

SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION.....	9
CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE ET ANALYSE DES DONNEES DE TERRAIN.....	13
I.1: Etat des lieux sur la filière Pesticide.....	13
1.1 : Classification et caractéristiques des pesticides.....	14
1.1.1 : Définitions et classification.....	14
1.1.2 : Caractéristiques des pesticides.....	15
1.1.2.1 : dispersion des pesticides.....	15
1.1.2.2 : devenir des pesticides dans la nature.....	16
1.1.2.3 : toxicité des pesticides.....	16
1.2 : Analyses sur la filière.....	16
1.2.1 : Importation et production locale.....	16
1.2.1.1 : évolution des importations directes de pesticides selon la D.S.I.D.....	17
1.2.1.2 : importation par le canal étatique	18
1.2.1.3 : importation et production par le canal non étatique	19
1.2.2: Distribution et vente.....	20
1.2.2.1: distribution formelle	20
1.2.2.2: vente à l'informel	21
1.2.3: Utilisation des pesticides dans les services et lieux.....	22
1.2.3.1: les Directions Régionales de Développement Rural.....	22
1.2.3.2: la production agricole	22
1.2.3.3: la production horticole	22
1.2.3.4: les cultures d'exportation	23
1.2.3.5: en santé publique.....	24
1.2.3.6: en hygiène publique	25
1.2.4: Elimination des emballages vides.....	26
1.2.5: Contrôle des pesticides obsolètes.....	27
1.2.6: Formation et recherche sur la filière Pesticide.....	28
1.2.7: Organes institutionnels et réglementation sur les pesticides.	29
1.2.7.1: les organes institutionnels.....	29
1.2.7.2: la réglementation sur les pesticides.....	30
1.2.8: Lutttes contre les ravageurs.....	33

1.2.8.1: lutte chimique contre les locustes et les sauteriaux	33
1.2.8.2: lutttes intégrée et biologique.....	33
1.2.9: Initiatives de sensibilisation.....	34
<i>Conclusion partielle</i>	36
I.2: Les problèmes environnementaux liés aux ressources en eau.....	37
2.1 : Eaux usées industrielles.....	37
2.2 : Eaux usées domestiques.....	38
2.3 : Eaux usées agricoles.....	38
2.4 : Eaux de pluie et de ruissellement.....	39
<i>Conclusion partielle</i>	40
CHAPITRE II: Epuration des eaux usées domestiques par la filtration lente sur	
sable.....	41
II.1: Filtration lente sur sable et dispositif expérimental	41
1.1: La filtration lente sur sable : historique et définition.....	41
1.1.1: Historique.....	41
1.1.2: Définition.....	41
1.2: Le dispositif expérimental.....	42
1.3: Les eaux usées	43
1.4: L'alimentation des fûts et la décantation des eaux usées.....	43
II.2: Protocole expérimental.....	44
2.1: Le suivi hydraulique.....	44
2.1.1: Réglage de la vitesse de filtration.....	44
2.1.2: Mesure des pertes de charges.....	44
2.2: Le suivi analytique.....	44
2.2.1: L'échantillonnage.....	44
2.2.2: Les analyses effectuées.....	45
II.3: Résultats et discussions	45
3.1: Les rendements épuratoires.....	45
3.1.1: Les matières en suspension (MES).....	45
3.1.2: La DCO.....	46
3.1.3: La DBO ₅	46

3.1.4: L'azote Kjeldahl total.....	46
3.1.5: Le phosphore total.....	47
3.2: L'évolution quantitative des facteurs caractéristiques des eaux polluées.....	47
<i>Conclusion partielle</i>	56
CHAPITRE III: Capacité de rétention des pesticides des eaux usées agricoles par la filtration lente sur sable.....	58
III.1: Techniques expérimentales	58
1.1: Dispositif, appareillage et mesures.....	58
1.2: Les pesticides utilisés.....	59
1.2.1: Le Diuron.....	59
1.2.2: Le Maneb	60
1.2.3: Le Carbofurane.....	60
1.3: La préparation des solutions.....	61
1.4: Les échantillonnages.....	61
1.5: La détermination de l'abattement après filtration des produits étudiés.....	62
III.2: Résultats et discussions.....	62
2.1: Pour le Diuron.....	62
2.2: Pour le Maneb.....	63
2.3: Pour le Carbofurane.....	65
<i>Conclusion partielle</i>	67
CONCLUSION	68
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	70
LISTE DES ANNEXES.....	74

LISTE DES TABLEAUX

	Pages
Tableau 1 : <i>Evolution des quantités de pesticides au cours des années 2000 à 2005</i>	17
Tableau 2 : <i>Production de la SPIA</i>	19
Tableau 3 : <i>Quantité de pesticides utilisée de juillet à décembre 2005 par le Service d'Hygiène</i>	26
Tableau 4 : <i>Synthèse des résultats sur les MES</i>	45
Tableau 5 : <i>Synthèse des résultats sur la DCO</i>	46
Tableau 6 : <i>Synthèse des résultats sur la DBO5</i>	46
Tableau 7 : <i>Synthèse des résultats sur l'Azote Kjeldahl total N_{TK}</i>	47
Tableau 8 : <i>Synthèse des résultats sur le Phosphore total P_T</i>	47
Tableau 9 : <i>Evolution de la quantité (en mg/L) de MES</i>	47
Tableau 10: <i>Evolution de la quantité (en mg/L) en DCO</i>	48
Tableau 11: <i>Evolution de la quantité (en mg/L) en DBO5</i>	49
Tableau 12: <i>Evolution de la quantité (en mg/L) d'Azote total</i>	50
Tableau 13: <i>Evolution de la quantité (en mg/L) de Phosphore total</i>	51
Tableau 14: <i>Evolution du pH</i>	52
Tableau 15: <i>Evolution de la quantité (en mg/L) du taux d'oxygène</i>	53
Tableau 16: <i>Evolution des pertes de charges</i>	54
Tableau 17: <i>Evolution de l'absorbance lors de la filtration de la solution à Diuron</i>	62
Tableau 18: <i>Evolution de l'absorbance lors de la filtration de la solution à Maneb</i>	63
Tableau 19: <i>Evolution de l'absorbance lors de la filtration de la solution diluée à Maneb</i>	64

LISTE DES FIGURES

	Pages
Figure 1 : <i>Evolution des importations de produits chimiques en 2000 au Sénégal</i>	17
Figure 2 : <i>Evolution des importations de produits chimiques en 2005 au Sénégal</i>	18
Figure 3 : <i>Evolution des importations en Insecticides de 2000 à 2005 au Sénégal</i>	18
Figure 4 : <i>Evolution de la quantités (en mg/L) de MES</i>	48
Figure 5 : <i>Evolution de la quantités (en mg/L) en DCO</i>	48
Figure 6 : <i>Evolution de la quantités (en mg/L) en DBO5</i>	49
Figure 7 : <i>Evolution de la quantités (en mg/L) d' Azote total</i>	50
Figure 8 : <i>Evolution de la quantités (en mg/L) de Phosphore total</i>	51
Figure 9 : <i>Evolution du pH</i>	52
Figure 10 : <i>Evolution de la quantité (en mg/L) du taux d'oxygène</i>	53
Figure 11 : <i>Evolution des pertes de charges</i>	55
Figure 12 : <i>Evolution de l'absorbance du Diuron après deux heures de filtration</i>	63
Figure 13 : <i>Evolution de l'absorbance du Maneb après deux heures de filtration</i>	64
Figure 14 : <i>Evolution de l'absorbance du Maneb en solution diluée après deux heures de filtration</i>	65
Figure 15 : <i>Evolution de l'absorbance du Carbofurane après deux heures de filtration</i>	66

LISTE DES PHOTOS

	Pages
Photo 1 : 1.a/, 1.b/ et 1.c/ : <i>Zone marécageuse à l'est de Rufisque</i>	11
Photo 2 : 2.a/, 2.b/ et 2.c/ : <i>Pesticides dans des cantines à Keur Sérigne Bi à Dakar</i>	21
Photo 3 : 3.a/, 3.b/ et 3.c/ : <i>Bouteilles d'insecticides et herbicides utilisés dans les champs maraichers du Camp Marchamp – Rufisque</i>	23
Photo 4 : <i>Bouteilles de pesticides vides laissées dans les champs maraichers du Camp Marchand – Rufisque</i>	26
Photo 5 : <i>Dispositif expérimental pour la détermination de la vitesse d'infiltration des pesticides dans les sols au LPA / FST / UCAD</i>	28
Photo 6 : 6.a/ et 6.b/ : <i>Les dispositifs de la filtration lente sur sable</i>	43
Photo 7 : 7.a/ et 7.b/ : <i>Dispositif expérimental de la filtration lente à sable et Spectrophotomètre UV – Visible</i>	58

ABREVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

ADN : Acide désoxyribonucléique ;

AFNOR : Association française pour la normalisation ;

ANCAR : Agence Nationale de Conseil Agricole et Rural ;

CDH : Centre pour le développement de l'horticulture ;

CEE : Communauté économique européenne, U.E. (Union européenne) actuellement ;

CERES/LOCUSTOX : Centre Régional d'Etude Ecotoxycologique et Sécurité Environnementale;

CFPH : Centre de Formation pour la Promotion de l'Horticulture.

CILSS : Comité Inter Etat pour la Lutte contre Sécheresse au Sahel ;

CNCR : Comité National des Conseils Ruraux ;

CNGP : Comité National de gestion des pesticides ;

CONACILSS : Comité National pour le CILSS

CRD : Conseil régional pour le développement ;

CSP : Comité sahélien des pesticides ;

CSS : Compagnies sucrières sénégalaises;

DBO₅ : Demande biochimique en oxygène ;

DCO : Demande chimique en oxygène ;

DDT : Dichlorodiphényltrichloroéthane ;

DEA : Diplôme d'études approfondies ;

DEEC : Direction de l'Environnement et des établissements classés ;

DPEE : Direction de la prévision et des études économiques ;

DPS : Direction de la Prévision et des Statistiques ;

DPV : Direction pour la Protection des produits Végétaux

DRDR : Direction régionale pour le développement rural ;

DSID : Direction du système informatique douanier ;

DSRP : Document de stratégies de réduction de la pauvreté ;

EC : Concentrés émulsifiants

ENDA-PRONAT : ENDA – PRONATURA ;

FAES : Fondation Agir pour l'éducation et la santé ;

FAO : Fond des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture ;

GIPD : Gestion intégré de la production et des déprédateurs ;

IA : Insecticides Acaricides ;

LOUMA : Marché hebdomadaire ;

LPA : Laboratoire photochimique et d'analyses ;

LUBILOSA : Lutte biologique contre les locustes et les sauteriaux ;

MAH : Ministère de l'agriculture et de l'hydraulique ;

MARPOL : Organisation maritime internationale pour la prévention de la pollution par les navires ;

MEPN : Ministère de l'Environnement et de la protection de la nature ;

MES : Matière en suspension ;

MJEHP : Ministère de la jeunesse, de l'environnement et de l'hygiène publique ;

O₂ : Dioxygène ;

OCLALAV : Organisation Commune de Lutte Antiacridienne et de Lutte Anti-Aviaire ;

OMS : Organisation mondiale pour la santé ;

ONAS : Office nationale de l'Assainissement du Sénégal ;

ONG : Organisation non gouvernementale ;

OP : Organophosphorés ;

PAN- Africa: Pesticides Action Network Africa

PASP : Programme africain de stock de produits périmés ;

PDMAS : Programme de développement des marchés agricoles du Sénégal ;

PIB : Produit intérieur brut ;

PIC : Procédure de consentement préalable en connaissance de cause applicable à certains produits chimiques ;

PNUD: Programme des Nations unies pour le développement ;

PNUE : Programme des Nations unies pour l'Environnement ;

POP: Polluants Organiques Persistants

PVC : Polychlorure de vinyle;

SAED : Société pour l'aménagement des eaux du Delta ;

SDE : Sénégalaise des eaux ;

SENCHEM : Sénégalaise de chimie ;

SOCHIM : Société de chimie;

SOCOCIM: Société commerciale des ciments;

SODAGRI: Société pour le développement agricole ;

SODEFITEX : Société pour le développement de la filature et du textile ;

SONES : Société nationale des eaux du Sénégal ;

SPIA : Société des produits industriels et agricoles ;

SUNEOR (ex. SONACOS): Société Nationale de Commercialisation des Oléagineux du Sénégal ;

U.V. : Ultraviolet ;

UCAD : Université Cheikh Anta Diop de Dakar

ULV : Volume Ultra Bas ;

UNESCO : Organisation des Nations unies pour l'Éducation la science et la culture ;

UNITAR : Institut des Nations Unies pour la formation et la recherche ;

USA : États-Unis d'Amérique ;

VALDAFRIQUE : Société des Laboratoires Canonne : Fabricant de produits d'hygiène et santé :

Insecticides, parapharmacie ;

WHOPES: WHO Pesticide Evaluation Scheme (schéma OMS d'évaluation des pesticides);

WP : Wet powder (Poudres mouillables).

INTRODUCTION

La qualité et la sécurité alimentaires sont devenues des sujets de préoccupation croissante pour les consommateurs, les producteurs et les décideurs à travers le monde. C'est surtout dans les pays en développement que ces questions se posent avec acuité : par exemple au Sénégal en 2004, il y a eu un déficit céréalier par habitant de 7,1 kg, ce qui a entraîné des importations céréalières s'élevant à 44,8 % de la couverture alimentaire. Malgré tout 16,4% environ des enfants sénégalais ont souffert de faim en 2005(*DPS, 2006*).

Par conséquent, le défi majeur pour les pays en développement est d'assurer la couverture alimentaire pour une population sans cesse croissante. Relever ce défi exige d'accroître la productivité par l'amélioration continue des technologies agricoles sur des terres cultivables de moins en moins disponibles et de moins en moins riches.

C'est ainsi que les pesticides sont utilisés comme moyen pour parvenir à la satisfaction des besoins en autosuffisance alimentaire mais aussi en hygiène publique pour la protection des personnes et des animaux.

Malheureusement ces produits chimiques fabriqués intentionnellement pour tuer les organismes dévastateurs sont introduits dans l'environnement et se retrouvent généralement accumulés sous forme de résidus dans les produits agricoles et les aliments. Les pays en voie de développement pour la plupart d'entre eux n'ont pas encore accès aux outils leur permettant de contrôler la qualité de leur alimentation et ainsi protéger la santé de leurs population et de l'environnement, plus particulièrement les ressources en eau contenant des résidus de pesticides issus de l'agriculture.

➤ Contexte

Le marché mondial des pesticides s'élève à plus de 30 milliards US et la part des pays en développement s'élève à environ 3 milliards US. Cependant, bien que l'utilisation des pesticides chimiques en Afrique soit inférieure à celles d'autres continents, c'est dans ce continent que les problèmes liés aux pesticides se posent avec beaucoup plus d'acuité (*PAN - AFRICA, 2003*).

L'usage incontrôlé des pesticides constitue une menace sérieuse et un danger réel pour la santé des personnes, des animaux et de l'environnement. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé OMS (*cité dans la revue Pesticides et Alternatives, 1^{er} trimestre 2006*), plus d'un million de personnes sont empoisonnées annuellement par des pesticides chimiques, entraînant environ 20 000 décès. Des observations écologiques et médicales, associées à la recherche expérimentale sur les pesticides ont mis en évidence depuis plusieurs décennies, la complexité des processus endocriniens et la fragilité de l'équilibre hormonal chez l'homme et chez les animaux. Les

principales molécules « perturbateurs endocriniens » sont classées dans le groupe des polluants organiques persistants (POPs) dont certains pesticides. Ils ont la particularité de se déplacer loin de leurs lieux d'introduction et s'accumulent le long des chaînes alimentaires et sont persistants dans l'environnement, leur dégradation nécessitant jusqu'à plusieurs décennies.

Au Sénégal comme dans tous les pays en voie de développement, les agriculteurs souvent mal informés et mal formés, payent un lourd tribut à l'intensification agricole et maraîchère par l'usage maladroît ou abusif de pesticides souvent toxiques. Heureusement que le danger est amoindri, puisque dans le cas des cultures pluviales plus largement pratiquées, le développement de l'utilisation des pesticides est limité par la faible valeur ajoutée à l'hectare des produits récoltés (*PDMAS, 2004*).

En hygiène publique en général, les insecticides utilisés sont puissants mais sans classement toxicologique, comme le Deltaméthrine de Agri'Sect Delta à usage courant dans les différentes opérations du Service d'hygiène (*DHP, 2006*).

D'autre part, il est à souligner que les moyens mis pour le traitement des eaux usées domestiques sont limités, même si les eaux usées traitées de la station de l'ONAS à Cambérène répondent aux prescriptions de la Directive 91/271/CEE de l'Union européenne, en ce qui concerne les MES, la DCO et de la DBO₅, il reste toujours à se rassurer de la présence de polluants tels que les pesticides dans ces eaux traitées pouvant être réutilisées. En effet corollairement au déficit alimentaire, le problème du déficit en eau dans les pays en voie de développement est connu, et c'est pour cela que de plus en plus dans l'agriculture, les eaux usées même non traitées sont utilisées.

C'est ainsi que nous nous proposons de faire une étude sur la problématique des eaux usées domestiques en rapport avec la présence et le comportement des polluants tels que les pesticides. Les propriétés physiques et chimiques de certains pesticides seront suivies dans les eaux distillées et eaux usées domestiques et seront mises en exergue à partir d'analyses très pointues par fluorescence par l'utilisation du spectrophotomètre UV-Visible à absorption.

➤ **Objectifs:**

La présente étude consiste à faire:

- le diagnostic de la filière des pesticides (importation, production, distribution, vente, utilisation, gestion, organismes institutionnels, réglementation, formation et recherche, initiatives et expériences de luttes);
- une étude expérimentale sur l'épuration des eaux usées domestiques par filtration lente sur sable pour un meilleur rendement et

- une étude expérimentale de simulation sur la rétention de pesticides par filtration lente sur sable, afin de mettre en évidence les risques chimiques dans les eaux polluées par des pesticides ou leurs résidus.

➤ **Méthodologie et cadre d'étude :**

Pour atteindre ces objectifs, nous avons effectué un travail présenté en trois parties :

- les première et deuxième parties sont une synthèse bibliographique sur les données économiques, sociales et environnementales, une analyse des enquêtes et entretiens portant sur le diagnostic de la filière pesticide et une documentation sur les problèmes environnementaux liés aux ressources en eau ;
- la troisième partie est une étude expérimentale sur l'épuration des eaux usées domestiques par filtration lente sur sable et sur la capacité de rétention de polluants tels que les pesticides dans des eaux usées de types agricoles par les filtres à sables.

