

«TRAITEMENT DE SEAU X USÉES DOMESTIQUES PAR
FILTRE IMMERGÉ À GRAVIER NU COMPARAISON DE
L'EFFICACITÉ DES SYSTÈMES (XOFF-TONGHO (DAKAR)
ET À LA STATION EXPÉRIMENTALE DE L'IFAN »

Mémoire présenté et soutenu publiquement en juillet 2006 par :
YAKHYA GUÈYE

Pour l'obtention du diplôme d'étude approfondie de physique
atomique et nucléaire
Option : physique appliquée aux sciences biologiques et médicales

Devant la commission d'examen composée de :

Président : **M. Christian Sina DIATTA**, professeur titulaire FST/UCAD

Membres : **M. Antoine NONGONIERMA**, professeur titulaire IFAN/UCAD

M. Ismaïla DIÉDHIOU, Maître-assistant FST/UCAD

Directeur de recherche : **M. Seydou NIANG**, Maître-assistant de recherche
IFAN/UCAD

RÉSUMÉ

Les eaux usées domestiques ont un impact complexe qui affecte diversement plusieurs aspects de l'environnement et par là, la vie économique et sociale des populations. Citons sans être exhaustif, la diminution en quantité et la dégradation en qualité des ressources alimentaires (poissons, coquillages, légumes en maraîchage irrigué...), la baisse de la productivité, les surcoûts des soins de santé, la dégradation de la qualité des nappes phréatiques, la diminution des ressources touristiques.

Suite à la sécheresse le Sénégal est aujourd'hui confronté à de réelles difficultés socio-économiques, dues en parti au manque d'eau et à la non réutilisation des eaux usées traitées. Pour la seule région de Dakar, plus de 120 000 m³ d'eaux usées sont rejetées tous les jours.

Conscients de cela, les chercheurs du laboratoire de traitement des eaux usées de l'IFAN ne cessent de rechercher des alternatives de traitement qui seront économiquement applicables dans nos pays par le biais de la station expérimentale de l'IFAN (SEI) et des stations pilotes dans les quartiers périphériques (Yoff Tonghor à Dakar, Castors et Diokoul à Rufisque).

C'est ainsi que ENDA/RUP dans son programme financé par l'AFD a mis au point, à Yoff-Tonghor avec la collaboration du LATEU/IFAN, un système de traitement des eaux usées domestiques relativement abordable pour les ménages à faibles revenus. Ce système est composé d'ouvrages de prétraitement, installés à l'intérieur des concessions (dégraisseurs et décanteur) reliés à des fosses septiques en condominium par un réseau d'évacuation constitué de tuyaux à petit diamètre (110mm) et d'une station de traitement par filtre immergé en gravier.

Le projet compte parmi ses objectifs, outre la réduction des risques de contamination des produits maritimes et l'éradication de l'insalubrité dans le quartier, la récupération des eaux épurées.

Notre étude a pour but d'évaluer l'efficacité du système mis en place par rapport à celui de la SEI.

La fosse septique s'est montrée très performante par comparaison au décanteur de la SEI. Notons par exemple les 90% de réduction des coliformes fécaux.

La comparaison des systèmes du filtre immergé montre des performances épuratoires suivantes :

- 80% de réduction des MES à Yoff et 40% à la SEI ;
- 88% de réduction de la DCO pour les filtres nus à Yoff et à la SEI contre 59% pour le gravier planté de la SEI ;
- 73% de réduction de la DBO₅ à Yoff contre 30% à la SEI ;
- 46% et 30 % respectivement au niveau des filières à gravier nu et à gravier planté et une inefficacité pour l'azote total -125 % à Yoff ;
- pour le potassium -8% de rendement à Yoff ; 43% pour le filtre nu et 27% au filtre planté ;
- pour le phosphore 64% pour le filtre nu, 56% pour le filtre planté et 61% à Yoff ;
- 40% de réduction des coliformes à Yoff et un maximum de 60% dans les filtres de la SEI.

Les eaux produites sont très riches en éléments minéraux comme le l'azote et le phosphore.

Mots clés : Agriculture ; azote total ; décantation ; demande biochimique en oxygène (DBO₅) ; demande chimique en oxygène (DCO) ; digestion (aérobie, anaérobie) ; eaux usées domestiques ; environnement ; filtration ; matières en suspension (M.E.S.) ; phosphore total ; pollutions physique, chimique et biologique et traitements primaire, secondaire, tertiaire et quaternaire.

DÉDICACES ET REMERCIEMENTS

C'est dans la douleur qu'on enfante et nous avons vraiment compris le sens de ce proverbe lors de la confection de ce travail. C'est la raison pour laquelle après avoir rendu grâce au Bon Dieu pour la santé, nous tenons à remercier vivement

- notre mère pour tout,
- et à notre père aussi à titre posthume.

Nous dédions ce travail :

- à nos frères et sœurs,
- à nos parents et alliés,
- à nos collègues et camarades,
- à nos amis et connaissances,
- et à toute la communauté scientifique.

Nous remercions tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce document pour leurs conseils et critiques et par leur appui logistique.

Nous remercions tous les professeurs qui ont contribué à notre formation scientifique depuis notre entrée à l'université, particulièrement ceux qui nous ont encadrés dernièrement et qui ont bien voulu juger notre travail.

Nous réservons une mention spéciale au LATEU/IFAN par le biais de son responsable qui a bien voulu héberger et diriger ce mémoire de D.E.A. en ne ménageant aucun effort, et aussi à toute l'équipe de recherche.

SIGNIFICATION DES ACRONYMES ET SIGLES

Acronymes/ Sigles	Significations
AFD	Agence Française de Développement
APECSY	Association pour la Promotion Economique, Culturelle et Sociale de Yoff
CGT	Comité de Gestion de Tonghor
CRESP	Centre de Ressources pour L'Emergence Sociale Participative
CF	Coliformes fécaux
CSE	Centre de Suivi Ecologique
D.B.O.	Demande Biochimique en Oxygène
D.C.O.	Demande Chimique en Oxygène
D.T.G.C.	Direction des Travaux Géographiques et Cartographiques
D.E.	Directive Européenne
DEA	Diplôme d'Etudes Approfondies
ECOYOFF	Programme Eco communautaire de Yoff
ENDA- TM/RUP	Environnement et Développement Action-Tiers Monde/Réseau Urbain pour le développement Participé
FST	Faculté des Sciences et techniques
IFAN	Institut Fondamental d'Afrique Noire
ITNA	Institut de Technologie Nucléaire Appliqué
LATEU	Laboratoire de traitement des Eaux usées
M.E.S.	Matières en Suspension
ONAS	Office National d'Assainissement du Sénégal
O.M.S.	Organisation Mondiale de la Santé
PAMECAS	Partenariat pour la Mobilisation de l'Epargne et le Crédit au Sénégal
pH	Potentiel Hydrogène
SEI	Station Expérimentale de l'IFAN
UCAD	Université Cheikh Anta Diop
W.C	Water Closet

TABLE DES ILLUSTRATIONS

GRAPHES

graphe 1 : Evolution des concentrations et des rendements épuratoires pour l'abattement des Mes	48
graphe 2: Efficacite du gravier dans l'abattement de la DCO.....	50
graphe 3: Variation de l'abattement de la DBO5 par les systèmes de traitement.....	51
graphe 4: Variation de l'abattement de l'azote total par les systèmes de traitements.....	53
graphe 5: Variation de l'abattement du phosphore total par les filières de traitement.....	54
graphe 6: Variation de l'abattement du potassium dans les filières de traitements	55
graphe 7: Efficacite du gravier dans l'abattement des coliformes fécaux.....	56

TABLEAUX

tableau 1: Recommandation OMS en, matière de qualité microbiologique des eaux residuaires	15
tableau 2: Qualité comparée des eaux usées urbaines sénégalaises et françaises	17
tableau 3: Les rendements de l'abattement de la DBO5 et des MES en fonction des différentes valeurs de la vitesse de subsidence.....	29
tableau 4: Normes relatives a la qualité physico-chimique des eaux usées destinées au rejet.	34
tableau 5: Résumé des résultats sur les enquêtes socio-économiques	43
tableau 6: Résumé des résultats sur les enquêtes relatives aux infrastructures.....	46
tableau 7: Variations du pH et de la conductivité dans les filières de gravier.	49

PHOTOS

photo 1: Image d'un bassin	23
photo 2: Image d'un décanteur.....	28

SCHEMA

schema 1: Principe du traitement intensif	21
graphe 2: Schéma de la filière de traitement sous gravier de la station de l'IFAN.....	37

TABLES DES MATIÈRES

INTRODUCTION	4
1.PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE	6
1.1. Position géographique	6
1.2. Climat.....	7
1.3. Description de la population	7
1.4. Contraintes	8
1.4.1. Contraintes liées à la situation géographique et topographique	8
1.4.2. Contraintes socio-économiques.	8
1.4.3. Contraintes physiques.	8
1.4.4. Organisation institutionnelle du système.	9
2.ÉTUDE BIOBLIOGRAPHIQUE.....	10
2.1. La caractérisation des eaux usées domestiques.....	10
2.1.1. Origines des eaux usées domestiques.....	10
2.1.2. Evaluation de la pollution des eaux usées domestiques.....	10
2.1.2.1. La pollution physique : paramètres de mesure et impacts	11
2.1.2.2. La pollution chimique organique : paramètres de mesure et impacts	12
2.1.2.3. La pollution chimique minérale, ses paramètres et ses impacts.....	13
2.1.2.4. La pollution biologique : paramètres de mesure et impacts.....	14
2.2. Les différentes techniques de traitement.....	16
2.2.1. Les techniques individuelles : Assainissement individuel-les petites stations. 17	
2.2.1.1. Prétraitement des eaux usées domestiques : la fosse septique annexe	18
2.2.1.2. Les critères d'aptitude d'un site à l'assainissement individuel	20
2.2.2. Les technologies collectives intensives.....	21
2.2.2.1. Le réacteur à boues activées.....	21
2.2.2.2. Lits bactériens	22
2.2.2.3. Le système à disques biologiques	22
2.2.3. Les techniques collectives extensives	22
2.2.3.1. Le lagunage à microphytes.....	23
2.2.3.2. Les prairies à hydrophytes libres ou flottants.....	23
2.2.3.3. Les prairies à hydrophytes fixés ou rhizophytes	23
2.2.3.4. Les marais artificiels ou « E.H.T.S. »	24
2.2.3.4.1. Le procédé KICKUTH ou « Root Zone Method » (RZM).....	24
2.2.3.4.2. Le procédé SEIDEL ou « Max Planck Institute System » (M.P.I.S.) .	24
2.2.3.4.3. Le « LELYSTAD Process » (de JONC, 1976, GREINER et de JONC, 1982)	24
2.2.3.5. L'épandage souterrain	25
2.2.3.6. Mosaïques Hiérarchisées d'Ecosystèmes Artificiels (M.H.E.A.)	25
2.2.3.7. La filtration sous gravier.....	26
2.3. Les principes de traitement	26
2.3.1. Prétraitement	27
2.3.2. Traitement primaire.....	28
2.3.3. Traitement secondaire ou élimination biologique des matières polluantes.....	29
2.3.4. Traitements tertiaires ou complémentaires	30
2.3.4.1. L'élimination de l'azote	30
2.3.4.2. L'élimination du phosphore	31
2.3.4.3. Filtration.....	32
2.3.5. Traitement quaternaire	32
2.4. Les normes de rejet des eaux usées recommandées.....	33
2.4.1. Définition	33

