

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 aérobies 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 résiduelles 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. schotmuelleri* 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 colibacilloses, 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 Mbéguéré, 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).

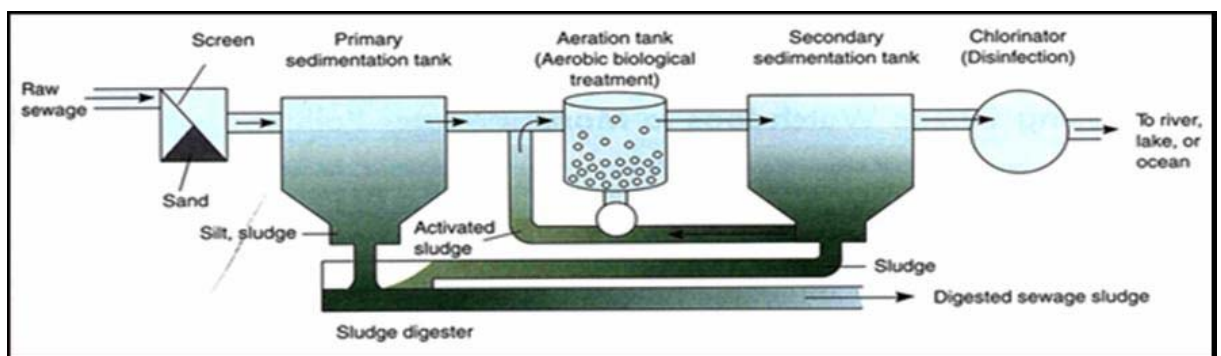


Schéma 1: principe du traitement intensif

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)

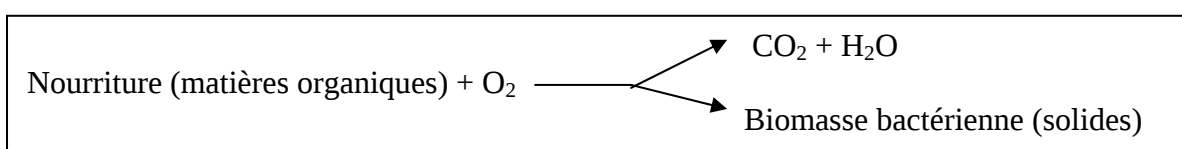
Vitesse (M/h)	DBO5 (%)	MES (%)
0,75	36	62
1	32	60
1,25	30	58
1,5	28	56
1,75	26	54
2	24	51
2,25	23	50

2.3.3. Traitement secondaire ou élimination biologique des matières polluantes

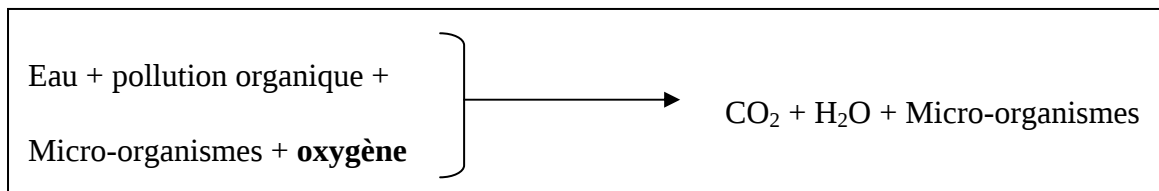
Dans la grande majorité des cas, l'élimination des pollutions carbonée et azotée s'appuie sur des procédés de nature biologique.

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.

POLLUTION PHOSPHOREE + REACTIF $\longrightarrow$ COMPOSES INSOLUBLES

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.

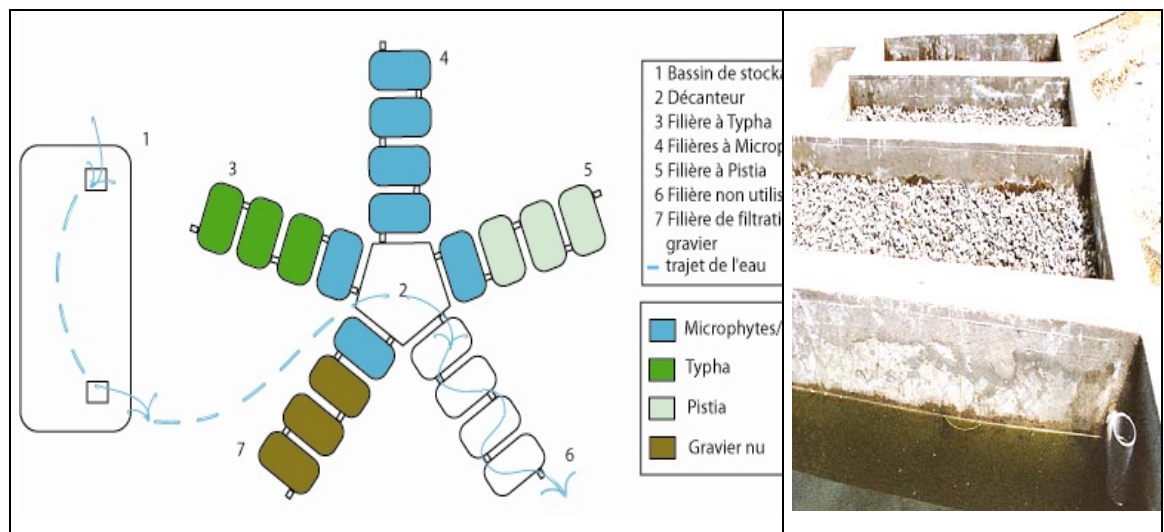


Schéma 2 : Schéma de la filière de traitement sous gravier de la Station de l'IFAN

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.

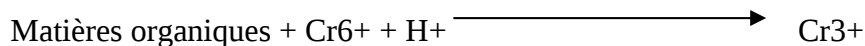
La teneur en MES de l'échantillon est donnée en mg/l par la formule :

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

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

laboratoire. Attendre 5 minutes puis secouer jusqu'à l'obtention d'une suspension homogène. Chauffer lentement en agitant fréquemment puis porter à ébullition jusqu'à dissolution complète. Laisser refroidir le milieu jusqu'environ 50°C ;

- incorporer de manière aseptique 1ml d'échantillon dans une boîte de Pétri ;
- couler le milieu de culture en boîte de Pétri ;
- mélanger pour homogénéiser ;
- laisser refroidir la boîte de Pétri jusqu'à ce que son contenu se soit solidifié ;
- introduire la boîte dans une étuve thermostatée, réglée à 44°C ;
- laisser incuber pendant 24 heures.

Les colonies bactériennes se forment durant l'incubation, chaque colonie étant issue d'une cellule bactérienne ces colonies sont alors comptées et la densité des colonies (donc des bactéries recherchées) est donnée par la formule :

$$\text{Nombre d'organismes/100 ml} = \frac{\text{Nombres de colonies}}{\text{Volume de l'échantillon (en ml)}} * 100$$

3.3.2.6. Dosage du potassium (K)

3.3.2.6.1. Principe

Les sels du potassium réagissent avec le sodium au tétraphényl de bore pour former un complexe blanc insoluble. Le niveau de potassium rencontré dans l'échantillon test est observé comme une turbidité dans l'échantillon du test. Le degré de turbidité est proportionnel à la concentration du potassium qui est mesuré avec un spectrophotomètre.

3.3.2.6.2. Mode opératoire

- Remplir le tube jusqu'à 10ml ;
- Ajouter une pastille « potassium », écraser et remuer pour dissoudre.
- Une solution nuageuse indique la présence de potassium ;
- Lire directement le résultat (exprimé en mg/l K) au spectrophotomètre à lecture directe, PHOT 30 à la longueur d'onde 520 nm.

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1. Profil socio-économiques des ménages

Comme le démontre le tableau 5 relatif aux aspects socio-économiques, la population de Yoff est à majorité constituée de pêcheurs traditionnels, une population à revenu faible en général. C'est un quartier qui se caractérise par des disparités sociales très manifestes. C'est ainsi que dans les concessions bénéficiaires, où nous avons mené des enquêtes, les dépenses moyennes mensuelles sont estimées à environ 149 384,615 Fcfa (eau et électricité comprises). Dans ces ménages où résident près de 15 personnes en moyenne, et une consommation moyenne journalière par tête d'habitant de **335,406 Fcfa** personne par jour. C'est donc un peu plus de la moitié du seuil de pauvreté (1 dollars /pers/j). Toutefois certains ménages parmi les plus nantis consomment jusqu'à 1258,333 Fcfa/pers/j, soit plus du double du seuil de pauvreté. Il existe également une autre frange de la population vivant avec des revenus par personne et par jour qui tournent autour de **260,822 Fcfa** dans des ménages où résident près de 17 personnes en moyenne.

Tableau 5: Résumé des résultats sur les enquêtes socio-économiques

Caractéristiques de la concession	Taux d'alphabétisation (%)	Nombre moyen de personnes/ménages	consommation moyenne/pers/ (F CFA)	Quantité moyenne d'eau/pers/j (l)
Concessions connectés	92	15	335,406	55,208
Concessions non connectés	59	17	260,822	35,484

Si on regarde de plus près on se rend compte que les ménages connectés au réseau sont plus riches, consomment plus d'eau et ont un taux d'alphabétisation plus élevé. Par ailleurs, ils présentent le plus petit nombre de personnes par ménage.