Afin de mieux cerner la problématique et de proposer des solutions idoines, la méthodologie d'approche a été orientée sur un parcours comprenant :

- l'analyse documentaire ;
- les entretiens individuels;
- des échantillonnages à la station d'épuration de l'ONAS à Cambérène ;
- des mesures expérimentales aux laboratoire de l'ONAS à Cambérène et au département de chimie à la faculté des sciences et techniques de l'UCAD, et
- l'exploitation des résultats obtenus.

Les entretiens sous forme d'interview, ont été faits à la suite de rendez-vous après proposition de questionnaire. Les directeurs techniques de sociétés, les responsables de magasins ou autres structures, les agriculteurs, les particuliers vendeurs ou utilisateurs ont été enquêtés dans ce cadre.

Des visites de terrain dans les champs maraîchers au niveau de la zone marécageuse à l'est de Rufisque (localités : Camp Marchant, Tuyau-Bi et Lendeng vers la société SOCOCIM), ont aussi été effectués (*Annexe 7*):



Photos 1 : Zone marécageuse à l'Est de Rufisque :

1.a/ Camp Marchant

1.b/ Tuyau Bi

1.c/ Lendeng

Le but de la visite de terrain et des entretiens étant d'approcher les acteurs de la filière (les agriculteurs, les vendeurs, les importateurs, les responsables de direction de contrôle, les chercheurs, les médecins, etc.) et d'échanger avec eux, afin de mieux évaluer les difficultés liées à la gestion des pesticides.

CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE ET ANALYSE DES DONNEES DE TERRAIN.

La recherche documentaire au niveau des structures spécialisées telles que la Direction de la Prévision et des Statistiques (DPS), la Direction de l'Environnement et des Etablissements Classés (DEEC), les Ministères de l'Hydraulique et de l'Agriculture et la consultation des mémoires de DEA et des thèses, nous a permis d'avoir des données économiques, sociales et environnementales au Sénégal.

Au niveau institutionnel, la filière pesticide est gérée suivant une coordination reposant sur cinq Ministères qui sont : l'Agriculture, l'Hydraulique, la Santé et la Prévention, l'Environnement et la Protection de la nature, l'Hygiène publique et l'Assainissement.

Et les recommandations de la Banque Mondiale (*rappelées lors de la trente-huitième session du Comité de lutte contre le criquet pèlerin, Rome du 11 – 15 septembre 2006*), préconisant de parer aux éventuels impacts négatifs pouvant découler de l'augmentation de l'utilisation des pesticides, ont permis l'exécution de beaucoup de programmes tendant à favoriser la diversification des technologies pour la réponse à l'autosuffisance alimentaire et à l'éradication de certaines maladies comme le paludisme. Comme programmes on peut citer le Programme de Développement des Marchés Agricoles du Sénégal (PDMAS), le Programme de Lutte contre le Paludisme, etc.

En réalité ces programmes sur la gestion globale des pesticides au niveau national ont-ils répondu positivement? Des analyses documentaires, visites de terrains et entretiens individuels nous ont permis de faire un diagnostic succinct de la filière.

I.1: Etat des lieux sur la filière pesticide

Face à une augmentation croissante de la population, un grand intérêt s'attache à la nécessité d'une augmentation de la production alimentaire. Cependant, les pertes avant et après récoltes dues aux ravageurs, aux maladies et aux mauvaises herbes représentent une contrainte importante pour la production agricole et l'autosuffisance alimentaire.

Au Sénégal, en plus des efforts consentis dans le but de l'autosuffisance alimentaire qui demeure une priorité nationale, un accent particulier est mis par les autorités dans la recherche de techniques de luttés efficaces contre les ennemis des cultures. Parmi celles ci, on peut citer l'utilisation d'agents chimiques dits « Pesticides » qui occupent la première place malgré les recherches activement poursuivies en particulier pour la lutte biologique.

1.1: Classification et caractéristiques des pesticides :

1.1.1: Définitions et classification :

Les pesticides, appelés aussi biocides, biopesticides, produits phytosanitaires, phytopharmaceutiques ou antiparasitaires regroupent plusieurs types de produits chimiques et organiques utilisés pour protéger les cultures et les récoltes des maladies végétales, des mauvaises herbes, et des organismes vivants ravageurs. De plus ce sont des substances qui peuvent exercer une action physiologique sur la croissance des végétaux, mais aussi polluer les sols.

Par extension les pesticides sont destinés aussi à l'assainissement des locaux, des matériels et véhicules utilisés pour le stockage ou la transformation des produits d'origine animale ou végétale.

Du point de vue chimique, un pesticide est un produit composé d'une ou d'association de plusieurs matières actives, de diluants ou charge d'adjuvants qui peuvent augmenter les effets toxiques du produit.

D'après la réglementation commune aux Etats membres du CILSS (Version révisée Décembre 1999), un pesticide est défini comme toute substance ou association de substances destinées à :

- repousser, maîtriser ou contrôler les organismes nuisibles y compris les vecteurs de maladies humaines ou animales et les espèces indésirables de plantes ou animaux causant des dommages ou se montrant autrement nuisibles durant la production, la transformation, le stockage, le transport ou la commercialisation des denrées alimentaires, des produits agricoles, du bois et des produits ligneux, ou des aliments pour animaux ;
- être administrée aux animaux pour combattre les insectes et les autres endo- ou ectoparasites ;
- être utilisée comme régulateur de croissance des plantes, défoliants, agents de dessiccation, agent d'éclaircissage des fruits ou pour empêcher la chute prématurée des fruits.

Suivant un mode de classification chimique des pesticides basé sur la nature des ravageurs, on trouve des insecticides, des fongicides, des herbicides, des raticides (ou rodenticides), nématicides, corvicides et xyloprotecteurs.

Les pesticides les plus utilisés sont les organochlorés, les organophosphorés et les carbamates.

1.1.2: Caractéristiques générales des pesticides :

1.1.2.1: dispersion des pesticides :

Les études sur la dispersion des pesticides dans l'environnement n'ont réellement commencé que depuis une vingtaine d'années lorsque l'on s'est rendu compte que de vastes zones de la biosphère sont contaminée par ces produits (NIANE B., 1990).

Les recherches ont été alors mené parallèlement au projet de surveillance dans des laboratoires et dans des conditions naturelles. Il s'agit en effet de connaître :

- les mécanismes responsables de la dispersion ;
- les quantités transportées ;
- la nature chimique des molécules transportées ;
- le comportement des pesticides dans les écosystèmes où ils parviennent ;
- les conséquences écotoxicologiques liées à la dispersion dans l'environnement.

Le problème est d'autant plus complexe que l'environnement physique est assimilable à un système à trois compartiments qui sont le siège d'échanges permanents : air, sol et eau, d'où l'intérêt d'étudier ce qui se passe dans ces trois compartiments.

a/ dispersion dans l'atmosphère :

Dans l'atmosphère, les pesticides peuvent être :

- dispersé sur de très grandes distances ;
- dégradés (photodécomposition) ;
- redéposés sur la végétation, les sols ou les plans d'eau par la pluie et le vent.

b/ comportement dans les sols :

Les sols reçoivent directement la plupart des pesticides utilisés en agriculture. Ils jouent un rôle fondamental pour le devenir de ces produits dans l'environnement :

- dégradation induite par rayonnement solaire ou liée à l'activité enzymatique des microorganismes ;
- diffusion liée aux mouvements de l'eau dans les sols.

c/ pollution des milieux aquatiques

Les milieux aquatiques peuvent être pollués par :

- les pertes importantes de pesticides qui se produisent par négligence lors de la préparation des solutions, leur transport, la vidange ou le nettoyage des appareils de traitement ;
- les accidents de transport ;

- les rejets d'emballages dans les cours d'eau ou leur stockage à proximité immédiate de ces derniers (*NIANE B., 1990*).

1.1.2.2 : devenir des pesticides dans ces milieux :

Les résidus de pesticides peuvent :

- se volatiliser dans l'atmosphère ;
- être dégradés ;
- être absorbés par la flore et la faune aquatique ;
- s'adsorber sur les sédiments, mais également rester en solution, en suspension ou précipiter.

De tels renseignements sont nécessaires pour comprendre et, éventuellement, prévenir l'impact des résidus de pesticides sur les biocénoses aquatiques (*NIANE B., 1990*).

1.1.2.2 : toxicité des pesticides

En dehors de l'effet toxique commun à tous les pesticides, chaque pesticide possède des caractéristiques physiques et chimiques propres, rendant pratiquement impossible toute généralisation. Ainsi, même si les nouveaux pesticides sont de plus en plus solubles dans l'eau, des critères tels que le degré de toxicité, la dégradation, la biotransformation ou l'accumulation varient d'un pesticide à l'autre (*Med L. O. Cheikh Ould Salek, 2006*).

1.2: Analyses de la filière pesticide

1.2.1: Importation et production de pesticides :

A l'instar des pays en voie de développement, le Sénégal possède sa part dans le marché mondial des produits chimiques à usage industriel, agricole et domestique et cela depuis longtemps. Selon la Direction du Système Informatique Douanier (DSID), les importations directes en produits chimiques, dont plus de 90 % de pesticides (*tableau 1, page 17*), ont triplé de 2000 à 2005 correspondant à une valeur passant de 2,9 milliards à 6,1 milliards de Francs CFA, équivalant au tonnage de produits passant de 1 661,253 tonnes à 3 154, 471 tonnes suivant cette même période (*DSID, 2006*).

Pour la Direction de la protection des végétaux le marché de pesticides au Sénégal (Importation et fabrication locale) en 1991, oscille autour de 10,5 milliards de Francs CFA (*DIATTA F., 1991*).

1.2.1.1: *Evolution des importations directes par la DSID :*

Au regard de la liste des familles de produits chimiques révélées par le Système Informatique Douanier (SID), les agents travaillant dans le domaine du recensement différencient mal les classes de pesticides (les familles de pesticides comme les nématicides et rodenticides n'étant pas inventoriées).

En effet les produits chimiques libellés par le DSID sont les suivants :

- Insecticides conditionnés pour vente au détail ;
- Herbicides inhibiteurs de germination et régulateurs de croissance ;
- Fongicides ;
- Désinfectants conditionnés pour vente au détail en emballage ;
- Autres.

Année	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Produits chimiques						
Insecticides	1 069 871	1 577 743	1 088 154	1 189 880	2 135 487	1 592 900
Herbicides	409 543	327 095	394 003	178 214	649 869	763 360
Fongicides	58 494	145 403	176 120	467 092	255 329	309 397
Désinfectants	69 045	37 825	68 814	246 892	155 716	291 571
Autres	54 300	47 370	67 753	111 239	152 194	197 243
Total	1 661 253	2 135 436	1 794 844	2 193 317	3 348 595	3 154 471

Tableau 1 : (DSID, 2006)

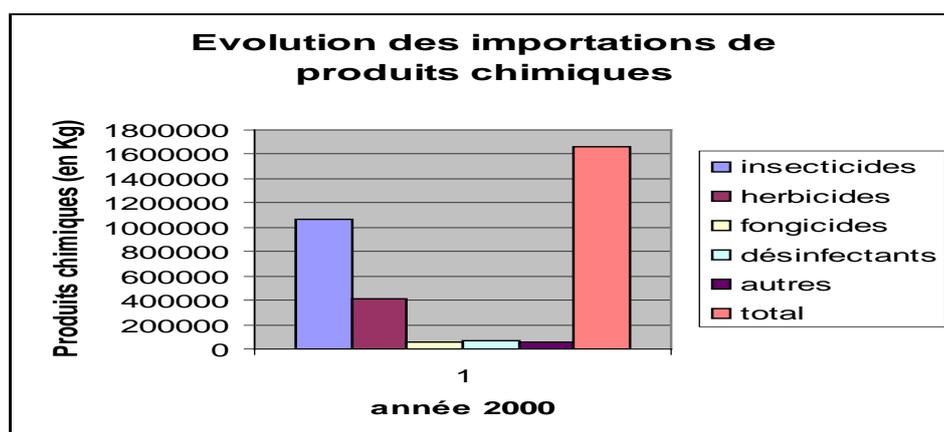


Figure 1 : Evolution des importations de produits chimiques en 2000 au Sénégal (MBAYE A., 2008).

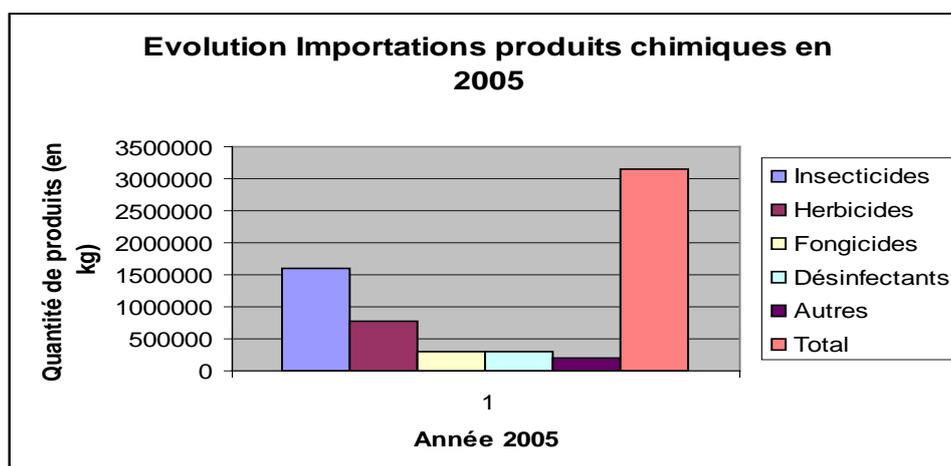


Figure 2 : Evolution des importations de produits chimiques en 2005 au Sénégal (MBAYE A., 2008).

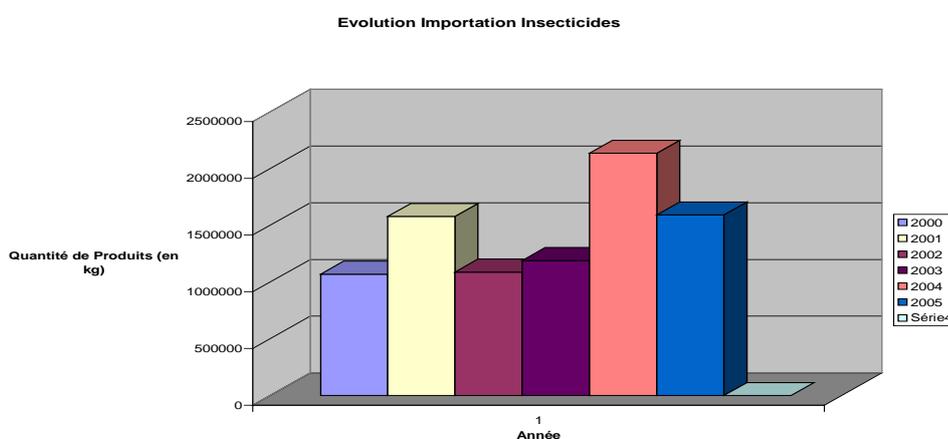


Figure 3 : Evolution des importations d'Insecticides de 2000 à 2005 au Sénégal (MBAYE A., 2008).

L'importation de produits est nettement plus élevée en 2004, car elle correspond à l'année du péril acridien.

Les importations de pesticides au Sénégal se font par deux canaux :

- un canal étatique (uniquement pour des produits finis et prêts à l'emploi) ;
- un canal non étatique (produits finis et matières actives).

1.2.1.2: Importations par le canal étatique :

Elles se font par le biais des structures d'Etat telles que :

- la Direction pour la Protection des Végétaux (D.P.V.) ;
- les sociétés de développement agricole : SODEFITEX, SAED, SODAGRI,...

La DPV intervient sur l'ensemble du territoire national et au niveau sous régional (Gambie, Mauritanie, Mali, Cap-Vert) par le biais de la coopération dans le cadre de la gestion des déprédateurs transfrontaliers.

Jusqu'en 2001 les produits phytosanitaires étaient obtenus à partir de dons venant du Japon le plus souvent, mais aussi des pays comme le Maroc, la Libye, l'Égypte, la C.E., la FAO..., pour régler des problèmes ponctuels. Généralement, il n'y a pas d'achat de pesticides, sauf en cas de besoin pressant (par exemple pendant la période du péril acridien), où un financement au niveau du trésor était sollicité, de même que des contributions de bienfaisance au niveau de la population (DPV, 2006).

1.2.1.3: Importations par le canal non étatique :

Elles sont faites par :

- des sociétés représentant les firmes agro-pharmaceutiques étrangères (SPIA, SENCHIM, SOCHIM, VALDAFRIQUE) ;
- des sociétés agro-industrielles (CSS, SOCAS, FILIFILI, etc.) ;
- ou d'autres privés consommateurs ou distributeurs de pesticides.

Par exemple, au niveau de la SPIA Sénégal, (société à deux départements : une usine de formulation de produits et un réseau de distribution à travers le pays), le conditionnement des produits se fait dans quatre ateliers selon les filières suivantes : liquide, poudre, granulé et aérosol en capacité journalière, comme l'indique le tableau ci-dessous.

Ateliers	Liquide	Poudre	Granulé	Aérosol
Capacité journalière	55 000 L	50 000 Kg	5 000 Kg	1 500 U
Conditionnement	Boîte métallique 100cc - 250cc - 500 cc- 1L	Sachet plastique 100g - 500g - 1Kg	Sachet plastique 100g - 500g - 1Kg	10 -25 oz
	Bidon plastique 1L - 5L - 10L - 20L	Sac 5Kg - 10Kg - 25Kg		
	Fût métallique 200L			

Tableau 2 : production de la SPIA (source : catalogue SPIA 2002)

Les matières actives importées, proviennent généralement de Chine et d'Inde, et servent à la production de 400 à 500 tonnes de pesticides généralement des organophosphorés et des carbamates distribuée dans tout le territoire sénégalais, en Afrique de l'Ouest et en Afrique Centrale.

En général, les sociétés de la place importent des produits formulés (spécialités commerciales) et des matières actives pouvant servir à la formulation de pesticides, la plupart provenant de France, d'Angleterre, des USA, des Pays-Bas, du Japon, d'Égypte, d'Israël, d'Italie, etc.

Il est à noter que dans les secteurs de l'importation et de la production de pesticides, il n'y a pas de problèmes particuliers; sinon des taxes très élevées, signalées par les différents Directeurs techniques rencontrés.

Néanmoins il faut noter que la liste des pesticides effectivement présents sur le marché ne peut être dressée de manière exhaustive, car des produits ne faisant pas partie de la liste homologuée par le CSP/CILSS sont disponibles sur le marché ainsi que des produits de classe I (OMS) comme le carbofurane. Ceci vient du fait que toutes les importations ne sont pas contrôlées et que les produits homologués ne sont pas connus de certains acteurs notamment les agriculteurs. Pour l'heure, il n'est pas effectué de retrait des produits non homologués du circuits de vente (*PAN – AFRICA, 2003*).

