

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR

**ECOLE DOCTORALE SCIENCES DE LA VIE, DE LA SANTE ET DE
L'ENVIRONNEMENT**
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

Année : 2017 N° d'ordre : 201715



THESE DE DOCTORAT

Spécialité : Chimie et Biochimie des Produits Naturels

Présentée par :

Saliou NGOM

**CONTRIBUTION A LA REDUCTION DES RISQUES D'EXPOSITION AUX
PESTICIDES ET ENGRAIS CHIMIQUES UTILISES DANS LA ZONE DES NIAYES
PAR LA MISE AU POINT DE METHODES ALTERNATIVES**

Soutenue le 31 mars devant le jury composé de :

Président :	M. Mohamed Lamine GAYE	Professeur titulaire	FST-UCAD
Rapporteurs :	MM. MBacké SEMBENE	Professeur titulaire	FST-UCAD
	Karamoko DIARRA	Professeur titulaire	FST-UCAD
	Aboubacary SENE	Maître de conférences	ED-PCSTUI
Examineurs :	MM. Alioune FALL	Directeur de recherche	ISRA
	Matar SECK	Professeur titulaire	FMPO-UCAD
	Emile Victor COLY	Directeur de recherche	DPV
Directrice de thèse :	Mme Moussoukhoye DIOP	Professeur titulaire	FST-UCAD

REMERCIEMENTS

Ce travail a bénéficié du soutien financier du Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest (PPAAO/WAAPP2), financé par la banque mondiale et le gouvernement du Sénégal. Cependant, il n'aurait pas été possible sans le soutien de plusieurs personnes. Nous ne pourrions pas citer tout le monde mais pour certaines, nous voudrions leur adresser ici, tous nos sentiments de gratitude en les remerciant du fond de notre cœur. Il s'agit de :

Pr Moussoukhoye DIOP : C'est grâce à votre rigueur scientifique et amour du travail que vous avez pu nous amener à la réalisation de ce travail, et ceci avec simplicité et modestie. N'eussent été vos conseils, suggestions, orientations et votre totale disponibilité ce travail ne serait pas encore réalisé. Vos qualités humaines et scientifiques sont pour nous une grande source d'admiration. Soyez rassurées de mes sincères et respectueuses reconnaissances.

Pr Mohamed Lamine GAYE : Nous vous remercions vivement et chaleureusement pour avoir accepté de présider le jury malgré vos multiples tâches. Notre profonde gratitude et sympathie.

Pr MBacké SEMBENE : Nous vous remercions de la spontanéité avec laquelle vous avez accepté d'être rapporteur de cette thèse malgré votre emploi de temps très chargé. Veuillez croire à notre gratitude et parfaite considération.

Pr Aboubacary SENE : Nous vous témoignons notre gratitude totale pour avoir accepté avec simplicité de participer à ce jury en qualité de rapporteur malgré vos multiples sollicitations. Soyez rassuré de notre gratitude et profond respect.

Pr Karamoko DIARRA : Nous vous remercions infiniment pour avoir accepté d'être rapporteur de cette thèse et donc la lourde tâche de lire et d'évaluer ce document malgré votre calendrier très chargé. Veuillez recevoir notre profonde gratitude et respectueuse reconnaissance.

Dr Alioune FALL : Nous vous remercions vivement pour avoir encouragé et facilité la réalisation de ce travail, en qualité de Directeur général de notre cher Institut, ISRA et aussi pour avoir accepté son évaluation. Nous en profitons pour vous exprimer encore une fois toute notre considération.

Pr Matar SECK : Nous exprimons nos remerciements sincères à votre endroit pour votre entière disponibilité à juger ce travail malgré votre calendrier très chargé. Veuillez recevoir notre profonde gratitude et respectueuse reconnaissance.

Dr Emile Victor COLY : C'est votre simplicité qui vous a amené jusqu'à la Faculté des Sciences et Techniques de l'UCAD pour participer à ce jury malgré toutes vos activités en qualité de Directeur général de la DPV. Veuillez croire à nos plus sincères et respectueux remerciements.

Pr Abdoulaye SAMB : Nous vous remercions vivement pour nous avoir initiés à la recherche lors de nos travaux de laboratoire pour le DEA et la thèse de troisième cycle et surtout pour avoir encouragé et facilité encore la réalisation de ce travail auprès de notre Directrice de thèse. Veuillez recevoir notre profonde gratitude et respectueuse reconnaissance.

Ndiaga CISSE, Coordonnateur du WAAPP au CERAAS : Nous vous remercions vivement de votre disponibilité pour avoir diligenté à temps réel, la mise disposition des ressources financières qui ont permis de réaliser ce travail. Aussi, nos remerciements vont à l'endroit de vos collaborateurs qui nous ont toujours facilité les déplacements effectués à l'étranger dans le cadre de cette thèse.

Pr George LOGNAY de l'Université de Liège, Gembloux Agro Bio Tech Belgique, pour l'accueil chaleureux qu'ils nous ont réservé au laboratoire de chimie analytique de l'Unité Analyses Qualité et Risques où nous avons effectué la caractérisation des huiles essentielles avec du matériel chromatographique de nouvelle génération.

Pr Raimundo Cabrera PEREZ et son équipe, plus particulièrement à Mlle Andrean COSOVEANU et Martin TOLEDO pour leur appui scientifique et technique dans la conduite des bio essais au laboratoire de Phytopathologie de la Faculté des Sciences de l'Université de la Laguna de Tenerife en Espagne.

Dr Momar Talla GUEYE, Directeur scientifique de l'ITA pour vos conseils et votre rôle de facilitateur dans la collaboration avec l'Université de Gembloux. Nous vous exprimons nos remerciements d'amitié.

Tout le personnel de l'ISRA-CDH et du service alimentation nutrition du LNERV de l'ISRA dont la disponibilité et la courtoisie ont été constantes à notre égard.

Serigne Mbacké DIOP et El Hadji Barka NDIAYE, étudiants à la Faculté des Sciences et Techniques de l'UACD avec qui, nous avons mené ensemble la caractérisation des huiles essentielles au laboratoire de chimie analytique de Gembloux Agro Bio Tech, Université de Liège en Belgique. Encore merci mes jeunes frères pour votre appui.

Mes parents Ababacar Bouré et Mame Diarra Ndiallou SECK pour leurs amour et prières et aussi à mes frères et sœurs pour leur soutien et leurs encouragements au quotidien.

Mes épouses Adama FALL et Thioro LO pour leur soutien moral et affectueux et leur compréhension surtout durant les longues périodes d'absence, sans oublier nos enfants à qui, nous avons dédié ce travail.

Tous ceux qui ne figurent pas dans cette liste mais qui, de près ou de loin ont contribué à ce travail.

Table des matières	pages
INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre 1. Pesticides chimiques et protection des cultures.....	6
Introduction	6
1.1. Classification des pesticides.....	6
1.1.1. Classification selon la cible	6
1.1.2. Classification selon la famille chimique.....	7
1.1.3. Classification selon la toxicité.....	12
1.2. Composition des pesticides	12
1.2.1. Substance active	13
1.2.2. Substances d'appoints.....	13
1.2.3. Formulations.....	14
1.3. Mécanismes d'action des pesticides	15
1.3.1. Actions des insecticides.....	15
1.3.2. Actions des fongicides.....	15
1.3.3. Actions des herbicides.....	16
1.4. Toxicité des pesticides	16
1.4.1. Toxicité aiguë	17
1.4.2. Toxicité chronique.....	18
1.4.3. Persistance et bioaccumulation des pesticides.....	19
1.4.4. Notion de résidus de pesticides	20
1.4.5. Exposition aux pesticides	20
1.4.6. Résistance aux pesticides.....	22
1.5. Règlementation des Pesticides.....	22
1.5.1. Règlementation des pesticides au niveau international	22
1.5.2. Règlementation des pesticides aux niveaux sous-régional et régional.....	23
1.5.3. Règlementation des pesticides au Sénégal	23
Conclusion.....	25
Chapitre 2. Engrais chimiques et fertilisation des cultures.....	27
Introduction	27
2.1. Matières fertilisantes.....	27
2.2. Eléments minéraux du sol et leur importance pour la plante.....	28
2.3. Biodisponibilité des minéraux du sol.....	29
2.4. Incidence des engrais chimiques sur l'environnement	30
Conclusion.....	31
Chapitre 3. Méthodes alternatives aux intrants chimiques.....	32
Introduction	32
3.1. Agriculture biologique	32
3.2. Alternative à la lutte chimique.....	32
3.2.1. Lutte biologique.....	33

3.2.2. Lutte intégrée	33
3.3. Fertilisants naturels.....	34
3.4. Connaissances sur l’agriculture biologique.....	34
Conclusion.....	36
Chapitre 4 : Impact des mauvaises pratiques d’utilisation des pesticides sur la nappe phréatique et les produits horticoles.....	38
Introduction	38
4.1. Matériel et méthodes	39
4.1.1. Echantillonnage	40
4.1.2. Choix des pesticides	40
4.1.3. Extraction et séparation	42
4.1.4. Analyse des extraits	42
4.2. Résultats et discussion.....	42
4.2.1. Pratiques d’utilisation des pesticides dans la zone des Niayes.....	42
4.2.2. Niveau de contamination des produits horticoles par les pesticides	46
4.2.3. Contamination des eaux de puits par les pesticides.....	49
Conclusion.....	52
Chapitre 5 : Impact des mauvaises pratiques de fertilisation sur l’environnement	53
Introduction	53
5.1. Matériel et méthodes	54
5.1.1. Sites d’étude	54
5.1.2. Méthode du bilan apparent des nutriments	54
5.1.3. Indicateurs de fonctionnement.....	55
5.1.3.1. <i>Indice d’efficacité de l’azote (EFF)</i>	55
5.1.3.2. <i>Indice de conversion de l’azote en protéine alimentaire (CVE)</i>	55
5.1.3.3. <i>Indice de gaspillage de l’azote (GAS)</i>	55
5.1.4. Analyse statistique.....	55
5.2. Résultats	56
5.2.1. Bilans bruts des Nutriments (N et P)	56
5.2.2. Bilans des nutriments par surface agricole utilisée	57
5.2.3. Indicateurs de fonctionnement.....	58
5.3. Discussion.....	59
Conclusion.....	61
Chapitre 6 : Perception des risques écologiques et potentialités d’une agriculture biologique dans les petites exploitations agricoles de la zone des Niayes	62
Introduction	62
6.1. Matériel et méthodes	63
6.1.1. Présentation du site de l’étude (Niayes de Dakar).....	63
6.1.2. Cadre méthodologique.....	64
6.2. Résultats	66
6.2.1. Caractéristiques spécifiques aux sites prospectés.....	66
6.2.2. Caractéristiques socioéconomiques et culturelles des petits maraîchers.....	69

6.2.2.1. Socio-démographie des maraîchers de la zone des Niayes.....	69
6.2.2.2. Pratiques agricoles et dynamique d'apprentissage du métier de l'agriculture.....	69
6.2.2.3. Connaissances agro-écologiques des maraîchers	71
6.2.2.4. Situation économique des maraîchers et prises des décisions horticoles	71
6.2.2.5. Caractéristiques agro-écologiques des petites exploitations maraîchères.....	72
6.3. Discussion.....	74
Conclusion.....	77
Chapitre 7 : Efficacité du biofertilisant fabriqué à base de la biomasse du « neem » et d'anacarde comme alternative aux engrais chimique	78
Introduction	78
7.1. Matériel et méthodes.....	79
7.1.1. Présentation de la zone d'études.....	79
7.1.2. Matériel végétal	80
7.1.3. Caractérisation des matières organiques et du compost fini.....	80
7.1.4. Compostage de la matière organique.....	80
7.1.5. Application du compost sur les cultures.....	82
7.1.6. Analyses statistiques.....	82
7.2. Résultats	82
7.2.1. Caractéristiques des matières organiques compostées et du compost fini	82
7.2.2. Effet du compost sur les rendements des cultures horticoles	83
7.3. Discussion.....	87
Conclusion.....	89
Chapitre 8 : Activités larvicides de l'huile du neem et des huiles essentielles de trois plantes récoltées dans la région de Dakar sur <i>Chrysodeixis chalcites</i>.....	91
Introduction	91
8.1. Matériel et méthodes.....	92
8.1.1. Matériel végétal	92
8.1.2. Extraction et analyse des huiles essentielles.....	93
8.1.3. Insecte et Bio-essais.....	93
8.1.4. Analyse statistique.....	96
8.2. Résultats et discussion.....	96
8.2.1. Caractéristiques chimiques des huiles essentielles des plantes utilisées	96
8.2.2. Propriétés insecticides des extraits des plantes.....	99
Conclusion.....	103
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	104
BIBLIOGRAPHIE	107

Liste des tableaux	Pages
Tableau I : Catégorisation de menace présentée par un produit selon l’OMS (WHO, 2010)..	12
Tableau II : Différentes formulations de pesticides et les codes correspondants.....	14
Tableau III : Principaux ravageurs identifiés dans la zone des Niayes de Dakar	43
Tableau IV : Liste des pesticides utilisés dans la zone de Dakar	44
Tableau V : Teneurs en résidus de pesticides dans les prélèvements de produits horticoles effectués au niveau des champs (en mg/kg)	46
Tableau VI : Concentrations moyennes des pesticides dans les produits horticoles prélevés au niveau des marchés de produits alimentaires de la zone des Niayes (mg/kg)	48
Tableau VII : Concentrations moyennes des principaux pesticides identifiés dans les produits horticoles prélevés aux niveaux des ménages et lavés à l’eau distillée (mg/kg)	48
Tableau VIII : Teneurs en pesticides dans les eaux de puits de la zone des Niayes (µg/l)	50
Tableau IX : Bilan des nutriments par exploitation	56
Tableau X : Les indicateurs de fonctionnement (EFF, CEV et GAS).	58
Tableau XI : Caractéristiques sociodémographiques des maraîchers	69
Tableau XII : Fertilisants utilisés par les petits maraîchers (en pourcentage dans chaque site)	73
Tableau XIII : Variétés horticoles utilisées pour les essais de performance du compost	80
Tableau XIV : Caractéristiques chimiques des matières organiques compostées et du compost obtenu (g/kg MS)	83
Tableau XV : Effet du compost produit sur les rendements des cultures (tonnes/ha)	83
Tableau XVI : Composés majoritaires des huiles essentielles des plantes	96
Tableau XVII : Surface de feuilles consommée sur leaf disk après 24 heures d’application des extraits des plantes	102

Liste des figures	Pages
Figure 1 : Structures chimiques de quelques pesticides organochlorés	8
Figure 2 : Structure générale des organophosphorés	9
Figure 3 : Structures des principaux organophosphorés destinés à l'usage agricole	9
Figure 4 : Structure générale des carbamates	10
Figure 5 : Structures des principaux carbamates.....	10
Figure 6 : Structures des principaux pyréthrinés.....	11
Figure 7 : Structure générale des triazines	12
Figure 8 : Diffusion des pesticides après leur application (ORS, 2010).....	20
Figure 9 : Echanges cationiques au niveau du complexe argilo-humique (CAH).....	30
Figure 10 : Situation géographique des Niayes au Sénégal (Dia 2008).....	39
Figure 11 : Structures chimiques des pesticides les plus utilisés dans la zone des Niayes.....	41
Figure 12 : Bilan des teneurs en résidus de pesticides dans les puits par site.....	51
Figure 13 : Relation entre la quantité de fumier et bilan brut des nutriments.....	57
Figure 14 : Variation des bilans de N et P par surface agricole	58
Figure 15 : Situation géographique des Niayes au Sénégal	64
Figure 16 : Sources de connaissances et d'informations sur le maraîchage	70
Figure 17 : Connaissances des fonctions de la strate arbustive par maraîchers.....	71
Figure 18 : Carte de localisation de la zone d'étude.....	79
Figure 19 : Effets du compost sur les rendements de poivron à la récolte.....	85
Figure 20 : Effets du compost sur le poids moyen des fruits de poivron à la récolte	86
Figure 21 : Effets du compost sur le nombre de fruits de poivron à la récolte	86
Figure 22 : Effets larvicides des extraits des plantes en fonction du temps et de la dose par contact.....	100
Figure 23 : Effets larvicides des extraits des plantes en fonction du temps et de la dose par inhalation pendant 24 heures.	101
Figure 24 : Surface de feuilles consommée sur plante entière après 24 heures d'application des extraits des plantes.....	102

SIGLES ET ABREVIATIONS

AOAC: Association of Official Analytical Chemists

BPA: Bonnes pratiques agricoles

BRF : Bois Rameaux Fragmentés

CEDEAO : Communauté Economique des États de l'Afrique de l'Ouest

GC-FID Chromatographe en phase gazeuse équipé d'un détecteur à ionisation de flamme

GC-MS Chromatographe en phase gazeuse couplé avec un spectromètre de masse

CILSS : Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans les pays du Sahel

CSP : Comité sahélien des pesticides

CNGPC : Commission Nationale de Gestion des Produits Chimiques

CAH : Complexe argilo-humique

CORAF : Conseil Ouest et Centre Africain pour la Recherche et le Développement Agricoles

DRfA : Dose de Référence Aiguë

DJA : Dose Journalière Admissible ou Acceptable

DL₅₀ : Dose létale 50

DSE : Dose Sans Effet

FST : Faculté des Sciences et Techniques

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

FNRAA : Fond National de Recherche Agricole et Agroalimentaire

IFCS : Forum Intergouvernemental sur la Sécurité Chimique

GIPD : Gestion Intégrée de la Production et des Déprédateurs

GOANA : Grande Offensive Agricole pour la Nourriture et l'Abondance

EFF : Indice d'efficacité de l'azote

CVE : Indice de conversion de l'azote en protéine alimentaire

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

GAS: Indice de gaspillage de l'azote

ISRA: Institut Sénégalais de Recherche Agricole

LMR: Limites Maximales de Résidus Admises

LOASP : Loi d'Orientation Agro-Sylvo-Pastorale

MO : Matière organique

GCB : Noir de charbon graphitisé

OMD : Objectifs du Millénaire pour le Développement

ONAS : Office National de l'Assainissement du Sénégal
PACD : Promotion d'une Agriculture Compétitive et Durable
PSE : Plan Sénégal Emergent
PDMAS: Programme de Développement des Marchés Agricoles du Sénégal
PRACAS : Programme de Relance et d'Accélération de la Cadence de l'Agriculture Sénégalaise
PIP : Programme Initiatives Pesticides
PNIA: Programme National d'Investissement Agricole
PNDA : Programme National de Développement Agricole
PNSA : Programme National de Sécurité Alimentaire
SGH : Système Général Harmonisé
UCAD : Université Cheikh Anta Diop de Dakar
UN : Nations Unies
UE : Union européenne

INTRODUCTION GENERALE

La sécurité alimentaire demeure toujours une préoccupation d'ordre planétaire. Malgré les progrès accomplis dans la réalisation des Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD), 795 millions de personnes sont encore sous-alimentées à l'échelle mondiale dont 780 millions vivent dans les régions en développement (FAO, 2015). La malnutrition ne cesse de s'accroître dans les pays en voie de développement, notamment en Afrique subsaharienne (FAO, 2008) où la proportion de personnes en situation d'insécurité alimentaire s'accroît exponentiellement et tourne autour de 30 % de la population totale (UN/FAO 2009).

L'Afrique subsaharienne est l'une des régions qui concentrent plus de personnes sous-alimentées avec environ 217 millions de personnes. Elle est confrontée à une croissance démographique rapide qui met à mal la capacité des pays d'assurer un approvisionnement stable en produits alimentaires et un accès à ces denrées. Avec un taux de croissance élevé (2,7) sa population est passée de 507 millions de personnes en 1990 à environ 936 millions en 2013 (FAO, 2015). Au-delà de ce taux de croissance élevé, l'agriculture est en crise sous les effets conjugués de plusieurs facteurs dont les plus marquants sont : les variabilités climatiques imprévisibles et la mauvaise gestion des ressources naturelles (surexploitation des terres, déforestation et pratiques d'irrigation inappropriées, etc.). L'environnement des systèmes de production est menacé et les rendements agricoles sont très faibles par rapport aux besoins alimentaires de la population. La région serait la plus exposée à un risque accru de voir sa population souffrir de la faim dans les années à venir.

Pour le Sénégal, l'insécurité alimentaire constitue depuis longtemps un problème majeur bien que l'agriculture soit la principale activité économique, notamment en milieu rural et périurbain. Dans le document du Programme National de Sécurité Alimentaire (PNSA), il est indiqué que le nombre de personnes sous-alimentées au Sénégal s'accroît et représente environ 25 % de la population, soit près de 3 millions d'habitants (Ndione, 2009). Pour renverser cette tendance, l'Etat du Sénégal a consenti beaucoup d'efforts à travers des programmes et projets agricoles pour améliorer la situation alimentaire et nutritionnelle de la population. Mais l'augmentation de la densité de population a engendré une surexploitation des ressources naturelles avec comme conséquences une dégradation patente de l'environnement et aussi d'énormes problèmes socioéconomiques. La baisse des revenus agricoles a entraîné le découragement de la main d'œuvre valide dans les terroirs villageois qui, aujourd'hui a tourné

le dos à l'agriculture avec comme conséquence des migrations forcées (exode rural, émigration clandestine). Avec cet exode rural, les producteurs des milieux ruraux s'installent en général, aux alentours des villes pour y entreprendre une activité agricole proche du marché urbain où la demande est plus forte (Akinbamijo et *al*, 2002 ; Niane, 2004 ; Direction de l'horticulture, 2006). Cependant, les cuvettes maraîchères où se développe cette agriculture sont aussi affectées par l'effet des changements climatiques et des agressions de l'homme qui conduisent à une réduction des surfaces cultivables et une surexploitation des ressources naturelles.

La zone des Niayes qui concentre l'essentiel des activités horticoles est confrontée à d'énormes contraintes de productivité dont : la dégradation des sols, la réduction des surfaces cultivables causée par l'accroissement des villes et la baisse de la fertilité des sols et la pression parasitaire sur les cultures. Cette situation a poussé les producteurs à se tourner vers une agriculture de plus en plus intensive avec l'utilisation massive des engrais chimiques et des pesticides pour améliorer les rendements et répondre à la demande croissante des populations en fruits et légumes. Le recours aux intrants chimiques est bénéfique pour l'augmentation des rendements mais il peut entraîner des risques inquiétants pour la santé et l'environnement (O'Connor et *al.*, 2000 ; Grover et *al.*, 2002 ; Cissé et *al.*, 2008 ; Anses, 2011 ; Simpkins et *al.*, 2011). Aussi, à travers la pollution diffuse des différentes composantes de l'environnement, les denrées alimentaires peuvent être contaminées par les résidus de pesticides et les nitrates dont les effets néfastes sur la santé humaine et animale sont démontrés par plusieurs auteurs (Barbier, 2011 ; Jardim et *al.*, 2014 ; El Ouedghiri et *al.*, 2014). Beaucoup de travaux ont incriminé les intrants chimiques pour être à l'origine de plusieurs pathologies graves telles que les cancers, les perturbations endocriniennes, malformations congénitales, problèmes d'infertilité, problèmes neurologiques et des perturbateurs du système hormonal (Beard, 2006 ; Shelton et *al.*, 2014). Des corrélations positives entre la contamination chimique et les manifestations cliniques de certaines de ces maladies ont été confirmées par des études environnementales-épidémiologiques (Krieger, 2001 ; Juc, 2007). Pour minimiser les risques, le recours aux intrants chimiques doit respecter les normes relatives à la santé publique mais aussi à la sauvegarde de l'environnement (Deguine et Ferron, 2006). Ces intrants chimiques très coûteux créent aussi une grande dépendance financière chez les paysans (Gueye, 2009) et freinent également les exportations

du fait du non-respect des normes de qualité sur les résidus de pesticides ou limites maximales de résidus admises (LMR).

Dans ce contexte, l'Etat du Sénégal a entrepris différents programmes et politiques agricoles qui prennent en compte les problématiques de l'horticulture dont la Loi d'Orientation Agro-Sylvo-Pastorale (LOASP), le Programme National de Développement Agricole (PNDA), la Grande Offensive Agricole pour la Nourriture et l'Abondance (GOANA) et le Programme National d'Investissement Agricole (PNIA). Cependant, la plupart des actions menées ont montré parfois leur limite voire même leur inefficacité, leur inefficience pour atteindre les objectifs visés. L'Etat a donc reformulé ces programmes dans sa nouvelle politique agricole articulée autour du Programme de Relance et d'Accélération de la Cadence de l'Agriculture Sénégalaise (PRACAS) pour mettre en cohérence les stratégies. Dans le Plan Sénégal Emergent (PSE), le PRACAS se trouve au cœur des priorités nationales et envisage de faire de l'agriculture un des leviers majeurs de la croissance de l'économie du pays. Il vise à développer les filières fruits et légumes avec une augmentation du volume d'exportation de 86 000 tonnes pour cette année à 157 500 tonnes en 2017. Cet objectif ne peut être atteint que par une amélioration de la production en quantité mais aussi en qualité pour occuper la place ciblée dans le marché international. Nous rappelons que pour garantir la sécurité sanitaire et la qualité des produits horticoles, le gouvernement du Sénégal et les partenaires au développement ont soutenu les efforts consentis par les acteurs de la filière à travers des programmes parmi lesquels on peut citer : la Promotion des Exportations Agricoles, le Programme de Développement des Marchés Agricoles du Sénégal (PDMAS) (2007) et le Programme Initiatives Pesticides (PIP).

La plupart des actions menées portent essentiellement sur la problématique des semences et des intrants chimiques (contrôle, accès, pratiques d'utilisation, etc.). Les potentialités et les opportunités de l'agriculture biologique pour le marché d'exportation sont encore peu exploitées. Or dans le contexte actuel, la promotion d'une agriculture biologique est nécessaire et urgente pour augmenter durablement les rendements, réduire les risques liés aux produits chimiques et favoriser l'accès au marché d'exportation pour les petits producteurs. La contribution de la recherche dans la conception de techniques adaptées pour la production de bioproduits (biofertilisants et biopesticides) est donc nécessaire afin d'améliorer les revenus des producteurs, obtenir des produits sains et plus compétitifs tout en préservant

l'environnement. Des innovations ont été testées dans ce sens par la recherche à travers le monde mais leur application en milieu réel n'est pas effective.

Cette idée de projet de thèse s'inscrit dans cette dynamique et a pour objectif spécifique de mettre au point des méthodes alternatives adaptées et applicables afin de contribuer à la réduction des intrants chimiques massivement utilisés par les producteurs dans la zone maraîchère des Niayes au Sénégal.

Pour atteindre cet objectif, un certain nombre d'actions ont été menées et déclinées dans le document de thèse sous forme de chapitres portant sur :

- (i) une revue bibliographie sur les intrants chimiques utilisés en agriculture et les alternatives biologiques expérimentées plus particulièrement au Sénégal ;
- (ii) l'évaluation des risques d'exposition aux intrants chimiques utilisés dans la zone des Niayes pour l'homme et l'environnement ;
- (iii) l'analyse de la perception des risques d'exposition aux intrants chimiques par les producteurs et les potentialités de l'adoption d'une agriculture biologique dans la zone ;
- (iv) et l'expérimentation de pratiques alternatives techniquement adaptées et économiquement viables et compétitives par rapport aux intrants chimiques aussi bien pour la fertilisation que la protection des cultures contre la pression parasitaire.

PREMIERE PARTIE

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

SUR LES INTRANTS AGROCHIMIQUES

Introduction

Le terme pesticide est une appellation générique pour toute substance ou association de substances destinées à repousser, détruire ou combattre les ravageurs, y compris les vecteurs de maladies humaines ou animales et les espèces indésirables de plantes ou d'animaux causant des dommages durant la production, la transformation, le stockage, le transport, ou la commercialisation des denrées alimentaires, des produits agricoles, du bois et des produits ligneux (FAO, 1990 ; INRA, 2006). Un pesticide chimique est un produit composé d'une matière active (ou association de plusieurs matières actives), d'un diluant ou charge (substance neutre destinée à réduire la concentration de la matière active) et d'adjuvants (généralement dépourvus d'activités biologiques) qui peuvent augmenter les effets toxiques du produit (Boland, 2004 ; Thiam, 2004). La protection des cultures est d'autant plus nécessaire que les plantes cultivées sont le plus souvent des variétés sélectionnées en vue d'améliorer leur rendement et la qualité des produits recherchés. Ces modifications de leur patrimoine génétique les rendent plus fragiles aux agressions de leur environnement, qu'il s'agisse des agressions d'organismes parasites ou phytophages, de la concurrence des mauvaises herbes ou d'accidents climatiques (Couteux et al, 2004). La protection des cultures met en œuvre surtout des méthodes chimiques utilisées dans des stratégies à la fois préventives et curatives.

1.1. Classification des pesticides

Les pesticides sont des composés minéraux ou organiques de structures très diverses, aux propriétés physico-chimiques et rémanentes également multiples et aux effets toxiques recherchés, ou non, très différents. Les pesticides sont classés selon plusieurs critères dont la cible, la famille chimique, la toxicité et le mode d'action (contact, ingestion et inhalation).

1.1.1. Classification selon la cible

Selon la nature des nuisibles auxquels ils sont destinés, les pesticides seront dénommés insecticides, herbicides, fongicides, acaricides, nématicides, rodenticides, etc. (Eldridge, 2008 ; Calvet ; 2005).

1.1.2. Classification selon la famille chimique

La classification selon la famille chimique fait référence à la nature chimique de la molécule (Kuisseu et al, 2003 ; Seel, 1999). Dans cette classification, les pesticides sont regroupés dans les grandes familles que sont les organochlorés, les organophosphorés, les carbamates et thiocarbamates, les pyréthriinoïdes et les triazines. L'appartenance chimique détermine les caractéristiques du pesticide et son efficacité.

Les organochlorés

Les organochlorés présentent dans leur formule chimique un ou plusieurs atomes de chlore. Ce sont des molécules qui renferment au moins une liaison carbone-chlore. Certains composés organochlorés existent dans la nature, d'autres sont des sous-produits de la combustion et des procédés industriels. Ils sont peu solubles dans l'eau, solubles dans les corps gras, stables à l'air, à la lumière et à la chaleur. Les organochlorés sont parmi les plus anciens pesticides organiques de synthèse mis sur le marché dans les années 1940. Ce sont généralement des insecticides, qui, du fait de leur caractère persistant, bioaccumulable et toxique sont actuellement interdits ou restreints d'utilisation (Lachambre et Fisson, 2007).

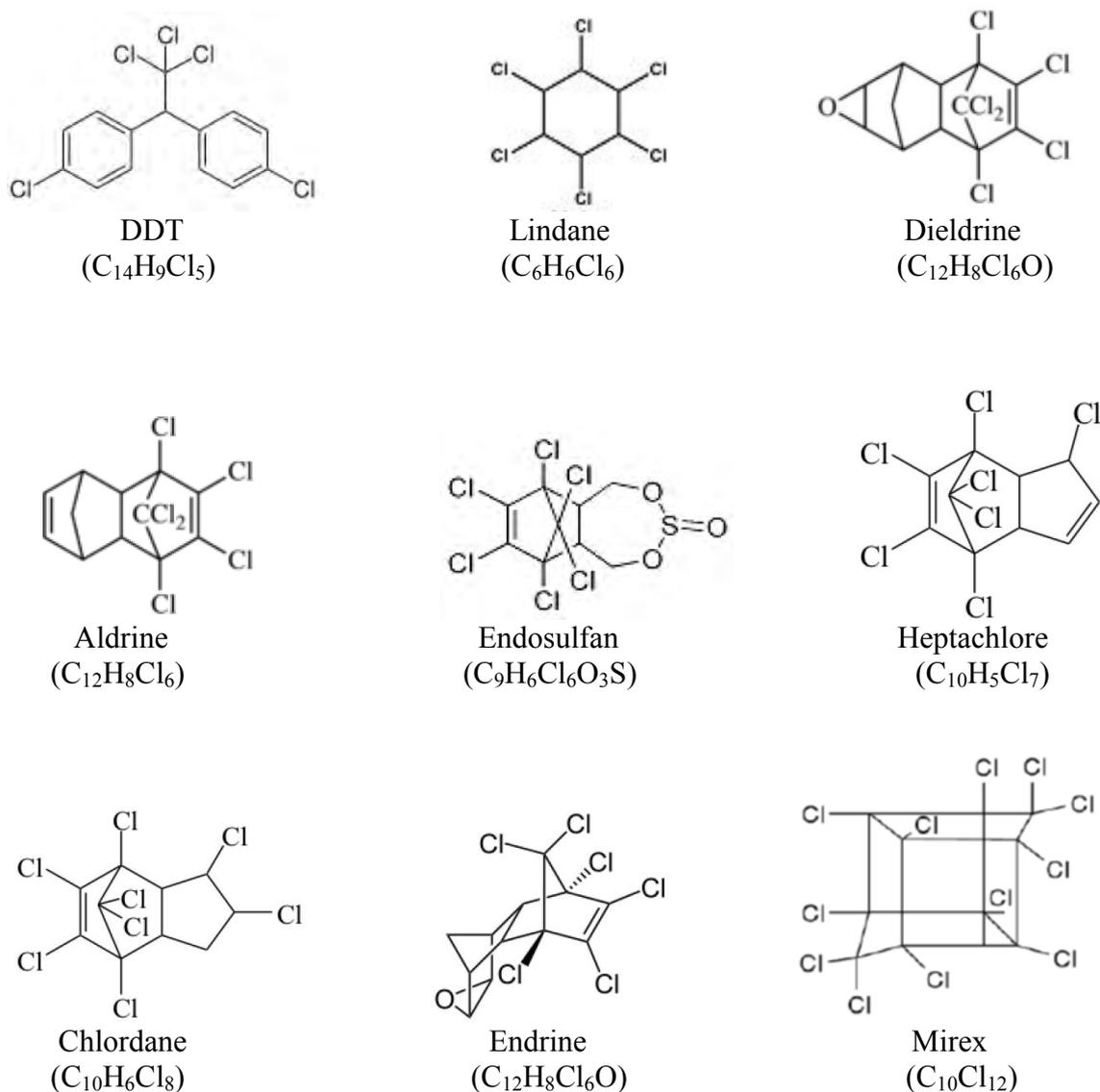
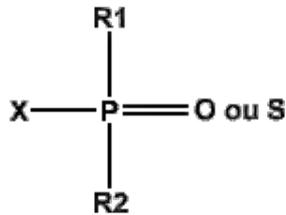


Figure 1 : Structures chimiques de quelques pesticides organochlorés

✚ Les pesticides organophosphorés (OPs)

Les pesticides organophosphorés (OPs) sont des pesticides de seconde génération dérivés de structures de gaz neurotoxiques. Ce sont des esters de l'acide phosphorique, généralement volatils et liposolubles. Bien qu'ils sont moins persistants par rapport aux organochlorés, les organophosphorés sont beaucoup plus toxiques (Saïssy et Rüttimann, 1999 ; Buffat et *al.*, 1989) et s'attaquent au système nerveux (WHO, 2008). Ils ont dans leur formule chimique la présence de phosphore. Un ou deux atomes d'oxygène peuvent être remplacés par le soufre pour donner des pyrothiophosphates, des phosphorothioates, des phosphorodithioates. Les pesticides organophosphorés peuvent être classés en trois groupes selon la nature de la chaîne carbonée (Thabet, 2009 ; Aligon et *al.*, 2010) :

- les dérivés aliphatiques (tétraéthylpyrophosphate, malathion, diméthoate, méthamidophos₂ acéphate, etc.) ;
- les dérivés phényliques (éthyl- et méthyl-parathion, ronnel, stirofos, etc.)
- et les dérivés hétérocycliques (diazinon, chlorpyrphos, etc.).



R1 et R2 sont des groupements diméthyl, diéthoxy, autres dialkoxy, diamino, chloré ou autre dialkoxy substitué, constituant mixte.

Figure 2 : Structure générale des organophosphorés

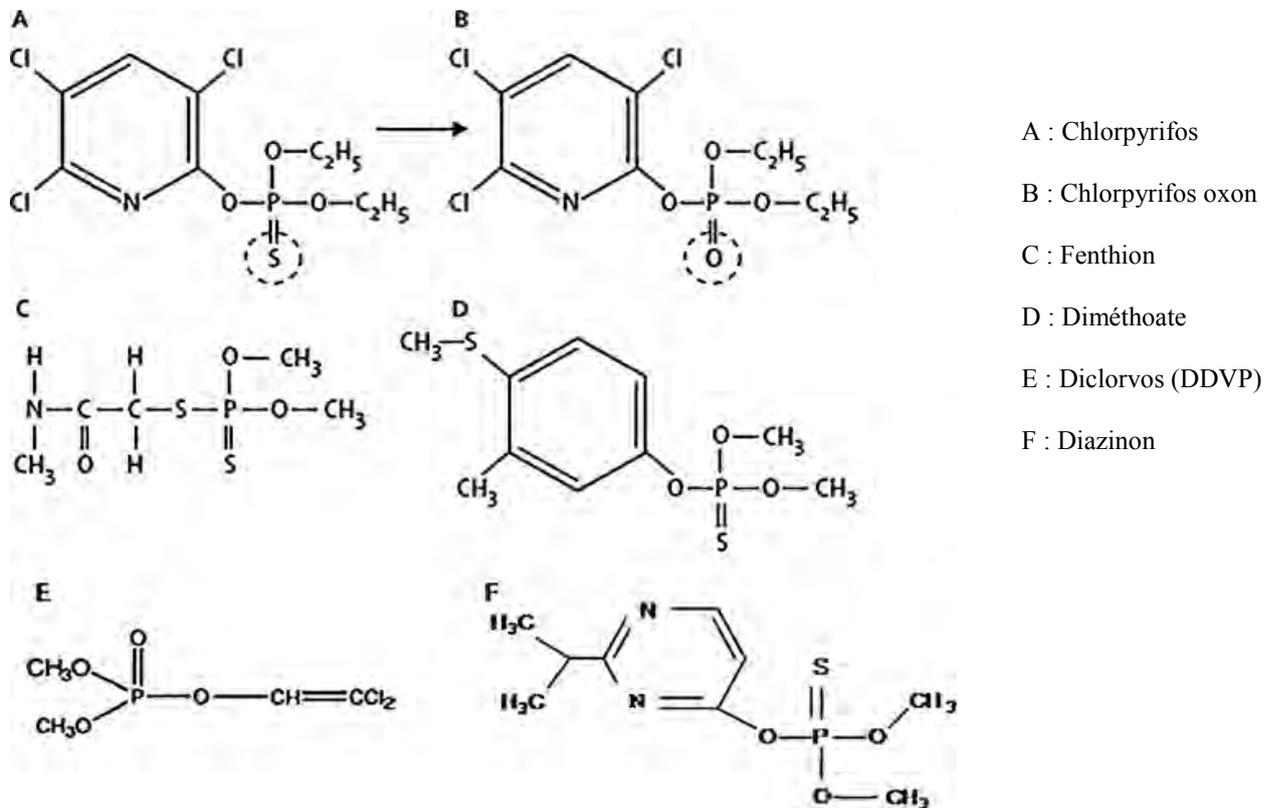


Figure 3 : Structures des principaux organophosphorés destinés à l'usage agricole

✚ Les carbamates et les thiocarbamates

Les carbamates sont des dérivés de l'acide carbamique, peu solubles dans l'eau, peu stables, souvent très toxiques. Ils sont utilisés comme insecticides, herbicides et fongicides. Les carbamates insecticides sont des esters de l'acide N-méthylcarbamique.

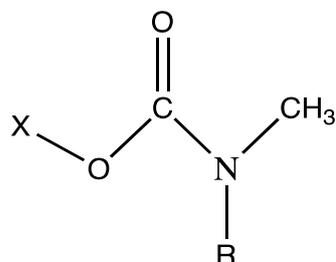


Figure 4 : Structure générale des carbamates

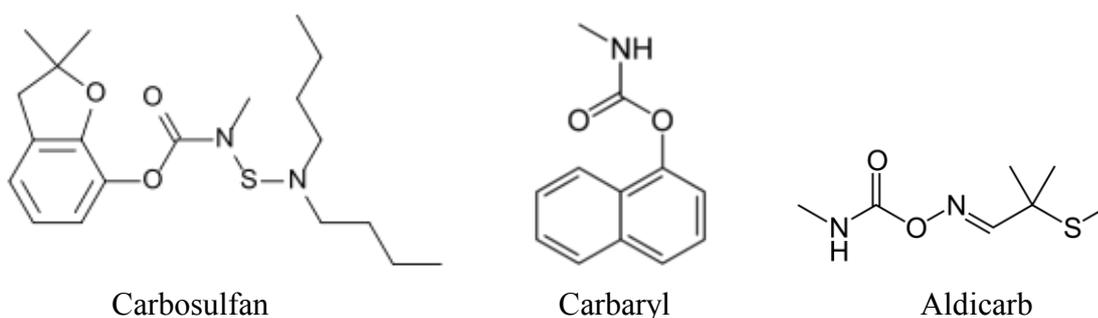


Figure 5 : Structures des principaux carbamates

✚ Les pyréthrinoïdes

Les pyréthrinoïdes sont des insecticides chimiques synthétiques (Aligon et *al.*, 2010). Ce sont des composés organiques dont la structure générale est similaire aux pyréthrines, composés naturels présents dans les fleurs du pyrèthre ou des chrysanthèmes, les radicaux carbonés étant remplacés par des groupes halogénés. Ils sont faiblement volatils, très stables et fortement liposolubles. Ils présentent l'avantage d'être stables à la lumière tout en gardant un pouvoir insecticide, une action plus sélective sur certaines espèces et une faible toxicité pour les mammifères. Cette faible toxicité chez les mammifères s'explique par une faible absorption par la peau et une transformation rapide dans l'organisme (InVS, 2011). Les pyréthrinoïdes sont utilisés sur toutes les cultures et sous tous les climats (FAO, 1993).

Contrairement aux autres familles chimiques, ils peuvent être facilement dégradés par les organismes présents dans le sol et l'eau.

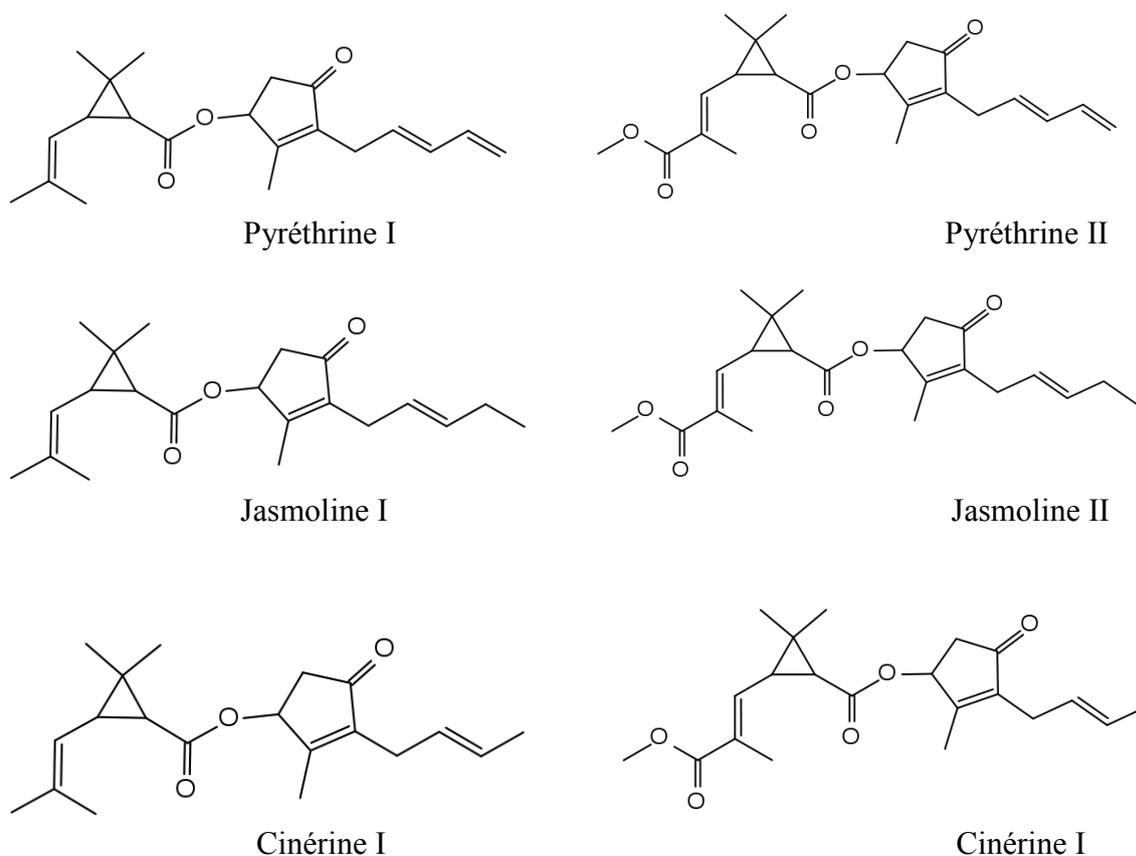


Figure 6 : Structures des principaux pyréthrines

✚ Les triazines

Le groupe des triazines sont herbicides appliqués directement sur le sol. Les plus utilisés dans l'agriculture sont l'atrazine, la simazine, la propazine, la cyanazine et la terbuthylazine. D'après la littérature, les triazines sont des composés très rémanents qui contaminent aussi bien les eaux souterraines que les eaux de surface (Hua et *al.*, 2006 ; Villanueva et *al.*, 2005). Etant très dangereux pour la santé, certains dont l'atrazine sont interdits d'utilisation dans les pays de l'Union européenne depuis 2005.

