire ;
- la désinfection.

3.2.1 Le prétraitement et le traitement primaire.

Ils concernent l'élimination des gros déchets solides, des matières en suspension (M.E.S) et des flottants.

3.2.2 Le traitement secondaire.

Il concerne l'élimination des matières organiques. Il est mesuré par la demande chimique d'oxygène (D.C.O.) et par la demande biochimique d'oxygène au bout de cinq jours (D.C.O5). Ces deux paramètres (D.C.O. et D.B.O5) désignent respectivement la quantité d'oxygène, en milligrammes par litre, nécessaire pour oxyder par la voie chimique ou biologique, les matières organiques de l'eau.

La demande biochimique d'oxygène implique l'activité des organismes (bactéries) et est mesurée au bout de cinq jours pour la DBO5, de vingt et un jours pour la DBO21.

3.2.3 Le traitement tertiaire.

Il concerne l'élimination de l'azote, du phosphore et des métaux lourds. Le traitement tertiaire est évalué à partir de la mesure de l'azote total, de l'ammonium, des nitrates, des nitrites, du phosphore total, des phosphates et des métaux lourds, le cas échéant.

3.2.4 La désinfection.

C'est l'élimination des germes pathogènes grâce à l'action d'agents chimiques ou de tout autre moyen de destruction ou de rétention. Elle est réalisée, dans beaucoup de situation, par adjonction de chlore.

Son efficacité est mesurée à partir de la recherche de germes indicateurs de la contamination fécale tels que les coliformes fécaux (C.F) et les streptocoques fécaux (S.F).

Ces deux dernières étapes de traitement des eaux usées (traitement tertiaire et désinfection) sont très rarement prises en compte dans les stations classiques pour deux raisons principalement : le coût prohibitif des installations et l'objectif d'épuration recherché qui peut différer selon les pays.

3.3 Les techniques collectives extensives.

Ces techniques sont définies comme des techniques rustiques, c'est-à-dire sans équipement électromécanique et sans soutien énergétique artificiel ou comme des techniques extensives parce qu'elles impliquent des surfaces de terrain importantes.

Les processus d'épuration font appel à des écosystèmes artificiels naturels plus ou moins aménagés ou à des copies artificielles d'écosystèmes.

Ces techniques d'épuration rustiques font appel à l'une ou l'autre des trois catégories suivantes :

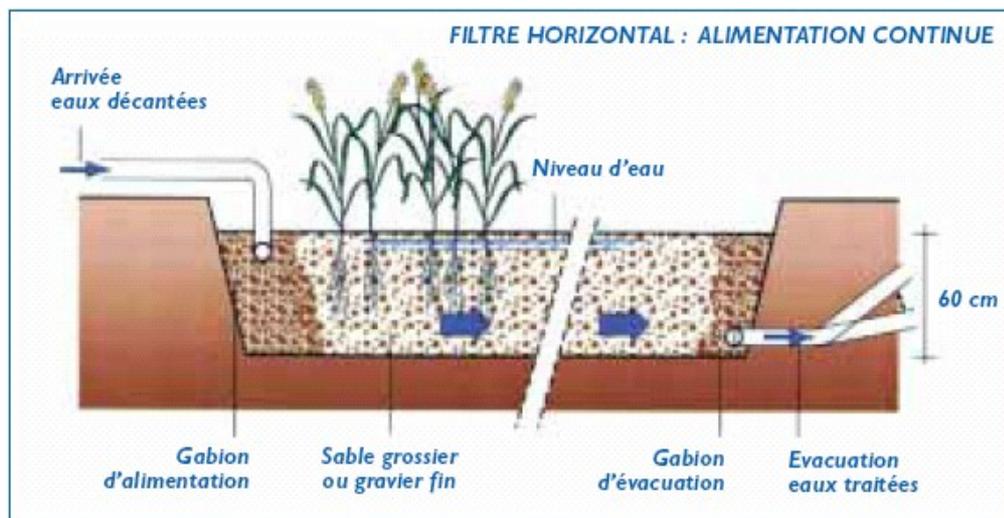
- les systèmes sans nappe aquatique permanente où l'eau circule à travers le sol ;
- les systèmes avec nappe aquatique permanente où l'eau circule en translation au-dessus du sol, à travers le sol ou en mélange des deux types de circulation ;
- le système à mosaïque hiérarchisée d'écosystème artificiels ou système Radoux qui combine les deux catégories précédentes.

3.3.1 Système sans nappe aquatique permanente.

3.3.1.1 Procédé kickuth ou Root Zone Method (R.Z.M)

C'est un système à écoulement horizontal sous la surface d'un sol planté de Phragmites. Il fut développé en 1964 en Allemagne par Kickuth.

Figure 3: coupe transversale d'un filtre planté à écoulement horizontal



(Source : CEMAGREF)

Dans ce procédé, l'alimentation en eau est continue et seul un dégrillage des eaux usées brutes est présenté comme prétraitement indispensable. Il utilise le roseau commun (*Phragmites australis*) comme espèce plantée. Certaines applications spécifiques peuvent utiliser les Joncs (*Juncus sp*), les Scirpus (*Scirpus sp*), les Iris de marais (*Iris pseudacorus*).

Le principe de conception exige un sol dont la conductivité hydraulique se stabiliserait à 10-3 m/sec en trois ou quatre ans de culture grâce au réseau tubulaire creux laissé par les rhizomes de roseaux. De plus, par sa photosynthèse au niveau des feuilles et des tiges, le réseau fournirait au sol, par l'intermédiaire de ses rhizomes et de ses racines, l'oxygène nécessaire aux activités bactériennes aérobiques.

Par ailleurs, le faucardage est sans importance, le promoteur considérant le rôle de la nutrition minérale de la végétation supérieure dans l'épuration tertiaire comme négligeable.

Schématiquement, selon Kickuth, la décomposition de la charge organique est assurée, dans le sol, par dégradation aérobique ou la fermentation anaérobique. L'azote est éliminé par la nitrification-dénitrification dans la structure hétérogène du sol. Le

phosphore, en ce qui le concerne, est précipité chimiquement, en zones aérobiques par la combinaison aux ions Ca^{++} , Fe^{++} et Al^{+++} normalement présents dans les sols utilisés.

Les explications concernant le fonctionnement du procédé sont plausibles du point de vue théorique. Malheureusement, quelques zones d'ombre restent à éclairer et notamment :

- la conductivité hydraulique qui ne s'améliore pas au cours des années ; la translation voulue à travers le sol se transformant en translation au-dessus du sol (souvent en rigoles, créant des courts-circuits hydrauliques) pendant que celui-ci se colmate progressivement ;
- l'oxygénation du sol par les rhizomes et racines qui n'a pas encore pu être mise en évidence.

Les rendements, en D.B.O5 sont bons (80%) dans la plupart des installations; les rétentions azotée et phosphorée ne deviennent égales ou supérieures à 50% que si la surface utilisée est de dix mètre carrés ou plus par Equivalent-Habitant

3.3.1.2 Procédé Seidel ou « Max Planck Institute System » (MPIS)

Ce système encore appelé « Krefeld process », a été développé par Seidel à partir de 1946.

Le principe de conception est le suivant :

- les stations comportent plusieurs étages successifs constitués de bassins artificiels plantés de divers hélophytes (Phragmites, Scirpus, Iris, Typha...);
- Le premier étage comprend quatre à sept bassins en parallèle ; chacun de ces bassins en tête reçoit toute l'eau usée pendant 24 heures, tous les quatre ou sept jours (une fois par semaine). L'eau y percole lentement à travers le sol les jours de non-alimentation. Cette eau est récupérée par des drains disposés au fond des bassins pour alimenter les étages suivants ;
- Les étages suivants (de 1 à 4 suivant les installations) sont disposés en série et l'eau circule plus souvent horizontalement à travers le sol ;
- Le faucadrage est assuré une fois par an dans tous les bassins tandis que les bassins du premier étage doivent être raclés périodiquement pour les décolmater ;

- Seidel conseille un dimensionnement de l'ordre de trois mètres carrés par E.H. au total.

Les performances du système sont comparables à celles du lagunage à microphytes avec une surface occupée trois fois moindre. Il serait très efficace au niveau de l'enlèvement des matières en suspension.

3.3.1.3 L'épandage souterrain.

Souvent utilisé en assainissement individuel à l'aval d'une fosse septique, il est maintenant installé pour des entités de plusieurs centaines d'habitants.

Dans ces procédés, on cherche à exploiter au mieux les capacités épuratrices du sol en veillant à ce qu'il ne soit jamais saturé d'eau. On adopte alors au système une structure de répartition des eaux usées prétraitées dans le sol de manière à épurer sans risque de colmatage. Il s'agit d'un réseau de canalisations d'infiltrations parfaitement horizontales et disposées sur une superficie dépendant du nombre d'E.H. à traiter et de la perméabilité du sol en surface.

Les possibilités d'installation d'un tel système sont limitées par les exigences vis-à-vis de certains paramètres du site (pente suffisamment faible, niveau maximum de la nappe phréatique suffisamment bas, sol bien drainé naturellement, perméabilité bonne ou moyenne, sous-sol non perméable en grand...). Par contre, le système a intérêt de laisser le terrain utilisé disponible pour d'autres activités.

Le dimensionnement souhaitable est de l'ordre de cinq mètres carrés par E.H. dans les conditions optimales et de plus de vingt mètres carrés par E.H. dans les cas les moins favorables.

Les rendements sont réputés excellents avec une rétention quasi-total pour les matières en suspension, le phosphore et les germes pathogènes ; en revanche, l'élimination de l'azote serait moins bonne (50 à 70%) avec rejet sous forme de nitrates.

3.3.1.4 Epannage en plantation ligneuse.

Dans ce cas, on disperse l'eau usée brute ou prétraitée à la surface du sol en sous-bois forestier naturel ou planté d'espèces ligneuses adaptées. La dispersion peut se faire par arrosage, par irrigation à la goutte à goutte ou par tranchées rustiques d'irrigation.

Le dimensionnement souhaitable est d'environ sept mètres carrés par E.H. Le rendement épuratoire est difficile à évaluer car les rejets sont diffus.

3.3.1.5 Irrigation en maraîchage.

Ce procédé est devenu, malheureusement, presque « traditionnel » en périphérie des agglomérations dans les pays en voie de développement. Dans les régions sahélienne et soudanienne, en particulier, l'irrigation de maraîchages avec des eaux usées domestiques est utilisée, depuis des décennies, non pas en vue d'épurer les eaux (même si l'objectif est atteint) mais par nécessité, à cause d'un manque d'eau plus ou moins drastiques selon les zones géographiques et d'un manque énorme déficit en légumes surtout en saison sèche.

Les enquêtes études épidémiologiques menées sur cette technologie ont permis de prouver que la plupart des maladies du péril fécal (gastro-entérites, typhus, fièvres typhoïdes, choléra etc.) peuvent contaminer et contaminent encore les populations se nourrissant de la production de tels maraîchages.

Cette technique est donc à proscrire comme telle. Par contre, elle peut rendre des services si elle utilise des eaux usées préalablement désinfectées.

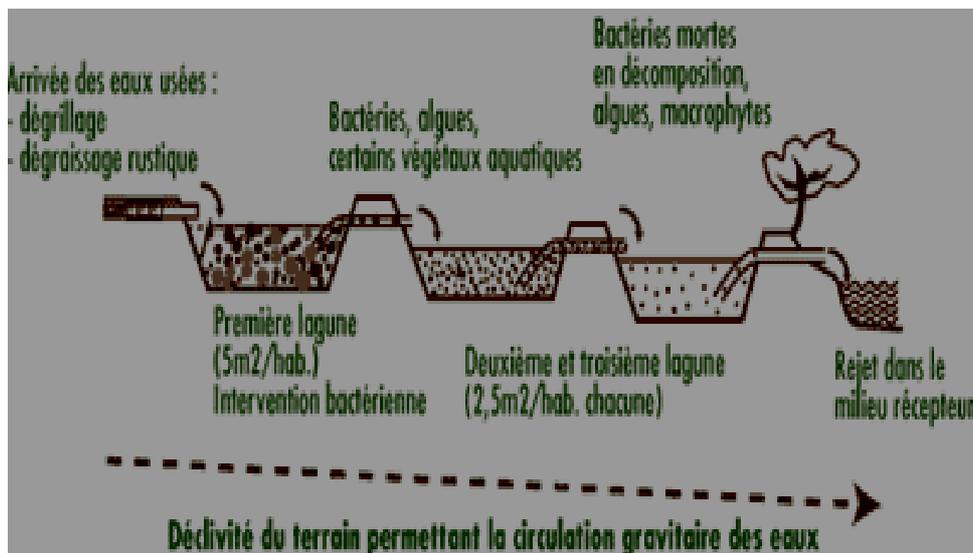
3.3.2 Systèmes avec nappe aquatique permanente.

3.3.2.1 Le lagunage.

Il existe sous deux variantes :

- le lagunage à microphytes ;
- le lagunage mixte à microphytes

Figure 4: Schéma d'une station de lagunage à microphytes et macrophytes



Source : office international de l'eau, 2001

Le lagunage à microphytes est le système d'épuration naturelle le plus connu et le plus répandu de par le monde. Il consiste en une série de trois bassins étanches d'eau libre dont la profondeur est de l'ordre de un mètre. Le bassin en tête, recevant les eaux usées prétraitées, a une surface double de celle des deux autres.

Le dimensionnement, sous climat tempéré, est de l'ordre de dix mètres carrés nets de plans d'eau par E.H.

Le lagunage fonctionne, très schématiquement, de la manière suivante :

- rétention des matières en suspension par décantation ;
- dégradation et minéralisation de la charge organique par les bactéries aérobies, déjà présente dans l'eau brute ;
- élimination du phosphate et de l'azote à partir de la nutrition minérale du phytoplancton ;

- dégradation de la charge organique de néoformation (bactéries, algues vivantes et mortes) par les animaux de niveau trophique supérieur (protozoaires, cladocères, larves d'insectes, etc.).

La maintenance nécessite un prélèvement des boues accumulées tous les sept à dix ans et un entretien régulier des digues et des berges.

Les rendements épuratoires (M.E.S., D.C.O., Nt et Pt) sont généralement bons en été et plus faibles en hiver. La rétention de la charge organique est mauvaise voire nulle en période de développement abondant des phytoplancton. C'est pour éviter ce dysfonctionnement qu'à été proposé le lagunage mixte à macrophytes.

Ce lagunage à macrophytes consiste à installer des plantations d'hélophytes dans les derniers bassins. Cette végétation à forte couverture aérienne inhibe le développement du phytoplancton en aval de la station. Les grands avantages du lagunage à microphytes sont l'abattement important des germes indicateurs de contamination fécale, le bon comportement face aux variations de charge et de débit des eaux usées et enfin la maintenance facile et simple.

3.3.2.2 Les prairies à hydrophytes libres ou flottants.

Ce sont des systèmes opérant avec des plantes flottantes. Les plantes utilisées sont la jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*) et les lemnacées (*Lemna* sp). L'usage de la jacinthe est limité aux zones à climat chaud alors que les lemnacées sont utilisées sous climat tempéré et parfois dans le cas de pollution par des métaux lourds.

Placée dans les mêmes conditions (même temps de séjour et même surface), cette technologie dépasse largement le lagunage à microphyte pour les M.E.S., la D.B.O5 et la charge azotée.

3.3.2.3 Les prairies à hydrophyte fixés ou rhizophytes.

Fondés sur l'utilisation des plantes aquatiques dont la plupart des organes sont immergés, ces systèmes d'épuration sont peu utilisés ou ne le sont que dans des conditions de pollution particulière (eaux usées de pisciculture caractérisées par une pollution particulière importante mais facilement décantable et par une teneur élevée en ions ammoniums solubles). La raison en est simple puisque ces végétaux, pour leur

photosynthèse, dépendent de la lumière et donc d'une transparence suffisante des eaux, ce qui n'est pas l'apanage des eaux usées traditionnelles.

3.3.2.4 Le « Lelystad Process ».

Il fut développé en Hollande en 1967. Le système est composé de canaux longs et étroits (plusieurs centaines de mètres de longueur, moins de cinq mètres de largeur°, plantés de joncs des chaisiers (*Scirpus lacustris*) ou de roseaux communs (*Phragmites australis*). L'eau usée y circule, soit en translation au-dessus du sol, soit en percolation verticale au travers du sol, soit encore un mélange de ces deux types de circulation (Radoux, 1989).

Avec un temps de séjour de dix jours ou plus, une surface nette de dix mètres carrés par E.H., on a des taux d'épuration de 80 à 90% pour la charge organique, l'azote, le phosphore.

3.3.3 Epuration par Mosaïque Hiérarchisée d'Ecosystèmes Artificiels (« M.H.E.A ») ou technologie Radoux.

Cette technologie d'épuration a été progressivement mise au point depuis 1978 par Michel Radoux de la Fondation Universitaire Luxembourgeoise.

Elle combine à la fois les principes de deux grands types de technologies rustiques c'est-à-dire les systèmes sans nappe permanente et les systèmes avec nappe permanente.

Les principes de conception reposent sur une combinaison d'écosystèmes reconstitués à partir de système naturels connus.

Dans cette combinaison ; le choix des espèces de macrophytes est fonction de leur résistance à la pollution des eaux usées brutes ou diversement prétraitées.

La circulation de l'eau à travers la mosaïque d'écosystèmes se fait en fonction des espèces et peut être de différents types : en translation au-dessus/en-dessous du niveau du sol ou en percolation verticale à travers le sol...