2.4.2. Les Normes établies par le Sénégal et par l'Union Européenne	33
3. MATÉRIELS ET MÉTHODES	35
3.1. Description des ouvrages du système à Yoff	35
3.2. La station expérimentale de l'IFAN (SEI)	36
3.3. L'échantillonnage et les méthodes d'analyses	37
3.3.1. Echantillonnage	37
3.3.2. Méthodes d'analyses	38
3.3.2.1. Détermination des matières en suspension (MES).....	38
3.3.2.1.1. Principe	38
3.3.2.1.2. Mode opératoire.....	38
3.3.2.2. Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO)	39
3.3.2.2.1. Principe	39
3.3.2.2.2. Mode opératoire.....	39
3.3.2.3. Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO ₅).....	39
3.3.2.3.1. Principe	39
3.3.2.3.2. Mode opératoire.....	39
3.3.2.4. Dosage de l'Azote total et du Phosphore total	40
3.3.2.4.1. Principe	40
3.3.2.4.2. Dosage de l'azote total, mode opératoire	40
3.3.2.4.3. Dosage du phosphore total, mode opératoire :	41
3.3.2.5. Dénombrement des coliformes fécaux (CF)	41
3.3.2.5.1. Principe	41
3.3.2.5.2. Mode opératoire.....	41
3.3.2.6. Dosage du potassium (K)	42
3.3.2.6.1. Principe	42
3.3.2.6.2. Mode opératoire.....	42
4. RÉSULTATS ET DISCUSSION	43
4.1. Profil socio-économiques des ménages	43
4.1.1. variation de la consommation en eau par rapport au niveau de vie	44
4.1.2. La connexion est-elle fonction du niveau d'instruction ?	45
4.1.3. Problématique des eaux usées domestiques des concessions non connectées.	45
4.1.4. Le moment d'apparition du premier entretien.....	45
4.1.5. Le pourcentage de jeunes faisant l'entretien des fosses.....	46
4.2. Efficacité des systèmes de traitement à Yoff et à la SEI	47
4.2.1. Efficacité des systèmes pour l'élimination des MES.....	47
4.2.2. Evolution du pH et de la conductivité dans les systèmes testés	49
4.2.3. Efficacité des systèmes pour l'élimination de la matière organique	50
4.2.3.1. L'élimination de la DCO	50
4.2.3.2. L'élimination de la DBO ₅	51
4.2.4. L'efficacité des systèmes pour l'élimination de la pollution tertiaire	52
4.2.4.1. L'élimination de la pollution chimique minérale azotée.	52
4.2.4.2. L'élimination de la pollution chimique minérale phosphorée	53
4.2.4.3. L'élimination du potassium (K ⁺)	54
4.2.5. Efficacité des systèmes pour l'élimination de la pollution biologique	56
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	57
BIBLIOGRAPHIE.....	59
ANNEXES	62

INTRODUCTION

Suite à la sécheresse, le Sénégal est aujourd'hui confronté à de réelles difficultés socio-économiques, dues en parti au manque d'eau et à la non réutilisation des eaux usées traitées. Pour la seule région de Dakar, plus de 120 000 m³ d'eaux usées sont rejetées chaque jour en mer sans traitement. Ceci constitue non seulement une perte d'eaux parce qu'elles pourraient être recyclées, et réutilisées notamment pour le maraîchage, le reboisement, le développement de la pisciculture, mais aussi une source de pollution des eaux marines où le rejet est fait sans traitement préalable (anonyme 1, 2001).

En observant le trajet des réseaux d'évacuation des eaux usées de Dakar, nous nous rendons compte que les destinations de toutes les eaux drainées est la mer. En effet les principaux canaux tels que le canal Hann, Fann, le canal IV, rejettent tous des eaux usées non traitées au niveau des baies de Dakar : Hann, Soubédioune. Des études menées par Niang (1995) ont montré que les poissons ont été contaminés par des métaux lourds (Pb, Cd, Mg...) et par des bactéries. Des difficultés de reproduction des poissons et des phénomènes d'eutrophisation ont également été notées dans ces zones.

Au niveau de la contamination des nappes phréatiques, déjà, en 1989, une étude de COLLIN et SALEM (ENDA/RUP, 1998) avait signalé des contaminations en nitrates très fortes dans les nappes de Pikine. Plus récemment une étude de Diop et Tandian en 1997 (ENDA/RUP, 1998) montre des taux de 360 mg/l de nitrates dans les nappes de Yeumbeul. Pour ces auteurs, l'origine de cette contamination serait liée d'une part aux latrines familiales non étanches et d'autre part par la minéralisation de la matière organique du sol. Il faut rappeler que la pollution des nappes en nitrates est très dangereuse car elle est à l'origine de la maladie des bébés bleus dite méthémoglobinémie. Par ailleurs, ces auteurs ont noté au niveau de certains puits de Yeumbeul la présence de CF, indicateurs de contamination fécale. Ceci est très alarmant quand on sait que la plupart de la population de cette zone s'alimente en eau de boisson à partir de ces puits.

Le rejet des eaux urbaines sans traitement, à l'origine de la pollution des nappes souterraines et des eaux de surface, est devenu un problème grave à l'échelle mondiale. La résolution de ce problème devient alors un enjeu essentiel pour la sauvegarde de notre environnement et la réduction des maladies transmises par les eaux usées comme les dermatoses et les maladies du péril fécal (anonyme 1, 2001).

Dés que la nécessité du traitement des eaux avant rejet c'est posé alors qu'il n'existait encore aucun procédé physico-chimique ou biologique de traitement intensif, le sol est apparu comme une alternative intéressante (Bechac et *al*, 1984). En effet les premiers centimètres du sol constituent un milieu biologiquement très actif, extrêmement riche en micro-organismes de toutes sortes (bactéries, protozoaires, champignons, microfaunes...). En plus la présence d'une végétation supérieure dont l'essentiel du système racinaire se développe dans cette zone augmente considérablement le potentiel d'épuration du sol. Ensuite apparurent les techniques collectives intensives d'épuration dites techniques classiques qui assurent un traitement biologique des eaux usées (traitement secondaire). Ces techniques sont coûteuses pour les pays en voie de développement. A côté des techniques collectives intensives, se sont développés d'autres procédés, les techniques collectives extensives ou techniques rustiques qui sont basées surtout sur la capacité épuratrice des milieux naturels (ENDA/RUP, 1998).

Les terres arables représentent seulement 19% de la superficie du pays, soit 3.8 millions d'hectares. Ces terres sont réparties dans les zones éco-géographiques dans les proportions qui suivent : 57% au bassin arachidier, 20% en Casamance, 10% au Sénégal oriental, 8% au fleuve Sénégal, 4% dans la zone Sylvo-pastorale et 1% dans les niayes. Annuellement, les mises en valeur agricoles ne portent que sur 65% de ces terres, soient 2.5 millions d'hectares environ. En outre, l'essentiel de ces terres est cultivé sous pluie, de sorte que l'activité agricole est exposée aux aléas climatiques. Seulement 2% sont mises en valeur grâce à l'irrigation (anonyme 5, 2000).

C'est dans cette recherche de solution aux problèmes de l'eau en général et pour l'agriculture en particulier que le projet de Yoff-Tonghor s'est assigné comme objectifs la récupération de l'eau épurée pour réaliser un projet de maraîchage. Le projet d'assainissement liquide et solide de Tonghor a pour but :

- de réduire les risques de contaminations des produits maritimes,
- d'améliorer les conditions de travail des populations,
- d'éradiquer l'insalubrité dans le quartier.

Il a en même temps pour rôle de protéger l'environnement maritime du quartier en mettant à la disposition de la population de la zone, des moyens pour une collecte efficace et adaptée.

Notre travail s'inscrit dans le cadre des objectifs du Laboratoire de traitement des Eaux Usées de l'IFAN (LATEU), qui poursuit des recherches sur les solutions alternatives aux systèmes classiques de traitement des eaux usées et leur réutilisation dans l'agriculture urbaine au Sénégal. C'est ainsi que nous avons été chargé pour notre mémoire de DEA, d'évaluer l'efficacité de la station de traitement des eaux usées de Yoff-Tonghor.

Cette étude est subdivisée en quatre chapitres qui se présentent comme suit :

- Présentation de la zone d'étude et du contexte organisationnel du projet,
- Etude bibliographique sur la pollution et le traitement des eaux usées,
- Présentation de l'approche méthodologique,
- Présentation des résultats et discussions.

1. PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

1.1. Position géographique

Le village de Yoff se situe à l'extrémité Nord de la presqu'île du Cap Vert, entre 14°16 de latitude Nord et 17°29 de longitude ouest.



Carte 1: Position géographique de la commune de Yoff dans la ville de Dakar (anonyme 2)

Le quartier de Tonghor est limité au Nord par l'Océan Atlantique qui rythme la vie économique et sociale, au sud par l'autoroute qui mène à l'aéroport LSS et relie le village à Dakar ville, à l'ouest par la cité Biagui et à l'est par le quartier traditionnel de Ndénat.

1.2. Climat

Au Sénégal, le climat est coupé en deux saisons principales dans l'année :

- une saison sèche de début novembre à fin juin avec des températures comprises entre 22°C et 30°C et des variations importantes entre le littoral et l'intérieur,
- une saison pluvieuse de juillet à fin octobre avec une importance des précipitations plus marquée au sud qu'au nord.

A Dakar et ses environs, les alizés, venant de l'atlantique, repoussent les effets de l'harmattan (vent sec et chaud venant du nord-est) et donnent des températures moyennes mensuelles de 24°C entre décembre et mars (saison froide) ; les températures peuvent atteindre 27°C en avril, mai et novembre (saison chaude et sèche) ; et pendant l'hivernage (juillet à octobre) les températures moyennes mensuelles atteignent 30°C et la pluviométrie moyenne annuelle est de 300 mm. (Anonyme, 2 in Sène W., 2003).

1.3. Description du site et de sa population

Tonghor se trouve sur une bande rectangulaire qui s'étale en pente douce de la route de l'aéroport vers l'océan. Environ 12% des ces bâtiments ont une ouverture sur la route goudronnée, 62% sur la route sablonneuse assez large pour les véhicules, 9% sur la route sablonneuse assez large pour les charrettes et 17% sur les sentiers étroits.

La moyenne d'âge du chef de ménage est de 55 ans et celle de la femme gestionnaire de ménage est de 43 ans. 36% des membres du ménage sont des enfants de moins de 15 ans. Ce nombre croissant avec le niveau de dépense du ménage est 26% pour la femme contre 38% pour les hommes chefs de ménage, et représente 34% pour Tonghor traditionnel contre 43% pour les sous quartiers modernes (CRESP, 1998).

Un accord a été signé entre la République de Sénégal et la Caisse (aujourd'hui) Agence Française de Développement pour réaliser un programme d'amélioration des conditions de débarquement de la grande côte. C'est dans le cadre de ce programme que s'inscrit le programme d'assainissement de Yoff-Tonghor qui porte sur :

- la collecte, le traitement et la valorisation des ordures ménagères ;

- la collecte, le traitement et la valorisation des eaux usées ;
- la mise en place de système de gestion des nouvelles structures de collectes, de traitement et de valorisation des ordures et des eaux usées ménagères.

1.4. Contraintes

Outres les contraintes liées à l'environnement institutionnel, on peut rencontrer d'autres types de problèmes.