4.1.1. variation de la consommation en eau par rapport au niveau de vie

La consommation en eau dans le quartier de Tonghor est très variable d'un ménage à l'autre et les valeurs fluctuent aussi bien dans les ménages qui bénéficient de la connexion qu'ailleurs. On peut retrouver deux catégories en fonction de la consommation en eau :

1. une première catégorie, la mieux représentée avec près de 58%, où la consommation en eau est légèrement proche de la consommation moyenne en eau de l'ordre de **55,208 l/pers/j** pour les connectés et **35,484** chez les autres ;
2. et une 42% dont la consommation moyenne journalière dépasse de loin les premiers et frôle dès fois même les 100 l/pers/j.

Les plus importantes valeurs de consommation en eau sont notées dans les ménages où les revenus par personnes et par jour sont les plus élevés 1258.333 Fcfa/pers/j et 120.689 l/pers/j (chez les connectés) contre 729.167 Fcfa/pers/j et une consommation moyenne en eau de 96.230 l/pers/j (chez les non connectés). Notons par exemple que 62% des connectés contre 58% des non connectés consomment plus de 35 l/pers/jours.

Parallèlement les plus faibles valeurs de consommation en eau par personne par jour se retrouvent dans les ménages les moins nantis et en guise d'exemple retenons les 10.057 l/pers/j pour seulement 158.667 Fcfa/pers/j et même jusqu'à 6.611 l/pers/j dans un ménage où la dépense individuelle est en moyenne de 130 Fcfa/ pers/j chez les non connectés. Et pour les bénéficiaires de la connexion 263 à 185 Fcfa/pers/j pour une consommation en eau respectivement égale 29,143 et 27,160 l/pers/j.

Notons de manière globale que nous avons en moyenne **55,208 de l/pers/j** chez les bénéficiaires du branchement avec une bonne partie (près de 77%) qui en consomme moins contre **35,484** chez les autres dont les 58% en consomment moins.

Ces valeurs peuvent tout à fait correspondre avec un système d'assainissement autonome voire semi collectif ; puisque pour être efficace, la technologie d'assainissement choisie doit être compatible avec le niveau des services d'approvisionnement en eau des populations (CREPA, sd). Même si nous avons noté quelque part un pic maximal de 147.917 L/pers/j (maximum chez les connectés).

Le niveau de vie a trop influencé la consommation en eau des populations de Tonghor.

4.1.2. La connexion est-elle fonction du niveau d'instruction ?

Les sondages ont été réalisés auprès des pères de familles ou auprès de leurs épouses. Si on considère les ménages bénéficiaires du système d'assainissement, il ressort des enquêtes que 92% des personnes enquêtées ont reçu une formation dont les 85% ont au moins été à l'école au moins jusqu'au primaire, sur un taux d'analphabétisme de 8%.

Contrairement aux concessions non connectées où seuls 59% des chefs de famille enquêtés sont instruits dont les 20% n'ont pas été à l'école française mais à l'école coranique, ou ont suivi une alphabétisation en langues nationales.

Nous remarquons que le niveau d'instruction a fortement contribué à la connexion des ménages au projet d'assainissement, surtout chez ceux qui ont été à l'école française.

4.1.3. Problématique des eaux usées domestiques des concessions non connectées

Comme les niveaux de vie et les niveaux d'instruction, les conditions d'hygiène sont aussi différentes d'un ménage à l'autre dans le quartier de Tonghor. Leur seul dénominateur commun demeure le mode d'évacuation des eaux ménagères avec l'existence d'ouvrages d'évacuation d'eaux usées ménagères dans le quartier.

C'est ainsi que près de 81% des ménages utilisent ces ouvrages pour évacuer les eaux ménagères (eaux de cuisine, de lessive et de vaisselle,...) ; alors que pour environ 19% la mer continue d'être leur exutoire.

Nous avons noté dans près de 89% des ménages où nous avons enquêté que les eaux vannes y sont collectées dans des fosses septiques. Et que 78% évacuent les eaux de bains dans des puits perdus. D'où un gap de près de 11% de la population de Tonghor qui ne disposent pas de fosses d'aisance et c'est ce qui explique, à défaut d'aller chez les voisins, les affluences vers la plage pour satisfaire certains besoins naturels.

4.1.4. Le moment d'apparition du premier entretien

C'est seulement dans près de 17% des ménages non connectées où la fosse demeure non encore vidangée, ils n'ont donc pas été confrontés aux problèmes de vidange et ne voient pas leur compte dans ce projet. Dans les 83% ménages restants, la fosse a été vidée durant les

quatre premières années d'existence. 37% d'entre eux l'ont effectué après seulement une à deux années d'utilisation.

Nous situons alors le moment d'apparition du premier entretien à la quatrième année pour une consommation moyenne en eau de 35 l/personne/jour.

Les enquêtes ont révélé qu'il existe encore, à Yoff, près de 70% de ménages non bénéficiaires du système d'assainissement dont la fosse septique a duré plus de quatre (4) ans. Ils constituent une cible potentielle où une sensibilisation doit être menée pour que les objectifs du projet puissent être atteints. En effet actuellement ils doivent être confrontés au problème de vidange des fosses.

4.1.5. Le pourcentage de jeunes faisant l'entretien des fosses

La problématique du rejet des eaux usées est en train de se résorber avec l'existence d'un mode d'évacuation des eaux usées ménagères via les ouvrages d'évacuation installés dans le quartier. Toutefois, la problématique des eaux vannes demeure un risque pour l'environnement du quartier, accentué par l'existence de contraintes liées à la situation physique et surtout aux aspects socio-économiques comme le démontre le tableau 6.

Tableau 6: Résumé des résultats sur les enquêtes relatives aux infrastructures

Evacuation des eaux vannes	Mode d'évacuation des eaux ménagères	Durée de la fosse	Date du premier entretien	Qui fait l'entretien
89% Fosse septique	81% Ouvrages	70% plus de 4 ans	17% jamais	24% services spécialisés
11% autres	19% plage	30% 4 ans ou moins	83% 4e année ou avant	76% jeunes ou tacherons

C'est ainsi que les enquêtes portant sur l'entretien des équipements dans leurs rubriques « qui fait le vidange ? » ont révélé que :

- le groupe le plus moderne, constitué de seulement 24% des ménages, a recours aux services spécialisés pour vidanger leurs fosses septiques ;
- 38% utilisent les tâcherons qui constituent une main-d'œuvre à bon marché ;
- 38% des ménages utilisent les jeunes de la maison.

Ces deux derniers groupes qui forment un total de 76% des ménages enquêtés parmi ceux qui ne sont pas connectés ont tendance à utiliser les membres de la familles ou les ouvriers à bon marché pour vidanger les fosses septiques dans leur environnement immédiat, créant ainsi des risques sanitaires énormes.

D'après les enquêtes, les populations qui ne sont pas connectées au réseau donnent comme raison le coût élevé, estimé à 190 000 CFA. Cette somme étant payable sur 25 mois à raison de 7000 F CFA/mois.

4.2. Efficacité des systèmes de traitement à Yoff et à la SEI

Il faut signaler que la fosse septique suivi à Yoff, est connectée à dix (10) concessions alors que le filtre reçoit et les eaux usées domestiques des dix sept (17) familles connectées et des eaux ménagères provenant des deux ouvrages de collectes des eaux usées ménagères.

4.2.1. Efficacité des systèmes pour l'élimination des MES

Les matières en suspension (M.E.S.) constituées par l'ensemble des particules en suspension contenues dans les eaux usées. Elles constituent l'une des parties les plus apparentes de la pollution des eaux usées. Ces MES, le pH et la conductivité ont été les principaux critères d'appréciation de l'efficacité du traitement primaire.