La présence d'une nappe d'eau et le niveau de celle-ci doivent être adaptés aux exigences écologiques des macrophytes choisis.

La succession des écosystèmes doit être telle qu'elle s'adapte aux capacités épuratrices respectives de ceux-ci.

Enfin la hiérarchisation doit rester programmable dans le temps et fait partie de l'outil de gestion de la station.

Un système d'écosystèmes à macrophytes permet d'espérer, actuellement, les améliorations de rendements suivants, par rapport à un système identique à microphytes non planté :

- + de 40% pour les matières en suspension ;
- + de 30% pour la D.C.O. totale ;
- + de 20% pour la charge azotée totale ;
- + de 10% pour la charge phosphorée totale.

Ces résultats proviennent d'une expérience à long terme menée à la station de Viville à Arlon par Michel Radoux et son équipe.

Pour l'épuration quaternaire ou désinfection, le rendement est identique à celui obtenu par le lagunage à microphytes en saison froide alors qu'en saison chaude, ce rendement est meilleur. Concrètement, les eaux traitées respectent généralement les normes proposées par l'O.M.S. pour les eaux de baignade.

Comme pour toutes les méthodes extensives d'épuration jusqu'à présent, les rendements en épuration tertiaire doivent être améliorés, même si ils sont déjà nettement meilleurs avec la « M.H.E.A ».

CHAPITRE 4: L'ADAPTATION DES TECHNOLOGIES D'ÉPURATION DANS LES PAYS SOUDANO- SAHÉLIENS

Dans ce présent chapitre, nous faisons le tour d'horizon des pratiques d'épuration des eaux dans le monde tropical et un cas d'exemple en Belgique et aussi nous présentons brièvement quelques applications de la géomatique au moment de notre stage.

4.1 EXPÉRIENCES COMPARATIVES EN ZONE INTERTROPICALE DES STATIONS D'ÉPURATION DES EAUX USÉES.

Depuis plusieurs années, de nombreuses expériences ont été réalisées à travers le monde, plus particulièrement aux Etats-Unis, en Europe et, récemment sous climat soudano- sahélien à Yaoundé au Cameroun à Ouagadougou au Burkina Faso. Les conditions climatiques et les caractéristiques des effluents de l'Europe et des Etats-Unis diffèrent de ceux du Burkina Faso mais par contre ces derniers ressemblent forts aux conditions climatiques et aux effluents du Tchad. Assortis de ces expériences, nous pourrions trouver des conditions optimums pour la zone soudano- sahélienne du Tchad.

4.1.1- Cas de la station de Santee sous climat chaud aux Etats-Unis

Dans les années 1980 (août 1983 à décembre 1984), des études ont été menées à Santee en Californie sur les performances artificielles aménagées pour le traitement primaire des eaux usées municipales. Le but de ces études était de déterminer le rôle de trois types de plantes aquatiques soit le *Scirpus validus*, le *Phragmites communis Trin* et le *Typha latifolia* dans l'enlèvement de certains polluants comme par exemple la demande biochimique en oxygène, les matières en suspension, azote, etc. La prise d'échantillon s'est faite chaque semaine à l'effluent de chaque lit de plantes. Les concentrations des eaux usées étaient de 27,8 mg/l d'azote total, de 25 mg/l d'azote organique, de 24,7 mg/l d'azote ammoniacal, de 118,3 mg/l de DBO et de 57,3 mg/l de matières en suspension (Gesberg et al., 1986).

Ce système était composé de quatre bassins de dimensions égales soit 18,5 mètres de longueur, 3,5 mètres de largeur et 0,76 mètres de profondeur. Les trois premiers

contenaient des plantes aquatiques vivant dans des lits de gravier tandis que le dernier servait de contrôle (sans aucune plante) (Gersberg et al, 1986).

En ce qui concerne l'enlèvement de l'ammoniac, le *Scirpus validus* et le *Phragmites communis* présentaient des résultats plus élevés que le *Typha latifolia*. L'enlèvement atteignait 94% pour le *Scirpus* et 78% pour le *Phragmites* tandis que le typha affichait seulement 11% (Gersberg et al, 1986)

Pour ce qui est de la demande biochimique en oxygène, le *Scirpus validus* affichait des résultats supérieurs. Finalement, pour l'enlèvement des matières en suspension, le *Scirpus* l'emportait encore une fois.

4.1.2- Cas de la station de l'EIER sous climat soudano- sahélien au Burkina Faso.

Des études portant sur l'épuration des eaux usées domestiques ont été menées sur une filière de trois étages de bassins de lagunage à microphytes à la station expérimentale de l'EIER. Cette filière comporte : un bassin anaérobie, un bassin facultatif et un bassin de maturation.

Des mesures d'indicateurs de qualité ont été effectuées pendant 10 mois sur des échantillons prélevés suivant une fréquence bihebdomadaire pour certaines et hebdomadaire pour d'autres. Les rendements épuratoires moyennes atteignent 66% en MES, 81% en DCO et 87% en DBO5. Les concentrations résiduelles en MES de l'effluent traité répondent dans 76% des mesures effectuées aux normes de rejet recommandées par la directive de l'Union Européenne (Inférieur à 150 mg/l). L'élimination du phosphore est faible et instable avec un rendement moyen de 17,2% pour le phosphore total et 19,2% en P-PO4. La réduction de la pollution azotée atteinte en moyenne 76% en NTK, se chiffrant par moment au dessus de 90%. De manière globale, l'élimination de l'azote et du phosphore est faible et les teneurs résiduelles restent assez élevées par rapport à la limite tolérable pour un rejet d'effluent dans un écosystème sensible à l'eutrophisation. L'abattement de la pollution bactérienne est importante allant jusqu'à 4,9 ulog en coliformes fécaux, les teneurs résiduelles (3,71 ulog) restent tout de même supérieures à la norme OMS (Inférieure ou égale à 3 ulog) pour une réutilisation non restrictive en irrigation. Concernant la charge parasitaire, les études ont montré que la filière assure une élimination totale (100%) des œufs et des kystes de protozoaires. (D'après l'étude du Groupe EIER-ETSHER paru dans le Semestriel N° 14 – janvier2006).

4.1.3- Cas de la station de Biyem à Yaoundé au Cameroun

4.1.3.1- Principe de fonctionnement :

Après un dégrillage, les eaux usées brutes provenant des ménages du Camp SIC entrent dans la station par le premier bassin BO qui assure la décantation- digestion anaérobie et ressortent par trop plein. Les matières organiques fermentescibles subissent à ce niveau un début de décomposition sous l'effet des bactéries anaérobies qui provoquent leur liquéfaction. Celles non fermentescibles remontent à la surface bassin et forment une croûte de matières organiques, ce qui favorise la création des conditions anaérobies.

Les bassins suivants (B1 et B7) sont le siège de la phase de lagunage à macrophytes proprement dit. La dégradation de la matière organique commencée dans le décanteur- digesteur cette fois sous l'action des bactéries principalement aérobies. Les substances minérales issues de cette dégradation sont absorbées par les plantes aquatiques pour élaborer une biomasse végétale importante. Au retour, ces plantes servent un support pour ces microorganismes et leur fournissent de l'oxygène nécessaire à la dégradation des matières organiques.

En plus de ces mécanismes, il existe des mécanismes physiques et chimiques (sédimentation, filtration, volatilsation, action stérilisante des rayons solaires, évapotranspiration, précipitation, oxydoréduction, etc.) qui permettent une épuration des eaux (REDDY & D'ANGELO, 1996).

Les plantes utilisées dans la station

Plusieurs plantes ont été testées dans la station parmi lesquelles quatre se sont illustrées par leur bonne performance épuratrice (Agendia et al) : *Pistia stratiote*, (Aracée) ; *Anydra flutuans*, (Astéracées) ; *Hydrocotyle ranunculoïde*, (Apiacées) ; *Cyperus papyrus*, (Papyracées).

Pistia stratiotes, en raison de sa grande productivité et de sa gestion facile a été retenue comme la principale plante exploitée dans la station de Biyem. Cette plante est capable de se multiplier assez rapidement par stolonification lorsqu'elle est cultivée dans des eaux riches en nutriments. Elle peut dans ces conditions doubler sa densité au bout de 5 jours, la tripler au bout de 10 jours et la quintupler au bout de 25 jours (Agendia, 1995). Malheureusement, cette plante est caractérisée par un recyclage rapide de nutriments absorbés. Par contre lorsque la plante commence à dépérir, il est nécessaire d'effectuer la récolte d'une partie de sa biomasse végétale afin d'éviter un re-largage des substances élaborées par les feuilles ayant dégénérées. Ces récoltes permettent d'éliminer les microorganismes piégés dans les racines. En général à 2/5e de la surface des bassins est débarrassé des plantes entre le 15^e et le 25^e jour après la précédente récolte.

4.1.3.2- Performance épuratoire de la station

4.1.3.2.1-Performance physico-chimique.

Les performances épuratoires de la station de lagunage à macrophyte de Biyem-Assi depuis sa mise en service sont globalement bonnes et se situent au delà de 80% pour la plupart des paramètres considérés (Fig.). En effet, le taux moyen d'abattement calculé en 1998 est de 95% de MES, 92% de DOC, 90% de turbidité, 88% de couleur et de 87% de DBO5. La station élimine moyennement les ions phosphates à 55%, les ions ammonium à 54% et faiblement la conductivité à 38% (KENGNE NOUMSI, 2000).

Ces performances sont sensiblement constante dans le temps, les études réalisées en 1998 ayant donné globalement des résultats presque similaires avec celles réalisées en 1995 dans le même site (AGENDIA, 1995).

Ces performances sont dans l'ensemble dans la gamme des performances généralement enregistrées dans les autres systèmes naturels d'épuration exploitant les macrophytes tels que *Eichhornia crassipes*, *Phragmites australis* ou *Typha latifolia* (ABASSI, 1987, MORRIS & HEBBERT, 199-).

4.1.3.2 2 Performances sanitaires

L'analyse de la concentration en germes, témoins de la contamination fécale à l'entrée et à la sortie de la station, montre une réduction très importante, même si on n'atteint pas les normes de la contamination prescrites par l'OMS pour une réutilisation non restrictive des eaux. Cette élimination supérieure à 72% pour les coliformes fécaux (moyenne=95,810%) et pour les streptocoques fécaux à 99% (moyenne=99,796). Des études sont actuellement en cours pour pouvoir déterminer la configuration du système pouvant permettre d'atteindre ces normes.

4.1.3.2.3 Valorisation de sous-produits de l'épuration.

Un des atouts des systèmes naturels d'épuration des eaux usées domestiques avec les macrophytes est la valorisation des sous-produits de l'épuration par le compostage, la production du biogaz ou encore comme support de l'alimentation pour les animaux (RADDY & SMITH, 1987). Le *pistia stratiote* est utilisée comme support de l'épuration des eaux usées de Biyem-Assi est caractérisé par une très grande productivité, une bonne richesse en azote, phosphore, potassium et une faible concentration en métaux lourds. Le personnel de la gestion de la station de Biyem-Assi ont dans le cadre une approche intégrée et d'une gestion durable procédé à un recyclage ainsi que la croûte de boue formée au niveau du décanteur-disgesteur par compostage (AGENDIA & al, 1996).

Le compost obtenu à partir de *pistia stratiotes* utilisé pour l'épuration des eaux usées domestiques ont des teneurs élevés en N et P, moyennes en k et faibles en métaux lourds. L'incorporation de la croûte de matières organiques du décanteur-digester aux plantes améliore le rendement quantitatif du compost et fournit un compost mûr plutôt (2 mois contre 5 lorsque Pistia composté seul).

Une extrapolation faite à partir de la quantité des plantes obtenues annuellement par les récoltes périodiques du quart des bassins entre le 15^e et le 25^e jour (44 tonnes de MF), a donné près de 27 tonnes de MF de compost. La commercialisation de cet engrais auprès des agriculteurs urbains pourrait générer des revenus susceptibles d'alléger le coût d'exploitation de la station. Par ailleurs, la disponibilité en compost réduirait la dépendance des utilisateurs à l'égard des engrais chimiques, surtout quand on en juge par la qualité des produits obtenus par ce compost (AGENDIA, 1999).

4.1.3.2.4 Interaction population/station

Face la forte poussée démographique, on assiste à une occupation anarchique des terrains en zone urbaine y compris dans les bas-fonds parfois avec la complicité des agents de la municipalité. Cette situation qui est caractéristique de la plupart nos villes africaines est illustrée à Biyem-Assi où les habitations ont été aménagées à proximité de la station (moins de 5 mètres). Ces principes qui contredisent les principes de prudence écologiques et sanitaires sont aujourd'hui à l'origine des plaintes et des agissements regrettables de la part de quelques personnes.

Tableau 2: Synthèse des expériences des stations des zones soudano-sahéliennes de l'Afrique

Paramètres	Configuration	Objectif	surface	Temps De séjour		Débit	DCO	DBO	MES	TKNo Ou NH	Pt
Kondé et al 2002 Ouagadougou	BF + 2 bassins de Pistia	Traitement secondaire	24m2/bassin	18 (6+6+6)		125	661[73]	508[91]	173.[68]	74 [30]	9[28]
Kengne, 2000 Yaoundé	BA+ 7bassins de Pistia	Traitement complet	94 à 119/ bassin	12-17	rendement	33-61	[88-94]	1300..2000*[81-92]	-[90-97]	- [41670]	- [25-74]

Source: Adapté des Actes du séminaire international de Goré, Décembre 2000

Tableau 3: Analyse de forces et faiblesses des stations des zones soudano-sahéliennes en Afrique centrale et de l'ouest

Ville/Pays	Technique utilisée	Capacité	Rendement épuratoire	Forces	Faiblesse
Guédiawa de (Sénégal)	Puisard communautaire	15 600 habitants pour 61 puisards	Pas connu	stratégie de gestion communautaire ; Contribution à l'entretien 750 FCFA/mois / ménage	Résultats techniques non disponibles ; Pas d'informations économiques
Ouagadougou (Burkina Faso) (EIER)	Laguna à macrophytes	inconnue	DCO : 30 à 63,6% DBO5 : 48 à 65% ; CF : 4,9 ulog	Durée longue (7 ans) des expérimentations conforte les résultats obtenus	temps de séjour des effluents inconnu
Ouagadougou (Burkina Faso) (EIER)	Laguna à microphyte	inconnue	MES : 82% DBO5 : 94% CF : 3,5 ulog	Augmentation du rendement pour substance Provenant contribution populations	C'est un pilote expérimental
Biyem Assi Yaoundé (Cameroun)	macrophyte	650 habitants	MES : 95% DCO : 92% DBO5 : 87%		Entretien irrégulier ; Surcharge organique
			CF ulog SF ulog		

Source : Adapté des Actes du séminaire international de Gorée, Décembre 2000.

4.2 Condition d'application des techniques individuelles

Les techniques individuelles d'assainissement font appel principalement à deux technologies disposées en série : le prétraitement par la fosse septique et le traitement lui-même par l'épandage souterrain. L'assainissement individuel a été longtemps utilisé dans les pays en voie de développement et y est de loin, la technique d'épuration la mieux connue. Cependant, son application pose encore beaucoup de problèmes liés à la conception de la fosse elle-même (considérée à tort comme un traitement), au dimensionnement de l'épandage, aux qualités du sol et du substratum.

Dans le cas d'une fosse septique, le dimensionnement doit tenir compte de la fréquence souhaitée des vidanges des boues décantées. En d'autres termes, un temps de séjour minimum est nécessaire pour une bonne décantation et pour permettre aux micro-organismes de bien dégrader la matière organique insoluble ?

D'autres dispositions sont à prendre lors de la construction de la fosse septique afin d'obtenir de meilleurs rendements de prétraitement notamment :

- la hauteur minimale de 1,20 à 1,30 m ;
- le volume utile total de 3 mètre cubes pour quatre habitants ;
- la disposition en deux compartiments série ; le premier étant au moins double du second ;
- la cloison de séparation avec orifice de communication aux deux tiers de la hauteur.

Les critères qualitatifs du sol et du substratum qu'il est nécessaire de prendre en compte concernent :

- la proximité d'un puits d'eau potable ;
- la pente de terrain ;
- le niveau du sous-sol et sa perméabilité ;
- le niveau maximum de la nappe phréatique.

La fosse septique, dans le cadre de l'assainissement individuel, ne permet qu'un prétraitement de l'effluent.

Les difficultés de sa gestion concernent surtout l'évacuation des boues qui doivent être traitées pour éviter toute contamination par les germes pathogènes. D'autre part, l'effluent

de la fosse septique doit subir un épandage souterrain qui nécessite le respect de normes de dimensionnement tenant compte de la qualité du sol et du sous-sol.

Les surfaces proposées sont souvent importantes. Il faut garder à l'esprit que le décolmatage et l'agrandissement d'un épandage souterrain fonctionnant mal sont des options difficiles et coûteuses.

Enfin, l'épandage souterrain doit se faire à une certaine profondeur (au moins 60 cm) car certaines larves peuvent remonter en surface pendant les périodes humides (Ankylostoma).