1.4.1. Contraintes liées à la situation géographique et topographique

Le site de Yoff-Tonghor se trouve en bordure de mer et l'étude topographique faite a montré que les pentes sont toutes dirigées vers la mer. Ainsi l'ouvrage de traitement qui doit recueillir toutes les eaux de la zone doit obligatoirement se trouver à proximité de la plage si on veut un drainage gravitaire. Le procédé à mettre en place doit donc tenir compte des embruns marins qui bloquent, par la présence du sel, le développement des plantes flottantes comme *Pistia stratiotes* (Laitue d'eaux). De plus le programme d'assainissement étant proposé pour accompagner la mise en place d'un débarcadère, il n'est pas indiqué de proposer un procédé où les eaux à traiter sont en contact avec l'air libre ceci pour éviter le développement de mouches et moustiques dans la zone. Aussi les lagunages à microphytes et macrophytes seront proscrits pour ce programme (ENDA/RUP, 1998).

1.4.2. Contraintes socio-économiques.

Dans la zone de Yoff où réside une population à revenu faible en général, les systèmes collectifs intensifs très coûteux à l'entretien et à la mise en place ne peuvent être proposés.

1.4.3. Contraintes physiques.

Le site de Yoff-Tonghor est localisé sur une zone sablonneuse où la nappe phréatique affleure à 1.5 mètres. Ici, toutes les conditions sont réunies pour une infiltration rapide des eaux vers la nappe. Aussi, un assainissement individuel par fosse septique dans les maisons reliées à des puisards est à éviter à cause des risques de pollution de la nappe. Quant on sait que les produits de vidange sont déversés en mer, on risquerait de retrouver toutes ces matières sur la plage.

1.4.4. Organisation institutionnelle du système.

Au Sénégal l'évacuation et le traitement des eaux usées sont sous la responsabilité de l'Office National de l'Assainissement du Sénégal (ONAS). Nul n'a le droit de mettre en place un système d'assainissement sans leur accord. Ainsi, pour promouvoir des techniques alternatives d'assainissement à moindre coût, ENDA/RUP a pu signer avec l'ONAS un protocole d'accord lui conférant des droits pour la mise en place de systèmes d'épuration après soumission à l'ONAS. Dans le cadre de ce projet, le montage institutionnel est :

1. ENDA-TM/RUP est le maître d'œuvre du projet ; son intervention va se limiter à une durée de 15 mois. Après cette date, ENDA ne peut intervenir que dans le suivi et dans le rôle d'appui méthodologique du programme.

2. La commune d'arrondissement de Yoff est le maître d'ouvrage du projet. Elle a reçu de l'AFD un financement de 500 000 FF pour mettre en œuvre une des composantes du projet de construction d'un débarcadère, la collecte des déchets et l'assainissement liquide du quartier traditionnel de Yoff-Tonghor

3. APECSY (Association pour la Promotion Economique Culturelle et Sociale de Yoff) est le maître d'ouvrage délégué du projet. Dès 1980 l'APECSY fût mise sur pied. Elle fût reconnue comme la seule interlocutrice valable pouvant parler au nom du village de Yoff. Elle a comme objectif :

- la promotion du développement économique du village,
- le maintien d'un environnement sain et propre,
- la préservation des valeurs culturelles,
- le maintien de la cohésion du village.

Son rôle dans le projet est de trouver un terrain pour l'installation des ouvrages de traitement et d'organiser la gestion technique et financière des ouvrages.

2. ÉTUDE BIOBLIOGRAPHIQUE

2.1. La caractérisation des eaux usées domestiques

2.1.1. Origines des eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques proviennent de différents usages domestiques de l'eau. Elles renferment essentiellement des matières organiques solubles, colloïdales et en suspension (Eckenfelder W.W., 1982). Ces eaux sont composées de 99,9% d'eau et de 0,1% d'autres matières - matières solides en suspension, à l'état colloïdal ou en solution - (Valiron, 1985).

A l'état frais, les eaux usées domestiques sont un liquide trouble, gris ou jaunâtre, d'odeur fade, chargé de flocons de boues, d'excréments, de résidus de végétaux ainsi que de lambeaux de papier et de matières synthétiques. Les matières polluantes se décomposent et deviennent d'autant plus fines que le rejet d'écoulement est long et turbulent (Radoux, sd).

Elles comprennent :

- **Les eaux vannes** : issues des toilettes (W.C.), elles sont constituées par les matières fécales et les urines qui contiennent des matières minérales et organiques. Elles sont aussi riches en germes microbiens.

L'urée, élément dominant, se transforme en ammonium (NH_4^+) dans les canalisations. Les matières fécales sont constituées par les résidus alimentaires, les produits de desquamations de l'intestin et les corps microbiens. Elles contiennent 70 à 80% d'eau (Radoux, sd).

- **Les eaux ménagères** : regroupent l'ensemble des autres rejets (eaux de cuisines, de vaisselles, de lessives, de bains, des graisses et surtout des savons et autres détergents) (Radoux, sd).

2.1.2. Evaluation de la pollution des eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques comportent différentes formes de pollution qu'il importe de déterminer pour une évaluation correcte des performances épuratoires de systèmes d'épuration. Cette pollution est globalement répartie en trois catégories : la pollution physique, la pollution chimique (organique et minérale) et la pollution biologique.

2.1.2.1. La pollution physique : paramètres de mesure et impacts

La pollution physique ou particulaire ou encore appelée pollution primaire constitue l'ensemble des matières grossières et des particules en suspension contenues dans les eaux usées. Elle constitue l'une des parties les plus apparentes de la pollution des eaux usées et est quantifiée par la mesure d'un certain nombre de paramètres dont les plus courants sont :

- *les matières en suspension* (MES) : qui constituent un paramètre de pollution important et marquent généralement bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel. Le suivi de ce paramètre renseigne sur les possibilités épuratoires de certains ouvrages de traitement (décanteur). Elles sont composées essentiellement des matières organiques ou minérales. Leur origine résulte des déchets désagrégés en provenance des W.C., de la cuisine, de la buanderie, et des salles de bains (Diop S., 2002). La concentration en MES des eaux usées domestiques rejetées à Dakar est toujours très élevée et dépassent régulièrement 500 mg/l (Niang, 1995).

Ce paramètre est exprimé en mg de matières sèches insolubles par litre.

- *Le pH (potentiel Hydrogène)* : généralement les eaux usées domestiques présentent une plage de pH favorable ($6,5 < \text{pH} < 8,4$) au développement des microorganismes épurateurs, tant au niveau des phénomènes aérobie qu'anaérobies (Radoux et al, sd).

- *La conductivité* : la quantité de sels dissous, présente dans une eau naturelle, est fonction de la dissolution lente de certaines roches du bassin hydrographique ou de l'apport anthropique. Ainsi, l'eau se charge en différents sels, dissociés en cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ ,...) et anions (SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- , PO_4^{3-} , NO_3^- ,...).

Une méthode simple pour connaître la quantité globale de sels dissous est la mesure de la conductivité, c'est-à-dire de la facilité avec laquelle l'eau conduit un courant électrique. La conductivité augmente avec la quantité de sels dissous et est fonction de la température. Elle est exprimée en microsiemens/cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$). L'eau distillée a une conductivité faible ($< 3 \mu\text{S}/\text{cm}$). L'eau de mer a une conductivité supérieure à $10\,000 \mu\text{S}/\text{cm}$ (Radoux et al, sd).

Le rejet, sans traitement, des eaux usées domestiques brutes (riches en pollution physique) dans le milieu naturel peut engendrer divers dommages parmi lesquels nous pouvons citer :

- la non-pénétration de la lumière dans l'eau, déséquilibrant ainsi la chaîne trophique ;
- la destruction des zones de frayères ;

- l'obstruction des branchies des poissons ;
- l'inhibition de la vie aquatique et la turbidité.

La perturbation de l'équilibre écologique induite par la pollution physique ne peut être évitée qu'en débarrassant les eaux usées de leurs charges particulières.

2.1.2.2. La pollution chimique organique : paramètres de mesure et impacts

Cette pollution est encore appelée pollution secondaire et s'articule autour de deux composantes :

- les composés de synthèse : il s'agit principalement des produits à usage domestique (détergents, insecticides organophosphorés, herbicides, etc.) et industriel (esters de l'acide phtalique, composés du phénol, etc.) ;
- les composés organiques issus des métabolismes des êtres vivants : ils sont représentés par des matières organiques fécales, les divers déchets organiques de cuisines, de culture, etc. Ces matières sont facilement biodégradables.

Cette pollution chimique organique est souvent quantifiée de manière indirecte par la mesure de certains paramètres tels que :

- *la demande chimique en oxygène (DCO)* : elle permet la mesure de la quantité globale d'oxygène dissous nécessaire pour oxyder par *voie chimique*, sans intervention d'êtres vivants, toutes les substances oxydables (sels minéraux oxydables, composés organiques biodégradables ou réfractaires,...). Elle s'exprime en mg O₂/l ;
- *la demande biochimique en oxygène en 5 jour (D.B.O₅)* : elle représente la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes (*voie biologique*) pour oxyder (dégrader) l'ensemble de la matière organique d'un échantillon d'eau maintenu à 20°C, à l'obscurité, pendant 5 jours. Elle s'exprime aussi en mg O₂/l (Radoux et *al*, 1993).

L'ensemble des contaminants organiques sont, selon les cas, rémanents ou plus ou moins facilement biodégradables. Ils ont des impacts sur les écosystèmes aquatiques et sur la santé humaine (Radoux, sd). Ces polluants organiques présentent, globalement, deux types de toxicité :

- une toxicité létale et sub-létale (dite toxicité à court terme),

- et une toxicité chronique (dite de longue durée).

Et les risques liés à ces composés peuvent être de type mutagène, cancérigène et tératogène - produisant des monstres- (Radoux, sd).

2.1.2.3. La pollution chimique minérale, ses paramètres et ses impacts

Elle peut être aussi appelée « pollution tertiaire » et est d'autant plus grave que ses effets sont insidieux. . Elle peut être quantifiée par deux grands types de polluants ou paramètres minéraux : les composés d'eutrophisation que sont les dérivés minéraux de l'azote et du phosphore (nitrates, nitrites, ammonium, divers types de composés phosphatés) et les métaux lourds (Radoux, sd).

- *L'azote* : il peut provenir de la décomposition des déchets organiques, des rejets organiques d'origine humaine (urée), de certaines industries notamment celles des engrais azotés, de la chimie, etc. L'azote contenu dans les eaux résiduaires domestiques a essentiellement une origine urinaire ; il est apporté pour plus de $\frac{3}{4}$ par l'urée qui s'hydrolyse rapidement dans les réseaux (Radoux sd) :



Dans l'eau, l'azote subit de nombreuses transformations (en sels ammoniacaux (NH_4), par nitrification (NO_2) et nitratisation (NO_3). Ces différentes transformations modifient l'état d'équilibre de l'eau en consommant de l'oxygène. Une production importante d'azote dans l'eau constitue donc un nutriment qui favorise la prolifération d'algues et plantes aquatiques. Les rejets azotés, en favorisant la surproduction d'algues, constituent donc un facteur d'eutrophisation.

- *Le phosphore* : le phosphore est présent dans les eaux, en solution ou en suspension, sous forme de sels minéraux (ortho et polyphosphates PO_4^{3-} provenant toujours des lessives) et sous forme organique (**CHONP**) d'origine industrielle ou biologique. Le phosphore est un élément essentiel pour la croissance des différents organismes présents dans les eaux. Il est souvent un facteur limitant. Le terme de phosphore total englobe le phosphore organique et le phosphore minéral. Il se présente sous forme de phosphate dans les eaux usées (Radoux, sd).