Lors du traitement des cultures infectées, les maraîchers procèdent parfois à leur propre formulation (avec des mélanges approximatifs), pensant avoir là une meilleure efficacité (*Entretien avec des maraîchers, 2007*).

1.2.2: La distribution et la vente de pesticides :

Les quantités de pesticides disponibles au niveau du marché sénégalais pour l'année 1991, sont de l'ordre de 700 000 litres à plus de 1 350 000 litres pour les produits pour pulvérisation à ultra bas volume, 250 à 400 000 litres pour les concentrés émulsionnables et 400 à 500 tonnes pour les poudres (*DIATTA F., 1991*).

1.2.2.1: distribution formelle :

La distribution formelle est organisée essentiellement autour de la DPV, de la SODEFITEX, de la CSS, de la SAED, de la SODAGRI, des exportateurs de fruits et légumes de la zone des NIAYES et du GANDIOLE, des producteurs de tomate industrielle (SOCAS), des projets de développement agricole et des maraîchers.

Celle du secteur maraîcher, est inférieure à 10 % de la demande globale. Par rapport aux frais de production, le pourcentage des frais engagés pour la défense des cultures reste insuffisant

(0,8 % pour l'oignon, 1,3 % pour la tomate et le poivron, et 9 % pour le melon), ce qui est nettement inférieur à la part des engrais (2,5 à 13 % des coûts de production). Alors que pour les exploitations maraîchères des pays développés, les coûts de fertilisation sont normalement inférieurs aux coûts de protection des cultures (PDMAS, 2004).

La DPV dispose de toutes les gammes de produits, notamment des insecticides, fongicides, raticides, avicides. Elle pourvoit aux besoins du Service d'Hygiène pour les opérations de pulvérisation, de saupoudrage,...et aide gratuitement les grands producteurs et la population rurale dans la lutte contre les déprédateurs de tout ordre. Les interventions se font au niveau local avec le conseil local de développement (C.L.D.), au niveau régional avec des véhicules lourds pour les interventions et au niveau sous régional lors de lutte commune contre des déprédateurs tels que les criquets pèlerins et oiseaux granivores.

La quantification des produits distribués se fait en fonction de la période et la nature de la campagne.

Par exemple de la SPIA :

- durant la période mars – avril 2006, 250 à 300 tonnes de produits sous forme de poudre pour le coton et 10 000 litres de pesticides pour la tomate ont été distribués ;
- durant la période de juin 2006 : 100 000 tonnes de produits sous forme de poudre et 200 000 à 300 000 litres de pesticides ont été distribués.

1.2.2.2: vente à l'informel :

La distribution au niveau du secteur informel souffre d'un réseau insuffisamment développé au Sénégal. Elle est assurée principalement par les sociétés suivantes SENCHIM (les Niayes), SPIA, PROSEM, TRAORE & FILS, NIAYES SARRAULT, TOUBA AGRO DEVELOPPEMENT, SENAGRO, GIE CAP VERT et d'autres petits vendeurs notamment ambulants.

Les marchands ambulants de produits phytosanitaires exercent sur tout le territoire national, principalement au niveau des marchés et des lieux de vente comme à Keur Sérigne Bi à Dakar, où on trouve les pesticides parfois exposés à côté de produits alimentaires.



Photos 2 : 2.a/, 2.b/ et 2.c/ Insecticides dans les cantines à Keur Sérigne Bi

1.2.3: Utilisation des pesticides dans les services et lieux :

Les pesticides sont utilisés pour le poudrage des cultures, le traitement des denrées stockées, pour l'hygiène publique, la santé animale, la conservation des produits halieutiques séchés et fumés et des cuirs et peaux. Les quantités utilisées peuvent s'accroître de façon exceptionnelle en cas de fléaux (invasions acridiennes ou aviaires) (*PAN AFRICA, 2003*).

1.2.3.1: les Directions Régionales de Développement Rural (DRDR) :

Les services de protection des végétaux utilisent une gamme variée de pesticides où on trouve:

- Les Insecticides ayant comme noms fénitrothion, malathion, Dursban, Reldan, cyalon (en concentré émulsionnable C.E.), dursban (en C.E. ou en poudre), sumithion (3%), carbaryl (2%), propoxur (1% et 2%),...
- Les Avicides : keltox, cyanox,...
- ...

Par le biais de la coopération japonaise, de grandes quantités de pesticides ont été distribuées aux Directions régionales de développement rural (DRDR) pour leur utilisation par les agriculteurs.

1.2.3.2: la production agricole :

Dans la production agricole, les agriculteurs utilisent majoritairement plus les herbicides et les insecticides que les autres pesticides. Par exemple :

- le propanyl associé au vidone, est utilisé pour le riz ;
- le tersen et le confidor, pour la mouche blanche.

Les autres produits utilisés ont pour noms: dicofol, acarex+souffre, metaphos, decis, diméthoate, callisulfan, 500 EC,... (*PDMAS, 2004*).

On a constaté au niveau des agriculteurs non formés, plus nombreux, et généralement analphabètes, une exagération des doses dans les traitements et un gaspillage des produits, mais aussi un jugement approximatif de l'efficacité des produits.

1.2.3.3: la production horticole :

Dans les Niayes, une étude du PDMAS de 2004 montre que dans l'horticulture :

- 122 noms commerciaux de pesticides dont 67 matières actives différentes sont utilisés,

- les pesticides organophosphorés (32 %) sont plus utilisés que les pesticides organochlorés (13 %) parmi les classes chimiques les plus importantes (organophosphorés, organochlorés, pyréthriinoïdes, carbamates) ;
- la classification selon les cibles laisse apercevoir une nette préférence des insecticides suivis des fongicides avec des pourcentages respectifs de 30 % et 24 %. Les produits à large spectre d'action sont également bien sollicités notamment les acaricides (IA) représentant 20 % des produits utilisés ;
- différents autres types de formulations sont utilisés, telles que : les EC qui avec 53 %, sont les plus sollicités suivis des poudres mouillables (WP) avec 26 %.



Photos 3 : 3.a/ Insecticide

3.b/ Herbicide

3.c/ fongicide

Trois types différents de pesticides utilisés dans les champs maraichers du Camp Marchamp – Rufisque

Au nord du Sénégal, les pesticides les plus utilisés sont généralement les herbicides pour la culture du riz.

Pour le traitement de semences dans le bassin arachidier, on utilise plus les fongicides.

Le mode de traitement le plus fréquemment utilisé pour l'épandage des pesticides est la pulvérisation avec des appareils à volume ultra bas (ULV).

1.2.3.4: les cultures d'exportation :

Les informations sur les pesticides utilisés pour le traitement des cultures d'exportation proviennent des résultats de l'étude de terrain effectuée par *l'Observatoire des risques des pesticides dans l'environnement dans sa phase IV avec le Projet GCP/SEN/053/Net (CERES/Locustox, FAO)*. Elles concernent les matières actives, les doses utilisées, les couples pesticides/cultures, les délais de carences pratiqués, les problèmes rencontrés, et les types de parasites rencontrés sur les différentes cultures.

Trente un (31) pesticides ont été recensés sur la base des réponses données par les paysans interrogés. Les matières actives et les associations de matières actives concernées, au nombre de vingt six (26) sont constituées comme suit : insecticides (04) ; insecticides – acaricides (08) ; insecticides – acaricides – nématocides (03) ; acaricides (03) ; fongicides (08). Les diverses

molécules appartiennent aux familles chimiques des pyréthrinoides, carbamates, carbinols, organohalogénés, hydantoides, cyloamines et organophosphorés. Il y a une large prédominance de la famille des organophosphorés (*PAN-AFRICA, 2003*).

Par ailleurs, les documents permettant de suivre la traçabilité des produits utilisés, sont rarement disponibles voire inexistant, de même que la notification des procédés d'utilisation.

Tout ceci pourrait avoir comme conséquence l'existence de résidus de pesticides dans les produits de consommation, entraînant des difficultés d'écoulement à l'exportation.

1.2.3.5: en santé publique :

Le Sénégal dispose de plusieurs programmes de lutte contre les maladies à transmission vectorielle (paludisme, bilharziose,...). Aujourd'hui la tendance est de privilégier le diagnostic et le traitement par cas. Les résultats obtenus montrent une baisse de la mortalité, mais aussi une stagnation voire une progression de la morbidité, faute d'action énergique permettant de rompre le cycle des transmissions.

Face à cette situation, les stratégies de lutte contre les maladies transmises par les vecteurs devraient dès lors combiner des mesures curatives ciblant le parasite et des mesures de prévention intégrant des interventions anti-vectorielles, puisque pendant longtemps, ces actions préventives reposaient exclusivement sur l'usage des insecticides qui n'étaient pas sans conséquence sur l'environnement.

➤ **Etat des spécialités des pesticides et des matières actives au Sénégal :**

Au Sénégal, on note quelques 300 spécialités commerciales présentes ou utilisées contre 189 autorisées par le CILSS en juin 2002. Ces 300 spécialités contiennent à peu près 80 matières actives pour lesquelles (*PDMAS, 2004*), on a noté que :

- parmi les 10 pesticides qui représentent la plus grande menace sur la reproduction et le développement, 3 sont utilisés au Sénégal : Bénomyl, Myclobutanil et Thiophanate-méthyl ;
- parmi les 10 pesticides de première catégorie d'empoisonnement systémique aigu, 5 sont utilisés au Sénégal : 1,3-dichloropropène, dichlorure de paraquat, méthomyl, aldicarbe et méthamidophos ;
- parmi les 10 pesticides les plus cancérigènes, 7 sont utilisés au Sénégal : 1,3-dichloropropène, manèbe, diuron, chlorothalonil, mancozèbe, iprodione et metam-sodium ;
- parmi les 10 pesticides les plus inhibiteurs de la cholinestérase, 5 sont utilisés au Sénégal : chlorpyrifos, diazinon, méthomyl, malathion, et aldicarbe ;

- parmi les 10 pesticides qui contaminent le plus la nappe phréatique, 5 sont utilisés au Sénégal : diuron, aldicarbe, metolachlor, hexazinone et atrazine.

On pourrait aussi ajouter à ce tableau l'utilisation de quelques pesticides connus sous le nom de Polluants Organiques Persistants (POP's) et du groupe des pesticides soumis à la Procédure d'Information et de Consentement Préalable (PIC).

1.2.3.6: en hygiène publique :

Parmi les différentes catégories de formulations de pesticides actuellement utilisés en hygiène publique par la Direction de l'Hygiène Publique on trouve :

- des insecticides en formulation liquide concentrée : chloropyriphos éthyl EC 480 (Dursban CE 480), Pyrétrinoïde (Agri'sect Delta) ;
- des insecticides en formulation solide : Pyrimiphos méthyl à 2%, propoxur à 2%,...
- des désinfectants en formulation liquide concentré : Crésylol sodique ou Crésote à 40° (Grésil), Complexe d'ammonium Quaternaire (Agrigem'2000), Acide formique + Aldéhyde Benzoïde (Désodex), Glutaraldéhyde à 4%, Chlorure de Lauryl diméthyl benzylammonium à 6% (Deodovo), Hypochloride de sodium ou de potassium à 40° (Eau de javel),...
- des larvicides : diméthoate à 250 g/l + Féntrothim à 100g/l (Agrisect ORGA),...
- des raticides : Difénacoum en bloc hydrofuge de 50 g, Difénacoum en céréales de qualités alimentaires concassées puis compressées en granulés, Dioxyde de soufre,...

Dans le cadre de leurs interventions, les Agents du service d'hygiène traitent les zones intra et extra domiciliaires comme dans la région de Dakar, selon la demande ou le lieu exigeant un traitement. Les produits utilisés sont en solution concentrée émulsionnable, en poudre, en granulée ou en gâteaux. Les modes d'utilisation des produits sont variés : pulvérisation (pour délarvation, désinfection,...), saupoudrage (avec un appareil manuel ou motorisé à moyen et grand débit), pose d'appâts. Les produits sont généralement utilisés pour la désinfection, la délarvation, la dératisation et la désinsectisation.

Au moment des interventions, la sensibilisation des populations doit être faite a fin de respecter les recommandations d'utilisation.

En 2005, la quantité de pesticides utilisée dans la période allant de juillet à décembre par le Service d'hygiène est ci-dessous répertoriée:

Produits	Poudre	Désinfectant	Raticides
Quantité	*Insecticide (solide) : 537,5 Kg ; *Insecticide (liquide) : 348,2 L	*Antimicrobien, antibactérien, et autres: 80,65 L ; *Répulsif liquide : 31,7 L	56,5 Kg

Tableau 3 : (Direction Service d'hygiène de Colobane à Dakar, 2006)

1.2.4: Elimination des emballages vides :

Les emballages vides subissent des sorts différents en fonction de leurs contenus et de leurs utilisations.

Au niveau de la DPV, on a mis en œuvre récemment avec l'appui de la FAO un projet dont l'objectif est de ramasser tous les emballages vides de pesticides et de les éliminer voire les recycler. Le recyclage des fûts en plastiques se fait dans les usines de fabrication de tuyaux de PVC, et celui des fûts métalliques dans les usines pour recyclage de ferrailles en fer à béton.

Au niveau de la DRDR, les fûts vides sont récupérés, stockés dans des magasins et acheminés à Dakar pour traitement.

La sensibilisation au niveau des utilisateurs (agriculteurs, maraîchers, domestiques) sur la gestion des emballages vides fait très largement défaut. Parfois les flacons sont récupérés par les vendeurs ambulants qui les remplissent à nouveau de produits parfois périmés pour les redistribuer dans le marché. Le plus souvent ces produits sont issus des pays voisins plus particulièrement de la Gambie, selon un maraîcher exploitant dans les cuvettes du C amp Marchant à Rufisque.



Photo 4: Bouteilles d'insecticide et herbicide vides laissées dans les champs maraichers du Camp Marchand – Rufisque

1.2.5: Contrôle des pesticides obsolètes :

On estime à 50 000 tonnes les quantités de pesticides obsolètes sur le continent africain. Les pesticides sont stockés dans des conditions souvent déplorables et cela constitue un danger pour les populations (*Crop life, 2006*).

La communauté internationale s'est mobilisée pour débarrasser le continent de ces produits, à travers le programme africain de stock de produits périmés (PASP).

Depuis juillet 1995, les autorités sénégalaises ont entrepris l'inventaire des stocks de pesticides obsolètes à travers *le projet GCP / INT / 572/ Net*. Cet inventaire a été confié à une équipe composée d'un consultant de la FAO et de techniciens de la DPV (*PAN AFRICA, 2003*). Il concerne les matières actives, la formulation, le type d'emballage, le volume, le poids, le nombre de fûts, les cartons, les sacs, la couleur des emballages, l'état des emballages, la localisation des stocks et la distance des sites par rapport à Dakar. Selon le rapport de l'équipe d'inventaire, le Sénégal disposait à la date du 13 mars 2002 de :

- 44 m³ de sols pollués ;
- 86 712 litres de pesticides liquides et 102 504 kg de pesticides solides périmés.

Les stocks de pesticides obsolètes, les terres pollués et matériels contaminés par ces derniers se trouvent actuellement dans les sites suivants :

- Dakar : OCLALAV /Hann ;
- Dakar : ex. Base OCLALAV;
- Sangalkam : Exploitation Docteur T.;
- Bambey : Siège ISRA;
- Toubacouta ; ex. Mission chinoise;
- St- Louis : ex. Service Régionaux de la DPV;
- Richard Toll : Base d'Avertisse Agricole et ex. OCLALAV;
- Richard-Toll : Compagnie Sucrière Sénégalaise.

Actuellement, la DPV dispose de magasins de stockage dans chaque région. Ces magasins ne sont pas conformes à une bonne sécurité, car on y trouve des fûts épars sur des planchers non étanches. Par contre les comités villageois de lutte ne disposent pas de magasins de stockage (*PGMAS, 2004*).

Au niveau des magasins de la Douane, des récipients remplis de pesticides réquisitionnés sont épars, parfois des flacons sont ouverts et les contenus s'écoulent à même le sol.

Les sociétés distributrices de la place ne disposent pas non plus de magasins de stockage en raison du coût de l'emmagasinage, de la fiscalité sur les stocks et de la faible durée de conservation des produits phytosanitaires sous conditions tropicales.

1.2.6: Formation et recherche sur la filière pesticide :

Au Sénégal, il existe un certain nombre de laboratoires équipés et adaptés au contrôle de qualité, à l'analyse de résidus, à la formation et à la recherche. Même si on peut déplorer l'inexistence au niveau des structures étatiques de laboratoire pour l'analyse et le contrôle de la qualité des pesticides distribués. Parmi les laboratoires existants, on peut citer :

- Le laboratoire de Chimie Analytique et de Toxicologie de la Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odontostomatologie de l'Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, qui effectue des analyses relatives à la microbiologie, aux résidus des pesticides et aux métaux lourds dans l'eau, les aliments, et les sols, à la mycotoxine et aux déchets industriels ;

- Le laboratoire d'Analyse de CERES/LOCUSTOX qui est un laboratoire d'Eco-toxicologie et de Phytopharmacie installé à la Direction de la Protection des Végétaux. On y pratique des analyses de résidus de pesticides et des études écotoxicologiques. Ce Centre de Recherche en Ecotoxicologie du Sahel joue un très grand rôle dans l'homologation des pesticides pour le CSP du CILSS et la validation des normes de résidus de Pesticides dans les produits Horticoles destinés à l'exportation. Les types d'activités au CERES/Locustox sont entre autres :

- l'analyse de produits au laboratoire ;
- l'expérimentation sur le terrain ;
- la formation d'étudiants, de techniciens et de producteurs ;
- la sensibilisation des producteurs sur les déprédateurs en collaboration avec certains organismes tels que la FAO, dans le cadre de la gestion intégrée des pesticides.

- Le Laboratoire de Photochimie et d'Analyses LPA du département de chimie à la faculté des sciences et techniques de l'UCAD. On y effectue des recherches sur les pesticides.



*Photo 5 : Dispositif expérimental
pour détermination de la vitesse
d'infiltration des pesticides dans les sols
au LPA / FST / UCAD*

1.2.7: Organes institutionnels et réglementation sur les pesticides :

1.2.7.1: Les organes institutionnels :

Au niveau officiel, la gestion de la filière pesticide est faite par un organisme suivant une nouvelle structuration qui comprend deux niveaux d'intervention :

- une structure d'intervention à l'échelle nationale, la Direction de la Protection des Végétaux (DPV) ;
- des structures d'intervention au niveau décentralisé, les Directions Régionales de Développement Rural (DRDR).