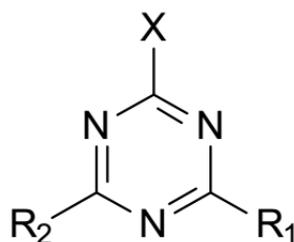


Figure 7 : Structure générale des triazines

1.1.3. Classification selon la toxicité

Aucun pesticide n'est spécifique d'un nuisible ou d'une adventice mais tous sont écotoxiques : leurs modes d'action très différents conduisent à des effets très variés sur l'environnement mais également chez les vertébrés dont la population humaine. La classification faite par l'OMS repose sur les catégories de dangerosité toxique aiguë par voies orale et cutanée définies par le Système général harmonisé (SGH). Cette classification présente cinq niveaux de dangerosité, indiqués dans le tableau suivant.

Tableau I : Catégorisation de menace présentée par un produit selon l'OMS (WHO, 2010)

Niveau de classification	Intitulé du niveau	DL 50 pour le rat (mg/kg poids corporel)	
		Voie orale	Voie cutanée
Ia	Extrêmement dangereux (ED)	< 5	< 50
Ib	fortement dangereux (FD)	5 - 50	50 - 200
II	Modérément dangereux (MD)	50 – 2000	200 - 2000
III	Légèrement dangereux (LD)	> 2000	> 20
U	Non connu comme présentant un danger aigu (ND)	≥ 5000	≥ 5000

1.2. Composition des pesticides

Un pesticide est presque toujours un mélange de plusieurs substances. Il contient une (ou plusieurs) matière active et des substances d'appoint constituées de diluant et d'adjuvants qui améliorent certaines propriétés physiques du pesticide dont l'indice de pulvérisation, la solubilité, le pouvoir d'étalement et la stabilité (RECA, 2013 ; Calvet, 2005). L'ensemble constitue la formule du pesticide. Le diluant est une matière solide ou liquide (solvant) incorporée à une préparation et destinée à abaisser la concentration en matière active. Ce sont le plus souvent des huiles végétales. Par contre, les adjuvants sont des substances dépourvues d'activité biologique, mais susceptibles de faciliter l'utilisation de la matière active. Les substances d'appoint comprennent des adhésifs, des émulsionnants, des stabilisants, tensio-

actifs, des photoprotecteurs, des antitranspirants, des colorants, des substances répulsives, des émétiques (vomitifs) et parfois des antidotes. Ainsi, la formulation d'un pesticide vise à présenter la matière active sous une forme stable plus efficace et facilement applicable contre la cible. Elle doit répondre à 3 objectifs essentiels : (i) assurer une efficacité optimale de la matière active, (ii) limiter les risques d'intoxication pour le manipulateur et l'environnement et (iii) rentabiliser la matière active.

1.2.1. Substance active

C'est la matière chimique pure responsable de l'activité pesticide au sein d'une formulation (Diatta, 1997). C'est à dire la partie biologiquement active du pesticide dans une formulation (FAO, 1990). La substance active rentre en général dans plusieurs formules, c'est-à-dire qu'elle est mise en vente avec différents types de substances d'appoint en différentes quantités. Chaque constituant a donc un rôle bien défini à jouer dans le produit final. La composition d'un produit phytosanitaire détermine certaines propriétés de la substance active à savoir son efficacité, sa persistance et sa toxicité (ONUDI, 1992).

1.2.2. Substances d'appoints

- Les solvants : le solvant correspond au liquide dans lequel la substance active est dissoute dans l'emballage. Comme les substances actives ne sont pas toutes solubles dans l'eau, on doit utiliser un solvant spécial.

- Les émulsifiants : les pesticides liquides sont presque toujours vendus sous forme concentrée. Ils doivent être dilués dans l'eau avant usage. L'émulsifiant sert à faciliter la dilution du liquide concentré. Par dilution dans l'eau, les pesticides se détachent en très fines gouttelettes qui se répartissent régulièrement dans l'eau (émulsion).

- Les substances coulantes : Ce sont les substances qui permettent aux pesticides de bien s'écouler sur les feuilles de la plante au lieu de rester en boulettes. Ces produits permettent à une même gouttelette d'humecter une plus grande surface de feuille.

- Les substances portantes : Pour mieux diluer la substance active d'une formule sèche (poudre ou granules), on ajoute une substance portante solide qui se fixe à la substance active.

- Les dispersants : Le dispersant est mélangé aux pesticides en poudre insolubles dans l'eau. Cette substance a le même effet que les émulsifiants des formules liquides. Le dispersant

permet à la poudre de se disperser dans l'eau en particules très fines pour former une solution homogène.

- Les agglutinants : ce sont les substances qui facilitent le maintien du pesticide sur la surface des feuilles.

- Les colorants : ils correspondent aux matières qui diminuent les risques d'accident en permettant une différenciation entre les graines traitées, donc toxiques et incombustibles, et les graines non traitées. Parfois les pesticides en granules sont colorés pour permettre leur répartition régulière dans le sol.

- Les synergistes : Ce sont des substances qui renforcent l'effet de la substance active.

1.2.3. Formulations

Les formulations de pesticides sont des combinaisons de divers composés visant à rendre le produit utilisable efficacement. Elles représentent la forme sous laquelle le pesticide est commercialisé (FAO, 1990). Il existe plusieurs types de formulations qu'on désigne par un nom de code (Boland, 2004 ; Eldridge, 2008). Les pesticides se présentent sous diverses formes (poudres, granulés, émulsions, préparations micro-encapsulées, solutions, aérosols, fumigants, appâts...). La formulation a pour objet de présenter la matière active sous forme facile à conserver, à manipuler, et aussi peu dangereuse que possible (Lebrun et *al.*, 1991).

Tableau II : Différentes formulations de pesticides et les codes correspondants

Formulations « sèches »	Code
Poudres pour poudrage	DP
Granules	GR
Poudres mouillables, solution dans l'eau	SP et SG
Autres poudres mouillables	WP et WG
Formulations « mouillées »	
Solutions concentrées	SL et EC
Suspensions concentrées	SC
Liquides pour application à très bas volume	UL et ULV

1.3. Mécanismes d'action des pesticides

Ces pesticides présentent divers modes d'action sur les ennemis ciblés. Les pesticides peuvent pénétrer dans l'organisme par contact cutané, par ingestion et par inhalation. Les manifestations peuvent se limiter à des signes locaux : irritations cutanéomuqueuses, réactions allergiques cutanées ou oculaires, vomissements, toux, gênes respiratoires ou bien traduire l'atteinte d'un ou plusieurs organes ou systèmes : foie, reins, système nerveux central, on parle alors d'effets systémiques (Ifen, 2002).

1.3.1. Actions des insecticides

Vis-à-vis des insectes, certains insecticides sont actifs suite à la pénétration par ingestion. Ces insecticides diffusent à partir du tube digestif. Les pyréthriinoïdes de synthèse pénètrent par contact et diffusent à travers la cuticule grâce à une liposolubilité importante. Par contre, les organophosphorés pénètrent par inhalation (Simon, 1994). Cependant, l'action biologique proprement dite est souvent due aux effets de ces produits sur le système nerveux dont certains bloquent la conduction de l'influx nerveux le long des axones (organochlorés et pyréthriinoïdes) selon Simon (1994). Les pyréthriinoïdes induisent un état de choc (paralysie) (Diatta, 1997). Les pyréthriinoïdes perturbent la conduction nerveuse en ralentissant la fermeture des canaux à sodium (Na^+) (Fournier, 1988). C'est le cas de la déltaméthrine qui agit par perturbation de la conduction de l'influx nerveux le long des axones. Ils fonctionnent comme inhibiteurs de la cholinestérase en la bloquant sous une forme inactive, ce qui empêche la transmission de l'influx nerveux par accumulation de l'acétylcholine. Cette accumulation de l'acétylcholine qui interfère avec les jonctions neuromusculaires entraîne une paralysie. C'est l'exemple du méthamidophos (organophosphoré) (Moll et al, 2002 ; Schiffer, 1990). En plus de ce rôle spécifique sur le système nerveux, certains agissent sur la glycolyse ou la chaîne des transporteurs d'électrons.

Pour les plantes, les modes d'action sont différents. Les pyréthriinoïdes sont ici des insecticides de contact. Les insecticides systémiques (30 % des organophosphorés et 50 % des carbamates) pénètrent dans les plantes et sont transportés par la sève jusqu'aux organes. Les insecticides systémiques n'exigent pas de transporteurs ultérieurs (Simon, 1994).

1.3.2. Actions des fongicides

On appelle fongicides toutes les substances actives destinées à lutter contre les maladies des plantes provoquées par des champignons mais aussi par des bactéries, virus ou mycoplasme.

Les fongicides ont des modes d'action plus diversifiés que les herbicides et les insecticides. On distingue des fongicides qui agissent directement sur les parasites et des fongicides qui agissent indirectement par l'intermédiaire des plantes hôtes (Diop, 2005). Parmi les fongicides à action directe, on distingue :

- les fongicides multisites qui réagissent de manière non spécifique avec les constituants cellulaires. Ils provoquent une perturbation des membranes cellulaires, des processus respiratoires et de biosynthèse empêchant ainsi la formation de spores ;
- les fongicides unisites qui agissent sur un site bien déterminé dit primaire, à partir duquel une réaction en chaîne peut se déclencher entraînant de nombreuses perturbations du métabolisme. Ainsi nous avons des composés perturbant la respiration, d'autres agissent sur les membranes lipoprotéïques des cellules fongiques, d'autres perturbent la biosynthèse des parois. A côté de ces deux types, il existe des fongicides qui doivent impérativement passer par la plante hôte pour être actifs où ils stimulent la production de substances fongitoxiques par la plante à l'exemple de l'éthyle phosphite d'aluminium. Notons que les fongicides dérivés de l'acide carbamique et dithiocarbamique sont respectivement des fongicides systémiques et de contact (Fournier, 1988 ; Simon, 1994).

1.3.3. Actions des herbicides

Les herbicides constituent l'ensemble des pesticides utilisés pour lutter contre les mauvaises herbes ou adventices. On distingue des herbicides de contact qui brûlent les plantes sur lesquelles ils sont appliqués et les herbicides qui perturbent une ou plusieurs fonctions physiologiques. C'est ainsi que certains herbicides ont une action principale sur la photosynthèse (urées substituées), d'autres entraînent la destruction des membranes cellulaires ou diminuent leur perméabilité (composés phénoliques), d'autres encore ont une action directe sur la croissance (carbamate), ou sur la synthèse des pigments (Simon, 1994 ; Fournier, 1988).

1.4. Toxicité des pesticides

De par leur caractère biocide, les pesticides peuvent être toxiques pour tous les organismes vivants. En fonction de leur mode d'action, de leur persistance et de leur capacité de bioaccumulation, cette toxicité s'exprime différemment selon les espèces. En effet, tous les pesticides sans exception sont dangereux (Thiam, 2004). En matière de toxicité c'est la dose

qui fait le poison. Cependant, il est judicieux d'associer à cette notion dose celle de la durée d'exposition de l'organisme vivant. Ainsi on distingue pour chaque substance :

- la dose journalière acceptable (DJA) c'est à dire la quantité de produit pouvant être quotidiennement absorbée au cours d'une vie d'homme sans manifestation d'effets secondaires. Elle s'exprime en mg/kg.
- la dose létale 50 (DL_{50}) qui correspond à la dose d'une substance provoquant la mort de 50 % d'un lot d'animaux d'expérience. Elle s'exprime en mg/kg de poids vif.
- la dose sans effet (DES) qui représente la dose la plus élevée d'un produit qui ne provoque aucun effet chez des animaux soumis à une expérimentation.
- la limite maximale de résidus (LMR) qui est la concentration en résidus la plus élevée légalement acceptable pour que les denrées restent commercialisables. Elle s'exprime en mg/kg ou en ppm (Couteux et al, 2008).

Ils existent pour chaque produit des LMR nationales et des LMR internationales qui sont utilisées lors des échanges internationaux de denrée. Les LMR sont fixées en tenant compte de la DJA, du panier de la ménagère et des résidus retrouvés dans les conditions de la bonne pratique agricole (ACTA, 2009; FAO, 1990).

Le danger d'intoxication augmente avec la durée pendant laquelle quelqu'un est exposé au produit. L'intoxication peut être aiguë ou chronique (Codazzi, 1989).

1.4.1. Toxicité aiguë

Selon l'OMS, les intoxications aiguës par pesticides sont à l'origine de 370 000 suicides, soit près de 44 % des 844 000 décès par suicide survenant chaque année dans le monde. Ce mode de suicide est ainsi le premier utilisé, notamment avec les organophosphorés. La toxicité aiguë est celle qui entraîne la mort à court terme. La toxicité aiguë des substances chimiques est évaluée à l'aide d'une série de tests réglementaires réalisés sur des animaux de laboratoire. La notion retenue est celle de la dose létale 50 (DL_{50}) correspondant à la quantité de matière active qui, administrée en une seule fois, par ingestion, inhalation ou par voie cutanée, entraîne la mort de 50 % des animaux traités.

Plus la DL_{50} est basse, plus le produit est dangereux (ACTA, 2005). Elle est généralement d'habitude recherchée par voie orale mais peut l'être par voie dermique (Thiam, 2004). La DL_{50} est exprimée en mg de substances actives par kg du corps de l'animal. On entend par DL_{50} de 100 mg/kg que 100 mg de substances actives d'un certain pesticide sont nécessaires pour tuer la moitié d'un groupe de rats pesant chacun 1 kg. Si la DL_{50} est de 200 mg/kg, on

aura besoin alors 2 fois plus de pesticide pour tuer le même nombre de rats. Le produit est alors moins toxique. Moins la DL_{50} est élevée, plus le pesticide est toxique. Pour évaluer la dose mortelle pour l'homme, il suffit de multiplier la DL_{50} par le poids du corps en kg (Codazzi, 1989).

1.4.2. Toxicité chronique

La toxicité chronique (toxicité à long terme) est la résultante d'une absorption répétée soit de substances s'éliminant trop lentement de l'organisme (poison cumulatif) soit de substances dont les effets nocifs sont irréversibles et s'additionnent chaque fois malgré l'élimination. Parmi les pesticides cumulatifs, on peut citer les insecticides organochlorés. Selon leur spectre d'activité, les pesticides offrent des différences nettes de toxicité (Thiam, 2004). La toxicité à doses répétées d'une substance chimique est évaluée de façon normalisée par expérimentation sur des animaux de laboratoire. Le potentiel cancérigène ainsi que les effets sur la reproduction (étude sur la fertilité et sur le développement) sont ainsi évalués. Au terme de ces études, une dose sans effet observable (DES) peut être fixée. Elle correspond à la dose maximale n'entraînant pas d'effets adverses statistiquement significatifs par rapport au groupe témoin chez les espèces testées. Afin de transposer ces valeurs à l'homme des facteurs de sécurité sont appliqués aux valeurs obtenues expérimentalement, en divisant la DES, selon le cas, par 1 ou plusieurs facteurs 10. Pour des effets très sévères (les risques de cancers) on applique un facteur pouvant aller jusqu'à 1000. L'ensemble des tests réalisés permet de fixer la dose Journalière Admissible ou Acceptable (DJA) qui indique la quantité de produit qu'un être humain peut ingérer quotidiennement pendant sa vie entière sans danger pour sa santé. Pour certains insecticides, la neurotoxicité est le mécanisme même de leur mode d'action sur les ravageurs (par exemple inhibition de l'activité cholinestérasique). Il s'agit d'effets neurotoxiques principalement dus aux organophosphorés et aux carbamates mais également aux organochlorés ou aux pyréthrinoïdes (Ifen, 2002). Les organophosphorés se dégradent assez rapidement dans l'environnement mais présentent des effets neurotoxiques sur les vertébrés. Les pyréthrinoïdes sont des insecticides de synthèse très toxiques pour les organismes. Une pollution accidentelle des eaux ou des aliments par ces composés peut être dramatique. Les carbamates, très toxiques, sont utilisés comme insecticides et fongicides (Kroll, 1994).

1.4.3. Persistance et bioaccumulation des pesticides

Les pesticides persistants ne se transforment que très lentement en substances moins dangereuses. Ainsi les substances qui se dégradent difficilement s'accumulent dans le sol pour se retrouver dans la viande, le poisson ou le lait et en fin de compte toucher l'homme (Calvet, 2005). La persistance des pesticides dans la nature (sol, eau, atmosphères, productions agricoles, etc.) varie d'un produit à l'autre (Schrack, 2009). La famille des organochlorés est connue d'être plus stable que les organophosphorés et les carbamates. Cette propriété engendre leur résistance très élevée (2 à 15 ans) dans l'environnement et leurs caractères bioaccumulatifs. Selon les travaux de Chassard, rapportés par Diatta, 1997, les insecticides organochlorés liposolubles s'accumulent dans les réserves adipeuses et organes riches en lipides. Les insecticides organochlorés dans leur ensemble, persistent plusieurs années. Les herbicides triazines peuvent persister de nombreux mois, parfois au-delà de l'année. Les pesticides organophosphorés, bien qu'ayant un degré de persistance moindre que les organochlorés, peuvent cependant persister plusieurs années dans la nature. Ceci occasionne bien sûr certains problèmes de santé et de sécurité divers. Par contre les organophosphorés bien qu'ils soient souvent plus dangereux, ont l'avantage de se dégrader rapidement en produits non toxiques, de plus ils ne présentent ni bioaccumulation ni amplification (Seel, 1999).

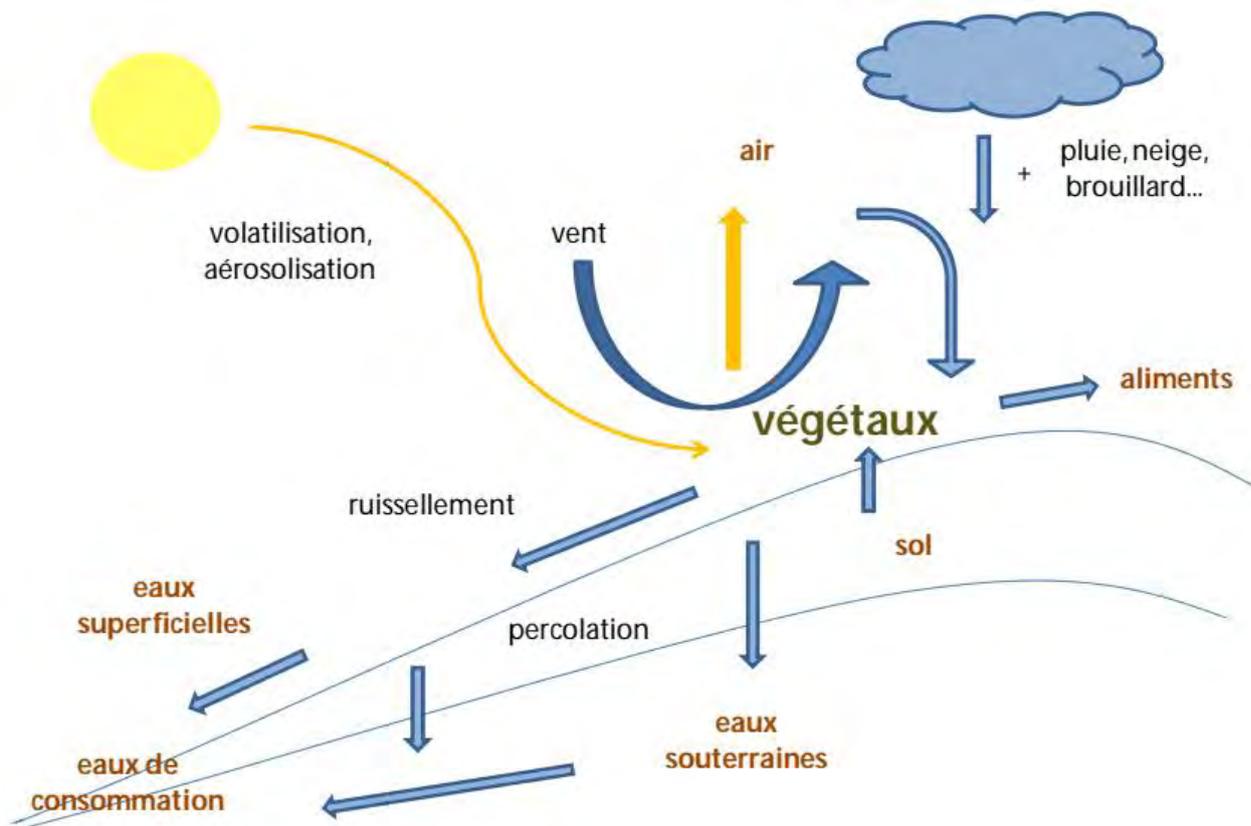


Figure 8 : Diffusion des pesticides après leur application (ORS, 2010).

1.4.4. Notion de résidus de pesticides

Un résidu désigne « toute substance chimique qui persiste dans un milieu donné en quantité généralement très faible, après qu'elle-même ou d'autres composés lui donnant naissance aient été introduits volontairement ou non dans ledit milieu et dont la présence est de ce fait qualitativement ou quantitativement anormale ». L'origine des résidus dans les aliments de l'homme est variée. Les sources les plus fréquemment incriminées sont l'environnement, les traitements agricoles et phytosanitaires, les traitements sanitaires et zootechniques et les industries alimentaires (Abiola, 2002).

1.4.5. Exposition aux pesticides

Les pesticides sont utilisés pour détruire les espèces indésirables mais ils atteignent aussi les espèces non visées. L'atteinte de l'homme peut se faire de manière directe (personnes professionnellement exposées) ou de manière indirecte par voie de la nourriture. Certains produits animaux ou végétaux couramment consommés sont bien connus pour contenir des résidus de pesticides (Seel, 1999). Les pesticides font actuellement l'objet de préoccupation mondiale. En effet, le nombre de maladies et de décès liés aux pesticides ne cesse de croître.

Actuellement, près de 75 000 personnes contractent, chaque année, une maladie chronique telle que le cancer suite à une exposition à des pesticides. Plus de 20000 décès accidentels et 3 millions d'empoisonnements liés aux pesticides sont annuellement recensés. De même une étude récente de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et des Nations Unies avait révélé une croissance de certaines maladies, chez les enfants, liée à l'exposition aux produits chimiques dangereux. Parmi ces maladies, l'étude a cité l'asthme, les malformations congénitales, anomalies comportementales, incapacité d'apprentissage, cancer, dysfonctionnement du système immunitaire, perturbations neurologiques et troubles de la reproduction. Bien que la part de l'Afrique dans la consommation mondiale de pesticides ne représente que 4 %, il n'en demeure pas moins qu'elle reste l'une des régions où les pesticides causent le plus de problèmes. Le Sénégal n'est pas épargné par les problèmes des intoxications liées aux pesticides. La base de données de PAN africa sur les intoxications liées aux pesticides contient plus de 500 cas d'intoxications (Diouf et al, 2007).

Pour l'environnement, la contamination est la présence de résidus de pesticides dans ses différents compartiments. La pollution désigne donc des concentrations massives de substances indésirables mettant directement en danger l'environnement ou la santé publique. Les sources diffuses de la pollution par les pesticides peuvent provenir des trois milieux de l'environnement (sol, air, eau). La fraction du traitement qui n'est ni interceptée par la plante, ni fixée et dégradée par le sol va être transportée par l'eau (de pluie ou d'irrigation), en surface (ruissellement vers les rivières) ou en profondeur (infiltration vers la nappe) (FREDON, 2012). L'utilisation de ces produits dans l'un de ces milieux, aura nécessairement des effets sur les deux autres. La dispersion tout azimut des pesticides et la persistance de certains d'entre eux rendent encore plus grave le problème de toxicité de ces substances pour les organismes non ciblés (Kirsten et al., 2016 ; Tirado et al., 2013). Beaucoup d'insectes ne causent pas de dégâts mais sont au contraire très utiles. C'est bien le cas des abeilles qui produisent du miel et permettent la fécondation de certains végétaux, contribuant ainsi à une bonne production des végétaux (Barriuso, 2004). Le rapport scientifique de Trido et al (2013) publié par Greenpeace a indiqué que les abeilles sont exposées à des doses sublétales de certains pesticides du groupe des néonicotinoïdes (clothianidine, imidaclopride et thiaméthoxame).

1.4.6. Résistance aux pesticides

Fréquemment, une souche résistante à un insecticide donné apparaît à la suite de nombreux traitements. Ces espèces génétiquement résistantes engendrent un pourcentage toujours plus élevé d'individus résistants à chaque fois qu'elles se reproduisent. C'est de cette manière que l'on voit se former des espèces totalement immunisées contre les pesticides existants. Par ailleurs, on entend par résistance la faculté qu'acquiert une souche d'insecte à tolérer une dose de substance toxique qui aurait provoqué un effet mortel sur la majorité des individus composants une population normale à la même espèce (Seel, 1999).

1.5. Réglementation des Pesticides

1.5.1. Réglementation des pesticides au niveau international

Les coûts élevés de l'usage non réglementé des pesticides sur la santé des populations et de l'environnement mondial ont fini par attirer l'attention du monde entier. C'est ainsi que plusieurs conventions au niveau international ont été signées.

La convention de Rotterdam sur les PIC (Consentement Préalable donné en Connaissance de Cause) a été adoptée lors d'une réunion de plénipotentiaires à Rotterdam, aux Pays Bas, le 10 septembre 1988. La convention est entrée en vigueur le 24 février 2004.

La convention de Bâle du 22 mars 1989 sur le contrôle des mouvements transfrontaliers de déchets dangereux et de leur élimination. La convention est entrée en vigueur le 5 mai 1992.

La convention de Bamako sur l'interdiction d'importer des déchets dangereux et le contrôle de leurs mouvements transfrontaliers en Afrique, signée le 30 janvier 1991 et entrée en vigueur le 20 mars 1996.

La convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants est un accord international visant à interdire certains produits polluants. La convention a été signée le 22 mai 2001. Elle est entrée en vigueur le 17 mars 2004.

L'organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) a élaboré un code international de conduite pour la distribution et l'utilisation sans danger des pesticides. Ce code a été adopté par tous les pays membres en 1985 et amendé en 1989. Il a été également accompagné de plusieurs directives qui constituent un guide utile pour l'élaboration de réglementations adaptées à chaque pays (Diatta, 1997).

1.5.2. Réglementation des pesticides aux niveaux sous-régional et régional

Afin d'assurer que les pesticides utilisés soient efficaces, d'une qualité appropriée et ne posent pas de risques inacceptables pour l'homme et l'environnement, les Etats membres du CILSS ont signé en 1992, la Réglementation commune pour l'homologation des pesticides. Elle a été révisée du fait des divers développements dans la gestion et la législation des pesticides au niveau des Etats membres, ainsi que des expériences dans les procédures d'homologation des pesticides acquises par le Comité sahélien des Pesticides depuis sa création. La Réglementation a pour but de mettre en commun les expériences et l'expertise des Etats membres pour l'évaluation et l'homologation des pesticides, afin d'assurer leur utilisation rationnelle et judicieuse ainsi que la protection de la santé humaine et de l'environnement. Elle concerne l'autorisation, la mise sur le marché, l'utilisation et le contrôle de matières actives et de produits formulés des pesticides dans les Etats membres du CILSS. Elle est également applicable à la classification, l'étiquetage, le conditionnement et l'emballage des formulations de pesticides.

En 2005, les pays de la CEDEAO ont décidé d'harmoniser la réglementation des pesticides au niveau régional : Règlement C/REG.3/05/2008 portant harmonisation des règles régissant l'homologation des pesticides dans l'espace CEDEAO, 2008. Le but commun de ce règlement est, notamment, de :

- (i) protéger les populations et l'environnement Ouest Africain contre les dangers potentiels de l'utilisation des pesticides ;
 - (ii) faciliter le commerce intra et inter-états des pesticides, à travers la mise en place de règles et de principes acceptés de commun accord au niveau régional pour démanteler les barrières commerciales ;
 - et (iii) faciliter un accès convenable et à temps des pesticides de qualité aux paysans.
- Il s'applique à toutes les activités impliquant l'expérimentation, l'autorisation, le commerce, l'utilisation et le contrôle des pesticides et biopesticides dans les Etats membres.

1.5.3. Réglementation des pesticides au Sénégal

Pour la mise en œuvre des instruments internationaux relatifs aux pesticides, le Sénégal a ratifié toutes les conventions internationales relatives à la gestion des produits chimiques et a mis en place au plan institutionnel, les outils nécessaires à la bonne application de ces textes

juridiques, notamment la Commission Nationale de Gestion des Produits Chimiques (CNGPC). La convention de Stockholm a été ratifiée le 08 octobre 2003, celle de Rotterdam le 20 juillet 2001, celle de Bâle le 10 novembre 1992, celle de Bamako le 16 février 1994 et l'accord portant réglementation commune sur l'homologation des pesticides dans les pays du CILSS le 26 novembre 2002.

Le Sénégal a également adopté le Code FAO, le Système Général Harmonisé de Classification et d'étiquetage des pesticides et participe aux travaux du Forum Intergouvernemental sur la Sécurité Chimique (IFCS). Cependant, la transcription des dispositions pertinentes de ces instruments internationaux n'est pas en phase avec les engagements auxquels, le pays a souscrit. Cela est la conséquence d'un déficit ou d'une stratégie de communication qui n'a pas encore atteint ses objectifs, concernant une catégorie de cibles importantes, à savoir les décideurs, d'une part et d'autre part à l'insuffisance de ressources pour l'opérationnalité de la CNGPC, qui est une proposition de textes législatifs et réglementaires.

L'arsenal juridique pour la gestion des pesticides au Sénégal est composé d'instruments internationaux. Les instruments juridiques et les mécanismes non réglementaires pour la gestion des pesticides sont nombreux au Sénégal. Cependant, les textes dans leur ensemble (lois, décrets, conventions, arrêtés, normes) ne couvrent pas totalement la gestion des pesticides.

Le Sénégal a élaboré plusieurs textes législatifs et réglementaires nationaux concernant des pesticides parmi lesquels :

- Loi N° 84-14 du 2 février 1984 dit en son article 2 que sont interdites la vente, la mise en vente, la distribution, même à titre gratuit, des spécialités agro-pharmaceutiques lorsqu'elles n'ont pas fait l'objet d'un agrément délivré pour une durée déterminée par Arrêté conjoint du Ministre chargé du Développement Rural et du Ministre chargé de la Santé Publique;
- Arrêt N° 005381 du 20 mai 1985 fixant la composition et les règles d'organisation de la Commission Nationale d'Agrément des spécialités agropharmaceutiques et des spécialités assimilées ;

- Arrêté N° 010015/MDRH/MSPAS du 13 septembre 1990 portant autorisation pour une durée de deux ans, de la vente des spécialités agropharmaceutiques et des spécialités assimilées enregistrées au Sénégal avant le 25 février 1984 ;
- Arrêté N° 10390/MA/MSPAS du 2 décembre 1994 fixant le montant de la redevance relative à l'agrément des spécialités agropharmaceutiques et assimilées.
- Loi N° 84-14 du 2 février 1984 relative au contrôle des spécialités agropharmaceutiques et des spécialités assimilées ;
- Décret N° 84-503 du 2 mai 1984 portant application de la loi N° 84-14 du 2 février 1984 relative au contrôle des spécialités agropharmaceutiques et assimilées ;
- Arrêté N° 010777 du 4 août 1992 portant création d'une Intermédiaire de recette au Ministère du Développement Rural et de l'Hydraulique, relative au contrôle des spécialités agro-pharmaceutiques et assimilées ;
- Arrêté N° 15850/MCLA du 18 novembre 1966 relatif au contrôle du conditionnement et de la commercialisation des produits maraîchers et horticoles.
- Décision N°000140/MEF/DTCP/DR du 11 janvier 1994 portant nomination de la régie de recette intitulée « Contrôle des Spécialités Agropharmaceutiques et des Spécialités Assimilées » ;
- Décret 60-122 SG du 10 mars 1960 instituant un contrôle phytosanitaire au Sénégal ;
- Nouveau code de l'environnement : la loi N° 2001-01 du 15 janvier 2001 portant code de l'environnement et de son décret d'application N° 2001-282, stipule en ses articles L44 à L47 sur les modalités de gestion des produits chimiques et de ses articles L76 à L80 sur conditions de gestion de la pollution de l'air ;
- Par ailleurs, tout établissement de fabrication, vente en gros ou vente au détail de spécialités agro-pharmaceutiques ou assimilées doit faire l'objet d'une autorisation conjointe des Ministres chargés du Développement Rural, de la Santé Publique, de l'Industrie et du Commerce (Cissé et al, 2002 ; Cissé et al, 2003 ; ISE, 1996).

Conclusion

Le développement des pesticides après la seconde guerre mondiale constitue un progrès remarquable et indiscutable qui a contribué significativement à l'intensification des systèmes de production avec une augmentation considérable des rendements. Leur utilisation est nécessaire pour protéger les cultures et les stocks contre les organismes nuisibles. Ces derniers constituent un frein majeur à l'accroissement de la production agricole surtout dans

les pays en voie de développement dont ceux du Sahel. Ainsi, à l'instar des pays de la sous-région, le Sénégal s'est engagé dans une politique d'intensification de son agriculture avec l'utilisation massive des pesticides chimiques et plus particulièrement dans la zone des Niayes qui concentre l'essentiel des activités horticoles. Cependant, l'aspect relatif à la sécurité sanitaire ne doit pas être négligé pour une agriculture plus productive et durable. Cette analyse bibliographique a révélé que les pesticides chimiques apportent des bénéfices certains dans l'accroissement des rendements mais peuvent être à l'origine d'effets potentiellement préjudiciables pour la santé humaine et animale et aussi pour l'environnement avec la persistance des résidus de pesticides dans les différentes composantes de l'écosystème. La contamination des produits agricoles par les pesticides comme rapportée par beaucoup d'auteurs peut aussi compromettre les exportations par le non-respect des limites maximales admises (LMRs) surtout dans les pays africains comme le Sénégal dont la législation afférente est encore insuffisante et peu appliquée. L'utilisation intensive des pesticides chimiques met également en péril des insectes non nuisibles dont certains sont des pollinisateurs qui influencent positivement les rendements. Face à cette problématique des pesticides chimiques qui deviennent de plus en plus inquiétants, il est nécessaire de développer des méthodes de lutte alternatives performantes et adaptées pour augmenter durablement les productions agricoles tout en préservant l'environnement.

Chapitre 2. Engrais chimiques et fertilisation des cultures

Introduction

Dans certaines régions du globe dont l'Afrique subsaharienne, la surexploitation des surfaces cultivables a entraîné l'épuisement des sols avec comme conséquence une forte dégradation des terres et une baisse notable des rendements (FAO, 2011). Les systèmes actuels de gestion des sols et des cultures ne répondent pas aux critères de durabilité. Ainsi, pour améliorer les rendements et répondre aux besoins croissants des populations en produits agricoles, les producteurs se sont tournés vers une agriculture intensive avec l'utilisation excessive de l'engrais minéral délaissant les fumures et les amendements organiques. Nous rappelons que les engrais sont des produits dont la fonction majeure est d'apporter aux plantes des éléments nutritifs. Ils compensent les pertes de nutriments dues à l'exportation par les plantes et/ou au lessivage et lixiviation. Ces fertilisants interviennent pour au moins 50 % dans les rendements agricoles. Les plantes ont besoin de plusieurs éléments pour leur développement. Cependant, trois éléments majeurs (N, P et K) sont nécessaires, en quantité plus importante, à la majorité des plantes et pour la plupart des sols (Kawther, 2002). Ces éléments sont fournis soit directement par le sol soit par la fertilisation. Pour l'obtention de rendements plus élevés, la fourniture par le sol d'éléments minéraux est insuffisante et il est généralement nécessaire d'appliquer des fertilisants. Cependant, avec la fragilité de ces sols dont le pouvoir de rétention est très faible, des pertes insidieuses d'éléments fertilisants vers les eaux de surface et aussi de la nappe phréatique peuvent être observées.

2.1. Matières fertilisantes

D'une manière générale, tous les produits dont l'emploi est destiné à assurer ou à améliorer la nutrition des végétaux, les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols et donc les engrais, les amendements constituent les matières fertilisantes (Jonis, 2004). Tout produit contenant au moins 5 % ou plus de l'un ou plus des trois principaux éléments nutritifs des plantes (N, P₂O₅, K₂O), fabriqué ou d'origine naturelle, peut être appelé engrais (FAO, 2003). Les engrais peuvent être divisés en trois catégories : les engrais minéraux, les engrais organo-minéraux et les engrais organiques.

Les engrais minéraux sont les fertilisants inorganiques comportant un ou plusieurs des éléments nutritifs majeurs (N, P, K). Les engrais minéraux sont issus de la fabrication

industrielle. Ce sont des engrais de synthèse qui permettent l'apport des éléments minéraux sous des formes solubles, directement assimilables par les plantes.

Les engrais azotés sont obtenus grâce au procédé Haber-Bosch qui synthétise de l'ammoniac par hydrogénation du diazote atmosphérique tandis que les engrais P et K proviennent de minerais naturels dont la solubilité a été augmentée par des traitements chimiques.

Les engrais organiques sont des fertilisants dont la totalité des éléments nutritifs est d'origine organique, animale ou végétale.

Les engrais organo-minéraux sont un mélange de fertilisants minéraux et organiques d'origine animale ou végétale (Laroche, 2011).

Par contre, les amendements sont des matières organiques ou minérales, incorporées au sol en vue d'améliorer ses propriétés physiques et chimiques et sa structure. En effet, l'amendement calcique ou magnésien est destiné au maintien et à l'augmentation du pH du sol, et à améliorer les propriétés de celui-ci. Par contre, l'amendement organique a pour objectif de reconstituer ou d'entretenir la matière organique du sol (Jonis, 2004). Ils désignent la matière fertilisante constituée d'une forte teneur en matière organique (> 30 %) (Norme NF U44-051). Les fumiers, litières d'étables, résidus végétaux et compost font partie des amendements organiques.

2.2. Eléments minéraux du sol et leur importance pour la plante

L'azote (N) : L'azote est le facteur principal de la croissance des plantes et du rendement des cultures. Il est aussi un facteur de qualité qui influe sur le taux de protéines des végétaux et aussi de la chlorophylle. Il s'agit d'un élément essentiel pour la constitution des cellules et la photosynthèse (chlorophylle) (Achille, 2006 ; Bado, 2002). Les plantes absorbent l'azote sous forme de nitrates (NO_3^-) et d'ammonium (NH_4^+). L'importance relative de chacune de ces formes dépend de l'espèce végétale et des conditions du milieu (Layzell, 1990). Le déficit d'azote dans le sol constitue un facteur limitant pour la production d'où l'importance des engrais azotés dans l'agriculture.

Le phosphore (P) : Le phosphore joue un rôle physiologique à plusieurs niveaux. Il favorise la croissance de la plante, le développement des racines, la précocité, et la qualité des produits, la rigidité des tissus, la reproduction, la qualité des produits végétaux. Une alimentation convenable en phosphore permet un développement harmonieux des plantes.

Le potassium (K) : Très mobile, et toujours abondant dans la plante, le potassium joue plusieurs rôles parmi lesquels on peut citer : son intervention dans l'équilibre acido-basique des cellules et la régularisation des échanges intracellulaires. C'est un élément qui participe à la formation des protéines, et favorise leur migration vers les organes de réserve (tubercules et fruits). Il contribue également à renforcer les parois cellulaires et offre aux plantes une meilleure résistance à l'agression des parasites ou maladies (UNIFA, 2005).

Bien qu'en quantité moindre, d'autres minéraux jouent un rôle tout aussi important, tant pour la croissance des cultures et l'obtention de rendements, que pour l'obtention de produit agricole de qualité (Achille, 2006) :

- Les éléments secondaires ou compléments fertilisants : calcium (Ca), magnésium (Mg), soufre (S)
- Les oligoéléments : bore (B), chlore (Cl), cobalt (Co), cuivre (Cu), fer (Fe), manganèse (Mn), molybdène (Mo), sélénium (Se), sodium (Na) et zinc (Zn).

2.3. Biodisponibilité des minéraux du sol

Dans le sol, les cations sont continuellement en mouvement et représentent les éléments minéraux à l'état échangeable (figure 9). Ils sont bio disponibles pour la plante. Les argiles et l'humus sont liés pour former un agrégat appelé complexe argilo-humique (CAH) ou complexe adsorbant qui retient les cations échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ ...) du sol. Au tour de ce complexe adsorbant, les cations peuvent s'échanger avec ceux de la solution du sol et les plantes et constituent donc le réservoir de nutriments (INRA, 2013). Cet agrégat joue aussi un rôle important dans la rétention des éléments nutritifs en limitant les pertes par ruissellement et infiltration des eaux. Le complexe adsorbant d'un sol est saturé quand tous les ions H^+ sont remplacés par des cations échangeables tels que Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ . La quantité maximum de cations qu'un sol peut fixer détermine la capacité d'échange cationique (C.E.C.). Le taux de saturation est plus ou moins élevé selon que le complexe est plus ou moins saturé en cations échangeables. La qualité d'un sol et l'efficacité d'un engrais dépendent donc, en grande partie, de l'état du complexe argilo-humique. Ce complexe protège l'argile et maintient la stabilité structurale du sol (Huber et Schaub, 2011). Pour obtenir l'efficacité maximale de la fertilisation, la capacité d'échange cationique du complexe doit être maintenue en favorisant la formation d'humus et en saturant le complexe par des amendements basiques.

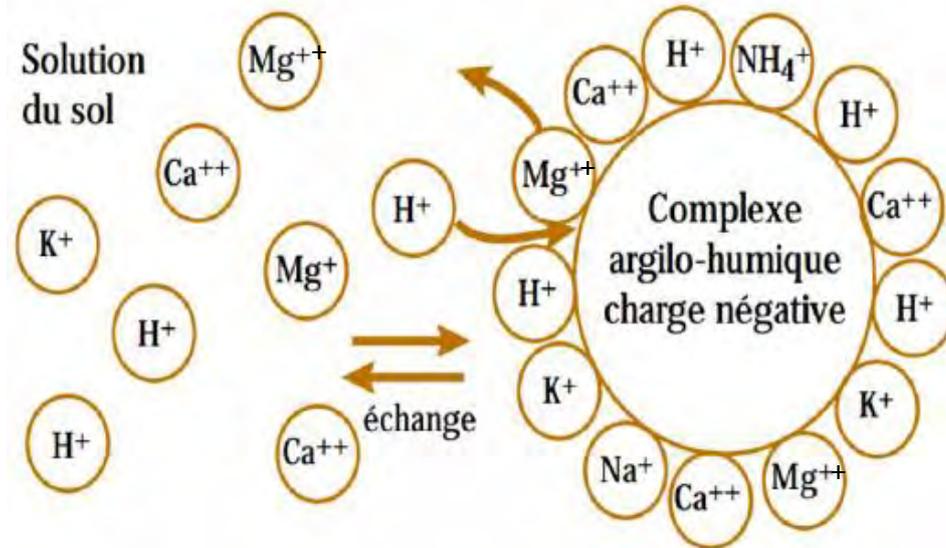


Figure 9 : Echanges cationiques au niveau du complexe argilo-humique (CAH)

En ce qui concerne le phosphore en particulier, la problématique de sa disponibilité rend incontournable son apport par les fertilisants car, en dépit de sa très grande réactivité avec les éléments du sol, l'approvisionnement de la solution du sol à partir des formes de phosphates non labiles est trop lent pour permettre une alimentation suffisante des plantes (Oluf et al, 1990 ; Assirniou, 1997).

2.4. Incidence des engrais chimiques sur l'environnement

La pollution chimique des sols et des nappes aquifères par les engrais chimiques utilisés pour intensifier les productions végétales devient de plus en plus inquiétante. Seule une faible proportion des éléments minéraux apportés par les engrais de synthèse est prélevée par les cultures en place (Gardner and Drinkwater, 2009). Les éléments minéraux restant dans la phase liquide du sol sont susceptibles d'être lixivés, entraînés par drainage en direction des nappes d'eaux souterraines surtout en cas de fortes précipitations (FAO, 2011 ; Benjamin Nowak, 2013). Certains éléments solubles peuvent cependant être stabilisés par adsorption sur la phase solide du sol ou par humification, incorporation à la matière organique stable du sol. Les transferts de N et de P en direction des écosystèmes naturels sont responsables d'importants dégâts environnementaux. La contamination des nappes d'eaux phréatiques par les nitrates peut engendrer des conséquences néfastes sur la potabilité de l'eau et la santé humaine. Par ailleurs, avec les phosphates, ces nitrates peuvent déséquilibrer l'état des écosystèmes aquatiques et provoquer des phénomènes d'eutrophisation. En outre, les

émissions gazeuses de protoxyde d'azote lors de la dénitrification participent à l'effet de serre et donc au changement climatique (Galloway et al, 2003 ; Galloway et al, 2008). La gestion efficace des engrais chimiques reste un défi à relever pour limiter les pertes de nutriments.