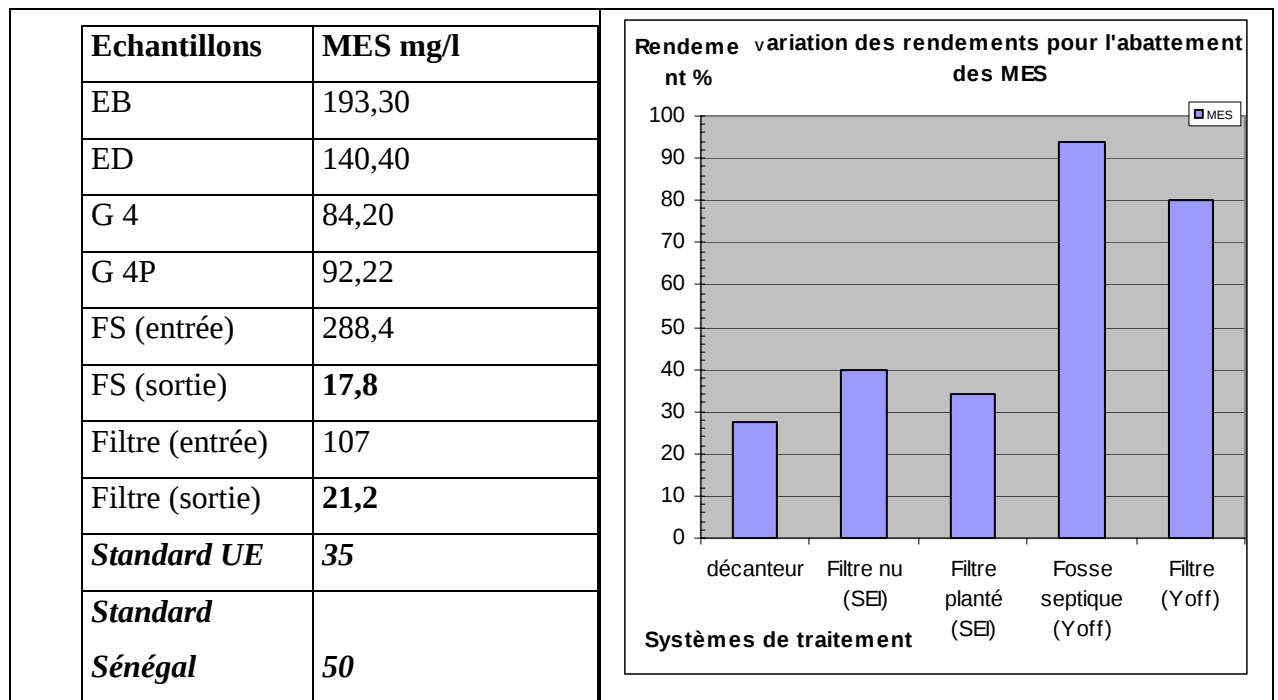
L'évolution des teneurs en matières en suspension, depuis l'entrée de la fosse septique jusqu'à la sortie du filtre sous gravier à la station de l'IFAN et à Yoff et les rendements relatifs en %, est représentée sur le graphe 1. Retenons que près de 75% des M.E.S. sont d'ailleurs organiques (Tchobanoglous et al, 1991, in Mbéguéré M. 2002).

Nous constatons une variation de la teneur en MES à Yoff très importante au niveau de l'entrée de la fosse septique avec une efficacité de 94%. Cette teneur reste très significative à la sortie du filtre, soit un abattement de 80%. Par contre pour la station de l'IFAN les rendements obtenus varient autour d'un maximum de 40%. IL est important de remarquer que les normes aussi bien sénégalaises qu'européennes sont atteintes à Yoff alors que ce n'est pas le cas à la station de l'IFAN.

Le rendement a été calculé de la manière suivante et les valeurs sont données en pourcentage.

$$\frac{(C_0 - C_1) * 100}{C_0}$$

$\left\{ \begin{array}{l} C_0 = \text{Concentration de l'échantillon brut en mg/l,} \\ C_1 = \text{Concentration de l'échantillon considéré en mg/.} \end{array} \right.$



Graphe 1 : Evolution des concentrations et des rendements épuratoires pour l'abattement des MES

A Ouagadougou au Burkina Faso, une étude expérimentale a été menée (2001) sur la capacité épuratoire de la laitue d'eau sous forte charge organique. La station est composée d'un décanteur primaire (D.P.) et 5 bassins. Le premier bassin est facultatif et les bassins 2 et 3 sont plantés de la laitue d'eau. Le débit moyen à l'entrée de la station sur la période d'étude (février-avril 2000) est de 3 m³/j.

Le rendement obtenu au premier étage, pour l'élimination des M.E.S., est de 68% alors qu'il est amélioré au niveau de l'étage 2 avec 82%. Ceci est dû au passage des effluents dans le filtre de gravier (Koné et al, 2001). On remarque que comparée, aux performances de la station de Ouagadougou, la station de Yoff offre de meilleures performances.

En plus du rôle de filtre exercé par le gravier, la performance de ce type de traitement dans la pollution primaire réside dans le fait qu'il n'y a pas de contact entre la lame d'eau et

l'atmosphère, ce qui diminue ou même empêche la survenue de matières en suspension de néoformation comme la litière ou le phytoplancton. Ce qui fait qu'à leur sortie des bassins d'épuration, les eaux usées ont une très belle apparence.

A la station expérimentale de Cambérène (SEC), des études similaires ont été menées par MBEGUERE M., pendant une durée de sept (7) ans – entre 1993 et 1999 - sur un épandage sous gravier nu sur un dispositif expérimental qui comportait deux bassins de 2 m². Les taux de réduction obtenus tournaient autour d'un minimum de 77.3% et un maximum de 89.4%. Ici également les rendements obtenus sont inférieurs à ceux de la station de Yoff.

4.2.2. Evolution du pH et de la conductivité dans les systèmes testés

Le pH et la conductivité sur le réseau de traitement des eaux usées de Yoff et de la SEI montrent que les eaux sont plutôt légèrement basiques à la SEI alors que celles de Yoff sont légèrement acides. Les effluents des systèmes de traitement ont toutes des plages de pH favorables comprises entre (6,5<pH<8.4). Par contre les conductivités sont comparables sauf au niveau du filtre de Yoff où les valeurs ont presque doublé (tableau 7).

Tableau 7: Variations du pH et de la Conductivité dans les filières de gravier

ECHANTILLONS	pH	Conductivité (µS/cm)
EB	8,460	2020
ED	7,887	2403
G 4P	8,110	2283
G 4	8,253	2213
Entrée Fosse septique	6,885	2205
Sortie fosse septique	6,975	2765
Entrée filtre	6,470	4560
Sortie filtre	7,180	4535

Dans le cadre d'une utilisation en agriculture urbaine, Il est généralement admis qu'une eau dont la salinité est inférieure à 700 uS/cm ne comporte aucune restriction pour son utilisation. Pour une eau dont la salinité est comprise entre 700 et 3000 uS/cm, on constate un degré de restriction (type de sol et type de plante cultivé) allant de léger à modéré. Par contre quand la

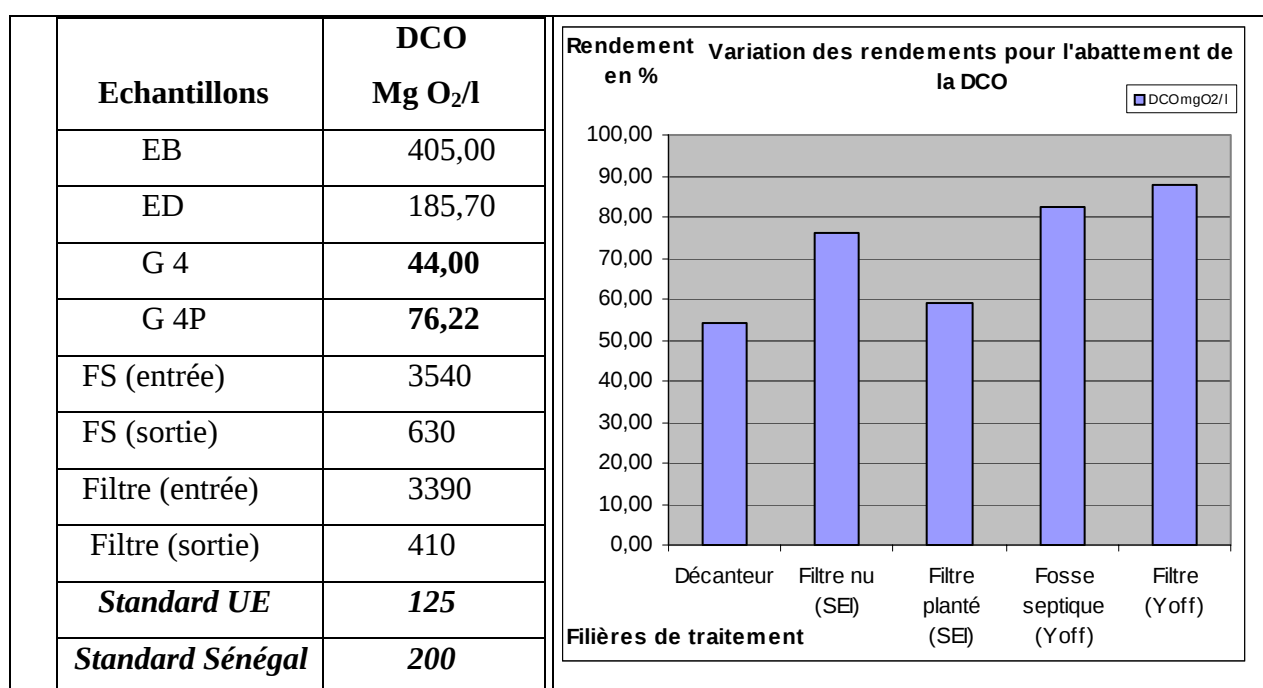
salinité de l'eau dépasse 3000 uS/cm, le degré de restriction devient très sévère (Ayers and Westcot, 1985). On peut donc en déduire que les eaux traitées issues de la SEI sont plus aptes à l'agriculture.

4.2.3. Efficacité des systèmes pour l'élimination de la matière organique

Les paramètres de mesures et de vérification de l'efficacité des systèmes dans le traitement de cette pollution sont la demande chimique en oxygène ou la DCO et la demande biochimique en oxygène appelée la DBO₅.

4.2.3.1. L'élimination de la DCO

Les eaux usées d'alimentation des systèmes ont reçu des quantités variables de matières organiques suivant qu'on se trouve à Yoff ou à l'IFAN. Les courbes représentatives de ces quantités de pollution ont subi la même allure comme le montre le graphe 2.