A l'échelle nationale, la Direction de la Protection des Végétaux est chargée de la protection générale des cultures sur toute l'étendue du territoire national, en collaboration avec les différents services que sont la Douane, les centres de recherche, les Universités, les Ecoles de formation en agriculture, les forces de sécurité, etc. La DPV apporte son appui technique et matériel aux sociétés régionales de développement rural en cas d'invasion généralisée des exploitations de coton, tomate, riz, canne à sucre, etc.

La mission principale de la DPV est d'abord d'empêcher l'introduction de nouveaux ravageurs sur le territoire national conformément aux dispositions du comité d'intervention pour la protection des végétaux (CIPV). Ainsi la direction a mis en place au niveau des frontières terrestres, maritimes et aériennes des postes de contrôle phytosanitaires chargés d'inspecter et de contrôler toutes les entrées de végétaux et parties de végétaux en provenance des autres Etats ; ensuite à combattre les ravageurs qui sont déjà présents dans le territoire national en utilisant des moyens chimiques efficaces et sûrs afin de préserver autant que possible l'environnement et la santé des populations, mais aussi des moyens biologiques et naturels.

A l'échelle décentralisée, les DRDR sont divisées en services dont celles de la protection des végétaux. Les services de la protection des végétaux sont en relation étroite avec des Comités villageois de lutte installés dans chaque village, et aussi en relation avec certains agences et ministères tels que :

- L'ANCAR qui est chargée de la vulgarisation des techniques et technologies au niveau du monde paysan. En partenariat avec la DPV, les DRDR, la SODEFITEX, le CNCR, la SODAGRI, la SAED, le CERES-Locustox, elle organise des sessions de formation et de vulgarisation à l'intention des producteurs dans beaucoup de domaines.

- Le Ministère de l'environnement et de la protection de la nature, avec sa cellule de contrôle et de suivi environnemental des épandages de pesticides. La direction de l'environnement et des

établissements classés (DEEC) évalue, apprécie et donne son avis, voire recommande un pesticide après que ce dernier aie été autorisé par le CSP /CILSS pour son application sur le territoire national ;

- Le Ministère de la Santé et de la Prévention médicale où le Service National d'Hygiène est opérationnel ;

- D'autres acteurs à l'intérieur du Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique, assurant chacun en ce qui le concerne par rapport aux prérogatives assignées, leur rôle;

- Le Ministère de l'Intérieur avec la Direction de la Protection Civile, chargée de la répression, de la lutte et du contrôle des substances toxiques et dangereuses et des risques encourus par les citoyens ;

- Le Ministère des Finances avec la Direction Générale des Douanes, chargée du contrôle à l'entrée et de la sortie des produits chimiques.

L'organe subsidiaire correspond à la Commission Nationale de Gestion des Produits Chimiques en collaboration avec autres structures et institutions membres d'office. Elle prend en compte dans son programme d'activités les pesticides, (*Annexe 1*).

Il faut souligner que cette organisation sur la gestion des pesticides a des limites qui sont liées à des problèmes de coordination entre les différents services membres de la Commission Nationale de Gestion des Produits Chimiques au Sénégal.

1.2.7.2: La réglementation sur les pesticides :

Le XI^{ème} Plan d'Orientation Economique et Sociale (1996 – 2001) résume les principaux problèmes que pose la gestion des ressources naturelles et de l'environnement au Sénégal. Parmi les quels :

- la prolifération des rejets de toute nature (industriels, domestiques, agricoles et biomédicaux),
- la pollution de l'air et des eaux.

Des mesures d'ordre institutionnel et des orientations stratégiques générales ont été définies pour faire face à cette situation.

L'ampleur des problèmes de pollution a amené les autorités à réviser les textes législatifs tels que le code Minier, le code de l'Environnement, le code de la Construction et de l'Urbanisme, à

élaborer et à adopter une stratégie cohérente de gestion des produits chimiques et des déchets dangereux avec :

- l'élaboration d'un plan national de gestion rationnelle des déchets dangereux ;
- la mise en place d'une commission nationale de gestion des produits chimiques ;
- l'élaboration d'un profil national de gestion des POP ;
- l'élaboration de plans d'action pour la gestion des POP dans le cadre de la mise en œuvre de la convention de Stockholm.

Les acteurs concernés ont défini l'essentiel des programmes et activités à réaliser dans le sens de la lutte contre les pollutions et nuisances et les risques industriels.

Il convient de rappeler que le Sénégal a adhéré à plusieurs Conventions, Protocoles, Directives et Accords internationaux dont :

- la convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants, *signée le 22 mai 2001* ;
- la convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontaliers des déchets dangereux et de leur élimination, *entrée en vigueur le 05 mai 1992 et ratifiée le 10 novembre 1992* ;
- la convention de Rotterdam sur la procédure de consentement préalable en connaissance de cause (PIC) applicable à certains produits chimiques et pesticides, *signée le 11 septembre 1998 par 61 états au siège des Nations Unies à New York et entrée en vigueur le 25 février 2004* ;
- la convention de Bamako sur l'interdiction d'importer en Afrique des déchets dangereux et sur les mouvements transfrontaliers et la gestion des déchets dangereux produits en Afrique, *ratifiée le 16 février 1994 et entrée en vigueur le 20 mars 1996* ;
- la convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires (MARPOL), *adoptée le 02 novembre 1973 à Londres* ;
- les directives de Londres applicables sur les échanges de renseignements sur les produits chimiques qui font l'objet de commerce international, *adoptées par le PNUE en 1987* ;
- la convention internationale pour la protection des végétaux, *signée et ratifiée par le Sénégal le 30 mars 1975 et entrée en vigueur du nouveau texte le 02 octobre 2005* ;
- l'Accord portant « Réglementation commune sur l'homologation des pesticides des pays membres du CILSS » *en mars 1994 à Ouagadougou*. Le Comité Sahélien des Pesticides (CSP), organe d'exécution de la réglementation commune est chargé d'homologuer les pesticides dans les Etats membres du CILSS. Et l'Assemblée Nationale du Sénégal a *ratifié cet accord le 26 novembre 2002*.

Nous allons nous intéresser plus particulièrement à ce volet et c'est dans ce cadre qu'une Commission Nationale de Gestion des Pesticides a été mise en place au Sénégal. *Cette commission a été créée par arrêté ministériel N° 000852 / MJEHP du 08 février 2001 sous la double recommandation du CSP / CILSS et du programme de l'Institut des Nations Unies pour la Formation et la Recherche (UNITAR). Elle comprend deux sous-commissions : une sous-commission pesticides et une sous-commission produits chimiques autre que pesticides (Annexe1).*

➤ **Réglementation commune aux Etats du CILSS :**

L'intensification de l'agriculture au Sahel, nécessaire pour assurer la sécurité alimentaire des populations, a entraîné une augmentation de l'utilisation d'intrants chimiques comme les pesticides. Afin de s'assurer que les pesticides utilisés dans les différents pays du Sahel sont efficaces, de qualité appropriée et ne posant pas de risques pour l'homme et l'environnement, des Etats membres du CILSS ont *signé, en 1992*, un document intitulé : la réglementation sur l'homologation des pesticides commune à ces Etats (*CRDI : Recherche-Impact, 1998*).

L'objectif principal de cette réglementation commune est de mettre en commun l'expertise en évaluation et en gestion des produits phytopharmaceutiques de l'ensemble des états membres du CILSS pour l'homologation des pesticides. Le comité sahélien des pesticides (CSP), organe d'exécution de la réglementation commune, est devenu *opérationnel depuis en 1994*. Il évalue les dossiers d'homologation soumis par les firmes phytopharmaceutiques et octroie les autorisations de vente pour l'ensemble des Etats membres.

Dans les années qui ont suivi la signature de la réglementation commune, les Etats membres du CILSS ont modifié leur législation nationale phytosanitaire, ou sont dans le processus de le faire, afin de tenir compte de l'homologation des pesticides par le CSP et de la mise en œuvre des activités pré- et post- homologation comme l'expérimentation biologique, le contrôle de l'importation et de l'utilisation, le suivi écologique de la toxico vigilance.

Cette coopération Inter Etats très étroite pour l'homologation et la gestion des pesticides est citée comme un exemple quasiment unique dans le monde.

Par la suite, une révision de la réglementation a été élaborée pour tenir compte des divers développements dans la gestion et la législation des pesticides au niveau des Etats membres, ainsi que les expériences dans les procédures d'homologation des pesticides acquises par le CSP depuis sa création. Elle devrait augmenter la fiabilité et la transparence des décisions prises par

le CSP et donner l'assurance que les pesticides utilisés dans le Sahel sont efficaces et ne posent pas des risques à l'homme et à l'environnement. *Elle a été adoptée par le conseil des ministres du CILSS réuni le 16 décembre 1999 en sa trente quatrième session à N'Djaména (République du Tchad) par la résolution N° 8 / 34 / CM / 99.*

Mais en général au niveau étatique, comme c'est le cas au Sénégal, les lois nationales sur la réglementation signées et ratifiées ne sont généralement pas prises en compte. Il y a eu des lacunes au niveau du contrôle, voire une réticence même des contrôleurs qui sont sous la menace de certaines personnalités étatiques ou religieuses importatrices, vendeuses et utilisatrices qui ne sont pas prêts pour l'application de la réglementation sur les pesticides (DPV, 2006).

1.2.8: Luttes contre les ravageurs

Pour satisfaire les besoins en autosuffisance alimentaire et pour la protection de l'environnement, un accent particulier est mis dans la recherche de techniques de luttes efficaces contre les ennemis des cultures.

1.2.8.1: Lutte chimique contre les locustes et les sauteriaux

Dans de nombreuses régions d'Afrique et d'Asie, les criquets causent des dégâts sur de vastes étendues de cultures. Les locustes sont bien connues pour leur capacité à envahir les champs et à dévaster toute végétation sur leur passage. Les sauteriaux, eux, constituent un problème chronique, causant d'importantes pertes de rendement.

La lutte contre les locustes et les sauteriaux s'effectue habituellement à l'aide de pesticides chimiques, les produits les plus utilisés étant les organophosphorés (OP) et les pyréthrinoides. Les OP ont une toxicité aigüe pour les acridiens mais une rémanence réduite.

Lors des invasions du criquet pèlerin de 1986 à 1989 au Sénégal, trois cent millions de dollars EU ont été dépensés, et pendant l'invasion de 2003 à 2005 treize millions d'hectares ont été traités avec des pesticides chimiques. La communauté internationale est aujourd'hui de plus en plus préoccupée par ces pesticides chimiques et encourage l'application d'autres méthodes de lutte (GREEN MUSCLE, 2006).

1.2.8.2: Luttes intégrée et biologique :

Au Sénégal, on a de plus en plus recours à la lutte intégrée comme alternative à l'utilisation des pesticides chimiques. La lutte intégrée fait une plus large place à l'utilisation de bio-

pesticides, de méthodes culturales mieux adaptées et permet, en principe, d'aboutir à un usage plus modéré et mieux ciblé des produits chimiques.

La lutte intégrée doit être utilisée lorsque les essaims se trouvent à l'intérieur des zones de cultures et lorsque les criquets sont déjà en phase grégaire. Son effet ne serait alors que palliatif, protégeant les cultures sans avoir d'impact global sur la dynamique des populations.

Il est communément accepté que la meilleure méthode de lutte contre le criquet pèlerin est la lutte préventive. Elle utilise tous les outils disponibles permettant d'être efficace tout en préservant la santé humaine et l'environnement, et pour cette raison est considérée comme un système de lutte intégrée (*Organisation Scientifique Internationale de l'orthopterists society, 2007*).

C'est dans ce cadre que des projets et programmes ont été initiés, parmi lesquels, on trouve:

- Le projet « Recherche et Développement dans la lutte intégrée contre les ennemis des principales cultures vivrières dans les pays du Sahel » (*CILSS, FAO, 1980 – 1986*) ;
- Le programme LUBILOSA qui est un projet de Lutte Biologique contre les Locustes et les Sauteriaux, dont l'objectif est de produire en masse un biopesticide, le mycopesticide appelé GREEN MUSCLE. C'est un champignon entomopathogène, le *Metarhizium anisopliae* var. *acidum*. Le *Metarhizium* infecte les insectes par contact et non par ingestion. Il contamine l'insecte dans les premiers 24 heures, et son action est permanente. Il prive le criquet des nutriments qui lui sont nécessaire pour vivre et l'insecte finit par mourir de faim. Le *Metarhizium* se développe ensuite dans les tissus de l'insecte. Des spores vertes se forment au bout de deux jours, et vont infecter d'autres individus (*GREEN MUSCLE, 2006*).

Ainsi cette lutte intégrée privilégiant les méthodes naturelles de lutte contre les nuisibles, semble être une solution aux problèmes posés par les pesticides chimiques au Sahel.

1.2.9: Initiatives de sensibilisation :

Au Sénégal, beaucoup de producteurs ne font pas la différence entre insecticide et herbicide. De même des techniciens passent dans les champs de cultures pour vulgariser des méthodes de traitement sans suivi ni évaluation.

Afin de combler ces lacunes, plusieurs initiatives sont prises par des ONG et Associations dans le cadre de la promotion de l'implication des acteurs de la filière pesticides, parmi lesquelles on peut citer :

- *L'Atelier de mise à niveau organisé en décembre 2006 par Croplife Sénégal à l'intention des journalistes à travers le programme africain de stocks de produits périmés (PASP) : au cours de cette activité qui s'est voulu un partage d'informations sur la problématique de l'univers phytosanitaire et ses contraintes, initiée par Croplife Sénégal et regroupant les professionnels sénégalais de l'agrochimie (formateurs, distributeurs, représentants des firmes), un dialogue franc et sincère a été instauré. Outre la finalité de mise à niveau qui est recherchée, l'objectif poursuivi est de dissiper les malentendus tout en levant des équivoques entourant les produits chimiques et leurs dérivés (CrofLife, 2006) ;*
- *L'Atelier d'évaluation à mi-parcours du projet international intitulé : « Pesticides et pauvreté : mise en œuvre des conventions relatives aux produits chimiques pour un développement sain et équitable », organisé en décembre 2006 par Pan Africa (Pesticides action network) avec Pan United-Kingdom : il s'agissait d'inviter les parties prenantes et les autres participants à partager les informations collectées par le projet, à voir les progrès réalisés et à identifier les contraintes. Les objectifs principaux du projet étaient d'aider les pays en développement à mettre efficacement en œuvre les instruments juridiques internationaux sur les produits chimiques. Ceci dans le but de contribuer à l'intégration de la dimension environnementale dans les priorités de développement, de promouvoir une agriculture s'appuyant sur la réglementation du CILSS et de réduire l'usage des produits agrochimiques au profit des pesticides biologiques (PAN AFRICA , 2006).*

❖ *Conclusion partielle :*

L'analphabétisme des agriculteurs, les difficultés relatives à la réglementation et au suivi de toute la filière pesticide, la non disponibilité des résultats d'analyses (des produits agricoles et milieux contaminés par les pesticides) qui par ailleurs, coûtent excessivement chères, ne permettent pas de disposer de bonnes connaissances pour une bonne gestion de ces produits.

Par rapport à l'utilisation des pesticides, les populations et l'environnement dans les pays en développement notamment au Sénégal, ne peuvent échapper aux nuisances et pollutions que provoquent ces produits.

Mais face à cette situation, les initiatives comme celles de l'association CropLife Sénégal et de l'ONG PAN Africa se multiplient pour contribuer au développement et à la promotion d'une agriculture durable respectueuse de l'environnement en fournissant des produits et services conformément aux dispositions du Comité Sahélien des pesticides, du cadre de conduite de la FAO et d'autres lois et conventions relatives aux produits chimiques dangereux.

Et pour appuyer la réglementation sur la commercialisation et l'usage des pesticides au Sénégal et en Afrique de l'Ouest et réduire l'usage des produits agro-chimiques, une alternative est entrain d'être développée avec la promotion des luttes intégrée et biologique.

Aussi comme autre solution, la formation et la sensibilisation du personnel de gestion des pesticides chimiques sur tous les aspects de la filière, ainsi que les réponses d'urgence pourraient être envisagées.

Vu que la protection de l'environnement implique impérativement la préservation des ressources en eau qui se raréfie dans certaines zones du pays, le pouvoir public et les organisations non gouvernementales, font appel de plus en plus aux techniques de traitement de l'eau potable, des eaux résiduaires et au recyclage des eaux usées domestiques et industrielles.

I.2 : les problèmes environnementaux liés aux ressources en eau.

Aujourd'hui, il n'existe pas d'évaluation quantitative fiable des besoins ou de la consommation totale en eau au Sénégal. Des chiffres variés et approximatifs permettent d'estimer à 1,251 milliards de m³, les quantités d'eau prélevées par l'agriculture par exemple, ce qui représentent 18 fois les quantités prélevées pour l'eau potable (*DPS, 2004*).

L'accès à l'eau en quantité et en qualité a été depuis l'indépendance un défi pour les autorités publiques. On ne dira jamais assez que l'accès à une eau saine et potable est indispensable pour le bien-être des populations, car l'eau est certes « source de vie », mais principal vecteur de maladie dans les pays en voie de développement.

De plus, les problèmes environnementaux liés aux ressources en eau sont nombreux et variés. Ils proviennent à la fois de contraintes naturelles liées à la variabilité des précipitations et de facteurs anthropiques telles que l'utilisation des pesticides dans la production agricole et les usages domestiques, donnant ainsi des eaux usées pouvant être réparties en différentes catégories selon leur origine et leurs caractéristiques. On distingue ainsi les eaux usées domestiques, les eaux usées industrielles, les eaux usées agricoles et les eaux de pluie et de ruissellement.

2.1 : Eaux usées industrielles

Les eaux usées industrielles proviennent de l'utilisation de l'eau dans divers processus industriels. Leurs caractéristiques varient en fonction du type d'industrie et des process utilisés. Ces eaux usées peuvent contenir différents types de polluants dont certains sont très toxiques pour l'environnement.

Pour avoir un aperçu sur l'impact des eaux usées industrielles sur le milieu naturel, il suffit de porter un regard sur la Baie de Hann à Dakar, la deuxième baie au monde après celle de Rio de Janeiro, en situation de dégradation très avancée.

Cette situation serait liée à plusieurs facteurs, dont :

- le développement des activités industrielles dans le domaine portuaire de Dakar, sans une réelle prise en compte de la dimension environnementale, qui est à l'origine de l'importance des volumes d'eaux résiduares industrielles rejetés dans la baie, de la présence de polluants industriels et des risques industriels majeurs ;
- la croissance rapide des villages traditionnels de pêcheurs : Hann, Petit Mbao, Grand Mbao et Thiaroye, à proximité voire à l'intérieur de la zone industrielle, démunis de systèmes

d'évacuation de déchets solides et liquides domestiques, dont l'exutoire est la baie de Hann (DEEC / MEPN, 2005).