Conclusion

La problématique de la faible fertilité des sols due aux pertes d'éléments nutritifs constitue une préoccupation mondiale. Elle se traduit par une baisse inquiétante des rendements des cultures surtout dans les pays en voie de développement dont le Sénégal. Ceci a poussé les producteurs vers une agriculture intensive avec le recours aux engrais chimiques dont l'incidence sur l'environnement et la santé des populations n'est plus à démontrer. L'utilisation des engrais chimiquement a permis une augmentation considérable des rendements pour répondre aux besoins croissants des populations en produits alimentaires. Cependant, l'engrais chimiquement utilisé seul ou associé avec de la matière organique est plus fréquent et constitue un réel danger pour l'équilibre écologique et la santé publique à travers la pollution de la nappe phréatique par les nitrites, les nitrates et les phosphates. Cette revue bibliographique montre la nécessité pour la recherche de s'investir davantage sur le développement de méthodes adaptées pour générer des biofertilisants accessibles et compétitifs par rapport aux engrais chimiques.

Chapitre 3. Méthodes alternatives aux intrants chimiques

Introduction

Dans de nombreux pays du Sahel dont le Sénégal, un des problèmes majeurs de l'agriculture est la pauvreté des sols en azote et phosphore principalement et les dégâts causés par les ravageurs. Les engrais chimiques et les pesticides auxquels les producteurs et exploitants font souvent appel sont peu accessibles et présentent des risques pour l'homme, l'animal et aussi pour l'environnement (Guéye, 2009). Leur utilisation engendre d'énormes problèmes dont l'acidification des sols, la résistance des bioagresseurs et la pollution de la nappe et des sols par les engrais chimiques et les résidus de pesticides (Cissé et *al.*, 2003). Face à cet état de fragilisation généralisée des écosystèmes cultivés, les enjeux d'avenir de l'agriculture s'efforcent de répondre aux objectifs d'une production saine et durable. La fertilisation et la protection des cultures contre les bio-agresseurs constituent les composantes principales dans la gestion des cultures et doivent suivre cette évolution. Dans ce contexte, il est nécessaire de développer et d'adopter un ensemble de mesures alternatives (rotations des cultures, assolements, diversification des cultures, compostage, usage de pesticides naturels, etc.) pour limiter le recours aux intrants chimiques.

3.1. Agriculture biologique

L'agriculture biologique est une méthode de production agricole qui exclut le recours aux intrants chimiques de synthèse, les organismes génétiquement modifiés et l'irradiation. Elle vise le respect du vivant et de l'environnement (FAO, 1999). A cet effet, l'agriculture biologique est un système de gestion globale de la production agricole qui favorise l'agro-système, la biodiversité, les activités biologiques des sols et les cycles biologiques (FAO, 1999). Elle s'appuie sur les meilleures pratiques environnementales et la préservation des ressources naturelles.

3.2. Alternative à la lutte chimique

Les méthodes alternatives constituent un système de production qui prend en compte l'ensemble des facteurs de productions (sol, eau, semences, produit de fertilisation et de protection des cultures) tout en visant l'optimum de productivité. Il ne s'agit pas de substituer un produit chimique à un produit naturel ou biologique (Thiam et al, 2007).

Contrairement aux intrants chimiques, les méthodes alternatives ne présentent aucune menace pour l'homme, l'animal ou les plantes.

3.2.1. Lutte biologique

La lutte biologique est une méthode de lutte contre les ravageurs ou une plante adventice au moyen d'organismes naturels. Selon Van Drische et Bellows (1996), la lutte biologique est un processus agissant au niveau des populations et par lequel la densité de population d'une espèce est abaissée par l'effet d'une autre espèce qui agit par prédation, parasitisme, pathogénécité ou compétition. La lutte biologique est donc l'utilisation d'organismes vivants dans le but de diminuer la densité de population d'un autre organisme vivant, généralement un ravageur (Guy Boivin, 2001). Les organismes naturels principalement utilisés sont les plantes phytophages dans le cas des plantes adventices, les parasitoïdes (arthropodes), les prédateurs (araignées, coccinelles, mantes, guêpes, libellules, etc.) et les microorganismes pathogènes aux insectes (virus, bactéries, champignons et protozoaires). Cependant, certains autres y intègrent les moyens de lutte à base de substances botaniques et d'autres technologies naturelles telles que les méthodes culturales, la résistance variétale et les méthodes physiques (filets anti-insectes, voile Agryl, etc.) (Kouassi, 2001). Cependant, l'utilisation de ces méthodes est encore limitée à cause des difficultés techniques qu'elles rencontrent pour identifier les auxiliaires utiles qui soient spécifiques des objectifs de lutte et ensuite assurer leur production en masse pour permettre une mise en œuvre à grande échelle (Wakes et al, 2008).

3.2.2. Lutte intégrée

De plus en plus, la lutte biologique entre dans un cadre plus large, la lutte intégrée qui associe tous les moyens de lutte disponibles, chimiques, biologiques, mécaniques, thermiques et qui vise non pas à éliminer totalement les ravageurs, mais à maintenir la population en dessous d'un seuil supportable économiquement parlant (Wakes et al, 2008). Le recours à la lutte intégrée qui fait une plus large place à l'utilisation des biopesticides, à l'étude de méthodes culturelles mieux adaptées et la multiplication de matériels végétaux résistants aux maladies, devrait, en principe, aboutir en un usage plus modéré et mieux ciblé des produits chimiques (Boye, 2002).

3.3. Fertilisants naturels

L'agriculture biologique repose largement sur la décomposition naturelle de la matière organique, en utilisant des techniques comme engrais verts et compostage, pour remplacer les nutriments extraits du sol par les cultures précédentes. Ce processus biologique, grâce à des micro-organismes tels que les mycorhizes, permet la production naturelle de nutriments dans le sol tout au long de la saison de croissance. L'agriculture biologique utilise une variété de méthodes pour améliorer la fertilité du sol : la rotation des cultures, les cultures de couverture, le travail réduit du sol, et l'application du fumier ou du compost (Bado, 2002). En réduisant le travail du sol, le sol n'est pas inversé et exposé à l'air ; moins de carbone est perdu dans l'atmosphère. Cela a un avantage supplémentaire par la séquestration du carbone qui permet de réduire l'effet de serre et aide à inverser le changement climatique. Les recherches sur les légumineuses montrent qu'elles jouent un triple rôle de protection des sols contre la dégradation, de lutte contre les adventices et d'amélioration et du maintien de la fertilité des sols par la fixation de l'azote atmosphérique (Coulibaly, 2012). Bado (2002) a montré dans ses travaux que par rapport à la monoculture du sorgho, les précédentes cultures du niébé et d'arachide ont augmenté de 20 et 13 % respectivement l'azote minéral du sol.

3.4. Connaissances sur l'agriculture biologique au Sénégal

Suite aux dégâts liés à l'usage des produits chimiques dans l'agriculture pour accroître les rendements, diverses techniques ont été expérimentées ces dernières années en guise d'alternatives. L'efficacité de plusieurs méthodes de lutte biologique avec l'utilisation de plantes adventices, de phytophages prédateurs, d'agents pathogènes aux virus, bactéries et champignons des plantes, de phéromones et des extraits botaniques a été démontrée à travers le monde. Comme fertilisants naturels, l'utilisation des systèmes fixateurs d'azote et le recours à l'amendement organique en vue d'améliorer la qualité des sols ont fait l'objet de nombreuses recherches (Rinaudo et *al.*, 1983 ; Soumaré et *al.*, 2002 ; Stevanovic, 2007).

Au Sénégal, plusieurs technologies biologiques ont été menées pour contourner l'utilisation abusive des intrants chimiques dans l'agriculture. Différentes techniques de compostage et d'extraits de plantes biocides (*Azadirachta indica* (neem), *Boscia senegalensis*, *Hyptis suaveolens*, *Senna occidentalis*, *Calotropis procera* et *Cassia occidentalis*) contre les ravageurs des cultures et des stocks ont été testées et expérimentées en milieu réel (Guèye, 2011 ; Thiaw, 2007 ; Sarr, 2013 ; Dieng, 2010) ; Niassy et *al.*, 2010, Seck et *al.*, 1996 Seck D., 1994 ; Liénard et *al.*, 1993 ; Seck, 1996, Sow, 2007 ; Mané, 2011). Certaines de ces

technologies dont l'usage du neem et du papayer dans la protection des cultures a été vulgarisé dans quelques localités. Aujourd'hui, l'huile de neem est valorisée dans des formules commerciales de biopesticides disponibles dans le marché local par la SENCHIM et des unités artisanales dont Neeland dans la région de Thiès.

Les travaux menés dans le cadre du projet PACD ont montré l'existence de ressources suffisantes en matières organiques et en produits biocides pour une agriculture biologique dans les cuvettes maraîchères (Thiam et al, 2008). Les essais effectués dans le cadre du projet PADEN (2012-2014) ont permis la mise au point d'une technique de compostage appropriée des matières organiques disponibles dans la zone des Niayes à base de filao. Le compost produit offre des performances agronomiques remarquables comparées à celles de l'engrais chimique. La litière de filao s'accumule fortement au sol et constitue un facteur limitant de la croissance et de la régénération du peuplement de *Casuarina* le long de la côte sénégalaise. A cet effet, il semble intéressant de valoriser la grande masse de litière de filao estimée à 7,2 tonnes/ha/an (CNRF, 2012). La qualité du compost obtenu à base de la litière de filao est hautement appréciable avec un pH variable entre 6,63 et 7,76, un rapport carbone azote compris entre 18,89 et 22,69 et des teneurs en phosphore comprises entre 0,11 et 0,24 %. Les rendements des différentes cultures oignon, laitue et navet ont été significativement augmentés avec les doses de compost testées. D'autres matériaux fermentescibles et disponibles durant toute l'année sont les déchets d'abattoir et les boues de vidange qui présentent un potentiel énorme dans la fabrication de biogaz et le compostage des résidus obtenus, selon beaucoup d'auteurs (ENDA, 2005 ; Zélem, 2010 ; Moustier P., 1998, Huson et Colin, 1993 ; Petitclerc et Leclercq, 1984).

Toujours dans cette dynamique de la recherche d'alternatives aux intrants chimiques, nous avons eu à expérimenter l'efficacité du tourteau de neem seul et l'association d'un compost biocide (compost + tourteau de neem) contre les nématodes qui sont les ravageurs, les plus redoutables dans la zone des Niayes. L'application du compost biocide a donné des rendements comparables à ceux du système conventionnel : 56 T/ha pour la pomme de terre, 30 T/ha pour le poivron, 145 T/ha pour le chou et 105 T/ha pour l'oignon (Sonko, et al., 2013). En station, le compost biocide à base du neem a permis de réduire le nombre de nématodes dans le sol de 67 % et une réduction de l'indice de galle de 87 %.

Economiquement, ce compost a permis de réduire de moitié le coût de production chez les producteurs pilotes. Le biofertilisant produit par le compostage de la biomasse végétale

(coque d'arachide broyée, résidus de récolte, ligneux) associée à la matière organique collectée des étables intensifiées écologiquement est hautement appréciable comparé au compost traditionnel généralement obtenu par les producteurs. Ces résultats sont confirmés par les essais conduits dans le cadre du projet CORAF sur l'intensification des systèmes de Production en Afrique de l'Ouest.

Conclusion

L'optimisation des productions agricoles avec l'utilisation massive des intrants chimiques tels que les engrais chimiques et les pesticides constitue le modèle d'exploitation adopté par la plupart des pays pour l'atteinte des objectifs du millénaire sur la sécurité alimentaire. Ces intrants présentent, certes des avantages pour améliorer quantitativement les productions agricoles, mais engendrent aujourd'hui, de multiples inconvénients dont la contamination des produits agricoles, la pollution des ressources naturelles et les problèmes d'intoxications fréquentes chez les utilisateurs. Face à cette équation, des méthodes alternatives sont expérimentées par la recherche pour réduire leur usage. Cependant, les résultats de cette étude bibliographique ont révélé des potentialités importantes pour ces méthodes biologiques. Bien qu'elles soient bénéfiques, ces technologies sont peu appliquées en milieu réel dû en grande partie à leur méconnaissance de la part des producteurs. La démonstration de leur intérêt agronomique, économique et sanitaire par rapport aux intrants chimiques avec un accompagnement scientifique et une assistance technique des producteurs est nécessaire pour leur adoption. C'est dans cette optique que ce projet de thèse sur le développement de technologies biologiques pour contribuer à la réduction des intrants chimiques utilisés dans la zone des Niayes au Sénégal a été initié.

DEUXIEME PARTIE

ETUDE EXPERIMENTALE

**IMPACT DES INTRANTS CHIMIQUES ET
MISE AU POINT DE METHODES ALTERNATIVES**

Chapitre 4 : Impact des mauvaises pratiques d'utilisation des pesticides sur la nappe phréatique et les produits horticoles

Introduction

Au Sénégal, les faibles rendements de l'agriculture traditionnelle et l'effet conjugué du taux de croissance démographique élevé (2,7 %) et de l'urbanisation accélérée durant ces dernières années augmentent considérablement la demande en produits alimentaires des populations en milieu urbain (ANSD, 2002). L'agriculture périurbaine pratiquée essentiellement dans la zone des Niayes occupe une place importante dans les stratégies de choix pour renverser les tendances, notamment dans l'approvisionnement des populations en fruits et légumes avec une production annuelle de l'ordre de 370 000 tonnes soit 80 % de la production nationale (Akinbamijo et al., 2002). Cette activité, même si elle participe à générer un revenu et à améliorer la condition alimentaire de la population urbaine, rencontre cependant de nombreuses difficultés. Ces dernières sont relatives à la réduction des surfaces cultivables au profit des habitats, la surexploitation des ressources avec une forte dégradation de l'environnement de production et la pression parasitaire. La zone bien qu'étant adaptée au développement de l'horticulture présente néanmoins des conditions écologiques qui favorisent la prolifération de plusieurs espèces de parasites ravageurs des cultures (Wade, 2003). La protection des cultures devient indispensable pour améliorer les rendements. La lutte chimique reste encore le seul moyen appliqué pour protéger les cultures. Au total, plus de 90 % des 1298 tonnes de pesticides solides et 1 337 m³ de pesticides liquides destinés à l'agriculture sénégalaise sont utilisés au niveau de la zone des Niayes (PAN Africa, 2006 ; Cissé et al., 2002). Chez les petits producteurs dont les récoltes sont destinées au ravitaillement quotidien des ménages locaux en fruits et légumes, les pesticides sont largement disséminés sur les cultures dans un vide juridique. Dans ces petites exploitations familiales, l'utilisation massive des pesticides a permis d'augmenter considérablement les rendements. Toutefois, l'usage des pesticides surtout de façon irrationnelle peut être à l'origine d'effets potentiellement préjudiciables pour la santé humaine et animale et aussi pour l'environnement (Fournier 1988 ; Periquet 1986 ; Snedeker, 2001 ; Cooper et al, 2000 ; O'Connor et al, 2000). Ainsi, il est nécessaire de connaître les niveaux d'exposition des populations aux résidus pesticides à travers la consommation des fruits et légumes produits dans la zone des Niayes pour mieux orienter la gestion des risques phytosanitaires et définir

des priorités d'action. Ce travail s'inscrit dans cette dynamique et a pour objectif d'étudier l'évolution des teneurs en résidus de pesticides dans les fruits et légumes produits dans la zone des Niayes.

4.1. Matériel et méthodes

L'étude des pratiques d'utilisation des pesticides a été effectuée sur la base d'une approche participative sous forme d'enquêtes menées auprès des producteurs. Un échantillonnage de 400 maraîchers choisis au hasard et répartis dans 4 sites (Pikine, Thiaroye, Malika et Niaga) a été réalisé dans la zone d'étude (figure 10).



Figure 10 : Situation géographique des Niayes au Sénégal (Dia 2004)

4.1.1. Echantillonnage

Pour l'évaluation des niveaux de contamination des produits horticoles par les pesticides, les prélèvements ont été faits dans les exploitations agricoles, juste après la cueillette et aussi dans les marchés de produits alimentaires de la banlieue. Quarante-vingt-dix (90) échantillons de produits horticoles (tomate, aubergine, piment, chou, oignon et laitue) ont été analysés dont 72 prélevés au niveau champs et 18 prélevés au niveau marché répartis comme suit : trois (3) échantillons/spéculation/site au niveau champs et trois (3) échantillons/spéculation au hasard au niveau marché. Conditionnés avec du papier aluminium, les échantillons ont été transportés au laboratoire dans des glacières et conservés au réfrigérateur jusqu'à l'analyse.

Pour l'étude de la pollution de la nappe phréatique par les pesticides, l'échantillonnage a été effectué en fin hivernage, période pendant laquelle les puits sont fortement remplis par les eaux de pluies. Les prélèvements d'eau ont été effectués en zone périurbaine et uniquement au niveau des trois sites de Thiaroye, Malika et Niaga. Quarante-cinq (45) puits soit 15 puits/site ont été prospectés. L'étude n'a pas pris en compte la nappe phréatique au niveau de Pikine dans la mesure où cette zone est entièrement située en milieu urbain et les producteurs utilisent pour la plupart des eaux usées traitées et drainées par la station d'épuration de Cambèrene installée à proximité des exploitations agricoles. Les prélèvements ont été effectués dans des flacons en verre préalablement rincés à l'eau distillée et stérilisés. A l'échantillonnage, les flacons sont d'abord lavés trois fois avec l'eau du puits avant d'en prélever. Les échantillons ont été transportés au laboratoire dans des glacières contenant de la glace puis conservés à 4°C au réfrigérateur jusqu'à l'analyse. Du papier aluminium a été placé sous le bouchon avant la fermeture hermétique du flacon pour éviter tout contact des pesticides en solution avec le plastique.

4.1.2. Choix des pesticides

Le monitoring des pesticides obtenu à partir des enquêtes a été utilisé comme référentiel pour le choix des substances actives analysées. Compte tenu des différentes propriétés physico-chimiques (vitesse de dégradation, solubilité dans l'eau) des pesticides et aussi de leur degré de toxicité, il était important d'estimer la contamination par classe chimique. Ainsi, les matières actives les plus utilisées dans chaque classe chimique (le méthamidophos et le diméthoate pour les organophosphorés, le dicofol et l'endosulfan pour les organochlorés et la déltaméthrine pour les pyréthriinoïdes) ont été ciblées (Figure 11).

Ces cinq substances représentant plus de 65 % des pesticides utilisés dans la zone, leur quantification permet donc de mesurer, de façon assez représentative, le niveau de contamination de la nappe phréatique et des produits horticoles.

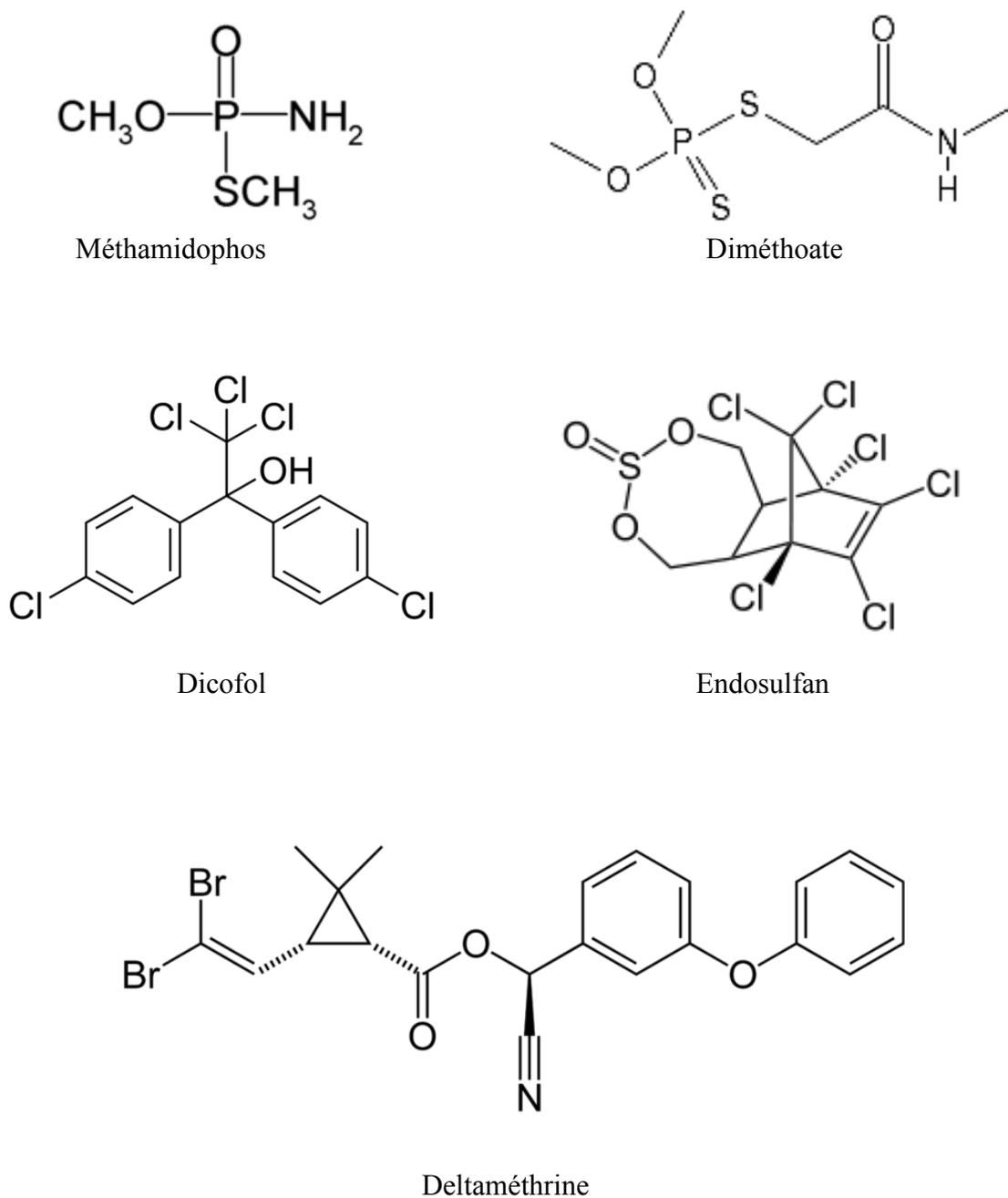


Figure 11 : Structures chimiques des pesticides les plus utilisés dans la zone des Niayes

4.1.3. Extraction et séparation

Une micro-extraction de l'échantillon finement broyé avec de l'acétonitrile légèrement acidifié (milieu tampon à pH 5,5) a été réalisée dans des tubes à centrifuger. En s'inspirant de la littérature (Anastassiades *et al.*, 2003 ; Anastassiades et Quechers, 2005), la purification des extraits a été effectuée par centrifugation en présence de sels (sulfate de sodium anhydre) et du noir de charbon graphitisé (GCB) pour mobiliser les substances colorées (la chlorophylle et le carotène) non actives par précipitation. Le surnageant obtenu de l'extrait congelé après centrifugation a été récupéré dans une vial à l'aide d'une pipette pasteur pour être injecté au chromatographe.

4.1.4. Analyse des extraits

L'analyse des extraits a été effectuée à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse Agilent Technologies muni d'un micro-détecteur à capture d'électrons (GC-micro ECD) de marque Hewlett Packard. Une colonne chromatographique capillaire de type DB-17 MS, d'une longueur de 30 m, d'un diamètre interne de 250 µm et d'une épaisseur de 0,25 µm a été utilisée. L'azote de haute pureté a été utilisé comme gaz vecteur. L'injection a été réalisée en mode Split splitless avec un volume d'injection de 2 µl. Les températures de l'appareillage ont été programmées comme suit : chambre d'injecteur programmée à 275 °C avec une pression de 20,72 psi ; colonne (75 °C pendant 0,5 mn, 75-300 °C avec un débit de 10 °C/mn et 300 °C pendant 7 mn); détecteur (325 C°).

4.2. Résultats et discussion

4.2.1. Pratiques d'utilisation des pesticides dans la zone des Niayes

Dans la zone des Niayes de Dakar, les dégâts causés par les parasites et observés sur le terrain ont montré que l'utilisation des pesticides est une pratique incontournable pour protéger les cultures. Les ennemis des cultures sont nombreux et divers à cause des conditions écologiques favorables à leur développement (Tableau III). Une dizaine d'espèces de parasites majeurs ont été identifiées sur le terrain. Les plus redoutés au niveau des quatre sites prospectés sont les nématodes (27,1 %), les vers (21,2 %) et les papillons (20,5 %).

Tableau III : Principaux ravageurs identifiés dans la zone des Niayes de Dakar

Parasites	Pourcentage (%)				
	Malika	Niaga	Pikine	Thiaroye	Total
Vers	30,5	16,3	22,6	20,6	21,2
Acariens (<i>Aculops lycopersicae</i>)	3,4	0	2,6	2,8	2,1
Papillons	15,2	24,1	16,5	22,8	20,5
Mouche blanche (<i>Pachnoda spp</i>)	0	5,4	2,6	9,9	5,4
Araignée rouge (<i>Tetranychus urticae</i>)	1,7	0	0,9	1,4	0,9
Chenille (<i>Spodoptera exigua</i>)	6,8	5,4	2,6	3,5	4,3
Nématodes (<i>Meloidogyne spp.</i>)	28,8	27,2	32,2	22,1	27,1
Noctuelle (<i>Heliothis armigera</i>)	1,7	0	0	0	0,2
Rouille (<i>Oecidium habunguense</i>)	5,1	1,5	0	2,7	0,4
Puceron (<i>Myzus persicae</i>)	1,7	0	0	3,5	2,2
Thrips de l'oignon	0	0,7	2,6	1,4	1,3
Mouche des fruits (<i>Ceratitis capitata</i>)	5,1	19,4	17,4	11,3	14,4

Les résultats de l'enquête ont montré l'ignorance des bonnes pratiques d'utilisation des pesticides de la part des maraîchers. Ils se focalisent uniquement dans la logique productiviste avec l'utilisation fréquente des produits chimiques pour améliorer les rendements. Une large gamme de pesticides a été révélée en circulation dans les petites exploitations agricoles dans la zone périurbaine des Niayes. Le Tableau IV correspond aux différents pesticides utilisés pour la protection des cultures dans la zone des Niayes de Dakar.

Tableau IV : Liste des pesticides utilisés dans la zone de Dakar

Classe chimique	Nom commercial	Matière active	Malika	Niaga	Pikine	Thiaroye	Total
Organophosphorés (54,30 %)	Systoate	Dimétoate	21,3	16,2	16,1	12,5	15,9
	Métophos	Méthamidophos	16,0	26,6	9,9	14,4	15,7
	Tamaron	Méthamidophos	10,7	18,8	5,2	4,8	9,2
	Malathion	Malathion	6,1	0,7	12,5	3,5	5,8
	Dursban	Chlorpyriphos-éthyl	0,0	0,0	10,4	10,4	6,2
	Distar	Méthamidophos	1,4	1,9	0,0	0,5	0,8
	Dimétox	Dimétoate	0,7	0,0	0,0	0,0	0,1
	Mocap	Ethoprophos	0,7	1,3	0,0	0,5	0,6
Organochlorés (8,70 %)	Keltane	Dicofol	3,8	0,7	10,9	11,2	7,6
	Endosulfan	Endosulfan	0,7	0,0	0,0	0,5	0,3
	Thiofanex	Endosulfan	0,0	0,0	0,0	1,7	0,6
	Roky	Endosulfan	0,0	0,7	0,0	0,0	0,2
Carbamates (21,20 %)	Lannate	méthomyl	12,3	10,4	15,1	1,3	9,2
	Manébe	Manébe	6,8	5,8	6,3	16,9	9,7
	Furadan	Carbofuran	4,5	4,5	0,0	1,3	2,3
Pyréthroïdes (6,10)	Décis	Deltaméthrine	7,7	3,9	8,4	4,8	6,1
Phényles pyrazoles (2,80 %)	Adonis	Fipronil	1,4	0,7	0,0	0,0	2,8
Autres (6,9 %)	-	-	0,7	3,3	1,0	1,0	6,9

Une grande diversité de pesticides a été notée et toutes les classes chimiques (organophosphorés, organochlorés, carbamates et pyréthri-noïdes) sont utilisées par les producteurs. Les organophosphorés sont plus importants en nombre et en quantité dans la gamme de produits retrouvés dans la zone avec un pourcentage d'utilisation de 54,3 %, suivis des carbamates (21,2 %), des organochlorés (8,7 %), des pyréthri-noïdes (6,1 %), des phényles pyrazoles (2,8 %) et d'autres produits non identifiés (6,9 %) (tableau IV). Plus d'une dizaine de formulations commerciales renfermant au total douze (12) matières actives différentes ont été retrouvées dans la zone. Le méthamidophos représente la matière active la plus fréquente dans les formulations courantes employées par les petits producteurs au niveau de tous les sites prospectés. Il est présent dans les trois (3) formulations commerciales (métophos, distar et tamaron) fortement utilisées chez ces petits producteurs avec 25,7 % suivi du dimétoate (16 %) et du Chlorpyriphos-éthyl (6,2 %) dans la classe des organophosphorés.

Ce résultat est inquiétant car le méthamidophos appartient à la classe Ib (très dangereux) de l'OMS (Footprint, 2014 ; WHO, 2008). La DL 50 orale (rat) est de 16 mg/kg. La Dose journalière admissible (DJA) est de 0,004 mg/kg et la dose de référence aiguë (DRfA) est de 0,01 mg/kg (Footprint, 2014). Extrêmement dangereux, le méthamidophos est un inhibiteur de l'acétylcholinestérase chez les humains. De ce fait, il peut hyperstimuler le système nerveux en provoquant des nausées, des étourdissements, la confusion et à des expositions très élevées, une paralysie respiratoire et la mort. Il est l'un des pesticides organophosphorés les plus toxiques, du fait de sa toxicité aiguë élevée. Depuis 2006, le méthamidophos n'est plus autorisé par le comité sahélien des pesticides (CSP) (CSP, 2011 ; Toe, 2007). Il a fait l'objet d'une inscription à l'annexe III de la convention de Rotterdam (PIC) et est reconnu comme un polluant marin (Convention de Rotterdam, 2006).

Les organochlorés sont dominés par le dicofol avec un pourcentage d'utilisation de 10,9 % et 11,2 % au niveau des sites de Pikine et de Thiaroye, respectivement. L'endosulfan qui fait partie des pesticides les plus dangereux à cause de leur faculté de se concentrer dans les tissus adipeux et de leur dégradation lente dans l'environnement est encore utilisé par les producteurs. Il est présent dans trois formules commerciales retrouvées avec les producteurs. Le manèbe et le méthomyl sont plus importants chez la famille des carbamates utilisés dans la zone. Les pyréthrinoides qui sont les pesticides les moins toxiques sont encore peu utilisés par les producteurs à cause de leur prix plus élevé par rapport aux autres groupes, en particulier les organochlorés et les organophosphorés. La déltaméthrine reste la seule matière active de pyréthrinoides présente dans toute la zone des Niayes de Dakar.

La conclusion tirée des résultats de terrain confirme celle de beaucoup d'auteurs qui ont souligné l'usage irrationnel des produits chimiques dans la zone (Ngom et *al.*, 2009 ; Badiane 2004 ; Cissé et *al.*, 2008). Les pesticides sont utilisés dans des lopins de terres exploitables avec un objectif productiviste pour répondre à la demande croissante des populations locales en produits agricoles frais. La plupart des traitements phytosanitaires effectués visent le plus souvent l'élimination de déprédateurs des cultures dont le seuil d'infestation ne nécessite pas le recours à un pesticide. Contrairement au principe d'utilisation des pesticides qui doit s'expliquer nécessairement par l'apparition d'une infestation d'insectes, d'adventices ou toute autre nuisance des cultures tendant à dépasser le seuil critique, les résultats de l'enquête ont montré, que les producteurs agissent le plus souvent par anticipation. La psychose d'une mauvaise récolte eu égard à la non utilisation des pesticides pousse les producteurs dans leur

majorité à traiter les cultures par anticipation, pensant sécuriser leur investissement. Cet usage abusif et incontrôlé des pesticides peut avoir des incidences sur la qualité des produits horticoles et sur l'environnement (Cissé et *al.*, 2008).

4.2.2. Niveau de contamination des produits horticoles par les pesticides

Le tableau V représente les résultats obtenus sur l'analyse des résidus de pesticides dans les prélèvements de produits horticoles effectués au niveau des exploitations en comparaison avec les limites maximales de résidus admissibles (LMR) par la FAO. Les mauvaises pratiques d'utilisation des pesticides à l'égard des maraîchers se traduisent par l'altération de la qualité phytosanitaire des produits de récolte. Les résidus de pesticides ont été détectés dans les produits de récolte et le plus souvent à des teneurs largement supérieures aux LMR édictées par l'OMS et l'Union européenne (UE, 2008 ; FAO/OMS). Ceci constitue un véritable problème de santé publique car les fruits et légumes produits dans ces petites exploitations agricoles situées à proximité des centres urbains occupent une place importante dans l'alimentation quotidienne des populations locales.

Tableau V : Teneurs en résidus de pesticides dans les prélèvements de produits horticoles effectués au niveau des champs (en mg/kg)

Spéculation	Diméthoate		Méthamidophos		Dicofol		Endosulfan		Déltaméthrine	
	CM	LMR	CM	LMR	CM	LMR	CM	LMR	CM	LMR
Tomate	0,007	1,00	0,030	0,01	0,648	1,00	0,008	0,50	0,083	0,30
Piment	0,010	0,02	0,010	0,01	0,015	0,02	0,016	0,05	0,213	0,02
Aubergine amère	0,006	0,02	0,055	0,01	0,025	0,02	0,007	0,05	0,020	0,30
Feuille oignon	0,018	0,02	0,043	0,01	0,050	0,02	0,012	0,05	0,080	0,10
Chou pommé*	0,007	0,02	0,075	0,01	0,023	0,02	0,003	0,05	0,200	0,10
Salade	0,003	0,02	0,080	0,01	0,080	0,02	< LQ	0,05	0,180	0,02

Le diméthoate et le métamidophos ont été détectés dans presque toutes les spéculations analysées avec des teneurs souvent supérieures à la norme. Ces deux pesticides appartiennent à la famille des organophosphorés possédant une toxicité élevée responsable de beaucoup de problèmes sanitaires (asthme, malformations congénitales, anomalies comportementales, incapacité d'apprentissage, cancer, dysfonctionnement du système immunitaire, perturbations neurologiques et troubles de la reproduction) selon certains auteurs [Simeu et Fofiri *al.*, 2008 ; Simon 1994 ; Arends et *al.*, 1989]. La comparaison des résultats de l'enquête et ceux de l'analyse chimique (tableaux IV et V) a montré une corrélation positive entre la contamination

des produits horticoles par les résidus de pesticides et leur pourcentage d'utilisation par les producteurs. Pour les prélèvements effectués aux champs le métamidophos a révélé la plus forte contamination avec des teneurs moyennes comprises entre 0,010 et 0,080 mg/kg. Sa présence dans toutes les spéculations et surtout à des teneurs élevées pourrait s'expliquer par son utilisation massive par les producteurs. Avec le diméthoate, ils correspondent aux matières actives les plus présentes dans les formulations de préférence des maraîchers soit au total plus de 30 % des matières actives répertoriées dans la zone. Le non-respect du délai d'application avant la récolte peut aussi être à l'origine de la forte contamination par le méthamidophos puisque sa capacité de dégradation dans l'environnement est rapide.

Dans la classe des organochlorés le dicofol et l'endosulfan ont été analysés. Il s'agit de composés liposolubles très rémanents qui possèdent de propriétés bio-accumulatives pouvant entraîner des risques de toxicité chronique comme des lésions cérébrales et nerveuses (Toe et *al.*, 2004). Leurs teneurs dans les produits horticoles analysés dépassent largement la norme dans certaines spéculations selon le site. Pour le dicofol, les prélèvements de laitue, d'oignon et d'aubergine effectués dans la zone de Dakar ont montré des teneurs dépassant largement la LMR (0,02 mg/kg) avec des concentrations moyennes respectives de 0,080, 0,050 et 0,025 mg/kg. Par contre pour l'endosulfan, les plus hautes teneurs ont été décelées dans le piment (0,016 mg/kg), et l'oignon (0,012 mg/kg).

Comme pyréthriinoïdes, seule la déltaméthrine a été prise en compte pour les analyses. Elle représente le seul pyréthriinoïde utilisé chez les petits exploitants agricoles d'après les résultats de l'enquête et ceux publiés par Badiane (2004). La contamination par la déltaméthrine est aussi élevée même si sa rémanence est plus faible par rapport autres matières actives. Les teneurs en déltaméthrine ont dépassé la LMR pour le piment (0,213 mg/kg) et le chou pommé (0,200 mg/kg). La détection de l'endosulfan dans les prélèvements effectués prouve son utilisation encore dans le maraîchage bien qu'il soit interdit par la réglementation en vigueur. Par ailleurs, les résultats de l'analyse chimique confirment l'utilisation abusive et incontrôlée des pesticides par les petits exploitants agricoles dans la zone périurbaine des Niayes. Les taux de résidus de pesticides dans les produits de récolte suivent la logique des données de l'enquête sur leur pourcentage d'utilisation par les producteurs. Le déficit juridique évoqué dans la littérature (Boye, 2001 ; ISE, 1996) a été aussi confirmé par l'usage incontrôlé des pesticides dans la filière maraîchère avec la circulation de formulations interdites comme l'endosulfan réservé essentiellement aux cultures de coton.

Tableau VI : Concentrations moyennes des pesticides dans les produits horticoles prélevés au niveau des marchés de produits alimentaires de la zone des Niayes (mg/kg)

Spéculation	Diméthoate		Méthamidophos		Dicofol		Endosulfan		Déltaméthrine	
	CM	LMR	CM	LMR	CM	LMR	CM	LMR	CM	LMR
Tomate	< LQ	1,00	0,010	0,01	< LQ	1,00	0,008	0,50	0,010	0,30
Piment	< LQ	0,02	0,006	0,01	0,004	0,02	0,005	0,05	0,002	0,20
Aubergine	< LQ	0,02	< LQ	0,01	0,003	0,02	< LQ	0,05	0,003	0,30
Feuilles oignon	0,007	0,02	0,017	0,01	0,010	0,02	0,005	0,05	0,030	0,10
Chou pommé	< LQ	0,02	0,014	0,01	0,030	0,02	0,013	0,05	0,004	0,20
Laitue	< LQ	0,02	< LQ	0,01	0,010	0,02	< LQ	0,05	0,006	0,50

Tableau VI : Concentrations moyennes des principaux pesticides identifiés dans les produits horticoles prélevés aux niveaux des ménages et lavés à l'eau distillée (mg/kg)

Spéculation	Diméthoate		Métamidophos		Dicofol		Endosulfan		Deltaméthrine	
	CM	LMR	CM	LMR	CM	LMR	CM	LMR	CM	LMR
Tomate	< LQ	1,00	< LQ	0,01	< LQ	1,00	< LQ	0,5	< LQ	0,30
Piment	< LQ	0,02	< LQ	0,01	< LQ	0,02	< LQ	0,05	< LQ	0,20
Aubergine	< LQ	0,02	< LQ	0,01	< LQ	0,02	< LQ	0,05	< LQ	0,20
Feuilles oignon	< LQ	0,02	0,012	0,01	< LQ	0,02	0,006	0,05	0,003	0,10
Chou pommé	< LQ	0,02	0,006	0,01	0,020	0,02	0,011	0,05	< LQ	0,10
Salade	< LQ	0,02	< LQ	0,01	< LQ	0,02	< LQ	0,05	< LQ	0,50

La comparaison des teneurs en résidus de pesticides détectés dans les échantillons prélevés au niveau champs avec celles des échantillons prélevés au marché a montré que la contamination est plus élevée pour les échantillons récoltés aux champs par rapport à ceux obtenus au marché. Le métamidophos qui est présent à de fortes teneurs (0,080 mg/kg) dans les échantillons de laitue prélevés au niveau des champs n'a pas été détecté dans les prélèvements réalisés au niveau des marchés. Egalement, les fortes contaminations des échantillons de laitue prélevés au niveau des champs par le dicofol (0,080 mg/kg) sont largement supérieures à celles observées pour les prélèvements effectués au niveau des marchés qui restent inférieures LMR (0,080 mg/kg contre 0,010 mg/kg). Cette différence est très nette car tous les échantillons du marché ont montré des teneurs parfois 20 fois plus faibles. La rémanence des pesticides pourrait expliquer la différence de contamination qui a été notée entre ces produits d'origines différentes. De ce fait, plus le temps de rémanence du pesticide est long, plus il se dégrade et finit par disparaître. En effet, puisque les fruits et légumes prélevés au marché ont subi un long parcours (du lieu de production au marché), cette durée pourrait être nécessaire

pour favoriser une rémanence ou une diminution des concentrations en ces pesticides sur ces spéculations d'où les teneurs plus faibles.

Cependant, malgré le lavage qui a été effectué, les échantillons du marché ont toujours montré des résidus des pesticides étudiés (tableau VII). Les pesticides pourraient diffuser à travers les cellules des fruits et des légumes d'où leur présence dans les extraits d'échantillons préalablement lavés. Les problèmes que posent les résidus de produits phytosanitaires en particulier les pesticides restent encore mal connus ou alors ne font pas l'objet de préoccupations des maraîchers dans la zone des Niayes de Dakar. Ce qui pose un réel danger pour la santé des consommateurs et pour l'environnement.

Néanmoins, la comparaison des résultats obtenus avec ceux de la littérature (Coly, 2000 ; Diop, 2005) a montré que des efforts non négligeables ont été fournis ces dernières années par les producteurs en ce qui concerne l'utilisation des produits phytosanitaires. Les teneurs en résidus de pesticides obtenues de nos analyses restent très inférieures à celles rapportées par ces auteurs. Dans les travaux de Coly (2000), les teneurs en résidus de déltaméthrine et de métamidophos dans les fruits et légumes varient respectivement entre 1,3 et 44,24 mg/kg et entre 2,59 et 38,82 mg/kg. Toutefois, ces niveaux de contamination sont supérieurs à ceux publiés par Diop (2005) avec des teneurs comprises entre 0,1 et 29,65 mg/kg et entre 0,5 et 22,1 mg/kg pour la déltaméthrine dans des échantillons prélevés aux marchés de Castors et de Grand-Dakar, respectivement.

Ainsi, même s'il reste beaucoup à faire, une nette amélioration des pratiques agricoles a été notée dans la zone. Cette baisse significative pourrait être due à une prise de conscience des maraîchers ou liée à des enjeux commerciaux qui imposent aux exportateurs le respect des bonnes pratiques agricoles (BPA) pour des produits horticoles sains et sûrs.

4.2.3. Contamination des eaux de puits par les pesticides

Dans la zone des Niayes, les niveaux de contamination de la nappe phréatique (Tableau VIII) par les pesticides sont très élevés par rapport aux normes de potabilité édictées par l'OMS qui sont de 0,1 µg/l par substance distincte et 0,5 µg/l pour le total des matières actives (OMS, 1994). Les valeurs mesurées ont montré une pollution inquiétante de la nappe phréatique au niveau de tous les sites de prélèvement. Sur les 45 puits prospectés, seuls 4 puits du site de Malika soit 13 % ont montré des teneurs en pesticides ne dépassant pas la LMR par pesticide distinct, mais largement supérieures à la LMR pour le cumul des pesticides analysés. Dans

l'ensemble des sites, la pollution par le métamidophos est plus significative. Les teneurs obtenues pour cet organophosphoré sont très élevées dans les puits de Niaga et de Thiaroye (Figure 12) avec des pics respectifs de 45,8 µg/l et (42,2) 40,08 µg/l soit des valeurs 400 fois plus élevées que la norme de l'OMS. Le diméthoate et l'endosulfan sont fortement présents dans les puits du site de Thiaroye avec des concentrations moyennes respectives de 1,90 µg/l et 2,35 µg/l. Par contre le diméthoate, l'endosulfan et la déltaméthrine n'ont été détectés dans aucun puits de Niaga. Pour le dicofol, 8 puits sur 45 ont présenté des concentrations qui dépassent la norme avec des pics respectifs de 0,3 µg/l, 1,11 µg/l et 11,16 µg/l à Niaga, Malika et Thiaroye. Concernant la déltaméthrine, sa pollution est moins marquée pour l'ensemble des puits prospectés. Elle n'a été détectée que sous forme de traces dans 4 puits du site de Thiaroye.