4.3 Conditions d'application des techniques collectives intensives

4.3.1 Leurs avantages.

Les stations classiques offrent un certain nombre d'avantages :

- Le temps de séjour de l'effluent est relativement court (quelques heures), ce qui permet le traitement de gros débits des eaux usées ;
- Leurs installations modestes font qu'elles nécessitent très peu de terrain. Elles restent donc, pour ces deux raisons, indispensables et préférables pour les grandes agglomérations où les rejets d'eaux usées sont énormes et où le terrain reste coûteux et n'est pas souvent disponible ;
- Pour autant que le nombre d'Equivalent-Habitants à traiter soit élevé (au moins 50.000 habitants), le prix de revient par habitant traité est raisonnable bien que non négligeable. Par cet avantage, ces stations restent concurrentielles et défendables pour le traitement des eaux usées des villes africaines caractérisées par de fortes densités de populations ;
- Elles peuvent être adaptées à des industries très polluantes. Dans la plus part des villes des pays en voie de développement, on rencontre de fortes concentrations industrielles. Ces industries sont alors à l'origine des rejets d'eaux usées, souvent très toxiques, non prises en compte faute d'équipements appropriés. Dans ces cas, les stations classiques demeurent les mieux indiquées comme équipements à mettre en place.

4.3.2 Leurs inconvénients

Les stations classiques exigent une bonne régularité de la charge et du débit des eaux usées, ce qui nécessite que les égouts collectent des rejets provenant de grosses agglomérations. Dans bon nombre de pays en voie de développement, prédominent encore les petites agglomérations urbaines dont le volume d'eaux usées est encore faible et irrégulier : manque d'égouts ou gestion insuffisante, faible consommation d'eau potable.

Ces stations demandent une charge polluante d'un niveau suffisamment élevé les lits bactériens par exemples supportent mal la dilution. Par conséquent, le réseau d'égouts doit être de type séparatif, c'est-à-dire que les eaux de ruissellement, par exemple, ne doivent pas parvenir à la station.

L'installation de collecteurs d'eaux usées étant une opération coûteuse, le raccordement des quartiers éloignés du site d'implantation de la station n'est pas souvent réalisable. De plus, l'évacuation des eaux usées de certains quartiers situés en zone basses. Dans ces situations, il est indispensable de faire appel à des stations de relevage pour l'acheminement des eaux vers la station de traitement. Celle-ci est, dans beaucoup de cas, située en zone isolée à l'extérieur de la ville.

Dans les plans d'aménagement de nombreuses villes des pays en développement, il y a souvent absence de réseaux d'eaux usées. Le réseau d'eaux pluviales est, par contre, souvent présent même s'il n'est pas parfait. Il reçoit alors beaucoup de raccordements clandestins ou insouciantes d'eaux usées.

La plupart des traitements en stations classiques se limitent aux traitements primaires, secondaires et à la désinfection. L'épuration tertiaire n'est pratiquement jamais réalisée à cause de son prix prohibitif. Par contre, puisque les phosphates solubles ne sont pas ou peu retenus, les risques d'eutrophisation en aval de la station restent tout aussi importants.

Dans le cas d'une réutilisation des eaux traitées en agriculture, la présence des phosphates et des nitrates, en quantité importante, est un avantage.

L'élimination de germes pathogènes est très partielle voire insuffisante. Elle doit faire l'objet d'un traitement qui, de nos jours, fait appel au chlore dans beaucoup de stations. Avec la matière organique, le chlore forme des dérivés connus pour leur toxicité et leur pouvoir cancérigène.

Ces stations sont coûteuses. Elles exigent des apports énergétiques important, de la main-d'œuvre hautement qualifiée pour leur exploitation et leur maintenance. Dans ce contexte de crise économique, les pays en développement trouvent peu de moyens financiers à affecter à l'entretien des ouvrages, là où ils existent. De ce fait, les stations classiques ont une durée de fonctionnement assez courte à tel point qu'elles deviennent très peu rentables (même si elles l'étaient au départ de leur conception).

En résumé, ces stations classiques ne se justifient pleinement que pour les grandes agglomérations où la forte densité de population s'ajoute aux industries particulières dont les rejets comportent des substances toxiques à traiter cas par cas. Leur gestion sous-entend la présence d'un réseau d'égouts suffisamment séparatifs et d'un nombre important d'E.H. à traiter.

4.4 Condition d'applications des technologies rustiques.

4.4.1- Le lagunage

L'épuration des eaux usées par lagunage se présente comme une technique simple basée sur des mécanismes biologiques complexes. La fiabilité du système est assurée par son caractère extensif qui permet une installation lente mais sûre des équilibres biologiques assurant la transformation ou la rétention de la pollution contenu dans les eaux usées.

Le choix du procédé sera guidé par les conditions de la réalisation.

Le lagunage naturel, exigeant des surfaces importantes, sera favorisé lorsque le coût du terrain est peu élevé et les conditions d'étanchéité garanties par le sol en place.

Le lagunage aéré est moins exigeant en surface mais nécessite une fourniture artificielle d'oxygène et donc des équipements dont la puissance et la consommation en énergie sont comparables, voire supérieures, à celles mises en œuvre dans le d'une station classique à boues activées.

4.4.1.1 Avantages

Les lagunages sont souvent utilisés dans des situations où les systèmes classiques et l'assainissement individuel ont atteint leurs limites d'exploitation rationnelle. Ils s'adressent particulièrement aux petites agglomérations, aux quartiers péri-urbains où :

- il n'y a pas de terrains disponibles pour l'assainissement individuel sur les parcelles privées. Son prix revient est moins élevé que celui de l'assainissement individuel dans le centre des agglomérations même si le terrain est disponible. Donc au point de vue économique, ces lagunages sont acceptables dans les pays en voies de développement, au regard des critères fonciers ;
- il n'y a pas de réseaux d'égouts séparant suffisamment les eaux usées des eaux pluviales. Les lagunages répondent, dans ce cas, aux principales caractéristiques de ces sites ;
- une insuffisance ou une absence de moyens financiers ne permettent pas d'assurer la maintenance ne permettent pas d'assurer la maintenance d'une station classique. Aucune main-d'œuvre spécialisée n'est nécessaire : les entretiens sont indispensables mais réduits.

4.4.1.2 Inconvénients

La grande surface nécessaire, à cause du temps de séjour long des eaux usées, font que les lagunages se sont bien adaptés que là où le terrain est bon marché. Ils demandent environ un hectare pour 1000 habitants traités en climat tempéré ;

L'un des inconvénients majeurs, demeure peut-être le risque de pullulation de moustiques surtout en période chaleur. En effet, ces moustiques peuvent constituer un ennui véritable pour la mise en place d'un lagunage, à proximité des zones d'habitations. Le risque de dégagement d'odeur désagréable par temps chaud n'est pas à écarter.

Pour ces raisons, leur implantation doit tenir compte d'un certain nombre de paramètres tels que la direction des vents dominants ou la distance par rapports aux habitants les plus proches.

L'eutrophisation dans le dernier bassin est assez fréquente dans le cas du lagunage à cause de l'installation d'une microflore abondante favorisée par la présence d'azote et de phosphore. Ce déséquilibre peut être corrigé grâce aux possibilités épuratrices des macrophytes.

4.4.2 Les nouvelles technologies rustiques.

Elles comprennent l'ensemble des technologies extensives excepté le lagunage à microphytes

4.4.2.1 Rappels des objectifs à atteindre dans le cadre de l'épuration des eaux usées en milieux soudano-sahéliens.

Le manque cruel d'eau, dans les pays soudano-sahéliens, rend incontournable d'une part, l'épuration des eaux usées et d'autre part, la possibilité de leur réutilisation afin de réduire le déséquilibre entre la forte demande et l'offre minime en eau potable. L'eau traitée peut, en effet, contribuer à résoudre certains des innombrables problèmes de cette zone géographique précaire parmi lesquels la fourniture en bois de chauffe et d'œuvre, de fourrage, de produits maraîchers... bref, à se substituer à l'eau potable là où il y a moins d'exigence pour ce qui concerne les normes de qualité.

Il s'agira donc, pour les pays en voie de développement en général, ceux du Sahel en particulier, de privilégier les espèces ligneuses et/ou fourragères lors du choix de plantes à utiliser. Ces espèces ligneuses et fourragères font déjà parties, en effet, d'un circuit économiques organisé ; ce qui facilite la gestion de la biomasse produite par ces systèmes d'épuration. La priorité sera donnée aux espèces ayant un faible appétit pour l'eau mais aussi capables d'économiser l'eau. L'emploi d'espèces, avides d'eau et transpirant beaucoup, diminue le volume d'eau traitée à la sortie du système. Ceci est un inconvénient majeur dans les pays soudano-sahéliens où l'eau devrait être réutilisée avec un minimum de pertes en volume.

- Les espèces indigènes seront préférables aux espèces exotiques pour éviter tout risque de mauvaise intégration à l'environnement écologique local.
L'introduction de nouvelles espèces peut conduire à des perturbations écologiques dans le milieu et provoquer de grands dommages.
- Si l'eau épurée a comme destination principale l'irrigation de maraîchages, il n'est pas alors nécessaire, aux régions soudano-sahéliennes, de porter la priorité sur l'épuration tertiaire. Celle-ci doit être minimisée afin de faire parvenir le maximum de nutriments (azote et phosphore) aux plantes. Par contre, la désinfection doit être maximale dans ce contexte. L'élimination des germes pathogènes est indispensable pour l'eau d'irrigation des légumes consommés crus (salades), des plantes dont les parties consommées sont proches du sol ou enfouis dans le sol (patates douces, choux, etc.)

Tableau 4: Avantages et Inconvénients des Techniques Extensives

Techniques	Avantages	Inconvénients
1-lagunage à microphytes aérobies	-bonne épuration primaire et secondaire (70 à 90%) globalement -supporte les variations de charge -économique si terrain approprié (argile)	-épuration primaire et secondaire très variable -épuration tertiaire faible (50%) -Dimensionnement insuffisant.
2-Lagunage à microphytes anaérobie	-Même avantage que le lagunage à microphytes aérobie	-Dégagement d'odeurs nauséabondes au niveau du bassin de tête
3-Bassins à hydrophytes flottants	-Temps de rétention plus court (assimilation rapide des nutriments) -amélioration de la charge en MES et en matières organiques de néoformation -risque d'anaérobiose.	-Développement des moustiques -prélèvement périodique de la biomasse
4-Bassins à rhizophyte fixés	-épuration des eaux usées de pisciculture	-Peu d'intérêt pour les eaux usées urbaines - gestion périodique de boues récoltées
5-Lagunage à macrophytes	-Clarification importante de l'effluent -amélioration des rendements primaire et secondaire	-Faucardage annuel des hélophytes du dernier bassin
6-Système Lelystad	-Rendements épuratoires en moyennes \pm 80% pour la DCO et la DBO5 ; \pm 60% pour l'azote et \pm 50% pour le phosphore	-Faucardage annuel des hélophytes
7-Système Kickuth	-épuration primaire et secondaire satisfaisants -Surface nécessaire réduite	-rendement tertiaire très faible -risque de colmatage -court-circuit hydraulique en surface
8-Système Seidel	-Stade expérimental	-fréquence de passage 1 fois/jour pour modifier les vannes du premier étage -ratissage des lits en têtes de station (décolmatage)
9-Epandage souterrain	-épuration complète des eaux usées -Utilisation de la surface occupée par l'épandage pour (maraîchage, terrain de loisir)	-contrainte di site -grande surface -lessivage partiel de l'azote sous forme de nitrates (pollution de nappes phréatiques)
10-Epandage en plantation	-bon rendement en matière organiques phosphore et germes pathogènes	-difficulté dans l'évaluation du rendement épuratoire -rejets diffus dans le sol (risque de pollution des

ligneuse	nappes souterraines)
----------	----------------------

4.4.2.2- Principales variables de conception et d'exploitation dans l'épuration par les méthodes extensives.

4.4.2.1.1- Caractéristique des eaux usées.

La majorité des applications des techniques extensives connues, ont été réalisées pour traiter des eaux usées domestiques de petites agglomérations des pays développés dont la population varie de 100 à 200 habitants. D'autres applications ont été tentées en Allemagne, aux Etats-Unis, pour l'épuration des rejets d'industries minières. Kickuth a construit un système à écoulement horizontal sous la surface du sol pour une brasserie en Autriche. Une expérience fut effectuée aux Etats-Unis pour traiter les eaux de ruissellement d'un territoire agricole.

A l'exception de quelques expériences ou applications, la majorité des systèmes en fonction actuellement ont été conçus pour les eaux usées domestiques.

4.4.2.1.2- Concentration en D.B.O.5.

L'apport d'oxygène à ces systèmes n'étant pas contrôlé mécaniquement, une variation de la D.B.O.5 à l'effluent peut affecter le procédé de façon importante. La concentration en D.B.O.5 des eaux à traiter affectera les dimensions de la station dans des proportions importantes.

La nitrification est difficile pour les systèmes à écoulement horizontal sous la surface lorsque la D.B.O.5 à l'entrée est très élevée. Des risques de colmatage et d'anaérobiose excessive peuvent survenir dans ces systèmes.

Les unités à écoulement vertical, en amont des systèmes hybrides, assurent un meilleur apport d'oxygène parce qu'elles opèrent en conditions non saturées.

4.4.2.1.3- Variation des débits et des charges.

On peut retenir que tous les systèmes extensifs s'adaptent, en général, aux dilutions des eaux usées brutes ; comme pour les systèmes intensifs, ils ne supportent, par contre pas la surcharge.

4.4.2.1.4) Conditions climatiques.

Les facteurs climatiques (température, luminosité, pluviométrie, etc.) sont des éléments indispensables à prendre en compte lors de la conception d'un système d'épuration extensif. En effet, des températures très élevées, presque toute l'année, peuvent fortement gêner les systèmes à écoulement en surface du fait de la forte évapotranspiration qu'elles entraînent. Dans les pays soudano-sahéliens, dont le souci majeur est de produire beaucoup d'eau à la sortie du, une grande perte peut limiter les profits d'une épuration extensive des eaux. De même, dans les pays tempérés, le gel de l'eau, suite à une chute importante des températures, peut perturber les capacités épuratrices de ces techniques.

Une forte luminosité peut favoriser le développement important du phytoplancton dans les derniers bassins d'épuration des systèmes non plantés à écoulement en surface. Ce phytoplancton constitue ainsi une matière en suspension additionnelle, non décantable facilement.

4.4.2.1.5- Choix des espèces végétales.

Les principales espèces utilisées dans le traitement des eaux usées sont des plantes de marais. Chacune d'elles croît dans des situations particulières et leur choix doit être associé, non seulement aux conditions d'exploitations des systèmes, mais aussi aux objectifs d'épuration et de protection de l'environnement.

Ainsi, par exemple, le roseau (*Phragmites* sp) qui est le plus communément utilisé, croît naturellement dans les secteurs où il y a des périodes d'assèchement et d'inondation séquentielles et où le niveau moyen de la nappe est souvent proche de la surface. C'est pourquoi, ce type de plant se comporte très bien dans les systèmes de traitement à écoulement sous la surface ou près de la surface.

Par contre, lorsque le système est légèrement noyé (200 à 300 mm d'eau) en permanence, les conditions du milieu conviennent mieux à la quenouille (*Typha* sp) (Radoux, 1986). Si les profondeurs d'eau atteignent un mètre, le *Scirpus* est alors favorisé.

Le choix des espèces doit tenir compte aussi des objectifs d'épuration recherchés. Ainsi, certaines plantes flottantes peuvent s'avérer intéressantes pour l'enlèvement du phosphore à cause de leur rapidité de croissance. Dans le cas d'une pollution par

des métaux lourds, des espèces comme les lentille d'eau (Lemna sp) peuvent être utilisées.

Ce choix des espèces doit se porter sur les espèces indigènes. L'introduction d'espèces exotiques expose le système aux attaques parasitaires, à une croissance incontrôlable et les risques écologiques hors station sont réels. L'utilisation économique locale d'espèces existe souvent ; ce qui n'est pas le cas d'espèces nouvellement introduites.

4.3.2..6- Dimensionnement de la station.

Il doit tenir compte principalement du nombre d'Equivalent- Habitants à traiter. Les stations classiques bien connues et les plus répandues sont dimensionnées sur le nombre d'habitants à traiter et donc selon la charge polluante. Cet Equivalent-Habitant, bien adapté à ces technologies, est une mesure statistique résultant d'enquêtes considérables visant à caractériser, pour les grandes agglomérations urbaines, la pollution moyenne journalière d'un individu, toutes les activités privées, domestiques, professionnelles et sociales étant confondues. Cela correspond à 90g de M.E.S., 50g environ d'azote, etc. par jour dans un volume d'eau de 150 à 180 litres en pays tempérés.

En zones faiblement peuplées et /ou économiquement faibles (exemple des pays en voies de développement), cette notion d'Equivalent-Habitant perd toute sa signification.

Selon le climat, la disponibilité régionale en eau, la densité de la population, le niveau de vie, le pays..., le volume d'eau, correspondant à un Equivalent-Habitant peut se situer entre quelques litres et plus d'un mètre cube d'eau par jour. Par ailleurs, la charge polluante individuelle n'aboutit pas toujours entièrement dans un collecteur.

Le dimensionnement des stations rustiques, présentées comme les plus appropriées dans ces zones sous-développées, doit donc dépendre autant de la charge hydraulique que de la charge massique des eaux à traiter. Le minimum de dix mètres carrés par Equivalent-Habitant doit être respecté, du moins en climat tempéré.

4.4.2.1.7- Granulométrie du substrat.

Pour les systèmes à écoulement dans le sol, la granulométrie du substrat filtrant est fondamentale. Elle contrôle la capacité hydraulique du système et affecte de façon non négligeable les rendements épuratoires.