- *Le potassium* : le potassium est un constituant de l'argile et de la roche mère (très peu disponible pour les plantes). Le potassium favorise la photosynthèse et intervient dans l'équilibre acido-basique des cellules. Il régularise les échanges intercellulaires, diminue la transpiration et renforce la plante dans les résistances à la sécheresse et aux maladies, notamment les maladies cryptogamiques. Il peut être fourni aux plantes par les engrais potassiques de synthèse qui peuvent être chlorés ou soufrés (Seck, 2003).

- *les métaux lourds* : ils constituent aussi un paramètre très important pour cette pollution chimique et sont composés essentiellement de Hg, Cu, Cr, Pb, Zn, Ni, etc. (Radoux, sd). Ils agissent principalement de façon nocive à l'état dissous où ils se trouvent sous forme hydratée. Leur solubilité est par ailleurs dépendante du pH.

Les polluants azotés et phosphorés ont comme principaux impacts : le phénomène d'eutrophisation du milieu aquatique et la contamination des nappes phréatiques (par les nitrates). Tandis que ceux causés par les métaux lourds sont essentiellement cancérogènes.

2.1.2.4. La pollution biologique : paramètres de mesure et impacts

Elle est appelée *pollution quaternaire* et regroupe les pollutions bactériennes, virales et zoo parasitaires. L'origine de ces pollutions est spécifiquement humaine et animale. Le réservoir initial de ces germes est le tube digestif de l'homme et des animaux. Les principaux paramètres de mesure sont :

- les bactéries : différentes bactéries de la famille des Enterobacteriaceae constituent le groupe des « coliformes ». Elles ont la propriété de fermenter le lactose. Ce groupe est hétéroclite et englobe les genres *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Serratia*. La définition suivante est adoptée par L'OMS et l'organisation internationale de normalisation (ISO). Le terme « coliforme » correspond à des organismes en bâtonnets, non sporogènes, Gram négatifs, oxydases négatifs, facultativement anaérobies capables de croître en présence de sels biliaires ou d'autres agents de surface possédant des activités inhibitrices de croissance similaires, et capables de fermenter le lactose avec production d'acide et d'aldéhyde en 48 heures à des températures de 35 à 37°C. Le terme de « coliformes fécaux ou coliformes thermotolérants » correspond à des coliformes qui présentent les mêmes propriétés après incubation à 44°C (Rodier et al, 1996).

Escherichia coli est le représentant des coliformes fécaux le plus souvent utilisé pour évaluer le niveau de contamination des eaux. S'il est absent du milieu, les bactéries pathogènes ont de fortes probabilités de l'être également (ce n'est pas le cas pour les virus) (Radoux, sd). Les mesures sont exprimées en nombre de coliformes fécaux présents dans 100 ml d'eau.

Tableau 1: Recommandation OMS en, matière de qualité microbiologique des eaux résiduaires

Type de réutilisation	Nématodes infectieux* (nombres d'œufs viables/litres)	Coliformes fécaux (nombres/100ml)
Irrigation non restreinte	$\leq U 1$	Sans objet
Irrigation restreinte	$\leq U 1$	10^4 - 10^5

* *Ascaris sp.*, *Trichuris sp.*, *Dracunculus medinensis*

Irrigation non restreinte concerne :

- les cultures ligneuses,
- les cultures fourragères,
- l'arboriculture fruitière.

Irrigation restreinte :

- les cultures maraîchères,
- les zones de sport et de loisir.

Parmi les bactéries les plus fréquemment présents dans les eaux usées domestiques :

- le genre Salmonelle regroupe des espèces telles que *Salmonella typhi*, *S. paratyphi*, *S. schottmuelleri* qui sont responsables de la fièvre typhoïde et paratyphoïde. (Radoux, sd) ;
- le genre Shigelle regroupe des espèces telles que *Shigella dysenteriae*, *S. flexeneri*, *S. boydii*, qui sont responsables de dysenteries bacillaires aiguës ;
- le genre Vibrio regroupe les espèces telles que *Vibrio cholerae*, *V. el tor* du choléra ;
- le genre Colibacille, qui a comme espèce principale *Escherichia coli*, peut être responsable de colibacillooses, de diarrhées, septicémies, entérites, cystites, néphrites ;

➤ les virus : ils sont responsables des maladies infectieuses d'origine hydrique les plus

fréquentes et se répartissent essentiellement en :

- Entérovirus regroupant les Poliovirus (responsables de la poliomyélite), les *Coxsackie virus* (responsables des méningites) ;
 - Rotavirus responsables des diarrhées humaines et animales ;
 - Adénovirus responsables d'affections des voies respiratoires et des yeux ;
 - les zoo-parasites : ils sont responsables des maladies infectieuses les plus fréquentes.
- Il s'agit :

- des amibes libres regroupant les genres *Naegleria* et *Acanthamoeba* qui sont hétérotrophes, bactérivores et strictement aérobies. Leurs localisations cérébrales primaires (*Naegleria*) ou secondaires (*Acanthamoeba*) sont le plus souvent mortelles ;
- les helminthes regroupant les espèces telles que les Ascaris, Trichuris, Ankylostomes et Anguillules qui sont responsables des helminthiases (infections à vers), etc.

La pollution biologique a des incidences importantes sur :

- la santé des populations,
- l'utilisation de l'eau à des fins agricoles (maraîchages),
- la consommation des produits de l'aquaculture.

Il existe cependant différentes technologies d'épuration des eaux usées domestiques permettant de rendre les eaux traitées compatibles à des fins de réutilisation ou de protection de la nature.

2.2. Les différentes techniques de traitement

Le rejet des eaux usées sans traitement est devenu un problème écologique à l'échelle mondiale. De ce fait, la résolution de ce problème est devenu un enjeu essentiel pour la sauvegarde de notre environnement.

La **notion d'équivalent habitant (EH)** est une donnée statistique de base représentant la charge moyenne rejetée quotidiennement par un habitant. Le terme charge comporte ici un aspect quantitatif (volume rejeté ou concentration des paramètres polluants).

Globalement les concentrations sont d'autant plus élevées que la consommation en eau est faible. Une utilisation est donnée par le tableau 2 où sont comparées la qualité des eaux de la

station d'épuration de Cambérène à Dakar et celles en France (Diop et Mbégué, sd).

Tableau 2: Qualité comparée des eaux usées urbaines Sénégalaises et Françaises

Paramètres	STEP Cambérène (Eaux prétraitées)	STEP France (Eaux brutes)
MES mg/l	539 à 586	100 à 400
DCO mg O/l	1239 à 1492	300 à 1000
NTK mg N/l	216 à 234	30 à 100
PT mg P/l	58 à 66	10 à 25
CF N/100ml	$4.3 \cdot 10^7$ à $1.7 \cdot 10^8$	10^4 à 10^7

EH (en termes de volume) = Q / N

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{EH} = \text{équivalent habitant.} \\ \text{Q} = \text{débit à l'entrée.} \\ \text{N} = \text{nombre total de personnes desservies par le réseau} \end{array} \right.$$

La caractéristique commune à l'ensemble de ces principes est qu'ils sont créateurs de sous-produits sous formes de « boues » qu'il conviendra soit d'éliminer, soit de valoriser. Les techniques actuellement disponibles pour l'épuration des eaux usées domestiques peuvent être réparties en deux grandes catégories :

- les techniques individuelles lorsqu'il n'y a pas de réseau d'égouts,
- les techniques collectives lorsqu'un collecteur rassemble et évacue les eaux usées provenant de plusieurs concessions.

Pour être efficace, la technologie d'assainissement choisie doit être compatible avec le niveau des services d'approvisionnement en eau des populations.

2.2.1. Les techniques individuelles : Assainissement individuel petites stations

Les techniques individuelles d'épuration des eaux usées se limitent à de très petites stations dont la nécessité ne fait aucun doute dans certains cas (habitations ou petits lotissements isolés. Ce sont en général des fosses septiques, qui ne prennent en compte (dans certaines écoles) que les eaux vannes, les eaux ménagères étant envoyées en puisards. Elles fonctionnent en anaérobie et doivent être maintenues remplies. Le volume est environ 300

litres par usager. Il est conseillé parfois d'essayer d'adjoindre une aération (Valiron, 1985). On peut citer aussi la très vieille technique de l'épandage directe, qui exige beaucoup d'espaces ($10 \text{ m}^2/\text{hbt}$) et peut présenter des contres indications hygiéniques. Cependant, la nature des effluents à traiter par ce système d'épuration individuel doit être essentiellement domestique (Valiron, 1985).

2.2.1.1. Prétraitement des eaux usées domestiques : la fosse septique annexe

En assainissement individuel ou autonome, les filières de traitement des eaux usées domestiques sont constituées d'un dispositif de traitement préalable suivi d'un dispositif assurant l'épuration puis l'évacuation des effluents.

Le prétraitement assuré par la fosse septique (ou liquéfacteur) vise à rendre l'effluent compatible avec l'infiltration dans le sol. A cette fin, la fosse doit assurer une liquéfaction partielle des matières polluantes contenues dans les eaux usées et la rétention des matières solides et des déchets flottants de façon à éviter le colmatage au niveau du dispositif de dispersion.

Les eaux ménagères permettent une dilution des eaux vannes, ce qui, d'une part entraîne un abaissement du seuil de toxicité ammoniacal des effluents, d'autre part évite l'adjonction d'un bac à graisse (Valiron, 1985).

Ainsi, dans certaines conceptions, la fosse septique est destinée à collecter à la fois les eaux vannes et les eaux ménagères : on la qualifie de fosse « *toutes eaux* », alors que dans d'autres cas, elle ne réceptionne pas les eaux usées ménagères qui sont directement connectées au puisard.

La stratification d'une fosse septique en fonctionnement comporte, à partir du fond, les quatre couches successives suivantes :

- une zone des boues sédimentaires (à vidanger normalement tous les deux ans environ),
- une phase aqueuse éliminée au fur et à mesure par le té plongeant de la sortie,
- une zone des flottants (matières grasses en fermentation lente) dont l'épaisseur peut atteindre 25 cm,
- une phase gazeuse qui comporte les gaz issus de la décomposition anaérobie des matières organiques (CH_4 , CO_2 , H_2S). Une canalisation de ventilation permet l'évacuation de ces gaz et par conséquent, l'évacuation des mauvaises odeurs.

Le volume d'une fosse septique dépend de la fréquence souhaitée des vidanges de boues décantées (le plus souvent une fois tous les deux ans). De nombreuses observations faites dans divers pays ont montré que les dispositions suivantes donnent les meilleurs résultats :

- en cas de disposition en deux compartiments-série, le premier doit être au moins double du second,
- orifice de communication de la cloison de séparation situé aux 2/3 de la hauteur d'eau,
- canalisation d'entrée se terminant par un coude plongeant à 20% de la hauteur d'eau,
- dispositif de sortie en forme de T plongeant à 20% de la hauteur,
- distance de 30 cm au moins entre la surface de l'eau et la face intérieure de la dalle de couverture,
- longueur de la fosse égale au moins au double de la largeur,
- hauteur d'eau minimale : 1,20 à 1,30 m,
- calcul du volume utile V : $V = 3n q t$, avec
 - $\left\{ \begin{array}{l} n = \text{nombre d'usagers,} \\ q = \text{volume d'eaux usées /usager/jour en m}^3, \\ t = \text{temps de séjour en jours (minimum 1 jour).} \end{array} \right.$

Une canalisation supérieure pour la circulation et l'évacuation des gaz est évidemment indispensable. L'accès direct à la fosse permettant le vidange périodique des boues est naturellement tout aussi nécessaire. La fosse septique assure deux fonctions :

1. *une fonction physique*, d'une part par la décantation des matières fécales et autres MES plus denses que l'eau et d'autre part, par la flottation des graisses et autres MES moins denses que l'eau.
2. *une fonction biologique*, par la *digestion anaérobie* des boues et des flottants biodégradables.