Graph 2 : Efficacité du gravier dans l'abattement de la DCO

L'analyse de ces courbes montre un abattement très significatif, par les systèmes, de la pollution secondaire. A Yoff par exemple, nous notons des abattements de 82 et 88% respectivement au niveau de la fosse septique et du filtre. A la SEI, on a pratiquement des rendements comparables pour le filtre nu alors que le filtre planté et le décanteur sont beaucoup moins performants (59%).

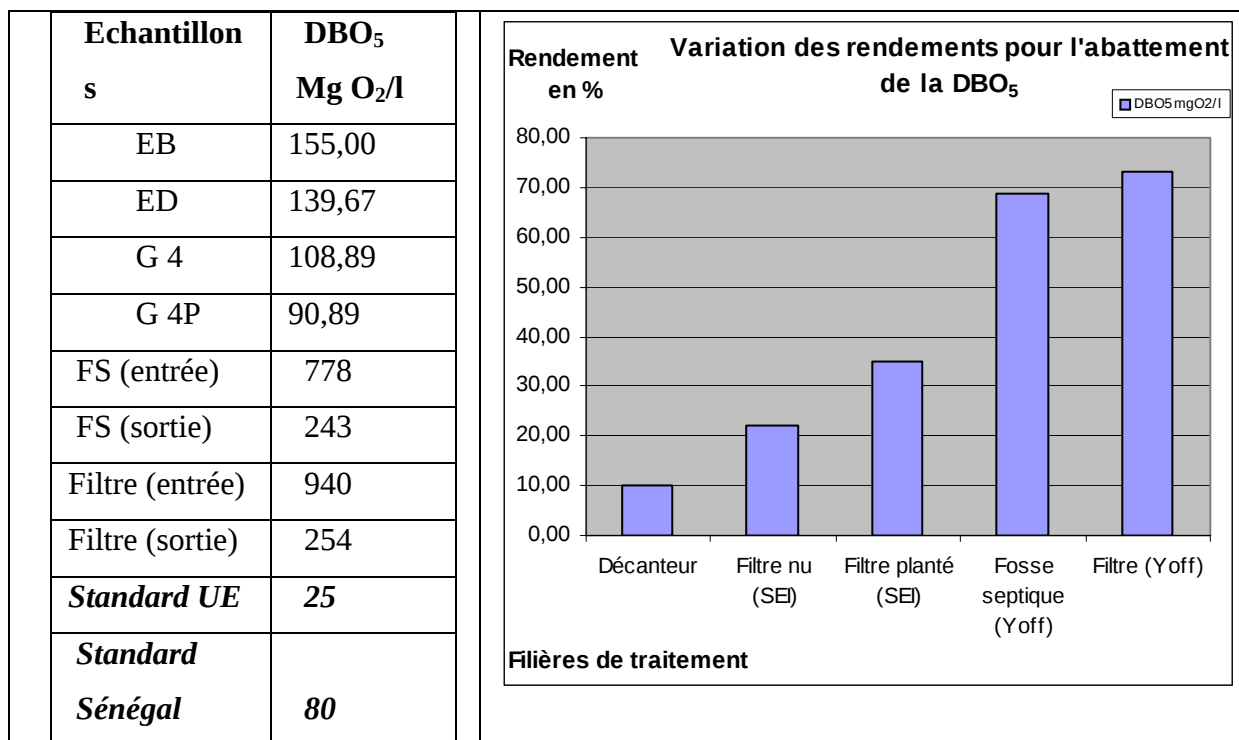
Par contre au niveau des concentrations, seules les niveaux atteints à la SEI respectent les normes sénégalaises et Européennes.

Si nous comparons les rendements épuratoires du filtre sous gravier avec le taux minimal de réduction conseillé par l'Union européenne (75 %), nous pouvons tirer comme remarque :

- les filtres sous graviers nus, de Yoff et de l'IFAN, respectent ces normes ;
- tandis que la filière plantée montre une performance peu satisfaisante ;
- et la fosse septique (90% de réduction) est plus performante que le décanteur.

4.2.3.2. L'élimination de la DBO₅

Comme pour la demande chimique en oxygène, la demande biochimique en oxygène a subi des variations importantes de charges polluantes suivant les filières de traitement.



Graph 3 : Variation de l'abattement de la DBO₅ par les systèmes de traitement

Les courbes représentatives de l'élimination de la DBO_5 montrent des rendements d'abattement assez faibles à la SEI (20-30%) et même 10% pour le décanteur. A Yoff ils sont plus importants, soit 69% pour la fosse septique et 73% pour le filtre. En termes de concentration, les normes européennes où Sénégalaises, ne sont atteintes par aucun système (Graphe 3).

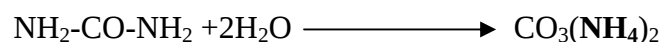
Du point de vue des rendements, seuls les systèmes à Yoff respectent les normes européennes (70 - 80).

4.2.4. L'efficacité des systèmes pour l'élimination de la pollution tertiaire

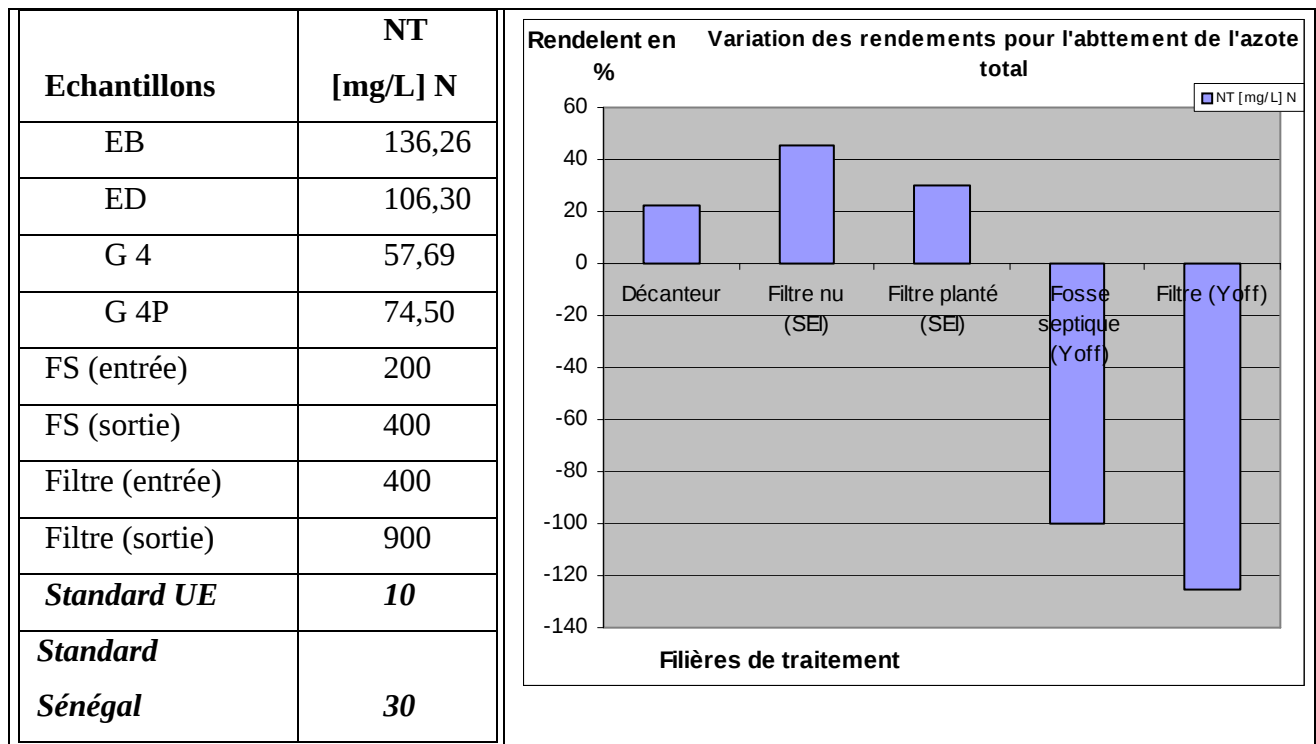
La pollution chimique minérale encore appelée pollution tertiaire est une des formes de pollution qui n'est pas facilement biodégradable. Elle peut être quantifiée par deux grands types de polluants ou paramètres minéraux : les composés d'eutrophisation que sont les dérivés minéraux de l'azote et du phosphore (nitrates, nitrites, ammonium, phosphates divers et autres sels utilisés en agriculture et dans l'industrie) et les métaux lourds (Pb, Hg, Cu, etc.). En fonction de l'orientation que nous nous sommes fixés en terme d'objectif spécifique de recherche que constitue la réutilisation des eaux usées en agriculture urbaine, nous n'allons traiter par conséquent que les teneurs en azote total (**Nt**), en phosphore total (**Pt**) et en potassium (**K**).

4.2.4.1. L'élimination de la pollution chimique minérale azotée.

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 suivant la réaction :



La somme azote organique, azote ammoniacal, nitrites et nitrates constitue l'azote total.