Le contrôle de la pollution des eaux usées rejetées par les industries s'appuie sur un ensemble de paramètres, parmi lesquels les fluctuations de la composition des effluents industriels et la nature des contaminants industriels.

2.2: Les eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques sont rejetées par les ménages après divers usages et contiennent des résidus de toutes sortes : papier, végétaux, excréments, matières synthétiques, etc.

Les matières solides contenues dans ces eaux peuvent se fragmenter au cours de leur évacuation. Les caractéristiques et le volume des eaux usées domestiques varient en fonction des quantités d'eau disponibles et du niveau de vie des populations.

Les eaux usées domestiques peuvent à leur tour être subdivisées en eaux vannes (provenant des WC) et en eaux ménagères (provenant de la cuisine, de la lessive et de la douche).

Dans la zone urbaine de Dakar ces eaux sont évacuées suivant deux types de voies :

- à partir de canaux à ciel ouvert, comme le canal de la corniche ouest, mais aussi de canaux fermés comme celui de la Gueule Tapée, qui permettent un rejet direct de ces eaux dans la mer sans traitement ni prétraitement ;
- à partir du réseau enterré de l'ONAS dont une partie est acheminée à la STEP de Cambérène, avant épuration et déversée dans la mer pour la plus grande partie, et pour l'autre partie désinfectée et vendue aux maraîchers, aux exploitants du Golf du Technopole ou aux industriels.

Dans les zones non couvertes par le réseau d'assainissement, les eaux usées sont déversées tout bonnement dans la rue.

2.3 : Eaux usées agricoles

Ce sont les eaux usées provenant et de l'agriculture et de l'élevage. Les eaux de pluie peuvent entraîner des résidus d'engrais et de pesticides (nitrates, phosphates) pouvant provoquer l'eutrophisation des cours d'eau et de nappes.

Ainsi la qualité des eaux superficielles subit une forte altération provenant de la pollution chimique par des produits utilisés dans l'agriculture et notamment les pesticides et les engrais.

Par exemple au niveau du delta du fleuve Sénégal, il y a eu une forte pollution chimique des eaux provenant des produits utilisés dans l'agriculture. (DPS, 2004).

2.4 : Eaux de pluie et de ruissellement

Elles ne sont pas à proprement parler des eaux usées comme celles provenant de l'utilisation de l'eau, mais sont parfois collectées et traitées avec les autres types d'eaux usées. Les eaux de pluie et de ruissellement sont générées par les pluies et le lavage des voies publiques. Les substances en suspension dans l'atmosphère peuvent altérer la composition de l'eau de pluie. Les poussières, les gaz naturellement présents dans l'air (carbone, azote, oxygène...) et les substances émises par l'homme telles que les oxydes de soufre, de carbone ou d'azote, les métaux lourds tels que le plomb, les hydrocarbures peuvent se dissoudre dans l'eau de pluie. Les oxydes de soufre et d'azote s'y transforment en acide, donnant ainsi des pluies acides qui ont un effet nocif sur l'environnement. Les eaux de ruissellement peuvent au cours de leur cheminement, entraîner les débris sur le sol qui augmentent leurs concentrations en diverses substances (matières organiques, germes microbiens...).

❖ *Conclusion partielle :*

L'absence de ressources en eau autres que celles provenant de l'adduction et des forages, conduit à envisager des solutions variées pour ne pas mettre en péril les investissements importants faits pour la mise à disposition des populations d'une eau potable.

Les eaux des nappes superficielles sont parfois de qualités chimiques et bactériologiques très insuffisantes. A priori, il est donc déconseillé l'emploi direct de ces eaux pour l'alimentation en eau potable et il est conseillé l'utilisation des nappes souterraines même si on y trouve des paramètres révélateurs de pollutions (*DPS, 2002*).

Concernant la gestion des eaux usées provenant des industries de la zone portuaire (à prédominance d'usines de transformations de produits halieutiques), on pourrait faire leur collecte en vue d'un traitement collectif avant rejet en mer, afin d'éviter leur transport sur de longues distances et les nuisances qui s'y rattachent (*DEEC / MEPN, 2005*).

Une solution serait l'exploitation d'un long sea-line qui rejeterait dans les grands courants marins les rejets traités, sans nuire aux activités maritimes.

Dans le cas des autres industries de la Baie de Hann, à l'extérieur de la zone portuaire, en raison de la nature des contaminants des eaux usées (particulièrement les usines textiles et tanneries), elles pourraient se doter d'installation de traitement complet d'eaux usées sur le site.

Et, à l'aide du suivi des impacts, il serait toujours possible de resserrer les normes sénégalaises sur les rejets, en ajoutant, par exemple, à la chaîne de traitement, une unité pour les polluants tels que les pesticides.

C'est dans ce sens qu'il s'avère nécessaire d'améliorer et de rentabiliser le système actuel d'épuration des eaux usées domestiques de l'ONAS pour un traitement de toutes les eaux issues des quartiers de Dakar et la Banlieue. Il serait aussi pertinent de chercher des technologies appropriées pour le traitement des eaux usées contenant des micropolluants tels que les pesticides.

CHAPITRE II: EPURATION DES EAUX USEES DOMESTIQUES PAR FILTRATION LENTE SUR SABLE.

Le dispositif est installé à la station d'épuration à boues activées de l'ONAS à Cambérène. Cette station reçoit les effluents urbains provenant des quartiers de Pikine, Parcelles Assainies, Patte d'oie, etc.

II.1: La filtration lente sur sable : le dispositif expérimental

1.1: La filtration lente sur sable : historique et définition

1.1.1: Historique

La filtration lente sur sable est l'une des toutes premières méthodes modernes utilisées pour l'épuration de l'eau potable. Elle fit son apparition dès le début du 19^{ème} siècle en Ecosse. Son utilisation dans le traitement de l'eau potable s'est répandue dans le monde en raison des performances épuratoires avérées du procédé. Elle a suscité l'intérêt dans l'épuration des eaux usées aux Etats-Unis au début des années 70, qui aboutit à l'adoption de standard plus stricts établis par une nouvelle législation sur la qualité de l'eau (*The Task Committee on the Wastewater Filtration Facilities, 1986*).

1.1.2: Définition

La filtration est un procédé de séparation solide liquide qui consiste à faire passer un liquide contenant des impuretés à travers un milieu poreux. Dans la filtration sur sable le liquide s'écoule de haut en bas à travers le milieu filtrant sous l'action de la pesanteur. En fonction du flux de filtration, on distingue la filtration rapide avec des vitesses de l'ordre de 5 à 20 m/h et la filtration lente ou filtration biologique avec des vitesses de l'ordre de 0,05 à 0,4 m/h.

Le filtre lent est constitué d'un milieu filtrant, généralement du sable, à travers lequel on fait passer les eaux à épurer ; ce milieu filtrant est en permanence submergé par l'effluent brut, la filtration se fait ainsi en milieu saturé. La couche d'eau surnageant permet de maintenir une charge suffisante pour l'écoulement de l'effluent brut à une vitesse déterminée.

A la base du matériau filtrant, est placé un système de drainage qui soutient le lit filtrant, assure le drainage de l'eau et maintient une répartition uniforme de la vitesse de filtration. Des dispositifs de régulation en amont et en aval du filtre permettent le contrôle de l'arrivée des eaux brutes et le réglage de la vitesse à la sortie (*Adin A. et al, 1997 ; Fujii S. et al, 1987 ; Huisman L. et Wood W. E, 1975, cités par Tine M. ,2005*).

1.2: Le dispositif expérimental:

Il comprend :

- deux fûts utilisés pour le stockage et la décantation des effluents. Ils sont alimentés à l'aide d'une pompe péristaltique submersible KSB Ama Porter, d'un débit maximal de $10 \text{ m}^3 / \text{heure}$ pour une hauteur maximale de 9 m ;

- un filtre constitué d'une colonne en PVC opaque de 2m de haut et de 30cm de diamètre. La colonne est remplie de bas en haut d'un lit de gravier fin et grossier de 20 cm d'épaisseur, d'un lit de sable de diamètre efficace de 0,58 mm après analyse granulométrique et de 70 cm d'épaisseur, et d'une colonne d'eau de 90cm de hauteur. Le matériel filtrant constitué de sable, a subi divers traitement avant d'être installé (*Tine M., 2005*). Il s'agit :

- du lavage du sable avec de l'eau ou avec de l'acide chlorhydrique dilué (à 3,5 mol/L) si celui-ci contient des coquillages (décarbonatation) ;
 - du tamisage du sable et ;
 - de la détermination du diamètre effectif et le coefficient d'uniformité.
- des robinets servant au prélèvement d'échantillons d'eaux usées filtrées ou non, installés à différentes hauteurs :
- au niveau (0) situé à la sortie des eaux usées décantées du fût de décantation ;
 - au niveau (1) dans l'eau, au dessus du sable,
 - au niveau (2) à 5 cm en dessous de la surface du sable,
 - au niveau (3) à 15 cm en dessous de la surface du sable,
 - au niveau (4) à 35 cm, au niveau (5) à 45 cm de la surface du sable,
 - au niveau (6) à 65 cm en dessous de la surface du sable et
 - au niveau (7) correspondant au drainage de l'eau filtrée.
- des tuyaux translucides permettant les mesures de perte de charge par lecture directe de la variation de la hauteur d'eau, le niveau en amont étant maintenu constant.

Nous distinguons aussi au niveau du dispositif :

- à la base du filtre, des cubes en plexiglas de 10 cm de hauteur, servant de support aux autres éléments placés au-dessus et permet tant d'éviter l'écrasement du tuyau collecteur ;
- un tuyau collecteur en PVC flexible de 32 mm diamètre (très flexible) en forme de serpentins inséré entre les cubes, pour la collecte des eaux filtrées ;
- un tuyau d'évacuation de l'eau filtrée ;
- un dispositif de commande pour le réglage de la vitesse de filtration.



Photos 6 : les dispositifs de la filtration lente sur sable :

6.a/ Les deux fûts de décantation

6.b/ Le dispositif de la colonne du filtre

(à côté des bassins de dessablage et dégraissage de la station d'épuration de l'ONAS).

N.B. : Coupe schématique du dispositif expérimental de la filtration lente sur sable (TINE M., 2005)(Annexe 8).

1.3: les eaux usées :

Les eaux usées sont prélevées juste après le prétraitement. Le prétraitement consiste en un dégrillage (élimination des matériaux grossiers), un dessablage (élimination du sable) et un déshuilage (élimination des matières grasses).

1.4: L'alimentation des fûts et la décantation des eaux usées:

Après le remplissage du premier fût au quotidien et une décantation durant 24 heures, le contenu est évacué dans un deuxième fût.

L'alimentation du filtre se fait par gravité à partir du deuxième fût par l'intermédiaire d'une vanne munie d'un flotteur, reliée à un tuyau de 15 cm de long plongeant à l'intérieur de la colonne.

Le flux de filtration retenu est de 0,08 mètre / heure.

Le diamètre de la colonne est de 30 cm pour une section de $706,5 \text{ cm}^2$. Le flux de filtration correspond à un débit Q tel que :

$$Q = \text{Vitesse} \times \text{Section} = 8 \text{ cm} / \text{h} \times 706,5 \text{ cm}^2 = 5652 \text{ cm}^3 / \text{h} = 5,65 \text{ l} / \text{h}.$$

Les deux fûts ont une capacité d'environ 200 litres chacun soit au total 400 litres, avec un tel débit de filtration, le temps de séjour moyen des eaux usées prétraitées dans les fûts est d'environ $400 \text{ l} / 5,65 \text{ l/h} = 71 \text{ h} = 3 \text{ jours}$.

II.2: Protocole expérimental

Le cycle de filtration est de 15 jours avant colmatage.

2.1: Le Suivi hydraulique :

2.1.1: Le Réglage de la vitesse de filtration :

La vitesse de filtration est déterminée quotidiennement par des mesures volumétriques du débit à la sortie. Elle est maintenue constante à 0,08 m/h en ouvrant progressivement la vanne de commande. Le colmatage progressif du lit filtrant entraîne une diminution de la vitesse ; pour maintenir celle-ci constante, il est nécessaire d'agir sur la vanne régulatrice de sortie. La vitesse adéquate pour la filtration lente sur sable d'effluents secondaires est de 0,15 m/h (*Adin A. et al., 1997*). Les effluents filtrés au cours de cette expérimentation sont des eaux usées brutes décantées, le choix s'est porté sur un flux faible de 0,08 m/h afin de respecter une alimentation régulière et périodique et pour éviter un colmatage rapide du lit de sable.

2.1.2: La Mesure des pertes de charges :

En filtration lente, la perte de charge entre deux points A et B est égale à $(DH)_{A,B} = H_B - H_A$, c'est la différence entre les hauteurs d'eau des points A et B (*TINE M., 2005*).

Les pertes de charges sont ainsi mesurées tous les jours à partir des tuyaux piézométriques par lecture directe.

La hauteur d'eau dans la colonne, qui correspond à celui du tuyau du niveau 0, étant à peu près constante, la perte de charge pour les niveaux inférieurs est déterminée par lecture de la différence entre la hauteur d'eau du tuyau du niveau correspondant et celle du niveau 0.

2.2: Le suivi analytique :

Le suivi analytique consiste en l'échantillonnage et à l'analyse des échantillons prélevés. Les analyses ont été faites au laboratoire de l'ONAS à Cambérène.

2.2.1: L'échantillonnage :

Les échantillons sont prélevés à différents niveaux de la colonne de filtration, dans l'eau surnageant (niveau 0), dans le sable (niveaux 3, 4 et 5), dans le gravier (niveau 6) et à la sortie (niveau 7) au drainage.

Les prélèvements sont effectués entre 8 h et 9 h le matin.

Les eaux prélevées sont mises dans des bouteilles en plastique et portées immédiatement au laboratoire où il est procédé à leur analyse.

2.2.2 : Les analyses effectuées :

Les méthodes d'analyse sont celles de l'association française pour la normalisation (AFNOR) qui sont utilisées par le laboratoire de la station d'épuration de Cambérène.

II.3: Résultats et discussions :

3.1: Les rendements épuratoires :

3.1.1: Les matières en suspension (MES) :

L'évolution de la teneur en MES des échantillons prélevés à l'entrée du filtre (niveau 0), dans la colonne d'eau (niveau 1), en dessous de la surface du sable (niveau 3) dans le gravier (niveau 6) ou à la sortie (niveau 7), est présentée sur *la figure 4, p.48*. Du début au 14^{ème} jour, les teneurs en MES à l'entrée après décantation, diminuent en concentration de 90 à 41 mg/L. Mais on note une légère augmentation de la concentration entre le 4^{ème} jour et 8^{ème} jour passant de 68 à 87 mg/L (*Tableau 10 et Figure 4*).

Au niveau 1 (à la surface du lit de sable) les teneurs en MES fluctuent du début à la fin du cycle de filtration allant de 45 à 49 mg/L atteignant une valeur de 65 mg/L au 11^{ème}. La concentration moyenne en MES à ce niveau est de 48 mg/L, soit un taux de réduction par rapport aux eaux usées décantées de 26 %.

Au niveau 3 (à l'intérieur du lit de sable) la concentration en MES diminue considérablement au début mais augmente légèrement vers la fin. En moyenne le rendement épuratoire à ce niveau de filtration est de 49%.

Les concentrations à la sortie, diminuent allant de 59 à 17 mg/L avec une moyenne de 22 mg/L, soit un taux de réduction des MES à 66% par rapport aux eaux usées décantées.

L'abattement par rapport aux eaux usées brutes dont la valeur moyenne est de 844mg/L, est de 97%.

Niveaux	Minima	Maxima	Moyennes	Rendements / eaux usées décantées
Entrée (eau décantée)	41	90	65	référence
Niveau 1	38	65	48	26%
Niveau 3	21	58	33	49%
Sortie (niveau 6)	04	59	22	66%

Tableau 4 : une synthèse des résultats des MES exprimés en mg/L :

3.1.2: La DCO :

Du début à la fin de filtration, on note une tendance à la baisse pour le DCO aussi bien à l'entrée qu'à l'intérieur ou à la sortie. Une réduction importante est observée, surtout à la sortie avec une variation allant de 424 à 163 mg de O₂ / L (*Tableau 11 et figure 5*).

La valeur moyenne de la DCO du filtrat est de 243 mg de O₂ /L soit un taux de réduction de 73 % par rapport aux eaux usées décantées (*Tableau 6, p. 46*).

Le rendement épuratoire par rapport aux eaux usées brutes de valeur moyenne de 1556 mg de O₂ /L est de 84 %.

Niveaux	Minima	Maxima	Moyennes	Rendements
Entrée (eau décantée)	753	1018	910	référence
Niveau 1	268	574	412	55%
Niveau 3	217	433	289	68%
Sortie (niveau 6)	163	424	243	73%

Tableau 5: une synthèse des résultats de la DCO en mg /L.

3.1.3: La DBO₅ :

On note une diminution de ce paramètre suivant les trois seules mesures que nous avons réalisées, à l'entrée, à l'intérieur du lit de sable comme à la sortie après filtration (*Tableau 12*).

Le rendement par rapport aux eaux usées décantées est de 89%, considéré comme satisfaisant. Alors que ce taux calculé par rapport aux eaux usées brutes dont la valeur moyenne en DBO₅ situant à 1100 mg /L, donne 96%.

Niveaux	Minima	Maxima	Moyennes	Rendements
Entrée (eau décantée)	340	500	420	référence
Niveau 1	180	180	180	57%
Niveau 3	140	200	170	59%
Sortie (niveau 6)	35	60	47	89%

Tableau 6 : une synthèse des résultats de la DBO5 en mg /L.

3.1.4: L'Azote Kjeldahl total :

La concentration en azote total diminue progressivement de l'entrée, à l'intérieur jusqu'à la sortie, mais avec une fluctuation notable de celle-ci autour du 8^{ème} jour (*Tableau 13 et Figure 6*).

Le taux réduit en N_{TK} par rapport aux eaux usées décantées est de 45% ; alors que par rapport aux eaux usées brutes on obtient 52%.

Niveaux	Minima	Maxima	Moyennes	Rendements
Entrée (eau décantée)	118	163	141	référence
Niveau 1	80	103	91	35%
Niveau 3	76	96	86	39%
Sortie (niveau 6)	66	98	77	45%

Tableau 7: une synthèse des résultats de l'Azote Kjeldahl total N_{TK} en mg /L.