- *Le phénomène physique de décantation* permet la séparation des particules dont la densité est différente de celle du liquide. Les particules plus denses que l'eau sédimentent et s'accumulent dans le fond de la fosse. Les particules plus légères, en particulier les graisses gagnent la surface dès leur admission dans la fosse, s'accumulent en formant une couche flottante appelée « chapeau de digestion ».

Il n'y a décantation et flottation qu'entre les phases d'alimentation, les afflux usés provoquent par turbulence, des remises en suspension.

- *Le phénomène biologique de fermentation anaérobie* provoque une destruction et une liquéfaction (hydrolyse) partielle des matières organiques biodégradables. La fermentation est due à la présence de bactéries anaérobies qui transforment partiellement les matières organiques en méthane, gaz carbonique et hydrogène sulfuré, ce qui, avec les acides gras volatils, confère à ces gaz de digestion, une odeur nauséabonde. Ces gaz se dégagent des boues décantées sous forme de bulles qui entraînent dans leur ascension des particules de boues (Diop et Mbéguéré, sd).

Certains annexes peuvent constituer des équipements complémentaires de la fosse septique : il s'agit le plus souvent du dégraisseur (séparation de graisses) et du décolloïdeur qui sont toujours installés en aval de la fosse septique et en amont du dispositif d'épuration.

Le dégraisseur est prévu pour éliminer les graisses et les flottants des eaux ménagères avant leur admission dans la fosse septique « toutes eaux ». Son usage n'est nécessaire que lorsque la production d'huile et de graisse est très importante (cantines, restaurants). Les huiles et les graisses sont alors susceptibles de se figer et de gêner ainsi l'acheminement des eaux usées vers la fosse septique (Diop et Mbéguéré, sd).

Le décolloïdeur est destiné à retenir les matières en suspension et les colloïdes susceptibles de colmater le système d'épuration en aval. Il peut être très utile pour deux raisons :

- il constitue un « piège » à MES pour les effluents issus de la fosse septique,
- il constitue également un système d'alarme dans la mesure où si la fosse septique n'est pas vidangée à temps, le colmatage du préfiltre survient avant le colmatage du système d'épuration dont la remise en état est soit impossible, soit très coûteuse.

Au total, l'abattement de la DBO et de la DCO entre l'entrée et la sortie des effluents est de l'ordre de 50% ; celui des MES de l'ordre de 65% à 80% ; celui de l'azote d'environ 10% et celui des phosphates de 20 à 30% (Valiron, 1985).

2.2.1.2. Les critères d'aptitude d'un site à l'assainissement individuel

Différents paramètres doivent être pris en compte pour appliquer ce genre de technique d'épuration des eaux usées domestiques :

- la perméabilité du sol qui peut être évaluée par un test de percolation ;
- l'hydromorphie du sol,
- la profondeur de la nappe et ses variations, qui doivent être étudiées pour éviter les risques de contamination par les eaux usées. Une profondeur minimale d'un mètre est souhaitée

(Valiron, 1985) ;

- la profondeur du substratum doit être considérée comme suffisante à partir de 1 à 1,50 m si le sol possède une granulométrie assez fine et s'il ne présente pas d'horizon imperméable ;
- la pente peut empêcher l'épuration correcte des eaux en favorisant leur résurgence rapide après infiltration. Ce risque existe dès 10 à 15% de pente, sauf pour des sols particulièrement aptes à l'infiltration (Valiron, 1985).

2.2.2. Les technologies collectives intensives

Ce sont des techniques d'épuration classiques dont le coût d'installation, de fonctionnement et d'entretien est très élevé. Elles nécessitent une main d'œuvre qualifiée. Elles restent cependant les plus efficaces pour les zones à forte densité de population (Niang, 1995).

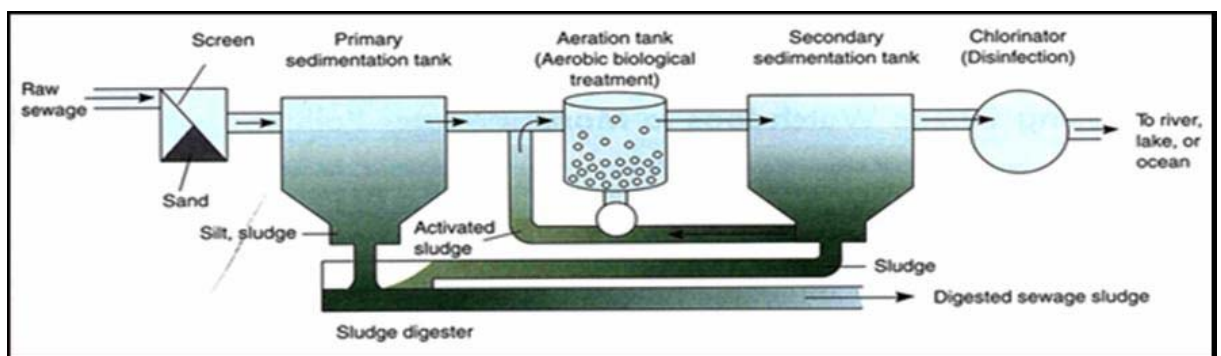


Schéma 1: principe du traitement intensif

Il existe plusieurs procédés de traitement des eaux usées par cette méthode dite classique.

2.2.2.1. Le réacteur à boues activées

Un bassin à boues activées est un réacteur biologique alimenté en continu dans lequel la biomasse mélangée à l'eau usée est brassée et aérée (cas de la station d'épuration de Camberène, Dakar). Les micro-organismes restent en suspension dans l'eau, notamment les levures et bactéries qui assurent l'essentiel de l'épuration. Ils sont associés à une micro-faune spécifique (protozoaires) qui assure leur rassemblement sous forme de flocons séparables ensuite dans un décanteur (Valiron, 1985).

2.2.2.2. Lits bactériens

La technique des lits bactériens (ou filtres bactériens) consiste à fixer les micro-organismes épurateurs sur matériaux poreux ou caverneux. L'eau à traiter est dispersée en tête de réacteur et traverse le garnissage et peut être reprise pour une recirculation. La surface d'encombrement au sol est limitée, et le coût en énergie peu élevé (Bechac et *al*, 1984).

Ces systèmes sont toujours équipés d'un décanteur primaire en amont du réacteur qui joue un rôle important dans l'abattement de la pollution (Bechac et *al*, 1984).

Ce procédé permet d'atteindre des rendements supérieurs à 85% de la DBO lors du traitement d'eaux résiduaires domestiques (Niang, 1995).

2.2.2.3. Le système à disques biologiques

Ces systèmes sont des variantes des lits bactériens. Le réacteur est constitué de disques en matière plastique, de diamètre élevé et montés sur axe horizontal. Le tambour, à demi-immergé, tourne autour de cet axe. Un bio film, dont l'épaisseur varie de 1 à 4 mm, se développe sur les disques. La rotation des disques assure à la fois l'oxygénation et le contact avec l'eau usée (Eckenfelder, 1982).

2.2.3. Les techniques collectives extensives

Ce sont des stations d'épuration dites rustiques basées sur les capacités épuratoires des écosystèmes naturels liés à l'eau. Elles se trouvent, aujourd'hui, très diversifiées et de conceptions variées grâce aux connaissances scientifiques poussées.

Ces stations nécessitent des terrains relativement importants d'où l'appellation de « techniques d'épuration par voie extensive ». Elles opèrent sans équipements sophistiqués, sans soutien énergétique artificiel important ; les différents processus sont intégrés dans des écosystèmes naturels (milieux humides) plus ou moins aménagés.



Photo 1 : Image d'un bassin

Selon le type d'écosystème utilisé, elles sont distinguées en lagunage, prairies à hydrophytes libres ou flottant.

2.2.3.1. Le lagunage à microphytes

C'est un processus d'épuration des eaux usées qui consiste en un lent écoulement de l'eau dans plusieurs réservoirs ou bassins (3 au minimum) étanches d'eau libre où prolifèrent des bactéries, des algues et du zooplancton au détriment des matières organiques (Radoux, 1984).

2.2.3.2. Les prairies à hydrophytes libres ou flottants

Le système le plus connu et le plus étudié est représenté par les bassins d'épuration à jacinthes d'eau (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms-Laub) et les bassins à laitues d'eau (*Pistia stratiotes* L.). Ces plantes se développent dans les eaux riches et couvrent la surface du plan d'eau. Les bassins sont peu profonds et la couverture végétale empêche tout développement excessif d'algues.

L'amélioration importante de la qualité des eaux concerne essentiellement les MES et la charge organique. Le temps de séjour peut être plus court que dans le cas précédent et l'assimilation rapide (Niang, 1995).

2.2.3.3. Les prairies à hydrophytes fixés ou rhizophytes

Ces systèmes d'épuration, fondés sur l'utilisation des plantes aquatiques dont la plupart des organes sont immergés. Ces prairies aquatiques artificielles sont ainsi utilisées pour

l'épuration des eaux usées de piscicultures, caractérisées par une pollution particulière importante, mais très facilement décantable, et par une teneur élevée en NH_4 soluble, directement assimilable par la végétation aquatique (Bodian, 2005).

2.2.3.4. Les marais artificiels ou « E.H.T.S. »

Ce sont des stations d'épuration par « marais reconstitués » ou E.H.T.S. (« Emergent hydrophyte Treatment Systems »). Elles utilisent des espèces hélophytiques caractéristiques des ceintures de végétation semi-aquatique en bordure des lacs et des étangs. Quatre types de ce procédé ont fait l'objet d'étude expérimentale en Europe et en Afrique ((Bodian, 2005).

2.2.3.4.1. Le procédé KICKUTH ou « Root Zone Method » (RZM)

Le système consiste à maximiser les processus biochimiques résultant des activités bactériologiques aérobies et anaérobies se développant dans la rhizosphère des roselières (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steud).

Le principe de conception est de faire circuler l'eau usée prétraitée en translation horizontale à travers un sol planté de ces espèces. Ces plantes, par leur photosynthèse au niveau des feuilles et des tiges, fournissent au sol, via ses rhizomes et racines, l'oxygène nécessaire aux activités bactériennes aérobies (Radoux, 1984).

2.2.3.4.2. Le procédé SEIDEL ou « Max Planck Institute System » (M.P.I.S.)

Dans ce procédé, les stations comportent plusieurs étages successifs constitués de bassins artificiels plantés de divers hélophytes (*Phragmites*, *Scirpus*, *Iris*, *Typha*, ...) (Radoux, 1984). Ce système montrerait des performances comparables à celles du lagunage à microphytes avec une surface occupée trois fois moindre ; il serait, de plus, très efficace au niveau de l'abattement des MES.

2.2.3.4.3. Le « LELYSTAD Process » (de JONC, 1976, GREINER et de JONC, 1982)

Ce système a été inspiré du procédé de SEIDEL et expérimenté en Hollande dans le cadre de l'aménagement des polders du FLEVOLAND (Est et Sud).

Les expériences ont été portées sur les capacités d'épuration de bassins longs et étroits, plantés de *Scirpus lacustris L.* ou de *Pragmites australis* (Cav.) trin ex Steud, où l'eau usée circule soit en translation au-dessus du sol, soit en percolation verticale à travers le sol, soit encore en mélange des deux types de circulation (Radoux, 1984).