Tableau VIII : Teneurs en pesticides dans les eaux de puits de la zone des Niayes (µg/l)

Site de prélèvement (15 puits/localité)		Diméthoate	Métamidophos	Dicofol	Endosulfan	Déltaméthrine
Niaga	Moyenne	Nd	4.97 ± 14.35	0.08 ± 0.03	Nd	Nd
	Min – Max	-	0.14 – 45.80	nd – 0.30	-	-
Malika	Moyenne	0.14 ± 1.37	0.26 ± 0.36	0.32 ± 0.43	0.14 ± 0.32	Nd
	Min – Max	0.02 – 3.46	0.01 – 0.46	nd – 0.58	nd – 0.40	-
Thiaroye	Moyenne	1.90 ± 2.65	8.80 ± 17.25	0.21 ± 0.34	2.35 ± 1.59	0.01 ± 0.02
	Min – Max	0.34 – 5.42	0.02 – 40.80	0.03 – 1.16	nd – 3.70	nd – 02

nd : non détecté

Min – Max : Minimum – Maximum

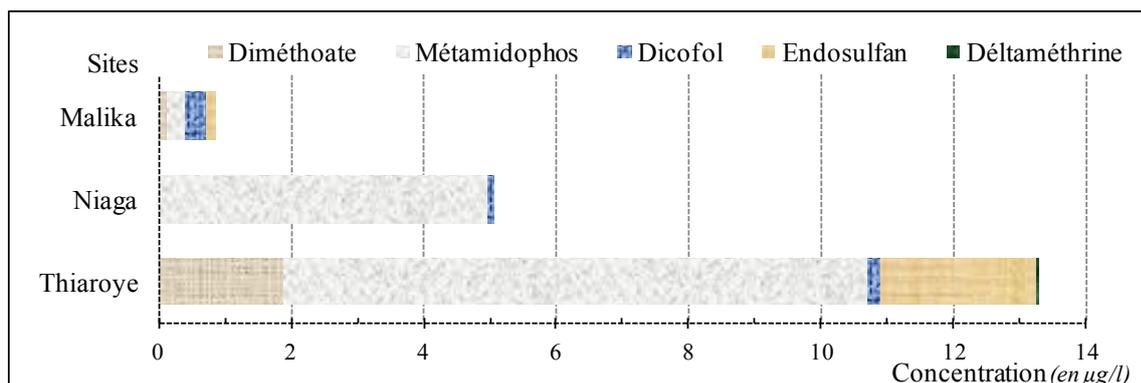


Figure 12 : Bilan des teneurs en résidus de pesticides dans les puits par site.

Le lessivage des sols de cultures par les eaux de ruissellements vers les puits pendant l'hivernage, la perméabilité des sols avec l'infiltration rapide des eaux de pluies et d'arrosage, et certaines mauvaises pratiques agricoles (le lavage du matériel de pulvérisation, des produits de récolte et des habits souillés lors des traitements à l'intérieur des puits, la fréquence de traitement, le rejet incontrôlé des emballages au bord et à l'intérieur des puits etc.) sont les principaux facteurs de la pollution inquiétante de la nappe phréatique dans la zone des Niayes. Comparés aux travaux antérieurs (PAN Africa, 2003 ; Cissé et *al*, 2003 ; Ngom, 2009) une amélioration significative n'a été constatée que depuis 2001 en ce qui concerne la contamination de la nappe phréatique. Les concentrations en pesticides obtenues dans les eaux de puits sont similaires à celles rapportées dans la littérature qui dépassent largement la norme avec des pics de 10,3 µg/l (400 fois plus) pour le métamidophos dans le site de Niaga et 5,8 µg/l pour le dicofol dans le site de Thiaroye. Les résultats de cette étude s'accordent avec ceux de la littérature rapportés dans la synthèse bibliographique menée par (Agbohessi et *al.*, 2012) sur la problématique des pesticides dans différents pays de l'Afrique de l'Ouest (Mali, Bénin, Togo, Côte d'Ivoire et Nigéria). Des études menées au Mali (Koutiala) et en Côte d'Ivoire (Grand-Lahou, Yamoussokro et Abidjan) sur la pollution des eaux de puits par les pesticides dans les régions agricoles (Traoré et *al.*, 2006 ; Traoré et *al.*, 2008) ont révélé un niveau de contamination largement supérieur aux normes. A Koutiala 85 % des puits ont montré une forte contamination par les résidus de pesticides avec des concentrations moyennes largement supérieures à celles obtenues dans la région des Niayes (3,21 µg/litre pour l' α -endosulfan et 2,18 µg/litre pour le β -endosulfan) (Traoré et *al.*, 2008). La comparaison des résultats des études à travers l'espace sous-régional a montré que la situation qui prévaut dans la zone agricole des Niayes au Sénégal est presque la même dans les autres régions agricoles de l'Afrique de l'Ouest. Au-delà des risques encourus *via* la consommation

des produits agricoles, la problématique des pesticides est d'autant plus inquiétante dans nos pays que les eaux naturelles sont directement utilisées comme eaux de boisson et aussi à des fins de ménage dans certaines localités.

Conclusion

Dans les petites exploitations agricoles de la zone périurbaine des Niayes, les producteurs utilisent massivement les pesticides pour protéger les cultures contre leurs divers parasites. La préoccupation majeure est portée sur l'amélioration des rendements tout en ignorant l'impact des pesticides sur l'environnement et la qualité des produits de récolte. Les contraintes de productivité priment au détriment de la qualité des produits de récolte. Le risque d'exposition aux pesticides à travers la consommation des produits horticoles des petites exploitations intensives et des eaux de la nappe phréatique comme eaux de boisson dans les localités environnantes est très élevé. La majorité des prélèvements de produits horticoles analysés ont montré la présence de résidus de tous les pesticides ciblés (diméthoate, déltaméthrine, dicofol, méthamidophos et endosulfan) et surtout à des teneurs largement supérieures aux seuils de tolérance édictés par le codex alimentarius de la FAO/OMS et de l'Union européenne. Vu la forte consommation des légumes par la population, l'utilisation abusive et incontrôlée des produits pesticides dans l'agriculture périurbaine des Niayes constitue aujourd'hui, un réel danger pour la santé publique. Le contrôle des produits phytosanitaires en circulation et surtout de leurs pratiques d'utilisation s'impose aujourd'hui, chez les maraîchers pour limiter leur impact négatif sur la qualité des produits horticoles et éventuellement sur l'environnement. Ce travail a fourni des informations inquiétantes sur les risques d'exposition aux résidus de pesticides au Sénégal à travers les eaux de puits et les produits horticoles. Il ébauche un référentiel pour la mise au point d'un outil d'aide à la décision indispensable pour une meilleure gestion des pesticides. Cependant, pour affiner l'outil, le travail devra se poursuivre pour offrir une meilleure base de connaissances sur la problématique des pesticides et plus particulièrement sur leur dégradation dans les différentes composantes de l'environnement sahélien et aussi leur impact éventuel sur la santé des populations .

Chapitre 5 : Impact des mauvaises pratiques de fertilisation sur l'environnement

Introduction

Dans la zone des Niayes au Sénégal, la croissance démographique élevée (2,7 %) et l'urbanisation accélérée sur l'axe Dakar-Thiès ont engendré une réduction considérable des espaces agricoles. Parallèlement, en milieu rural, les productions agricoles sont très faibles et ne parviennent plus à ravitailler les centres urbains en denrées alimentaires. Dans un tel contexte, les producteurs ont été amenés à développer en milieu urbain un modèle d'exploitation agricole intégré pour répondre à la forte demande des populations en produits agricoles périssables.

Les systèmes agricoles mixtes avec les interactions entre les cultures et l'élevage, en particulier l'aviculture, ne cessent de gagner du terrain grâce à l'utilisation active des déjections avicoles dans la fertilisation et l'amendement des surfaces agricoles. La litière de volaille est considérée comme un engrais de premier choix pour les cultures horticoles. Du fait de ses valeurs agronomiques appréciées par les producteurs, elle est devenue une ressource économique importante et occupe de plus en plus une grande partie dans la filière de commercialisation des engrais organiques. Cependant, la mauvaise gestion de la matière organique produite en grande quantité dans ces élevages peut entraîner des nuisances graves pour l'environnement notamment la pollution de l'eau et du sol par le phosphore et les nitrates (Berdai et al., 2004 ; Chambaut, 2006). Par ailleurs, la volatilisation de l'ammoniac engendrée par les déjections animales peut entraîner des dommages considérables chez les animaux, l'éleveur, et l'environnement (Portejoie et al., 2002 ; Corpen, 2006). Selon Chabalier et al. (2006), seuls 50 % de l'azote du fumier appliqué au sol sont disponibles pour les plantes. De plus, près de 30 % du phosphore alimentaire et du phosphore des engrais utilisés dans les fermes sont exportés sous forme de produits végétaux et animaux.

L'épandage irrationnel du fumier, combiné avec les engrais chimiques, conduit à l'accumulation du phosphore (P) et de l'azote (N) dans le sol. Ceci peut entraîner une incidence négative sur l'équilibre écologique et la santé publique qui n'est plus à démontrer. Une relation entre les excédents d'azote et les teneurs en nitrates de l'eau a été mise en évidence à l'échelle des grandes régions d'élevage (Chambaut et al., 2003).

Les ions nitrates concentrés dans les eaux naturelles exploitées par les populations peuvent être à l'origine de pathologies graves chez l'homme et l'animal (Freishtat et al., 2005).

Face à cette problématique, la connaissance du bilan des nutriments constitue un référentiel pertinent pour démontrer les risques économiques, environnementaux et sanitaires liés aux mauvaises pratiques de gestion et d'utilisation des fertilisants dans les exploitations agricoles. Cette étude s'inscrit dans cette dynamique et a aussi pour objectif d'établir le bilan de l'azote et du phosphore dans les exploitations agricoles de la région de Thiès en vue d'apporter une contribution à l'amélioration des pratiques agricoles.

5.1. Matériel et méthodes

5.1.1. Sites d'étude

L'étude a été réalisée dans la région de Thiès dont une grande partie de sa superficie se situe dans l'emprise de la zone des Niayes où se concentre l'essentiel des exploitations agricoles intensives. La zone est caractérisée par des conditions agro-climatiques favorables à l'aviculture et au maraîchage. Cet avantage a permis aux producteurs de développer un modèle d'exploitation agricole mixte aux alentours des principaux centres urbains (Thiès, Tivaouane, Mboro, Pout, Kayar et Mbayakh). Toutes ces villes ont été retenues comme sites de l'étude pour couvrir une bonne représentation géographique des Niayes de Thiès (Figure 10). Le bilan des nutriments a été réalisé sur un échantillon de 21 fermes mixtes (aviculture et horticulture) choisies au hasard dans la zone d'étude. Toutes les exploitations choisies utilisent de la fiente de volaille associée avec de l'engrais chimique pour la fertilisation des cultures maraîchères suivant un modèle intensif.

5.1.2. Méthode du bilan apparent des nutriments

La méthode rapportée par Simon et al. (2000) a été utilisée pour déterminer le bilan apparent des nutriments (N ou P) à l'échelle de l'exploitation agricole. Elle consiste à calculer la différence entre les entrées et les sorties annuelles maîtrisables des nutriments rapportée à l'unité de surface agricole utilisée. Dans le cadre de notre étude, les calculs ont été effectués à partir des données collectées des enquêtes menées auprès des producteurs et des référentiels bibliographiques disponibles (Espagnol et al., 2005 ; Van der Werf et al., 2007 ; Levasseur et al., 2007 ; Zahm et al., 2008 ; Bockstaller et al., 2012). Le questionnaire a été élaboré sur la base des caractéristiques de l'exploitation (effectif des sujets, fumier et engrais chimiques

utilisés, surface agricole utilisée, type de productions, etc.). Les résultats obtenus des enquêtes sont complétés par ceux des analyses chimiques des échantillons de matières organiques (aliments de volailles, déjections animales, résidus de cultures maraîchères) collectées au niveau des exploitations visitées.

5.1.3. Indicateurs de fonctionnement

5.1.3.1. Indice d'efficacité de l'azote (EFF)

Selon Simon et al. (2000), l'indice d'efficacité de l'azote (EFF) est le rapport entre les sorties et les entrées du nutriment au niveau du système de production. Dans le cas de notre étude, ce coefficient est dépendant de la quantité de fiente de volaille produite et des engrais chimiques utilisés pour la fertilisation. Le fumier de volaille est un engrais organique riche en N, P, et K dont la gestion influence fortement le bilan des nutriments dans l'exploitation agricole.

5.1.3.2. Indice de conversion de l'azote en protéine alimentaire (CVE)

C'est le rapport entre les sorties que l'on peut qualifier d'utiles (cultures, viande, œufs) et les entrées mises en œuvre pour produire. Ce coefficient diffère du précédent par la non prise en compte des déjections dans les sorties, considérées comme des déchets qui n'ont aucune finalité agro-économique. Ce concept a été révisé dans le cas de notre étude car la litière de volaille occupe une place non négligeable dans l'exploitation agro-économique des sous-produits de la ferme. Quantitativement, la litière représente le sous-produit le plus important des fermes visitées avec une valeur économique de l'ordre de 1.000 francs CFA le sac de 50 kilogrammes.

5.1.3.3. Indice de gaspillage de l'azote (GAS)

Il correspond au rapport entre l'excédent engendré par l'activité de l'exploitation et les sorties utiles correspondantes. Ce coefficient traduit en fait la quantité d'azote excédentaire par kilogramme d'azote transformé.

5.1.4. Analyse statistique

Les logiciels R et Excel ont été utilisés pour exploiter les données obtenues sur le bilan des nutriments et les indicateurs de fonctionnement déterminés. Les différents coefficients de

corrélation entre ces variables ont été déterminés pour apprécier les degrés de relation qui existent entre ces facteurs.

5.2. Résultats

5.2.1. Bilans bruts des Nutriments (N et P)

Les résultats obtenus sur le bilan des nutriments sont reportés dans le Tableau IX. Une grande variabilité du bilan brut des nutriments a été notée avec des valeurs comprises entre 46 et 5930 kg/an et entre 0,51 et 2470 kg/an pour l'azote et le phosphore, respectivement. L'écart type obtenu pour le bilan brut en kg/an est de 1337 et 542 respectivement pour l'azote et le phosphore. Cependant, toutes les valeurs calculées sont positives pour l'ensemble des 21 exploitations prospectées. Ceci traduit un excédent d'azote et de phosphore important dans toute la zone des Niayes de Thiès avec des valeurs moyennes respectives de 836 et 542 kg/an.

Tableau IVII : Bilan des nutriments par exploitation

Exploitation	Quantité de Fumier	Bilan de Matière brute	Bilan brut Azote	Bilan brut Phosphore
1	3750	1904	46	0,63
2	3500	1327	48	4,02
3	7800	3130	48	1,34
4	900	2067	70	7,72
5	5000	13326	379	0,51
6	18150	2093	616	137,99
7	8500	4891	101	8,57
8	5000	27252	256	27,61
9	12500	23578	767	100,52
10	9750	10918	298	14,86
11	2000	4482	159	8,11
12	16000	23628	343	7,59
13	21250	11798	321	41,75
14	30000	133360	516	15,75
15	24000	34579	1052	4,26
16	16500	12215	86	8,22
17	7500	73069	1102	153,3
18	10000	79173	828	164,91
19	40000	146172	2404	640,27
20	210000	87774	5914	2470,55
21	84000	162306	2222	78,04

La Figure 13 traduit la relation entre la quantité de fumier produite et le bilan brut de N et P. En général, aussi bien pour l'azote que pour le phosphore, les bilans les plus faibles sont rencontrés dans les exploitations qui présentent les plus faibles effectifs. La preuve est donnée par les forts coefficients de corrélation qui existent entre la quantité de fumier produite et les bilans bruts de l'azote et du phosphore à l'échelle de l'exploitation. La production et la gestion du fumier de volaille sont très étroitement liées aux bilans des minéraux (N et P). Pour le phosphore, le coefficient de corrélation entre la quantité de fumier produite et le bilan de cet élément à l'échelle de l'exploitation est de 0,92. La relation est plus étroite entre la quantité de fumier produite dans l'exploitation et son bilan d'azote avec un coefficient de corrélation de 0,95.

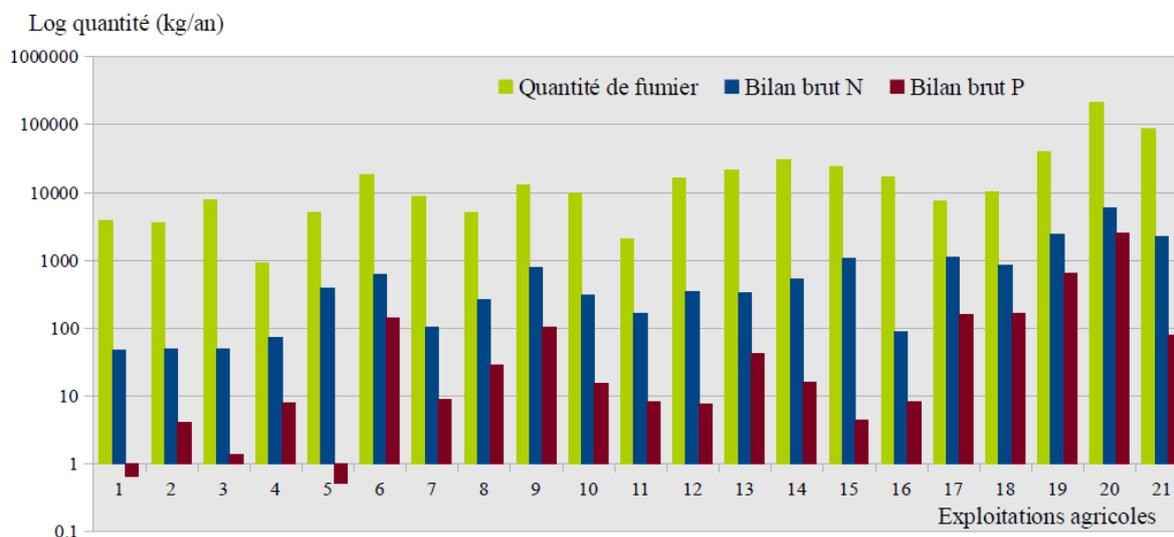


Figure 13 : Relation entre la quantité de fumier et bilan brut des nutriments

5.2.2. Bilans des nutriments par surface agricole utilisée

Ces bilans exprimés en kg d'azote ou de phosphore par hectare de surface agricole et par an (Tableau IX) contribuent à déterminer les indicateurs de fonctionnement des exploitations. La Figure 14 représente la variation des bilans de N et P suivant les différentes exploitations étudiées. Les résultats obtenus ont montré des excédents de minéraux largement supérieurs à la valeur limite de 170 kg N ha⁻¹ telle que fixée par la directive européenne sur les nitrates. En moyenne, les bilans de l'azote et du phosphore sont respectivement de 1455 kg/ha/an et 76 kg/ha/an.

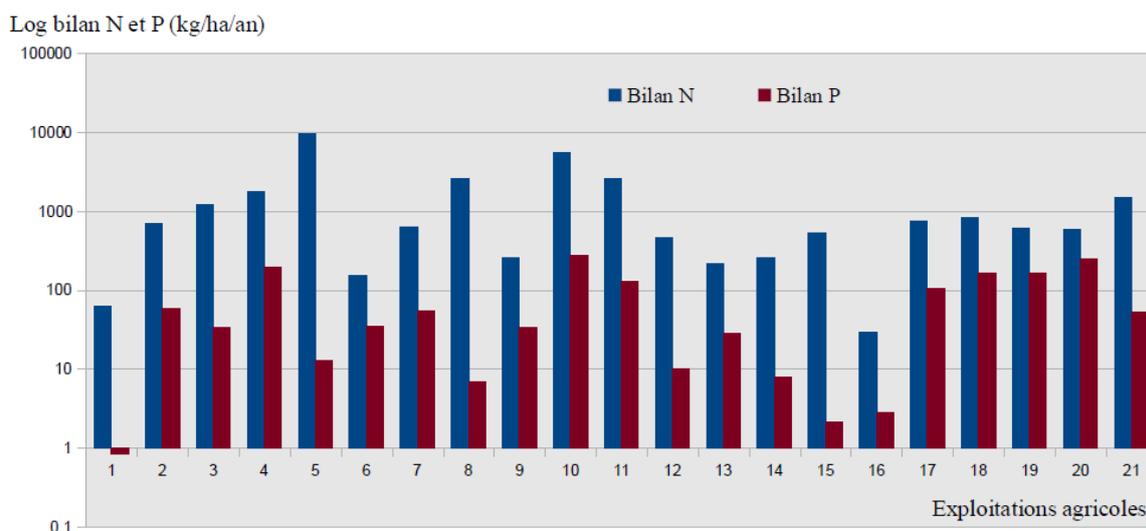


Figure 14 : Variation des bilans de N et P par surface agricole

5.2.3. Indicateurs de fonctionnement

Les indicateurs de fonctionnement (Tableau X) ont montré que des marges de progrès existent au sein des exploitations pour mieux gérer les nutriments. Dans l'ensemble, les moyennes calculées signalent que le phosphore est mieux rentabilisé que l'azote au niveau des exploitations. Ainsi, l'indice d'efficacité de l'azote oscille autour de 47,76 % contre 68,76 % pour le phosphore. En ce qui concerne l'indice de conversion en produit alimentaire, les CEV de l'azote et du phosphore avoisinent les 34 % avec 32,9 % pour l'azote et 36,3 % pour le phosphore. L'indice de gaspillage qui traduit la quantité de nutriment perdu pour obtenir un kilogramme de produit alimentaire est caractérisé par un gaspillage élevé de l'azote (12,74 kg) contrairement à celui du phosphore (1,90 kg).

Tableau X : Les indicateurs de fonctionnement (EFF, CEV et GAS).

Indicateurs	EFF (%)		CEV (%)		GAS (/kg)	
	N	P	N	P	N	P
Moyenne	47,76	68,76	32,91	36,3	12,74	1,9

Malgré le fort taux de gaspillage de l'azote dans les exploitations avicoles, l'indice de gaspillage varie inversement avec l'effectif des sujets de l'exploitation d'où le coefficient de

corrélation de -0,45 entre les effectifs des exploitations et l'indice de gaspillage. Cette relation est moins accentuée avec l'indice de gaspillage du phosphore. Avec un coefficient de corrélation de moins 0,30, l'effectif de l'exploitation est négativement corrélé à l'indice de gaspillage du phosphore.

5.3. Discussion

L'excédent de nutriments est essentiellement lié aux entrées de minéraux par les engrais et les aliments quelque soient les types d'exploitations agricoles (Simon et al., 2000 ; Vérité et Delaby 2000 ; Raison, 2008). Pour les exploitations avicoles, l'alimentation représente le facteur déterminant du bilan des nutriments en considérant que 50 % à 70 % de l'azote ingéré et 60 à 80 % du phosphore ingéré se retrouvent dans les déjections (Centner, 2003 ; Corpen, 2006). Dans la zone des Niayes, les techniques permettant d'améliorer la digestibilité de la matière organique et conduire par conséquent à la réduction des rejets azotés et phosphorés dans les fumiers et les fientes ne sont pas maîtrisées par les producteurs (Ngom, 2004). Les résultats confirment ceux de la littérature montrant que les apports de nutriments dans les élevages de volailles sont largement supérieurs aux besoins nutritionnels des animaux (Ngom, 2004). En moyenne, la réduction du taux protéique de l'aliment de 10 % permet de réduire de quasiment 20 % les rejets d'azote et d'ammoniac chez le poulet de chair (Van Cauwenberghe et Burnham, 2001). En outre, la variabilité du bilan de nutriment observée selon le type d'élevage est similaire aux résultats rapportés dans la littérature (Fall et al. 2003 ; Levasseur, 2007). En effet, la disparité des élevages se traduit par des écarts type très élevés aussi bien pour l'azote que pour le phosphore (1337,82 kg/an et 542,21 kg/an, respectivement pour l'azote et le phosphore). L'excédent de nutriments observé constitue une source de pollution de la nappe phréatique, peu profonde dans la zone des Niayes. En effet, les quantités importantes d'azote apportées par le fumier et les engrais chimiques peuvent rester dans le sol sous forme minérale ou associées avec la matière organique ou encore être transférées sous forme de nitrates vers les eaux souterraines (Derdai et al., 2004 ; Chambaut et al., 2006 ; Vertès et al., 2007). Le risque d'exposition aux nitrates est élevé car les eaux souterraines sont utilisées pour l'arrosage, l'abreuvement des animaux et aussi à des fins de ménage par les riverains.

Par ailleurs, une mauvaise gestion de ces quantités de fumier riche en azote peut engendrer des dégâts au niveau des fermes. L'azote étant volatile, le mauvais stockage du fumier peut conduire à la production d'ammoniac et d'autres gaz à effets de serre. Selon les résultats de

plusieurs auteurs, rapportés par Corpen (2006), le fumier stocké à l'abri perd 15 à 20 % de son azote sous forme ammoniacale. Dans la zone des Niayes de Thiès, ce phénomène de volatilisation peut se produire car le fumier produit est généralement stocké à la ferme pendant une longue période avant son recyclage dans le maraîchage.

Toutefois, l'analyse comparative des résultats obtenus sur le bilan des nutriments au niveau des exploitations agricoles des Niayes de Dakar dans le cadre (Fall et al., 2003) et de celles de la région de Thiès a révélé une différence significative. L'excédent de l'azote est plus important dans les exploitations des Niayes de Thiès que dans celles de la région de Dakar avec des valeurs moyennes respectives de 836,95 kg/an et 670,38 kg/an. Par contre, l'inverse a été observé pour le phosphore avec un excédent de 185 kg/an dans les exploitations avicoles de Thiès contre 846,24 kg/an pour celles de Dakar. Ce résultat laisse penser à une volatilisation plus importante de l'azote dans la région de Dakar. Cependant, les résultats des enquêtes ont montré que dans la zone des Niayes de Dakar, le temps de stockage du fumier est très faible pour favoriser la volatilisation de l'ammoniac. Le recyclage du fumier dans le maraîchage est rapide et l'azote est résorbé et exploité directement par les cultures horticoles.

En comparant le bilan azoté des exploitations agricoles de Thiès à celui de Simon et al. (2000) (250 à 500 kg/ha/an) et le résultat de 840,84 kg/ha/an obtenu à Dakar en 2003, le constat est fait qu'avec des surfaces agricoles très faibles et le plus souvent inférieures à un hectare, ce facteur devient un amplificateur des pertes d'azote. Les parcelles cultivées au niveau de ces fermes sont très réduites et ne représentent que de petits lopins de terres suivant un système de production intensif utilisant du fumier et de l'engrais chimique où sont associés à la fois plusieurs types de cultures.

Par contre, pour le phosphore l'utilisation irrationnelle des engrais ternaires et de la potasse fait que l'excédent obtenu dans la région de Dakar (1347 kg P/ha/an) est nettement supérieur à celui des exploitations agricoles des Niayes de Thiès. Dans les exploitations agricoles de la région de Thiès, plusieurs facteurs semblent limiter les pertes de phosphore : la faible volatilisation du phosphore, l'inexistence des pertes par infiltration ou percolation avec l'utilisation des poulaillers au sol cimenté et le recyclage et la commercialisation de la litière.

Les excédents les plus élevés correspondent notamment à 5518 kg/ha/an pour l'azote et à 275,32 kg/ha/an pour le phosphore. Les minima observés sont de l'ordre de 29 kg/ha/an pour l'azote et de 0,84 kg/ha/an pour le phosphore. Avec des écarts type de 2225,45 kg/ha/an et 85

kg/ha/an respectivement pour l'azote et le phosphore, les bilans rapportés à la surface agricole utilisée de l'exploitation, démontrent une grande variabilité et restent indépendants de la quantité de fumier utilisée pour la fertilisation des cultures. La forte fluctuation liée à la grande variabilité de la surface agricole de l'exploitation est soutenue par le faible coefficient de corrélation (0,17) qui existe entre le bilan de l'azote et celui du phosphore.

Conclusion

Pour évaluer l'implication des exploitations agricoles sur la pollution environnementale au niveau de la zone des Niayes au Sénégal, un outil de diagnostic a été réalisé. Il consiste à établir un bilan apparent de l'azote et du phosphore au niveau des exploitations par une quantification annuelle des flux de nutriments et de déterminer par la suite leurs indicateurs de fonctionnement. Les bilans (en kg/ha de surface agricole utilisée) calculés sont tous positifs pour l'ensemble des 21 exploitations prospectées avec des moyennes de 1455 kg N/ha/an et 76 kg P/ha/an. L'étude a montré des pertes d'azote et de phosphore importantes au niveau des exploitations agricoles avec des indices de gaspillage respectifs de 12,74 kg et de 1,90 kg. En perspectives de réduction de l'excédent du bilan des nutriments dans les exploitations agricoles, il est nécessaire de limiter les apports d'engrais chimiques utilisés pour éviter les pertes d'azote et de phosphore vers l'environnement. Cette étude montre que les quantités d'engrais chimiques apportées pour l'intensification des systèmes de production pouvaient être réduites sans affecter les rendements en termes de quantité ou de qualité.

Chapitre 6 : Perception des risques écologiques et potentialités d'une agriculture biologique dans les petites exploitations agricoles de la zone des Niayes

Introduction

Dans la plupart des pays en voie de développement comme le Sénégal, l'augmentation de la production agricole suit difficilement la croissance démographique (Smith, 2002). Avec une population de 12,9 millions d'habitants (2010) et un taux de croissance démographique élevé (3 %), et une urbanisation passée d'environ 30 % en 1970, à 43 % en 2012 (ACDI, 2013;Guay, 2013; Smith, 2002), le pays se trouve encore dans l'insécurité alimentaire. Une autre particularité du pays est que la croissance démographique se fait particulièrement sentir dans la région de Dakar et des Niayes où se développent les principales activités économiques du pays comme le secteur industriel, le secteur tertiaire, l'horticulture et la pêche (Cissé *et al.*, 2001).

L'agriculture urbaine et périurbaine est un bon moyen de lutter contre l'insécurité alimentaire des populations vivant dans ces zones (Fall & Fall, 2001b; Ngom *et al.*, 2012; Smith, 2002). Dans le cas de Dakar et ses environs, le maraîchage urbain et périurbain occupe une fonction particulièrement importante en fournissant la majorité des légumes et des fruits frais aux marchés locaux (Wade, 2004). La majorité de la production maraîchère est assurée par l'agriculture des petites et moyennes exploitations de la zone périurbaine des Niayes (Cissé *et al.*, 2003; Fall *et al.*, 2001). L'horticulture périurbaine est également une importante source d'emplois et de revenus, contribuant à l'amélioration des conditions de vie des populations (Akinbamijo *et al.*, 2002; Smith, 2002). Toutefois, en raison du contexte démographique et du développement économique du pays (Fall et Fall, 2001a), l'horticulture périurbaine de la zone des Niayes subit une forte pression d'intensification. L'expansion des villes, l'augmentation de la demande en produits horticoles et la diminution de la fertilité des sols contribuent à réduire les exploitations agricoles et orienter les petits, moyens et grands producteurs vers des pratiques agricoles plus intensives basées sur un recours fréquent aux engrais chimiques et aux pesticides (Ngom *et al.*, 2012; Smith, 2002). Les engrais chimiques et les pesticides synthétiques sont parfois utilisés incorrectement et souvent sans connaissance de leurs effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement (Ngom *et al.*, 2012). L'utilisation intensive d'intrants chimiques et le non-respect des délais d'application avant la récolte laissent des résidus chimiques sur les produits maraîchers et menacent de fait la santé des exploitants, des consommateurs et du bétail (Cissé *et al.*, 2003 ;Ngom *et al.*, 2012; Sène 2008).

Face aux problématiques de fertilité des sols et d'usage irrationnel des pesticides, il est nécessaire de proposer des alternatives biologiques aux intrants chimiques pour permettre une intensification écologiquement durable des systèmes de production dans la zone des Niayes. Plusieurs études ont montré que le recours au compostage et aux plantes à effet insecticide a un énorme potentiel pour l'agriculture biologique au Sénégal (Ngom et *al*, 2012; Soumaré 2002). Cependant, ces travaux n'ont pas encore abouti à des technologies profitables pour les populations locales. Les résultats sont souvent très dispersés et difficilement valorisables par les producteurs. Ainsi, cette étude a pour objectif de caractériser les agrosystèmes et d'évaluer la perception des risques écologiques dans les systèmes de production et d'explorer les actions menées sur la recherche d'alternatives aux intrants chimiques en vue de formuler des éléments d'orientation plus adaptés pour une agriculture durable dans la zone des Niayes.

6.1. Matériel et méthodes

6.1.1. Présentation du site de l'étude (Niayes de Dakar)

L'étude a été menée dans cinq (5) communes de la zone des Niayes de Dakar (Pikine, Thiaroye, Malika, Niaga, Mbao) au Sénégal entre juin et août 2014 (Figure 15). L'agglomération de Dakar fait partie de la région naturelle des Niayes située dans la partie nord-ouest du Sénégal, comprenant la frange côtière et son arrière-pays immédiat qui s'étend de Dakar à Saint Louis. Les Niayes offrent un paysage particulier comprenant des dépressions et des dunes reposant sur une nappe peu profonde, avec une hydrographie jadis riche en lacs et points d'eau, qui a permis le développement d'une végétation luxuriante sous ces latitudes sahéliennes. Les précipitations sont peu abondantes et dépassent rarement 500 mm. Même si le climat du Sénégal est du type tropical sahélien dans sa majeure partie, la zone des Niayes bénéficie d'un microclimat particulier de type canarien, caractérisé par l'alizé boréal maritime. Lorsque ce vent soufflant du secteur Nord (NNW-NNE) est dominant, soit de décembre à mai, les températures sont relativement fraîches et de faibles amplitudes (19 - 22 °C en moyenne), l'humidité est élevée et constante, et ce, au moment où les régions intérieures sont soumises au vent chaud et sec de l'harmattan (30 - 40 °C).

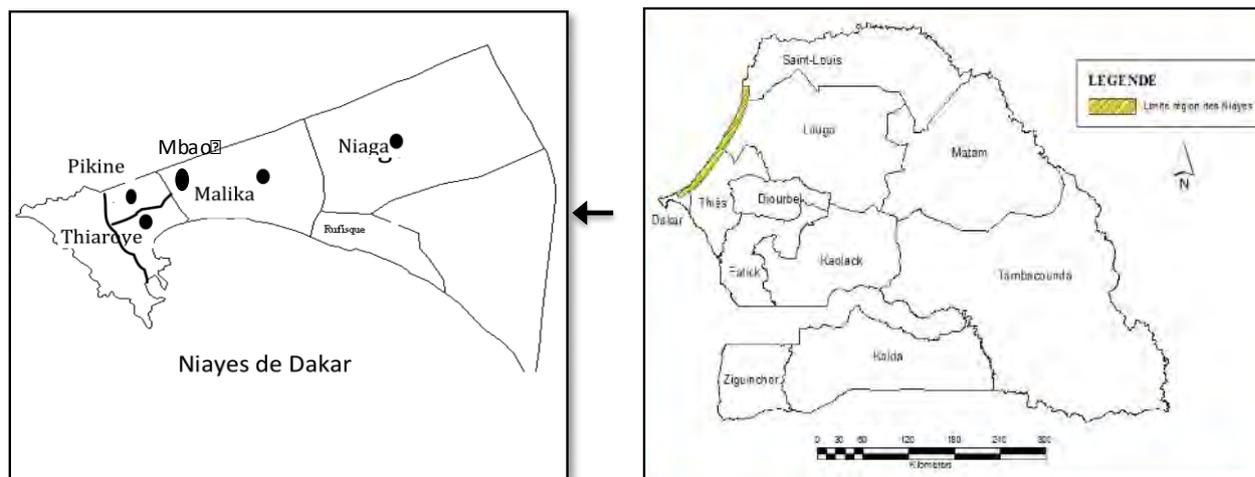


Figure 15 : Situation géographique des Niayes au Sénégal

La région de Dakar compte une population estimée à 2,4 millions d’habitants soit 24 % de la population nationale sur 0,3 % du territoire. La croissance démographique (4 %) s’explique à la fois par les forts taux de natalité, mais aussi, et surtout par les flux migratoires venant, d’une part, de l’intérieur du pays, d’autre part, des États riverains, suscités à la fois par le développement économique de Dakar et les conditions naturelles favorables aux activités agricoles. Cette forte concentration humaine pose des problèmes d’approvisionnement alimentaire de la population. Dans ce contexte, l’agriculture intensive s’impose pour améliorer les rendements et répondre aux besoins croissants des populations urbaines en produits horticoles frais (fruits et légumes).

6.1.2. Cadre méthodologique

Pour atteindre les objectifs spécifiques de l’étude, l’approche méthodologique adoptée porte sur une base qualitative d’enquêtes socioéconomiques combinées avec des observations directes sur le terrain et une revue documentaire sur les conditions écologiques et agronomiques de la zone des Niayes.

L’étude qualitative a pour but de caractériser les conditions écologiques et agronomiques et les pratiques agricoles et agro-forestières dans les petites exploitations maraîchères. Elle est basée sur des approches participatives décrites dans la littérature (Huntington, 2000 ; Davis et Wagner, 2003; Wyckhuys et O’Neil, 2007 ; Schneider, 2007 ; Martin et *al.*, 2010). Ainsi, les entretiens ont été de type semi-directifs avec des questions ouvertes suivant un guide testé au

préalable auprès d'un petit groupe de maraîchers puis révisé et validé à partir des résultats préliminaires obtenus, avant d'être utilisé officiellement pour les enquêtes. Les questions ont principalement porté sur l'état actuel de l'écosystème de la zone, les caractéristiques écologiques des exploitations agricoles, les techniques culturales, l'accès aux technologies développées pour la durabilité des systèmes de production (documents de vulgarisation) et les pratiques courantes ou connues en matière de fertilisation et de protection phytosanitaire des cultures.

La réalisation du guide d'entretien s'est inspirée du design de Wyckhuys et O'Neil (2007). Le nombre de personnes interrogées a été décidé selon le principe de saturation (Davis et Wagner, 2003). Les entretiens ont été réalisés auprès des maraîchers et maraîchères rencontrés directement dans les exploitations horticoles. Au total, cent neuf (109) producteurs ont été interrogés. Cependant, des entretiens sous forme de focus groupe ont été aussi organisés par endroit pour compléter les données issues des interviews individuelles. Les entretiens enregistrés ont été retranscrits selon la méthode de retranscription semi-intégrale normalisée. Ensuite, toutes les données d'entretien ont été analysées selon la méthode d'analyse de contenu avec un codage ouvert (Andreani et Conchon, 2005). Les unités de codage et le traitement des données ont suivi le modèle d'analyse sémantique (thèmes et idées-clés) afin d'orienter l'analyse et les interprétations vers les préoccupations spécifiques de l'étude. Les logiciels QDA Miner Lite v1.3 et MS Excel ont été utilisés pour l'exploitation qualitative des résultats des enquêtes.

L'étude qualitative étant plutôt exploratoire (Schneider, 2007), une revue de la littérature a été réalisée afin d'avoir une meilleure vue d'ensemble de la situation écologique et agronomique actuelle et passée des Niayes. Elle a permis de comparer l'évolution des systèmes de production par rapport aux changements observés. Les documents disponibles et concernant les caractéristiques écologiques, sociales, environnementales et économiques des Niayes et de l'agriculture en milieu soudano-sahélien ont été explorées. Les résultats des projets menés dans la zone par les structures de recherche et leurs partenaires dans le domaine de l'horticulture durable ont été aussi passés en revue. Ceci a permis spécifiquement d'évaluer les atouts et les points faibles pour l'application des acquis de la recherche sur l'agriculture raisonnée, les méthodes biologiques ou alternatives de fertilisation et de protection des cultures par les maraîchers.

6.2. Résultats

Les résultats de l'étude qualitative et de la revue de littérature montrent que les sites prospectés possèdent certaines caractéristiques écologiques et socioéconomiques communes et d'autres distinctes. En raison de la nature de l'étude, la possibilité d'inférer les conclusions de ces observations à tous les petits maraîchers et à tous les sites de maraîchage de moins d'un hectare de la zone des Niayes de Dakar est limitée. Dans le même ordre d'idées, les résultats quantitatifs tels que les pourcentages et les proportions ne représentent pas nécessairement les valeurs réelles qui caractérisent la population cible. Ces chiffres sont plutôt utilisés à titre indicatif et représentent le nombre de répondants ayant mentionné l'information associée. Malgré tout, on peut supposer que la plupart des caractéristiques communes identifiées ci-dessous représentent le contexte général des maraîchers de la zone. Les caractéristiques distinctives de chacun des sites sondés seront d'abord présentées, puis suivront les conditions socio-économiques et agroécologiques générales observées dans les Niayes de Dakar.

6.2.1. Caractéristiques spécifiques aux sites prospectés

Pikine est un des sites de la zone des Niayes situé le plus près du centre de Dakar. Il subit une forte pression foncière depuis déjà plusieurs années en raison des constructions immobilières, du développement routier. La taille des exploitations est considérablement réduite, d'une part à cause de ces constructions et d'autre part en raison des inondations observées depuis l'augmentation de la pluviométrie au début des années 2000, après une trentaine d'années de sécheresse (Sene et Ozer, 2002). L'eau du marigot est généralement trop salée pour être utilisée pour les cultures. Les « céanes » ou puits à ciel ouvert utilisés pour l'arrosage commencent également à avoir une salinité élevée. D'après la littérature, cette salinité s'explique entre autres par le processus d'intrusion d'eau de mer dans la nappe phréatique (Re *et al.*, 2011). Pour pallier ce déficit en eau d'arrosage de qualité, certains producteurs de la grande Niaye de Pikine utilisent des eaux usées traitées par la nouvelle station d'épuration de l'Office national de l'assainissement du Sénégal (ONAS). Ces eaux sont utilisées directement ou encore en combinaison avec celles des « céanes » pour réduire la salinité. Par contre, les maraîchers situés trop loin de la station d'épuration utilisent les eaux des « céanes » ou celle du marigot malgré les risques. La proximité de Dakar et de ses marchés favorise l'écoulement de la production aux *bana-banas* (commerçantes) de légumes sur le site de Pikine. L'accès

aux exploitations est maintenant facile grâce à la nouvelle route qui traverse le milieu du site et l'autoroute à péage dans sa partie ouest. Par contre, cette route favorise l'arrivée massive des eaux de pluie qui entraînent une forte pollution des puits et du marigot avec des déchets urbains et aussi des résidus d'intrants chimiques selon Ngom et *al.*, 2012. Ceci a pour conséquence le développement de plantes envahissantes comme le *Typha australis* dans les exploitations (Kane et *al.*, 2014) dont les effets négatifs sont encore ignorés par les producteurs.

Thiaroye est situé en banlieue de Dakar dans une zone très peuplée. Les pressions foncières ont déjà déplacé bon nombre de maraîchers dans la forêt classée de Mbao au profit de l'autoroute à péage (TECSULT, 2008), d'écoles et d'un hôpital. Les maraîchers qui s'activent dans ce site sont situés en périphérie des nouvelles constructions. Comme à Pikine, le site de Thiaroye est menacé par le *Typha* qui a envahi une bonne partie des exploitations inondées par les eaux de ruissellement. L'eau utilisée pour les activités maraîchères provient donc exclusivement des « céanes » (puits à ciel ouvert) permettant d'accéder à la nappe phréatique peu profonde. Dans les environs immédiats des exploitations se trouvent des quantités importantes de matières organiques issues des élevages urbains et des grillades de poissons. A proximité de Thiaroye, s'installent également les principaux distributeurs d'intrants agricoles du pays (semences, engrais chimiques et produits phytosanitaires). Le site a aussi l'avantage d'être proche du plus grand marché de légumes de Dakar (marché de Thiaroye) qui se trouve à moins d'un kilomètre des exploitations maraîchères.

Situé juste après la banlieue dakaroise, le site de Malika accueille la grande décharge municipale de Mbeubeuss où presque la totalité des déchets solides ménagers et industriels de la région de Dakar est envoyée depuis 1968. Cette décharge qui n'a aucune infrastructure pour récolter le lixiviat des déchets contamine la nappe phréatique en microorganismes pathogènes et polluants chimiques comme les métaux lourds (IAGU, 2011). Toutefois, la nappe est la seule source d'eau disponible que peuvent utiliser les maraîchers de Malika pour l'irrigation de leurs exploitations. Le site de Malika est situé en bordure de la décharge. Plusieurs maraîchers se sont plaints des émanations, de la poussière et des cendres qui s'échappent de la décharge. D'après les maraîchers interrogés, le site a connu une forte mortalité de cocotiers et d'arbres fruitiers qui se trouvaient en abondance dans leurs exploitations. Des couches de sels ont été observées à certains endroits des parcelles et limitent l'activité maraîchère. En outre, la

particularité du site de Malika est la présence de nombreux poulaillers aux alentours qui favorisent l'utilisation de la fiente de volaille comme amendements en ignorant totalement les doses recommandées.