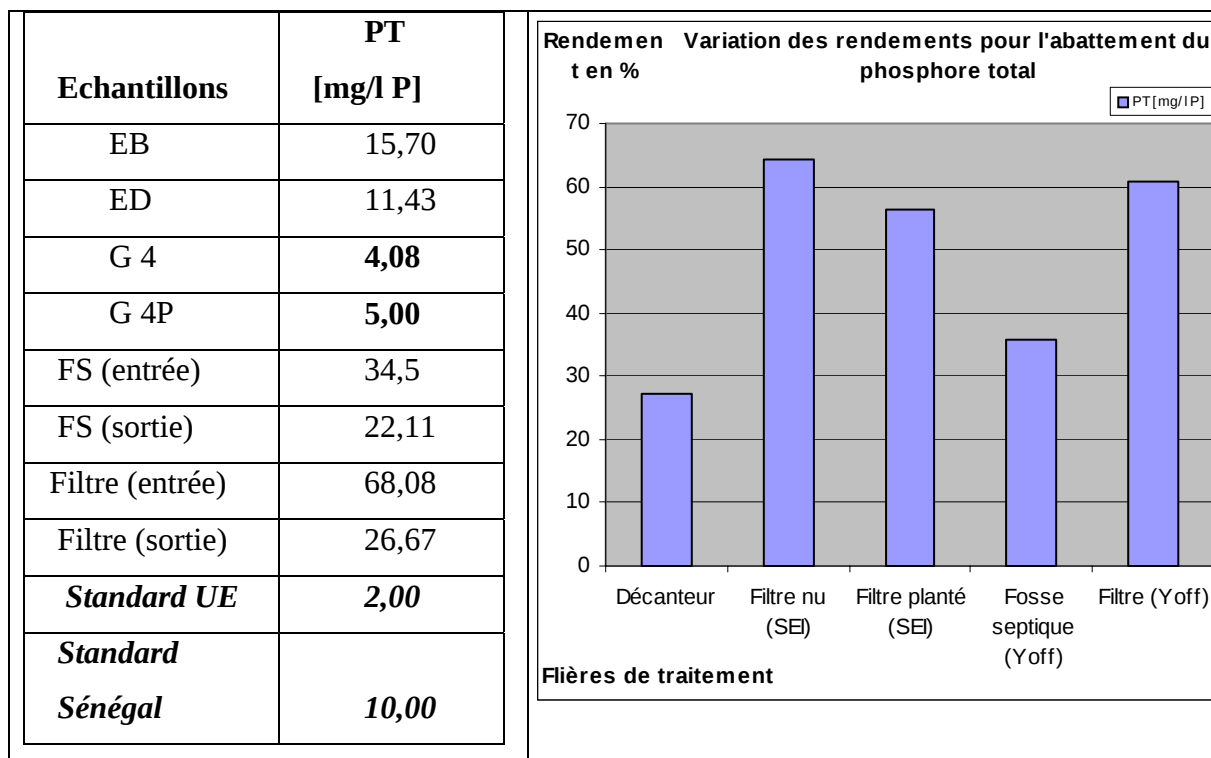
Graphe 4 : Variation de l'abatement de l'azote total par les systèmes de traitements

Les concentrations obtenues dans les systèmes de traitement montrent qu'aucun des filières ne respectent les normes européennes ou Sénégalaises.

L'analyse des rendements épuratoires montre également que les systèmes mis en place ne sont pas efficaces pour l'élimination de l'azote total. Au niveau de la SEI, les rendements varient entre 46% et 30 % respectivement au niveau des filières à gravier nu et à gravier planté et 20% au décanteur. Alors qu'au niveau de Yoff, les rendements sont négatifs avec -100% au niveau de la fosse septique et -125 % au niveau du filtre (Graphe 4). Cependant dans une perspective de réutilisation en agriculture urbaine, cette performance peut être fort utile.

4.2.4.2. L'élimination de la pollution chimique minérale phosphorée

Le phosphore apparaît dans les eaux usées domestiques sous forme de phosphates. On distingue principalement les orthophosphates (PO_4^{3-}) et le phosphore lié à des molécules organiques (CHONP).



Graphe 5 : Variation de l'abattement du phosphore total par les filières de traitement

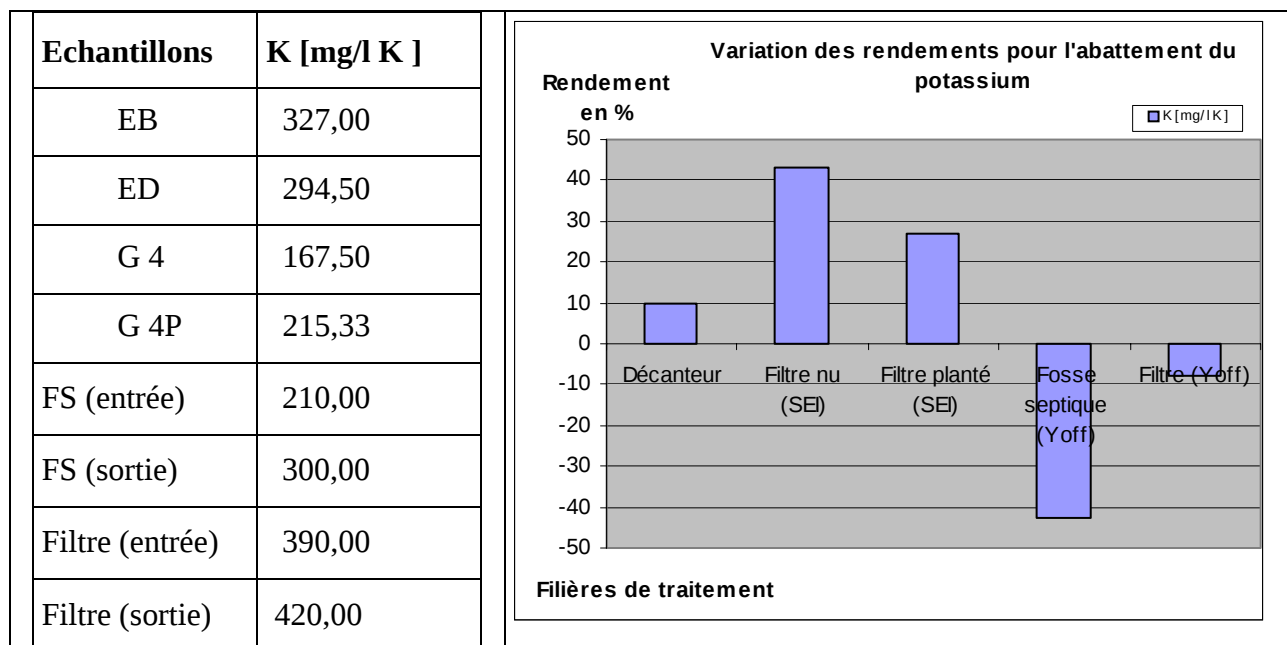
Les concentrations en fin de traitement montrent dans le graphe 5 que seuls les systèmes à la SEI atteignent les normes sénégalaises sans pour autant respecter les normes européennes. En termes de rendements, les filières de la SEI et le Filtre de Yoff présentent respectivement des valeurs de 64% pour le filtre nu, 56% pour le filtre planté et 61% pour le filtre de Yoff. Ces rendements, même s'ils n'atteignent pas les normes européennes de 80%, n'en sont pas trop éloignés. Cependant la fosse septique de Yoff montre une réelle faiblesse dans l'abattement du phosphore total en présentant un rendement de seulement 36% et pire encore avec le décanteur (près de 30%).

Il faut signaler ici, que dans une perspective de réutilisation en agriculture, la présence de phosphore dans l'effluent reste utile pour la nutrition végétale.

4.2.4.3. L'élimination du potassium (K+)

La concentration du potassium est en moyenne forte dans les eaux usées domestiques et son élimination par ce système de filtration sous gravier à la SEI est très faible. Les rendements atteints se situent autour de 43% pour le filtre nu, 27% pour le filtre planté et 10% au décanteur. A Yoff, au lieu d'une élimination, nous avons une repollution des eaux usées en

potassium. Ainsi nous notons des rendements négatifs situés autour de -43% pour la fosse septique et -8% pour le filtre (Graphe 6). Ceci pourrait être un avantage pour la ré-utilisation des effluents en maraîchage mais il faudrait au préalable déterminer des concentrations acceptables.