Nous obtenons des taux de rétention de 80 à 90 % pour la charge organique, l'azote et le phosphore ; l'abattement des germes indicateurs de contamination fécale dépasse 2^{10} (Radoux, 1984).

2.2.3.5. L'épandage souterrain

C'est un système qui est souvent utilisé en assainissement individuel, à l'aval d'une fosse septique. Il est aussi installé pour des entités de plusieurs centaines d'habitants.

Le procédé consiste à exploiter les capacités épuratrices du sol en veillant à ce qu'il ne soit jamais saturé d'eau. Le système est constitué d'une structure de répartition des eaux usées prétraitées dans le sol de manière à favoriser les processus épuratoires du sol et d'éviter les risques de colmatage. Il s'agit d'un réseau de canalisations d'infiltration souterraine parfaitement horizontales et disposées sur une superficie dépendant de la charge à traiter et des caractéristiques du terrain (perméabilité ou hydromorphie) (Radoux, 1984).

Les rendements sont réputés excellents pour les matières organiques, le phosphore et les germes pathogènes. Par contre, l'élimination de l'azote serait partielle (50 à 70%) avec un rejet sous forme de nitrates (Radoux, 1984).

2.2.3.6. Mosaïques Hiérarchisées d'Ecosystèmes Artificiels (M.H.E.A.)

Ce système a été mis au point par une équipe de chercheurs de la Fondation Universitaire Luxembourgeoise (FUL).

Il consiste à combiner divers écosystèmes afin de compenser les carences des uns par les qualités des autres. En effet, il s'agit de comparer, dans les mêmes conditions climatiques et de charges, les rendements épuratoires d'écosystèmes artificiels simples et de séquences d'écosystèmes différents. Ceci, en vue de proposer un niveau plus performant.

Il a été ainsi prouvé, expérimentalement, qu'une combinaison d'écosystèmes différents dépasse tous les rendements épuratoires d'une succession d'écosystèmes identiques.

2.2.3.7. La filtration sous gravier

Dans la pratique on peut rencontrer des filtres de différentes natures (à grains fins, lents, à *graviers* etc.). La tendance actuelle réside cependant dans l'emploi des filtres relativement rapides (10m/h) d'une granulométrie légèrement supérieure à celle des filtres à eau potable (1.5 à 2 mm). Le colmatage des filtres est rapide et un lavage quotidien à contre courant (avec généralement une insufflation d'air) est nécessaire.

Pour éviter la grande vitesse de colmatage des filtres à couches homogènes on peut faire appel au filtre bi ou tri-couche à granulométrie inversée. Ils allongent le cycle entre lavage mais ne changent pas les performances. Le choix à faire est d'ordre économique.(Gomella et Guerrée, 1983).

Les rendements sont réputés excellents pour les matières organiques, le phosphore et les germes pathogènes. Par contre, l'élimination de l'azote serait partielle (50 à 70%) avec un rejet sous forme de nitrates (Radoux, 1984).

2.3. Les principes de traitement

Les eaux usées, on vient de le voir, sont habituellement un milieu complexe chargé de matières présentes sous différentes formes : particulaires, en suspension, liquide en solution, matières minérales, organiques ou biologiques. Pour les éliminer, les techniques de dépollution ou d'épuration des eaux usées ont recours à des processus simples dans leur principe. Ils reposent sur des séparations physiques, des transformations biologiques, des corrections chimiques.

Les séparations physiques

Ce que l'on a eu l'habitude de désigner sous le terme de prétraitements physiques repose sur le principe de la séparation des éléments solides de la phase liquide. Cette séparation, selon la taille, la densité des éléments solides, est réalisée par des dispositifs simples de « criblage » ou en utilisant un processus de décantation physique, sédimentation ou flottaison. Le dimensionnement des différents dispositifs de prétraitements physiques dépend de la connaissance du comportement ou des circulations du fluide dans les ouvrages et des propriétés physiques des éléments (Gomella et Guerrée, 1983).

Les transformations biologiques

Lorsque les éléments sont présents sous forme soluble ou lorsque leur taille ne leur permet pas d'être piégés par les prétraitements physiques, sauf au prix d'un conditionnement physico-chimique complémentaire, on utilise le plus souvent un traitement biologique. Il permet de faire passer les éléments présents sous forme soluble ou colloïdale en éléments floculables et de constituer des agrégats que l'on peut de nouveau séparer de la phase liquide (Gomella et Guerrée, 1983).

Les corrections chimiques

Elles sont utilisées pour le conditionnement ou la transformation de certains éléments en particules séparables de la phase liquide ou (Gomella et Guerrée, 1983).

Quelque soit le système d'assainissement considéré, il existe une série d'étapes dans le principe de traitement qui interviennent, presque de façon obligatoire dans toutes les technologies d'épuration d'eaux usées :

- le prétraitement opération qui consiste à retirer les éléments qui ne peuvent pas être digérés par les bactéries (déchets grossiers, huiles,...) ;
- le traitement qui correspond à la digestion de la matière organique, de l'élimination des matières minérales et des microorganismes ;
- l'évacuation ou le rejet des eaux usées épurées.

2.3.1. Prétraitement

Il s'agit essentiellement d'un traitement physique qui s'effectue par une série d'opérations pour l'abattement des M.E.S., des huiles et graisses, des matières décantables et autres matières grossières. Ces traitements sont appliqués à l'amont de toute technique d'épuration des eaux usées, quelle que soit leur origine.

Parmi ces opérations, peuvent être citées :

- **dégrillage et tamisage** : dans le traitement des eaux usées domestiques, les dégrilleurs sont habituellement implantés en tête de station pour retenir les matériaux grossiers. Quant aux tamis, ils sont généralement utilisés pour le traitement des eaux usées industrielles.

Dans tous les cas, ces techniques s'avèrent très efficaces pour la rétention des matières volumineuses, moyennes et petites (Eckendelfer, 1982),

- **dessablage** : il s'agit de procédés gravitaires. Il est assuré par un dessableur qui entraîne

l'élimination des débris abrasifs et impuretés solides pour éviter leur sédimentation ultérieure et protéger les organes mécaniques en mouvement. Ce dessablage concerne les particules minérales de diamètre supérieur à 0,2 mm environ (Bechac et *al*, 1984),

- **dégraissage déshuilage** : ces appareils comportent un bac muni de cloisons siphonides retenant les flottants. Ils sont, de préférence, précédés le plus souvent d'un bac de décantation (temps de séjours 2 à 3 mn) pour limiter le dépôt des matières lourdes. Cette série d'opérations constitue le prétraitement des effluents au niveau des systèmes d'épuration.

2.3.2. Traitement primaire

Ce traitement se fait essentiellement par la décantation primaire qui se déroule dans les ouvrages appelés décanteurs primaires. Il fait appel à des procédés physiques, avec décantation plus ou moins aboutie, éventuellement assortie de procédés physico-chimiques, tels que la coagulation- floculation. Ces traitements éliminent 50 à 60% des matières en suspension et réduit d'environ 30 % la DBO et la DCO mais ne suffisent généralement pas pour satisfaire les exigences épuratoires de la réglementation actuelle.

La décantation primaire classique consiste en une séparation des éléments liquides et des éléments solides sous l'effet de la pesanteur. Les matières solides se déposent au fond d'un ouvrage appelé « décanteur » pour former les « boues primaires ».



Photo 2 : Image d'un décanteur

La caractéristique principale d'un ouvrage de décantation est le paramètre de vitesse de

subsidence qui est égale à Q/S (Q = débit traité et S = surface de dépôt). Cette vitesse de subsidence maximale doit être définie avec soin. Il est recommandé, pour obtenir en tout temps un rendement suffisant, de s'en tenir aux vitesses ci-après :

Tableau 3: Les rendements de l'abattement de la DBO5 et des MES en fonction des différentes valeurs de la vitesse de subsidence
(Source : GOMELLA et GUERREE, 1983)

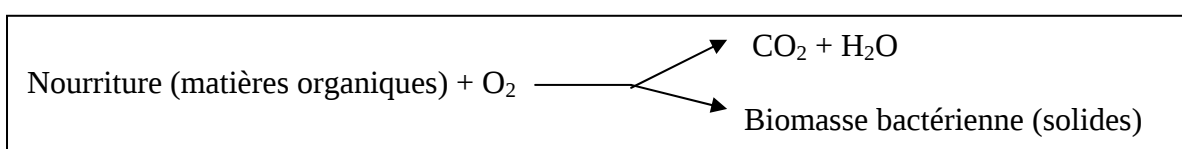
Vitesse (M/h)	DBO5 (%)	MES (%)
0,75	36	62
1	32	60
1,25	30	58
1,5	28	56
1,75	26	54
2	24	51
2,25	23	50

2.3.3. Traitement secondaire ou élimination biologique des matières polluantes

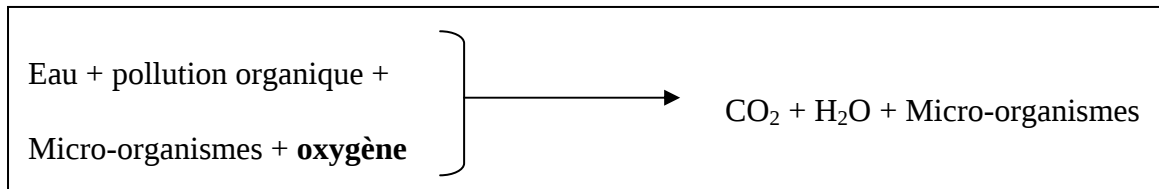
Dans la grande majorité des cas, l'élimination des pollutions carbonée et azotée s'appuie sur des procédés de nature biologique.

Les traitements biologiques reproduisent, artificiellement ou non, les phénomènes d'autoépuration existant dans la nature. L'autoépuration regroupe l'ensemble des processus par lesquels un milieu aquatique parvient à retrouver sa qualité d'origine après une pollution. Les techniques d'épuration biologique utilisent l'activité des bactéries et autres microorganismes présentes dans l'eau, qui dégradent les matières organiques. Ces techniques sont soit anaérobies, se déroulant en absence d'oxygène, soit aérobies, c'est-à-dire nécessitant un apport d'oxygène.

C'est la voie aérobie qui est universellement utilisée pour les effluents faiblement concentrés. La raison est que ce processus est plus rapide et plus complet, donc plus efficace que les réactions anaérobies (Diop et Mbéguéré, sd).



Le bilan global du métabolisme de la matière organique est le suivant :



Parmi les traitements biologiques, on distingue les procédés biologiques extensifs, intensifs stricts décrits précédemment et les procédés biologiques combinés avec des procédés physiques à travers l'utilisation des filtres membranaires.

Les procédés membranaires : un traitement par boues activées est suivi d'une filtration au travers des membranes organiques ou céramiques. Ces membranes très fines constituent une barrière physique qui retient les micro-organismes et les particules.

2.3.4. Traitements tertiaires ou complémentaires

Ils sont encore appelés traitements avancés, de finissage, d'affinage. Ces traitements sont effectués lorsqu'il est nécessaire d'assurer une protection complémentaire du milieu récepteur ou en raison d'un réemploi de l'eau épurée soit direct (par exemple comme eau industrielle ou agricole) soit indirect (rejet en amont et à proximité d'une prise d'eau potable, réalimentation de nappe, etc.). Il s'agit essentiellement de l'élimination des polluants azotés et phosphorés.