3.1.5: Le Phosphore total :

Pour ce paramètre, une évolution décroissante de la concentration est constatée, mais avec des rendements plus faibles (Tableau 9 et Figure8).

Les rendements épuratoires en phosphore total par rapport aux eaux usées décantées et aux eaux usées brutes sont respectivement 40% et 48%.

Niveaux	Minima	Maxima	Moyennes	Rendements
Entrée (eau décantée)	18	23	20	référence
Niveau 1	11	19	16	20%
Niveau 3	10	17	14	30%
Sortie (niveau 6)	07	16	12	40%

Tableau 8 : une synthèse des résultats du Phosphore total P_T en mg /L.

3.2: Evolution de la quantité (en mg/L) des facteurs caractéristiques des eaux polluées, de la décantation à la filtration lente à sable, au niveau de la station d'épuration expérimentale à l'ONAS Cambérène :

3.2.1: Les quantités (en mg/L) de MES :

Tableau 9

Niveau	Eaux brutes	Eaux décantées 2	Niv.1	Niv.3	Niv.6
Période					
28/08/06 (2 ^{ème} jour)	784	90	45	58	59
30/08/06 (4 ^{ème} jour)	604	68	38	21	04
03/09/06 (8 ^{ème} jour)	1224	87	45	27	11
06/09/06 (11 ^{ème} jour)	900	41	65	34	17
09/09/06 (14 ^{ème} jour)	708	41	49	27	17

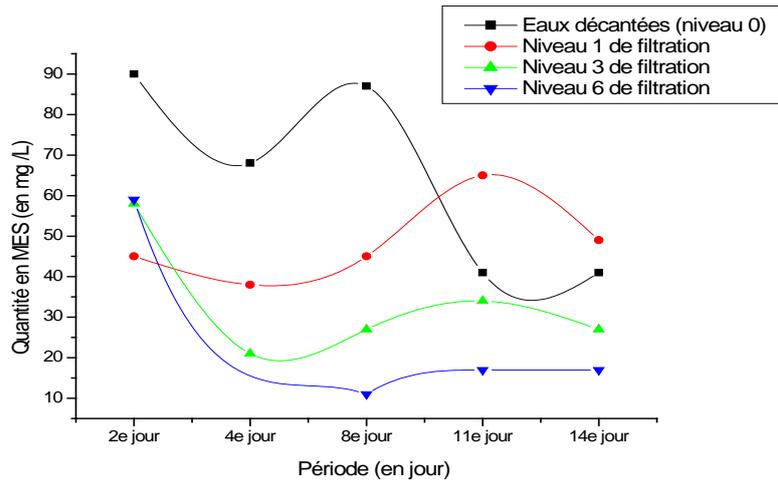


Figure 4 : Evolution des quantités de MES en fonction des niveaux de filtration et du temps

3.2.2: Les quantités de D.C.O. :

Tableau 10

Période	Niveau	Eaux brutes	Eaux décantées 2	Niv.1	Niv.3	Niv.6
28/08/06 (2 ^{ème} jour)		1400	1018	574	433	424
30/08/06 (4 ^{ème} jour)		1476	989	502	313	250
03/09/06 (8 ^{ème} jour)		1692	983	435	242	199
06/09/06 (11 ^{ème} jour)		1613	809	280	240	181
09/09/06 (14 ^{ème} jour)		1598	753	268	217	163

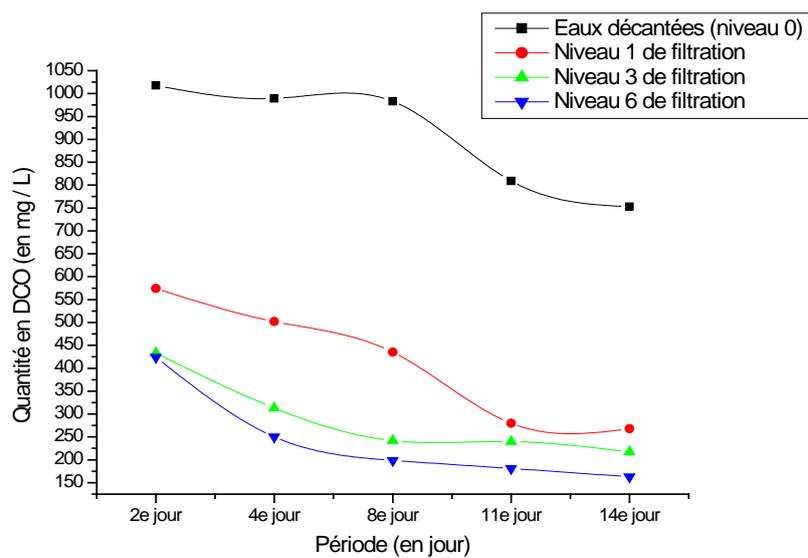


Figure 5 : Evolution des quantités de DCO en fonction des niveaux et du temps

3.2.3: Les quantités en D.B.O.₅ :

Niveau	Eaux brutes	Eaux décantées 2	Niv.1	Niv.3	Niv.6
Période					
28/08/06 (2 ^{ème} jour)	450	340	180	200	60
01/09/06 (6 ^{ème} jour)	775	420	175	170	48
05/09/06 (10 ^{ème} jour)	1100	500	180	140	35

Tableau 11

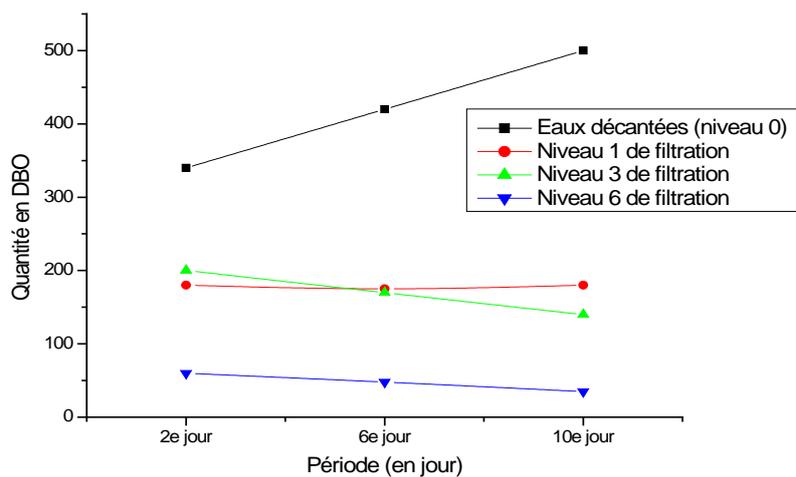


Figure 6 : Evolution des quantités de DBO₅ en fonction des niveaux et du temps

3.2.4: Les quantités en Azote Kjeldahl Total N_{TK} :

Niveau	Eaux brutes	Eaux décantées 2	Niv.1	Niv.3	Niv.6
Période					
28/08/06 (2 ^{ème} jour)	160	163	103	96	98
30/08/06 (4 ^{ème} jour)	141	118	90	87	71
03/09/06 (8 ^{ème} jour)	172	154	91	88	75
06/09/06 (11 ^{ème} jour)	169	138	89	83	73
09/09/06 (14 ^{ème} jour)	152	133	80	76	66

Tableau 13

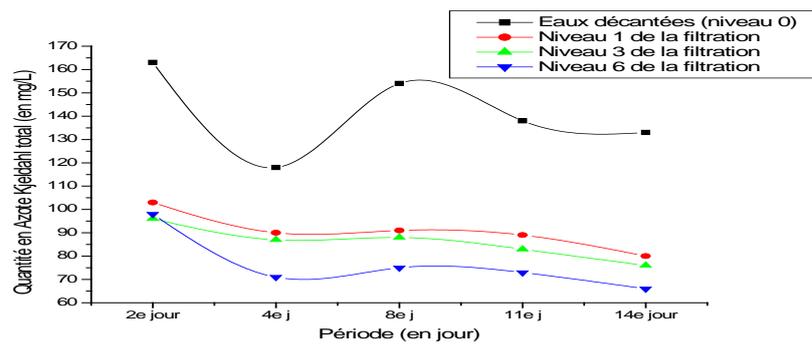


Figure 7 : Evolution des quantités d'Azote K. total en fonction des niveaux et du temps

3.2.5: Les quantités en Phosphore total :

Niveau	Eaux brutes	Eaux décantées 2	Niv.1	Niv.3	Niv.6
Période					
28/08/06 (2 ^{ème} jour)	20	23	18	14	16
30/08/06 (4 ^{ème} jour)	21	18	17	15	12
03/09/06 (8 ^{ème} jour)	28	21	19	17	12
06/09/06 (11 ^{ème} jour)	25	19	15	13	11
09/09/06 (14 ^{ème} jour)	19	20	11	10	7

Tableau 13

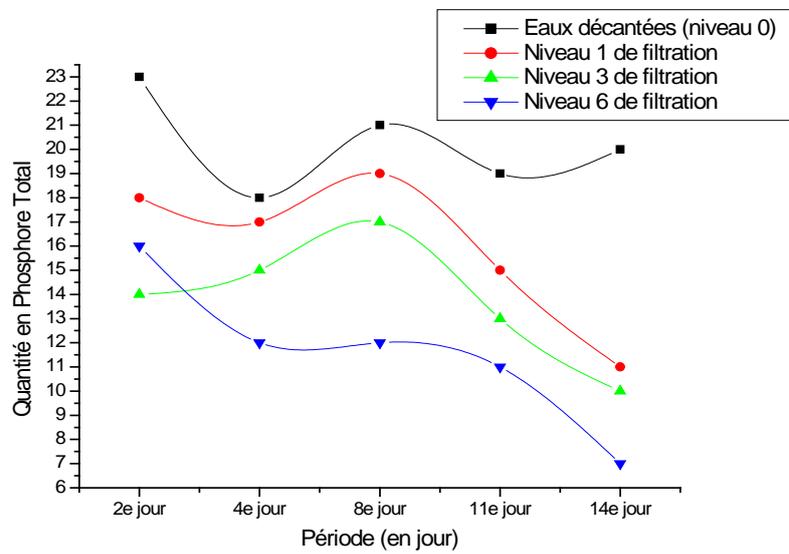


Figure 8 : Evolution des quantités de Phosphore total en fonction des niveaux et du temps

3.2.6: L'évolution du pH :

Il faut noter que la filtration lente sur sable n'a pas d'influence sur le pH des eaux usées.

Niveau	Eaux brutes	Eaux décantées 2	Niv.1	Niv.3	Niv.6
Période					
28/08/06 (2 ^{ème} jour)	7,82	7,69	7,96	7,83	7,78
30/08/06 (3 ^{ème} jour)	7,73	7,66	7,93	7,85	7,76
03/09/06 (8 ^{ème} jour)	7,80	7,72	7,72	7,76	7,57
06/09/06 (11 ^{ème} jour)	8,01	7,87	7,89	8,0	7,77
09/09/06 (14 ^{ème} jour)	7,89	7,91	7,65	7,62	7,53

Tableau 15

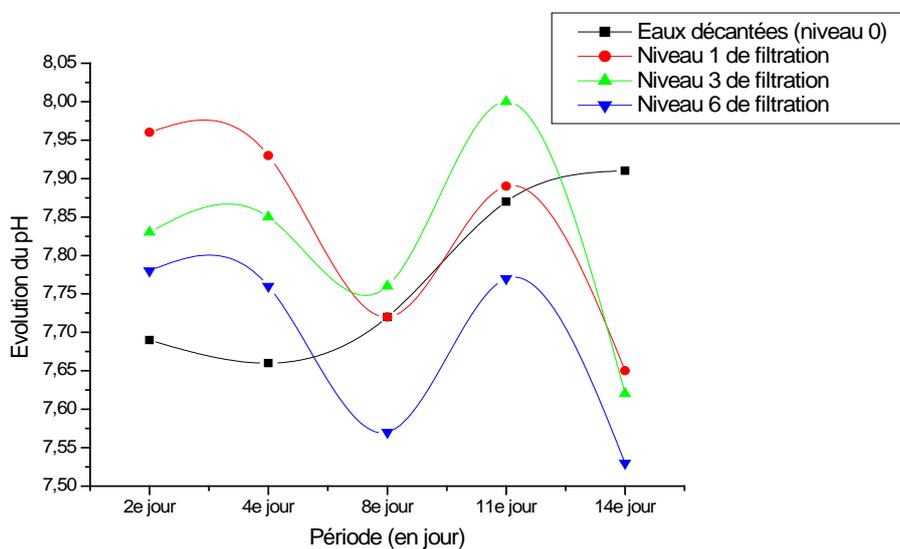


Figure 9 : Evolution du pH en fonction des niveaux et du temps

3.2.7: L'évolution du taux d'oxygène (en mg / L) au cours de la phase de décantation (des eaux brutes à la surface du lit de sable :

Le taux d'oxygène diminue progressivement et de façon considérable au cours de la filtration à partir du niveau 0 (eaux décantées).

Période	5 ^e j	6 ^e j	9 ^e j	10 ^e j	11 ^e j	12 ^e j	13 ^e j
Niveau							
Eaux brutes	0,2	1,7	2	1,6	1,7	2,2	2
Niveau1	0,1	0	0,04	0,2	0,01	0,14	0,015
Niveau7	0,05	0,5	0,02	0,05	0	0,06	0,01

Tableau 15

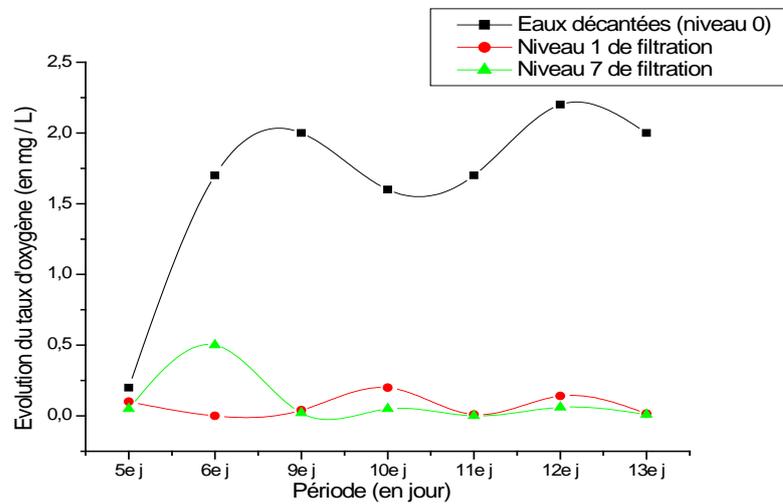


Figure 10 : Evolution du taux d'oxygène en fonction des niveaux et du temps

3.2.8: La mesure des pertes de charges effectuées à différents niveaux de la colonne et exprimées en cm d'eau:

Les pertes de charges évoluent progressivement de façon croissante et fluctuante suivant les différents niveaux du film, du début jusqu'au 9^{ème} jour, puis augmentent exponentiellement et deviennent relativement constante du 13^{ème} jour jusqu'au colmatage. Cette évolution traduit probablement l'existence de courts circuits répétitifs à travers le lit de sable entre le 3^{ème} et le 8^{ème} jour permettant le colmatage si rapide du filtre (après un cycle de 14 jours).

Toutefois, ces résultats sont confirmés par le comportement du niveau 2 de la colonne de filtration, qui n'enregistre pas de perte de charge.

Niveau	1	2	3	4	5	6
Période						
2 ^e jour	0	0	3,4	3,6	3,8	4
3 ^e jour	0,5	0,5	3,3	4	4,3	5
4 ^e jour	6,3	0,5	6,7	7,4	9,5	11
5 ^e jour	5	0,5	9,5	8,3	10,4	12,2
6 ^e jour	9,1		10,3	13	14,5	15,1
7 ^e jour	12,5		14	15	16,2	16
8 ^e jour	11,4		17,2	18,3	18,8	20
9 ^e jour	13		23,5	23,5	23,5	22
10 ^e jour	13,5		24	24,5	24,7	23,5
11 ^e jour	14		25,5	26	25,5	23,8
12 ^e jour	14,3		26,5	26,6	25,9	24
13 ^e jour	14,5		26,8	26,8	26,2	23,8
14 ^e jour	14,6		26,7	27	26,4	23,7
15 ^e jour	14,5		26,8	26,9	26,5	23,6

Tableau 16

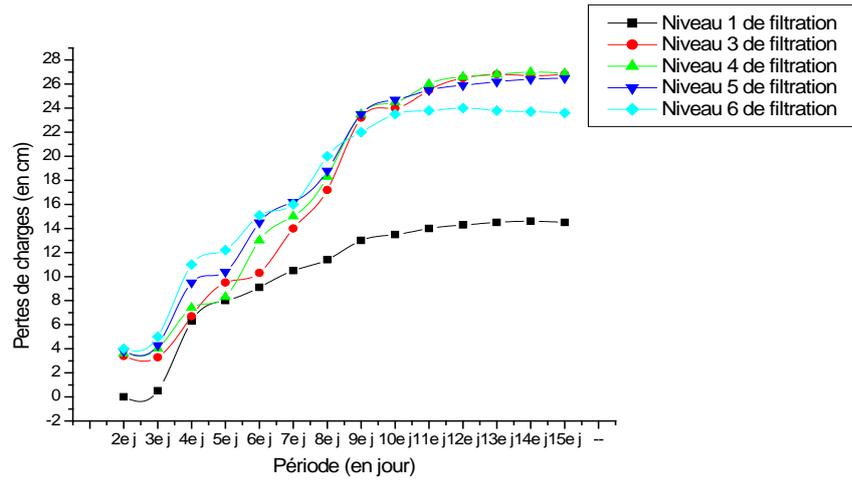


Figure 11 : Evolution des pertes de charge en fonction des niveaux et du temps

❖ *Conclusion partielle*

Dans cette étude expérimentale nous avons procédé à la filtration lente sur sable en diminuant le temps de décantation des eaux usées brutes de 12 jours (*TINE M., 2005*) à deux jours. Puisque dans les zones à habitations denses et peuplées, comme les quartiers de la banlieue de Dakar où il y a une utilisation très importante de l'eau, il est plus urgent de penser à un traitement des eaux usées en un temps court.

L'étude a montré qu'avec un sable grossier de diamètre moyen égale à 0,58 mm et un flux de filtration d'environ 0,08 m/h, on obtient un cycle de filtration relativement court de 14 jours contre 140 jours pour le procédé de Maimouna TINE (*DEA 2005*).

Ce système de décantation très court suivi d'une filtration lente sur sable a permis une réduction sensible des pollutions primaires et secondaires, avec comme résultats une réduction de 97% de la concentration en MES, de 84% de la DCO, 96% de la DBO₅, 52% de l'azote total et 48% du phosphore total des eaux usées brutes dessablées.