Dans les unités à écoulement vertical, on recommande la pose d'une couche de sable moyen uniforme en surface et l'ajout de gravier, de plus en plus grossier, en profondeur.

Dans les unités à écoulement horizontal sous la surface, plusieurs granulométries ont été expérimentées à partir de média ayant un fort pourcentage en argile.

4.4.2.1.8- Conclusion.

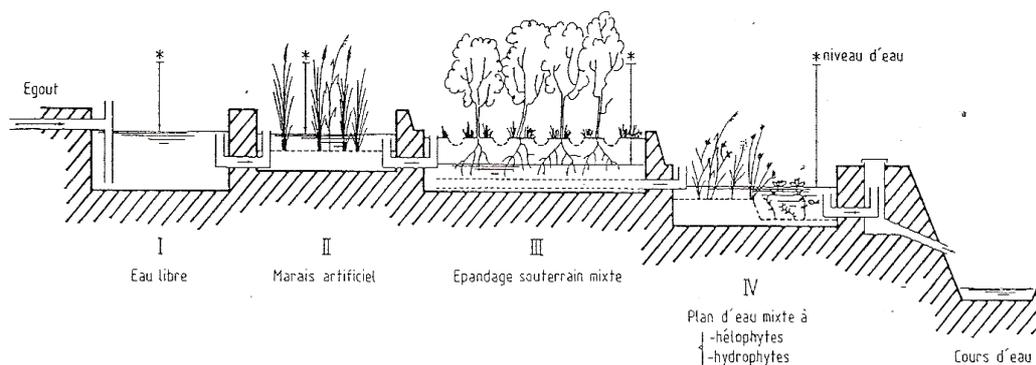
Les études concernant les nouvelles technologies rustiques dont on dispose dans la littérature scientifique laissent des lacunes importantes qui rendent dangereux le transfert immédiat de ces technologies vers nos régions :

- les critères de conception peuvent être contradictoires selon les auteurs ;
- la plupart font appel à un seul type d'écosystèmes ; les combinaisons d'écosystèmes sont très rares malgré leur intérêt potentiel ;
- les technologies sont multiples et n'ont pas été comparées entre elles dans des conditions identiques ;
- enfin beaucoup d'entre elles ne sont connues que sous climat tempéré.

Il est donc indispensable, avant toute tentative d'application de ces technologies en zone tropicale en général et en zone soudano- sahélienne en particulier, de réaliser des essais, en tenant compte de tous les paramètres intervenant sur l'efficacité épuratrice de ces technologies sur place. Ce sont là les raisons qui motivent la mise au point du système d'épuration par mosaïque hiérarchisée d'écosystème artificiels (« M.H.E.A. »).

Cette technologie fait appel, comme le démontre la figure 1 ci-dessous, à l'ensemble des groupements biologiques depuis l'eau libre des lacs jusqu'à la forêt humide.

Figure 5: Exemple d'une Hiérarchisation d'Ecosystèmes Artificiels (Type Radoux)



Source : Fondation Universitaire Luxembourgeoise, Arlon-Belgique, 1991

Cette technologie écologique d'épuration consiste à épurer les eaux usées par une série d'écosystème aquatique, semi-aquatiques et terrestres organisés et structurés artificiellement de manière à optimiser leurs capacités de rétention pour les différents paramètres de pollution. Ces ensembles sont composés de communautés microscopiques et macroscopiques choisies en fonction des taux d'épuration élevés qu'elles peuvent atteindre. Chaque formation occupe à tout moment sa position optimale.

4.5. Epuration par mosaïque hiérarchisée d'écosystèmes artificiels.

4.5.1 La station expérimentale de Viville (Arlon- Belgique)

Les incertitudes concernant la conception et le fonctionnement de toutes les technologies rustiques peuvent être synthétisées en formulant deux questions :

- quels sont les qualités et surtout les défauts réels de chacune de ces technologies ?
- comment se comportent ces systèmes, les uns par rapport aux autres, lorsqu'ils sont placés dans une situation identique de charge polluante et de climat ?

La station expérimentale de Viville (photo A) a été conçue en 1977 pour tenter de répondre progressivement à ces questions.

3.1.1 Description et fonctionnement de la station de Viville.

Elle comporte essentiellement vingt bassins de 0,96 m² disposés en cinq cascades de quatre niveaux (figure...). Ces bassins, destinés aux essais témoins et aux diverses plantations, sont surveillés en permanence par des équipements automatiques : contrôle

du micro-climat, mesure et contrôle des débits, prélèvements en continu d'échantillons d'eau (figure 6).

La station est alimentée en eaux usées à partir de la rivière Semois, polluée par les égouts unitaires de la ville d'Arlon.

Tous les bassins comportent, en général, un sol de quartz calibré recouvert ou non par une nappe d'eau libre d'épaisseur définie. Selon les protocoles expérimentaux, l'eau circule en translation au-dessus du substrat ou en percolation à travers les sols.

Chaque cascade (surface totale 3,84 m²) de quatre bassins reçoit une charge hydraulique régulièrement répartie dans le temps par une alimentation automatique (toutes les 30 minutes, soit 48 fois par jour).

L'évaluation des rendements épuratoires de chaque cascade se fait en général selon un rythme de deux campagnes d'échantillonnage et d'analyse par mois (tous les 14 jours).

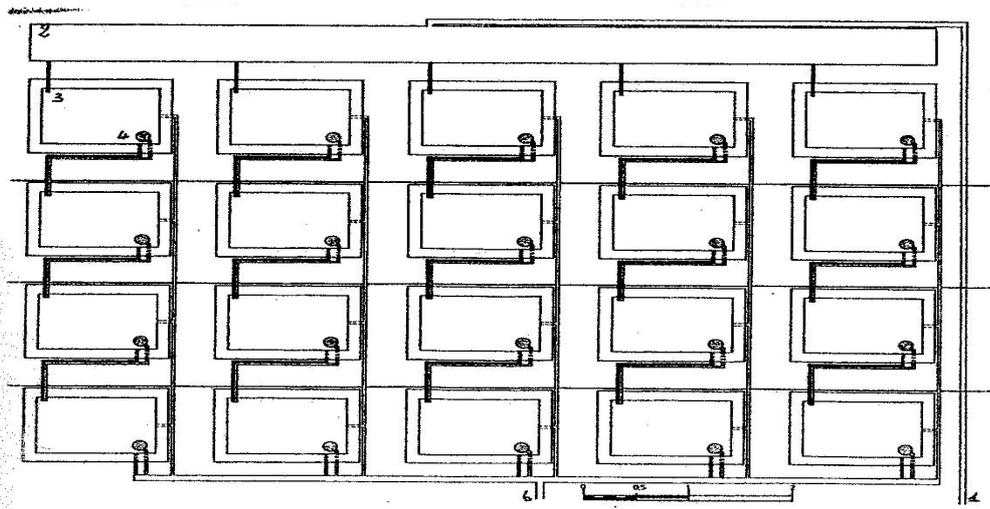
Les échantillons d'eau sont constitués automatiquement, à l'entrée et à la sortie, d'un mélange proportionnel au volume d'eau en circulation.

Les principaux paramètres de pollutions analysés et suivis sont : les M.E.S, le D.C.O, la D.B.O5, les formes de l'azote et du phosphore et les germes indicateurs de la contamination fécale

Figure 6: la station de Viville à Arlon.

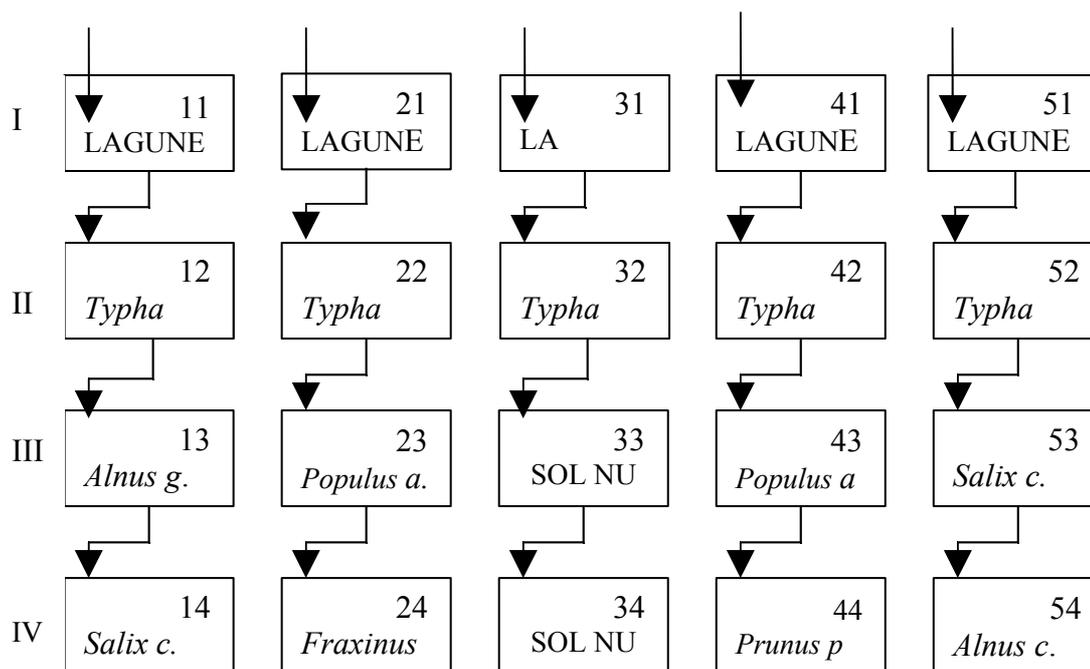


Figure 7: Schéma général des cinq cascades expérimentales



1 : conduite d'amenée des eaux usées, 2 : cabine automatique de distribution et de mesure des débits, 3 : bassin expérimental, 4 : sortie des eaux usées par le bassin si circulation en percolation, 5 : sortie des eaux traitées si circulation en percolation à travers le quartz, 6 : retour à la rivière.

Figure 8: Schéma des cinq cascades expérimentales montrant la localisation des différentes plantations.



I, II, III, IV : numéros des différents niveaux.

1, 2, 3, 4, 5 : numéros des différentes cascades.

N.B. : La cascade 3 n'est pas prise en compte dans le cadre de ce travail.

Grâce à ces installations nodulaires et entièrement contrôlées en charge et en débit, il est possible d'évaluer objectivement les rendements épuratoires de n'importe quel système artificiel alimenté par des eaux usées brutes ou prétraitées. De plus, en comparant les rendements d'écosystèmes placés dans ces conditions identiques, on peut envisager l'optimisation progressive d'une filière de traitement composée des écosystèmes les plus efficaces.

Quinze années d'expérimentation et de recherche ont apporté de nombreuses informations sur les capacités réelles de ces technologies, sur l'importance des « détails » dans la conception et la gestion de ces systèmes rustiques d'épuration. Beaucoup d'aspects ont été abordés comme :

- les capacités épuratoires de ces technologies vis-à-vis de la pollution diffuse au niveau :
 - o de l'influence du temps de séjour ;
 - o de l'influence du nombre de bassins ;
 - o de l'influence du type de circulation des eaux ;
 - o de l'influence de la présence des macrophytes, de l'espèce installée.
- les capacités épuratrices de ces technologies vis-à-vis de la pollution urbaine (en réseau d'égout unitaire) au niveau :
 - o de l'influence de la conception et de la structure des systèmes reconstitués ;
 - o de l'influence du temps de séjour ;
 - o de l'influence du nombre de bassins ;
 - o du rôle du développement des populations macrophytiques ;
 - o de l'influence du vieillissement de la végétation ;
 - o de l'influence des parasites de la végétation ;
 - o de l'influence de la gestion (faucadrage, prélèvements de biomasse) ;
 - o de l'influence des fluctuations climatiques interannuelles.

Tous ces essais ont suggéré à leurs auteurs les conclusions suivantes :

- aucun écosystème simple reconstitué n'a pu se montrer supérieur à tous les autres en saison et/ou à tout niveau de la filière de traitement et/ou pour tout paramètre de la pollution ;
- une plantation de macrophytes devient un écosystème complexe qui dispose de potentialités épuratrices propres, caractéristiques notamment de l'espèce plantée et de son amplitude écologique ;
- une combinaison judicieuse d'écosystèmes artificiels différents a toujours pu dépasser les rendements épuratoires d'une succession d'écosystèmes identiques.

3.1.2) Analyse et discussion sommaires des résultats de Viville : Campagne (1995-1996).

Nous voudrions bien analyser et discuter les performances épuratoires suivant les pouvoirs de rétention et de concentration de la station de Viville de 1995 et 96 en Belgique. Ceci nous servira d'élément de comparaison avec d'autres stations des zones soudano-sahéliennes par rapport à quatre étapes d'épuration à savoir le prétraitement, le traitement primaire, le secondaire, le tertiaire et le quaternaire sur les paramètres biochimiques et chimiques tels que les M.E.S., la D.C.O., la D.B.O₅, l'Azote Total, le Phosphore Total, les Coliformes Fécaux et le Streptocoques Fécaux dans à la structure de la technologie « Mosaïques Hiérarchisées d'Ecosystèmes Aquatiques »..

Les écosystèmes aquatiques (premier niveau de traitement) reçoivent un débit régulier et constant tout au long de l'année. Le débit de sortie au niveau des écosystèmes terrestres varie en fonction de la saison et des paramètres climatiques. Ainsi, d'une manière générale, les débits de sortie en été seront inférieurs (peu de pluies, évaporation au niveau I, évapotranspiration au niveau II et dans les écosystèmes terrestres plantés) au débit de sortie, quasi identique au débit reçu des écosystèmes semi aquatiques. Entre les différentes espèces plantées, on observe des variations importantes du débit de sortie. Ces variations sont fonction du développement des ligneux et du pouvoir évapotranspirant de l'espèce.

Au cours des étés 95 et 96, des débits de sortie faibles (voir nuls), ont été observés principalement pour les *Salix*, les *Populus* et *Alnus glutinosa*. En hiver, les débits de sortie sont égaux, supérieurs ou inférieurs aux débits d'entrée. La pluviométrie est bien l'élément majeur influençant ces débits.

1- Prétraitement et l'épuration primaire

La rétention moyenne et la concentration moyenne définissent la performance ou le rendement de la filière étudiée. Elles sont exprimées en pourcentage.

La rétention moyenne pour les M.E.S. varie de 70 à 90%. Toutes les espèces (*Populus*, *Prunus*, *Alnus*, *Fraxinus*) ont un effet négatif par rapport au sol nu. Elles présentent un effet défavorable qui serait probablement dû aux racines. Ces dernières peuvent ouvrir la voie de passage de certaines particules, leur mort entraîne la libération de particules. Signalons que *Salix* améliore globalement la filtration du sol.

Les concentrations les plus basses sont obtenues par le sol nu d'abord, ensuite le bassin à *Salix* puis à *Alnus* et *Populus*. D'une manière générale, l'ensemble des écosystèmes respecte la norme CEE sauf exceptionnellement pour certains écosystèmes plantés. Le sol nu est un excellent filtre pour les matières en suspension.

2- Epuration secondaire

Comme pour les M.E.S, la rétention de la D.C.O. est remarquable. Par rapport au sol nu, *Populus*, *Salix* et *Prumu* améliorent nettement celle-ci. *Alnus* et *Fraxinus* semblent moins performants, en tout cas en 95. Notons que l'effet rhizosphère favorise la rétention selon les espèces de plantes supérieures.

Tous les bassins sont très largement en dessous de la norme européenne (125mg/l). Les concentrations un peu plus élevées de certains bassins peuvent s'expliquer par une concentration de la charge organique sortante suite à l'élimination d'une partie de l'eau par évapotranspiration (bassins à *Salix* et *Alnus glutinosa*). Globalement, les concentrations en sortie sont inférieures ou égales à 50 mg O₂/l en D.C.O., soit une qualité d'eau traitée tout à fait remarquable.

La D.B.O.₅ : le rendement est exceptionnel car il dépasse 90%. On retrouve une amélioration de la dégradation pour les 3 espèces (*Populus*, *Salix* et *Prumu*) avec le *Fraxinus*. L'ensemble des concentrations en matières organiques biodégradables des eaux de sorties des différents écosystèmes satisfont pleinement à la norme de la Directive Européenne ; soit 25mg/l.

3- Epuration tertiaire

La rétention varie de 50 à 95% quelque soit l'espèce planté, elle améliore un peu ou énormément la rétention de l'azote par rapport au sol nu. Ceci est dû à la nutrition minérale des végétaux (les frênes améliorent peu par rapport au sol nu, *Prunus* et *alnus* environ 20%). Par rapport au sol nu, *Salix* et *Propulus* améliorent le rendement à plus de 40%.

La rétention azotée en concentration sur la période 1995-1996 appelle les commentaires suivants :

- On observe une grande variabilité de la rétention azotée des différents écosystèmes plantés.
- Les bassins à Salix se montrent très performants : concentration moyenne annuelle inférieures à 5mg/l. La concentration en N de la sortie de cet écosystème peu de variations saisonnières et une grande stabilité par rapport à l'entrée qui elle varie très fort et est en augmentation depuis Avril 1995.

Les écosystèmes à Populus et à Fraxinus (depuis le printemps 1996) se montrent également performants, normes CEE respectées.