2.3.4.1. L'élimination de l'azote

L'azote contenu dans les eaux usées domestiques peut être éliminé soit par voie biologique soit par voie chimique. Cependant les procédés physico-chimiques (essentiellement l'électrodialyse, résines échangeuses d'ions, « stripage » de l'ammoniaque ...) ne sont guère applicables en traitement des eaux résiduaires urbaines en raison, soit de leurs faibles rendements, soit de leurs coûts prohibitifs.

Au niveau de l'épandage souterrain, où le procédé consiste à exploiter au mieux les capacités épuratrices du sol en veillant à ce qu'il ne soit jamais saturé d'eau, l'élimination de l'azote serait partielle (50 à 70%) avec un rejet sous forme de nitrates (Radoux, 1984).

Le principe de l'élimination de l'azote par voie biologique s'appuie sur les mécanismes

réactionnels schématiquement ci-après :

	<i>Ammonification</i>	<i>nitrification</i>	<i>dénitrification</i>	
Eaux usées brutes (N.org, NH_4^+)	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	$\text{N}_2/\text{N}_2\text{O}$

L'élimination de l'azote s'opère selon les trois réactions :

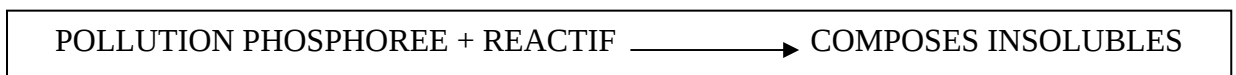
- *Ammonification* : transformation de l'azote organique en azote ammoniacale et assimilation d'une partie pour la synthèse organique ;
- *nitrification* : oxydation de l'azote ammoniacal en nitrites, puis en nitrates ;
- *dénitrification* : réduction des nitrates en azote gazeux qui retourne ainsi sous sa forme primitive dans l'atmosphère.

Les techniques de nitrification-dénitrification cherchent à réaliser successivement des conditions d'anoxie et d'aération et inversement.

2.3.4.2. L'élimination du phosphore

L'élimination du phosphore, ou « déphosphatation », peut être réalisée par des voies physico-chimiques ou biologiques.

Les traitements physico-chimiques, les plus utilisées actuellement, éliminent entre 80 % et 90 % du phosphore, mais engendrent une importante production de boues.



Les ions phosphates (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^-) révèlent une grande affinité avec les cations métalliques multivalents (Ca^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} , etc.) avec formation de précipités stables insolubles, aisément séparables du liquide interstitiel qui les baigne.

La déphosphatation biologique consiste à provoquer l'accumulation du phosphore dans des boues sous l'action des microorganismes et la phytoremédiation. Les mécanismes de la déphosphatation biologique sont relativement complexes et leur rendement variable (en fonction notamment de la pollution carbonée et des nitrates présents dans les eaux usées). Le rendement moyen est d'environ 60%. Dans les grosses installations d'épuration, ce procédé est souvent couplé avec une déphosphatation physico-chimique, pour atteindre les niveaux de rejets requis.

2.3.4.3. Filtration

L'élimination des particules en suspension peut se faire également par la filtration qui est un procédé de traitement des eaux usées classé souvent dans le prétraitement pour les eaux faiblement chargées ou dans le traitement tertiaire.

La filtration est un procédé de séparation solide liquide par adhésion sur la surface d'un matériau granuleux traversé par le liquide à épurer. Elle est donc utilisée pour l'élimination des matières en suspension. Elle est réalisée à la surface du filtre par tamisage et au sein du filtre par tamisage et absorption (Eckenfelder, 1982). Le temps de contact est court et les phénomènes biologiques qui peuvent intervenir n'ont qu'un effet mineur mais qui n'est pas cependant négligeable. Dans l'épuration des eaux usées les filtres d'une façon très générale sont utilisés pour séparer les flocons très fins qui restent en suspension après le décanteur secondaire (où à l'issue de traitements chimiques) conduisant à des précipitations.

L'efficacité d'un procédé de filtration est essentiellement fonction de :

- la concentration et de la nature des matières en suspension ;
- la nature du matériau filtrant et de tout autre adjuvant de filtration (Eckenfelder, 1982).

Les valeurs avancées les plus courantes font ressortir une efficacité de 60 à 80% pour l'abattement des MES, 30 à 50% pour l'abattement de la DBO₅, un peu plus pour la DCO (Valiron, 1985).

2.3.5. Traitement quaternaire

Les traitements primaire et secondaire ne détruisent pas complètement les germes présents dans les rejets domestiques. Des procédés d'élimination supplémentaires sont donc employés lorsque les eaux traitées sont rejetées en zone de baignade, de pisciculture ou d'élevage de coquillages. L'éventail des techniques de désinfection est assez large.

Le chlore est le désinfectant le plus courant. Mais la désinfection peut également s'effectuer avec l'ozone ou le brome.

Le rayonnement solaire dans le lagunage provoque une destruction des germes d'autant plus efficace que le temps de séjour des eaux traitées dans la lagune est élevé. Des lagunes de finition peuvent par contre être installées en aval d'une station biologique classique.

Les ultraviolets (U.V.) sont de plus en plus utilisés, depuis quelques années, pour désinfecter les eaux usées urbaines. Assurant un bon rendement de désinfection, les U.V. nécessitent un investissement important, mais présentent l'avantage de ne pas entraîner l'apparition de sous-

produits de désinfection.

2.4. Les normes de rejet des eaux usées recommandées

2.4.1. Définition

Une norme est une donnée qui comporte un double aspect, c'est-à-dire un aspect écologique et un aspect économique. En effet, la norme doit être d'une part suffisamment restrictive pour permettre la protection ou à défaut l'amélioration sensible de la qualité des eaux destinées à recevoir le rejet et d'autre part, assez souple pour s'adapter aux possibilités financières du pays. En d'autres termes, il s'agit de réussir le mariage entre deux notions qui ne sont pas toujours compatibles c'est-à-dire l'écologie et l'économie. C'est la raison pour laquelle, aussi bien au niveau de l'Union Européenne qu'au Sénégal, le législateur a songé à laisser une marge de manœuvre qui, en principe, doit permettre de maintenir la qualité des eaux réceptrices de rejets d'eaux usées à un niveau qui satisfait aux objectifs assignés tout en limitant l'effort financier nécessaire à son minimum. Ainsi, les normes établies se fondent ou bien sur la taille de l'agglomération ou sur le flux de pollution.

(Diop S., 2002).

2.4.2. Les Normes établies par le Sénégal et par l'Union Européenne

Le Sénégal a établi ses normes de rejet des eaux usées en juillet 2001, c'est-à-dire dix ans après celles qui sont définies par l'Union Européenne (tableau 4).

TABLEAU 4 : Normes relatives a la qualité physico-chimique des eaux usées destinées au rejet en milieu naturel (DIOP S., 2002 ; in Bodian, 2005)

Paramètres Polluants	Union Européenne (Directive 91 / 271/CEE du 21 Mai 1991)		Sénégal (NS05-061 / Juillet 2001)	
	Concentration	Taux minimal de réduction (%)*	Concentration	Taux minimum réduction (%)*
MES	35 mg/l	90	50 mg/l (Modulable par l'autorité)	-
DCO	125 mg O ₂ /l	75	200 mg O ₂ /l, si Flux ≤ 100 kg O ₂ /j** 100 mg O ₂ /l, si Flux > 100 kg O ₂ /j** (Modulable par l'autorité)	-
DBO₅	25 mg O ₂ /l	70-80	80 mg O ₂ /l, si Flux ≤ 30 kg O ₂ /j** 40 mg O ₂ /l, si Flux > 30 kg O ₂ /j** (Modulable par l'autorité)	-
Azote total	15 mg N/l, si 10 000 < EH < 100 000 10 mg N/l, si EH > 100 000	70-80	30 N/l, si Flux ≥ 30 kg N/j**	70-80
Phosphore total	2 mg P/l, si 10 000 < EH < 100 000 1 mg P/l, si EH > 100 000	80	10 mg P/l, si Flux ≥ 15 kg P/j** (Modulable par l'autorité)	-
Coliformes fécaux		-	2 000 CF/100ml	-

*On applique soit la valeur de la concentration, soit le pourcentage de réduction par rapport aux eaux usées brutes.

******Il s'agit de flux de pollution rejetés dans la nature

*******Azote total = azote Kjeldahl (azote organique + NH_4^+) + nitrates (NO_3^-) + nitrites (NO_2).

3. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Enquêtes socio-économiques

Ces données constituent la synthèse des enquêtes portant sur les infrastructures et sur les pratiques utilisées pour l'évacuation des déchets liquides dans le quartier de Tonghor. Elles ont concerné une cinquantaine de ménages (51) sur les cent vingt deux (122) qui intéressent le projet d'assainissement.

La méthodologie consiste en un sondage où le questionnaire est divisé en deux grandes parties. La première traitant des questions d'ordre socio-économique et la seconde traitant des infrastructures au niveau des habitats. Le ménage étant défini comme un groupe de personnes qui font la cuisson et mangent ensemble (CRESP, 1998).

Les principaux objectifs recherchés dans ces enquêtes socio-économiques sont d'une part :

- le rapport entre la connexion et le niveau d'instruction,
- la variation de la consommation en eau par rapport au niveau de vie,

afin de vérifier le rapport existant entre la connexion et le niveau d'instruction et le rapport existant entre la consommation en eau et le niveau de vie.

Elles doivent aussi nous permettre, d'autre part, d'avoir une idée sur :

- la variation entre le niveau de vie et le type d'évacuation des eaux usées ménagères (eaux vannes et eaux ménagères) ;
- l'identification du moment d'apparition du premier entretien afin de pouvoir intéresser les ménages au projet par rapport à cette date ;
- et les voies et moyens utilisés pour évacuer les eaux usées, l'objectif recherché étant d'avoir un public à cibler lors d'une éventuelle sensibilisation.

3.1. Description des ouvrages du système à Yoff

A Yoff Tonghor, le système est ainsi structuré :

- des ouvrages individuels enterrés composés d'un vidoir filtre à graisse, un décanteur principal, un (ou des) regard de visite au niveau de chaque concession bénéficiaire qui jouent le rôle de prétraitement;

- des ouvrages collectifs avec neuf (9) grandes fosses septiques en condominium dont deux sont pour le moment fonctionnelles et deux ouvrages de collectes des eaux usées ménagères (pour ceux qui ne sont pas encore connectés) ; Ils jouent le rôle du traitement secondaire,
- un réseau petit diamètre qui permet la connexion de tous les ouvrages;
- deux (2) filtres sous graviers nus à granulométrie différenciée qui jouent le rôle du traitement tertiaire. Ces filtres évacuent les eaux traitées dans un ouvrage de récupération. Le surplus est évacué en mer.

Les tuyaux d'évacuation en Polyvinyle Chlorure (P.V.C.) 110 mm constituent des buses rigides disposées selon le maillage qui suit le tracé des profils des voies attenantes aux concessions branchées. Conformément à la topographie du site, les effluents s'écoulent par gravitation. Les buses sont articulées par des regards de visites tous les 20m facilitant l'entretien du réseau. La pente minimale facilitant la gravitation est de 0.5%.

Le système de traitement des eaux usées est constitué de filtre sous gravier nu. Le filtre sous gravier nu est un bassin étanche horizontal garni de graviers à granulométrie variable comportant trois couches successives ; les graviers les plus fins affleurent. Son épaisseur est de 1.5m.

Les eaux usées provenant des ouvrages situés au niveau des concessions sont recueillies dans les fosses septiques en condominium disposées le long d'espaces ou poches communautaires.