Le site de Niaga est situé à la sortie de Dakar. De façon générale, les maraîchers du site de Niaga sont situés aux alentours du lac Rose. La construction d'hôtels et de quelques infrastructures touristiques a déjà fait perdre des parcelles à de nombreux maraîchers situés sur le côté sud du lac. Toujours au sud, on retrouve également des exploitations de sel puisque le lac Rose présente une salinité élevée (Sow, 2012). Sur le côté nord du lac, la pression foncière semble se faire moins sentir en raison des inondations qui rendent la zone difficilement accessible en période d'hivernage. L'eau utilisée pour l'arrosage provient strictement de l'eau douce de la nappe phréatique malgré sa proximité avec le lac salé. Aucun maraîcher ne s'est plaint de la qualité de l'eau. Par contre, la principale contrainte est l'insuffisance des quantités d'eau dans les puits pour irriguer les parcelles emblavées. Une des particularités du site est que l'agriculture est pratiquée sur des coquillages. Selon les maraîchers, la couche de coquillage qui recouvre le sol serait utile pour abaisser la température du sol et conserver son humidité en saison sèche. Les coquillages permettraient donc d'économiser de l'eau. Cependant, aucune étude sur les avantages et les inconvénients de la culture sur coquillages n'a été trouvée dans la littérature. Cette caractéristique semble pourtant apporter un avantage significatif de la zone en période de grande chaleur. Des bandes de filao (*Casuarina equisetifolia*) et d'*Eucalyptus* sont plantées en bordure de certaines exploitations comme des brises vent. Par contre, aucun arbre fruitier n'a été observé sur le site.

Le site maraîcher de Mbao se trouve dans la forêt classée de Mbao qui couvre environ 722 ha en banlieue de Dakar. Il s'agit d'un site de recasement d'anciens maraîchers des sites de Thiaroye et Pikine malgré son statut et ses caractéristiques défavorables à l'agriculture. Avec le statut de forêt classée, la coupe d'arbres est strictement interdite bien qu'il est toutefois permis d'élaguer certaines branches sous autorisation du service des eaux et forêts. A certains endroits, la densité d'arbre est très élevée et cause de nombreux problèmes tels que l'ombrage et la chute des feuilles sur les planches. Une autre contrainte relevée sur le site est la présence d'anacardiens qui seraient supposés toxiques pour bon nombre de plantes horticoles. L'eau de la nappe phréatique utilisée pour l'arrosage est fortement salée avec une coloration rouge qui affecte celle des légumes. L'approvisionnement en matières organiques pour l'amendement

constitue l'une des contraintes majeures de production, car le site est difficilement accessible aux charretiers qui assurent le transport.

6.2.2. Caractéristiques socioéconomiques et culturelles des petits maraîchers

6.2.2.1. Socio-démographie des maraîchers de la zone des Niayes

On retrouve une grande diversité sociale sur l'ensemble des sites sondés en termes d'âge, d'origine et d'années d'expérience en maraîchage (tableau XI). Les maraîchers proviennent de partout au Sénégal et des pays limitrophes (5 %). La répartition des maraîchers est assez dynamique et de nombreux travailleurs saisonniers viennent sur ces sites durant la contre-saison. La majorité des maraîchers sont analphabètes ou très peu lettrés. Au niveau du genre, les femmes sont nettement sous-représentées. Toutefois, elles occupent majoritairement le rôle important d'intermédiaires (bana-bana) à savoir dans la récolte et la commercialisation.

Tableau XI: Caractéristiques sociodémographiques des maraîchers

6.2.2.2. Pratiques agricoles et dynamique d'apprentissage du métier de l'agriculture

	Pikine	Thiaroye	Malika	Niaga	Mbao	Total
Groupes d'âges des maraîchers						
Moins de 20	4,55	0,00	0,00	4,55	0,00	1,68
20 à 39	18,19	36,84	30,43	45,45	70,00	45,38
40 à 59	45,45	26,32	13,04	36,36	30,00	27,73
Plus de 60	4,55	15,79	13,04	4,55	0,00	6,72
Inconnu	27,27	21,05	43,47	9,09	0,00	18,49
Education						
École coranique	4,55	21,05	26,09	4,55	0,00	11,01
Élémentaire	18,18	21,05	13,04	4,55	0,00	11,01
Collège	13,64	5,26	0,00	0,00	0,00	3,67
Lycée	0,00	5,26	0,00	0,00	0,00	0,92
Baccalauréat	4,55	5,26	4,35	0,00	0,00	2,75
Université	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aucune	0,00	10,53	8,70	4,55	4,35	5,50
Information non disponible	59,09	31,58	47,83	86,36	95,65	65,14
Années d'expérience						
Moins de 2 ans	0,00	10,53	4,35	4,55	0,00	3,67
2 à 10	13,64	26,32	30,43	31,82	34,78	27,52
11 à 20	36,36	26,32	4,35	4,55	34,78	21,10
21 à 30	4,55	5,26	13,04	4,55	4,35	6,42
31 à 40	0,00	10,53	0,00	4,55	0,00	2,75
Plus de 40	4,55	5,26	17,39	0,00	0,00	5,50
Non disponible	40,91	15,79	26,09	50,00	40,91	32,11

L'étude a révélé que dans la zone des Niayes, les producteurs ne sont pas spécialisés au métier de l'agriculture. Ils ont précisé pour la plupart avoir appris leur métier par l'expérience, par leur famille ou leurs amis (Figure 16). Ils pratiquent l'agriculture en fonction de leurs propres connaissances, des conseils donnés par les vendeurs ambulants ou grossistes d'intrants agricoles et par imitation de leurs confrères. La majorité (95 %) ignore totalement les bonnes pratiques agricoles et l'existence des structures de développement et de recherche qui devraient assurer leur encadrement technique.

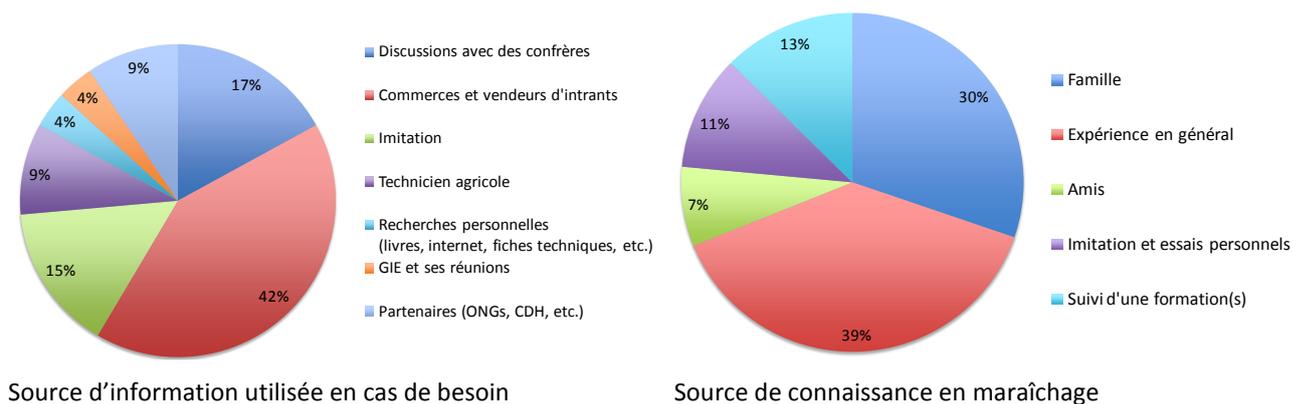


Figure 16 : Sources de connaissances et d'informations sur le maraîchage

La majorité des maraîchers appliquent des pratiques agricoles modernes intensives sans nécessairement maîtriser les itinéraires techniques des cultures ou les intrants utilisés. Toutefois, d'autres utilisent un amalgame de techniques traditionnelles et modernes. Même les maraîchers ayant de nombreuses années d'expérience ou provenant de familles de cultivateurs ne connaissaient pas nécessairement les normes d'utilisation des engrais chimiques et des pesticides. Les intrants chimiques sont abondamment utilisés dans la zone des Niayes depuis au minimum les années 1970 (ISRA/CDH, 1986). Seuls 13 % des maraîchers ont bénéficié d'une formation en GIPD (FAO, 2010) dans des champs-écoles paysans. Certains maraîchers expérimentés ont démontré leurs connaissances sur plusieurs techniques alternatives aux intrants chimiques comme le compost, les biopesticides à base de neem, l'élevage de certains ennemis des cultures (*e.g.* coccinelle), les engrais verts, etc. Les intrants nécessaires à la réalisation de ces techniques sont globalement disponibles. Cependant, ces derniers utilisent peu ou pas du tout ces méthodes pour plusieurs raisons à savoir la complexité plus grande, la charge de travail plus élevée et les performances agronomiques plus faibles par rapport aux rendements obtenus avec les intrants chimiques.

6.2.2.3. Connaissances agro-écologiques des maraîchers

Quelques répondants ont identifié spécifiquement des interactions importantes qui existent entre le milieu écologique local et les activités agricoles. Par exemple, pour prendre des décisions sur la protection de leurs cultures, certains maraîchers identifient le type général d'insecte impliqué (volant, rampant, sous la terre) (5 %), le site attaqué sur la plante (racines ou partie aérienne) (5 %) ou prennent simplement le temps d'observer leur parcelle (5 %). La salinité des sols est évaluée sur la base de dépôt de couches de sel. Le niveau d'infestation par les nématodes est mesuré par la présence de traces sur le sol ou de nodules sur les racines. Les fonctions de l'arbre sur les cultures sont généralement ignorées par les maraîchers (Figure 17). Par contre, au niveau de tous les sites, la technologie d'association des cultures est connue pour améliorer les rendements.

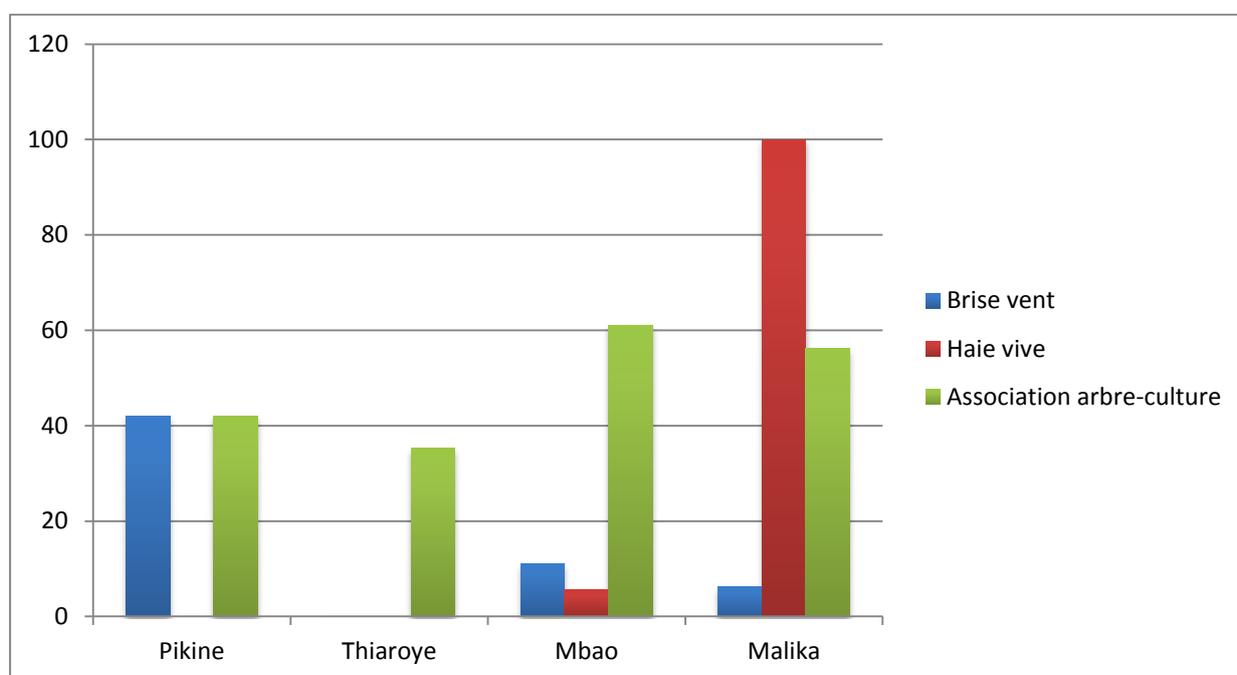


Figure 17 : Connaissances des fonctions de la strate arbustive par maraîchers (en pourcentage)

6.2.2.4. Situation économique des maraîchers et prises des décisions horticoles

Le revenu brut des petits producteurs est principalement contraint par les aléas du marché. En raison des conditions économiques difficiles, la dynamique des prix des produits est un élément décisionnel important pour les petits producteurs. 23 % des maraîchers interrogés choisissaient les cultures suivant l'offre potentielle du marché. Malgré le fait qu'il soit plus difficile d'avoir de bons rendements durant l'hivernage (juillet à novembre), cette période est

plus payante pour les maraîchers en raison de l'augmentation prononcée du prix des légumes. Par contre, certains producteurs basent leurs choix de cultures sur d'autres facteurs comme la période climatique (13 %), la rapidité du cycle de culture (11 %), le potentiel de réussite (3 %), la présence de ravageurs associés aux cultures (2 %), l'usage des intrants chimiques (2 %) ou la diversité de cultures (1%). En raison de l'instabilité économique associée au maraîchage et la vulnérabilité économique des maraîchers, l'idée d'un revenu maximal au quotidien ou à court terme est plus alléchante pour la majorité des petits maraîchers qu'un revenu potentiellement plus élevé à plus long terme. Il n'est pas exceptionnel qu'un maraîcher ait une autre activité financière pour assurer un revenu familial plus élevé. De plus, l'insécurité foncière renforce la vision à court terme de nombreux producteurs. Cette insécurité sur le foncier constitue la contrainte majeure pour l'investissement. La plupart des maraîchers en activité sont des ouvriers agricoles ou « sourga » qui se soucient peu des bonnes pratiques culturales. Malgré le grand intérêt porté aux initiatives d'amélioration des pratiques agricoles, les maraîchers sont réfractaires aux méthodes alternatives qui semblent sortir du cadre de leurs connaissances.

6.2.2.5. Caractéristiques agro-écologiques des petites exploitations maraîchères

Pour la caractérisation agro-écologique des exploitations maraîchères, les principales pratiques agronomiques abordées dans le guide d'entretien sont principalement la fertilisation, la gestion des intrants, la protection des cultures et la gestion de l'eau.

Gestion de la fertilisation des sols

L'étude descriptive des sols a montré qu'ils ont mis en exergue leur pauvreté en matières organiques et minéraux essentiels. Dans la zone des Niayes, les maraîchers des Niayes de Dakar utilisent l'engrais minéral en combinaison avec une grande variété de matières organiques pour la fertilisation des sols (fumier de volaille, de bovin, de cheval, de petits ruminants, d'âne, coques d'arachides, déchets de poisson, boues d'épuration d'eau, cendres, compost et litière d'élevage) (Tableau XII).

Tableau XII: Fertilisants utilisés par les petits maraîchers (en pourcentage dans chaque site)

Fertilisant	Pikine	Thiaroye	Malika	Niaga	Mbao
Amendements organiques					
Fumier de volaille	47,37	58,82	70,59	52,63	62,50
Fumier de bovin	52,63	94,12	11,76	5,26	50,00
Fumier de cheval	73,68	41,18	58,82	0,00	25,00
Fumier de mouton	15,79	5,88	0,00	0,00	6,25
Fumier de chèvre	10,53	0,00	5,88	0,00	0,00
Résidus de poisson	10,53	23,53	5,88	15,79	6,25
coques d'arachides	10,53	23,53	5,88	21,05	0,00
Compost	26,32	11,76	5,88	15,79	12,50
Fumier d'âne	0,00	0,00	0,00	5,26	0,00
Boue de station d'épuration d'eau	15,79	0,00	0,00	0,00	0,00
Cendres	5,26	0,00	0,00	0,00	0,00
Litière d'élevage de caille à base de riz	5,26	0,00	0,00	0,00	0,00
Fertilisation inorganique					
Urée 46-00-00	42,11	23,53	58,82	21,05	31,25
Engrais minéral 10-10-20	42,11	23,53	52,94	10,53	25,00
Engrais minéral 18-20-0	5,26	0,00	0,00	0,00	0,00
Engrais minéral 15-15-0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Engrais minéral 07-07-14	0,00	0,00	11,76	0,00	0,00
Engrais minéral 8-18-27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Engrais minéral 18-46-0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sulfate de potassium	5,26	0,00	0,00	0,00	0,00
Nitrate de potasse	0,00	11,76	0,00	0,00	0,00
Plâtre agricole	5,26	0,00	0,00	0,00	0,00

Le choix du type d'amendement utilisé dépend en général de sa disponibilité, de l'état des plantes, des espèces cultivées et des conditions du sol (salinité, qualité du sol selon leur perception). L'approvisionnement en matières organiques constitue une contrainte majeure pour les producteurs situés au niveau des sites les plus enclavés comme Thiaroye, Niaga et Mbao. Ces sites sont difficilement accessibles aux charretiers qui sont les principaux fournisseurs. Quant aux autres engrais chimiques, les petits producteurs s'approvisionnent auprès des *bana-bana* ou des commerçants installés près des sites. Dans tous les sites, l'engrais minéral du type 10 - 10 - 20 et l'urée sont les plus utilisés par les maraîchers et ceci pour toutes les spéculations.

Protection des cultures

L'une des contraintes majeures de production dans la zone des Niayes sont les attaques fréquentes des cultures par les ravageurs dont les plus redoutables sont les insectes, les nématodes et les champignons. La majorité des maraîchers (75 %) utilisent des pesticides chimiques contre ces ravageurs. Toutes les classes de pesticides (organophosphorés, organochlorés, carbamates et pyréthrénoïdes) ont été mentionnées au cours de l'étude. Toutefois, une partie des maraîchers ne connaissaient pas les noms des pesticides utilisés (11 %). Quelques pratiques sont appliquées par certains producteurs pour diminuer les risques d'attaques comme la gestion des résidus de culture infectés ou l'adaptation du calendrier horticole en avançant l'ensemencement pour éviter la période de forte attaque d'un ravageur.

6.3. Discussion

Malgré les différents projets et programmes entrepris ces deux dernières décennies pour l'amélioration durable des rendements, la situation des petites exploitations maraîchères des Niayes semble avoir peu évolué. Les contraintes de production identifiées au cours de cette étude sont semblables à celles retrouvées dans la littérature des années 1990 (Fall et Fall, 2001b). La disponibilité d'une eau de qualité pour l'arrosage reste toujours une problématique réelle malgré la reprise pluviométrique des années 2000 (Sene et Ozer, 2002). L'accès aux semences, le manque de formation, la complexité et les aléas du marché sont encore des problèmes d'actualité. A ces problèmes s'ajoutent la mauvaise gestion des ressources en eau et de la matière organique disponible, l'utilisation abusive et incontrôlée des intrants chimiques (engrais et pesticides), la mauvaise gestion financière des exploitations et la difficulté d'accès à des informations fiables sur des itinéraires techniques adaptés.

Les documents produits sur les problématiques horticoles des petits producteurs favorisent une approche multisectorielle pour travailler à l'amélioration de la filière dans son contexte urbain (CIRAD et CRDI, 2004; Fall et Fall, 2001b). Les actions posées aux niveaux national et local ne semblent malheureusement pas avoir été suffisantes pour améliorer de façon significative les conditions du maraîchage à petite échelle. Cependant, l'approche multisectorielle reste pertinente malgré la persistance de certaines contraintes de production. Les itinéraires techniques développés et les stratégies adoptées pour sensibiliser les petits producteurs sur des pratiques culturales plus saines et durables sont insuffisants. Cette étude a montré qu'il s'agit d'un processus complexe qui devrait conjointement prendre en

considération les aspects techniques, socioculturels, écologiques, organisationnels et financiers. En effet, beaucoup d'actions sont menées par les structures de recherches et les services d'appuis techniques (services de vulgarisation, OPs et ONGs) pour réduire la vulnérabilité des exploitations agricoles. Cependant, les risques écologiques restent toujours inquiétants. L'analyse des résultats obtenus révèle un décalage entre les capacités techniques des petits producteurs et les inventions agro écologiques développées par la recherche. Les dispositions entreprises à travers les différents projets sur la gestion des intrants chimiques et les risques encourus en cas de leur mauvaise utilisation n'ont pas abouti à un changement remarquable de comportement à l'égard des producteurs en ce qui concerne les bonnes pratiques d'application. Ce constat explique les risques écologiques et sanitaires, dont certains, comme la pollution de la nappe phréatique, du sol et des produits agricoles par les résidus de pesticides, les nitrites et les nitrates sont publiés récemment (Ngom et al 2013a et Ngom et al 20013b). Les techniques alternatives qui devraient limiter l'utilisation des intrants chimiques sont peu appliquées. Des quantités importantes de matières organiques se trouvent dans tous les sites, surtout de la biomasse végétale et du fumier. Cependant, seuls 16 % des producteurs pratiquent le compostage de la matière organique. La grande diversité de matières organiques existantes est utilisée de façon brute sans aucune précaution. Les risques écologiques et environnementaux sont donc énormes sachant que l'épandage excessif du fumier non composté constitue la matière organique la plus utilisée par les maraîchers. Or, selon beaucoup d'auteurs (Ngom et al, 2013b; Berdai et al, 2004 ; Chambaut, 2006 ; De Lucia et al 2013), l'épandage excessif de matières organiques, surtout combiné avec les engrais chimiques, conduit à l'accumulation du phosphore (P) et de l'azote (N) dans le sol entraînant une incidence négative sur l'équilibre écologique et la santé publique qui n'est plus à démontrer (Testud al, 2004; Desneux et al, 2007). En effet, une relation entre les excédents d'azote et les teneurs en nitrates de l'eau a été mise en évidence à l'échelle des grandes régions d'élevage (Chambaut et al, 2003). Les effets des perturbations sur la biodiversité et la dynamique de l'écosystème des Niayes sont encore peu documentés dans la zone des Niayes. Toutefois, il est probable que ces mauvaises pratiques agricoles entraînent une altération de la dynamique écologique (ressources biotiques et abiotiques, dynamique des populations) qui sous-tend la viabilité du système agroécologique. La composition et la dynamique écologique locales sont très peu connues des maraîchers. Les observations sur leur milieu agricole se rapportent principalement aux éléments majeurs qui influencent la production. Le lessivage de la matière organique et des minéraux du sol avec les eaux de ruissellement a entraîné la

prolifération des plantes envahissantes comme le *typha* dans les cuvettes maraîchères. Les sols sont donc particulièrement pauvres dans certains endroits ; ce qui pousse les maraîchers à utiliser des quantités importantes d'engrais chimiques dans l'ignorance des besoins des cultures et des caractéristiques du sol. Ce constat confirme les résultats antérieurs qui prônent que dans la zone des Niayes, l'augmentation de la production prime sur les risques encourus en cas de mauvaise utilisation des intrants chimiques (Ngom, 2013). La situation est plus inquiétante sachant que les productions se réfèrent aux commerçants des intrants agricoles y compris les produits chimiques pour la plupart de leurs pratiques. Selon les enquêtes, les petits producteurs ignorent encore l'existence des structures de recherche et d'appui technique qui devraient permettre le renforcement de leurs capacités sur les bonnes pratiques agricoles.

Cette étude confirme également les travaux de Cissé et *al* (2003) sur les difficultés d'organisation et de sensibilisation de ces petits producteurs sur les bonnes pratiques agricoles à cause de leur forte mobilité. Il s'agit pour la plupart des immigrants saisonniers venant de l'intérieur du pays et de la sous-région. En outre, les espaces maraîchers ne sont pas pris compte dans les plans d'urbanisation et ils sont souvent déplacés dans de nouveaux sites. A cet effet, il est difficile de mener des actions efficaces pour gérer les impacts négatifs de la ville sur les exploitations agricoles. Il n'existe pas un cadre de concertation qui réunit tous les acteurs impliqués dans la santé de la filière horticole urbaine. Un autre facteur qui limite les efforts investis pour le changement des mauvaises pratiques agricoles dans la zone est la concurrence entre les producteurs. Ils ne partagent pas avec la communauté les connaissances acquises considérées comme un secret d'entreprise.

Par ailleurs, le contexte économique des petits maraîchers des Niayes de Dakar n'est pas favorable à la prise d'initiatives ou à l'essai de méthodes alternatives aux méthodes actuelles non durables. Comme Thierfelder *et al.* (2012) l'ont observé dans les petites exploitations agricoles du Zimbabwe, les méthodes alternatives entraînent un risque financier qui pourrait impacter négativement le revenu familial. Un des facteurs qui défavorise l'agriculture durable dans la zone est l'écoulement de la production. Il est parfois difficile, en particulier durant la période de contre-saison (décembre à juin) où on observe une surabondance de produits horticoles dans les marchés locaux (Wade, 2009). De plus, les grandes exploitations (plus d'un hectare) alimentent aussi les marchés locaux et posent une difficulté supplémentaire aux petits maraîchers qui offrent des produits à des prix moins compétitifs. La problématique du marché constitue donc un facteur déterminant dans le choix des intrants agricoles et des

cultures durant tout le long de l'année. Comme dans la plupart des pays africains, la préoccupation majeure des petits producteurs de la zone des Niayes est l'amélioration de leur production (Tittonell, 2004). Les facteurs qui riment avec l'agriculture durable (climat, état du sol, dynamique des ravageurs, etc.) ne sont pas considérés par les producteurs dont le seul objectif est de réduire au maximum le coût de production pour être compétitif dans le marché.

Conclusion

La filière horticole à petite échelle dans la zone des Niayes de Dakar occupe une place importante pour la sécurité alimentaire, notamment dans l'approvisionnement des populations en fruits et légumes. Grâce à sa position géographique, la zone possède des avantages climatiques et économiques favorables à l'horticulture par rapport aux autres régions du pays. Toutefois, ces avantages particuliers font des Niayes de Dakar un écosystème attractif, fortement convoité par l'habitat et les activités humaines d'où la nécessité d'appréhender sa vulnérabilité aux risques écologiques. C'est dans ce cadre que cette étude a été réalisée pour caractériser les agrosystèmes, analyser la perception des risques écologiques associés et d'en tirer des éléments d'orientation spécifiques pour l'adoption d'une agriculture saine et durable. L'étude a été conduite sur la base d'une synthèse bibliographique et des enquêtes auprès des producteurs complétées par des observations directes sur le terrain. Les résultats révèlent que les conditions agroécologiques, socioéconomiques et culturelles actuelles ne sont pas favorables à l'adoption d'une agriculture durable. La zone est fortement exposée aux risques écologiques qui s'expliquent par les mauvaises pratiques agricoles auxquelles s'ajoutent les effets des changements climatiques et des aménagements urbains. Cependant, ces risques sont encore ignorés par les maraîchers, généralement à cause d'un manque de connaissances sur les avantages de l'agriculture durable et aussi des exigences du marché local des intrants agricoles et des produits horticoles. Leurs efforts sont essentiellement concentrés sur l'amélioration des rendements et des revenus. La situation est d'autant plus inquiétante vu que les dispositions actuellement adoptées par la recherche et les services techniques pour renverser les tendances n'ont pas encore fait leurs preuves sur le terrain. Les actions apportées sont insuffisantes et le plus souvent non adaptées aux réalités du milieu. L'étude montre clairement que ces actions doivent impérativement prendre en compte les facteurs culturels et socioéconomiques pour minimiser les risques écologiques et de s'orienter vers une agriculture durable.

Chapitre 7 : Efficacité du biofertilisant fabriqué à base de la biomasse du « neem » et d'anacarde comme alternative aux engrais chimiques

Introduction

Au Sénégal, la filière horticole occupe une place importante dans l'économie du pays. Elle contribue à la sécurité alimentaire et constitue aussi une source importante de revenu pour les populations rurales et périurbaines. La production maraîchère a été évaluée à 741 925 tonnes en 2014 avec un volume d'exportation total tous produits confondus de 85 000 tonnes. Avec l'exode rural, la filière s'est beaucoup développée ces dernières années à l'intérieur et aux alentours des grands centres urbains. Les producteurs des milieux ruraux se sont installés en ville pour y entreprendre une activité agricole et profiter de la proximité du marché urbain où la demande est plus forte. Cependant, malgré son importance économique, l'horticulture sénégalaise est confrontée à des difficultés majeures dont l'accroissement des villes avec l'occupation foncière des terres agricoles (Cissé et *al.*, 2008).

L'agriculture est pratiquée dans de petites parcelles et essentiellement au niveau de la zone des Niayes où sont associées plusieurs spéculations avec une surexploitation des ressources et l'utilisation massive et incontrôlée des produits chimiques (Fall et *al.*, 2003). Bien qu'ils soient bénéfiques pour augmenter les rendements, l'utilisation irrationnelle des intrants chimiques peut engendrer des effets négatifs et inquiétants sur l'environnement et la santé publique. Dans la zone maraîchère de Mboro, en plus des risques d'exposition élevés chez les utilisateurs qui ignorent les bonnes pratiques agricoles, la nappe phréatique et les produits horticoles sont fortement contaminés par les pesticides, les nitrates et les nitrites (Ngom et *al.*, 2013a ; Ngom et *al.*, 2013b ; Cissé et *al.*, 2003). Dans ce contexte, il est donc urgent de trouver des moyens pour faire face à ces problèmes et en même temps relever les défis de l'agriculture urbaine dont l'approvisionnement régulier des populations en produits sains et plus compétitifs.

Dans la zone maraîchère des Niayes, plusieurs études ont été menées pour contribuer à la réduction des quantités massives et incontrôlées des engrais chimiques utilisés par les producteurs. Différentes techniques alternatives (compostage, BRF, mycorhization, etc.) ont été expérimentées (ISRA, 2005 ; Seck et Lô, 2007 ; Niassy et *al.*, 2010 ; Sonko, 2012). Cependant, les résultats sont dispersés et le plus souvent non accessibles aux producteurs. Ce

travail a été effectué dans une dynamique de recherche d'alternatives aux engrais chimiques et a pour objectif de contribuer à la valorisation optimale des matières organiques disponibles dans les systèmes de production de la zone des Niayes dont la fiente de volailles des fermes agricoles associée avec de la biomasse des ligneux, les plus fréquents dans la zone.

7.1. Matériel et méthodes

7.1.1. Présentation de la zone d'études

Mboro se situe sur la grande côte à 91 kilomètres au Nord de Dakar, dans la région naturelle des Niayes (figure 18). Son relief est caractérisé par une succession de dunes et de dépressions. Les dunes blanches de sols Dior sont séparées par de vastes couloirs interdunaires de dépression avec des sols hydromorphes gorgés d'eau, même en saison sèche. Elle est sous l'influence d'un climat exceptionnel dont l'élément dominant et déterminant est l'alizé maritime provenant de l'anticyclone des Açores. Du fait de la proximité de l'océan, la température moyenne annuelle ne dépasse pas 27 °C et les amplitudes thermiques sont relativement faibles. Les bas-fonds sont favorables aux cultures maraîchères mais fortement dégradés et pollués par la surexploitation. L'humidité relative minimum se situe entre 30 et 70 % et l'humidité relative maximum varie entre 74 et 94 %. Les brumes, rosées et brouillards sont fréquents. Cependant, les pluies sont concentrées dans le temps et leur hauteur annuelle ne dépasse guère 400 mm.

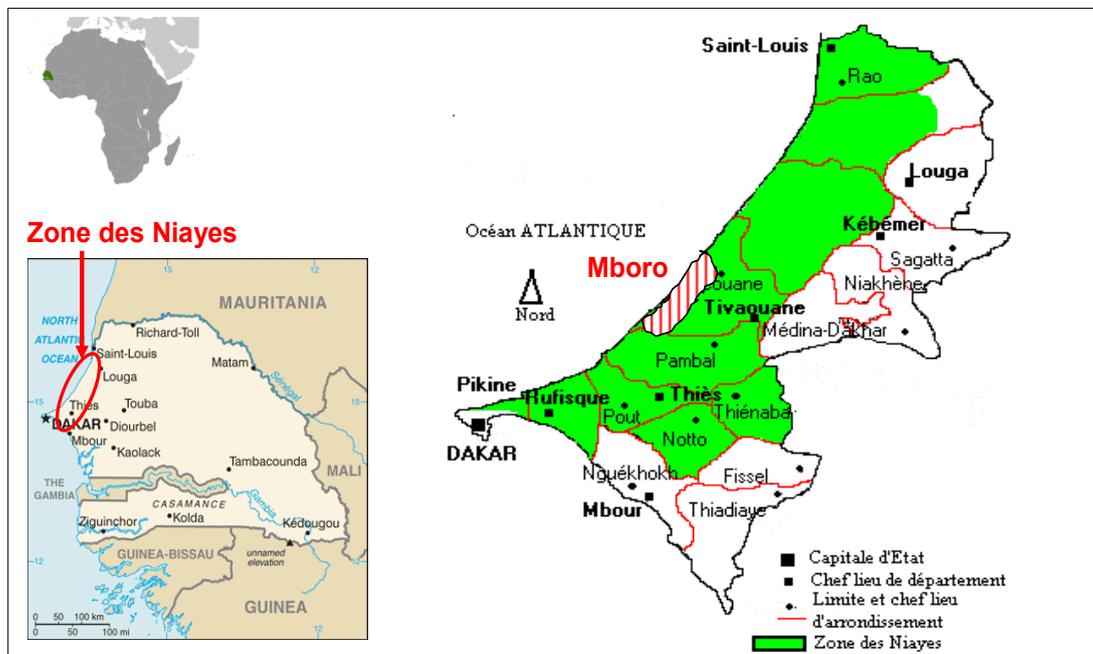


Figure 18 : Carte de localisation de la zone d'étude

7.1.2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est constitué de cultures maraîchères adaptées dans la zone des Niayes au Sénégal (Tableau XIII).

Tableau XIII : Variétés horticoles utilisées pour les essais de performance du compost

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Famille	Variété
Oignon	<i>Allium cepa</i>	Alliacés	Violet de Galmi
Pomme de terre	<i>Solanum tuberosum</i>	Solanacées	Spunta
Chou pommé	<i>Brassica oleracea</i>	Brassicacées	Tropicana
Tomate	<i>Solanum lycopersicum</i>	Solanacées	Mongal
Poivron	<i>Capsicum annuum</i>	Solanacées	Yolo Wonder

7.1.3. Caractérisation des matières organiques et du compost fini

Les différentes fractions organiques ont été réalisées selon les méthodes standard approuvées par l'AOAC (Helrich, 1990). La matière sèche a été obtenue par dessiccation à l'étuve à 105 °C pendant 24 heures (MS), la teneur en cendres totales (MM) par calcination à 550 °C et l'azote total (N) par la méthode de Kjeldahl. La cellulose brute (CB) a été mesurée selon la méthode de Weende. Le carbone et l'azote ainsi que le rapport C/N ont été déterminés simultanément par un autoanalyseur de type Leco TruSpec. Le phosphore total et le potassium total ont été déterminés à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption à flamme, après minéralisation.

7.1.4. Compostage de la matière organique

Le compost a été obtenu par un processus anaérobie de fermentation ou bio méthanisation. Les matériaux utilisés dans le compostage sont la fiente de volaille (35 %), le neem (5 % feuilles vertes et 5 % feuilles mortes en décomposition), feuilles vertes d'anacarde (15 %) et la paille de brousse (40 %). Un bio-activateur à base de la technologie EM (micro-organismes efficaces) a été utilisé pour raccourcir la durée de maturation du compost. Le bio-activateur correspond à un kit commercial associant des micro-organismes naturels couramment utilisés dans l'alimentation et existant dans la nature dont les levures, les bactéries lactiques et photosynthétiques (Higa, 1994). Les différents matériaux sont superposés en couches et humectés avec la solution EM au fur et à mesure de la disposition des couches de matériaux. L'amas de matériaux mis en place a été enveloppé d'une bâche et exposé au soleil. Cinq semaines après, les matériaux compostés mûrissent et le compost ainsi obtenu a été enrichi en minéraux avec de la cendre de bois avec un taux d'incorporation de 1 % (photos 1 à 6).



Photo 1 : Dalle avec réservoir en ciment



Photo 2 : Mise en couches des matériaux



Photo 3 : Présentation du tas en transformation



Photo 4 : Retournement du tas



Photo 5: Compost mature



Photo 6: Sac de Biofertilisant

7.1.5. Application du compost sur les cultures

Pour toutes les spéculations, le compost a été appliqué une seule fois comme fumure de fond avant le repiquage à des doses différentes :

- T0 : témoin (doses d'engrais chimique et de fumier de bovin recommandées)
- T1 : traitement 1 (10 t/ha de compost)
- T2 : traitement 2 (20 t/ha de compost)
- T3 : traitement 3 (30 t/ha de compost)

Les traitements ont été effectués sur un dispositif en blocs aléatoires complètement randomisés (DBAC) avec trois (03) répétitions pour chaque spéculations. La parcelle élémentaire a une longueur de 3 m et une largeur de 1,5 m, soit une surface de 4,5 m². La distance entre deux parcelles élémentaires est de 0,5 m. Les parcelles de chou pommé sont irriguées à la lance raccordée à une motopompe, celles des autres spéculations par des arrosoirs.

7.1.6. Analyses statistiques

Les données collectées ont été traitées par le logiciel XLSTAT 7.5. L'analyse de variance et la comparaison des moyennes sont effectuées par le test de Newman Keuls au seuil de 5 %.

7.2. Résultats

7.2.1. Caractéristiques des matières organiques compostées et du compost fini

Les caractéristiques chimiques des différentes matières organiques compostées et celles du compost obtenu sont représentées dans le tableau XIV. Cinq séries de compostage ont été réalisées avec les mêmes matériaux et suivant le même procédé. Pour le compost, les résultats décrits correspondent aux valeurs moyennes obtenues des caractéristiques physico-chimiques du produit des cinq séries de compostage.

Tableau XIV : Caractéristiques chimiques des matières organiques compostées et du compost obtenu (g/kg MS)

Matériaux compostés	pH	Matières organiques	Cellulose (CB)	Calcium (Ca ²⁺)	Azote (N total)	Phosphore (P ₂ O ₅)	Potassium (K ₂ O)	Rapport C/N
Fientes de volaille	-	462,5	-	25,5	27,8	28,6	20,6	13,26
Paille de brousse	-	700,9	466,0	03,2	3,5	9,4	-	25,45
Feuilles vertes de neem	-	937,5	236,6	16,7	18,7	9,2	-	14,48
Feuilles d'anacarde.	-	962,5	318,2	25,4	15,9	8,7	10,5	15,00
Compost fini	8,04	234,0	94,5	04,9	9,1	14,8	7,3	15,49

Les résultats ont montré des teneurs en azote non négligeables dans les feuilles de neem et d'anacarde avec des valeurs moyennes respectives de 18,7 et 15,9 kg/t comparées à celle obtenue pour la fiente de volaille. Les caractéristiques physico-chimiques obtenues ont montré que la qualité du compost est hautement appréciable. Les teneurs en éléments N-P-K (9,1 kg/t, 14,8 kg/t et 7,3 kg/t, respectivement) et le rapport carbone/azote (15,49) sont considérés comme satisfaisants sur le plan agronomique.

7.2.2. Effet du compost sur les rendements des cultures horticoles

Le tableau XV montre les différents rendements obtenus en fonction de la dose de compost appliquée. Les résultats ont montré que pour toutes les spéculations, les doses de compost ont donné les meilleurs rendements par rapport aux témoins. Une différence significative de rendement a été observée entre les traitements de compost et les témoins, selon le test de Newman Keuls au seuil de significativité de 5 %.

Tableau XV : Effet du compost produit sur les rendements des cultures (tonnes/ha)

Traitement	Tomate	Oignon	Chou pommé	Poivron	Pomme de
T0	19,335b	54,393d	74,243c	19,435b	39,913b
T1	14,565b	71,927c	144,533a	26,022a	55,163a
T2	25,165a	88,000b	107,446b	30,406a	49,438ab
T3	27,213a	105,263a	98,953d	24,776a	45,388ab

a, b et c : sur la même colonne, les valeurs portant au moins une lettre différente sont significativement différentes (p<0,05)

Pour la tomate et l'oignon, une corrélation positive entre l'augmentation de la dose de compost et celle des rendements a été observée. Aussi, des différences significatives de rendements ont été notées en fonction des doses de compost appliquées pour l'oignon.

Concernant le chou, les doses de compost ont fourni aussi les meilleurs rendements par rapport au témoin. Les traitements de compost ont été significativement différents par rapport au témoin. La plus petite dose de compost appliqué a montré des rendements meilleurs que les plus fortes doses. Une différence significative a été notée entre les rendements obtenus.

Pour la pomme de terre, il ressort que les rendements obtenus avec l'application du compost sont meilleurs que ceux du témoin. Une différence significative des rendements a été obtenue par rapport au rendement du témoin ($P = 0,017$, test de Newman Keuls au seuil de significativité de 5 %). La plus petite dose de compost (10 t/ha) a fourni les meilleurs rendements par rapport à la dose moyenne (20 t/ha) et la forte dose (30 t/ha). Pour cette spéculation, la différence n'est pas significative entre la petite dose, la moyenne et la forte dose.

Les effets du compost sur le rendement, le poids et le nombre de fruits de poivron à la récolte ont été étudiés. Les résultats ont montré que le compost a influencé positivement les rendements à la récolte (Figure 19). Pour toutes les quatre récoltes effectuées, les parcelles ayant reçu le compost ont offert les meilleurs rendements. Toutefois, la dose T2 (20 t/ha) a montré les meilleurs rendements avec 15,10 t/ha, 8,10 t/ha, 7,95 t/ha et 9,90 t/ha, respectivement de la première à la quatrième récolte soit un rendement moyen de 41,06 t/ha pour le cumul des récoltes. La dose T3 (30 t/ha) a donné un rendement légèrement plus élevé à la première récolte (15,70 t/ha). Par contre, pour les trois dernières récoltes, elle a montré des rendements inférieurs à ceux obtenus les doses T1 et T2.

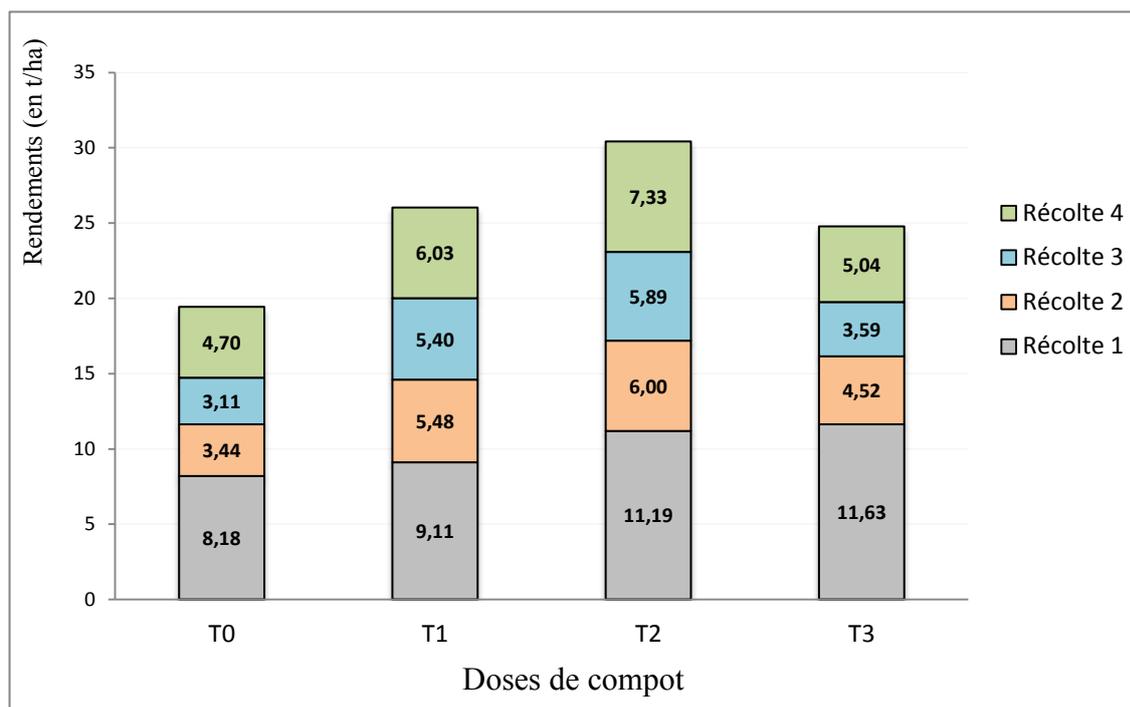


Figure 19 : Effets du compost sur les rendements de poivron à la récolte

Les résultats de l'essai ont montré également que le compost a positivement influencé le poids des fruits de poivron (figure 20). A la première récolte, les fruits obtenus avec T3 ont présenté le plus grand calibre (95,15 g contre 83,71 g, 93,18 g et 82,97 g respectivement pour T0, T1 et T2). Par contre, pour les dernières récoltes (R2, R3 et R4), cette même dose a donné des fruits de plus faible calibre aussi bien par rapport aux doses inférieures (T1 et T2) qu'au témoin (T0). Nous rappelons que la durée entre les différentes récoltes est de sept jours (une semaine). Les fruits obtenus avec la dose de compost T2 (20 t/ha) sont plus homogènes entre les quatre récoltes effectuées avec un calibre compris entre (70,35 et 82,97 g).