Ces trois écosystèmes offrent des rendements en azote nettement supérieurs à ceux du sol nu. Pour les écosystèmes à Alnus cordiata et à Prunus padus les rendements sont comparables à ceux du sol nu en étant, sur une base annuelle, légèrement supérieures. La norme CEE est cependant respectée.

Les Phosphore Total Le rendement varie de 35 à 80% pour les écosystèmes terrestres (plantés ou non). Toutes les espèces et même *Fraxinus* améliorent considérablement la rétention phosphorée. Par rapport au sol nu, *Fraxinus* et Prunus ont une amélioration de plus de 10%.

Les rendements épuratoires en phosphore sont extrêmement variables entre espèces et pour une même espèce. Il semble y avoir peu de relation entre les variations interspécifiques et les saisons.

Les écosystèmes plantés ne sont pas systématiquement meilleurs que le sol nu qui ne respecte pas la norme de 2mg/l.

Cependant, les écosystèmes à Salix, Populus et Alnus cordiata permettent l'obtention de rendements épuratoires très performants mais pas d'une manière stable (les meilleurs rendements ont été obtenus en automne 1995). Sur une base annuelle, ces rendements ne permettent pas un respect strict de la norme CEE

4- Epuration quaternaire ou désinfection

Pour les Coliformes Fécaux, les bassins plantés et le sol nu respectent très généralement la norme impérative. En moyenne, les rendements se situent entre la norme impérative et la norme guide. La désinfection est lente.

Le cas des Streptocoques Fécaux, le nombre est élevé pour les deux systèmes. Seul le bassin à Alnus respecte de temps à autre la norme guide. Signalons qu'une norme impérative CEE n'a pas été décidée.

Tableau 5: Systèmes hybrides

Variantes	Méthode alimentation	Type d'écoulement	Type de sol	Type de plantes	Prétraitement
Max Plank Institute Process (4 ou 5 étages)	-Intermittente (étage 1, 2) -Continu (étage3, 4 et 5)	-Vertical (1,2) -Horizontal sous la surface (étage 3,4) -Horizontal en surface (étage5)	-Gravier (étage 1,2) -Sable (étage3,4)	-Phragmites australis, Glyceria aquatica(étage1,2) -Scirpus, Iris, Typha,.. (étage 3, 4)	Aucun fosse septique (étage 1)
Radoux(3étages)	-Continu	-HES (étage 1, 3) -Vertical (étage2)	Sable et gravier (étage 2)	-Typha (étage1) -Arbre (étage2) -Typha et autres (étage 3)	Bassin de sédimentatio n (étage 1)

Adapté de Consultants RSA (1993, p3-6)

4.6 GÉOMATIQUE : OUTILS ET DOMAINES D'APPLICATIONS

4.6.1. Définition

Le concept de géomatique a été défini par plusieurs scientifiques. Toutes ces définitions visent les mêmes objectifs.

Le terme géomatique a été introduit pour la première fois au Québec (Canada) pour désigner l'ensemble des disciplines qui font appel à des données de référence spatiale (cartographie, topographie, géographie, télédétection, photogrammétrie, système d'information géographique,..).

En 1993, l'office de la langue française du Québec adopte le terme géomatique et le définit comme « *la discipline ayant pour objet la gestion des données à référence spatiale et qui fait appel aux sciences et aux technologies reliées à leurs acquisitions, leurs stockage, leur traitement, et leur diffusion* ».

Selon le Groupe canadien de recherche en géomatique (PRIMUS) « La géomatique se définit comme étant « *le domaine scientifique qui s'intéresse à l'acquisition, la gestion, l'analyse et à la distribution des données à référence spatiale concernant le monde dans lequel nous vivons* ».

Pour Goze Bénie, « *La géomatique c'est aussi un champ d'activité qui a pour but d'intégrer les moyens d'acquisition et de gestion des données à référence spatiale en vue d'aboutir à une information d'aide à la prise de décision, dans un cadre systémique* ».

4.6.2. But

D'une manière générale, la géomatique vise à:

- définir les bases de la référence spatiale,
- développer et utiliser les méthodes, techniques et outils pour localiser et mesurer des objets sur le territoire ou à mettre en place
- intégrer ou rendre intégrable les données obtenues en fonctions du système de référence choisi c'est à dire faire de la modélisation mathématique pour transformer un besoin du monde réel,
- fournir des données et des informations de qualité,

- analyser différents scénarii de décisionnels à partir d'informations obtenues en tirant profit des méthodes mathématiques d'optimisation (analyses multivariées, recherches opérationnelles). (note de cours G.Bénié, 2004)

4.6.3. Outils de la géomatique

Pour être efficace, la géomatique s'appuie sur plusieurs outils d'analyse spatiale parmi lesquels on peut citer les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG), et la Télédétection. D'autres outils comme la cartographie assistée par ordinateur (CAO), le Système de Positionnement Global ou Global Positioning System (GPS) sont également utilisés. Tous ces outils spécialisés dans les études spatiales, permettent de produire des résultats satisfaisants.

4.6.3.1. Système d'information géographique (SIG)

Le SIG est un outil spécialisé dans la gestion et l'analyse des données à référence spatiale. Il est défini comme un système d'information spatiale dans lequel la terre est l'objet de référence fondamentale. Il donne la possibilité de traiter un ensemble de données référencées dans l'espace. Les données sont structurées de façon à favoriser la synthèse. C'est un puissant outil de stockage, d'accès, de manipulation et de présentation des données à référence spatiale pour orienter les prises de décision. Il donne la possibilité de réaliser des scénarios d'intervention sur l'environnement et de faire des simulations sur les conséquences de tel ou tel changement ou aménagement du milieu.

Le SIG est caractérisé par trois composantes principales que sont :

- les équipements constitués par le matériel informatique,
- le logiciel permettant la saisie, l'organisation et la manipulation des données recueillies,
- un cadre organisationnel qui facilitera la mise en place du SIG

4.6.3.2. Télédétection

La télédétection est une science nouvelle qui permet d'obtenir des images de la terre à partir des satellites. Elle se « *définit comme la discipline qui regroupe l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour l'observation, l'analyse, l'interprétation et la gestion de l'environnement à partir de mesures et d'images obtenues à l'aide de plates formes aéroportées spatiales, terrestres ou maritimes* » (Bonn, automne, 1996).

Le principe de base de cette discipline est l'acquisition d'informations à distance sans contact direct avec l'objet détecté.

Elle constitue aujourd'hui un puissant outil pour la gestion du milieu, la planification, la surveillance de l'environnement. Ses possibilités d'applications dans plusieurs domaines sont en croissance constante.

Sa grande performance en matière de fournitures de données spatiales fait d'elle, une source principale de données pour les études de la transformation du globe.

Les images de télédétection contiennent plusieurs catégories d'informations. Leurs traitements nécessitent l'existence d'un expert et font appel à des systèmes d'analyses utilisant divers types d'ordinateurs et de logiciels. Aujourd'hui, on dénombre plusieurs types de logiciels permettant de faire une analyse efficace des changements qui surviennent sur la surface de la terre. Les images traitées sont généralement utilisées dans les systèmes d'information à référence spatiale.

4.6.4 Domaines d'application

Les domaines d'application de la géomatique sont plus vastes que l'on ne pourrait l'imaginer.

Tableau 6: Domaines d'application de la géomatique en milieux urbains

N°	DOMAINES	APPLICATIONS
1	Topographie et applications routières	Travaux de génie civil, calculs d'itinéraires optimum, aide à la gestion du trafic urbain,...
2	Dessin de perspectives urbaines à 2D-3D	Etudes d'aménagement et d'urbanisme, tracé des blocs diagrammes à partir des modèles numériques de terrains
3	Etudes d'impacts	Implantation d'infrastructures, préventions des risques, gestions des ressources et de l'environnement urbain,...
4	Foncier et cadastre	Recensement des propriétaires, calculs de surface de parcelles, applications du droit des sols,...
5	Gestion des réseaux techniques urbains	Entretien des réseaux d'eau, d'assainissement urbain, de ramassage des déchets solides, d'éclairage public,...
6	Gestion du patrimoine urbain	Espaces verts, parcs et jardins publics, bâtiments publics, ouvrages d'art, monuments et sites archéologiques,...
7	Gestion du transport urbain	Voies de circulation, signalisations routière, Plans de circulation, statistique des accidents de circulation,...
8	Planification urbaine et aménagement	Plans d'occupation des sols (POS), Coefficient d'occupation des sols, planification, tissus urbains,...
9	Ressource en eau	Réseau hydrographique, plan d'eau et écoulement souterrain, pollution, plan de projection et de forage,...
10	Sociologie et économie urbaines	Recensement de la population, typologie urbaine et données économiques (emplois, services marchands,...)

Sources : [BURROUGH ? 1986] ; [HUXHOLD, 1991] ; [TANAWA, 1992] ; [LAURINI et al, 1993]

Les applications urbaines du SIG sont donc multiples. Elles requièrent des informations pertinentes qui doivent être structurées et modélisées pour constituer la base de données.

4.6.4.1. Premiers champs d'application

Dans ses premiers moments d'apparition, les entreprises qui évoluaient en géomatique étaient appelées à intervenir dans de très nombreux secteurs d'activités comme: l'architecture, l'archéologie, l'agriculture, la foresterie, les activités maritimes, l'environnement, la défense, le génie civil, la gestion urbaine et municipale, les loisirs et le divertissement.

Ces dernières années, de nouvelles applications se sont pointées à l'horizon et touchent à la santé publique, au marketing, la sécurité civile, aux services publics, aux télécommunications et aux transports.

La médecine, les mines et la navigation bénéficieront bientôt à leur tour pleinement de l'aide de la géomatique (Claude Giguere, 2002)

Les entreprises forestières s'en servent pour gérer les données relatives à ses stocks de bois, les services cadastraux des municipalités l'utilisent pour faire de la planification urbaine, la sécurité civile pour gérer une catastrophe, certaines compagnies de câble ou d'électricité l'utilisent également pour planifier leur réseau. On a aussi la présence de la géomatique dans l'agriculture de précision. (C Giguere, 2002).

L'apparition de la géomatique dans le domaine de la santé trouverait son explication dans le fait qu'elle s'appuie sur des méthodes d'analyses systémiques comme l'a souligné Goze B. Béné et al dans leurs études sur la géomatique et santé. Selon eux, « *la géomatique joue de plus en plus un rôle clé dans l'interface entre l'environnement et la santé publique et l'épidémiologie grâce à son approche systémique et ses puissantes méthodes d'analyses spatiales et temporelle* »,

Aujourd'hui, plusieurs groupes de recherches s'investissent dans des projets d'implication des paramètres spatiaux dans la lutte ou la prévention de certaines maladies. Le groupe de recherche canadien PRIMUS développent à ce jour des projets portant sur l'étude des épisodes de soins de maladies chronique (PRIMUS, 2004, Canada).

4.6.4.1.1 Géomatique en santé publique

Dans ce chapitre, il sera question de noter les avancées notables enregistrées dans le domaine de la santé publique grâce à l'intervention de la géomatique. En effet, plusieurs études ont montré que la plupart des problèmes de santé publique ont une forte corrélation avec des données à références spatiales comme les infrastructures socio économiques, l'environnement biophysique. Or, très souvent les infrastructures sanitaires, sont implantées dans des endroits qui ne permettent pas d'optimiser leur exploitation.

Des études menées sur certaines maladies tropicales, ont permis d'établir la relation entre l'environnement et ces maladies.

En 1994, Beck et al sont partis sur l'hypothèse que la végétation peut être utilisée pour prédire la distribution et l'abondance des moustiques porteurs des parasites responsables du paludisme. Les sites choisis pour leurs travaux ont été localisés dans une zone à climat subtropical au Mexique où les conditions de reproduction de *l'anophèle albimanus* et la transmission du paludisme sont favorables.

Après la mise en place de plusieurs dispositifs d'observations, ils sont arrivés à la conclusion que les marécages de transitions et les zones de pâturages non entretenus lieu favorable à la reproduction et au repos des moustiques, sont des zones de haut risque de transmission de la malaria. Ils venaient ainsi d'établir la corrélation entre condition du milieu et le développement du paludisme.

Au Sri Lanka, en 1996, dans une région endémique, Guawardena et al ont fait une analyse spatiale sur les risques de transmission de la malaria. Ils sont partis sur le constat que la distribution de la malaria n'est pas homogène au sein de la population. Leur hypothèse de travail a été basée sur le type de construction, sur la présence des sources d'eau comme lieu de reproduction des moustiques et la proximité d'une forêt comme lieu de repos des moustiques.

À l'issue de leurs travaux, ils ont réussi à établir qu'il n'existe pas corrélation significative entre le taux d'incidence de la malaria et la distance d'une maison à la bordure d'une forêt. De même, ils n'ont réussi à montrer que la proximité des sources d'eau avait une influence sur la distribution de la malaria. Partant de ce constat, l'équipe a pensé probablement que d'autres facteurs comme la scolarité, l'économie et l'hygiène ont une influence importante sur les risques d'infection de la malaria que la proximité de l'eau.

Aujourd'hui, les outils modernes de la géomatique permettent de faire une analyse incluant plusieurs critères de notre cadre de vie permettant ainsi de faire une répartition raisonnée des centres de santé.

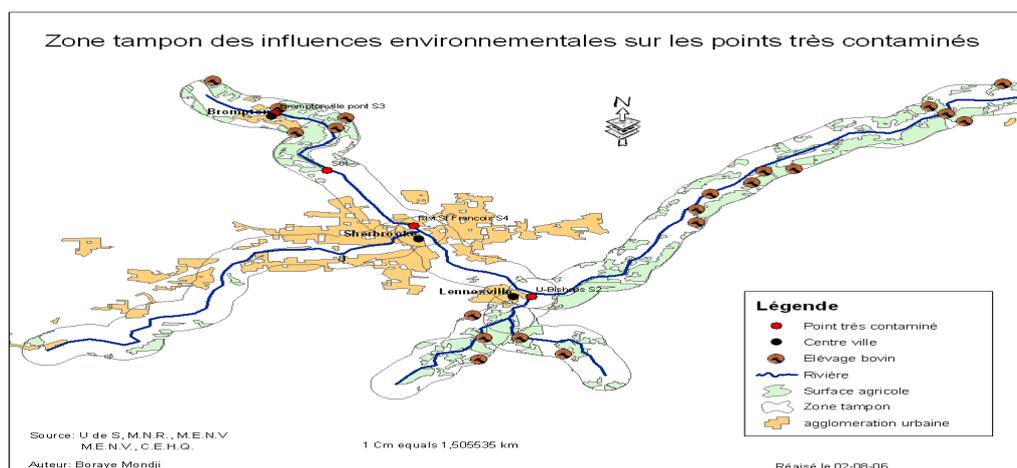
Lors de notre mise en situation professionnelle à l'Université de Sherbrooke au Canada, il nous a été donné comme mandat de stage de chercher les causes environnementales d'une espèce de bactérie dénommée *Campylobacter Jejunie* qui est responsable de la dysenterie.

L'hypothèse posée est que le *compylobacter* a comme niche écologique préférable la bouse des vaches et la fiente des volailles domestiques et, que la proximité des fermes et des champs près des cours d'eau serait à l'origine de la contamination des cours d'eau et de la nappe phréatique.

Notre démarche d'analyse est la suivante : après l'analyse des échantillons d'eau prélevée dans des points géoréférencés des rivières de la zone administrative de l'Estrie au Québec, nous avons fait une modélisation de plusieurs facteurs environnementaux à savoir les données portant sur les surfaces agricoles, les fermes, les eaux de surfaces, les sols, le relief et les données météorologiques comme la pluviométrie. Ensuite, nous avons localisé des points des cours d'eaux non infestés, des points peu infestés et ceux très infestés.

Mais nous constatons creusement que des points très infestés sont ceux-là qui se situent sur les tronçons traversant les centres urbains entre autres la ville de Sherbrooke. Ainsi, nous sommes emmenés à soupçonner une autre source d'infestations des eaux qui serait le rejet des eaux urbains de la ville de Sherbrooke qui ne seraient pas bien traitées dans le fleuve Saint-Laurent (cf carte n°2).