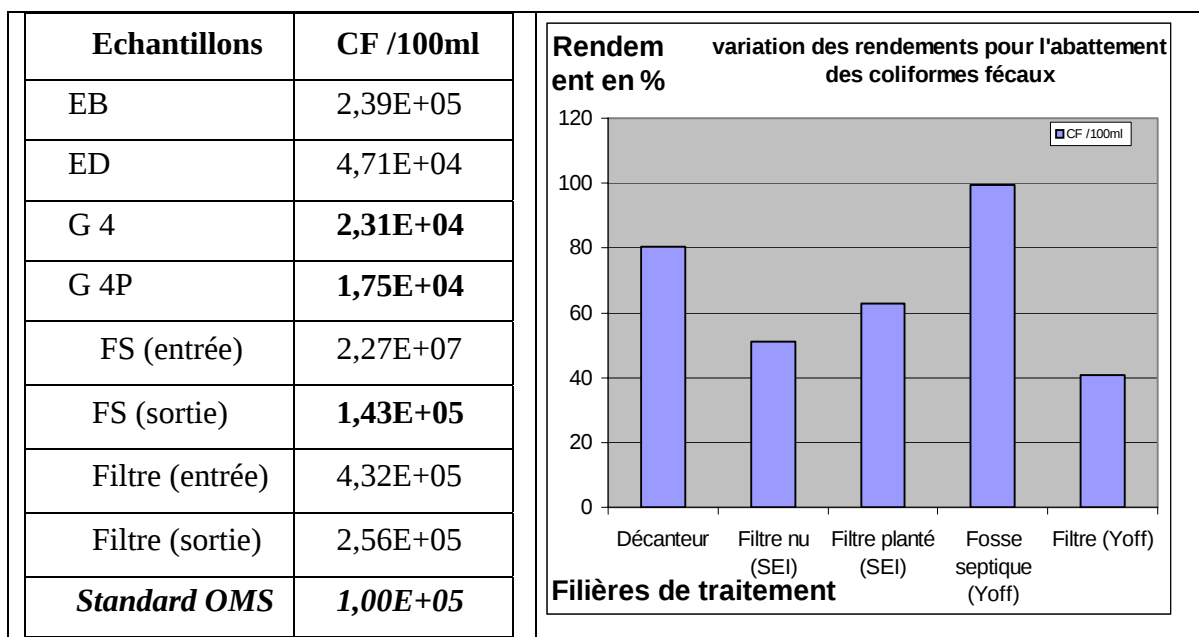
Graphe 6 : Variation de l'abattement du potassium dans les filières de traitements

Ces résultats confirment ceux de l'étude de Mara et Cairncross en 1991 (*In Seck F. 2003*), d'après lesquels les eaux usées contiennent à peu près la même quantité de potassium après traitement, et cela quel que soit le procédé utilisé.

Le potassium intervient dans l'élaboration des protéines d'où sa nécessité pour obtenir une efficacité maximale de la fixation de l'azote. En outre, le potassium améliore le transit de l'eau, diminue la transpiration et confère à la plante une meilleure résistance à la sécheresse (Odet *et al*, 1989). Alors nous pouvons supposer que la forte présence de potassium dans les effluents de cet épandage serait intéressante pour la réutilisation des eaux épurées en agriculture dans la mesure où elle diminuerait la demande en eau des plantes et un éventuel apport chimique en potassium.

4.2.5. Efficacité des systèmes pour l'élimination de la pollution biologique

Ce type de pollution est caractérisé par la présence dans les eaux usées d'une importante quantité de germes pathogènes. L'origine de cette pollution est fécale et le réservoir initial de ces germes est le tube digestif de l'homme et des animaux.



Graph 7 : Efficacité du gravier dans l'abattement des coliformes fécaux

Les concentrations en coliformes fécaux, très élevées à Yoff, correspondent aux valeurs trouvées en général dans les eaux usées. Contrairement aux concentrations à la SEI qui, rappelons le, proviennent du troisième bassin de traitement de la station de Castors (Rufisque). Les meilleurs rendements sont obtenus par la fosse septique à Yoff qui atteint plus de 99% d'abattement (graphe 7). Par rapport aux normes de l'OMS (OMS, 2006), les valeurs de la SEI respectent ces normes pour une réutilisation dans l'agriculture sans restriction. Alors que les concentrations en fin de traitement à Yoff restent légèrement plus élevées que ces normes.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

La population de Yoff est à majorité constituée de pêcheurs traditionnels qui dans sa majorité est à faibles revenus. Le niveau d'instruction a fortement influencé la connexion des ménages au projet d'assainissement (92% des connectés contre 56 seulement pour les autres). En regardant de plus près nous nous rendons compte que les ménages connectés au réseau sont les plus riches, consomment le plus d'eau. Malgré tout ce nombre reste encore faible (17/122).

En ce qui concerne les infrastructures, retenons que 81% des ménages utilisent les ouvrages installés par le projet pour évacuer les eaux ménagères et près de 11% de la population de Tonghor ne disposent pas de fosses d'aisance et donc continue d'aller vers la plage pour se soulager.

Par ailleurs, les enquêtes ont révélé qu'il existe encore, à Yoff, près de 70% de ménages non bénéficiaires du système d'assainissement dont la fosse septique a duré plus de quatre (4) ans. Et pour une consommation moyenne en eau de 35 l/personne/jour dans une famille qui compte dix sept (17) membres, le premier entretien apparaît vers la quatrième année. Même si plus de 40% des non connectés répondent à ce critère, ceci n'a pas constitué un levier pour amener plus de personnes à se connecter. Il est également ressorti de l'analyse du profil des populations de Yoff Tonghor, que, 76% des ménages ont tendance à utiliser les membres de la famille ou des ouvriers à bon marché pour vidanger les fosses septiques dans leur environnement immédiat.

Parmi les objectifs du projet figure, entre autres, la récupération des eaux épurées pour le maraîchage dans le but d'augmenter les revenus du quartier.

Les résultats des analyses microbiologiques et physico-chimiques ont montré que les fosses septiques en condominium ont pu jouer, un rôle très remarquable dans la réduction de la pollution.

Ainsi en comparant les ouvrages dits de prétraitement que sont le décanteur (à la SEI) et la fosse septique à Yoff Tonghor nous obtenons les résultats suivants :

- une élimination à hauteur de 94% sur les MES à Yoff contre 27% à la SEI ;
- pour la DBO, une réduction de 10% à la SEI contre 69% à Yoff et pour la DCO des abattements de 82% au niveau de la fosse septique et 54% dans le décanteur ;
- à Yoff le rendement est négatif sur l'azote total et le potassium notamment avec -100 et -43%, contre 22% et 10% pour les mêmes paramètres à la SEI ;
- 36% de réduction sur le phosphore total à Yoff contre 27% seulement à la SEI ;

- pour des coliformes fécaux les meilleurs rendements sont obtenus avec la fosse septique qui atteint plus de 99% d'abattement même si les concentrations s'avèrent très élevées.

IL est important de remarquer que les normes aussi bien sénégalaises qu'européennes pour les MES sont atteintes à Yoff alors que ce n'est pas le cas à la station de l'IFAN. Concernant la salinité, toutes ces eaux se sont révélées aptes à l'irrigation non restreinte ;

La comparaison des systèmes du filtre immergé montre des performances 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 sur l'azote total et une inefficacité -125 % à Yoff ;
- pour le potassium -8% de rendement à Yoff contre 43% pour le filtre nu et 27% pour le filtre planté ;
- pour le phosphore 64% au filtre nu, 56% pour le filtre planté et 61% pour le filtre de Yoff ;
- 40% de réduction des coliformes à Yoff et un maximum de 60% dans les filtres de la SEI.

Les performances de la fosse septique sont presque partout meilleures que celle du décanteur et Le filtre de Yoff a produit des rendements épuratoires très excellents. Même si les eaux produites se sont révélées très surchargées en éléments minéraux : avec par exemple 26.67 mg/l de phosphore total, 900 mg/l d'azote total et 420 mg/l de potassium à la sortie du filtre. Mais dans une perspective de réutilisation de ces eaux en agriculture, ces performances dans le traitement peuvent être fort utiles dans la mesure où elles offrent les éléments essentiels (N, P, K).

Compte tenu des constatations sur le terrain et des conclusions tirées de cette étude, ces recommandations nous semblent importantes pour une meilleure gestion du projet :

- ❖ veiller à ce que toutes les concessions de Tonghor soient connectées, pour cela accentuons la sensibilisation sur la jeunesse et sur les personnes analphabètes ; sensibiliser les populations sur les objectifs du projet et l'importance des risques de contamination des nappes par les eaux de vidange des fosses ;
- ❖ comparer l'évolution des problèmes de santé de la population locale liés à l'eau avant et après la mise en place du système d'assainissement ;
- ❖ suivre régulièrement le système mis en place sur au moins deux (2) années ferme ;
- ❖ mettre en place un projet de jardinage pour promouvoir l'autosuffisance alimentaire ;
- ❖ entretenir régulièrement les ouvrages et lutter contre les branchements clandestins.

BIBLIOGRAPHIE

- [1]-Anonyme 1, nouveau code de l'environnement 2001, Direction de l'environnement 2001 ;
- [2]- Anonyme 2, Direction des travaux géographiques et cartographiques ;
- [3]- Anonyme 3, le climat au Sénégal www.gouv.sn/senegal/climat.htm et www.au-senegal.com/praique/climat.htm ;
- [4]- Anonyme 4, collection des cahiers inter agences, 1994 Ministère de l'environnement, France ;
- [5]- Anonyme 5, CSE, 2000 -annuaire sur l'environnement et les ressources naturelles du Sénégal, première édition 268p ;
- [6]- **Ayers R.S. and Westcot D.W.** (1985). Water quality for agriculture. FAO Irrigation and drainage paper.29 Rev.1. Rome. 169p ;
- [7]- Bechac J.P.-Boutin P.- Mercier B.-Nuer P., 1984- Traitement des eaux usées. 281 p. Paris, Eryolles. ;
- [8]- Bodian M. 2005, -Contribution à l'étude du traitement primaire des eaux usées domestiques par lagunage : performance des stations de Castor-Arafat et Diokoul (Rufisque, Sénégal)- 105p ;
- [9]- CREPA, sd publication Banque mondiale : Sélection des technologies d'assainissement,
- [10]-CREPA, 1990 -Technologies appropriées d'assainissement dans les P.V.D.-,
- [11]- CRESP, 1998 -Etudes socio-économiques et d'assainissement du quartier de Tonghor, du village traditionnel de Yoff produit par le programme Eco communautaire de Yoff (ECOYOFF)- 33 p. ;
- [12]- Diop B., 2002.-Les écosystèmes aquatiques et semi-aquatiques dans l'épuration des eaux usées domestiques et urbaines par M.H.E.A. en Afrique Tropicale sèche. Thèse de doctorat de troisième cycle. Dakar, F.S.T., I.S.E., UCAD. 197 p