A travers cet essai, il a été observé que le compost a entraîné une augmentation du nombre de fruits de poivron à la récolte. Le nombre de fruits obtenus avec les différentes doses de compost est largement supérieur à celui du témoin et ceci pour toutes les récoltes (figure 21). Cependant, la dose T2 a offert plus de fruits par rapport aux autres traitements T0, T1 et T3.

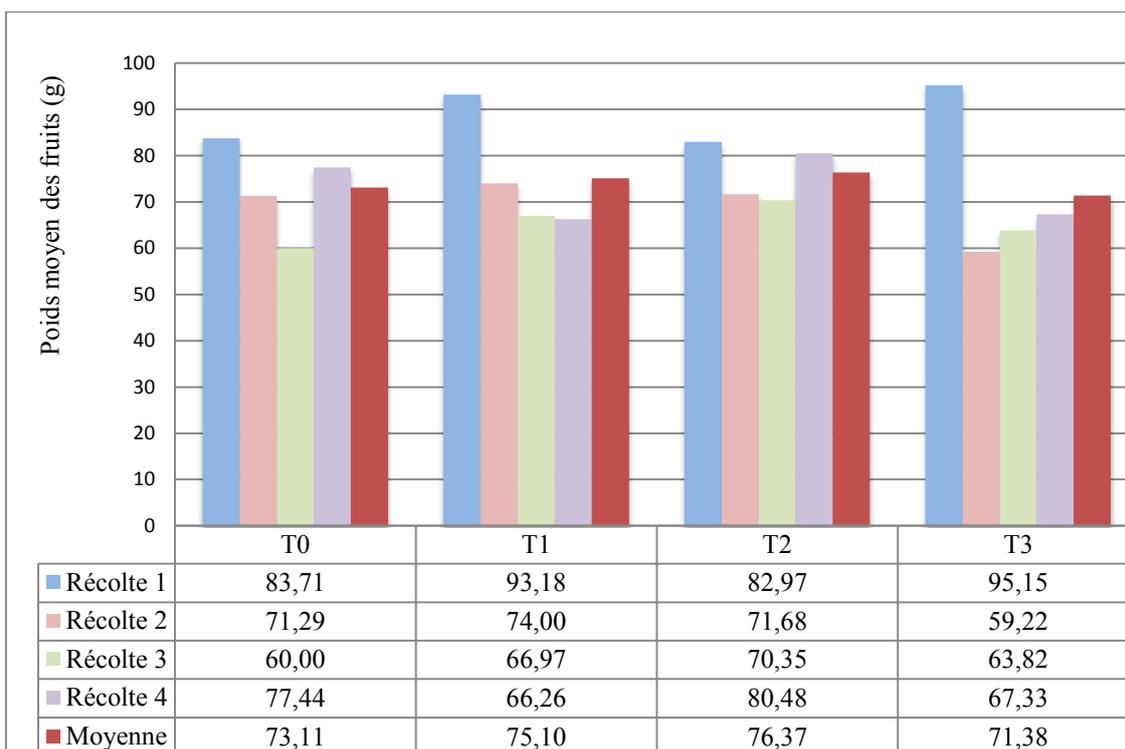


Figure 20 : Effets du compost sur le poids moyen des fruits de poivron à la récolte

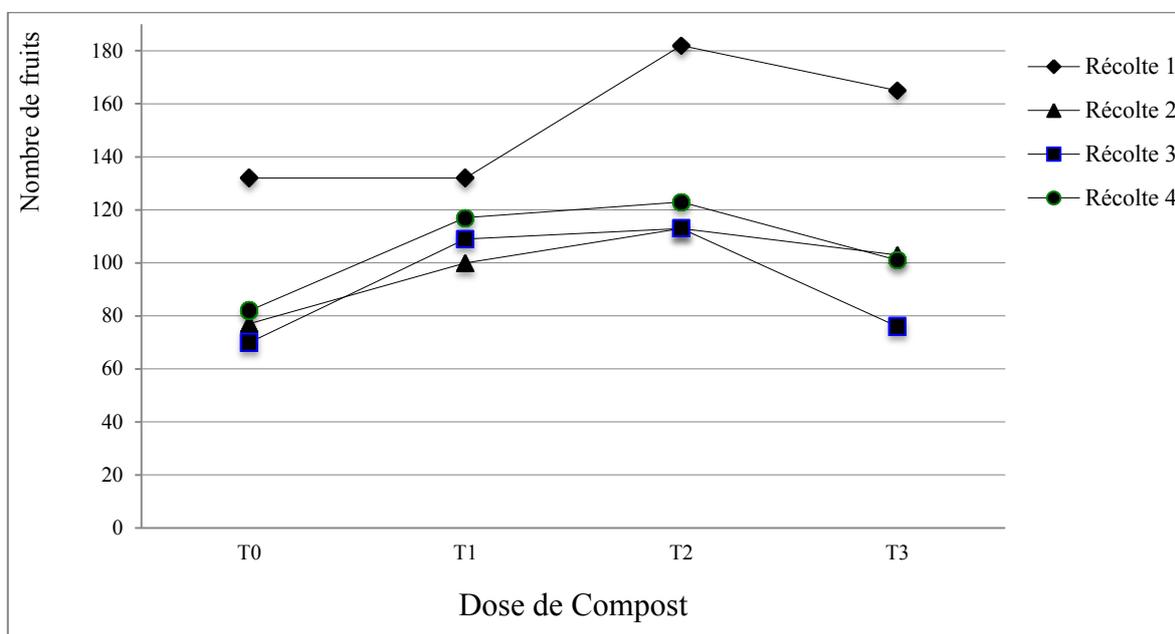


Figure 21 : Effets du compost sur le nombre de fruits de poivron à la récolte

7.3. Discussion

Les analyses chimiques ont révélé des teneurs importantes en azote pour les feuilles vertes de « Neem » et de l'anacarde avec des valeurs moyennes (18,7 g/kg MS et 15,9 g/kg MS, respectivement) qui sont largement supérieures à celles de la paille de brousse (3,5 g/kg MS). Comparées avec celles obtenues pour la fiente de volaille, ces valeurs ne sont pas négligeables dans la production d'un fertilisant organique. La fiente de volaille constitue l'effluent d'élevage le plus riche en azote. Les analyses effectuées ont montré un taux moyen d'azote de 27,8 g/kg MS avec un rapport C/N de 13,26. Ces teneurs en azote sont comparables à celles indiquées dans la littérature comprises entre 28 et 31 g/kg MS (Weill et Duval, 2009 ; CRAAQ, 2005). Cependant, les travaux antérieurement menés dans la zone des Niayes ont montré que les teneurs en azote dans le fumier produit dans les fermes avicoles sont très variables (Ngom, 2013b). Ceci pourrait s'expliquer du fait que les teneurs en éléments nutritifs dans le fumier dépendent fortement de sa gestion. D'après beaucoup de travaux, les pertes de nutriments sous forme gazeuse (NH_3 , N_2O , CH_4 et CO_2) durant la période de stockage et de compostage du fumier peuvent engendrer des variabilités importantes sur les teneurs en éléments nutritifs (Espagnol, 2006 ; Wolter et *al.*, 2004). Espagnol (2006) et Wolter et *al.* (2004) ont indiqué des pertes d'azote de 10,5 % et 9 % de l'azote initial (principalement sous forme de NH_3) et une perte carbonée de 10 % et 12 % de la matière sèche initiale (principalement sous forme de CO_2), pour le fumier non retourné et retourné, respectivement. Les teneurs importantes en K_2O dans le compost pourraient se justifier par les apports en cendres de bois. D'après de nombreux travaux, les cendres de bois constituent à la fois un résidu basique contre l'acidité du sol et une source de minéraux essentiels tels que CaO , P_2O_5 , K_2O et Mg (Majeau et Desforges, 2013 ; Perucci et *al.*, 2006).

En ce qui concerne la qualité du compost produit, le rapport C/N (15,49) obtenu est comparable à celui du compost mûr dont la valeur recommandée se situe dans l'intervalle entre 10 et 15 (Nanéma, 2007). Ce rapport permet une bonne libération d'azote pour la plante. L'obtention de ce rapport C/N s'explique d'une part par les teneurs importantes d'azote dans trois des matériaux associées dans le tas de compost (fiente de volaille, neem et anacarde) et d'autre part par l'utilisation de la solution EM constituée de microorganismes efficaces pour la décomposition rapide de la MO.

Du point de vue agronomique, l'application du compost a eu un impact positif sur la productivité des cultures testées. En effet, tous les paramètres agronomiques mesurés ont été influencés positivement par le compost avec des valeurs moyennes supérieures à celles observées pour les témoins. La corrélation positive constatée entre l'augmentation de la dose de compost et celle des rendements pour l'oignon et la tomate montre éventuellement que la dose optimale de compost nécessaire à l'obtention de meilleures performances n'a pas été atteinte.

L'augmentation des rendements des cultures en fonction de l'apport de doses croissantes de compost a été observée par d'autres auteurs (Ulajikyela, 2011; Charland *et al.*, 2001; Pednault, 1994). Par contre, pour le chou et la pomme de terre, la dose T1 (10 t/ha) correspond à la dose optimale qui a permis d'obtenir les meilleurs rendements (144,533 t/ha et, 55,163 t/h, respectivement) et la dose T3 (20 t/ha) pour le poivron (41,058 t/ha). Pour ces spéculations, la plus forte dose T3 (30 t/ha) n'a pas donné les meilleurs rendements. Ce phénomène a été observé par Mora *et al.* (2009) à l'issue de leurs essais d'efficacité d'un compost à base de déchets urbains sur la tomate où la dose 45 t/ha a montré des rendements inférieurs à ceux de la dose 30 t/ha (116,6 t/ha contre 119,4 t/ha). La chute des rendements avec l'application des plus fortes doses de compost pourrait s'expliquer par un excès d'éléments fertilisants dans le sol. En effet, l'apport excessif de nutriments dans le sol peut perturber les réactions qui favorisent l'absorption normale des nutriments par les plantes et par conséquent leur développement.

Les résultats positifs obtenus à l'issue de cette étude ne sont pas surprenants dans la mesure où le compost mature permet l'amélioration des propriétés physico-chimiques et biologiques des sols et par conséquent le développement des cultures (Aggelides, 2000 ; Devisscher, 1997). Le compost enrichit les sols en MO et en azote, en particulier sous les formes assimilables par les plantes (Korboulewsky *et al.*, 1999 ; Devisscher, 1997). Selon Hussain *et al.*, (2009), l'utilisation des produits à base de EM améliore la qualité des sols, la croissance, le rendement et la qualité des cultures. D'après Higa (1994), le compost à base d'EM a pour vocation de fertiliser le sol, d'assurer une nourriture et une diversification des microorganismes du sol, de favoriser un effet désintoxication pour le sol et enfin de garantir une disponibilité immédiate des éléments nutritifs nécessaires au développement des plantes.

En outre, le compost semblerait présenter des propriétés biocides efficaces contre les nématodes néfastes du sol. Il est fabriqué à base de plantes dotées de propriétés insecticides à savoir le Neem et l'anacarde (Bernard et *al.*, 2008). Peu d'attaques ont été observées sur les parcelles traitées avec le compost, comparées aux témoins. Cependant, des données qualitatives sur cet effet du compost sur les nématodes n'ont pas été collectées. Seul l'indice de Galle mesurant le degré d'attaque des racines par les nématodes a été évalué pour la culture de tomate. Contrairement aux travaux de Bellahammou (2012), les résultats obtenus ont révélé un indice de Galle plus élevé pour les racines des plantes des parcelles témoins. Cependant, la différence n'est pas significative entre les différents traitements de compost. Toutefois, on rappelle que la matière organique du sol permet la réduction des nématodes phyto-parasites du genre *Meloidogyne* (Tabarant, 2011 ; Ogaraku, 2007 ; Kechalu, 2004). D'après la plupart des auteurs, l'amendement organique stimule l'activité des micro-organismes du sol qui sont des antagonistes des nématodes parasites des plantes.

Conclusion

Dans la zone des Niayes, la surexploitation des terres associée et les mauvaises pratiques agricoles ont engendré l'épuisement des sols en éléments nutritifs avec une faible productivité des cultures. Les matières organiques disponibles et utilisées dans l'amendement et la fertilité des sols sont mal valorisées par les populations. L'optimisation des techniques de gestion et d'utilisation des matières organiques est nécessaire pour améliorer la qualité des sols et augmenter les rendements. C'est dans cette optique que cette étude a été réalisée pour mettre au point un processus de compostage de la fiente de volaille associée avec de la biomasse du Neem et de l'anacarde qui sont des ligneux disponibles dans la zone. Le compost produit à base de ces matériaux a montré des caractéristiques physico-chimiques appréciables du point de vue agronomique avec un rapport C/N de 15,49 et des teneurs en N - P - K de 9,1 kg/t, 14,8 kg/t et 7,3 kg/t, respectivement. Les différentes doses de ce compost testées sur les cultures de l'oignon, la pomme de terre, le chou, la tomate et le poivron ont révélé des performances agronomiques meilleures par rapport aux témoins (doses de fumier de bovin et de l'engrais minéral recommandées par les services techniques de l'horticulture). Une corrélation positive a été observée entre l'augmentation de la dose de compost et les rendements pour la tomate et l'oignon.

Par contre, pour le chou et la pomme de terre, la dose T1 (10 t/ha) a permis d'obtenir les meilleurs rendements (144,533 t/ha et 55,163 t/h respectivement) et la dose T3 (20 t/ha) pour le poivron avec 41,058 t/ha. Il semblerait également que le compost produit possède également des effets nématocides qui méritent d'être évalués en perspective. Bien qu'elle soit préliminaire, cette étude a prouvé que le compost à base de la biomasse du Neem et de l'anacarde associée à la fiente de volaille pourrait constituer une alternative réelle à l'utilisation massive des engrais chimiques dans la zone agricole des Niayes. Il est d'autant plus intéressant que l'adoption du compost va permettre à la fois l'augmentation durable des productions horticoles et la réduction de la pollution de l'environnement par les engrais chimiques.

Chapitre 8 Activités larvicides de l'huile du neem et des huiles essentielles de trois plantes récoltées dans la région de Dakar sur *Chrysodeixis chalcites*

Introduction

Au Sénégal, l'horticulture pratiquée dans la zone des Niayes représente une activité économique importante. Elle approvisionne les grands centres urbains en fruits et légumes et exporte une bonne partie de sa production dans la sous-région et en Europe. Cependant, la production est affectée par une forte pression parasitaire. Le recours aux pesticides chimiques constitue le principal moyen de lutte contre les ravageurs. Les pesticides sont utilisés de façon incontrôlée par les producteurs qui ignorent leurs conséquences. Ceci a engendré des problèmes sanitaires et écologiques inquiétants. Les sols et la nappe phréatique sont fortement contaminés par les résidus de pesticides (Ngom et al, 2013 ; Ngom et al, 2012 ; Cissé et al, 2003). Il est donc urgent de trouver une alternative pour limiter les dégâts.

Les plantes biocides constituent une source importante de substances naturelles dans la recherche d'alternatives. Dans certains pays Asiatiques, d'Europe de l'Est, et d'Amérique du Sud, des extraits de plantes sont approuvés et utilisés aujourd'hui comme insecticides dans la protection des cultures (Vera, 2014). Par contre, au Sénégal et dans la région ouest africaine, les ressources végétales à effet insecticide sont énormes (Berhaut, 1979 ; Kerharo, 1974) mais peu exploitées par les populations. Leur utilisation traditionnelle est connue depuis longtemps par les producteurs mais sans aucune connaissance scientifique sur leurs propriétés. L'huile de neem reste le seul produit utilisé actuellement comme biopesticide par les producteurs. Pourtant, la flore sénégalaise est remarquablement riche et diverse avec beaucoup de plantes contenant des substances dotées de propriétés biocides intéressantes comme les huiles essentielles. Ces dernières de par leurs mécanismes d'action particuliers et souvent complexes, peuvent être utilisées seules et à répétition sans potentiellement conduire au développement de résistances chez les ravageurs (Chiasson et Beloin, 2007). En outre, il a été démontré que les huiles essentielles ont en général une efficacité à large spectre. Cependant, elles n'ont pas fait l'objet de recherches approfondies en vue d'une utilisation potentielle en agriculture. Leur utilisation demeure empirique et ne se base sur aucun fondement scientifique. L'optimisation des techniques d'utilisation de ces plantes exige des connaissances scientifiques avérées sur leurs propriétés physicochimiques et leur efficacité biologique. C'est dans cette dynamique que nous avons réalisé l'étude pour déterminer la composition chimique des huiles essentielles de trois plantes aromatiques (*Callistemon viminalis*, *Melaleuca leucadendron* et *Hyptis suaveolens*) et

comparer leur bio activité avec celle de l'huile de neem sur des larves de *Chrysodeixis chalcites* (ravageur redoutable pour diverses cultures maraîchères).

8.1. Matériel et méthodes

8.1.1. Matériel végétal

Les parties aériennes des plantes ont été récoltées entre octobre et décembre 2013 au jardin botanique de la Faculté des Sciences et Techniques (FST) de l'UCAD, au Parc Forestier de Hann et dans l'enceinte de l'ISRA-LNERV, respectivement pour *Callistemon viminalis*, *Melaleuca leucadendron* et *Hyptis suaveolens*. Des exemplaires représentatifs ont été déposés dans l'herbier du département de biologie végétale de la FST/UCAD. Les échantillons récoltés ont été séchés à la température ambiante sur des paillasses, à l'abri du soleil pendant six jours.



Photo 7: *Melaleuca leucadendron*



Photo 8: *Callistemon viminalis*



Photo 9: *Hyptis suaveolens*



Photo 10: *Ocimum basilicum*

8.1.2. Extraction et analyse des huiles essentielles

Les huiles essentielles ont été obtenues par hydrodistillation à l'aide d'un montage de type Clevenger, pendant 2 heures, puis déshydratées avec du sulfate de sodium anhydre. L'extraction des huiles essentielles a été réalisée au laboratoire des produits naturels de l'UCAD. Par contre, l'huile de neem a été mise à notre disposition par Neeland - Sénégal (Thies).

La caractérisation des huiles essentielles a été effectuée à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse équipé d'un détecteur à ionisation de flamme (GC-FID) couplé avec la spectrométrie de masse (GC-MS).

Le **GC-FID** est équipé d'une colonne capillaire de type 5% phenyl-dimethylpolysiloxane (30m x 0,25 mm de diamètre intérieur) : épaisseur de film : 0,25 µm. Le gaz vecteur utilisé est l'hélium (He) avec un débit de 1,5 ml/mn. La température du four varie de 40 à 280 °C selon la programmation suivante : la température initiale est fixée à 40 °C pendant 5 mn puis une progression de 8 °C/mn jusqu'à 280 °C où elle se stabilise pendant 5 mn. L'injecteur de type split/splitless utilisé en mode splitless est à une température de 290 °C Le détecteur est fixé à 290 °C et fonctionne à l'air comprimé et à l'hydrogène avec des débits respectifs de 350 ml/mn et 35 ml/mn. Le Gaz Make-up (N₂) est utilisé avec un débit de 30 ml/mn.

Le GC-MS est équipé d'une colonne capillaire et est utilisé dans des conditions identiques à celles de la GC-FID. Le CPG est couplé à un spectromètre de masse (FINNIGAN TRACE MS). La fragmentation est effectuée par impact électronique (70 eV) et la gamme de masse est comprise entre 35 et 300 amu.

L'identification des composés a été faite en utilisant la bibliothèque spectrale (Wiley 275L) reliée à la GC-MS et par calcul des indices de rétention qui ensuite ont été comparés à ceux de la littérature (Adams, 2001 ; Joulain, 1998).

8.1.3. Insecte et Bio-essais

Les bio-essais ont été réalisés au laboratoire de phytopathologie de l'Université de la Laguna à Ténériffe aux Iles Canaries. Les effets toxiques, anti-répulsifs et antinutritionnels des extraits des plantes ont été testés sur des larves de *Chrysodeixis chalcites* (Lepidoptera, Noctuidae) suivant différentes applications : contact, inhalation et traitement sur plante entière et feuilles découpées en disques (Leaf-disk Bioassay) en milieu contrôlé. Seules les larves adultes d'un même âge ont

été utilisées pour les essais et ceci après avoir été affamées pendant une heure. Pour cela, l'élevage de masse a été effectué au laboratoire. Les tests ont été effectués sur des plantes de piments cultivés dans des pots au niveau du laboratoire. Des concentrations de 0,1 µl, 0,5 µl et 1 µl des huiles essentielles dissoutes dans une solution d'éthanol correspondant respectivement aux concentrations de 0,4 µl/ml, 2 µl/ml et 4 µl/ml ont été testées en comparaison avec celles du Neem et du témoin (C).

Pour les tests d'efficacité par contact, quatre larves ont été placées dans une boîte de pétri contenant l'aliment traité avec les différentes concentrations avec un total de 5 répétitions. (5 boîtes de pétri/concentration) (Photo 12). Le nombre de larves mortes a été compté durant tout le temps de leur exposition.

Pour les tests d'efficacité par inhalation, les larves ont été placées dans des bocaux en verre de 250 ml avec de l'aliment et une capsule ouverte contenant du coton où il a été déposé les huiles essentielles aux différentes doses (0,4 µl/ml, 2 µl/ml et 4 µl/ml d'air) (Photo 13). Le nombre de larves mortes est compté durant et après le traitement. Pour ces deux essais, le taux de mortalité a été calculé selon la formule d'Abbott (1) :

$Mc = (Mo - Mt) / (100 - Mt) * 100$ (Mo = mortalité dans les lots traités, Mt = mortalité dans le témoin et Mc = mortalité calculée).

Pour les tests répulsifs et antinutritionnels, deux expériences ont été réalisées. Pour la première, les feuilles de plante ont été découpées en disque d'un diamètre de 1 cm. Quatre disques de feuilles ont été fixés à équidistance sur un support en plastique dans une boîte de pétri. Ensuite, 2 µl de chacune des solutions préparées ont été répandus uniformément sur les disques avec choix (deux disques traités avec les extraits tandis que les deux autres de la même boîte ont reçu uniquement 0,5 ml d'éthanol comme témoins) et sans choix (quatre disques de la même boîte traités avec les extraits et comme témoins quatre disques de la même boîte traités avec l'éthanol). Après les traitements, quatre larves ont été enfermées dans chaque dispositif - avec cinq répétitions par dispositif (Photo 14). Pour la deuxième expérience les feuilles d'une plante entière ont été marquées et traitées avec les mêmes concentrations. Après 24 heures d'exposition, les disques et les feuilles des plantes ont été scannés et la surface consommée par les larves calculée à l'aide du logiciel ImageJ.



Photo 11 : Présentation des extraits

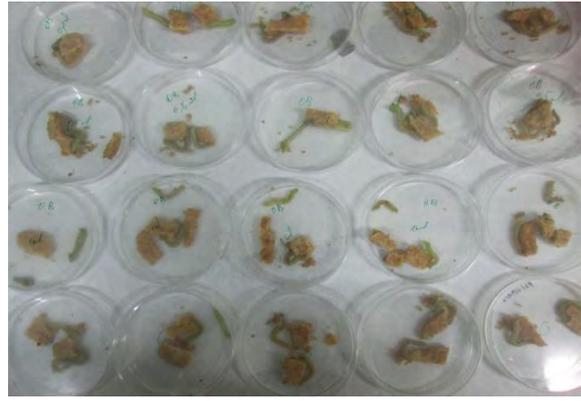


Photo 12 : Tests de toxicité sur larves

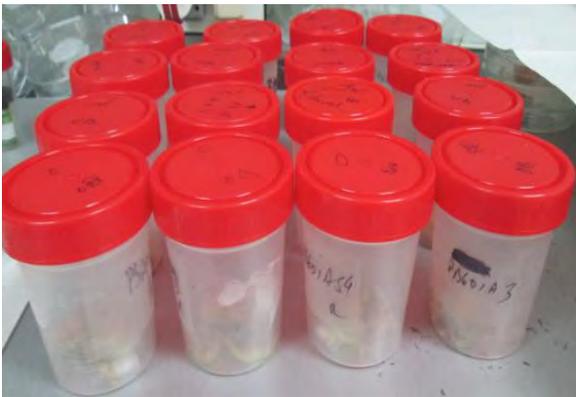


Photo 13 : tests d'efficacité par inhalation

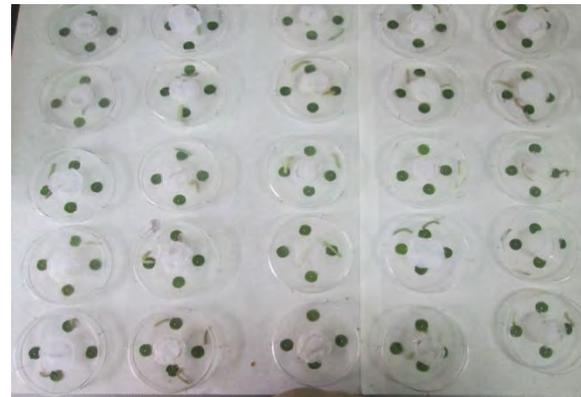


Photo 14 : Tests anti-répulsifs sur larves



Photos 15 et 16 : Tests anti nutritionnels sur plante entière

8.1.4. Analyse statistique

Les données ont été analysées par le logiciel IBM SPSS statistique Ver. 21. Le test de Mann-Whitney a été utilisé pour l'analyse des données non paramétriques. La différence est considérée statistiquement significative pour $p < 0,05$.

8.2. Résultats et discussion

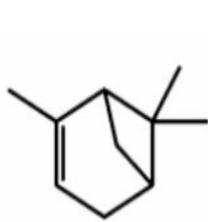
8.2.1. Caractéristiques chimiques des huiles essentielles des plantes utilisées

Le tableau XVI représente les constituants majoritaires des huiles essentielles des quatre plantes étudiées. Seuls les composés dont les concentrations sont supérieures à 1,5 % sont inscrits.

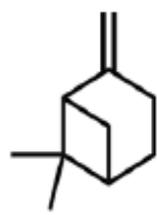
Tableau XVI: Composés majoritaires des huiles essentielles des plantes

	Tr (mn)	IK	Composés Identifiés	Pourcentage
<i>Callistemon viminalis</i>	8,86	931	α -pinène	2,49
	10,36	989	Myrcène	2,96
	11,42	1034	Limonène	9,72
	11,46	1036	1,8-cinéol	58,12
	14,81	1196	α -terpinéol	9,56
	16,13	1268	β -citral	6,02
	15,58	1238	δ -élémane	3,53
<i>Melaleuca leucadendron</i>	8,90	933	α -pinène	12,22
	10,01	975	β -pinène	3,85
	11,35	1025	Limonène	11,65
	14,78	1195	α -terpinéol	7,06
	21,57	1600	Epiglobulol	23,06
	21,69	1610	d-lédol	1,86
<i>Ocimum Basilicum</i>	12,84	1098	linalool	19,45
	12,59	1196	méthyl chavicol	38,78
	18,38	1397	méthyl-eugénol	9,98
	18,96	1433	α -bergamotène	8,48
	1556	germacrène B	3,19	
<i>Hyptis suaveolens</i>	8,86	933	Myrcène	2,09
	9,94	972	Sabinène	31,49
	10,02	976	β -pinène	5,14
	11,69	1046	E-ocimène	5,08
	12,51	1084	Terpinolène	5,60
	17,27	1332	δ -élémane	2,14
	18,79	1422	β -caryophyllène	20,28
	18,96	1433	α -bergamotène	3,51
	19,76	1482	germacrène D	3,11
	20,15	1506	β -bisabolène	5,46

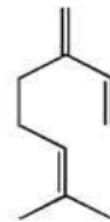
Tr : temps de rétention IK : Index de Kovat



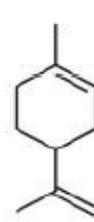
α -pinène



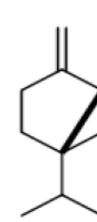
β -pinène



myrcène



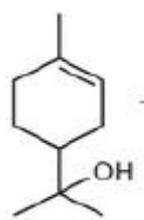
limonène



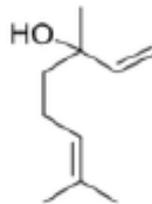
sabinène



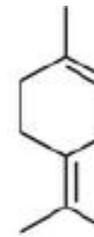
1,8-cinéol



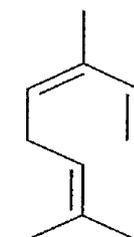
α -terpinéol



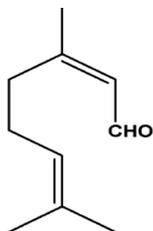
linalool



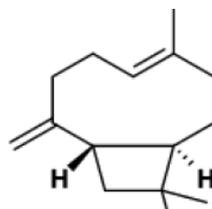
terpinolène



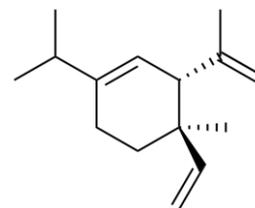
(E)-ocimène



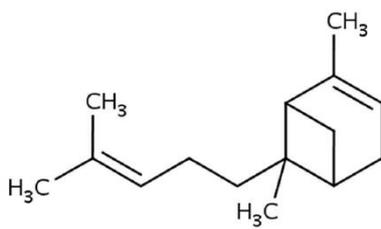
β -citral



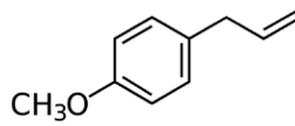
β -caryophyllène



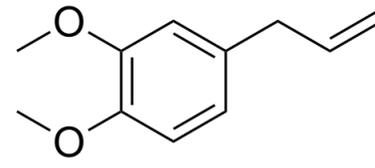
δ -élémente



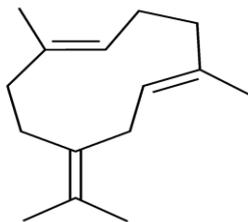
α -bergamotène



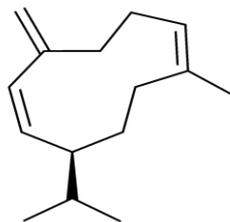
méthyl chavicol



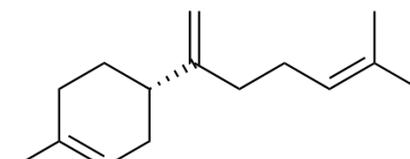
méthyl-eugénol



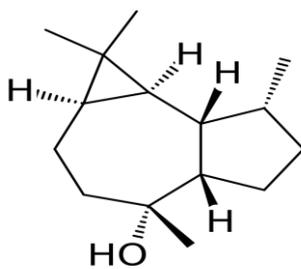
germacrène B



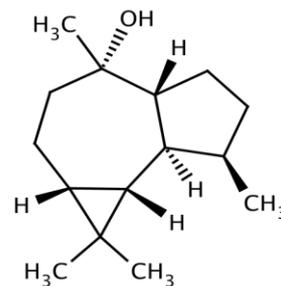
germacrène D



β -bisabolène



ledol



épiglobulol

Pour *C. viminalis* 34 composés représentant 99,23 % de l'huile essentielle ont été identifiés. Les composés majoritaires sont le 1,8-cinéol (58,12 %), le limonène (9,72 %), le α -terpinéol (9,56 %), et le β -citral (β -geranial) (6,02 %). Ce profil chimique de l'huile essentielle de *C. viminalis* collectée dans la région de Dakar (Sénégal) est comparable à celui de l'espèce étudiée au Cameroun et en Inde (Ndomo et al, 2009 ; Srivastava et al, 2003). Les composés majoritaires sont presque similaires. Cependant, l'espèce indienne a montré des teneurs en α -pinène élevées (24,2 % contre 0,38 % et 2,49 % pour celle du Cameroun et de Dakar, respectivement). En outre, nous n'avons pas détecté le 3-carène et le menthyl acétate présents respectivement dans les espèces camerounaise et indienne à des teneurs non négligeables (8,61 % et 5,3 %, respectivement).

Pour *M. leucadendron*, 44 composés représentant un total d'environ 99,22 % de l'huile essentielle ont été identifiés. Les composés majoritaires sont le 1,8-cinéol (28,87 %), l'épiglobulol (23,06 %), le α -pinène (12,22 %), le limonène (11,65 %), le α -terpinéol (7,06%), le β -pinène (3,85 %) et le d-lédol (1,86 %). La composition chimique de l'espèce de *M. leucadendron* et celle de l'espèce étudiée au Caire (Egypte) par Farag et al (2004) présentent une légère différence avec l'absence de l'épiglobulol dans cette dernière. Quantitativement, l'huile essentielle de l'espèce du Caire contient plus du 1,8-cinéol (64,3 % contre 28,87 %) et d' α -terpinéol (11,02 % contre 7,06 %). Inversement, l'huile essentielle de *M. leucadendron* de Dakar a montré des teneurs plus élevées en α -pinène, limonène et β -pinène (12,22 %, 11,65 % et 3,85 %, respectivement, contre 4,24 %, 6,70 % et 1,67 % pour celle d'Egypte).

Concernant *Ocimum basilicum*, les constituants dominants de son huile essentielle sont le méthyl chavicol (estragol) 38,78 %, le linalool (19,45 %), le méthyl-eugénol (9,98 %), le α -bergamotène (8,48 %) et le germacrène B (3,19 %). Ces résultats sont similaires à ceux des autres études effectuées sur le basilic Ouest africain. Kpodekon et al (2013) a trouvé les mêmes composés majoritaires pour *O. basilicum* collecté à Abomey Calavi au Bénin : l'estragol (31,33 %), le linalol (24 %) et l'eugénol 21,67 %. L'espèce du Burkina est aussi du même chémotype linalol (53,67 %) et estragol (18,08 %) (Nébié, 2002). Etant volatiles, nous rappelons que les teneurs des composantes chimiques de l'huile essentielle varient considérablement en fonction du degré de séchage du matériel végétal. Il a été révélé une forte augmentation du linalol par rapport à l'estragol pour l'huile essentielle du basilic (48,73 % à 80,66 % contre 27,46 % à 0,68 %) (Dabir et al, 2011 ; Nébié et al, 2002). Dans ses travaux de synthèse Rajesh (2014) a informé de plusieurs chémotypes à travers le monde. Le basilic européen est du chémotype linalool et méthyl chavicol et celui de la Réunion le méthyl chavicol. Un autre chémotype cultivé en

Afrique du Nord, Russie, Europe de l'Est et dans une bonne partie d'Asie à l'eugénol comme composé majoritaire.

Pour l'huile essentielle d'*H. suaveolens*, 36 composés représentant 98,61 % de l'essence ont été identifiés. Elle est essentiellement constituée de : sabinène (31,49 %), β -caryophyllène (20,28 %), terpinolène (5,60 %), β -bisabolène (5,46 %), β -pinène (5,14 %), E-ocimène (5,08 %), α -bergamotène (3,51 %), germacrène D (3,11 %). Le profil biochimique obtenu pour l'huile essentielle de *H. suaveolens* est différent de celui de l'espèce béninoise (Noudogbessi et al, 2013). En plus des composés majoritaires identifiés, cette dernière renferme d'autres à des teneurs importantes tels que le 1,8-cinéol (14,0 - 24,6 %), le β -phéllandrène (10,2 %) et la fenchone (4,1 - 8,1%). Par contre, l'extrait de *Hyptis suaveolens* étudiée au Burkina Faso par Djibo (2000) présente un profil chimique proche de celui obtenu dans la présente étude. Les composés dominants dans l'espèce étudiée au Burkina-Faso sont le sabinène, le β -caryophyllène, le terpinolène avec des teneurs moyennes de 36, 17 et 7,3 %, respectivement.

8.2.2. Propriétés insecticides des extraits des plantes

Les figures 22 représentent respectivement l'effet insecticide des huiles essentielles de *Callistemon*, *Melaleuca*, et *Hyptis* vis à vis des larves de *Chrysodeixis chalcites* par contact, comparé à celui de l'huile de neem (1).

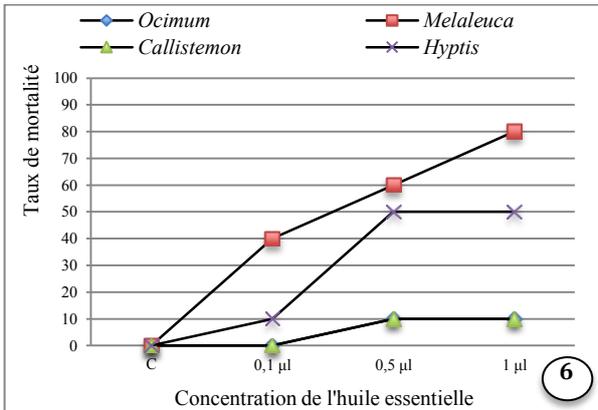
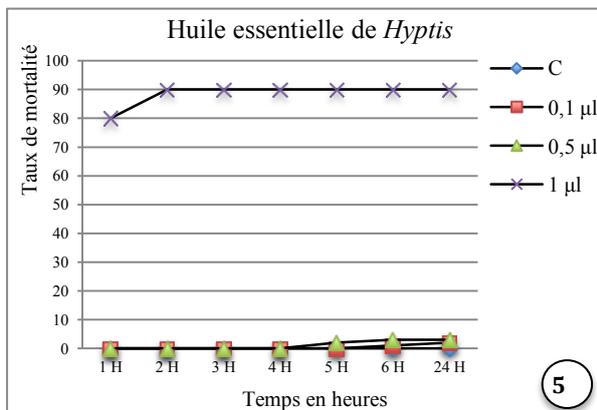
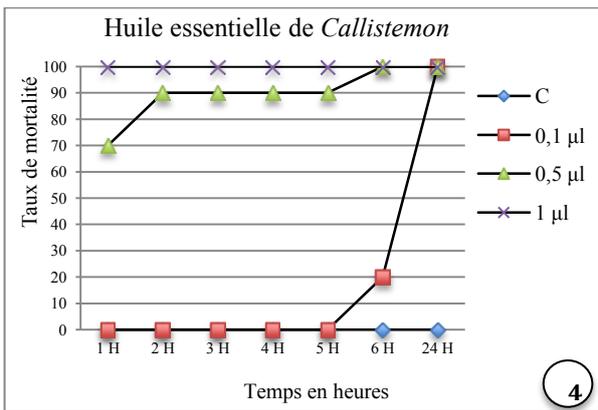
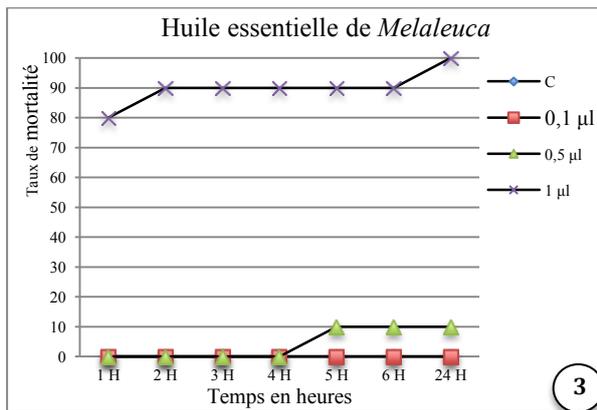
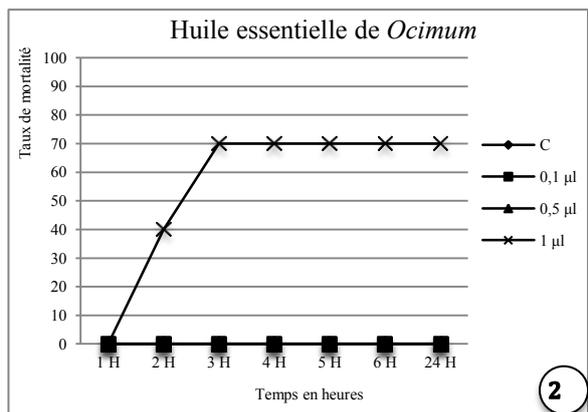
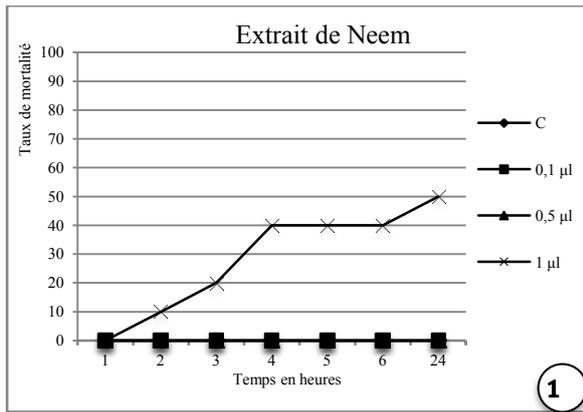


Figure 22 : Effets larvicides des extraits des plantes en fonction du temps et de la dose par contact.

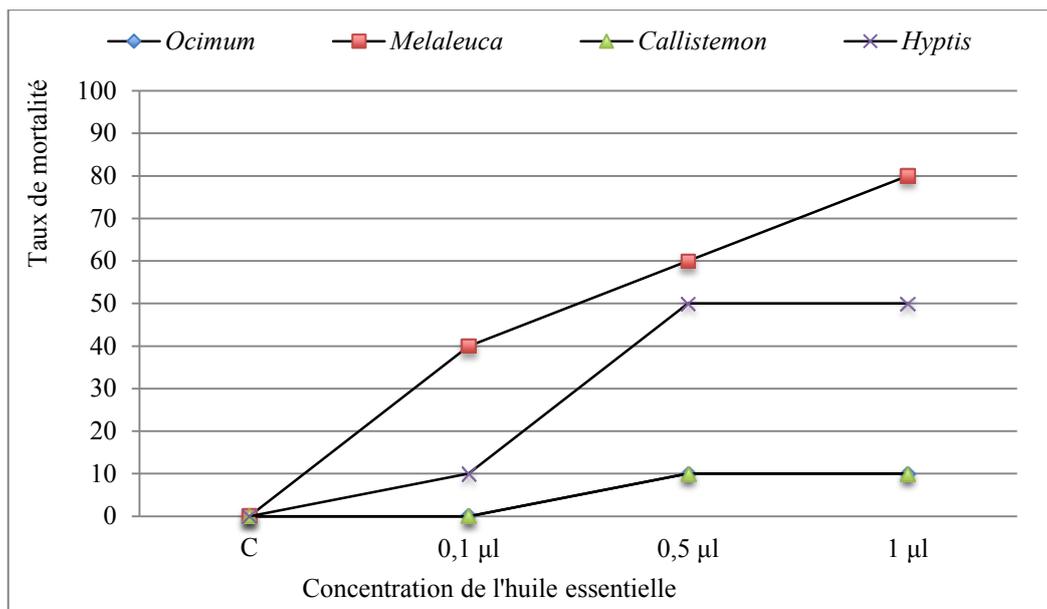


Figure 23 : Effets larvicides des extraits des plantes en fonction du temps et de la dose par inhalation pendant 24 heures.

Les résultats ont montré que toutes les huiles essentielles étudiées possèdent une toxicité supérieure à celle du Neem. A une concentration de 4µl, l'huile de neem n'a permis qu'une mortalité de 50 % des larves après 24 heures. Par contre, toutes les huiles essentielles ont entraîné au moins une mortalité de 90 % des larves avec la même concentration (1µl) après 24 heures d'application. Toutefois, l'huile essentielle de *Callistemon* est plus efficace par contact avec une mortalité de 100 % des larves à la concentration de 1µl après une heure d'application. La concentration de 0,5µl de cette même huile a révélé une mortalité de 90 % après 2 heures d'application et 100 % après 24 heures. Les huiles essentielles de *Melaleuca* et de *Hyptis* ont conduit à une mortalité de 90 % des larves avec la concentration de 1µl, après 2 heures d'application. Cependant, après 24 heures d'application, la concentration de 1µl, de l'huile essentielle de *Melaleuca* a permis la mortalité de toutes les larves (Mc = 100 %) et 10 % avec la concentration de 0,5µl. Seule l'huile essentielle de *Callistemon* a montré une activité larvicide avec la plus faible concentration (0,1µl). L'activité larvicide élevée pour *Callistemon* et *Melaleuca* peut s'expliquer par leurs teneurs importantes en composés tels le 1-8-cinéol pour *Callistemon* et l'épi-globulol pour *Melaleuca*. En effet, une forte activité biologique des huiles essentielles riches en composés porteurs de fonction alcool a été démontrée par plusieurs auteurs (Zoubiri et al, 2014 ; Liu et al, 2011 ; Seo et al, 2009). En outre, les deux plantes renferment également d'autres composés à des teneurs non négligeables tels que le α- et le β-pinène, le limonène, le α-terpinéol dont les propriétés insecticides ont été démontrées. L'activité larvicide

d'huiles essentielles présentant des composés similaires a été prouvée par plusieurs auteurs (Lee et al, 2001 ; Lee et al, 2000 ; Palacios et al, 2009 ; Lucia et al 2007 ; Amer et Mehlhorn 2006).