Carte n°2: présentant la zone tampon de 1 km au tour des points très contaminés



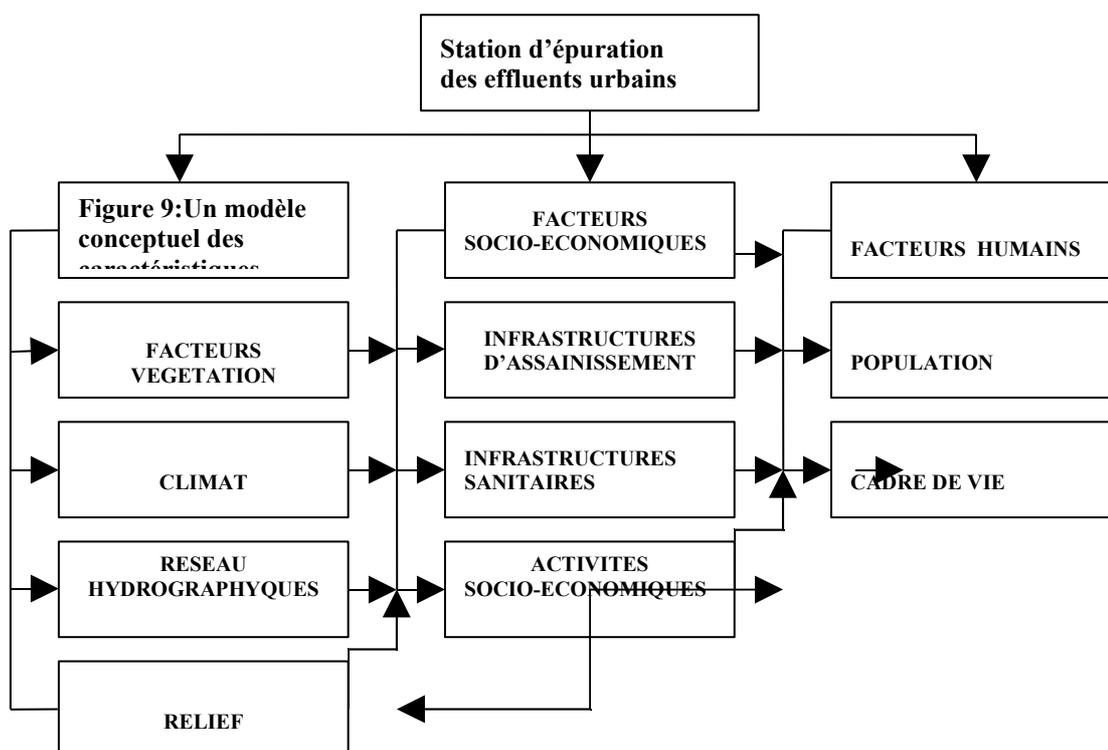
A la lecture de la carte de la zone tampon au tour des 4 points les plus contaminés, nous constatons qu'en amont sous le pont de la rue collège proche de l'Université Bishop au point S2, la présence du *Campylobacter jejuni* est noté avec un taux de présence de 47,22 % et ce nombre va croissant pour culminer à 57,89% en S4 au niveau du pont Saint-Francois à côté de CEGEP de Sherbrooke et après le Lac des nations en plein centre ville; mais à la latitude du ruisseau des Vêratres à la sortie nord de Sherbrooke en S6 ce taux baisse légèrement à 53,12%. Arrivé au point S3 au niveau du pont de

Lennoxville le taux de présence campylobacter jejuni chute à 21,31. Pour ces variations il est difficile d'obtenir des explications claires néanmoins nous tenterons certaines hypothèses dans l'environnement au vu des photos, des cartes topographiques et autres données sur les surfaces agricoles et les sites d'élevage.

Tableau 7: Quatre sites les plus contaminés

Sites	Campylo bacter coli	Campylo bacter jejuni	Campylo bacter lari	Campylo bacter spp.	Rien	Total	Taux de présence %
S2		17		2	17	36	47,222
S4	1	22	2		13	38	57,894
S6	3	17			12	32	53,125
S3	3	8	1	1	24	37	21,6216

En conclusion à cette partie, nous retenons que les différents facteurs de l'environnement interviennent dans la distribution de plusieurs maladies. Ce fait justifie donc la nécessité d'intégrer ces facteurs dans un système de base de données dont le traitement permettra leur prise en compte dans les décisions.

Figure n°9 : Un modèle conceptuel des caractéristiques d'épuration des eaux usées

L'assainissement urbain est un vaste problème multicritères et multi-acteurs, qui requiert de longues négociations entre les scientifiques, les techniciens, les exploitants, les gestionnaires, les entrepreneurs, les bailleurs, les collectivités locales, l'Etat, les associations de quartiers, etc.

Une solution technique efficace n'est pas nécessairement appropriée à une situation socio-économique donnée. De même une gestion déficiente peut faire échouer les meilleurs projets. En réalité, les motivations réelles des acteurs sont déterminantes pour le succès d'un système d'assainissement urbain.

CHAPITRE 5 PROPOSITION D'UNE LOCALISATION D'UN SITE PILOTE À N'DJAMÉNA

5.1 DYNAMIQUE DE LA VILLE DE N'DJAMÉNA

La situation de la ville de N'Djaména est représentative de celle de nombreuses grandes villes africaines.

5.1.1- Cadre physique de l'urbanisation de N'Djaména

N'Djaména est située à 12°8 de latitude Nord et à 15°2 de longitude Est. Son site fut choisi pour des motifs stratégiques. Le site global de la ville aujourd'hui est caractérisé essentiellement par sa platitude : l'altitude varie entre 293 à 298 les points les plus bas de la ville sont 293-294 m. Cette côte est bien inférieure à celle des hautes eaux du Chari (constituée avec le Logone, les deux principaux fleuves du Tchad) qui est à 297m. La couche de terrain supérieur est principalement composée de sols argileux et argilo-sableux.

N'Djaména est dominée par un climat de type sahélien marqué par deux saisons : une saison sèche la plus longue (novembre- mai) et l'autre humide ou pluvieuse (juin – septembre) avec une pluviométrie annuelle oscillant entre 500-700 mm. Août est le mois le plus pluvieux.

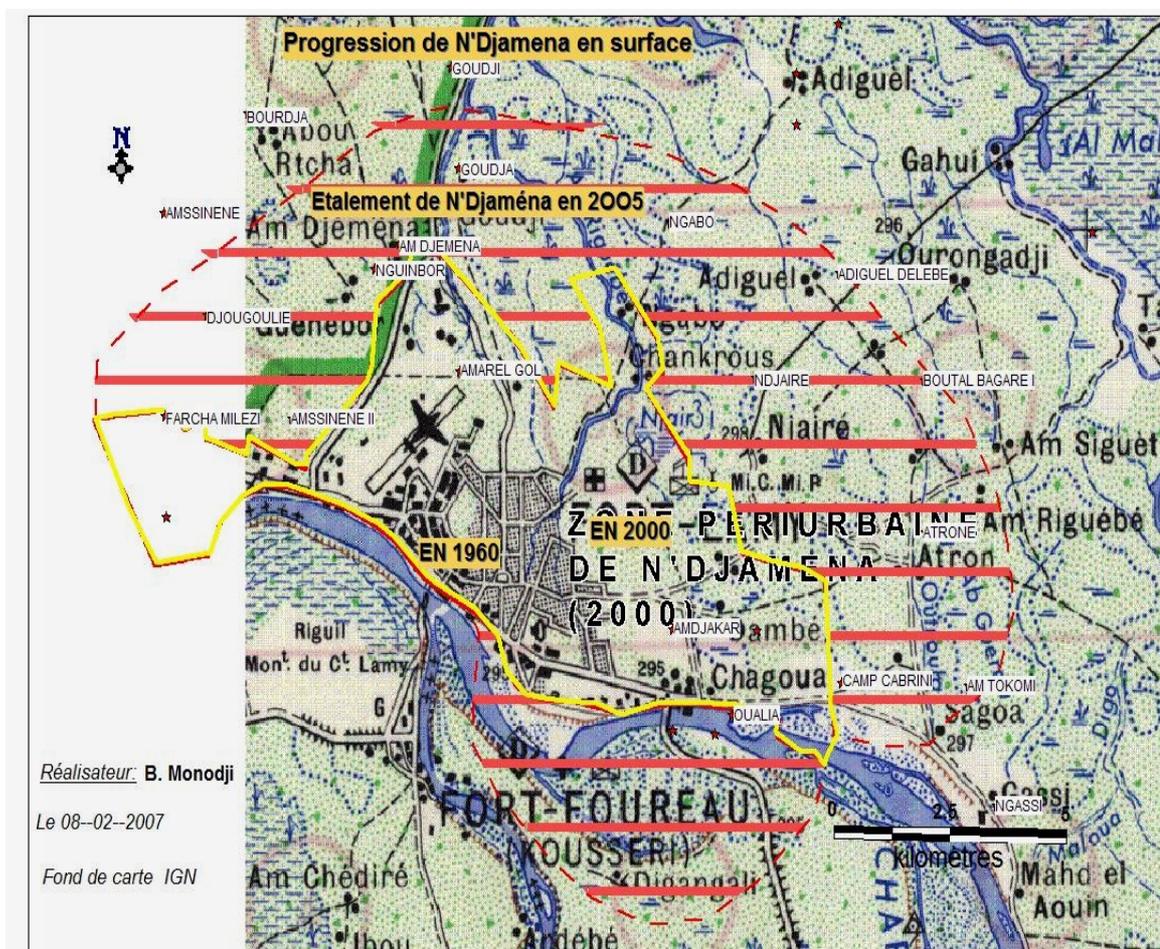
La température moyenne annuelle est de 28°C. La période la plus chaude va de Mars à Mai avec des températures maximale de 43 °C et minimale 26 ° C. En revanche les mois de Décembre et Janvier, période fraîche, ces valeurs tombent respectivement à 32 °C et 12 °C. Les maxima et minima absolus respectifs sont 45 °C et 8 °C. Ces situations peuvent jouer un rôle non négligeable dans, par exemple, la conservation des vaccins, de certains médicaments et de bien d'autres produits sanitaires encore.

5.1.2- CROISSANCE SPATIALE

La capitale N'Djaména (ce nom signifie en arabe local « arbre de paix et de repos »), anciennement Fort-Lamy, est née au début du 20^{ème} siècle. La ville fut créée en 1900 par le commandant Destenave qui, le 23 avril 1900, ramena sur la rive droite du Chari le corps du commandant Lamy, tué lors de la bataille de Kousseri² qui l'avait opposé à l'esclavagiste soudanais Rabah³. Destenave installa alors son poste de commandement face à Kousseri, au confluent du Chari et du Logone, sur l'emplacement d'anciens villages disparus et donna à ce poste le nom de Fort-Lamy.

Ce n'est pas le site mais la géographie et l'histoire qui ont fait de cette ville une capitale (Courtier et Gosselin, 1961).

Carte n°3: croissance spatiale de Fort-Lamy / N'Djaména



2

3

Les premiers bâtiments militaires et administratifs (noyau central de la ville) ont été implantés sur des zones exondées au moment des crues. À partir de là, Fort-Lamy a commencé à s'étendre progressivement autour du noyau central par vagues concentriques, et ce, de façon perceptible à partir de 1950. Cette croissance spatiale s'est faite principalement vers le Nord-est et l'Est sur des terrains marécageux à cause des contraintes naturelles (le fleuve au Sud) et artificielles (l'aéroport à l'Ouest).

L'extension des quartiers résidentiels après la deuxième guerre mondiale a été faite selon un plan en étoile vers le Nord-Ouest, et quadrangulaire pour les quartiers traditionnels de part et d'autre de l'axe Sud –Nord.

En effet, Fort-Lamy avec la mise en place du plan d'urbanisme (en 1945) était : « divisée en plusieurs zones industrielle, résidentielle, administrative, militaire, comprises entre le Chari et la rive occidentale d'un marigot baptisé Saint Martin par les européens. La cité africaine dont une faible partie (quartiers Bololo et Djambal-Bahr) est comprise entre la ville européenne et ce canal (qui en saison sèche n'était plus qu'un large fossé) s'étend sur l'autre rive. Les anciens quartiers ont disparu (Garouang Kaoudji, Labito) ou ont été déplacés (Mardjan Daffac, Paris – Congo) en conservant leur nom pour la plupart » (J.P Lebeuf, avril –mai 1950). La limite urbaine a été constituée en 1970 par le Chari au sud et sud-ouest, l'aéroport au Nord-Ouest et la voie de contournement au Nord-Est. C'est à partir de 1970 et surtout de 1982 que la croissance de la ville s'est faite de façon spectaculaire⁴, sous forme de :

-Habitat spontané, à l'Est (Chagoua) au Nord –Est (bordure Nord et Est de Diguel) et un peu à l'Ouest (Madjorio) ;

- Grands lotissements mis en œuvre par les Directions de l'Urbanisme et du Cadastre, au Nord- Est et à l'Est, au delà de la voie du contournement (Diguel, N'Djari, Dembé, etc.), au Nord et au delà de la rue des 40 mètres (anciens Hillé Leclerc 4, 4b, 5, Repos 3, 4) et à l'Ouest de façon plus limitée (Farcha-Milézi).

Les nouveaux quartiers périphériques présentent beaucoup de vides (terrains occupés mais non construits). La totalité de la surface urbanisée était de 6227 ha en 1993 (Cf. tableau n° 1). Cette croissance spatiale est avant tout l'expression de l'évolution démographique et met en évidence le caractère plus soutenu de la croissance de la ville à l'extérieur de la voie de contournement : les nouveaux quartiers périphériques (Cf. tableau n° 2)

⁴ Cette période correspond aux retours des N'Djaménois qui avaient fui la guerre civile (1979-1980)

5.1.3- DYNAMIQUE DE LA POPULATION DE N'DJAMÉNA

N'Djaména comme de nombreuses villes africaines connaît une augmentation rapide de sa population (Cf. figure n° 1). L'analyse de la croissance de la population de N'Djaména que nous présentons ici s'appuie sur les différentes statistiques existantes⁵ et surtout sur le (dernier) recensement général de la population et de l'habitat en 1993.

5.1.3.1- La Croissance démographique et la densité de la population

Fort-Lamy comptait environ 2100 habitants en 1921, 12000 en 1940 et 20 400 en 1948. Six ans plus tard (1954) on y dénombrait 34 600 habitants.

En 1960, l'accession du Tchad à l'indépendance qui a aboli les faibles barrières que les autorités coloniales tentaient d'opposer à l'exode rural, a donné un coup d'accélérateur à l'immigration rurale à Fort-Lamy. L'ouverture de quelques grands chantiers, la mise en place des nouvelles Institutions attiraient les populations issues de toutes les régions du Tchad. Fort-Lamy comptait alors 64 997 habitants. Le recensement de 1962 estimait à 88 160 le nombre de personnes vivant dans le territoire de Fort-Lamy, et le sondage administratif avançait, lui, un chiffre de 132 502 habitants en 1968.

La population de Fort-Lamy a atteint 180 000 habitants en 1972 et 224 155 habitants en 1975. Cette augmentation notable de la population est largement imputable à la sécheresse de 1973 qui a contraint de milliers de paysans et d'éleveurs sans ressources à se réfugier à N'Djaména.

La guerre civile qu'a connue N'Djaména au cours de 1979-1980 avait engendré des mouvements migratoires très importants et le dépeuplement de la ville. En effet le recensement du Haut Commissariat des Nations Unies aux Réfugiés (HCNUR) du 20 au 27 juillet 1980 a dénombré à environ 100 000 tchadiens dans la seule ville frontalière de Kousséri (Cameroun).

À partir de 1981, la population ayant fui les combats est revenue se réinstaller. Et le mouvement migratoire s'est amplifié en 1984, avec l'exode des populations rurales ayant fui la sécheresse et la famine qui frappaient le Tchad à ce moment là.

⁵ Rassemblées dans les trois thèses de Géographie sur N'Djaména que nous pu consulter.

La ville de N'Djaména comptait au dernier recensement 530 965 habitants (RGPH, 1993). Depuis cette date, son taux de croissance est estimé à 6%. La part de la croissance naturelle (du à l'augmentation des naissances et la baisse de la mortalité elles-mêmes dues à l'amélioration des conditions sanitaires) est de 2,8% et celle de l'apport migratoire est 3, 2% Ce qui laisse penser à un doublement de sa population tous les dix ans.

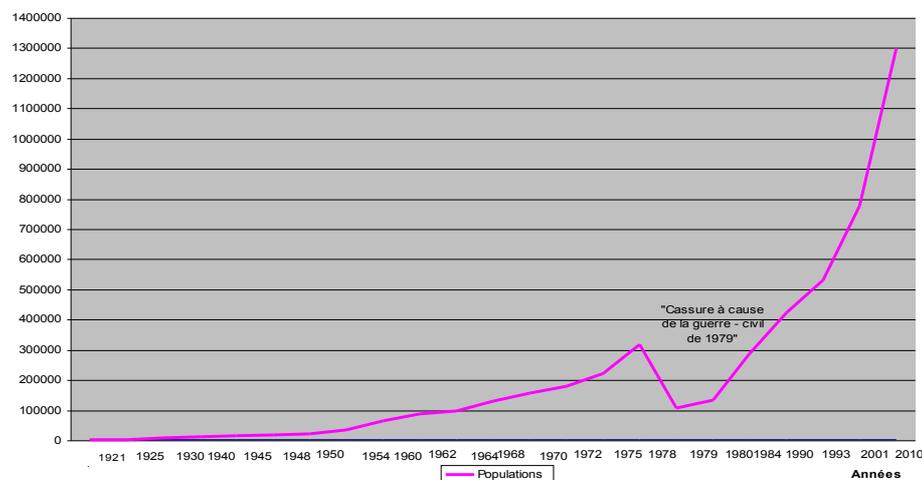
Avec 530 965 habitants en 1993 N'Djaména est encore une agglomération d'importance moyenne, comparée à d'autres capitales qui dépassent le million d'habitants comme Lagos, Abidjan, Kinshasa, Caire etc. Toutefois ce chiffre lui accorde une place non négligeable au niveau national. Elle représente 8, 4 % de la population du Tchad et 40% de la population totale urbaine évaluée à 1 324 403 en 1993 dépassant ainsi largement par sa population les autres centres urbains du Tchad dont aucun n'approche le seuil de 200 000 habitants.

Il faut noter que le concept de ville a été défini selon le Bureau central du recensement par rapport à la fonction administrative et à l'existence d'infrastructures et d'équipements tels : hôpital, collège, marché quotidien etc. et non en lien avec la taille de la population, critère habituellement utilisé. C'est pourquoi, de façon générale, sont considérés comme centres urbains les chefs-lieux de Préfecture, de Sous-préfecture et des Postes Administratifs.