- [13]- DIOP B. et MBEGUERE M (sd). - les techniques d'épuration des eaux usées domestiques – FST/I.S.E UCAD 81p ;
- [14]- Diop S.M., 2002.-Les défis de l'ONAS, cinq ans après sa création. Atelier de lancement. Projet sectoriel Eau à long terme. Dakar, Ministère des mines de l'Energie et de l'Hydraulique. 22-23 janvier 2002. Annexe 7. 15p.
- [15]- Eckenfelder, W.W., 1982. – Gestion des eaux usées urbaines et industrielles : caractérisation, techniques d'épuration, aspects économiques. Paris, Lavoisier. 503p.
- [16]- ENDA/RUP, 1998 -programme d'amélioration des conditions de débarquement sur la grande côte : volets collecte des déchets et assainissement du quartier traditionnel de Yoff-Tonghor,
- [17]- Gomella C. et Guerrée H., 1983, Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales. Collection des cours de l'école chez soi 2e édition, Paris, 260 p ;
- [18]- Koné D., Cissé G., Seigez C. et Holliger C., 2001.- Lagunage à macrophytes et irrigation en maraîchage. Etude d'une station expérimentale à Ouagadagou, Burkina Faso. Info-Crepa, n°31-Janvier-Février-Mars 2001 p. 4-10.
- [19]- Mara, D. & Cairncross, S. (1991). – Guide pour l'utilisation sans risques des eaux résiduelles et des excreta en agriculture et aquaculture. 205p. Genève, O.M.S./P.N.U.E.
- [20]- Mbéguéré Mb., Octobre 2002.-Traitement des eaux usées domestiques et urbaines par voie naturelle sous climat tropical. Etude des performances épuratoires de cinq écosystèmes artificiels terrestres au sein de M.H.E.A. Thèse de troisième cycle. Institut des Sciences de l'Environnement (I.S.E.), F.S.T., Dakar, UCAD. 182 p.
- [21]- Niang S., 1995.- Évacuation et traitement des eaux usées urbaines de Dakar. Bilan de la situation, comportement des populations et perspectives d'avenir : premières contributions pour le choix d'un système de traitement des eaux usées urbaines de Dakar par Mosaïques Hiérarchisées d'Écosystèmes Artificiels. Thèse de 3ème cycle en Sciences de

l'Environnement. Institut des Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar. Thèse N° 14. 108 p.

[22]- Odet, J., Musard,, M., Wacquant, C., Puel, T.& Alegot, M. (1989). – Mémento fertilisation des cultures légumières. 397p. Paris, Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes (Ctrl).

[23]- OMS (draft) (à paraître en 2006). Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 2 : Wastewater use in agriculture (Draft). Genève, Suisse.

[24]- Radoux, M.,Cadelli, D., Kemp, D., & Nemcova, M.(sd).- Qualité et traitement des eaux. Institut des Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences – Université C. A. D de Dakar 88 p.

[25]- Radoux M.,Compere P., Kemp D., Klaessens D., Newcova M., Perin M., Viance S., 1993.- Aménagement intégré du terroir de Germignies-Sud. Suivi scientifique de la station-pilote d'épuration. Rapport annuel 1993. FUL, Station Expérimentale de Viville. 63 p ;

[26]- Radoux M., 1984 -Technique d'épuration des eaux usées- (I.S.E./FST) p.,

[27]– Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Chambon P., Champsaur H., Rodi L., 1996 - L'analyses de l'eau eaux naturelles eaux résiduaires eau de mer- 8e édition 1383 p.

[28]- SENE W. R. 2003 -Contribution à l'étude de la pollution secondaire des eaux usées domestiques par lagunage : performance des stations de Castor et Diokoul (RUFISQUE, SÉNÉGAL). Mémoire de D.E.A. ;

[29]- Seck F. 2003 -Contribution à l'étude du traitement tertiaire des eaux usées domestiques par lagunage : performance des stations de Castor et Diokoul (RUFISQUE, SÉNÉGAL). Mémoire de D.E.A. ;

[30]- Valiron F., 1985.- Gestion des eaux : alimentation en eau, assainissement. Paris, Presse de l'école nationale des Ponts et Chaussées. 560 pages.

ANNEXES

A. Les plantes épuratrices

A.1. Les Microphytes et leur rôle épuratoire

Ce sont des plantes microscopiques ou algues.

Les peuplements en microphytes sont fonction du caractère oligotrophe, mésotrophe ou eutrophe des eaux et des saisons. Ils prolifèrent suivant un rythme saisonnier propre à chaque espèce.

Dans le cas d'un lac eutrophe, certaines espèces peuvent se développer rapidement et influencer : la coloration des eaux (brun-vert), la transparence, le taux en oxygène dissous et la biomasse. Les algues bleues (cyanophycées) apparaissent. Ce sont des espèces indicatrices du phénomène d'eutrophisation (Radoux, sd).

Le phytoplancton est généralement autotrophe, bien que certaines espèces puissent être hétérotrophes.

Les algues planctoniques sont unicellulaires, solitaires ou agglomérées en colonies, constituant le micro plancton. Elles forment le macro plancton lorsqu'elles sont filamenteuses, ramifiées ou non. Ces organismes ont une vie courte ; à leur mort, ils sédimentent et seront décomposés

(Radoux, sd).

Les principaux rôles joués par les microphytes, au sein de l'écosystème, sont :

- la fourniture d'oxygène au milieu par les échanges gazeux due à la photosynthèse ;
- l'assimilation de certains composés azotés et phosphorés ;
- la contribution aux variations de pH, par les mécanismes de la photosynthèse et de la respiration ;
- source de nutriments des consommateurs de premier ordre ;
- leur prolifération peut asphyxier ou empoisonner un milieu donné.

A.2. Les Macrophytes aquatiques et leur rôle épuratoire

Ce sont des plantes macroscopiques qui se développent naturellement dans l'eau ou préférentiellement dans les zones humides. Ils peuvent être répartis en plusieurs catégories selon leurs caractéristiques :

- les **macrophytes libres flottants** : ils constituent une variété de plantes non enracinées dans le substrat. Elles ont des feuilles aériennes et/ ou feuilles flottantes avec des systèmes racinaires submergés. Dans cette catégorie, les espèces les plus recherchées et les plus

rentables en épuration sont : *Salvinia natans* (L.) All, *Pistia stratiotes* L., *Eichornia crassipes*, *Lemna trisulca* L., etc. (Radoux, sd).

- **les macrophytes fixés** dont les principaux groupes sont :

- les *hydrophytes fixés submergés* : l'existence de ces végétaux est conditionnée par la permanence de la couche d'eau. Elles sont fixées au substrat et l'appareil végétatif est immergé. L'appareil reproducteur apparaît à la surface de l'eau. Ces plantes offrent souvent des tiges grêles, présentent peu de résistance à l'écoulement de l'eau. Parmi ce groupe nous avons : *Elodea canadensis* Michaux, *Ranunculus fluitans* Lam., *Potamogeton pectinatus* L., etc.

- les *hydrophytes fixés flottants* : ils sont fixés sur le substrat et étalent leurs feuilles à la surface de l'eau. Les espèces les plus connues sont : *Polygonum bistorta* var. *amphibium*, *Nymphaea alba* L., *Nuphar lutea* (L.) Smith et *Potamogeton natans* L., etc.

- les *hélophytes*, ou plantes semi-aquatiques : l'appareil racinaire est fixé dans un milieu constamment gorgé d'eau. Les parties végétatives et reproductrices se développent en dehors de l'eau. Les espèces les plus connues sont : *Eleocharis palustris* (L.) Roem. Et Schult., *Scirpus maritimus* L., *Pragmites australis* (Cav.) Trin ex Steud., *Typha latifolia* L., *T. angustifolia* L., *Carex* I., *Hippuris vulgaris* L., etc.

Ces macrophytes aquatiques ou semi-aquatiques jouent essentiellement les rôles physico-chimiques dans l'épuration des eaux usées :

- Le volume occupé par ces macrophytes aquatiques engendre une diminution de la vitesse d'écoulement des eaux et une augmentation des hauteurs d'eau. Par ailleurs, ils jouent le rôle de stabilisateur des berges et celui de consolidation des éléments meubles (Radoux, sd).
- l'activité photosynthétique diurne apporte de l'oxygène et consomme le gaz carbonique. La concentration maximale en O₂ dissous serait atteinte en fin de journée, le minimum en fin de nuit ;
- l'écran constitué par la nappe foliaire des plantes aquatiques limite la pénétration du rayonnement solaire dans l'eau et atténue les écarts thermiques jour/nuit ; de plus, le développement du phytoplancton est limité (Radoux, sd) ;
- la nutrition azotée (NO₃⁻, NH₄⁺) et phosphorée (PO₄³⁻) des plantes s'effectue par absorption directe des substances nutritives présentes dans l'eau et dans les sédiments (Radoux, sd) ;
- il y a libération dans l'eau de substances organiques selon deux processus : un processus continu, excrétion de matières organiques dissoutes par les feuilles et un processus lié à la décomposition de la matière organique des tissus végétaux ;

- l'évapotranspiration d'une surface couverte de végétaux est, en général, supérieure à l'évaporation d'une surface d'eau libre (Radoux, sd).