Tableau VIII : Surface de feuilles consommée sur leaf disk après 24 heures d'application des extraits des plantes

	Avec choix		Sans choix		Témoin
	Traité	Non Traité	Traité	Non Traité	EtOH
<i>Azadirachta</i>	4,37 ± 3,40	41,64 ± 24,82	3,76 ± 2,41	54,32 ± 8,91	50,38 ± 24,95
<i>Callistemon</i>	13,67 ± 6,66	15,96 ± 8,36	13,68 ± 9,58	20,59 ± 8,91	31,03 ± 9,07
<i>Melaleuca</i>	32,45 ± 16,51	38,80 ± 19,59	18,21 ± 12,66	30,35 ± 18,63	23,53 ± 11,64
<i>Hyptis</i>	6,45 ± 5,79	24,08 ± 10,73	4,80 ± 3,57	36,47 ± 13,80	27,45 ± 9,78

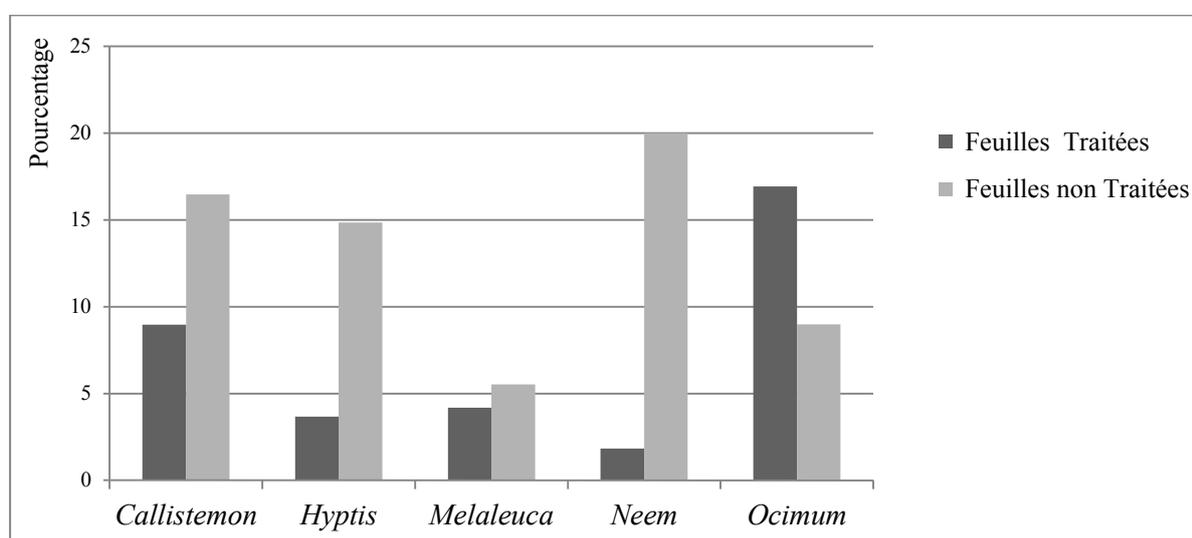


Figure 24 : Surface de feuilles consommée sur plante entière après 24 heures d'application des extraits des plantes

Les résultats présentés aux figures 23 et 24 ont montré que tous les extraits de plante ont une activité anti-nutritionnelle et répulsive contre les larves de *Chrysodeixis*. Le pourcentage de consommation des feuilles traitées sur Leaf-disk avec les extraits des quatre plantes (avec choix) est inférieur à celui observé pour les témoins. Comparée aux huiles essentielles, l'huile de neem a montré une plus grande activité anti nutritionnelle avec une différence significative entre le pourcentage de consommation des feuilles traitées avec l'huile de neem et les témoins (test de Mann-Whitney) : 4,36 % pour les feuilles traitées contre 41,64 % pour les témoins sur Leaf-disk avec choix 3,76 % contre 54,32 % sur leaf-disk sans choix et 1,82 % contre 19,99 % pour les tests sur plante entière). Pour les huiles essentielles, *Hyptis* semble montrer une plus forte activité anti-nutritionnelle et répulsive avec un pourcentage de consommation de 6,45 % pour les feuilles traitées contre 24,08 % pour les témoins sur Leaf-disk avec choix, 4,80 % contre 36,47

% sur leaf-disk sans choix et 4,80 % contre 14,65 % pour les tests sur plante entière. Bien que les huiles essentielles d'*Ocimum*, *Callistemon* et *Melaleuca* soient considérées répulsives selon Lachance, (2014), nos résultats ont révélé que cette propriété est faible. Il semblerait même que les huiles essentielles d'*Ocimum basilicum* possèdent des propriétés attractives vis-à-vis des larves de *Chrysodeixis*.

Cependant, la faible activité répulsive et anti-nutritionnelle observée pour les huiles essentielles pourrait s'expliquer d'une part par le mode de traitement utilisé pour les tests qui ne permettent pas une forte adhésion du produit sur les feuilles de la plante et d'autre part à la concentration utilisée. D'après les travaux de Lachance (2014), les huiles essentielles du basilic, de la citronnelle et de la menthe poivrée diluées dans de l'huile de tournesol a présenté une action répulsive avérée contre les mouches des cornes. Toutefois, pour surmonter cette limite sur le mode de traitement, nous précisons que dans les formules de biopesticides établies, les huiles essentielles sont diluées dans l'huile de neem. En outre, les huiles essentielles vont induire un effet toxique associé à l'activité antinutritionnelle et anti-répulsive du neem.

Conclusion

Au Sénégal comme dans les autres pays de la sous-région ouest africaine, l'utilisation des plantes insecticides contre les ravageurs des cultures ne repose sur aucune base scientifique. Cette étude constitue une contribution importante pour la connaissance du profil chimique des huiles essentielles des plantes étudiées (*Callistemon viminalis*, *Melaleuca leucadendron*, *Ocimum basilicum* et *Hyptis suaveolens*) ainsi que leur potentiel insecticide. La caractérisation chimique a montré que les huiles essentielles de *C. viminalis*, *M. leucadendron* et *O. basilicum* sont riches en composés oxygénés (oxydes monoterpéniques, alcools monoterpéniques et sesquiterpéniques). Celle de *Hyptis suaveolens* est essentiellement constituée de monoterpènes et de sesquiterpènes hydrocarbonés. Par contact, les huiles essentielles des quatre plantes ont montré une activité biologique remarquable sur des larves de *Chrysodeixis*. Par contre, le neem s'est montré comme une plante répulsive et anti-nutritionnelle. Sur la base de ces résultats, il semblerait que l'association des huiles essentielles avec l'huile de neem pourrait constituer une formule de biopesticide efficace contre les lépidoptères redoutables comme *Chrysodeixis chalcites*.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Au Sénégal, l'horticulture occupe une place importante pour la sécurité alimentaire et constitue une source de revenus pour les populations du fait de la forte valeur ajoutée et de la qualité nutritionnelle de ses produits. Elle est pratiquée essentiellement dans la zone des Niayes qui assure le ravitaillement quotidien des marchés intérieurs du pays en produits horticoles frais. Cette zone aux conditions climatiques et physico-chimiques très favorables aux activités horticoles a subi ces dernières années un processus de dégradation continu et avancé des ressources naturelles. Elle devient un écosystème fragile avec une faible fertilité des sols et une forte pression parasitaire.

Dans ce contexte, les maraîchers font recours aux intrants chimiques pour augmenter la production et satisfaire la demande toujours croissante des populations en produits agricoles frais. L'utilisation des engrais chimiques et des pesticides a montré ses avantages, notamment dans l'augmentation des rendements mais pouvant avoir des effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement. Leur utilisation exige le respect strict de la réglementation afférente pour la sécurité des denrées alimentaires produites et protéger l'environnement et la santé humaine et animale.

Les dispositions réglementaires pour une gestion rationnelle des intrants chimiques existent au Sénégal et dans la sous-région mais elles restent encore insuffisantes et leur application effective pose de sérieux problèmes. A travers cette étude, il apparaît clair que dans la zone des Niayes, la préoccupation majeure est portée sur l'amélioration des rendements. Il a été remarqué que les documents législatifs sont peu diffusés et mal connus par le public malgré les efforts de formation et de sensibilisation consentis via les projets et programmes entrepris par l'Etat et les acteurs au développement. Les enquêtes menées dans la zone ont montré une mauvaise utilisation des produits chimiques par les producteurs qui ignorent pour la plupart les bonnes pratiques agricoles. La plupart des producteurs sont conscients des risques liés aux engrais et pesticides mais ils n'ont pas encore les connaissances de base sur les pratiques et les méthodes d'application appropriées. Il a été constaté qu'ils se soucient peu des effets insidieux des intrants chimiques sur l'environnement et la santé des populations.

Avec ces mauvaises pratiques agricoles, les risques encourus de cette utilisation massive et incontrôlée sont énormes pour l'homme et l'environnement. Ils se traduisent par une contamination des produits agricoles et de la nappe phréatique par les résidus de pesticides. Les

teneurs en résidus de pesticides cibles (diméthoate, déltaméthrine, dicofol, méthamidophos et endosulfan) détectées dans les eaux de puits et dans les prélèvements de produits agricoles effectués au niveau des champs et des marchés de produits alimentaires restent très souvent supérieures aux LMR. Ces légumes destinés, en majorité à la consommation locale, restent dangereux pour le consommateur ainsi que pour les eaux de puits utilisées dans certaines localités comme eau de boisson et aussi à des fins de ménage. Le même risque a été observé également pour les engrais chimiques. L'utilisation massive des engrais chimiques combinée avec les apports importants de fumier pour la fertilisation des cultures s'est traduite par un excès d'azote et de phosphore au sein de l'exploitation. L'excédent de nutriments observé peut induire des nuisances sur l'environnement et la santé humaine. Le risque d'exposition aux nitrates et phosphates à travers les contaminations des produits agricoles et de la nappe phréatique est inquiétant. L'étude a montré des pertes d'azote et de phosphore importantes au niveau des exploitations agricoles avec des indices de gaspillage très élevés. Les apports d'éléments nutritifs pour la fertilisation sont largement supérieurs aux besoins des cultures.

Cette étude a mis en évidence les niveaux d'exposition des populations aux intrants chimiques utilisés dans la zone des Niayes à travers les contaminations des produits agricoles et de la nappe phréatique. Il constitue un outil de référence pour attirer l'attention des acteurs de l'horticulture, en l'occurrence les décideurs et les producteurs pour leur prise en compte dans les politiques et programmes agricoles afin d'adopter une agriculture productive dans un souci de protection des ressources naturelles de *santé publique*. En ce qui concerne la recherche, elle a un grand rôle à jouer pour contribuer à la problématique des intrants chimiques. Le développement d'innovations biologiques techniquement adaptées et performantes du point de vue agronomique pour l'intensification écologique des systèmes de production constitue un des défis majeurs de la recherche agricole. La dernière partie de notre étude rentre dans cette dynamique de recherche de méthodes alternatives aux engrais chimiques et pesticides à partir du compostage de la matière organique et de biopesticides à base d'extraits de plantes pour améliorer respectivement la fertilité des sols et la protection des cultures contre les ravageurs.

Le biofertilisant produit à base de matières organiques disponibles dans la zone (feuilles de neem et d'anacarde, fiente de volaille) et enrichi avec du phosphate naturel et de la cendre de bois a montré des caractéristiques physico-chimiques appréciables du point de vue agronomique. Il a montré des teneurs importantes en N, P et K avec rapport un carbone/azote favorable à sa minéralisation dans le sol. L'application du biofertilisant à la dose de 10 t/ha, 20 t/ha et 30 t/ha sur les cultures de l'oignon, la pomme de terre, le chou, la tomate et le poivron a révélé des

performances agronomiques meilleures par rapport aux témoins (doses de fumier de bovin et de l'engrais minéral recommandées par les services techniques de l'horticulture).

Pour ce qui est de la recherche de biopesticides comme alternative aux pesticides chimiques, des expérimentations sur l'efficacité biologique des extraits de plantes à effet insecticide ont été réalisées. Les résultats ont prouvé des propriétés biocides remarquables pour les extraits testés qui offrent des potentialités importantes pour la formulation de biopesticides. Les huiles essentielles de *Callistemon viminalis*, *Melaleuca leucadendron* et *Hyptis suaveolens* possèdent une forte activité insecticide sur des larves de *Chrysodeixis* aussi bien par contact que par inhalation. Par contre, le neem s'est montré comme une plante répulsive et anti-nutritionnelle. Il semblerait que l'association des huiles essentielles avec l'huile de neem pourrait constituer une formule de biopesticide efficace contre les ravageurs.

Bien qu'elle soit préliminaire, cette étude a prouvé que le biofertilisant obtenu à base de la biomasse du Neem et de l'anacarde associée à la fiente de volaille ainsi que les extraits des plantes étudiées pourraient constituer une alternative réelle à l'utilisation massive des intrants chimiques dans la zone agricole des Niayes.

Cependant, il serait nécessaire de compléter ce travail de thèse et diffuser les résultats obtenus auprès des utilisateurs pour mieux tirer profit des opportunités qu'offrent les technologies biologiques mises au point. Les travaux sont donc poursuivis dans le cadre du projet FNRAA **AgriBio** que nous coordonnons pour la validation et la diffusion des technologies en milieu paysan. En outre, il est envisagé en perspective (i) d'enrichir le biofertilisant produit en substances biocides à base de plantes pour lutter contre les nématodes qui sont parmi les ravageurs les plus redoutables dans la zone des Niayes, (ii) de mettre au point une formule de biopesticide pulvérisable en utilisant l'huile de neem, les huiles essentielles des plantes testées et l'extrait d'une plante savonneuse émulsifiante et enfin (iii) de mener des actions de pré-vulgarisation suivant une approche participative et un modèle démonstratif en milieu paysan. A termes, les résultats de ce travail contribueraient d'une part au développement d'une agriculture Bio dans la zone des Niayes et d'autre part à la réduction des intrants chimiques utilisés par les producteurs.

BIBLIOGRAPHIE

- Abbott WS. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18 (2) : 265–267.
- Abiola F.A., 2002. Synthèse de l'étude des questions relatives à la présence des résidus de pesticides dans les fruits et légumes au Burkina Faso, au Mali et au Sénégal. In : Rapport du Comité Sahélien des Pesticides. Projet FAO/CILSS Gestion des pesticides au Sahel : 51 p.
- ACDI., 2013. Aperçu sur le Sénégal. In <http://www.acdi-cida.gc.ca/senegal-f> (Page consultée le 14 décembre 2013).
- Achille, C. 2006. Eléments nutritifs pour les plantes [en ligne] Disponible sur ; «[http : www.capinov.fr/file/cahier-agronomie.html](http://www.capinov.fr/file/cahier-agronomie.html)»
- ACTA, 2012. Index phytosanitaire, Paris, 940p.
- Adama Guéye, 2009. Que savons nous de la qualité des produits alimentaires que nous consommons ? Étude de cas des systèmes d'exploitation horticole périurbaine des Niayes. Mémoire de DEA, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Faculté des sciences Économiques et de gestion option : Macroéconomie Appliquée, 58 pages.
- Agbohessi T. P., Toko I. I. & Kestemont P., 2012. État des lieux de la contamination des écosystèmes aquatiques par les pesticides organochlorés dans le Bassin cotonnier béninois, *Cah. Agric.*, Vol. 21 (1), 46-56.
- Aggelides S.M. and Londra P.A., 2000. Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. *Bioresource Technology*, 71, 253-259.
- Aguiar, L.A.A., Garneau, M., Lézine, A.M., & Maugis, P., 2010. Evolution de la nappe des sables quaternaires dans la région des Niayes du Sénégal (1958-1994) : relation avec le climat et les impacts anthropiques. *Secheresse*, 21, (2): 97-104.
- Akinbamijo, O.O., Fall, S.T., & Smith, O.B., 2002. *Advances in crop- livestock integration in west African cities*. Ed. CRDI, Ottawa, Canada, 213p.
- Aligon D., Bonneau J., Garcia J., Gomez D. et Le Goff., 2010. Projet d'estimation des risques sanitaires/Estimation des expositions de la population générale aux insecticides : Organochlorés, Organophosphorés et pyréthrinoïdes. Ecoles des Hautes Etudes en Santé Publique, IGS, PERSAN, 78 p.
- Amer, A. and H. Mehlhorn. 2006a. Larvicidal effects of various essential oils against *Aedes*, *Anopheles*, and *Culex* larvae (*Diptera: Culicidae*). *Parasitol. Res.* 99: 466-472.
- Anastassiades M., Lehotay SJ., Stainbaker D., Schenck F., 2004. Fast and easy multiresidue method employing acetonitrile extraction/partitioning and dispersive solid phase extraction for the determination of pesticide residues in produce, *J. AOAC Int.* (2003), (86) 412-431.
- Anastassiades M., Quechers, A., 2005. Mini-Multiresidue Method for the Analysis of Pesticide Residues in Low-Fat Products, 12 p. http://www.quechers.com/docs/quechers_en_oct2005.pdf.
- Andreani, J.-C. & Conchon, F., 2005. *Méthodes d'analyse et d'interprétation des études qualitatives : état de l'art en marketing*. Congrès international "Tendances du marketing. Institut INSEMMA, Paris, France.
- ANSD, 2002. Le Sénégal, Données Démographiques et Sociales. Ed. ANSD, Dakar.
- Anses, 2011. Origines et risques sanitaires liés à la présence d'anthraquinone dans les eaux destinées à la consommation humaine. Rapport d'expertise, Maisons-Alfort, 45p.
- Arendse W., Braber K., Halder I., Hoogerbrugge I., Codazzi E., Kramer M., Valk H., 1989. Pesticides : composition, utilisation et risques", Ed. Agromisa Wageningen.

- Assirniou A., Rahim A., 1997. Effets de la fertilisation phosphatée et du chaulage sur les propriétés chimiques des sols acides sous monoculture de la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.). Thèse de doctorat, Université Laval, 187 pages.
- Badiane M., 2004 Utilisation des pesticides dans le système maraîcher périurbain : variations annuelles et impacts sur la santé des populations. Thèse de doctorat méd. Vét. EISMV.
- Bado BV., 2002. Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéennes et soudaniennes du Burkina Faso. Thèse de Ph.D Département des sols et Environnement, Université Laval, 145 p.
- Barbier V., 2011. Nitrates et nitrites dans l'eau destinée à la consommation humaine. ORE, Observatoire Régional de l'Environnement, Poitou-Charentes. 18 pages. <http://www.observatoire-environnement.org>
- Barriuso E., 2004. Estimation des risques environnementaux des pesticides, INRA, 204 p.
- Baudron, F., Tittonell, P., Corbeels, M., Letourmy, P., & Giller, K.E., 2012. Comparative performance of conservation agriculture and current smallholder farming practices in semi-arid Zimbabwe. *Field Crops Research*, (132): 117-128.
- Beard, J., (2006). DDT and human health. *Science of the total environment* 355: 78-89.
- Bellahammou S., 2012. L'effet des amendements organiques sur la structure des communautés de nématodes sur culture de tomate dans la région de Touggourt en Algérie. Mémoire de master, en sciences de la nature et la vie spécialité : phytopharmacie appliquée, Université Saad Dahleb de Blida Algérie.
- Benjamin N., 2013. Diminuer la dépendance aux engrais de synthèse par le recyclage local des éléments minéraux : analyse des stratégies d'approvisionnement en éléments minéraux des exploitations agricoles biologiques. Sciences agricoles. Université Sciences et Technologies - Bordeaux I, Français.
- Berdai H, Soudi B Bellouti A. 2004. Contribution à l'étude de la pollution nitrique des eaux souterraines en zones irriguées : Cas du Tadla. *H.T.E*, 128: 65-87.
- Berhaut, J., 1979. Flore illustrée du Sénégal. Dicotyledones. Gouvernement du Sénégal- Ministère du développement Rural et de l'Hydraulique, Direction des Eaux et Forêts, Dakar.
- Bockstaller C, Vertès F, Aarts F, Fiorelli JL, Peyraud JL, Rochette P. 2012. Outils d'évaluation et de régulation des flux d'azote liés aux élevages. In *Les flux d'azote liés aux élevages, réduire les pertes, rétablir les équilibres*, Inra (ed). Rapport expertise collective: Paris; 335-412.
- Boland J., Koomen I., Lidth de Jeude J., Oudejans J., 2004. Les pesticides : Composition, utilisation et risques, Fondation agromisa, Wageningen, Pays Bas, 124 pages.
- Boye O, 2002. Réglementation des pesticides dangereux au Sénégal, 41 p.
- Boye O., 2001. Gestion des Pesticides au Sénégal" Bureau de la législation et du contrôle des pesticides", DPV, Dakar, Sénégal.
- Buffat JJ., Bonsignour JP., Ricordel I., Diraison Y., 1989. Toxicité des " gaz " de combat. In : JEPU, éd. La réanimation respiratoire préhospitalière. Paris : Arnette, p. 67. <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPP>.
- Calvet R., Barriuso E., Bedos C., Benoit P., Charnay M.P., Coquet Y., 2005. Les pesticides dans le sol : Conséquences agronomiques et environnementales. Editions France Agricole, 637 p.
- Centner TJ. 2003. Regulating concentrated animal feeding operations to enhance the environment. *Environ. Sci. Policy*, 6: 433-440.
- Chabalier PF, Kerchove V, Macary HS. 2006. Guide de la fertilisation organique à la réunion. CIRAD, Chambre d'Agriculture de La Réunion. <http://www.cirad.fr/reunion>.
- Chambaut H, Bras A, Laurent F, Quentric O, Vertès F, Le Gall A. 2006. Maîtrise des flux d'azote et de phosphore à l'échelle de l'exploitation et incidence sur la qualité de l'eau à l'échelle du bassin versant dans les régions d'élevage intensif de l'Ouest de la France. In

- Qualité de l'eau dans les bassins versants : savoirs et pratiques dans les bassins versants, INRA (ed) : Rennes ; 91-121.
- Chambaut H, Le Gall A, Pflimlin A, Ménard JL. 2003. Maîtrise des pollutions azotées en élevage bovin. *Rech. Rech. Ruminants*, 10: 403-410.
- Charland M, Cantin S, St Pierre M-A, Côté L., 2001. Recherche sur les avantages à utiliser le compost. Dossier CRIQ 640- PE27158 (R1), Rapport final. Recyc- Quebec, 35 p.
- Chiasson H. et Beloin N., 2007. Les huiles essentielles, des biopesticides « nouveau genre ». *Bulletin de la Société d'entomologie du Québec*, 14 (1) : 3 – 6.
- CIRAD & CRDI., 2004. Développement durable de l'agriculture urbaine en Afrique francophone. Enjeux, concepts et méthodes. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD)/Centre de recherches pour le développement international (CRDI), 173p.
- Cissé I., Badiane M., Ngom S., Diop Y. MB., Séné M., 2008. Usage des pesticides et risques sanitaires sur la production horticole de la zone des Niayes au Sénégal. *Rev. Sen. Rech. Agri. Agroalim*, 03, 19-26.
- Cissé I., Fall S. T., Akinbamijo O.O., Diop Y. MB., Adediran S. A., 2002. L'utilisation des pesticides et leurs incidences sur la contamination des nappes phréatiques dans la zone des Niayes. In *Advances in crop-livestock integration in west African cities*. Ed. CRDI, Ottawa, 85-100.
- Cissé, I., Fall, A.S., & Fall, S.T., 2001. Caractéristiques de la zone des Niayes. In S. T. Fall et A. S. Fall, *Cités horticoles en sursis ? L'agriculture urbaine dans les grandes Niayes au Sénégal*. Centre de Recherches pour le Développement International, Dakar, 6-15.
- Cissé, I., Tandia, A.A., Fall, S.T., & Diop, E.S., 2003. Usage incontrôlé des pesticides en agriculture périurbaine : cas de la zone des Niayes au Sénégal. *Cahiers Agricultures*, (12), (3): 181-186.
- Codazzi E, 1989. Pesticides : composition, utilisation et risque, Agromisa 1ère édition en français, 153 p
- Coly O., 2000. Analyse par chromatographie en phase liquide (CPL) et sur couches minces (CCM) des résidus de pesticides dans les cultures maraîchères de la zone des Niayes du Sénégal. Mémoire de DEA, UCAD, Dakar.
- Corpen. 2003. Estimation des rejets d'azote - phosphore - potassium - cuivre et zinc des porcs. Influence de la conduite alimentaire et du mode de logement des animaux sur la nature et la gestion des déjections produites. Collection CORPEN : Paris.
- Corpen. 2006. Estimation des rejets d'azote, phosphore, potassium, calcium, cuivre et zinc par les élevages avicoles. Collection CORPEN : Paris.
- Coulibaly K., 2012. Analyse des facteurs de variabilité des performances agronomiques et économiques des cultures et de l'évolution de la fertilité des sols dans les systèmes agropastoraux en milieu soudanien du Burkina Faso : approche expérimentale chez et par les paysans. Thèse de doctorat, Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, 145 p.
- Couteux, A. ; Lejeune, V. 2008. Index phytosanitaire acta 2008, 44e éd.; MAME, 2008.
- CRAAQ, 2005. Guide de référence en fertilisation, 15 pages. http://pub.craaq.qc.ca/abon/Contenu_global.pdf.
- Davis, A. & Wagner, J.R., 2003. Who knows? On the importance of identifying "experts" when researching local ecological knowledge. *Human Ecology*, 31, (3) 463-489.
- De Lucia, B., Cristiano, G., Vecchiatti, L., & Bruno, L., 2013. Effect of different rates of composted organic amendment on urban soil properties, growth and nutrient status of three Mediterranean native hedge species. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12, (4): 537-545.
- Deguine J. et Ferron P., 2006, Protection des cultures, préservation de la biodiversité, respect de l'environnement. *Cahiers d'études et de recherches francophones/Agricultures*, 15, 307-311.

- Desneux, N., Decourtye, A., & Delpuech, J.M., 2007. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review of Entomology*, 52, 81-106.
- Devisscher, 1997. Propriétés et valorisation du compost. mém. D.E.S.S., univ. Picardie, 60 p.
- Diao M. B. 2004. Situation et contraintes des systèmes urbains et périurbains de production horticole et animale dans la région de Dakar. *Cah. Agric.*, Vol. 13 (1) : 39-49.
- Diatta F, 1997. Les pesticides à usage agricole : homologation, utilisation, réglementation cas d'usage intensif, problèmes liés à leur l'usage et précaution d'emploi, mesures d'accompagnement et développement de méthodes alternatives, 26 p.
- Dieng A.Y.D. (2010). Contribution à la gestion agro écologique des ravageurs à Malika (Dakar). Impact de l'environnement sur les interrelations entre *Plutella xylostella*, le ravageur du chou et ses parasitoïdes. Mémoire de Diplôme de master 2 en Biologie Animale, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 39p.
- Diop K, 2005. Analyse par les méthodes chromatographiques et spectrophotométriques de résidus de pesticides dans des légumes, des fruits et des conserves d'ananas importés au Sénégal, Mémoire de DEA de Biologie Végétale, Faculté des Sciences et Techniques-UCAD, Dakar, 95 p.
- Diouf H.R., Badji S., 2007. Pesticides et pauvreté, document d'information sur la gestion des pesticides au Sénégal, première version, 52 p.
- Djibo, A.K., 2000. Analysis of some plant species from Burkina Faso belonging to Lamiaceae families (*Hyptis spicigera* Lam., *Hyptis suaveolens* L., *Ocimum americanum* (L.)) and Poaceae (*Cymbopogon schoenanthus* Spreng., *Cymbopogon giganteus* Chiov. and *Cymbopogon citratus* (DC)). Ph.D Thesis. University of Ouagadougou, Burkina Faso.
- Eldridge B. F., 2008. Pesticides application and safety training for applicators of public health pesticides. Training manual, California Department of Public Health, Vector-Borne Disease Section, 122 p.
- Espagnol S, Ilari E. 2005. Un outil d'évaluation du rapport entre rejets azote-phosphore et disponibilité de terres épandables pour les exploitations porcines françaises. *Acte Journées Recherche Porcine*, 37, 317-324.
- Espagnol S., Hassouna M., Robin P., Lvasseur P., Paillat J-M., 2006. Emissions gazeuses de NH₃, N₂O, CH₄ lors du stockage de fumier de porc provenant d'une litière accumulée : effets du retournement. 2006. Actes Journées Recherche Porcine, 38, 41- 48.
- Fall F, Cissé I, Thiam MT, Touré E, 2003. Enjeux environnementaux des espaces agricoles et naturels urbains et périurbains. Rapport annual, ISRA, Dakar.
- Fall, S.T. & Fall, A.S., 2001b. Cités horticoles en sursis? L'agriculture urbaine dans les grandes Niayes au Sénégal. Page 119. ISRA/ITC.
- Fall, S.T., Cissé, I., Akinbamijo, O.O., & Adediran, S.A., 2002. Impact de l'intégration entre l'horticulture et l'élevage sur la productivité des systèmes périurbains dans l'espace sénégalais. In O. O. Akinbamijo, S. T. Fall, et O. B. Smith, *Advances in crop-livestock integration in west African cities*, Ed. CRDI, Ottawa, Canada.
- Fall, S.T., Fall, A.S., Cissé, I., Badiane, A.N., Fall, C.A., & Diao, M.B., 2000. Intégration horticulture élevage dans les systèmes agricoles urbains de la zone des Niayes (Sénégal). *Bulletin de l'APAD*, 19. <http://apad.revues.org/444>.
- FAO : 1999. L'agriculture organique. Comité de l'agriculture. <http://www.fao.org/unfao/bodies/coag/Coag15/X0075f.htm>
- FAO, 1990. Code international de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides, version amendée, Rome, 39 p.
- FAO, 1993. Atelier sous-régional pour la mise en valeur du code international de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides en Afrique, Brazzaville, Congo, 40 p.
- FAO, 2008. « Soaring Food Prices: Facts, Perspectives, Impacts and Actions Required » document de référence préparé pour la Conférence à haut niveau sur la Sécurité alimentaire : les défis du changement climatique et de la bioénergie, Rome, 3-5 juin

- 2008, consulté en ligne à : www.fao.org/foodclimate/conference/en/, le 15 septembre 2013.
- FAO, 2010. Programme sous-régional de Formation Participative en Gestion intégrée de la Production et des Déprédateurs des cultures à travers les Champs-Ecoles des Producteurs (GIPD/CEP) – pour Bénin, Burkina Faso, Mali et Sénégal (GCP/RAF/009/NET). Mission d'évaluation (avril-août 2010). Rapport final. Rome, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, 37-49.
- FAO, 2015. Vue d'ensemble régionale de l'insécurité alimentaire en Afrique : Des perspectives plus favorables que jamais. Accra, FAO.
- FAO, FIDA et PAM. 2015. L'état de l'insécurité alimentaire dans le monde 2015. Objectifs internationaux 2015 de réduction de la faim : des progrès inégaux, Rome, FAO, 66 pages.
- FAO, IFA et IMPHOS, 2003. Les engrais et leurs applications. Quatrième édition, FAO/OMS Résidus de Pesticides dans les denrées alimentaires (LMRs/LMREs). http://www.codexalimentarius.net/mrls/pestdes/jsp/pest_q-f.jsp.
- FAO/OMS, 2005. La sécurité sanitaire des aliments pour l'Afrique. Conférence régionale FAO/OMS à Harare, Zimbabwe, 3-6 octobre 2005.
- Farag R.S., Shalaby A.S., El-Baroty G.A., Ibrahim N.A., Ali M.A. et Hassan E.M. 2004. Chemical and Biological Evaluation of the Essential oils of Different *Melaleuca* Species. *Phytother. Res.* 18, 30-35.
- Fournier J., 1988. Chimie des Pesticides Ed. Des Trois Moutiers, France.
- Francou C., 2003. Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains : Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage-Recherche d'indicateurs pertinents. Thèse de doctorat Institut National Agronomique Paris-Grignon-Ecole Doctorale ABIÉS, 290 p.
- FREDON (La Fédération Régionale de Défense contre les Organismes Nuisibles), 2012. Formation technique sur les bonnes pratiques phytosanitaires. FREDON, Poitou-Charentes, 37 p.
- Freishtat R.J., Chamberlain J.M., Johns C.M.S., Teach S.J., Ronzio C., Murphy-Smith M.M., 2005. A cross-sectional ED survey of infantile subclinical methemoglobinemia. *Am. J. Emerg. Med.*, 23: 574 -576.
- Fuchs J. G., Bieri M., Chardonnens M., 2004. Influences des composts et des digestats sur l'environnement, la fertilité des sols et la santé des plantes. Survol de la bibliographie actuelle. FiBL Report, Frick, Schweiz. <http://www.biophyt.ch/documents/fuchs-et-al-2004-compost-francais-bref.pdf>.
- Fukumoto Y., Takashi O., Dai H., Kiyonori H., 2003. Patterns and quantities of NH₃, N₂O and CH₄ emissions during swine manure composting without forced aeration – effects of compost pile scale. *Bioresource Technology*, 89, 109-114.
- Gagnon B., Simard R.R., 1999 - Nitrogen and phosphorus release from on-farm and industrial composts. *Can. J. Soil Sci.*, 79 : 481-489.
- Galloway, J.N., Aber, J.D., Erisman, J.W., Seitzinger, S.P., Howarth, R.W., Cowling, E.B., Cosby, B.J., 2003. The nitrogen cascade. *BioScience*, 53 (4), 341–356.
- Galloway, J.N., Townsend, A.R., Erisman, J.W., Bekunda, M., Cai, Z., Freney, J.R., Martinelli, L.A., Seitzinger, S.P., Sutton, M.A., 2008. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. *Science* 320, 889-892.
- Gardner J B., et Drinkwater L E., 2009. The fate of nitrogen in grain cropping systems: a meta-analysis of 15N field experiments. *Ecol. Appl.* 19, 2167–84.
- Grazia N., Fabien F., Yoanna D.L., et Virginia G.B., 2013. « Étude comparative de substances bioactives pour la protection des biens patrimoniaux contre les insectes ravageurs ». De l'art et de la nature .Consulté le 09 décembre 2015. URL : <http://ceroart.revues.org/3361>.

- Grover P., Danadevi K., Mahboob M., Rozati1 R., Saleha Banu B. and Rahman M.F., 2002. Evaluation of genetic damage in workers employed in pesticide production utilizing the Comet assay. *Mutagenesis*, 8 (2) 201–205.
- Guay, J.-H., 2013. *Population urbaine (% de la population totale), Sénégal*. In *Perspective Monde*, Université de Sherbrooke.
- Guèye, A M., 2009. Que savon nous de la qualité des produits alimentaires que nous consommons ? Étude de cas des systèmes d'exploitation horticole périurbaine des Niayes. Mémoire de DEA, UCAD, Faculté des Sciences Economiques et de Gestion (FASEG), 58 pages.
- Guèye M.T., Seck D., Wathelet J-P. & Lognay G., 2011. Lutte contre les ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses au Sénégal et en Afrique occidentale : synthèse bibliographique. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ* .15 (1): 183-194.
- Guy B., 2016. « Parasitoïdes et lutte biologique : paradigme ou panacée ? », *Vertigo*, 2 (2). consulté le 18 janvier 2016. URL: <http://vertigo.revues.org/4096>; DOI: 10.4000/vertigo.4096
- Helrich, K. C., 1990. Official methods of Analysis of the AOAC. Volume 2, Ed. 15. Association of Official Analytical Chemists Inc.
- Higa, T. 1994. Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environnement. International Nature Farming Research Center, *Atami, Japan*. <http://www.agriton.nl/higa.html>.
- Hua, W., Bennett, E., Maio, X., Metcalfe, C., & Letcher, R. (2006). Seasonality effects on pharmaceuticals and S-triazine herbicides in wastewater effluent and surface water from the Canadian side of the upper Detroit River. *Environ Toxicol Chem*, 25, 2356–2365.
- Huber G. et Schaub C., 2011. La fertilité des sols : L'importance de la matière organique, Chambre d'agriculture Bas Rhin, 38 p.
- Huntington, H.P., 2000. Using Traditional Ecological Knowledge in Science: Methods and Applications. *Ecological Applications*, (10), (5): 1270-1274.
- Hussain, T., Javid, T., Parr JF., Jilani G., Haq, MA., 2009. La production de riz et de blé au Pakistan avec les Microorganismes Efficaces. *American Journal of Alternative Agriculture*. <http://dx.doi.org/10.1017/S0889189300007980>.
- IAGU., 2011. *Villes ciblées – Décharge de Mbeubeuss : Analyse des impacts et amélioration des conditions de vie et de l'environnement à Diamalaye (Malika), Dakar. Rapport technique final*. Dakar, 75 p. http://www.iagu.org/PURE/PDF/rap_final_pure.pdf
- Ifen, 2002. Les pesticides dans les eaux, Bilan annuel 2002, Ifen, Orléans, 25 p.
- INRA, 2006. Connaissances de l'utilisation des pesticides. Pesticides, agriculture et environnement. Rapport d'expertise scientifique collective. INRA, 61 p.
- INRA, 2013. <http://agronomie.info/fr/complexe-argilo-humique-cah/>
- InVS (l'Institut de Veille Sanitaire), 2011. Pesticides pyréthrinoïdes. <http://www.invs.sante.fr/Dossiers-thematiques/Environnement-etsante/Biosurveillance/Index-de-A-a-Z/P/Pesticides-pyrethrinoides>
- ISE, 1996. Réglementation des pesticides au Sahel, Institut des Sciences de l'Environnement, UCAD, Faculté des Sciences et Techniques, Ed. ISE, Dakar, 3-4.
- ISRA, 2005. Bilan de la recherche agricole et agroalimentaire au Sénégal. ISRA, ITA, CIRAD, 73-91.
- ISRA, Situation géographique des Niayes, ISRA (1995). <http://www.isra.sn>.
- ISRA/CDH., 1986. Les cultures maraîchères au Sénégal. Bilan des activités du CDH de 1972 à 1985. Dakar, Institut Sénégalais de Recherches Agricoles/Centre pour le développement de l'horticulture, 256 p.
- Jardim A.N.O., Mello D. C., Goes F. C. S., Junior E. F. F., Caldas ED., 2014. Pesticide residues in cashew apple, guava, kaki and peach: GC–IECD, GC–FPD and LC–MS/MS multi-

- residue method validation, analysis and cumulative acute risk assessment. *Food Chemistry*, 164, 195–204.
- JONIS M(ITAB), 2008. Intrants destinés aux productions végétales biologiques .Quelles exigences réglementaires, 2-12.
- Juc L., 2007. Etude des risques liés à l'utilisation des pesticides organochlorés et impact sur l'environnement et la santé humaine, Sciences de la Terre. Université Claude Bernard - Lyon I, 2007. France.
- Kane, I., Ndiaye, I.D., & AKPO, L.E., 2014. Impact de *Typha australis* (Schum. et Thon.) sur la diversité entomologique dans la zone des Niayes (Sénégal). *Science Lib Editions Mersenne*, 6: N ° 140410.
- Kawther L., 2002. La fertilisation : engrais et production agricole. Atelier sur la gestion de la fertilisation potassique, acquis et perspectives de la recherche, Tunis. <http://www.ipipotash.org/udocs/la%20fertilisation%20engrais%20et%20production%20agricole.pdf>. Consulté le 08 août 2016.
- Kechalu, O.B. and Wonang LD., 2004. Effects of three types of Animal Manures on the susceptibility of Tomato Vas UC B 82 B B to infection by the Root-knot Nematodes; *Meloidogyne incognita*. *Nig. J. Arts Sci. Technol.*, 2: 60-65.
- Keita A.D., 2000. Analyses des huiles essentielles de quelques plantes du Burkina Faso appartenant à la famille des Lamiaceae (*Hyptis spicigera* Lam., *Hyptis suaveolens* Poit., *Ocimum americanum* L.) et des Poaceae (*Cymbopogon schoenanthus* (L) Spreng, *Cymbogon giganteus* Chiov et *Cymbopogon Citratus* (DC) Stapf.). Thèse doctorat, Université de Ouagadougou.
- Kerharo J. et Adam J.-G., 1974. Plantes médicinales et toxiques. Pharmacopée sénégalaise traditionnelle. Edition Vigot Frères, Paris.
- Kirsten S. Traynor, Jeffery S. Pettis, David R. Tarpy, Christopher A. Mullin, James L. Frazier, Maryann Frazier & Dennis vanEngelsdorp., 2016. In-hive Pesticide Exposome: Assessing risks to migratory honey bees from in-hive pesticide contamination in the Eastern United States. *Scientific Reports*, 6, 1-16.
- Korboulewsky N., Masson G., Bonin G., Massiani C. et Prone A., 2001. Effets d'un apport de compost de boues de station d'épuration dans un sol d'un vignoble du Sud de la France. *Etude et Gestion des Sols*, 8, (3), 203 - 210.
- Koschier H E., 2006. Plant allelochemicals in thrips Control strategies. Naturally Occurring Bioactive Compounds. Rai and Carpinella (eds.), Elsevier. B.V., 221 - 239.
- Koul O, Walia S., and Dhaliwal G. S., 2008. Essential Oils as Green Pesticides: Potential and Constraints, 4, (1), 63-84.
- Krieger, R.I., (2001). Handbook of pesticide toxicology; 2nd edition. Academic Press. p.727-871.
- Kroll R, 1994. Les cultures maraîchères, édition Maisonneuve et Larose, ACCT, 219 p.
- Kuiseu J., Thiam A., 2003. Une monographie de l'endosulfan, pesticides utilisés dans la culture du coton en Afrique au sud du Sahara, 20 p.
- Lachambre M. et Fisson C., 2007. La contamination chimique : Quel risque en estuaire de Seine. (Fiche substances pesticides organochlorés : DDT, DDD ; DDE, Drine, endosulfan, HCB et HCH). Rapport programme Seine – Aval, 23 p.
- Lachance S., Grange G., 2014. Repellent effectiveness of seven plant essential oils, sunflower oil and natural insecticides against horn flies on pastured dairy cows and heifers. *Medical and Veterinary Entomology*, 28, (2) : 193–200.
- Laroche O., 2011. Revégétalisation des sites miniers et valorisation de boues de stations d'épuration : cas de la nouvelle Calédonie. Essai présenté au centre universitaire de formation en environnement. Université de Sherbrooke, 128p.