Cette population, est inégalement répartie sur le territoire communal (Cf. carte n° 4) avec une concentration dans les quartiers situés à l'Est de l'axe Nord-Sud constitué par l'avenue El Nimeyri et son prolongement (de l'autre côté de la Grande Mosquée Roi Fayçal) l'avenue Victor Schœlcher. A l'Ouest de cet axe, très peu de quartiers atteignent le seuil de 10 000 habitants. Les densités relatives des différents quartiers de N'Djaména vont de 6 à 516 habitants /ha de surface habitée.

Le constat général est que les densités relatives des quartiers de type européen sont inférieures à celles des quartiers populaires. Au sein des quartiers populaires et spontanés, les densités varient beaucoup mais c'est dans les quartiers anciens proches du centre européen qu'elles sont très élevées. Cette différence relevée dans les densités à N'Djaména trouve son explication dans la taille des concessions de dimension plus petite dans les quartiers anciens centraux que dans les quartiers traditionnels récents.

Figure 9: Courbe d'évolution de la population de N'Djaména de 1921 à 2010



Sources : BCR, DSEED, INSEE, RGHP

5.1.4- Typologie des quartiers et Occupation du sol

L'occupation des sols à N'Djaména est à l'image du modèle d'urbanisation hérité de la colonisation. On distingue six types de quartiers. Les critères de différenciation sont le lotissement et l'habitat :

- Le quartier résidentiel administratif et commercial, avec 300 ha (5,5% de la superficie de l'agglomération) concentre les principaux équipements publics et la plupart des habitations en dur de la ville
- Les quartiers résidentiels, catégorie A : ce sont des quartiers récents ou en formation qui correspondent aux lotissements dont les parcelles sont d'assez grande taille et qui font l'objet de concession provisoire, elles-mêmes susceptibles de se transformer en titre définitif après leur mise en valeur.
- les quartiers traditionnels anciens ou récents, catégorie B : ces quartiers font l'objet de « permis d'habiter » qui sont susceptibles de se transformer en concessions puis en titres définitifs après leur mise en valeur. Ces quartiers abritent aussi des maisons bâties à la mode européenne et qui sont la propriété des riches commerçants, des notables ou des hauts fonctionnaires.
- les quartiers spontanés : ce sont ceux qui sont non réglementés (non cadastré) et construits en matériaux non durables. Ces quartiers sont situés à la périphérie⁶ et marqués par une séparation très peu marquée entre l'espace public et l'espace privé.

⁶ Sous entendue à N'Djaména en dehors de la voie de contournement.

Toutefois ces quartiers font, par moment, l'objet d'opérations de lotissement menées par le ministère chargé de l'urbanisme et (ou) la mairie.

Mais l'occupation spontanée de ces espaces périphériques n'est pas uniquement le fait des migrants récents (comme c'est le cas dans beaucoup de grandes villes dans le monde) mais aussi celui de certains citadins qui préfèrent s'éloigner des quartiers anciens centraux. En effet la forme de la croissance spatiale de la ville est largement liée au mouvement centrifuge des populations résidentes des quartiers anciens centraux vers la périphérie, seule zone possible pour avoir un « chez soi ».⁷

5.1.5- La structure de la population de N'Djaména

La pyramide des âges de N'Djaména (Cf. annexe n° 9) nous renseigne, à travers ses particularités, sur la structure par sexes et groupes d'âges de la population qui y habite. Cette pyramide a une base large et un sommet « effilé », son allure générale montre la forme régulière classique de la cloche. Ce qui révèle l'importance de la jeunesse de la population. La base large de cette pyramide est une manifestation d'une forte natalité. Néanmoins on constate un resserrement au groupe 5-9 ans qui pourrait résulter d'une surmortalité dans l'enfance, imputable à la désorganisation des services de santé publique et aux conditions de vie. L'ensemble des individus (de moins de 20 ans) jeunes est estimé à 54,22 %. L'âge moyen de la population est estimé d'après le Bureau central du recensement à 21,2 ans.

Le sommet « effilé » de la pyramide témoigne d'une forte mortalité dans les âges avancées (60 ans et plus). La structure par sexe et par âge de la population montre une prédominance masculine, avec un sexe ratio de 118 hommes pour 100 femmes. Cette prédominance masculine reflète le flux migratoire vers N'Djaména des hommes à la recherche d'emploi ou des possibilités d'études mais aussi du caractère militaire N'Djaména (présence de nombreux jeunes du contingent).

Cette forte proportion des jeunes permet de présager de sérieux problèmes dans beaucoup de domaines, y compris ceux de la santé, si rien n'est fait pour anticiper cela.

5.1.6- Ethnies et religions

De façon générale la ville se caractérise par une très grande diversité. Selon le BCR les musulmans (72,6 %) constituent le groupe religieux le plus important, suivis par les

⁷ N. Goltob Mbaye, « croissance urbaine et habitat à N'Djaména », thèse de Géographie, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 1998.

protestants et les catholiques. Le taux d'alphabétisation est faible : moins de la moitié des individus de 15 ans ou plus sont scolarisés. La forte proportion de N'Djaména de musulmans s'explique par le caractère sahélien (région où l'islam s'est solidement implanté) de la ville.

Les principaux groupes ethniques représentant les populations vivants sont les suivants : les Ouaddaï-Arabe-Hadjeraï (représentant des ethnies venant des préfectures du Batha, Biltine, Guéra et Ouaddaï) viennent en premier avec 39,24% suivis des groupes dit Sara-Tandjilé-Mayo-Kebbi (les ethnies des préfectures du sud et sud ouest du Tchad) avec 30,91% viennent ensuite les Baguirmiens,-salamat (des préfectures du Salamat et du Chari – Baguirmi) avec 15,08% ; les Goranes-Kanem-Bornou-Lac (des préfectures du BET, du Lac et du Kanem) avec 8,6%. Les étrangers représentent 2,02% de la population totale de N'Djaména.

Il faut noter que la guerre civile de 1979 a cristallisé le clivage « Nord-Sud » dans l'occupation de l'espace à N'Djaména. Car beaucoup d'habitants de retour à N'Djaména après cette guerre se sont repliés sur les territoires de sécurité de leur groupe ethnique. On observe une véritable division ethnico-religieuse (et régionale) des quartiers de l'espace urbain. Ce qui de facto pose un problème pour une capitale qui se veut creuset de l'unité de tous les tchadiens.

On retiendra aussi que N'Djaména est une ville dont la croissance n'est pas planifiée. Elle n'a pas de nouveaux documents d'urbanisme récents tels le Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (SDAU) ou le Plan Directeur d'Urbanisme (PDUR), qui permettent de planifier l'occupation de l'espace à court, moyen et long terme, et de discipliner la croissance spatiale.

Le dernier Plan Directeur d'Urbanisme, le Plan LEGRAND, remonte à 1962 ! C'est dans ce contexte que la croissance de la ville s'est faite (et se fait) : par occupation spontanée et non autorisée de l'espace. Ce qui confirme bien les propos du maire de N'Djaména, « Le développement de la ville se fait de façon anarchique. Les gens s'installent n'importe où, ils s'abritent sous une hutte puis ils construisent un mur et ça devient un quartier »⁸. On dénombre à N'Djaména, aujourd'hui, huit arrondissements mais l'année dernière en 2006 un nouveau décret a créé deux arrondissements en plus. Ce qui donne au total dix arrondissements.

⁸ Source : Interview dans *Presse 2005, tchadien.com*

Tableau 8: Evolution comparée de la population et de la surface urbanisée de 1950-1993

Années	Population (habts)	Surface urbanisée (ha)	Densité brute
1950	22240	570	40
1960	64997	1480	44
1964	99000	2100	47
1971	165873	2840	58
1974	208000	4119	50
1984	289000	4515	64
1990	425600	5500	77
1993	530965	6227	88
Densité moyenne			58 habts / ha

Sources : Groupe Huit 1984/DSEED/RGPH 1993

Ce tableau nous permet d'affirmer que la progression de la surface urbanisée suit sensiblement le rythme de la croissance démographique. La surface urbanisée augmente quand la population augmente. Cependant dans les faits, à N'Djaména, il y a une occupation lâche de l'espace, surtout dans les quartiers périphériques (hors voie de contournement) où le nombre de terrains appropriés mais non bâtis est important. Il faut noter aussi que N'Djaména est une ville qui s'étend plus qu'elle ne se densifie.

Tableau 9: Évolution en hectares de la répartition des terrains urbanisés sur la période de 1991 – 1999

	1991	1995	1999
Intérieur, voie de contournement	2 521	3 475	3 920
% évolution		37,8%	12,8%
Extérieur, voie de contournement	1 794	2 130	3 200
% évolution		18,7%	50,2%
Total	4 315	5 605	7 120

Source : Livre blanc, BCEOM, 2000

5.2 Les problèmes environnementaux

N'Djaména est de loin, au Tchad, la ville la mieux équipée en infrastructures et équipements de toutes sortes. Cette situation avantageuse ne signifie pas qu'elle soit bien nantie. Les problèmes environnementaux s'y posent avec acuité et menacent la santé des habitants. Ces problèmes sont de divers ordres, nous en citerons quelques uns.

5.2.1- L'approvisionnement en eau

« La diversité des modes d'approvisionnement en eau est l'un des caractères spécifiques de l'urbanisation dans le Tiers-Monde. En effet, quelque soit le niveau de modernisation atteint par les agglomérations, jamais l'ensemble de la population n'est raccordé au réseau d'alimentation en eau et de nombreux habitants ont recours à d'autres sources : eaux souterraines, pluviales, bornes-fontaines publiques et achat d'eau au détail » (J. St. VIL, 1987)

À N'Djaména l'eau potable consommée provient des forages qui la prélèvent de la nappe phréatique située au dessous de la ville. La Société Tchadienne d'Eau et d'Electricité (STEE) qui s'en occupe ne gère qu'environ 10.000 abonnés, toutes catégories confondues. Selon le recensement de la population et de l'habitat (de 1993), moins de 20% de la population de N'Djaména disposent d'un branchement. La desserte des quartiers est très inégale. Ce sont le centre ville regroupant les quartiers résidentiels et commerciaux et les anciens quartiers centraux qui sont seuls desservis avec un net avantage au cœur « européen » de la ville.

Les quartiers d'extension récente comme Chagoua-Abéna, Dembé, N'Djari, Milézi, Diguel, Madjorio, etc. en sont complètement dépourvus. Ainsi pour pallier cette situation beaucoup de ménage ont recours à d'autres sources d'approvisionnement : achat au détail auprès des fontaines ou porteurs d'eau, puits, fleuve, mare. Ce qui pose un réel problème de santé de ces populations (80% restants) qui consomment l'eau dont la potabilité est très critique

5.2.2- Assainissement

Pour les eaux usées il n'existe aucun réseau collectif pour en assurer l'évacuation. Il n'existe aucun système crédible de gestion des ordures ménagères et autres déchets solides au niveau de la ville. Le constat sur le terrain est très évocateur : les rues de la capitale tchadienne sont en permanence jonchées d'ordures, les rares caniveaux non entretenus et non curés, contiennent les eaux usées toute l'année, les ordures ménagères stockées dans les rares bacs à ordures maçonnés ne sont pas systématiquement évacués (N'Djaména ne dispose ni d'un centre de traitement global des déchets, ni d'une décharge finale en bonne et due forme). En définitive, c'est une ville où les conditions d'insalubrité sont très dramatiques exclus le cœur européen de la ville. C'est à juste titre que, lors d'une enquête réalisée en 1995 par l'Agence Tchadienne d'Exécution des

Travaux d'Intérêt Public (ATETIP), 44% des habitants (69% dans les quartiers périphériques) ont exprimé comme première priorité la construction d'ouvrages d'assainissement. N'Djaména est souvent qualifiée par ses habitants d'une ville « très sale ».

- Le système de drainage des eaux pluviales ne couvre que moins de 25% de la superficie de l'agglomération (Groupe Huit, 1985). Ce qui engendre des inondations (favorisée aussi par la topographie) de façon récurrentes à chaque saison de pluies. Ces inondations touchent particulièrement des quartiers situés à l'Est et Nord-Est où on peut trouver dans leur site des dépressions naturelles ou artificielles sans aucun exutoire et qui retiennent les eaux des semaines, voire des mois durant. Ce qui peut être un lieu de prolifération d'insectes comme les anophèles, vecteurs du paludisme.

Les problèmes suscités et bien d'autres encore comme ceux concernant le logement peuvent permettre partiellement, il nous semble, d'expliquer relativement le caractère endémique de certaines maladies liées ou non au péril fécal : le choléra, la diarrhée, les dysenteries, les parasitoses intestinales, le paludisme, la fièvre typhoïde etc. qui constituent les principaux motifs de consultations notifiées dans les formations sanitaires de N'Djaména. Parmi ces pathologies, certaines peuvent être maintenues et transmises par la promiscuité. Il faut dire ici que le choléra sévit de façon très endémique (à chaque saison de pluies) dans N'Djaména, sa traduction spatiale est beaucoup ressentie dans les quartiers tant populaires anciens que périphériques.

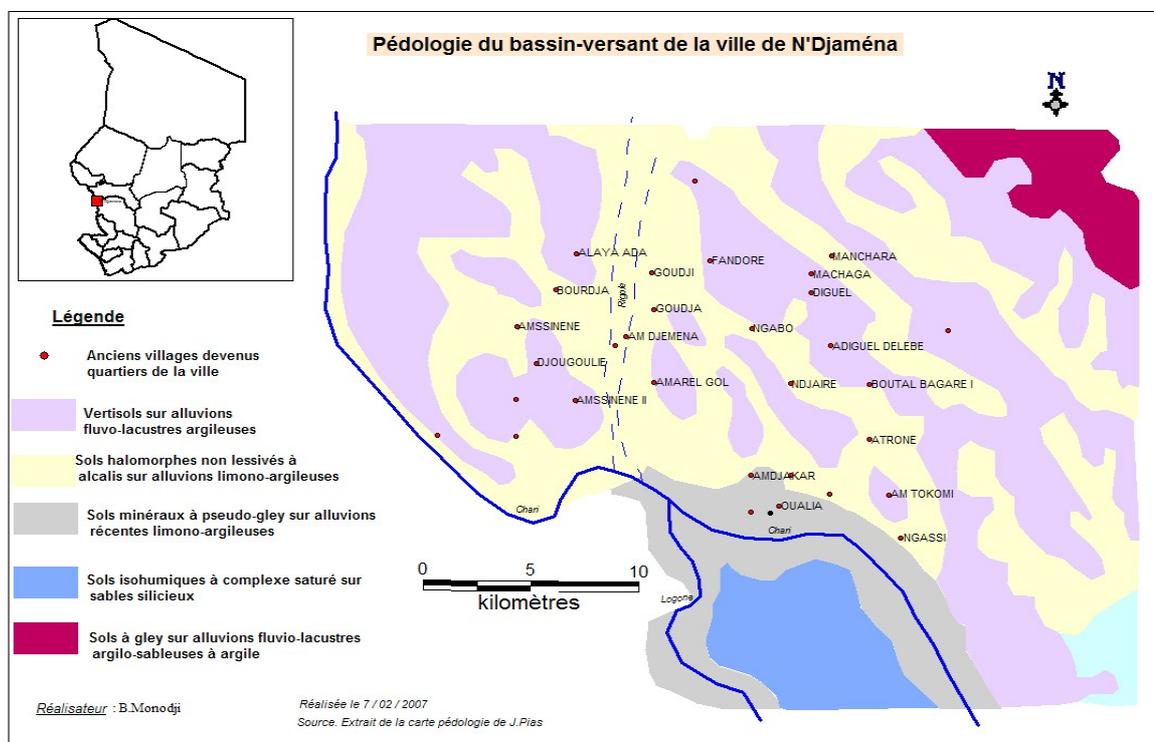
Figure 10: Canalisation des eaux usées et pluviales directement dans le Chari



Source ; Etudes des eaux usées Caméroun-Tchad

5.2.3-Pédologie et topographie de la ville de N'Djaména

Carte n°4 : Pédologie de N'Djaména



Le sol joue un rôle très important dans l'épuration des eaux par les marais artificiels en particulier lorsque que l'écoulement se fait sous la surface (avec plantes émergentes). Le sol participe, entre autres, à l'enlèvement des matières en suspension (Consultants RSA, 19993). Il constitue un filtre stable pour la fixation des microorganismes ainsi qu'un substrat solide pour la croissance des plantes émergentes (KWS Phragmitech, s.d).