3.2. La station expérimentale de l'IFAN (SEI)

La station de traitement des eaux de l'IFAN est ainsi structurée :

- une fosse septique qui alimente les différentes filières de traitement ;
- un décanteur digesteur anaérobie ;
- et cinq filières de traitement des eaux provenant des effluents précités qui sont le gravier nu, le gravier planté, les Typha, les Microphytes et les Pistia, avec possibilité de combinaison entre ces filières.

La fosse septique de la SEI reçoit tous les quatre jours 10 m³ d'eaux usées. Un système de pompage réglé de manière pointue alimente les différentes filières de traitement à travers le décanteur.

Les filières à gravier nu et à gravier planté (avec *Moringas oleifera*) sont celles sur lesquelles a porté notre étude (voir graphe 1, schéma de la filière page suivante). Il était question de faire

une étude comparative de l'efficacité de ces deux systèmes par rapport aux normes de rejet en vigueur et surtout par rapport à la réutilisation de leurs effluents en agriculture.

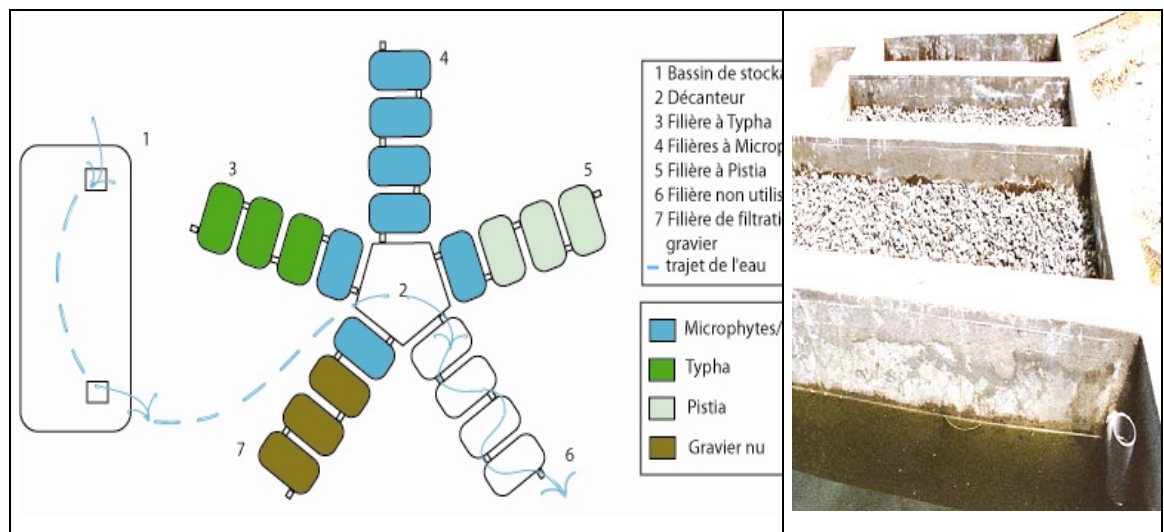


Schéma 2 : Schéma de la filière de traitement sous gravier de la Station de l'IFAN

3.3. L'échantillonnage et les méthodes d'analyses

3.3.1. Echantillonnage

Un échantillon moyen a été prélevé tous les deux jours, pendant deux semaines à l'entrée et à la sortie d'une fosse septique et du filtre. Toutes les deux heures un prélèvement est fait et l'échantillon est conservé au frais pendant toute la durée de l'opération. Celle-ci démarre à 8 heures et se termine à 16 heures. Ces échantillons moyens journaliers sont apportés au laboratoire d'Analyse de l'IFAN (LATEU) où les paramètres suivants sont mesurés :

- analyses physico-chimiques sur les eaux (pH, conductivité, MES, DBO₅, DCO, Nt, NO₂, NH₄⁺, NO₃⁻, Pt, PO₄⁻, K)
- analyses bactériologiques sur les eaux : les coliformes fécaux (CF)

Un pH-mètre et un conductimètre sont respectivement utilisés pour la mesure du pH et la conductivité. Les valeurs de ces paramètres sont immédiatement données par les appareils. Vingt-six (26) échantillons ont été réalisés dans le cadre de cette étude.

3.3.2. Méthodes d'analyses

Les principaux paramètres suivants sont mesurés :

- pour la mesure de la pollution primaire, les MES, le pH et la conductivité ;
- s'agissant de la pollution secondaire, la DBO₅ et la DCO ;
- en ce qui concerne la pollution tertiaire, le NO₂, le NO₃⁻, le NH₄⁺, le N total, le PO₄⁻, le P total et le K ;
- et la pollution quaternaire est quantifiée par les CF/100ml.

3.3.2.1. Détermination des matières en suspension (MES)

3.3.2.1.1. Principe

L'échantillon est filtré avec un *papier filtre* sans cendre et le poids de matières retenues est déterminé par pesée différentielle.

3.3.2.1.2. Mode opératoire

- imbiber le papier filtre, puis sécher à l'étuve environ deux heures, à 105°C,
- placer le papier filtre dans un dessiccateur environ 15 minutes,
- filtrer un volume connu d'échantillon (100 ml),
- remettre le filtre à l'étuve à 105°C environ trois heures,
- placer le papier filtre à nouveau dans un dessiccateur environ 15 minutes.

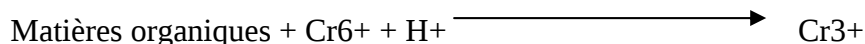
La teneur en MES de l'échantillon est donnée en mg/l par la formule :

$$\frac{(P1-P0)}{V} * 1000 \quad \left\{ \begin{array}{l} P0 = \text{poids sec du filtre avant filtration, en mg} \\ P1 = \text{poids sec du filtre après filtration de l'échantillon,} \\ V = \text{volume de l'échantillon filtré, en ml} \end{array} \right.$$

3.3.2.2. Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO)

3.3.2.2.1. Principe

En milieu acide, les matières organiques sont oxydés par le bichromate de potassium, en présence de catalyseur (sulfate d'argent) et de sulfate de mercure pour complexer les chlorures.



On dose le Cr^{3+} vers 570 nm.

3.3.2.2.2. Mode opératoire

Nous utilisons la méthode où la DCO est directement donnée en $\text{mg O}_2/\text{l}$:

- introduire 0.2 ml d'eau distillée dans un tube DCO Hach (blanc*) contenant déjà un réactif fourni,
- introduire 0.2 ml d'échantillon dans un second tube DCO Hach,
- agiter, puis chauffer les différents tubes dans un four à DCO à 150°C , pendant deux heures,
- laisser refroidir et lire au spectrophotomètre Drel 2010 Hach à 570nm

**le blanc permet la mise à zéro du spectrophotomètre.*

3.3.2.3. Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO_5)

3.3.2.3.1. Principe

La teneur en matières organiques biodégradables est déterminée indirectement par la mesure de la quantité d'oxygène consommée, à 20°C et à l'obscurité, par les bactéries aérobies de l'échantillon.

3.3.2.3.2. Mode opératoire

- Introduire un volume connu d'échantillon dans un flacon à DBO contenant,
- Déposer quelques cristaux de NaOH dans le bouchon prévu à cet effet,
- Placer le flacon dans le DBO mètre,
- Attendre 30mn, ajuster le calibre,
- Fermer le flacon, démarrer la lecture puis introduire le DBO mètre dans son enceinte,

- La DBO₁ est donnée le lendemain à la même heure. Le résultat est lu directement en mg/l d'oxygène. Il en sera de même les 2e, 3e, 4e, et 5e jours où on obtient alors la DBO₅.

3.3.2.4. Dosage de l'Azote total et du Phosphore total

3.3.2.4.1. Principe

Les composés azotés présents dans l'eau sont oxydés en nitrates par une solution alcaline de persulfate. Les nitrates sont ensuite réduits en nitrites et dosés par spectrophotométrie.

Le phosphore total est dosé, après minéralisation dans de l'échantillon, par l'une des méthodes décrites pour le dosage des orthophosphates. Après digestion, la solution est neutralisée à l'aide de soude on ajoute du sulfate de potassium pour élever le point d'ébullition à 345-370°C (Rodier et al 1996).

3.3.2.4.2. Dosage de l'azote total, mode opératoire

La digestion est nécessaire pour la détermination de l'azote total. La procédure de la digestion est incluse dans la méthode.

- ajoutez le contenu d'un *réactif de persulfate* (azote total) à un tube à essai (réactif au persulfate) au *réactif d'hydroxyde* (hydroxyde de sodium) (haute concentration) ;
- ajoutez 0.5 ml d'échantillon, remuez vigoureusement pendant approximativement 30 secondes pour mélanger (pour le blanc mettre de l'eau distillée) ;
- chauffer les tubes avec le digesteur DCO pendant 30 minutes à 105°C ;
- après refroidissement, mettez le contenu du réactif de l'azote total A contenant du métabisulfate de sodium et secouez pendant 15 secondes, une période de réaction de trois minutes commencera ;
- introduire ensuite le réactif B contenant du métabisulfite de sodium, secouer pendant 15 secondes, une période de réaction de deux minutes commencera (la solution commencera à virer au jaune) ;
- prélever ensuite 2 ml de la solution jaune et l'introduire dans le second tube du réactif de l'azote total (réactif à l'acide) contenant de l'acide sulfurique;
- inverser lentement 10 fois pour mélanger, une période de la réaction de cinq minutes commencera (la couleur jaune intensifiera) ;
- après le signal sonore du chronomètre, essuyer le tube blanc et mettre à zéro le spectrophotomètre,

- essuyer le tube du réactif d'azote total qui contient l'échantillon puis lire. Le résultat est exprimé en mg/l N.

Le blanc permet la mise à zéro du spectrophotomètre

3.3.2.4.3. Dosage du phosphore total, mode opératoire :

Pour préparer un échantillon :

- ajouter dans un tube de réactif pour phosphate contenant de l'acide sulfurique 5 ml échantillon (pour le blanc mettre 5 ml d'eau déminéralisée) ;
- ajouter le contenu d'un sachet de *persulfate* de potassium pour phosphate au tube ;
- secouer pour dissoudre ;
- placer les tubes dans le digesteur DCO, et les chauffer à 150 °C pendant 30 minutes ;
- après refroidissement, y ajouter 2 ml d'hydroxyde de sodium de concentration 1.54N ;
- après avoir nettoyé l'extérieur du tube contenant l'échantillon, l'introduire dans spectrophotomètre Drel 2010 Hach;
- mettre à zéro le spectrophotomètre, alors 0.00 mg/l PO₄³⁻ Total Phosphore s'affiche ;
- ajouter le contenu d'un réactif au phosphate (phosphoVer 3) contenant du pyrosulfate de potassium;
- secouer pendant 10 à 15 secondes, une période d'attente de deux minutes commence ;
- après le signal sonore de l'horloge, nettoyez le tube et l'introduire dans l'appareil pour lecture. Le résultat est exprimé en mg/l PO₄³⁻.

Note : La valeur trouvée pour le blanc sera retranchée de celles obtenues pour les échantillons.

3.3.2.5. Dénombrement des coliformes fécaux (CF)

3.3.2.5.1. Principe

Il consiste à dénombrer les colonies bactériennes formées à la surface d'un milieu nutritif gélosé (Vire Red Bile Lactose ou VRBL) après incubation à une température déterminée et pendant un temps donné.

3.3.2.5.2. Mode opératoire

- mettre 45g de poudre de gélose au désoxycholate lactose dans un litre d'eau distillée préalablement portée à ébullition pendant 10 minutes, puis ramener à la température du