- Layzell, D. B., 1990. N₂ fixation, NO₃⁻ reduction and NH₄ assimilation. In: Plant physiology, biochemistry and molecular biology. D. T. Denis and D. H. Turpin (Eds), Longman Scientific & Technical, Singapore, 389-413.
- Lebrun J.P., Stork A.L., 1991. Énumération des plantes à fleurs d'Afrique tropicale : généralité et Annonaceae à Pandaceae, Genève, 62-132.
- Lee B. H., Won S. C., Lee S.E., Park B. S., 2001. Fumigant toxicity of essential oils and their constituent compounds towards the rice weevil, *Sitophilus oryzae* (L.) Crop Protection, 20: 317-320.
- Lee, S. E., Choi, W. S., Lee, H. S., Park, B. S., 2000. Cross-resistance of a chlorpyrifos-methyl of *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera: Cucujidae) to fumigant toxicity of essential oil extracted from Eucalyptus globulus and its major monoterpene, 1,8-cineol. J. Stored Prod. Res. 383-389.
- Levasseur P, Charles M, Le Bris B, Boulestreau AL, Landrain P, Athanase N. 2007. Comparaison de méthodes d'estimation des rejets d'azote, de phosphore et de potassium en élevage de porc. Acte Journées Recherche Porcine, 39 : 1-6.
- Lienard V., Seck D., Lognay V. (1993). Biological activity of Cassia occidentalis L. against *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). J. Stored Prod. Res. 29 (4), p. 311-318.
- Liu Z.L., Yu M., Li X.M., Wan T. and Chu S.S., 2011. Repellent Activity of Eight Essential Oils of Chinese Medicinal Herbs to *Blattella germanica* L.
- Lucia, A., G.A. Audino, E. Seccacini, S. Licastro, E. Zerba, and H. Masuh. 2007. Larvicidal effect of *Eucalyptus grandis* essential oil and turpentine and their major components on *Aedes aegypti* larvae. J. Am. Mosq. Contr. Assoc. 3: 299-303.
- Majeau J-A., et Desforges J., 2013. les cendres de poêles à bois. vecteur environnement, article technique 49p. <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/matieres/articles/cendre-poele-bois-201305.pdf>
- Mandre M., 2006. Influence of wood ash on soil chemical composition and biochemical parameters of young Scots pine. Proc. Estonian Acad. Sci. Biol. Ecol., 55, (2), 91-107.
- Mane 2011. Influence de l'association chou-moutarde de chine sur les relations tri trophiques plantes-hôtes/ravageurs secondaires/auxiliaires dans la zone agro écologique de Malika (Dakar, Sénégal). Mémoire de Diplôme de Master II en Gestion durable des Agro-écosystèmes Horticoles, Université Cheikh Anta Diop de Dakar.
- Manfred. Moll., Nicolas. Moll., 2002. Précis des risques alimentaires, Tec et Doc., 2e édition, 383 p.
- Martin, J.F., Roy, E.D., Diemont, S.A.W., & Ferguson, B.G., 2010. Traditional Ecological Knowledge (TEK): Ideas, inspiration, and designs for ecological engineering. *Ecological Engineering*, 36, (7): 839-849.
- Mathias K., « La lutte biologique : une alternative viable à l'utilisation des pesticides ? », *Vertigo*, 2 (2). Consulté le 18 janvier 2016. URL : <http://vertigo.revues.org/4101> ; DOI : 10.4000/vertigo.4101
- Morra L., Pagano L., Ovieno P.I, Baldantoni D., Ifani A.A, 2010. Soil and vegetable crop response to addition of different levelsof municipal waste compost under Mediterranean greenhouse conditions. *Agron. Sustain. Dev.*, 30, 701-709.
- Nanéma S.L., 2007. Compostage et évaluation de l'efficacité agronomique du compost de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso. Mémoire d'ingénieur, IPR/IFRA, Katiébougou (Mali), 67p.
- Nataya S., Wej Ch., Benjawan T., Anuluck J., Atchariya J., Udom Ch., Doungrat R, and Benjawan P., 2010. Chemical composition and larvicidal activity of edible plant-derived essential oils against the pyrethroid-susceptible and resistant strains of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Journal of Vector Ecology* 35 (1): 106-115.

- Ndiaye, O., Diallo, A., Matty, F., Thiaw, A., Fall, R.D., & Guisse, A., 2012. Caractérisation des sols de la zone des Niayes de Pikine et de Saint Louis (Sénégal). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6, (1), 519-528.
- Ndione Y. C., Impact des politiques agricoles sur la sécurité alimentaire au Sénégal. Mémoire de maîtrise, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Faculté des sciences Economiques et de gestion option : analyse et politique économiques, 68 pages.
- Ndomo A.F., Taponjoui A.L., Tendonkeng F. et Tchouanguép F.M., 2009. Evaluation des propriétés insecticides des feuilles de *Callistemon viminalis* (Myrtaceae) contre les adultes d'*Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera; Bruchidae). *Tropicultura*, 27,3. 137-14.
- Ngom S., 2004. Ebauche d'un référentiel sur la composition chimique et valeur nutritive des matières premières utilisées en alimentation des volailles au Sénégal. Thèse doctorat 3^e cycle, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, p. 135.
- Ngom S. Manga A., Diop M., Thiam MB., Rousseau J., Cissé I. et Traoré S., 2013a. Etude de l'évolution des résidus de pesticides dans les produits horticoles de grande consommation au Sénégal. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 22 : 31- 44 : <http://www.revist.ci>.
- Ngom S., Cissé I., Traore S., Rousseau J., Manga A., 2009. Incidence des pesticides sur la qualité des ressources en eaux et des produits horticoles dans la zone des Niayes au Sénégal, 2^eme Colloque francophone en environnement et santé, Université Badji Mokhtar de Annaba, Algérie.
- Ngom S., Dieng Faye F., Diop M., Kornprobst J. M. et Samb A. 2012. Composition chimique et propriétés physico-chimiques des huiles essentielles d'*Ocimum basilicum* et d'*Hyptis suaveolens* (L.) Poit. récoltés dans la région de Dakar au Sénégal. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 81 : 166 – 175.
- Ngom S., Manga A., Diop M., Thiam MB., Rousseau J., Cissé I., et Traoré S., 2013. Etude de l'évolution des résidus de pesticides dans les produits horticoles de grande consommation au Sénégal. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 31 - 44. <http://www.revist.ci>
- Ngom, S., Thiam, M.B., El Hadji, T., Toure, E., Cissé, I., & Moussoukhoye, D. 2013b. Bilan de l'azote et du phosphore dans les exploitations agricoles de la région de Thiès au Sénégal. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 7, (4), 1545-1554.
- Ngom, S., Traoré, S., Thiam, M.B., & Manga, A., 2012. Contamination des produits agricoles et de la nappe phréatique par les pesticides dans la zone des Niayes au Sénégal. *Revue des Sciences et de la Technologie Synthèse*, 25: 119-130.
- Niassy S., Diarra K., Niang Y., Niang S., Pfeifer H-R. 2010. Effect of Organic Fertilizers on the Susceptibility of Tomato *Lycopersicon esculentum*: Solanaceae to *Helicoverpa armigera* Lepidoptera: Noctuidae in the Niayes Area Senegal. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 6(6): 708-712, 2010.
- Niassy S. et al, 2010. Effect of Organic Fertilizers On the Susceptibility of Tomato *licopersicum esculentum*: Solanaceae to *Helicoverpa armigera* Lepidoptera: Noctuidae in the Niayes Area Senegal. *Research of agriculture and biological sciences*. <http://www.aensonline.com/rjabs/rjabs/2010/708-712.pdf> (page consultée le 27 février 2012)
- Noudogbessi, J. P., Agbangnan, P., Yehouenou B., Adjalian, E., Nonviho, G., Ossen, M. A., Wotto, V., Figueredo, G., Chalchat, J. C., Sohounhloue, D., 2013. Physico-chemical properties of *Hyptis suaveolens* essential oil. *Int. J. Med. Arom. Plants* ; 3; (2): pp. 191-199.
- O'Connor, J., Plowchalk, D., Van-Pelt, C., Davis, L., & Cook, J. (2000). Role of prolactin in chloro-S-triazine rat *Mammary tumorigenesis*. *Drug Chem Toxicol*, 23, 575–601.
- Ogaraku A.O., 2007. The Effect of Animal Manures on Susceptibility of Cowpea VAR. Moussa Local to Infection by Root-knot Nematode; *Meloidogyne javanica* Treub. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10: 2980-2983.

- Ogaraku A.O., 2007. The Effect of Animal Manures on Susceptibility of Cowpea VAR. Moussa Local to Infection by Root-knot Nematode; *Meloidogyne javanica* Treub. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10: 2980-2983. <http://scialert.net/fulltext/?doi=pjbs.2007.2980.2983&org=11>
- Oluf Chr. B., O. Kaarstad, O. H. Lie, et I. Richards, 1990. Agriculture et fertilisation. Les engrais - leur avenir. Division Agriculture, Norsk Hydro a.s, Olso, Norvège.
- OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 1994. Directive de qualité pour l'eau de boisson : Recommandations. Ed. OMS. 202p.
- ONUUDI, 1992. Formulation des pesticides dans les pays en développement, Nations Unies, Vienne, New York, pp 2-238.
- ORS., 2010. Observatoire des résidus de pesticides, Poitou-Charentes. <http://www.observatoire-pesticides.gouv.fr/index.php?pageid=259>.
- Ouedghiri K. El., El Oualti A., El Ouchy M., Zerrouq F., Ouazzani Chahdi F, El Ouali Lalami A., 2014. Risques sanitaires liés aux composés chimiques contenus dans l'eau de boisson dans la ville de Fès : Cas des ions nitrates et nitrites (Health risks of the chemicals in drinking water in the city of Fez: nitrate and nitrite ions). *J. Mater. Environ. Sci.*, 5 (S1), 2284-2292.
- Palacios S. M., Bertoni A., Rossi Y., Santander R. and Urzúa A., 2009. Efficacy of Essential Oils from Edible Plants as Insecticides Against the House Fly, *Musca Domestica* L. *Molecules*, 14, 1938-1947
- PAN Afica, 2006 (Pesticide Action Network), "Attention les pesticides sont nuisibles à votre santé." Outils d'actions communautaires contre les pesticides, Ed. Pan Africa, Dakar.
- PAN Africa, 2003. Gestion des pesticides au Sénégal. Ed. PAN Africa. 56p.
- Pandey A. K., Singh P., Tripathi N.N., 2014. Chemistry and bioactivities of essential oils of some *Ocimum* species: an overview. *Asian Pac J Trop Biomed.*, 4 (9): 682-694
- Pedneault A., 1994. Les effets du compost sur les plantes. Québec Vert. pp.18-20.
- Periquet A., 1996 Toxicité des résidus de pesticides. Toxicologie et sécurité alimentaire", Ed. Lavoisier, Paris.
- Perucci P., Monaci E., Casucci C., Perucci P., Monaci E., Casucci C. and Vischetti C., 2006. Effect of recycling wood ash on microbiological and biochemical properties of soils. *Agron. Sustain. Dev.*, 26 (3), 157-165. <http://dx.doi.org/10.1051/agro:2006009>
- Portejoie S, Martinez J, Landinon G. 2002. L'ammoniac d'origine agricole. Impact sur la santé humaine et animale et sur le milieu naturel. *Inra. Prod. Anim.*, 15 (3): 15-16.
- Prado, H.M., Murrieta, R.S.S., Adams, C., & Brondizio, E.S., 2013. Complementary Viewpoints: Scientific and Local Knowledge of Ungulates in the Brazilian Atlantic Forest. *Journal of Ethnobiology*, (33), (2), 180-202.
- Raison C, Chambaut H, Le Gall A, Pflimlin A. 2008. Impact du système fourrager sur la qualité de l'eau. Enseignements issus du projet Green Dairy. *Fourrages*, 193 : 3-18.
- Re, V., Cissé Faye, S., Faye, A., Faye, S., Gaye, C., Sacchi, E., & Zuppi, G., 2011. Water quality decline in coastal aquifers under anthropic pressure: the case of a suburban area of Dakar (Senegal). *Environmental Monitoring and Assessment*, (172), (1-4) : 605-622.
- RECA (Réseau National des Chambres d'Agriculture du Niger), 2013. Fiche conseil pour la matière active Deltaméthrine (insecticide). http://www.recaniger.org/IMG/pdf/Fiche_conseil_Deltamethrine_version22septembre2013.pdf (consulté le 07 novembre 2016).
- Reyes T., Gergely S. et Johnston P., 2013. Le déclin des abeilles Analyse des facteurs qui mettent en péril les pollinisateurs et l'agriculture en Europe. Rapport Technique, Greenpeace International, Amsterdam Pays-Bas, 14 p.
- Saïssy J.M. et Rüttimeann M., 1999. Intoxications par les organophosphorés. SFAR, Médecine d'urgence.

- Sarr B., Ndiaye F., Ndiaye M., et Diop T. A., 2013. Effet de deux types d'insecticides sur la mycorhization arbusculaire et le développement de deux variétés de pomme de terre (*Solanum tuberosum*) *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 7 (5) : 1902-1909.
- Schiffers B., 1990. Résidus de pesticides et LMR, 10 p.
- Schneider, D.K., 2007. Méthodes qualitatives en sciences sociales - Petite introduction aux méthodes qualitatives. Notes de cours, Version 0.9, Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation, Université de Genève. <http://tecfa.unige.ch/guides/methodo/quali/>
- Schrack D. X., Coquil A., M, Ortar, Benoît B., 2009. Rémanence des pesticides dans les eaux issues de parcelles agricoles récemment converties à l'Agriculture Biologique. *Innovations Agronomiques*, 4, 259-268
- Seck D. et al., 1993. Biological activity of the shrub *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam ex Poir. (Capparaceae) on stored grain insects. *J. Chem. Ecol.*, 19(2), 377-389.
- Seck D. et al., 1996. Alternative protection of cowpea seeds against *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae) using hermetic storage or in combination with *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam ex Poir. (Capparaceae) on stored grain insects. *J. Stored Prod. Res.*, 32(1), 39-44.
- Seck D., 1994. Développement de méthodes alternatives de contrôle des principaux insectes ravageurs des denrées emmagasinées au Sénégal par l'utilisation de plantes indigènes. Thèse de Doctorat à la Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux, 192 p.
- Seck M. et Lô Ch., 2007. Introduction de la technologie des BRF au Sénégal : essais préliminaires et résultats obtenus. Les Rémanents en Foresterie et en Agriculture - Les branches : matériau d'avenir ! Colloque international francophone, 1 et 2 février 2007, Lyon (France). http://www.leca.univ-savoie.fr/tmp/brf/Summary_Colloque_BRF2007.pdf.
- Sedaghat M. M., Sanei D. A. R., Khnavi M., Abai M. R., Hadjiakhoondi A., Mohtarami F., Vatandoost H., 2010. Phytochemistry and larvicidal activity of *Eucalyptus camaldulensis* against malaria vector, Anopheles stephensi. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 841-845. <http://www.apjtm.net/admin/picture/UploadFile/20111231153617927.pdf>
- Seel I., 1999. Travail de fin d'études : Evaluation des performances d'une méthode de dosage de pesticides, graduat en biochimie finalité biochimie, haute école de province de Liège, Rennequin sualem, 109 p.
- Sene, M., 2008. Pratiques d'utilisation des pesticides et teneurs en résidus des produits horticoles dans la zone des Niayes de Mboro : Effets éventuels sur la santé publique. Thèse, Doctorat, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal, 114 p.
- Sene, S. & Ozer, P., 2002. Évolution pluviométrique et relatif inondations- événements pluvieux au Sénégal. *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 42: 27-33.
- Seo S.M, Kim J., Lee S.G., Shin C.H., Shin S.C, and Park I.K., 2009. Fumigant antitermitic activity of plant essential oils and components from Ajowan (*Trachyspermum ammi*), Allspice (*Pimenta dioica*), caraway (*Carum carvi*), dill (*Anethum graveolens*), Geranium (*Pelargonium graveolens*), and Litsea (*Litsea cubeba*) oils against Japanese termite (*Reticulitermes speratus* Kolbe). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57 (15), 6596-6602.
- Shelton J.F., Geraghty Estella M., Tancredi Daniel J. Delwiche Lora D., Schmidt Rebecca J., Beate Ritz, Hansen Robin L., and Picciotto Irva Hertz, 2014. Neurodevelopmental Disorders and Prenatal Residential Proximity to Agricultural Pesticides: *The charge Study. Environmental Health Perspectives*, 122 (10) : 1103-1109.
- Simeu K., Fofiri F. E. J., 2008. Le maraîchage à Ngaoundéré, Contraintes de production et risques sanitaires. L'Harmatan, Agriculture et Développement Urbain en Afrique Subsaharienne : Environnement et enjeux sanitaires, Paris 161-168.

- Simon H, 1994. La protection des cultures, agriculture d'aujourd'hui, édition Lavoisier, Sciences et Techniques d'application, Paris, 351 p.
- Simon JC, Grignani C, Jacquet A, Le Corre L, Pagès J. 2000. Typologie des bilans d'azote de divers types d'exploitation agricole : recherche d'indicateurs de fonctionnement. *Agron. J.*, 20: 175-195.
- Simpkins, J. W., Swenberg, J. A., Weiss, N., Brusick, D., Eldridge, J. C., Stevens, J. T., ... Breckenridge, C. B. (2011). Atrazine and breast cancer: a framework assessment of the toxicological and epidemiological evidence. *Toxicol Sci*, 123 (2), 441–459.
- Smith, O.B., 2002. Overview of urban agriculture and food security in West African cities. In O. O. Akinbamijo, S. T. Fall, et O. B. Smith, Actualités dans l'intégration agriculture-élevage dans les villes ouest-africaines (p. 17-36). Banjul, Dakar & Ottawa, International Trypanotolerance Center (ITC), Institut sénégalais de recherches agricoles (ISRA) & International Development Research Center (IDRC).
- Snedeker M., Pesticides and breast cancer risk; a review of DDT, DDE, and dieldrin. *Rev. Env. Health Perspect* (2001), 109 (1) 35-47.
- Sonko A., 2012. Evaluation de l'impact d'un biocompost combine à un biofertilisant/biopesticides à base d'EM1 (effective micro-organisms) sur la productivité agricole dans les Niayes de Mboro. Mémoire de Diplôme de Master II en Gestion Durable des Agro Ecosystèmes Horticoles-GEDAH. Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 31p.
- Soumare, M.D., Mnkeni, P.N.S., & Khouma, M., 2002. Effects of *Casuarina equisetifolia* composted litter and ramial-wood chips on tomato growth and soil properties in Niayes, Senegal. *Biological Agriculture and Horticulture*, 20, (2), 111-123.
- Sow G., 2007. Efficacité comparée de trois insecticides (Biobit, Neem et Métophos) sur *Plutella xylostella*, ravageur des Crucifères dans les Niayes de Dakar. 77p. Diplôme d'Etudes Approfondies de Biologie Animale, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Biologie Animale.
- Sow, P., 2012. Uncertainties and conflicting environmental adaptation strategies in the region of the Pink Lake, Senegal, Zentrum für Entwicklungsforschung Center for Development Research. University of Bonn, 31 p.
<https://www.econstor.eu/dspace/bitstream/10419/88369/1/773387625.pdf>
- Srivastava S. K., Ateeque A., Syamsunder K. V., Aggarwal K. K. et Khanuja S. P. S. 2003. Essential oil composition of *Callistemon viminalis* leaves from India. *Flavour and Fragrance Journal*, 18: 361-363.
- Tabarant, P., 2011. « Effets d'apport de matières organiques sur la régulation biologique des nématodes parasites du bananier en Guadeloupe ». Thèse, AgroParisTech, Guedeloupe, 177 pages. <https://tel.archives-ouvertes.fr/pastel-01002831/document>.
- TECSULT., 2008. Élaboration d'un Plan d'Action de Réinstallation (PAR) et aménagement de la zone de recasement de Keur Massar _ Tivaouane Peul - Rapport définitif. Dakar, Sénégal, Tecresult International Limitée, 152 p.
- Testud, F., 2004. Engrais minéraux. *EMC-Toxicologie Pathologie*, 1, (1): 21-28.
- Thabet H. Brahimi N., Kouraïchi N., Elghord H., Amamou M., 2009. Intoxications par les pesticides organophosphorés : nouveaux concepts. *Réanimation*, 18, 633 – 639.
- Thiam A., 2004. Les pesticides chimiques : Historiques, classification, mode d'action, effets toxiques, PAN africa, 12 p.
- Thiam A., 2007. Pesticides et alternatives : bulletin de Pesticides Action Network (PAN) Africa, n°31, 2e trimestre, 32 p.
- Thiam A., Gaye D., 2005. Atelier sur alimentation saine et équité : quelles stratégies pour une horticulture durable au Sénégal : Rapport, 25 pages.
- Thiam A., Sarre A., 2003. Les pesticides au Sénégal, Pesticides Action Network (PAN) Africa, 2e édition, 43 p.

- Thiaw C., Coly E.V., Djiba S., Diop M., Ndoye O., Cissé Nd. et Sembène M., 2015. *Senna occidentalis* L., une plante prometteuse dans la lutte contre *Caryedon serratus* Ol. (Coleoptera, Bruchidae), insecte ravageur des stocks d'arachide au Sénégal. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 9 (3): 1399-1418.
- Thiaw C., Gueye S., Gueye, A., Samb A. & Sembène M., 2007. Ovicid and adulticid effects of powders and extracts of *Calotropis procera* AIT. and of *Senna occidentalis* L. on *Caryedon serratus* (Ol.) destroyer of groundnut stocks. *J. Sci.*, 7 (3), 1-15.
- Thierfelder C. and Wall, P.C., 2012. Effects of conservation agriculture on soil quality and productivity in contrasting agro-ecological environments of Zimbabwe. *Soil Use and Management*, 28, (2): 209-220.
- Tittonell, P. and Giller K.E., 2013. When yield gaps are poverty traps: The paradigm of ecological intensification in African smallholder agriculture. *Field Crops Research*, 143: 76-90.
- Toe A. M., Kinane M. L., Kone S. and Sanfo-Boyarm E., 2004. Le non respect des bonnes pratiques agricoles dans l'utilisation de l'endosulfan comme insecticides en culture cotonnière au Burkina Faso: quelques conséquences pour la santé humaine et l'environnement, *Rev. Afr. Sant. Prod. Animal.*, Vol. 2 (3), 275-278.
- Traore S. K., Dembele A., Kone M., Mambo V., Lafrance P., Bekro Y. A. & Houenou P., 2008. Contrôle des pesticides organochlorés dans le lait et produits laitiers. : Bioaccumulation et risques d'exposition, *Afr. Sci.*, Vol. 04 (1), 87-98.
- Traore S. K., Koné M., Dembele A., Lafrance P., Mazellier P. & Houenou P., 2006. Contamination de l'eau souterraine par les pesticides en régions agricoles en Côte d'Ivoire, *J. Afr. Sci. Environ.*, Vol. 1, 1-9.
- Ulajikyela C., 2011. Utilisation des composts de biodéchets ménagers pour l'amélioration de la fertilité des sols acides de la province de Kinshasa. Thèse de doctorat, Gembloux, Belgique, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech., 172p.
- UN/FAO 2009, Habitat, International tripartite conference on urbanization challenges and poverty reduction in African, Caribbean and Pacific countries, First meeting, Nairobi, 8–10 June 2009..
- UNIFA, 2005. Les principaux fertilisants 6p. www.unifa.fr/fichiers/cd_ferti/dossiers/pdf/PI/4_Principaux Fertilisants.pdf
- Union européenne, 2008. Règlement (CE) n° 299/2008 du 29 janvier 2008 modifiant le règlement (CE) n° 396/2005 concernant les limites maximales applicables aux résidus de pesticides présents dans ou sur les denrées alimentaires et les aliments pour animaux d'origine végétale.
- Van Cauwenbergh S., Burnham D., 2001. New developments in amino acid and protein nutrition of poultry as related to optimal performance and reduced nitrogen excretion. *13th European Symposium of Poultry Nutrition*, 1-12.
- Van der Werf HMG., Tzilivakis J., Lewis K., Basset-Mens C., 2007. Environmental impacts of farm scenarios according to five assessment methods. *Agriculture, Ecosyst. Environ.*, 118 (1-4) : 327-338.
- Van Driesche RG., Bellows TS., 1996. Biological control. Chapman & Hall, New York DOI: 10.1007/978-1-4613-1157-7
- Vera Sergeeva, 2014. Influence of plant extracts and essential oils in modern plant protection. The 29th International Horticultural Congress 17-22 August 2014, Brisbane, Australia Symposium: Plants, as Factories of Natural Substances, Edible and Essential Oils.
- Vérité R, Delaby L. 2000. Relation between nutrition, performances and nitrogen excretion in dairy cows. *Ann. Zootech.*, 49 : 217-230.
- Vertès F, Simon JC, Laurent F, Besnard A. 2007. Prairies et qualité de l'eau. Evaluation des risques de lixiviation d'azote et optimisation des pratiques. *Fourrages*, 192 : 423-440.

- Villanueva, C., Durand, G., Coutté, M., Chevrier, C., & Cordier, S., 2005. Atrazine in municipal drinking water and risk of low birth weight, preterm delivery, and small-for-gestational-age status. *Occup Environ Med*, 62, 400–405.
- Wade C. S., 2003. L'utilisation des pesticides dans l'agriculture périurbaine et son impact sur l'environnement. Thèse pharmacie université Cheikh Anta Diop de dakar (UCAD). http://indexmedicus.afro.who.int/iah/fulltext/wade_cheikh.pdf
- Wade I., David-Benz H., Egg J., 2004. Information et régulation des filières maraîchères au Sénégal. *Cahier Agriculture* 13 :79-84.
- Wade, I., 2009. *Systèmes d'information de marché, coordination et gestion des risques dans les filières agricoles : cas des produits maraîchers*. Thèse de doctorat, Diplôme de Doctorat, Université de Montpellier SupAgro, Montpellier, 235 p.
- Wakes J., Sanger L., 2008. Chromatographie, [http : //fr. wikipedia. Org](http://fr.wikipedia.org), 2 Avril 2008 à 15h 56mn 28s.
- Weill A. et Duval J., 2009. Amendements et fertilisation, «Les fertilisants autres que les fumiers et les composts» Équiterre in manuscrit du Guide de gestion globale de la ferme maraîchère biologique et diversifiée. Équiterre. Masson, Montréal (Québec), Canada. www.equiterre.org.
- WHO, 2008. The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification 2004. http://www.who.int/ipcs/publications/pesticides_hazard_rev_3.pdf
- WHO. 2010. The WHO recommended classification of pesticides by hazard. And guidelines to classification 2009. IPCS, IOMC. WHO, 81 p.
- Wolter M., Prayitno S., Schuchardt F., 2004. Greenhouse gas emission during storage of pig manure on a pilot scale. *BioresourceTechnology*, 95, 235-244.
- Wyckhuys, K.G. & O'Neil, R., 2007. Local agro-ecological knowledge and its relationship to farmers' pest management decision making in rural Honduras. *Agriculture and Human Values*, 24: 307-321.
- Zahm F, Viaux P, Vilain L, Girardin P, Mouchet C. 2008. Assessing Farm Sustainability with the IDEA Method - from the Concept of Agriculture Sustainability to Case Studies on Farms *J. S. D.*, 16: 271-281.
- Zoubiri S., Baliouamer A., Seba N., Chamouni N., 2014. Chemical composition and larvicidal activity of Algerian *Foeniculum vulgare* seed essential oil. *Arabian journal of chemistry*, 7 : 480-485.

ANNEXE I : Contribution scientifique

Publications

Saliou NGOM, Anastasie MANGA, Moussoukhoye DIOP, Mamadou Bocar THIAM, Jean ROUSSEAU, Ibrahima CISSE1 et Seydou TRAORE2013. Etude de l'évolution des résidus de pesticides dans les produits horticoles de grande consommation au Sénégal. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 21&22 et 31 - 44. <http://www.revist.ci>

Saliou Ngom, Traore Seydou, Mamadou Bocar Thiam, Manga Anastasie, 2012. Contamination des produits agricoles et de la nappe phréatique par les pesticides dans la zone des Niayes au Sénégal. *Rev. Sci. Technol., Synthèse* 25 : 119-130. Université Annaba, Algérie : <http://www.univ-annaba.org/~dpubma/>

NGOM Saliou, THIAM Mamadou Bocar, El Hadji Traoré, TOURE Elhadj, CISSE Ibrahim, Moussoukhoye DIOP, 2013. Bilan de l'azote et du phosphore dans les exploitations agricoles de la région de Thiès au Sénégal. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 7(4): 1545-1554. <http://ajol.info/index.php/ijbcs>

Saliou NGOM, Andreane GRAVEL, Mariama SAMBOU, Moussa CAMARA, Dior TEMBEDOU et Victorine B. NDECKY, Mamadou B. THIAM, Moussoukhoye DIOP, 2015. Typologie des exploitations agricoles dans la zone des Niayes au Sénégal : perception des risques écologiques et potentialités d'une agriculture durable. *ScienceLib*, (7), (150708). <http://www.sciencelib.fr>

Saliou NGOM, Fatou Dieng FAYE, Moussoukhoye DIOP, Jean Michel KORNPROBST et Abdoulaye SAMB, 2012. Composition chimique et propriétés physico-chimiques des huiles essentielles d'*Ocimum basilicum* et d'*Hyptis suaveolens* (L.) Poit. récoltés dans la région de Dakar au Sénégal, *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, Vol. 81, 2012, p. 166-175. Université Liège, Belgique : <http://www.srsl-ulg.net>

Saliou Ngom, Raimundo Cabrera Perez, Ma Anta Mbow, Rokhaya Fall, Saliou Niassy, Andrean Cosoveanu, Serigne Mbacké Diop, El Hadji Barka Ndiaye, Moussoukhoye Diop, Georges Lognay. Larvicidal activity of Neem oil and three plant essential oils from Senegal against *Chrysodeixis Chalcites* (Esper, 1789). Accepté pour publication (*Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*. www.elsevier.com/locate/apjtb)

Ngom Saliou^a, Thiam Mamadou Bocar^a, Sonko Abdoulaye^b, Diarra Rokhaya^a Diarra Karamoko^b et Diop Moussoukhoye^b. Effets d'un compost à base de la biomasse du « neem » et d'anacarde sur des cultures maraichères dans la zone des Niayes au Sénégal (soumis).

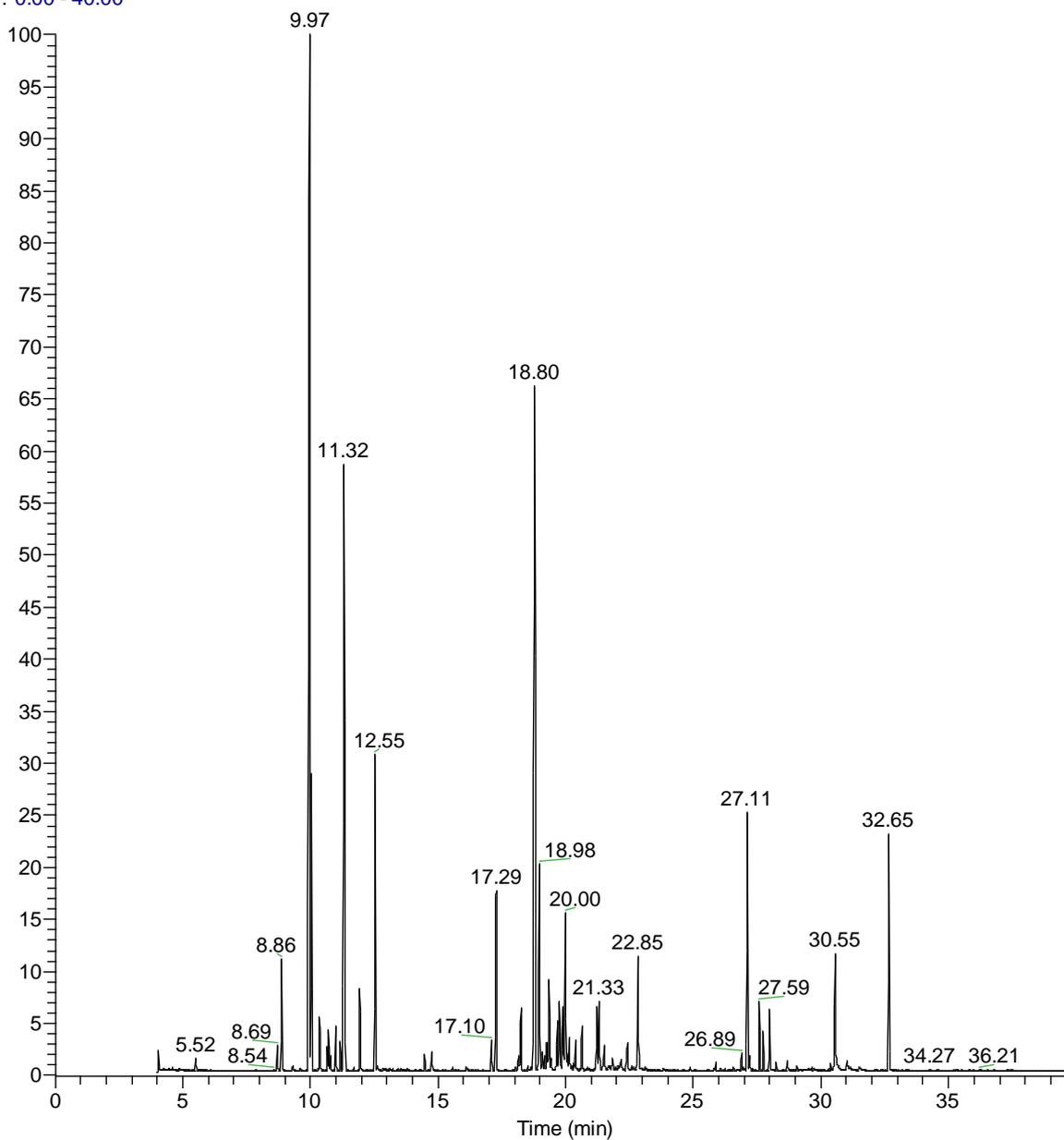
Communications

Saliou Ngom, Rokhaya Fall, Perez R. Cabrera, Andrean Cosoveanu, Toledo T.Martin, Moussoukhoye Diop. Etude des propriétés insecticides de l'huile de neem et d'huiles essentielles de quelques plantes sur *Chrysodeixis chalcites* (Lépidoptère généraliste), Conférence internationale sur la gestion et la lutte contre les ravageurs des cultures. DIVECOSYS, Faculté des sciences et techniques, Département de biologie animale, Dakar 02 – 06 juin 2015.

Saliou Ngom et Moussoukhoye Diop. Mise au point d'innovations Bio à base de compostage et de combinaison d'extraits de plantes comme alternative aux intrants chimiques utilisés dans l'horticulture. UCAD, Doctoriales, 04 – 05 février 2013.

ANNEXE II : Chromatogrammes des huiles essentielles des plantes étudiées

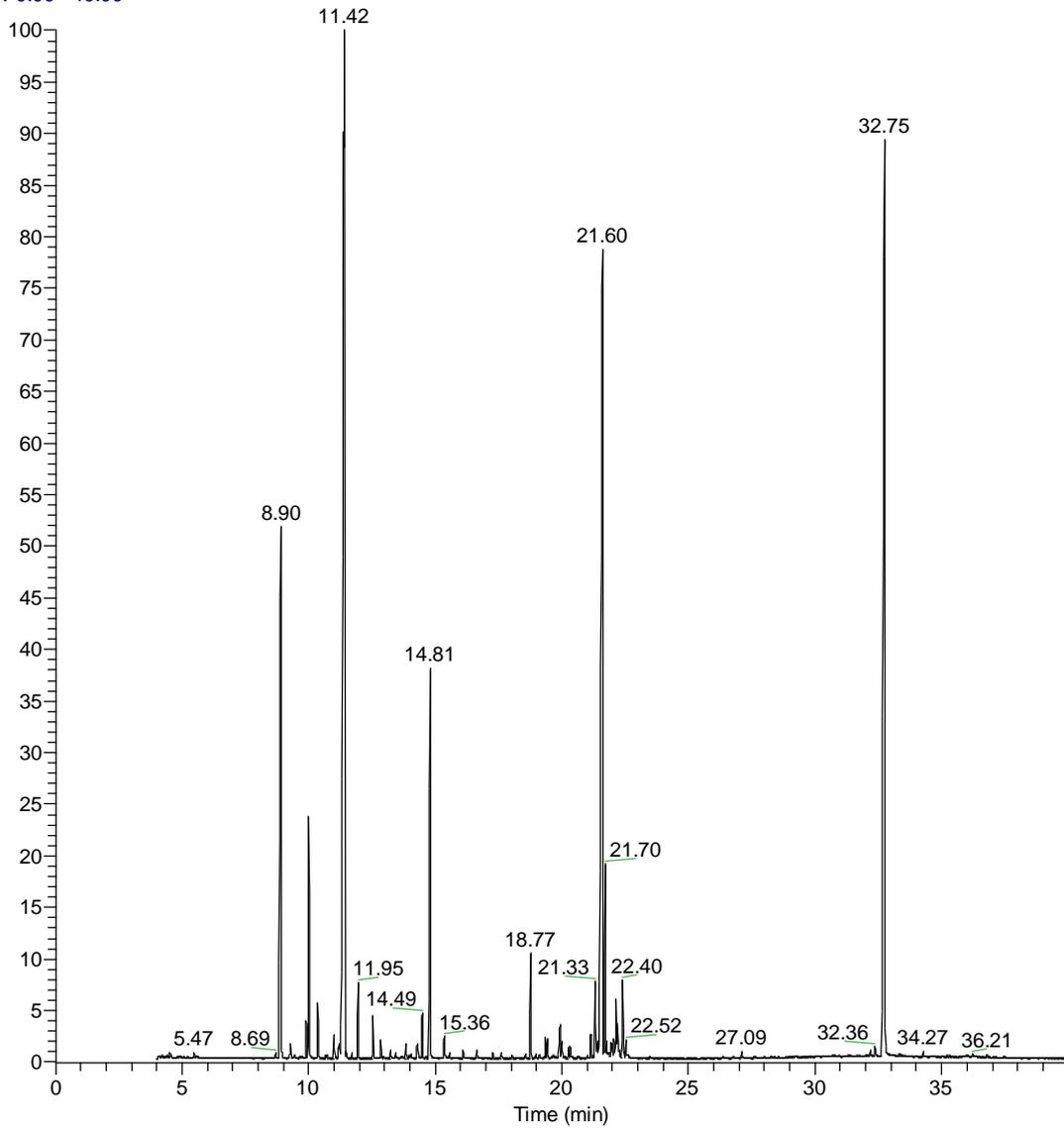
RT: 0.00 - 40.00



NL:
2.12E8
TIC F: MS
HEH11

Chromatogramme de l'huile essentielle de *Hyptis suaveolens*

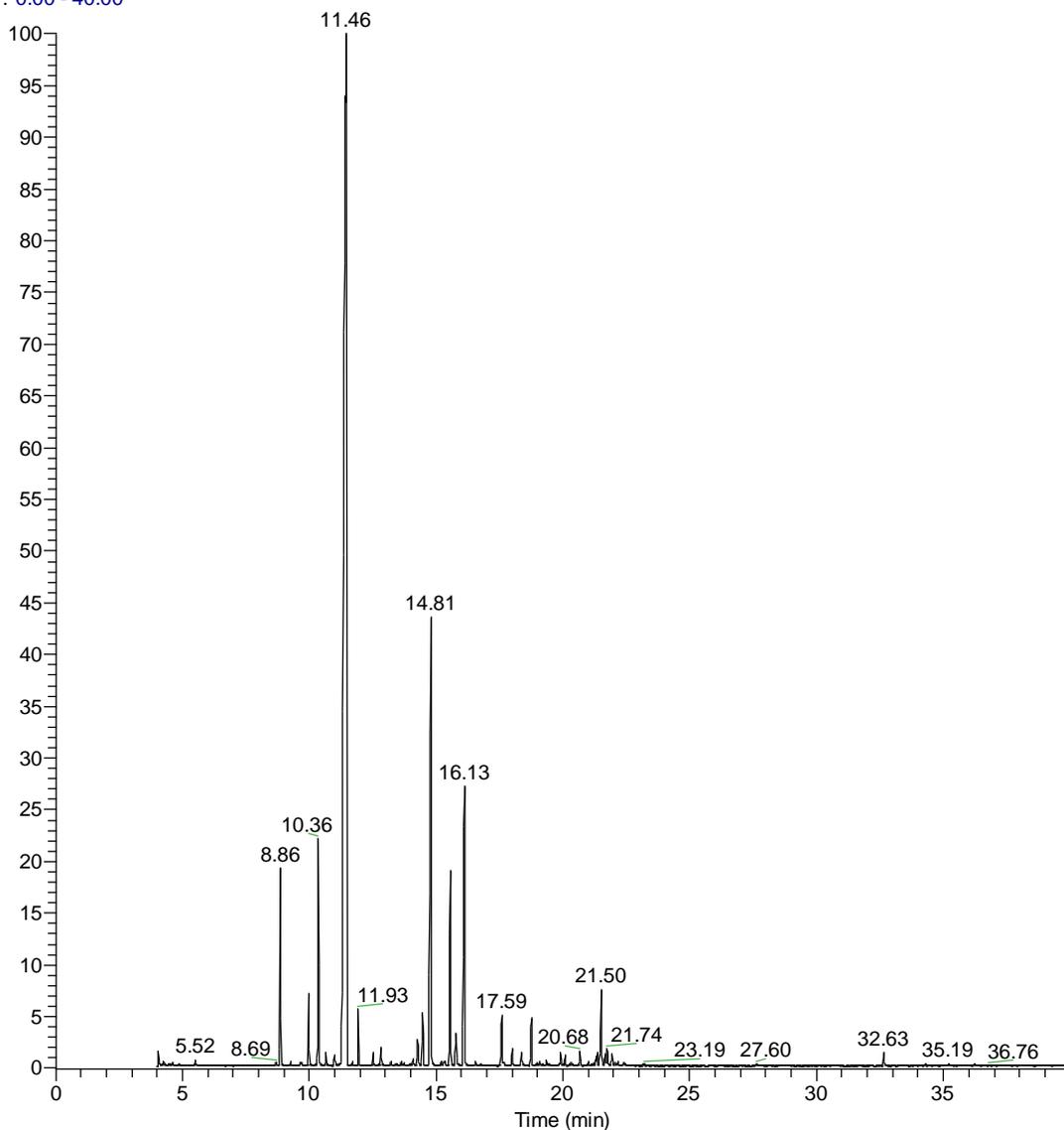
RT: 0.00 - 40.00



NL:
2.52E8
TIC F: MS
HEM03

Chromatogramme de l'huile essentielle de *Melaleuca leucadendron*

RT: 0.00 - 40.00



NL:
3.57E8
TIC F: MS
HEC_0412
13

Chromatogramme de l'huile essentielle de *Callistemon viminalis*

Résumé

La zone des Niayes qui fournit l'essentiel de la production maraîchère du Sénégal a subi une forte dégradation avec une baisse considérable de la fertilité des sols et une pression parasitaire intense. Les intrants chimiques utilisés pour améliorer les rendements peuvent être à l'origine de multiples dégâts sanitaires et environnementaux. Ce travail a pour objectif d'évaluer les niveaux d'exposition des populations aux intrants chimiques et de mettre au point des méthodes alternatives adaptées. Les enquêtes menées dans la zone ont révélé une mauvaise gestion des intrants chimiques de la part des producteurs peu soucieux de leur impact sur l'environnement et la qualité des productions. Les analyses effectuées ont révélé la contamination des produits horticoles et de la nappe phréatique par les résidus de pesticides à des teneurs supérieures aux limites maximales admises (LMR). Les pesticides ont été détectés dans 97 % des échantillons de produits horticoles analysés et dans 100 % des puits prospectés. Concernant l'impact des engrais chimiques, le bilan apparent des nutriments calculé en kg/ha de surface agricole utilisée a mis en évidence des pertes d'azote et de phosphore importantes pouvant engendrer leur accumulation dans le sol, la nappe phréatique et les produits agricoles. Toutefois, les méthodes alternatives développées et testées ont montré un potentiel important pour contribuer à la réduction durable des quantités d'intrants chimiques utilisées dans la zone. Le compost produit à base de différents produits naturels (biomasse du neem, feuilles d'anacarde, fiente de volaille, cendre de bois et phosphate naturel) a présenté des propriétés physico-chimiques appréciables et des performances agronomiques meilleures par rapport aux témoins correspondants aux pratiques paysannes. Dans la recherche de méthodes de lutte biologique, les huiles essentielles des plantes étudiées (*Callistemon viminalis*, *Melaleuca leucadendron*, *Ocimum basilicum* et *Hyptis suaveolens*) ont prouvé une forte activité insecticide contre les larves de *Chrysodeixis chalcites*. Leur combinaison prévue en perspective avec l'huile de neem pourrait constituer une formule de biopesticide efficace contre les ravageurs des cultures.

Contribution to the reduction of the risk of exposure to pesticides and chemical fertilizers used in the Niayes region for developing of alternative methods

Summary

The Niayes region supplies Senegal's vegetable production, but it suffered from severe degradation with considerable drop in soil fertility and from intense parasite pressure. Chemical fertilizers used to improve production yields may cause multiple health and environmental concern. The objective of this work is (i) to assess the risk of population exposure to those chemicals (ii) and to develop adapted alternative fertilization methods. The surveys conducted in this region revealed a mismanagement of chemical fertilizers by farmers about their impact on the environment and the quality of the products. This study reveals that horticultural products and groundwater are contaminated by pesticide residues at a level above the maximum tolerable limits (MRLs). This work revealed presence of pesticides in 97% of samples collected from horticultural products analyzed and in 100% of surveyed wells. Regarding chemical fertilizers impact, the apparent nutrient balance calculated in kg/ha of cultivated area showed significant losses of nitrogen and phosphorus that could lead to their accumulation in soil, groundwater and agricultural products. However, alternative methods developed and tested shown could contribute to sustainable reduction of chemical fertilizers used in the region. In Fact, using compost produced from different natural products (neem biomass, cashew leaves, poultry dross, wood ash and natural phosphate) revealed appreciable physicochemical properties and improved agronomic performance when compared to the controls corresponding to the traditional farmer's practices. Looking for biological control methods, the essential oils of the studied plants (*Callistemon viminalis*, *Melaleuca leucadendron*, *Ocimum basilicum* and *Hyptis suaveolens*) have proved as having strong insecticidal activities against larvae of *Chrysodeixis chalcites*. Formula combining them with neem oil could be an effective biopesticide pest control.

Discipline : chimie des produits naturels

Mots clés : intrants chimiques, contamination, nappe phréatique, légumes, méthodes alternatives, Niayes, Sénégal.