Les résultats expérimentaux montrent que c'est le film et non la colonne d'eau surnageant qui joue un rôle important dans le processus d'élimination de la pollution, avec une réduction de 26% des MES, 55% de la DCO, 57% de la DBO₅, 35% de N_{TK} et 20% de P_T par rapport aux eaux usées décantées.

La diminution de la DCO et de la DBO₅ est due à la présence des microorganismes aérobies qui apparaissent à partir du 5^{ème} jour de la filtration en faisant diminuer le taux d'oxygène considérablement durant tout le reste du cycle (du 5^e au 13^e jour).

Cette dépollution est la conséquence des processus d'élimination physiques, chimiques, et biologiques. La présence visible d'insectes, de larves et d'algues est le signe d'une activité biologique importante.

Les pertes de charges évoluent progressivement de façon croissante mais fluctuante suivant les différents niveaux de la colonne, du début jusqu'au 9^{ème} jour, puis augmentent exponentiellement et deviennent relativement constante du 13^{ème} jour jusqu'au colmatage. Cette évolution traduit probablement l'existence de courts circuits répétitifs à travers le lit de sable entre le 3^{ème} et le 8^{ème} jour permettant le colmatage si rapide du filtre après un cycle de 14 jours.

En résumé, les résultats de cette filtration lente à sable avec en moyenne 22 mg /L en MES, 243 mg /L en DCO, 47 mg /L en DBO₅, 77 mg/L en N_T et 12 mg /L en P_T dans les eaux filtrées et les concentrations limites applicables au Sénégal au rejet d'eaux usées dans le milieu naturel (50 mg /L en MES, 100 – 200 mg/L en DCO, 40 – 80 mg/L en DBO₅ , 30 mg/L en Azote total, 10 mg /L en Phosphore total) sont comparables. Même si par ailleurs, les charges dans les eaux usées prétraitées fluctuent en quantité du 1^{er} jour au 14^{ème} jour de l'expérimentation.

Comparés aux résultats moyens du laboratoire de la station de l'ONAS à Cambérène dans la même période, on peut dire que nos résultats sont acceptable (*Annexe 4*).

Hormis les défaillances techniques, il apparaît que la décantation suivie de filtration lente sur sable donne des effluents de qualité pour un rejet dans un milieu naturel même si le temps de décantation est court.

Par ailleurs, les eaux usées provenant de l'agriculture et de l'élevage pouvant entraîner des résidus d'engrais et de pesticides (nitrates, phosphates) sont parfois collectées et traitées avec les autres types d'eaux usées domestiques et industrielles, et avec les eaux de pluie et de ruissellement.

Et puisque ces eau x usées agricoles contenant des polluants pesticides sont difficilement collectées, nous avons utilisé des eaux similaires, à partir d'eaux usées clarifiées moins chargées et riches en pesticides, pour étudier la capacité de rétention de ces polluants par la méthode de la filtration lente sur sable.

CHAPITRE III: LA CAPACITE DE RETENTION DES PESTICIDES DES EAUX USEES AGRICOLES PAR LA FILTRATION LENTE SUR SABLE.

Dans cette partie expérimentale, nous voulons évaluer la capacité de rétention des pesticides par la filtration lente sur sable. Les eaux usées utilisées sont les eaux usées clarifiées moins chargées et riches en pesticides.

Il s'agira de suivre l'évolution de la concentration des pesticides étudiés par spectrophotométrie dans ces eaux usées similaires à des eaux usées agricoles au cours de la filtration lente sur sable.

Selon la loi de Beer Lambert, l'évolution de la concentration d'un produit en solution est proportionnelle à celle de l'absorbance mesurée par le spectrophotomètre UV-Visible, suivant la formule :

$$A = \epsilon.L.C$$

avec ϵ = coefficient d'absorption molaire (en $\text{l.mol}^{-1}.\text{cm}^{-1}$) ;

L = largeur de la cuve (en cm) ;

C = concentration de l'espèce absorbante (en mol.l^{-1}). Pour l'appareil utilisé L = 1cm.

III.1: Les Techniques expérimentales :

1.1: Dispositif, appareillage et mesures:



Photos 7 :

7. a/ Dispositif expérimental de la filtration lente sur sable à un fût à côté du bassin clarificateur



7.b/ Spectrophotomètre UV - Visible : pour détermination des spectres d'absorption des produits étudiés

Nous avons utilisé pour la détermination des spectres d'absorption des produits étudiés un Spectrophotomètre UV – Visible (Spectrophotomètre Hélios Gamma Thermo Spectronic) reliée à une imprimante matricielle EPSON LQ 1170, un réacteur photochimique qui comprend : une

source d'irradiation Oriel (modèle 6137) munie d'une lampe à mercure de puissance 200 W, une boîte d'alimentation Oriel (modèle 8500).

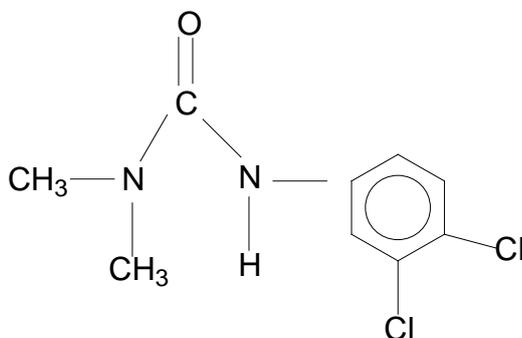
1.2: Les Produits utilisés:

Les produits étudiés sont le Diuron, le Maneb et le Carbofurane). Ce sont des produits commerciaux pour usage dans l'agriculture et en hygiène publique. Ils sont obtenus au niveau des magasins de la SPIA, au marché du Port et de l'Etablissement Traoré et Fils.

1.2.1: Le diuron :

Les principales caractéristiques du diuron sont les suivantes :

- Formule chimique : $C_9H_{10}Cl_2N_2O$;
- Nom chimique : 3-(3,4-dichlorophenyl)-1,1-diméthylurea ;
- Etat physique : solide cristallin, blanc, inodore ;
- Masse moléculaire : 233,1 g / mol ;
- Solubilité : le diuron est soluble dans l'Acétonitrile ;
- Point de fusion : 158,5 ° C ;
- Stabilité : le diuron est instable à haute température et se décompose à 189° C en diméthylamine et isocyanate de dichloro-3,4 phényle.
- Structure chimique :

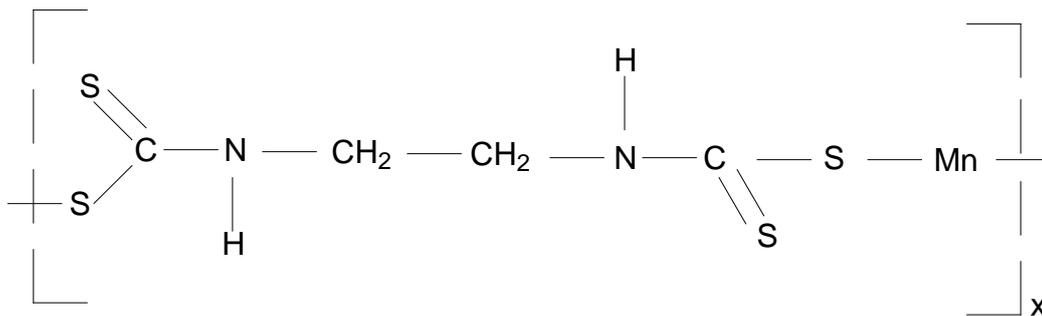


Le diuron est un herbicide de la famille des phénylurées substitués. Il est utilisé principalement pour lutter contre la végétation sur les surfaces non cultivées, notamment dans les fosses d'irrigation et de drainage. C'est un composé non ionique, son taux d'hydrolyse négligeable, à un pH neutre qui augmente rapidement en milieu acide ou alcalin. Le diuron est stable vis-à-vis de l'oxydation et de la dégradation et persiste dans les sols pendant une saison complète.

1.2.2: Le Maneb :

Ces caractéristiques sont les suivantes :

- Sa formule chimique : $C_4H_6MnN_2S_4$;
- Au point de vue de l'activité biologique, c'est un fongicide ;
- Au point de vue de la nomenclature chimique, il s'agit de l'éthylène (bis) dithiocarbamate de manganèse ;
- Au point de vue de la formulation, il est disponible en tant que poudre granulaire et mouillable, concentré fluide. Les formulations sont prêtes à être employées ;
- Au point de vue des propriétés physiques:Le Maneb est une poudre jaune qui dégage une certaine odeur. C'est un polymère, avec des unités éthylène (bis) dithiocarbamate liées à du manganèse ;
- son poids moléculaire : 265,29 g / mol ;
- sa solubilité dans l'eau : 6 mg / l ;
- sa structure chimique :



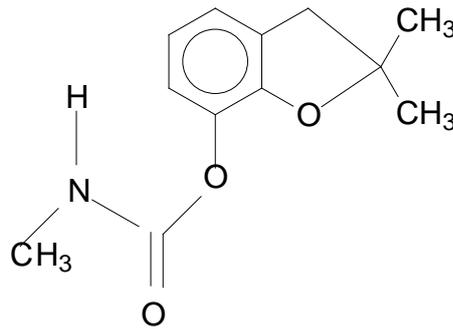
Le Maneb est utilisé pour le traitement de diverses maladies des végétaux supérieurs tels que les pommes de terre et les tomates, et pour le traitement de beaucoup d'autres maladies des fruits, des légumes, des cultures de plein champ. Le Maneb est utilisé pour prévenir un éventail de maladies.

1.2.3: Le carbofurane :

Les caractéristiques du carbofurane sont réparties comme suit :

- Sa formule chimique : $C_{12}H_{15}NO_3$;
- Son nom systématique : 2,3-dihydro-2,2-diméthyl-7-benzo-furanolN-méthylcarbamate
- Au point de vue de l'activité biologique, le carbofurane à 98% est utilisé à la fois comme fongicide, herbicide et insecticide ;
- Au point de vue de la famille chimique, il est de la famille des carbamates ;
- Au point de vue de sa stabilité, il est stable en milieu neutre ou acide, mais instable en milieu alcalin et se dégrade par voie d'hydrolyse et par voie microbienne ;

- Au point de vue de sa solubilité, il est légèrement soluble dans l'eau ;
- Sa structure chimique :



Un pesticide carbamate à large spectre, le carbofuran est utilisé contre les ravageurs terrestres et foliaires des champs, des fruits, des légumes et des peuplements forestiers.

1.3: La préparation des solutions :

Pour la préparation des solutions, on procède de la manière suivante :

- Dissolution des produits : le Diuron étant très soluble dans l'eau, sa dissolution ne pose pas de problème ; alors que la dissolution du Maneb et du carbofuran dans l'eau nécessite l'utilisation d'un four à micro onde;
- Solutions préparées : Les eaux clarifiées prélevées à la station d'épuration de Cambérène sont utilisées au cours des séances expérimentales. Pour le Maneb et le carbofuran, les solutions sont préparées avec l'eau du Robinet afin de les dissoudre à l'aide du four à micro-onde, avant de les acheminer à la station de l'ONAS à Cambérène pour les introduire dans la colonne de filtration, la veille de l'expérimentation.

1.4: Les échantillonnages :

Les échantillons sont prélevés à différents niveaux dans les eaux de la colonne de la filtration, dans la solution surnageante (niveau 0), au niveau du sable (niveaux 2 et 4), au niveau du gravier (niveau 6) et à la sortie du drainage.

Les prélèvements sont effectués entre 10 h et 15h en trois phases à des intervalles de 2 h à 3 h de filtration.

Les solutions prélevées sont mises dans des bouteilles en verre ou en plastique et portées immédiatement au laboratoire LPA à l'UCAD où il est procédé à leur analyse.

1.5: La détermination de l'abattement après filtration des produits étudiés :

Nous avons déterminé à partir des spectres les absorbances des produits:

- dans l'eau pure ;
- dans les eaux clarifiées correspondant au niveau 0, qui sera considérée comme la mesure de référence ;
- dans les eaux filtrées suivant différents niveaux de la colonne du filtre à sable.

La détermination de l'abattement consécutive à la filtration des produits, suivant les différents prélèvements des niveaux de la colonne est obtenu comme suit :

$$\checkmark \text{ Abattement} = (\text{absorbance du produit dans la solution clarifiée « niveau 0 »} - \text{absorbance du produit dans la solution filtrée « niveau x »}) / \text{absorbance du produit dans solution niveau 0.}$$

N.B. : Il faut noter que l'absorbance des impuretés dans les différentes solutions est considérée comme négligeable, puisque l'étude spectrale de ces solutions sans pesticides ne montre pas la présence de ces derniers.

III.2: Résultats et discussions :

2.1: Pour le Diuron :

Dans l'eau pure, le Diuron absorbe à une longueur d'onde égale à 247,5 nm avec une absorbance de 1,788 A, alors que dans la solution clarifiée le Diuron absorbe au même rayonnement avec une absorbance de 2,234 A. Par contre cette solution clarifiée sans Diuron n'absorbe pas à cette longueur d'onde.

Après filtration de la solution de Diuron par le filtre à sable, les échantillons prélevés à différents niveaux 2, 4, 6 et à la sortie, donnent les résultats de mesures d'absorbance consignés dans le tableau suivant :

Période	Après 2 heures	Après 4 h	Après 6 h	Absorbance moyenne	Rendement
(0)	2,234	2,234	2,234	2,234	référence
(2)	2,072	2,003	2,291	2,122	05%
(4)	1,793	1,868	2,019	1,893	15%
(6)	2,186	2,220	2,260	2,222	0,5%

Tableau 17 : Evolution de l'absorbance lors de la filtration de la solution à Diuron.

➤ L'analyse de ces résultats montre qu'il y a :

- Une réduction de l'absorbance au niveau (0) et au niveau (4) avec un abattement allant jusqu'à 15% correspondant à une infiltration relativement faible ;
- Puis une augmentation de cette absorbance au niveau (6) qui semble correspondre à une accumulation des pesticides dans le gravier. La réduction est très faible, le taux de rétention du pesticide de 0,5%.

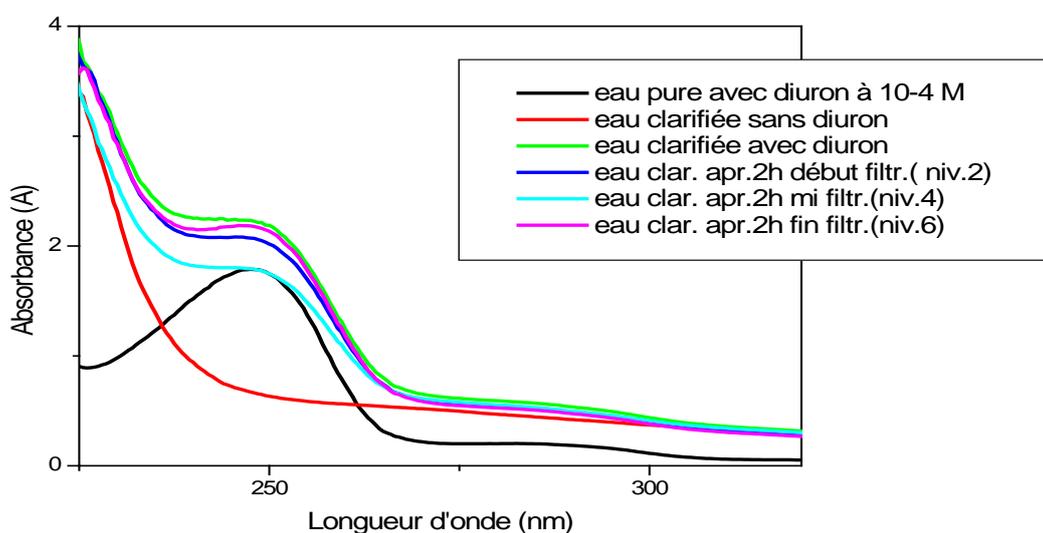


Figure 12: Evolution de l'absorbance du Diuron après deux heures de filtration :

2.2: Pour le Maneb :

Le Maneb absorbe à 275,5 nm dans l'eau pure et dans l'eau clarifiée avec respectivement des absorbances de 0,234 A et 1,024 A.

Les eaux filtrées recueillies dans le sable, le gravier et à la sortie, donnent les résultats suivants :

Période Niveau	Après 2 heures	Après 4 h	Après 7 h	Absorbance moyenne	Rendement
(0)	1,024	1,024	1,024	1,024	référence
(2)	0,769	0,859	0,868	0,832	19%
(4)	0,761	0,850	0,886	0,832	19%
(6)	0,790	0,842	0,897	0,843	18%
sortie	0,837	0,853	0,919	0,870	15%

Tableau 19 : Evolution de l'absorbance lors de la filtration de la solution à Maneb.

➤ Les résultats de cette analyse montrent:

- une réduction de l'absorbance du niveau (0) et au niveau (4) avec un taux de rétention du produit de 19% correspondant à une faible rétention ;
- une augmentation de l'absorbance au niveau (4) à la sortie soit des réductions du taux à 18% et à 15% respectivement.

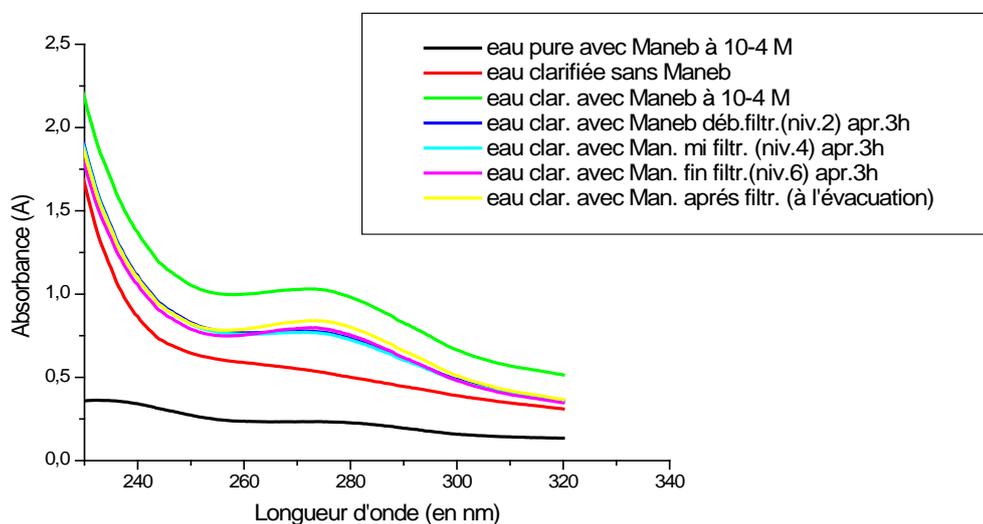


Figure 13 : Evolution de l'absorbance du Maneb au cours de la filtration après deux heures.