B. Autres paramètres physico-chimiques mesures

B.1. Dosage de l'ammonium (NH_4^+)

Principe

En présence d'un catalyseur l'ion ammonium réagit avec le chlore et le salicylate de sodium en milieu basique et donne une coloration dite bleu d'indophénol susceptible de dosage spectrophotométrique. C'est la méthode par flux continu.

Mode opératoire

Réactif de test pour ammoniac à forte dose

- mettre 0.1 ml d'échantillon à un tube (mettre 0.1 ml d'eau déminéralisée pour le blanc) ;
- Ajouter le contenu d'un sachet de réactif contenant du salicylate de sodium ;
- Ajouter le contenu d'un sachet de réactif contenant de l'hydroxyde de lithium, dissoudre ;
- une période de 20 minutes de réaction commence ;
- mettre à zéro en introduisant le blanc dans le spectrophotomètre DR 2010 et appuyer sur ZERO, alors 0.0 mg/l N HR TNT s'affiche ;
- placer l'échantillon préparé dans le spectrophotomètre et presser sur READ et le résultat est exprimé en mg/l N HR.

B.2. Détermination des nitrates (NO_3^-)

Principe

Les nitrates sont réduits, à travers une colonne de cadmium, en nitrites qui sont dosés par spectrophotométrie.

Mode opératoire

- remplir un tube de 25 ml d'échantillon ;
- ajouter le contenu du sachet de NitraVer 5 contenant du cadmium et de l'acide sulfanillique ;
- secouer vigoureusement pendant une minute ;
- une période de réaction de cinq minutes commencera ;
- remplir un autre tube de 25 ml d'échantillon (le blanc) ;
- après le bip sonore introduire le blanc et pressez sur ZERO, alors 0.0 mg/l NO_3^- _N HR s'affiche ;

- placer l'échantillon préparé dans le spectrophotomètre et presser sur READ, le résultat va s'afficher en mg/l (NO₃-_N).

B.3. Détermination des nitrites (NO₂)

Principe

Même principe que pour les nitrates.

Mode opératoire

- remplir un tube de 10 ml à l'échantillon ;
- ajouter le contenu de Nitra Ver 3 contenant du pyrosulfate de potassium ;
- puis secouer pour dissoudre une période de réaction de 20 minutes commence ;
- remplir un second échantillon de 10 ml après le bip sonore (le blanc) ;
- Placer le blanc dans le spectrophotomètre et mettre à ZÉRO, alors 0.000 mg/l NO₂-_N LR s'affiche ;
- placer l'échantillon préparé et lire, le résultat est exprimé en mg/l NO₂-_N.

B.4. Phosphates (PO₄)

principe

La mesure du phosphate est basée sur la méthode du vanadomolybdate. L'avantage distinct de la méthode du palintest est que tous les réactifs exigés sont fournis dans la forme d'un comprimé test. Le test est effectué simplement en ajoutant un comprimé à un échantillon à analyser.

Dans le test, les phosphates réagissent avec le molybdate d'ammonium, en présence de vanadate d'ammonium pour former un complexe de couleur jaune. L'intensité de la couleur produite dans le test est proportionnelle à la concentration en phosphate de l'échantillon qui est mesurée par un spectrophotomètre.

Mode opératoire

- Remplir le tube jusqu'au 10ml ;
- ajouter une pastille « phosphate HR », écraser et remuer pour dissoudre ;
- attendre 10 mn ;
- lire directement le résultat (exprimé en mg/l PO₄) au spectrophotomètre à lecture directe, PHOT 29 à la longueur d'onde 490 nm.

A. Tableau 8 : résultats enquêtes maisons connectées

Niveau d'instruction	Nombre de personnes	Aspects économiques	Quantité d'eau	Nombre de jours
4	14	106000	107	185
3	12	115000	117	182
3	14	117000	114	181
1	18	100000	88	180
4	22	231000	68	183
3	11	100000	133	164
3	20	158000	102	175
4	35	197000	146	123
5	4	151000	28	58
3	10	90000	78	179
6	10	212500	71	184
4	8	185000	142	120
3	15	179500	129	186

Tableau 9 : résultats enquêtes maisons non connectées

Niveau d'instruction	Personne/ménage	Aspects économiques	Quantité d'eau	Nombre de jours	Evacuation Eaux vannes	Evacuation Eaux baign	Evacuation Eaux lessiv	Evacuation Eaux cuisin	Durée fosse	Date 1 ^{er} vidange
4	20	115000	127	185	1	2	4	4	4	3
1	6	?	pa d robi	pa d robi	1	2	4	4	5	4
3	16	94000	?	?	1	2	4	4	5	1
3	25	119000	44	175	1	2	4	4	1	5
3	20	157000	131	185	4	4	1	1	?	?
3	16	110000	?	?	1	2	1	1	5	2
3	30	117000	24	121	1	1	1	1	5	2
3	18	214500	203	244	1	2	1	1	5	3
6	15	85500	pa d robi	pa d robi	4	6	1	1	?	?
3	15	161000	24	59	3	6	1	1	5	4
6	10	105000	21	59	4	2	1	1	?	4

1	30	95000	?	?	1	2	1	1	5	1
1	35	?	?	?	1	2	1	1	5	4
3	12	197000	48	179	1	2	1	1	3	2
1	15	95000	53	186	1	2	1	1	5	2
3	25	115000	?	?	1	2	1	1	5	4
3	11	120000	37	59	1	2	1	1	5	5
6	15	160000	80	183	1	2	1	1	1	1
1	25	105500	?	?	1	2	1	1	5	2
3	15	?	?	?	1	2	1	1	5	4
6	15	101000	?	?	1	2	1	1	5	4
3	35	211000	46	60	1	2	1	1	5	4
3	10	107000	?	?	1	2	1	1	5	5
4	24	137500	?	?	1	2	4	4	5	4
4	15	65000	?	?	1	2	1	1	3	1
3	8	168500	17	53	1	2	1	1	2	5
1	3	56700	?	?	1	2	1	1	5	4
3	8	175000	97	126	1	1	1	1	4	2
3	30	95000	?	?	1	1	1	1	1	5
1	18	107500	?	?	1	2	1	1	5	2
1	3	?	?	?	1	1	1	1	1	5
6	14	159000	64	177	1	2	4	4	5	4
3	18	180000	46	59	1	1	4	4	5	2
3	15	170000	26	59	1	2	1	1	4	4
6	8	119000	91	177	1	2	1	1	5	1
5	18	160000	?	?	1	2	1	1	5	3
6	10	191000	79	120	1	2	1	1	5	4

Tableau 10 : contrôle du pH et de la conductivité

Echantillons	PH	Conductivité (mS)
Eaux brutes	8,460	2,020
Sortie décanteur	7,887	2,403
Sortie gravier planté	8,11	2,283
Sortie décanteur	7,92	4,233
Sortie gravier nu	8,253	2,213
Entrée fosse septique (F.S.1)	6,885	2,205
Sortie fosse septique (F.S.2)	6,975	2,765
Entée Filtre 1	6,47	4,56
Sortie Filtre 2	7,18	4,535

Tableau 11 : paramètres physico-chimiques et microbiologiques de la SEI et de Yoff

Echantillons	NT [mg/L] N	CF /100ml	K [mg/l K]	PT [mg/l P]	DBO ₅ mgO ₂ /l	DCO mgO ₂ /l
EB	136,26	2,39E+05	327,00	15,70	155,00	405,00
ED	106,30	4,71E+04	294,50	11,43	139,67	185,70
G 4	57,69	2,31E+04	167,50	4,08	108,89	44,00
G 4P	74,50	1,75E+04	215,33	5,00	90,89	76,22
FS (entrée)	200	2,27E+07	210,00	34,5	778	3540
FS (sortie)	400	1,43E+05	300,00	22,11	243	⁶³⁰
Filtre (entrée)	400	4,32E+05	390,00	68,08	940	³³⁹⁰
Filtre (sortie)	900	2,56E+05	420,00	26,67	254	⁴¹⁰

ECHANTIL LONS	DBO₁ (mg/L O₂)	DBO₂ (mg/L O₂)	DBO₃ (mg/L O₂)	DBO₄ (mg/L O₂)	K (mg/L K)	NO₃ (mg/L NO₃-N)	NO₂ (mg/L N)	NH₄⁺ (mg/L N)	PO₄³⁻ (mg/L PO₄)
FS (entrée)	297	421	540	648	210	?	0,29	63	390
FS (sortie)	151	178	216	232	300	1,6	0,11	79	150
Filtre (entrée)	529	702	789	865	390	-0,2	0,41 (mg/l N)	230	400
Filtre (sortie)	129	162	210	237	420	2,2	0,59	89	310
EB	59	86	135	183	380	0,2	0,043 (mg/l NO ₃ -N)	99	60
ED	54	64	70	86	390	3,3	0,002	94	40
G 4	21	27	48	86	290	5	3,6	35	42
G 4P	21	32	37	48	330	1,7	0,017	79	73