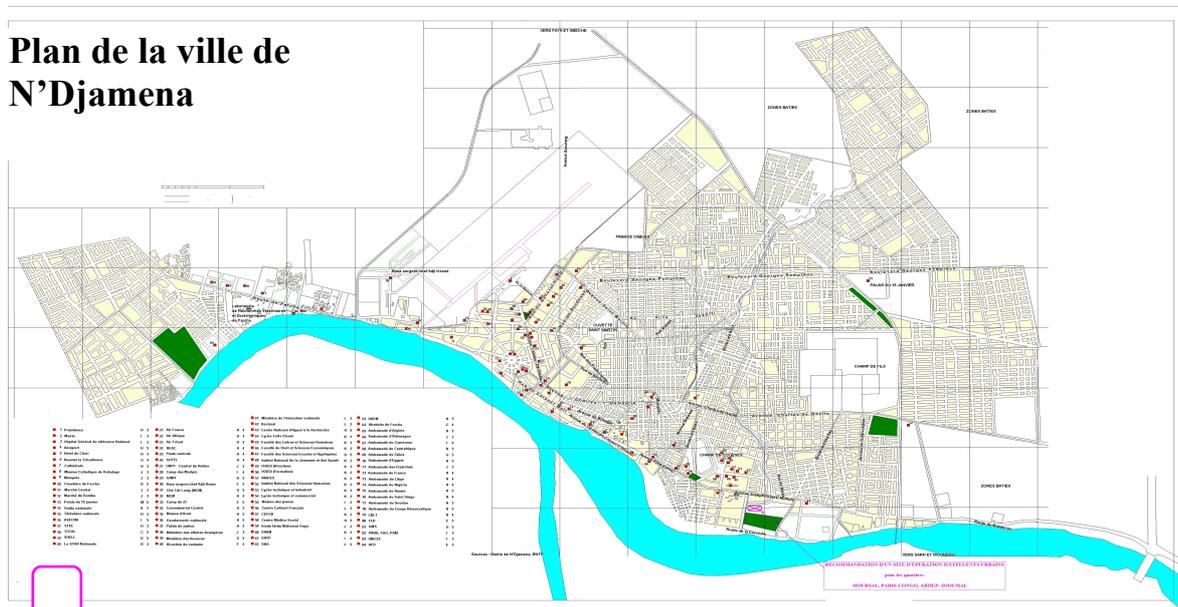
Un autre aspect important des sols est la granulométrie. La granulométrie contrôle la capacité hydraulique des systèmes et affecte de façon considérable les rendements. Selon le procédé utilisé, soit les unités à écoulement vertical, à écoulement en surface ou celles à écoulement horizontal sous la surface, la granulométrie du sol joue un rôle plus ou moins important.

En général, quatre réactions chimiques sont observées dans les sols naturels. Les trois premières réactions affectent le pH ou le processus d'oxydoréduction tandis que la dernière consiste en un transfert de proton et d'électron, une réaction très souvent observée dans les marais. Ces phénomènes chimiques sont très importants parce qu'ils peuvent influencer l'efficacité du système de traitement. Le pH et le processus d'oxydoréduction peuvent augmenter, par exemple, la capacité d'absorption du phosphore par le sol (Consultant RSA, 1993).

- | | | |
|----|--|---|
| 1. | Pas de transfert de proton ou d'électron | $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{FeO OH}$ |
| 2 | Transfert de protons seulement | $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^- + \text{HCO}_3^-$ |
| 3 | Transfert d'électrons seulement | $\text{Fe}^{2-} \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+} + e^-$ |
| 4 | Transfert de proton et d'électron | $\text{FeSO}_4 + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + \text{FeO OH} + 3\text{H}^+ + e^-$ |

Si nous comprenons l'importance du sol dans l'épuration des eaux usées par les marais, nous disposons des informations, à l'aide de la géomatique sur les types de sols sur lesquels s'étale N'Djaména. Le site de cette ville est globalement un bas fond remblayé au cours des temps géologiques par les limons plus ou moins argileux ainsi nous remarquons sur la carte pédologique les sols de type halomorphe non lessivé sur alluvion limono-argileux qui tapissent les tous les rigoles (en jaune pâle). En suite, viennent les vertisols sur alluvions fluvio-lacustes argileuses formant les faibles pentes drainant les eaux vers les rigoles. En fin les sols minéraux sur sable silicieux ou limono- argileux récents tapissent les lits du fleuve Chari facilitant les recharges avec les nappes souterraines, d'où nous redoutons les pollutions par les effluents urbains de N'Djamena. Et donc il y a urgence en la demeure d'intervenir plutôt dans l'environnement pour éviter les pires des contaminations des ressources hydriques.

Localisation du site pilote les quartiers Moursal Paris-Congo et Ardep-Djoumal
Carte n° 2: Proposition d'identification d'un site pilote pour les quartiers Moursal,



5.2.4- Proposition d'identification d'un site pilote pour les quartiers Moursal,

Ici dans ce sous chapitre, d'après les analyses du milieu humain, et les caractéristiques pédologique et topographique de la ville de N'Djaména nous recommandons un site d'épuration des eaux usées urbaines sur l'embouchure d'une petite rigole qui draine déjà les pluviales et les effluents urbains des trois quartiers de la ville de N'Djamena à savoir les quartiers Moursal, Paris-Congo et Ardep-Djoumal.

Sur cette rigole, lorsque qu'arrive la saison des pluies à N'Djamena, le macrophyte comme le Pistia stratiote pousse abondamment dans les eaux usées que retient ce minuscule affluent du fleuve Chari et en cas de débordement des eaux de pluies mélangées avec les eaux usées se jettent directement dans les eaux du Chari. C'est de cette façon que nous redoutons la contamination du fleuve et du même coup les nappes souterraines.

Ainsi nous constatons que de façon naturelle, il y a une ébauche naturelle d'épuration. De ce fait nous nous sommes dits qu'il serait économique et écologique d'exploiter les atouts de la nature en accompagnant avec les technologies de M.H.E.A (RADOUX, 1995), mais celles requièrent une formation rigoureuse de contrôle, de mesures et des suivis des états de traitements des eaux usées dans les cascades de nodules plantés. Comme les technologies de M.H.E.A sont pointues dans le cas impérieux et urgent

d'épurer la ville millionnaire de N'Djaména in finé dans le cadre de la réalisation de notre but nous nous proposons d'appliquée le procédé d'épuration par lagunage à macrophyte de Pistia Stratiote qui est un cas de réussiste à la station de Biyem-Assi à Yaoundé.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET RECOMMANDATION

D'abord il faut noter que cette recherche, bien qu'imparfaite et inachevée, nous a permis de toucher du doigt, d'une façon ou d'une autre, les problèmes que pose le secteur de l'assainissement en lien avec l'urbanisation dans les pays en développement de la zone soudano-sahélienne. Ce travail nous aura aussi permis de prendre conscience des difficultés (et des subterfuges à trouver) à affronter dans la recherche d'informations, etc.

Si au Tchad, quelques efforts sont observés au niveau de la collecte et du traitement des ordures ménagères solides, il n'en est pas de même pour l'épuration des eaux usées. Elle est injustement considérée comme moins prioritaire que la distribution de l'eau potable à la quelle elle doit être étroitement associée. Ceci a poussé certains observateurs à le considérer à juste titre comme le parent pauvre des politiques urbaines et les projets de développement.

Il n'est point à démontrer la nécessité impérieuse d'épurer une ville telle que N'Djaména dont la population environne un million d'habitants. Après maintes analyses des situations socio-économiques à N'Djaména et des technologies extensives par lagunage à Biyem-Issan (Cameroun) et la M.H.E.A à Vivillé (Belgique) ayant présentés des résultats acceptables en matière de qualités d'eaux épurée, de leurs faibles coûts financiers comparées aux technologies intensives et aux faibles exigences technologiques nous recommandons :

- l'approche participative et la décentralisation doivent constituer le socle des actions d'assainissement. L'implication de tous les acteurs serait une force non négligeable alors que la recherche d'échelle optimale des réseaux d'épuration à travers la décentralisation, épargnerait des dysfonctionnements et aurait l'avantage d'être plus économique.

- L'environnementalisation des institutions avec un service de géomatique afin que les problèmes environnementaux soient abordés de façon efficace à l'aide des banques de données reflétant les phénomènes de l'heure.
- La résolution du problème foncier, il est très important de planifier l'étalement urbain ou au mieux anticiper dans les plans d'urbanismes afin de susciter l'adhésion populaire en maîtrisant l'occupation du sol.
- Les technologies extensives :
 - de type « M.H.E.A. » de Radoux dont les paramètres techniques en terme d'efficacité de résultats de traitement primaire, secondaire, tertiaire et la désinfection des eaux usées urbaines et son intégration paysagère ouvre des perspectives de transférabilité peu contraignantes dans les pays soudano-sahéliens.
 - Ou de type lagunage à pistia stratiote expérimenté au Cameroun qui offre le sous-produit comme le compost très utile pour les cultures maraîchères que nos pays soudano- sahéliens sont dans le grand besoin.
- Un site pilote de station d'épuration, à l'aide d'un SIG, dans le canal naturel à cheval entre le quartier Moursal, Paris-Congo et Ardep-Djournal se jetant dans le fleuve Chari qui dépend de la topographie et de la nature du terrain où seront implantées les lagunes : entrées et sorties, plan-masse, écoulement entre les lagunes, stabilité des bassins et autres ouvrages, résistance à l'érosion des terrains avoisinant.

En somme, l'assainissement urbain, terme qui évoque une équation problématique multidimensionnelle, comporte des sous-bassements multiples, des enjeux à plusieurs égards, des connotations certaines avec d'autres secteurs économiques et sociaux, notamment celui de la santé qui en est le réceptacle premier. En cela, il est bel et bien un défi de la société. Donc le combat pour la durabilité du développement, sans omission, passe par l'analyse systémique du triptyque social, économique et environnemental.

BIBLIOGRAPHIE

1- OUVRAGES GÉNÉRAUX

PNUE (1999): *L'avenir de l'environnement*. S.L..

OMS, Genève (1991) : *Urbanisation et santé : aperçu de la situation mondiale*. 41p.

Le BRIS E. et al. (1991) : *Maîtriser le développement urbain en Afrique subsaharienne : actes du colloque international de Ouagadougou d'octobre 1990*. ORSTOM, Laboratoire des sciences sociales, Bondy (France), 738p.

VIGNERON E. (1997) : *Géographie et statistique*. Paris : PUF, coll. "Que Sais-Je?" n° 3177, 127 p.

1 - OUVRAGES EN LIEN AVEC LE PHÉNOMÈNE URBAIN, L'ÉPURATION DES EAUX USÉES, ETC.

Consultants RESA, Ministère de l'Environnement du Québec, Société Québécoise d'assainissement des eaux,(1993) : *Systèmes de traitement des eaux par marais artificiels*. Québec, Janvier 1993, n°1.1-3.78.

Coste, C. et Loudet, M., (1987) : *L'assainissement en milieu urbain ou rural. Tome2 : L'épuration et les traitements*. Ed du Moniteur, Paris 1987. 270p

Groupement Européen d'Intérêt Economique (G.E.I.E.), (1992) : *Etude de faisabilité relative à l'implantation d'une station d'épuration des eaux usées domestiques par « Mosaïque Hiérarchisée d'Ecosystèmes Artificiels »*. Commune de Chevaigné IIIe et Vilaine-France, Fondation Universitaire Luxembourgeoise (FUL) – Belgique, Avril 1992. 71p.

Radoux, M., (1991) : *Pollution et épuration des eaux usées dans le monde*. Dans : *Epuration des eaux usées par « Mosaïque Hiérarchisée d'Ecosystèmes Artificiels »*, FUL, Arlon-Belgique 1991d. 18p

Radoux, M., Kemp, D., et al (1991) : *Réhabilitation d'une friche industrielle. L'aménagement intégré du terroir de Germignies avec les eaux usées urbaines de Lallaing*. Dans: *Epuration des eaux usées par « Mosaïque Hiérarchisée d'Ecosystèmes Artificiels »*. FUL, Arlon-Belgique, 1991c, pp : 27-31

Radoux, M., Kemp, D., et al (1991) : *Le rôle des macrophytes dans l'épuration des eaux usées par hydrosères reconstituées : le cas d'une hélophyte : Typha latifolia L.* FUL, Arlon-Belgique 1991d. 18p.

Radoux, M., Nemcova, M. (1991). : *Epuration des eaux usées par écosystèmes reconstitués : la station expérimentale de Viville : bilan et perspectives*. FUL, Arlon-Belgique, 1991^e. 12p

Radoux, M., (1986c) : *Epuration des eaux usées domestiques par hydrosère reconstituée sous climat tempéré. Hypothèses d'application sous climat sahélien. Dans : Epuration des eaux usées par « mosaïque hiérarchisée d'écosystèmes artificiels ».* FUL, Arlon-Belgique, 1992.

Radoux, M., (1980) : *Approche écologique expérimentale des potentialités épuratrices du roseau commun : Phragmites australis. Dans : Epuration des eaux usées par « mosaïque hiérarchisée d'écosystème artificiels ».*FUL, Arlon-Belgique, 1980. pp :329-339.

Radoux, M.,(1992) : Qualité et traitement des eaux ? Cours I.S.E. Dakar, Sénégal. 327p.

3- OUVRAGES SUR N'DJAMÉNA ET LE TCHAD

République du Tchad, BCR/DSEED, (1996/1997) : *Enquête Démographique et de Santé, EDST.*

YEMADJI N., NDIAYE M., WYSS K. et JACOLIN P. (2000) : *Villes en sursis au Sahel, expériences au Tchad et Sénégal.* L'Harmattan, 131p.

LAIGRET-PASCAULT D. (1961) : *Fort-Lamy. Capitale de la République du Tchad.* Monaco, Editions Paul Bory, 64p.

DOBINGAR Allassembaye (2001): *Gestion spatiale et construction urbaine : l'assainissement, un révélateur de gestion urbaine a N'Djamena (Tchad).* Thèse de doctorat de Géographie. Université de Strasbourg I (France).

YOUNODJIM Clément (1999) : *Gestion de l'environnement urbain à N'Djaména et le processus de participation : étude de trois acteurs de la société civile.* IUED, Genève.

4- Sites Internet

www.pseau.org: Programme solidaire eau

www.oieau.org: Office international de l'eau

www.eaufrance.tm.fr

www.cemagref.fr

www.urbanisme.equipement.gouv.fr

www.worldbank.org/urban/ (voir Key Issues avec bibliographie, publications, ainsi que glossaire et liens).

www.unep.org (Programme des Nations Unies pour l'Environnement)

ANNEXE 1

La directive européenne 91/271/CEE, relative au traitement des eaux usées urbaines résiduaires

La directive européenne 91/271/CEE, relative au traitement des eaux usées urbaines résiduaires, concerne la collecte, le traitement et le rejet des eaux urbaines résiduaires et le traitement et le rejet des eaux industrielles

La directive établit les dates limites suivantes:

-pour la collecte des eaux usées,

Toutes les agglomérations doivent être équipées d'un système de collecte:

*avant le 31/12/2000, si E.H>15000

*avant le 31/12/2005, si $2000 < E.H < 15000$.

*avant le 31/12/1998, si E.H>10000 en zone sensible.

-pour le traitement secondaire ou équivalent des eaux collectées, toutes les agglomérations doivent être équipées d'un système de traitement des eaux collectées:

*avant le 31/12/2000, si E.H>15000.

*avant le 31/12/2005, si $10000 < E.H < 15000$.

*avant le 31/12/2005, si E.H< 2000 pour les rejets dans les eaux douces.

*avant le 31/12/2005, si E.H<10000 pour les rejets dans les estuaires.

-pour l'établissement des zones dites "sensibles",

*avant le 31/12/1993, les Etats membres identifient les zones sensibles.

-pour le traitement des eaux usées résiduaires en zones sensibles,

*avant le 31/12/1998, les Etats membres veillent à un traitement plus vigoureux des eaux résiduaires.

La directive établit les normes de rejet suivantes (Tableaux 1 et 2)

Tableau 1: Synthèse des prescriptions relatives aux rejets provenant des stations d'épuration des eaux urbaines résiduaires. On appliquera la valeur de la concentration ou le pourcentage de réduction.

Paramètres	Concentrations	%minimal de réduction (1)
DBO ₅ (à 20°C, sans nitrification)	25mg /l O ₂	70-90
DCO	125mg/l O ₂	75
MES	35mg/l	90

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

Tableau 2: Prescriptions relatives aux rejets provenant des stations d'épuration des eaux urbaines résiduaires et effectuées dans des zones sensibles sujettes à eutrophisation. La valeur de la concentration ou le pourcentage de réduction seront utilisés.

Paramètres	Concentration	% minimal de réduction (1°)
Phosphore total	2mg/1P, si $10^4 < E.H < 10^5$ 1mg/1P, si E.H>10 ⁵	80
Azote total	15mg/l N, si $10^4 < E.H < 10^5$ 10mg/l N, si E.H>10 ⁵	70-80

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

ANNEXE 2 :

Evolution démographique des 15 premières villes du Tchad de 1968 à 1993

	1968	1993	Croissance Annuelle
Population totale	4.008.224	6.169.439	1,7%
Population urbaine	358.022	1.143.842	4,8%
1. N'Djaména	132.502	530.965	5,7%
2. Moundou	34.098	99.530	4,4%
3. Sarh	36.749	75.496	2,9%
4. Abéché	25.564	54.628	3,1%
5. Kélo	14.351	31.319	3,2%
6. Koumra	13.278	26.702	2,8%
7. Bongor	12.175	20.448	2,1%
8. Doba	11.403	17.920	1,8%
9. Pala	11.103	26.115	3,5%
10. Laï	9.000	14.272	1,9%
11. Benoye	8.599	11.946	1,3%
12. Fianga	8.275	9.897	0,7%
13. Mongo	6.528	20.443	4,7%
14. Ati	6.444	17.527	4,1%
15. Bokoro	5.758	10.841	2,6%

Sources : BCR, RGPH, 1993

Le taux d'accroissement annuel : 6% pour les quartiers périphériques, 3% quartiers anciens péri centraux et 1% quartiers résidentiel, administratif et commercial.

Nous avons estimé la population par quartier en 2004 par la formule suivante :

$P_n = P_0(1 + t)^n$ où : t= taux d'accroissement annuel, Pn = Population de fin période (année finale),

P₀ =Population de l'année de base (année de départ), n =Nombre d'années de la période considérée.