La solution d'eau clarifiée contenant le Maneb est diluée deux fois, elle absorbe à 275,5 nm et l'absorbance est de 0,232 A. La solution de Maneb diluée deux fois, et filtrée donne les résultats suivants:

Niveau	Période	Après 3 h	Après 5 h	Après 7 h	Absorbance moyenne	Rendement
(0)		0,232	0,232	0,232	0,232	Référence
(2)		0,157	0,169	0,189	0,172	26%
(4)		0,124	0,172	0,202	0,166	28%
(6)		0,173	0,196	0,208	0,192	17%
sortie		0,211	0,184	0,181	0,192	17%

Tableau 19: Evolution de l'absorbance lors de la filtration de la solution diluée à Maneb

Les résultats de l'analyse sur la rétention du Maneb dans la solution diluée sont les mêmes que ceux pour les solutions non diluées, mais avec une augmentation du taux de rétention allant de 28% du ni veau (0) au niveau (4) et de 17% du ni veau (4) à la sortie. On note que l'absorbance a diminué à la sortie au cours de la filtration.

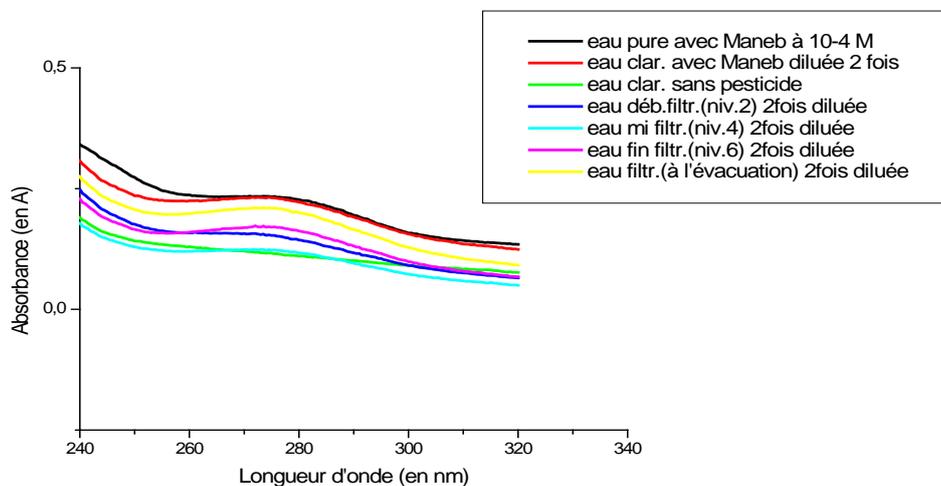


Figure 14 : Evolution de l'absorbance de la solution diluée du Maneb après deux heures de filtration:

2.3 : Le Carbofurane :

Les résultats expérimentaux montrent que le Carbofurane absorbe la longueur d'onde de 199 nm dans l'eau pure avec une absorbance de 0,479A ; alors que dans l'eau clarifiée, il n'absorbe pas.

Deux explications peuvent être avancées :

- le produit s'est dégradé, 24 heures après sa préparation, puisque les eaux clarifiées utilisées ont un pH légèrement basique, milieu où le Carbofurane ne peut persister longtemps;
- des interférences destructives ont eu lieu entre le produit et les impuretés qui se trouvent dans l'eau clarifiée relativement chargée.

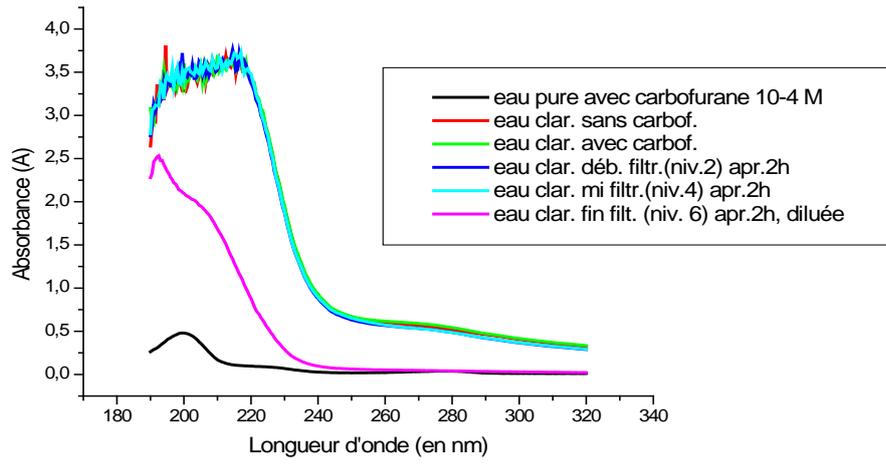


Figure 15 : Evolution de l'absorbance du Carbofurane après deux heures de filtration.

❖ *Conclusion partielle:*

Pour déterminer les risques de contamination des eaux souterraines, la méthode spectrophotométrique (U.V. – Visible) par absorption a été utilisée pour voir la capacité de migration des pesticides dans les sols humides.

Cette étude expérimentale nous a permis de voir que la capacité de rétention des pesticides par le procédé de filtration lente sur sable est faible. Cela est dû à leur capacité d'infiltration dans les sols suivant des vitesses variées.

Les résultats de cette étude montrent que pour le Diuron comme pour le Maneb, la concentration de produit est réduite de l'entrée (niveau 0) au niveau(4) avec des taux de rétention allant de 05% à 15% pour le Diuron, et aux environs de 19% pour le Maneb.

Ce faible taux de rétention pour le Diuron est certainement dû à sa vitesse d'infiltration élevée dans les sols qui est de 76,2 cm /heure ; alors que le Maneb avec sa faible vitesse d'infiltration de 1,22 cm / heure, reste plus de temps dans les sols (*Isseulmou O H Meidy, 2007*).

L'infiltration des pesticides dans les sols est confirmée par une élévation de leur concentration dans le gravier et à la sortie où ces derniers peuvent s'accumuler par lessivage ou par dissolution sélective.

Ces résultats démontrent donc que la pollution des eaux de surface et des eaux souterraines est possible par les pesticides. Le Diuron et le Maneb comme beaucoup d'autres pesticides constituent des risques potentiels pour les nappes superficielles et phréatiques.

CONCLUSION

Ce travail nous a permis de faire le diagnostic de la filière pesticide, d'étudier l'épuration des eaux usées domestiques et d'étudier aussi la capacité de rétention des pesticides dans les eaux usées agricoles par la méthode de la filtration lente sur sable.

L'analphabétisme des agriculteurs, les difficultés relatives à la réglementation et au suivi de toute la filière pesticide, la non disponibilité des résultats d'analyses (produits agricoles et milieux contaminés par les pesticides) qui par ailleurs, coûtent excessivement chères, ne permettent pas de disposer de bonnes connaissances pour une bonne gestion de ces produits.

Soumises aux pollutions, les eaux de surface, les nappes souterraines et les sols se dégradent. Ces perturbations proviennent de plusieurs facteurs, dont l'utilisation des engrais et des pesticides par les agriculteurs en ce qui concerne la pollution chimique.

Pour faire face à cela, les populations locales avec l'appui des structures étatiques (la D.P.V.) et non étatiques (ENDA Pronat., ONGs) ont développé des stratégies de lutte telles que la lutte biologique permettant de réduire l'usage des pesticides.

Cependant, ces stratégies de lutte se heurtent à des difficultés naturelles (sécheresse, vent, houles, fortes évaporations,...), financières (manque de financement des projets), mais aussi anthropiques (usage exagéré des produits chimiques tels que les pesticides par les agriculteurs et les maraîchers).

Il est donc urgent de mettre en place un cadre de gestion intégrée fonctionnelle et un cadre permanent de suivi de la gestion des produits chimiques et une articulation entre programmes sous-régionaux et régionaux sur les produits chimiques dont les pesticides et les engrais.

Par ailleurs, le développement des activités industrielles sans une réelle prise en compte de la dimension environnementale est, en majeure partie à l'origine de l'importance des volumes d'eaux résiduaire. Combinés à ceux des eaux usées domestiques, rejetées en milieu marin à l'état brut, ou après prétraitement. On assiste ainsi à la pollution des eaux superficielles (par ruissellement et par rejet de déchets) par des matières actives comme le Maneb qui a une vitesse d'infiltration faible de l'ordre de 2.10^{-2} cm /minute (*Isseulmou O H Meidy, 2007*), et aussi à la

pollution des eaux souterraines (par infiltration), par des pesticides comme le Diuron avec un taux faible de rétention par les sols allant de 05 à 15%.

La protection de l'environnement implique impérativement de préserver les ressources en eau. Des efforts constants ont ainsi été réalisés depuis plusieurs décennies pour améliorer les procédés de traitement des eaux usées et limiter l'impact sur l'environnement des rejets urbains et industriels (Baie de Hann à Dakar).

Mais il reste à faire des études très poussées sur la nature et l'impact des micropolluants des eaux usées traitées à des fins de réutilisation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1- **Adin A. et al, (1997) ; Fujii S. et al, (1987) ; Huisman L. et Wood W. E. (1975).** La filtration lente sur sable. Organisation mondiale de la santé, Genève, 127 p.
- 2- **BEYE Mamadou Lamine (2002).** Test de toxicité de l'Endosulfan sur *Paederus riftensis*, prédateur de ravageurs de coton. Mémoire de DEA. Institut des Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal.
- 3- **Centre de Recherches pour le Développement International (1998).** Recherche – Impact. Revue africaine de vulgarisation des résultats de recherche – développement, Dakar, Sénégal, N° 01, 32 p., pp. 4-5.
- 4- **Comité Sahélien des Pesticides (1999).** Réglementation Commune aux Etats membres du Comité permanent Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel sur l'homologation des pesticides, version révisée.
- 5- **Conseil Interministériel sur la Baie de Hann (2001).** Rapport sur la dépollution des rejets d'eaux usées domestiques et industrielles dans la Baie de Hann – DEEC / MEPN, Dakar, Sénégal, 2p.
- 6- **Convention de STOCKHOLM (2003).** Brochure d'information : débarrasser le monde des Polluants Organiques Persistants ; Genève, Suisse ;
- 7- **Croplife (2006).** Atelier de mise à niveau organisé en décembre 2006 par Croplife Sénégal à l'intention des journalistes à travers le programme africain de stocks de produits périmés (PASP) ;
- 8- **DEEC / MEPN en collaboration avec TECSULT INC. (2005).** Rapport d'étude sur la gestion de la pollution industrielle dans la Baie de Hann et les stratégies de contrôle de la pollution, 52 p.
- 9- **DEEC/MEPN (2001).** Code de l'Environnement ;
- 10- **DEEC/MEPN et le Centre Régional de la convention de Bâle (2005).** Rapport national sur la gestion des huiles usées dans le secteur informel. Version provisoire, 49 p.
- 11- **DEGREMONT (1989).** Memento Technique de l'eau, 9^{ème} édition, Tome 1, 592 p.
- 12- **DIOP Bécaye Sidy et MBENGUERE Mbaye (2004).** Document de cours en Techniques d'épuration des eaux usées domestiques.
- 13- **DIOUF Abdou (1998).** Pesticides et réglementation : Analyse du droit positif au Sénégal. Mémoire de DEA;

- 14- **Direction certification AFNOR (1995)**, 92049 Paris La Défense, France, vol. 24, n°185, pp. 22-24.
- 15- **Direction de la prévision et de la Statistique (DPS) (2002)**. Etat de l'environnement au Sénégal. Document de stratégie de réduction de la pauvreté (DSRP);
- 16- **Direction de la prévision et de la Statistique (DPS), 2005**. Situation socio-économique du Sénégal.
- 17- **Direction du Système Informatique Douanier (DSID), 2006**. Evolution des quantités de pesticides au cours des années 2000 à 2005 en Kilogramme (Kg) ;
- 18- **Direction Hygiène Publique (DHP) à Colobane, en 2006**. Entretien avec le Directeur adjoint sur l'utilisation des pesticides par le Service d'hygiène.
- 19- **Direction pour la protection des produits végétaux (DPV), 2006**. Entretiens avec le chef du bureau du suivi et de la législation.
- 20- **Faculté des Sciences et Techniques de l'UCAD en collaboration avec la Chaire UNESCO-SIMEV de Montpellier (2007)**. Rapport de la 1^{ère} école Ouest africaine sur l'intégration des sciences et technologies à membranes, Dakar, 19 p.
- 21- **FALL Ibrahima (1997)**. Etude des propriétés herbicides d'extraits de quelques plantes courantes au Sénégal sur les adventices Mil dans la zone de Nder-Gnit (Nord Sénégal). Mémoire de DEA. Institut des Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal;
- 22- **GREEN MUSCLE (2006)**. Catalogue de L'Unité de production de pesticides biologiques de la Fondation Agir pour l'Education et la Santé (FAES), Front de Terre , Dakar, Sénégal, 6 p.
- 23- **GRO Harlem Brundtland (2002)**. Rapport sur la santé dans le monde : Réduire les risques et promouvoir une vie saine. Organisation mondiale de la santé ; Genève, Suisse. 261 p.
- 24- **GUEYE Aminata (2004)**. Etude environnementale sur les rejets et déchets dangereux dans la zone du port Autonome de Dakar. Mémoire de DEA. Institut des Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal;
- 25- **HUISMAN L. et WOOD W. E . (1975)**. Filtration lente sur sable. Publication de l'Organisation Mondiale de la Santé, Genève, Suisse, 129p.
- 26- **Isseulmou O H Meidy (2007)**, thèse de doctorat 3^{ème} cycle au Laboratoire d'Analyses et de Photochimique à l'UCAD.
- 27- **Med L O Cheikh Ould Salek (2006)**, thèse de doctorat 3^{ème} cycle au Laboratoire d'Analyses et de Photochimique à l'UCAD.

- 28- **Ministère de l'Agriculture (2004)**. Rapport du Programme de Développement des Marchés Agricoles du Sénégal (**PDMAS**). Plan de gestion des pestes et des pesticides, Dakar, Sénégal ;
- 29- **NIANE Boubacar (1990)**. Surveillance de la pollution marine au Sénégal : Analyse des métaux lourds dans les organismes marins d'importance commerciale des eaux côtières. Thèse de doctorat d'Etat en pharmacie, 212 p.
- 30- **NIANG Boubacar (1995)**. Analyse des résidus de pesticides organochlorés dans les légumes et fruits sur les marchés de DAKAR. Mémoire DEA. Institut des Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal;
- 31- **Organisation Scientifique Internationale de l'orthopterists society, avec l'Agence internationale de la Francophonie et de la Banque mondiale (2007)**. Atelier sur l'avenir des biopesticides dans la lutte contre les criquets pèlerins. Informations de base.
- 32- **Pan Africa (2006)**. Atelier d'évaluation à mi-parcours du projet international intitulé : « Pesticides et pauvreté : mise en œuvre des conventions relatives aux produits chimiques pour un développement sain et équitable », organisé en décembre 2006 par Pan Africa (Pesticides action network) avec Pan United-Kingdom ;
- 33- **Pesticides et Alternatives (2005- 2006)**. Bulletin de PAN-AFRICA. a/ 3^{ème} trimestre 2005, N° 26, 24 p. ; b/ 1^{er} trimestre 2006, N° 27, 24p.
- 34- **POSTEL Sandra (2002)**. La DERNIERE OASIS : l'eau en danger. Nouveaux horizons.
- 35- **Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD), 1996**. Rapport sur le développement humain.
- 36- **PRONK JAN (2005)**. Rapport sur le droit des populations à l'eau et à l'assainissement. Revue « WASH » : Eau – Assainissement – Hygiène. Publication auprès de la maison internationale de l'environnement, Genève, Suisse, 80 p.
- 37- **RAPPE André**. Pesticides en balance. Pesticides et Santé par l'Association pharmaceutique belge (APB) ;
- 38- **Rapport de la conférence de la Commission mondiale d'éthique des connaissances scientifiques et des technologies (2005) – UNESCO**, 4^{ème} session, Bangkok, Thaïlande, 142 p.
- 39- **SIDIBE Ramatoulaye (2004)**. Analyse par chromatographie en phase liquide (CPL) et sur couches minces (CCM) de résidus de pesticides dans les fruits et légumes de la zone des Niayes. Mémoire de DEA. Faculté des Sciences et Techniques, UCAD, Dakar, Sénégal ;
- 40- **Société des Produits Industriels et Agricoles (1980 et 2002)**. Les pesticides distribués dans les Catalogues Agrochimie. a/ vol. 1, 22 p. ; b/ vol. 2, 8 p.

- 41- **SOKONA Traoré Khonata (1998)**. Contribution à l'étude des pesticides au Mali avec référence particulière à la compagnie malienne du développement des textiles (CMDT). Mémoire de DEA. Institut des Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal ;
- 42- **The Task Committee on the Wastewater Filtration Facilities (1986)**. Tertiary filtration of wastewaters, journal of Environmental Engineering, Vol.12, 1008-1025.
- 43- **THIAM Abou (2003)**. Les Pesticides au Sénégal. Monitoring et Briefing N° 8. Pesticide Action Network in Africa, 2^{ème} édition, 43 p.
- 44- **THOMAS Olivier (1995)**. Métrologie des eaux résiduaires. Ouvrage d'enseignements à l'Ecole Supérieure d'Ingénieurs en Génie de l'Environnement et de Construction, Chambéry, 192 p.
- 45- **TINE Maimouna (2005)**. Etude expérimentale de l'épuration d'eaux usées urbaines par filtration lente à sable en milieu tropical. Mémoire de DEA. Institut des Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal;
- 46- **TOPFER Klaus (2002)**. L'eau dans tous ses états dans Atlas mondiale de l'eau. Programme des Nations Unies pour l'Environnement ;

LISTE DES ANNEXES

- **Annexe 1** : Arrêté portant création de la commission nationale de gestion des produits chimiques.
- **Annexe 2** : Les concentrations limites applicables au Sénégal au rejet d'eaux usées dans le milieu naturel (source : ISN¹ 2001).
- **Annexe 3**: Une feuille d'analyse.
- **Annexe 4** : Les valeurs moyennes mensuelles de la quantité de MES, DCO, DBO₅, N_{KT}, P_T et PH par la station de l'ONAS pour la même période (Août - Septembre).
- **Annexe 5**: Une fiche d'enquête (questionnaire).
- **Annexe 6** : Une fiche technique d'avertissement par les équipes techniques du Service Régional d'Hygiène de Dakar.
- **Annexe 7**: Structures et zones visitées et personnes rencontrées.
- **Annexe 8** : Coupe schématique du dispositif expérimental de la filtration lente sur sable (*TINE M., 2005*).